

Ahşap: Doğal ve Yenilenebilir Mühendislik Malzemesi

[Wood: A Natural and Renewable Engineering Material]

Editör
Turgay AKBULUT



iuc-universitypress.org

IUC
UNIVERSITY
PRESS

Ahşap: Doğal ve Yenilenebilir Mühendislik Malzemesi

Bu kitap, Cumhuriyetimizin kuruluşunun 100. yılı anısına “Cumhuriyetin 100. Yılına 100 Kitap” projesi kapsamında İstanbul Üniversitesi–Cerrahpaşa tarafından yayımlanmıştır.

Editör
Turgay Akbulut

Ağustos 2024



Ahşap: Doğal ve Yenilenebilir Mühendislik Malzemesi

Editör: Turgay Akbulut 

Kurum: İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

E-posta: takbulut@iuc.edu.tr

Yayıncı



Adres: Üniversite Mahallesi, 34320 İstanbul/Türkiye

E-posta: iucpress@iuc.edu.tr

E-ISBN: 978-605-7880-00-0

DOI: 10.5152/5700

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Üniversite Yayınevi Seri No: 70

Yayıncılık Hizmetleri



© 2024. Telif hakkı yazarlara aittir. Bu kitaptaki bölümler açık erişimli olup Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası Lisansı altında dağıtılmaktadır. Bu lisans kullanıcılara, bölümleri herhangi bir amaç için indirme, çoğaltma ve yayımlanan bölümler üzerinde çalışma imkânı sunar. Böylece yayınlarımızın en geniş şekilde yayılmasını ve daha geniş bir etkiye sahip olmasını sağlar.

Sorumluluk Reddi

Kitapta yayımlanan metinlerin/bölümlerin ifadeleri veya görüşleri yazar(lar)ın ve editör(ler)in görüşlerini yansıtır. İÜC Üniversite Yayınevi ve İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa yazıların içeriğinden sorumlu değildir. Yayımlanan kitaplardaki çalışmaların doğru ve iyi araştırılmış olması ve metinlerde ifade edilen görüşlerin tutarlılığı yazar ve editörlerin sorumluluğundadır. İÜC Üniversite Yayınevi ve İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, yazarlara çalışmalarını bilimsel toplulukla paylaşmak için bir platform sağlamaktadır.

Atıf için: Akbulut, T. (Ed.). (2024). *Ahşap: Doğal ve yenilenebilir mühendislik malzemesi*. İstanbul: İÜC Üniversite Yayınevi.

YAZARLAR

Ahmet Kurtoğlu

Emekli Öğretim Üyesi; Doğuş Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye

Ayşe Dilek Doğu

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Orman Biyolojisi ve Odun Koruma Teknolojisi Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Coşkun Köse

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Orman Biyolojisi ve Odun Koruma Teknolojisi Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Evren Terzi

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Orman Biyolojisi ve Odun Koruma Teknolojisi Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Fatih Kurul

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Fatma Diğdem Tuncer

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Orman Biyolojisi ve Odun Koruma Teknolojisi Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Hızır Volkan Görgün

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Muvaffak Osman Engür

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Orman Biyolojisi ve Odun Koruma Teknolojisi Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Nadir Ayrılmış

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Nusret As

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Öner Ünsal

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Ramazan Kurt

Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

Saip Nami Kartal

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Orman Biyolojisi ve Odun Koruma Teknolojisi Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Tuncer Dilik

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Orman Endüstrisi Makinaları ve İşletme Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Turgay Akbulut

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Türker Dünder

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Zeki Candan

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

İÇİNDEKİLER

REKTÖRÜN ÖN SÖZÜ	IX
------------------------	----

ÖN SÖZ	X
--------------	---

GİRİŞ.....	XI
------------	----

BÖLÜM 1: AHŞAP: DOĞAL VE YENİLENEBİLİR MÜHENDİSLİK MALZEMESİ	1
---	----------

Muvaffak Osman Engür, Türker Dünder, Turgay Akbulut

1. Giriş.....	1
1.1. Mucizevi Bir Malzeme: Ahşap.....	1
2. Ahşap – Yenilenebilir ve Doğal Bir Malzeme.....	2
3. Ahşap – Karbon Deposu.....	3
4. Ahşap – Enerji Etkin Bir Malzeme	4
5. Yaşam Boyu Değerlendirme (Life Cycle Assessment-LCA)	5
6. Ahşap – Orman ve Sürdürülebilirlik.....	6
7. Ahşap ile Verimli ve Sürdürülebilir Binalar	6
8. Ahşapla sağlıklı ve Mutlu Bir Yaşam	7

BÖLÜM 2: AHŞABIN ANATOMİK ÖZELLİKLERİ.....	12
---	-----------

Ayşe Dilek Doğu, Fatma Diğdem Tuncer

1. Giriş.....	12
2. Makroskobik yapı	13
2.1. Öz	14
2.2. Diri Odun-Öz Odun	14
2.3. Vasküler Kambiyum	14
2.4. Kabuk	14
2.4.1. İç Kabuk-Dış Kabuk	14
2.5. Yıllık Halkalar	15
2.6. Öz Işınları	16
2.7. Boyuna Paransimler.....	17
2.8. Reçine Kanalları	17
2.9. Tekstür	17
2.10. Lif yapısı	17
3. Mikroskobik Yapı.....	18
3.1. Vasküler Kambiyum ve Gövde Odununda Yeni Bir Hücrenin Oluşumu	18
3.2. Hücre Çeper Tabakaları.....	19
3.3. Geçitler	20
3.4. İğne Yapraklı Ağaçlarda Mikroskobik Yapı.....	21
3.4.1. Boyuna Traheidler	21
3.4.2. Öz Işınları	21

3.4.3. Boyuna Paransimler	23
3.4.4. Reçine Kanalları ve Epitel Hücreler	23
3.5. Geniş Yapraklı Ağaçlarda Mikroskobik Yapı.....	24
3.5.1. Traheler	24
3.5.2. Lif hücreleri.....	25
3.5.3. Öz Işınları	25
3.5.4. Traheidler	26
3.5.5. Boyuna Paransimler	26
3.5.6. Epitel Hücreleri ve Reçine / Sakız Kanalları	26
4. Ağaç Türü Teşhisinin Bazı Önemli Uygulama Alanları..	26
4.1. Ahşap Ticareti.....	26
4.2. Kültürel Varlıkların Korunması (Restorasyon ve Konservasyon)	27
4.3. Sanat Tarihi ve Antikacılık.....	27
4.4. Antropoloji ve Etnografya.....	27
5. Ahşabın Anatomik Yapısı ve Kalite İlişkisi.....	27
5.1. Yoğunluk.....	27
5.2. Yıllık Halka Genişliği.....	28
5.3. Lif uzunluğu	28
5.4. Mikrofibril açısı	28
5.5. Diri Odun-Öz Odun Oranı	28
5.6. Genç Odun-Ergin Odun Oranı.....	29
5.7. Reaksiyon odunu	29
5.8. Lif Yönü.....	30
5.9. Budaklar.....	30

BÖLÜM 3: AHŞABIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	35
--	-----------

Türker Dünder

1 Giriş	35
2. Ahşap Rutubet İlişkisi.....	35
2.1. Ahşapta Rutubet Miktarı Ve Tarifi.....	35
2.2. Taze Haldeki Ahşabın Rutubeti	36
2.3. Bağlı Su, Serbest Su Ve Lif Doygunluğu Noktası.....	36
2.4. Maksimum Rutubet Miktarı	38
2.5. Su Buharı Sorpsiyonu Ve Denge Rutubet Miktarı.....	38
2.6. Sıvı Su Absorpsiyonu.....	40
2.7. Daralma Ve Genişleme	40
3. Ahşabın Birim Hacim Ağırlığı, Yoğunluk	43
3.1. Yoğunluk, Özgül Ağırlık Ve Hacim Ağırlık	43
3.2. Ahşapta Yoğunluk Üzerine Etki Eden Faktörler	44
3.2.1. Ağaç Türü Ve Porözite	44
3.2.2. Rutubet İçeriğinin Etkisi	45
3.2.3. Ağaç Yaşının Yoğunluk Üzerine Etkisi	45
3.2.4. Yetiştirme Ortamı, Yıllık Halka Genişliği, Yaz Odunu Katılım Oranı	46

3.2.5. Yoğunluğu Etkileyen Diğer Faktörler	46
4. Isıl (Termal) Özellikler	47
4.1. Isı İletkenliği Katsayısı	47
4.2. Ahşabın Özgül Isısı	50
4.3. Isı Dağılım Faktörü	50
4.4. Isıl Genleşme Katsayısı	50
5. Elektriksel Özellikler	51
5.1. Doğru Akım Özellikleri	51
5.2. Alternatif Akım Özellikleri	52
6. Akustik Özellikler	53
6.1. Ahşap İçerisinde Ses Dalgalarının Yayılımı	53
6.2. Ses Dalga Rezistansı, Ses Sönümleme Kapasitesi	53
6.3. Binalarda Akustik	54
BÖLÜM 4: AHŞABIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ	57

Nusret As

1. Yükleme Çeşit ve Şekilleri	58
2. Mekanik Testler	58
3. Mekanik Test Amaçları	59
4. Mekanik Test Örnek Boyutları	60
5. Mekanik Özellikler	60
5.1. Elastik Özellikler	60
5.1.1. Elastikiyet Modülü	60
5.1.2. Makaslama (Kayma) Modülü	61
5.1.3. Poisson Sabitesi (Oranı)	61
5.2. Visko-Elastik Özellikler	62
5.2.1. Sünme- Parsiyal Sünme	63
5.2.2. Relaksasyon	64
5.3. Plastik Özellikler (Direnc Özellikleri)	64
5.3.1. Direnc Tanımları	65
5.3.2. Direnc Özelliklerinin Belirlenmesi	65
5.3.3. Mekanik Özellikleri Etkileyen Faktörler	66
5.3.3.1. Uygulanan Kuvvetle İlgili Faktörler	66
5.3.3.2. Ahşapla İlgili Faktörler	66

BÖLÜM 5 : TİCARETTE ÖNEMLİ AĞAÇ TÜRLERİ..... 70

Fatma Diğdem. Tuncer, Ayşe Dilek Doğu

1. Giriş	70
----------------	----

BÖLÜM 6: YUVARLAK VE BİÇİLMİŞ AHŞAP 92

Hızır Volkan Görgün, Öner Ünsal

1. Masif Ahşap: Tanım Ve Sınıflandırma	92
1.1. Tomruk	92
1.2. Yuvarlak Yapacak Odun	93
1.3. Masif Ahşap (Kereste veya Biçilmiş Yapacak Odun) ...	94
1.3.1. Özelliklerine Göre Keresteler	94
1.3.2. Kullanım Yerine Göre Tanımlar	95
2. Kereste Kusurları Ve Görünüşe Göre Kalite Sınıflandırması	95
2.1. Kusurlar ve Çeşitleri	95

2.1.1. Budak	96
2.1.2. Çatlak	96
2.1.3. Lif Kıvrıklığı	96
2.1.4. Çürüklük ve Renklenme	96
2.1.5. Reçine Kesesi	96
2.1.6. Delikler	97
2.1.7. Şekil Bozuklukları	97
2.1.7.1. (Tomrukta) Koniklik ve Ovallık	97
2.1.7.2. Eğrilik	97
2.1.7.3. (Kerestede) Oluklaşma ve Burulma	97
2.1.7.4. Sulama	97
3. Masif Ahşap (Kereste) Üretimi	99
3.1. Hammadde (Tomruk) Temini	99
3.2. Tomruk Deposu ve Depolama Teknikleri	100
3.3. Kereste Üretim Teknikleri ve Makineleri	101
3.3.1. Birincil Üretim (Tomruk Biçme) Teknikleri ve Makineleri	101
3.3.1.2. Tomruk Biçme Yöntemleri	101
3.3.1.3. Birincil Üretim (Tomruk Biçme) Makineleri	102
3.3.2. İkincil Üretim (Son Ürüne Hazırlık) Teknikleri ve Makineleri	104
3.4. Masif Ahşap Üretiminde Kullanılan Testerelerin Bazı Özellikleri	104

BÖLÜM 7: AHŞABIN KURUTULMASI VE BUHARLANMASI 109

Hızır Volkan Görgün, Öner Ünsal

1. Kurutmanın Tanımı ve Önemi	109
1.1. Kurutmanın Tanımı	109
1.2. Kurutmanın Faydaları	110
2. Kurutma Bakımından Önemli Bazı Kavramlar	110
2.1. Hava Hareketi	110
2.5. Rutubet Farkı (Meyili)	111
2.6. Kurutma Şiddeti (Meyili)	111
3. Ağaç Malzemenin Rutubeti ve Ölçülmesi	111
3.1. Ağaç Malzemedeki Rutubetin Ölçülmesi	111
3.2. Rutubet Ölçümünde Dikkat Edilecek Hususlar	111
4. Kurutma Teknolojisi	112
4.1. Kurutma Programları	112
4.2. Kurutmanın Yönetilmesi	112
4.3. Kurutma Süresi	113
5. Teknik Kurutma Yöntemleri	113
5.1. Klasik Kurutma	114
5.2. Kondenzasyonlu Kurutma	114
5.3. Vakumlu Kurutma	114
5.5. Diğer Kurutma Yöntemleri	115
5.5.1. Kesintisiz Kurutma Fırınları	115
5.5.2. Elektrik Akımıyla Kurutma	115
5.5.3. Güneş Enerjisinin Kullanımı	115
6. Kurutma Fırınları	116
6.1. Uygun Fırın Büyüklüğünün Belirlenmesi	116

6.2. Fırın Yapım Esasları	116
6.3. Fırın Donanımı	117
6.3.1. Kapılar	117
6.3.2. Doldurma Ve Boşaltma	117
6.3.3. Havalandırma	117
6.3.5. Nemlendirme Sistemi	118
6.3.6. Isıtma	118
6.4. Kerestelerin İstiflenmesi	118
6.4.1. İstifleme Teknikleri	118
6.4.2. İstifleme Kuralları	119
7. Kurutma Kusurları ve Önleme Çareleri	120
7.2. Çatlaklar	120
7.3. Hücre Çökmeleri (Kollaps)	121
7.4. Şekil Değişimleri	121
7.5. Renk Değişimleri	122
7.6. Reçine Sızması	122
7.7. Kurutma Kalitesinin Değerlendirilmesi	122
BÖLÜM 8: AHŞABIN BOZUNMASI	126
<i>Coşkun Köse, Evren Terzi, Saip Nami Kartal</i>	
1. Ahşabın bozunması	126
1.1. Biyotik ve abiyotik faktörler	127
2. Ahşabın hizmet ömrü	128
2.1. Kullanım yeri (risk) sınıfları	128
2.2. Doğal dayanıklılık	129
2.3. İklim indeks değeri	130
3. Odunda görülen çürüklükler	131
3.1. Mantarların neden olduğu çürüklükler	133
3.1.1. Esmer çürüklük	133
3.1.2. Beyaz çürüklük	134
3.1.3. Yumuşak çürüklük	136
3.2. Odunda bakterilerin neden olduğu bozunmalar	137
4. Odunda görülen mikrobiyolojik kökenli renklenmeler	139
4.1. Mavi renklenme	139
4.2. Kırmızı şeritlilik	140
4.3. Ahşapta küflerin etkisiyle oluşan renklenmeler	140
5. Odunda çürüklük yapan bazı önemli mantarlar	141
6. Hayvansal kaynaklı zararlıların neden olduğu bozunmalar	144
6.1. Ahşap zararlısı böcekler	144
6.1.1. Ahşapta zarar yapan böcekleri önleme ve kontrol işlemleri	148
6.1.2. Ahşap zararlısı termitler	148
6.1.3. Ahşapta zarar yapan termitleri önleme ve kontrol işlemleri	149
6.2. Ahşap zararlısı deniz organizmaları	149
6.2.1. Ahşapta zarar yapan deniz organizmalarına karşı alınacak önlemler	150
BÖLÜM 9: AHŞABIN KORUNMASI	154

Saip Nami Kartal, Evren Terzi, Coşkun. Köse

1. Ahşap Koruma Ve Önemi	154
1.2 Ahşap Koruma Metotları	155
1.2.1 Doğal Dayanıklı Ağaç Türlerinden Elde Edilen Ahşap Kullanımı	155
1.2.2 Ahşabın Kuru Tutulması Ve Tasarıma Yönelik Önlemler İle Ahşabın Korunması	156
1.2.3 Fiziksel Koruma Metotları	158
1.2.4 Ahşabın Modifikasyonu	158
1.2.5 Kimyasal Koruma Metotları (Emprenye İşlemleri)	158
2. Ahşabın Emprenyesi	159
2.1 Emprenye İşlemleri Açısından Ahşap Rutubeti Ve Önemi	159
2.2 Odun Permeabilitesi (Geçirgenliği) Ve Emprenye İşlemleri İlişkisi	159
3. Emprenye Maddeleri	160
3.1 Emprenye Maddelerine Örnekler	161
3.2 Emprenye ve Çevre İlişkisi	163
4. Emprenye Metotları	163
4.1 Emprenye İşlemlerine Hazırlık	163
4.1.1 Kabuk Soyma	164
4.1.2 Kurutma	164
4.1.3 Yarık Açma – Delme İşlemleri (Incising)	164
4.1.4 Kesme, Delme Ve Boyutlandırma İşlemleri	164
4.2. Emprenye Metotlarının Sınıflandırılması	165
4.2.1 Basınç Uygulanan Metotlar	165
4.2.1.1 Dolu Hücre Metodu	165
4.2.1.2 Modifiye Dolu Hücre Metodu	165
4.2.1.3 Boş Hücre Metodu	165
4.2.2 Basınç Uygulanmayan Metotlar	166
4.2.2.1 Kısa Süreli Daldırma Metodu	167
4.2.2.2 Soğuk Batırma Ve Uzun Süreli Daldırma Metodu	167
4.2.2.3 Difüzyon Metodu	167
4.2.2.4 Çift Vakum Metodu	167
4.2.2.5 Yüzey Uygulamaları	167
4.2.2.6 Çeşitli Diğer Metotlar	168
4.2.3 Yerinde Bakım Metotları	168
5. Emprenye İşlemlerinde Kalite Kontrol	169
5.1 Nüfuz Derinliği Ve Retensiyon	169
6. Çeşitli Kullanım Yerleri İçin Koruma Uygulamaları	172
6.1 Tomruk Ve Kerestelerin Depolama Sürecinde Korunması	172
6.2 Tel Ve Çit Direklerinin Korunması	172
6.3 Demiryolu Traverslerinin Korunması	173
6.4 Deniz İçi Kullanılan Malzemenin Korunması	173
6.5 Sera, Tarım Ve Gıda Ambalaşlarında Kullanılan Ahşabın Korunması	173
6.6 Ahşap Esaslı Levha Ve Kompozit Malzemelerin Korunması	173
7. Ahşapta Boyutsal Stabilizasyon Sağlayıcı Modifikasyon İşlemleri	175

7.1 Boyutsal Stabilizasyon Ve Çalışma Kavramları	175
7.2 Boyutsal Stabilizasyon Sağlayıcı İşlemler	175
7.2.1 Levhaların Birbirine Dik Yapıştırılması	175
7.2.2 Yüzeysel İşlemler	175
7.2.3 Su Itici Maddelere Daldırma	175
7.2.4 Termal Modifikasyon İşlemleri	175
7.2.5 Ahşap Yüzeyinin Kömürleştirilerek Modifikasyonu	176
7.2.6 Kimyasal Modifikasyon İşlemleri	176
7.2.6.2 Compreg İşlemi	177
7.2.6.3 Impreg İşlemi	178
7.2.6.4 Furfurilasyon İşlemi	178
7.2.6.5 Dmdheu İşlemi	178
7.2.6.6. Silikatlar Ve Silanlar	178
7.2.6.7 Kitosan	178
7.2.6.8. Polietilen Glikol (Peg)	178
8. Ahşabın Yanmaya Karşı Korunması	178
8.1 Ahşabın Yanması Ve Kömürleşmesi	178
8.2 Yanmayı Geciktirici Maddeler	179
8.2.1 Ahşabın Yanmayı Geciktirici Maddeleri İle Korunması	179
8.2.2 Yanmayı Geciktirici Maddelerin Etki Mekanizması	180
8.2.3 Yanmayı Geciktirici Formülasyonlar	180
8.2.3.1 Fosfor Esaslı Bileşikler	181
8.2.3.2 Azot Esaslı Bileşikler	181
8.2.3.3 Fosfor / Azot Sinerjizmi	181
8.2.3.4 Silikon Esaslı Bileşikler	181
8.2.3.5 İnorganik Metal Hidratlar Ve Karbonatlar	181
8.2.3.6 Borlu Bileşikler	181

BÖLÜM 10: AHŞAP YAPIŞTIRMA VE YAPIŞTIRICILAR..... 187

Ramazan Kurt

1. Giriş	187
2. Ahşap Yapıştırma	189
2.1. Ahşap Yapıştırıcıların Sınıflandırılması	189
2.2. Ahşap Yapıştırıcı Seçimi	190
2.3. Ahşap Yapıştırıcıların Uygulama Alanları	191
2.4. Yapıştırma Performansını Etkileyen Faktörler	192
2.5. Yapıştırmaya Hazırlık ve Uygulama	193
2.6. Montaj, Presleme ve Şartlandırma	194
2.7. Sık Karşılaşılan Yapıştırma Hataları	194
2.8. Ahşap Yapıştırıcıların Performans Testleri	195
2.9. Yapıştırmada İş Sağlığı ve Güvenliği	196
2.10. Ahşap Yapıştırıcıların Geleceği	197

BÖLÜM 11: AHŞAP ESASLI KOMPOZİTLER 201

Turgay Akbulut, Nadir Ayrılmış, Zeki Candan

1. Kereste ve Kaplama Esaslı Kompozitler	201
1.1. Kaplama	202
1.1.1. Kontrplak	203
1.1.1.1. Kontrplak Üretimi	204

1.1.2. Kontrplakların Özellikleri ve Kullanım Yerleri	204
1.1.3. Kontrplağın Kullanım Yerleri	205
1.1.4. Marin Kontrplak	205
1.2. LVL (Lamine Kaplama Kereste)	205
1.3. Tutkallı Lamine Kereste	206
1.3.1. LVL ve Glulam Üretim İşlemi	207
1.4. CLT (Çapraz Lamine Kereste)	208
1.5. PSL	209
1.6. OSL	210
1.7. LSL	210
1.8. Sandviç Panel	211
2. Yonga Esaslı Kompozitler	212
2.1. Normal (Standart) Yongalevha	212
2.1.1. Standart Yongalevhanın Yapısı	213
2.1.2. Standart Yongalevhanın Özellikleri ve Kullanım Yerleri	214
2.2. Okal Tip (Ekstrude) Yongalevha	214
2.3. Kalıplanmış Yongalevha	215
2.4. Yönlendirilmiş Yongalevha (OSB)	215
2.4.1. OSB Levhaların Özellikleri ve Kullanım Yerleri	216
2.5. Çimentolu Yongalevha	217
3. Lif Esaslı Kompozitler	218
3.1. Liflevhanın Tanımı ve Sınıflandırılması	218
3.2. MDF Levhalar	220
3.2.1. MDF Üretim Teknolojisi	223
3.2.2. MDF'nin İstiflenmesi ve Depolanması	223
4. Ahşap-Polimer Kompozitleri	224

BÖLÜM 12: AHŞABIN İŞLENMESİ VE ÜST YÜZEY İŞLEMLERİ..... 230

Tuncer Dilik, Ahmet Kurtoğlu

1. Ahşap Malzeme İşleme Tekniği	230
1.1. Ahşap İşlemede Temel İşlemler	231
1.2. Ahşap İşleme Kalitesinde Etkili Faktörler	233
1.3. Ahşap Malzemenin İşlenmesinde Görülen Başlıca Hatalar	235
1.4. Ahşap Levha Ürünlerinin İşlenme Özellikleri ve Ortaya Çıkan Başlıca Hatalar	236
1.5. Ahşap Malzemenin İşlenmesinde Görülen Hatalar İçin Alınabilecek Önlemler	238
2. Ahşap Malzemelerde Üst Yüzey İşlemleri	238
2.1. Üst Yüzey İşlemlerinin Amaçları	238
2.2. Üst Yüzey İşlemi Uygulama Alanları ve Seçimi	238
2.3. Yüzey İşlemlerinde Ahşap Malzemede Göz Önünde Tutulacak Hususlar	239
2.4. Ahşap Malzeme Yüzeyinin Üst Yüzey İşlemine Hazırlanması	240
2.5. Ahşap Malzemenin Rengini Değiştiren Yüzey İşlemleri	241
2.6. Koruyucu Yüzey İşlemleri ve Emprenye - Yüzey İşlemi İlişkisi	242

2.7. Üst Yüzey İşlemlerinde Koruyucu Katmanlarının Oluşumu ve Yapısı	243
2.7.1. Saydam ve Örtücü Yüzey İşlemlerinin Kullanım Olanakları ve Yapısı	244
2.7.2. Zorlama (Yükleme) Kademelerine Göre Saydam ve Örtücü Yüzey İşlemlerinin Kullanım Yerleri.....	244
2.8. Üst Yüzey İşlemi Uygulama Teknikleri.....	244
2.8.1. Yüzeye Temas Etmeden Uygulanan Üst Yüzey İşlemi Teknikleri.....	246
2.8.2. Püskürtme Yöntemlerinin Uygulanmasında Dikkat Edilecek Hususlar.....	246
2.8.3. Yüzeye Temas Ederek Uygulanan Üst Yüzey İşlemi Teknikleri.....	246
2.9. Üst Yüzey İşlemlerinde Ortaya Çıkan Hata Kaynakları ve Kusurlar	249
2.10. Global Trendlerin Üst Yüzey İşlemlerindeki Etkileri	251

BÖLÜM 13: AHŞABIN YAPISAL KULLANIMI 255

Nusret As, Türker Dünder, Fatih Kurul

1. Türkiye’de Ahşap Yapılar	255
2. Ahşabın Yapıda Kullanıldığı Yerler.....	255
2.1. Çatıda Ahşap Kullanımı	255
2.1.1. Aşıklar	256
2.1.2. Mertekler	256
2.2. Duvar Elemanlarında Ahşap Kullanımı.....	256
2.3. Zeminde Ahşap Kullanımı.....	256
2.3.1. Ahşap Döşemeler	256
2.3.2. Ahşap Parkeler.....	257
2.3.2.1. Masif Parke	257
2.3.2.2. Mozaik Parke.....	258
2.3.2.3. Dekoratif (Desenli) Parke.....	258
2.3.2.4. Lamine Parke	258
2.3.2.5. Laminant Parke	259
2.4. Ahşap Doğramalar	259
2.4.1. Ahşap Pencereler	260
2.4.2. Ahşap Kapılar.....	260
3. Ahşabın kullanıldığı Yapı Tipleri.....	261
3.1. Masif Yapılar.....	261
3.2. Betonarme Yapılar.....	262
3.3. Prefabrike Yapılar	262
3.4. Ahşap Yapılar	262
3.4.4. Ahşap Karkas Yapılar.....	263
3.4.2. Panel Bileşen Yapılar	263
3.4.3. Karma (Hibrit) Yapılar	263
3.4.4. Ahşap Karkas Yapılar.....	263
3.4.4.1. Avrupa Sistemi	264
3.4.4.2. Amerikan Sistemi	264
3.4.4.2.1. Platform Sistemi	265

3.4.4.2.2. Balon Sistemi	265
4. Yapısal Maksatlı Kullanılan Ağaç Türleri.....	266
5. Yapıda Kullanılan Mühendislik Ürünü Ağaç Malzemeler.....	266
6. Yapısal Ahşap Standartları ve Sınıflandırma.....	266
6.1. Görsel Direnç Sınıflandırması.....	267
6.2. Makine İle Direnç Sınıflandırması	267

BÖLÜM 14: AHŞAP BÜKME 270

Nusret As

1. Ahşaba Form Verme Yöntemleri ve Sınıflandırılması..	270
1.1. Eğri Kesme	271
1.2. Kertme (Çürütme).....	271
1.3. Bükme	271
1.3.1. Ağaç Türleri ve Minimum Bükme Yarıçapları.....	271
1.3.2. Bükmede Oluşan Gerilmeler	272
1.3.3. Bükme Sınıf Değerleri.....	273
1.3.4. Bükme Aparatları	273
1.3.4.1. Destek Şeridi.....	273
1.3.4.2. Uç Tutucular	273
1.3.4.3. Bükme Kalıbı	274
1.3.4.4. Bükme Masası	274
1.3.5. Bükme Öncesi İşlemler.....	274
1.3.5.1. Buharlama.....	275
1.3.5.2. Diğer Yumuşatma Yöntemleri.....	275
1.3.6. Bükme	276
1.3.6.1. Elle Bükme	276
1.3.6.2. Makine ile Bükme	276
1.3.7. Bükme Yönleri	276
1.3.7.1. Enine Bükme	276
1.3.7.2. Boyuna Bükme.....	277
1.3.8. Bükme Teknikleri	277
1.3.8.1. Destekler Arası Bükme	277
1.3.8.2. Kalıp Arası Bükme	277
1.3.8.3. Kalıp Üzeri Bükme	277
1.3.9. Bükme Şekilleri	278
1.3.9.1. Aynı Düzlemde (İki Boyutlu) Yapılan Bükmeler ..	278
1.3.9.1.1. Tek Köşeli Bükme.....	278
1.3.9.1.2. İki Köşeli Bükme	279
1.3.9.1.3. Çok Köşeli Bükme	280
1.3.9.1.4. Farklı Düzlemlerde (Üç Boyutlu) Yapılan Bükmeler	281
1.3.10. Bükme Sonrası İşlemler.....	281
1.4. Lamine Bükme	282
1.4.1. Lamine Kaplama Bükme	283
1.4.2. Lamine Kereste Bükme (Yapısal Bükme)	283
1.5. Lif-yonga levha bükme.....	284

REKTÖRÜN ÖN SÖZÜ

Türk milletinin bağımsızlık mücadelesi, 29 Ekim 1923'te Cumhuriyetin ilanı ile taçlanmıştır. Dünya tarihine altın harflerle kazınan büyük bir mücadele sonucu elde edilen şanlı zafer, Türk milletinin hür ve bağımsız yaşama kararlılığı ile çıktığı yolda; inanç, cesaret, güven ve sınırsız fedakârlıkla gösterdiği eşsiz kahramanlıkların eseridir. Egemenliğin kayıtsız şartsız millete teslim edildiği Türkiye Cumhuriyeti, Millî Mücadele'mizin önderi Gazi Mustafa Kemal Atatürk'ün milletimize en büyük armağanıdır.

Cumhuriyetin kazanımlarını koruma ve milletimizin muasır medeniyetler seviyesine ulaşma hedefinde, eğitim ve bilim her zaman en büyük rehberdir. Bu hedeflerin gerçekleştirilmesinde ise en büyük sorumluluk kuşkusuz üniversitelere düşmektedir.

Ülkemizin köklü ve öncü üniversiteleri arasında yer alan İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa; bilimsel yaklaşımı benimseyen, bilgi üreten ve uygulamalarıyla toplumun gelişmesine katkıda bulunmayı ilke edinen bir araştırma üniversitesidir. Cumhuriyet değerlerine bağlı bir yükseköğretim kurumu olarak Cumhuriyetimizin 100. yılına ithafen akademisyenlerimizin iş birliğiyle "*Cumhuriyetin 100. Yılına 100 Kitap*" projesini hayata geçiriyoruz. Proje kapsamında, akademisyenlerimizin kendi uzmanlık alanlarıyla ilgili kaleme aldıkları ve İÜC Yayınevi tarafından basılan kitaplar, açık erişimle tüm toplumun faydasına sunulmaktadır. Sağlıktan mühendisliğe, sosyal bilimlerden eğitime kadar pek çok alanda hazırlanan 100 kitap; eğitim-öğretim materyali, ders kitabı olarak kullanılabileceği gibi araştırma geliştirme kapsamında yararlanılacak kaynak olarak da kullanılabilecek nitelikteki kitaplardan oluşmaktadır.

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa olarak köklü geçmişimizden aldığımız güçle Cumhuriyetimizi nice yüzyıllara taşımak için var gücümüzle çalışmaya ve üretmeye devam ediyor, 100. yılını kutladığımız Cumhuriyetin kurulmasında emeği geçen tüm kahramanlara adadığımız "*Cumhuriyetin 100. Yılına 100 Kitap*" projemizi; tüm akademisyenlerin, öğrencilerin ve araştırmacıların kullanımına sunuyoruz.

Rektör
Prof. Dr. Nuri AYDIN
29 Ekim 2023

ÖN SÖZ

Ahşap, insanoğlunun kullandığı en eski doğal malzemelerin başında yer almaktadır. İnsanlar başlangıçta ahşabı *barınak yapmak, yemek pişirmek, alet yapmak, tekne inşa etmek ve silah yapmak* için kullandılar. İnsan nüfusu artıp bilim ve teknoloji geliştikçe ahşabın kullanımı ve değeri gittikçe arttı. Günümüzde ahşap gerek masif olarak gerekse mekanik, kimyasal ve biyolojik yöntemlerle işlenmek suretiyle binlerce ürünün elde edilmesinde kullanılmaktadır.

Dünyanın pek çok yerinde bulunması, çok farklı amaçlar için kullanılabilmesi, çeşitliliği, kolay işlenebilmesi, estetik ve yenilenebilir olması, eskiden beri tüm toplumlar tarafından, ahşabın kıymetli bir malzeme olarak kabul görmesini sağladı.

Ahşap, dünyanın her tarafında yüzyıllardır bir yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ahşabın nemden etkilenip boyutlarında değişme olması, yanabilmesi, mantar, böcek ve termitler tarafından tahrip edilebilmesi, ultraviyole ışıklardan zarar görmesi gibi olumsuz özellikleri nedeniyle kullanım yerlerinde kısıtlar olabilmektedir. Ancak bu olumsuz özellikler çeşitli tekniklerle ortadan kaldırılabilmekte veya azaltılabilmektedir.

Çevre duyarlılığı, sürdürülebilirlik prensibi, geri dönüşüm, depreme dayanıklılık, enerji tüketimi, karbon tutma gibi konuların büyük önem arz ettiği günümüz dünyasında ahşabın değeri ön plana çıkmaya başladı. Ahşap geri dönüştürülebilir, yenilenebilir ve biyolojik olarak parçalanabilir bir malzemedir. Ahşabın özellikleri ağaç türleri arasında, yetiştirme ortamları arasında ve tek bir ağacın gövdesi içerisinde bile değişebilmektedir. Ahşabın özellikleri yöne bağlı olarak ta değişkenlik göstermektedir. Ahşaptan tam olarak yararlanabilmek ve yeni ürünler elde edebilmek için onun *kimyasal, anatomik, fiziksel ve mekanik* özelliklerinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir.

Bu kitabının hazırlanma amacı da, yapı malzemesi olarak ahşap ve ahşap esaslı malzemeler hakkında gerekli temel teknik bilgileri vermektir. Kitabın hazırlanmasında harcadıkları zaman ve çaba için, konusunun uzmanı olan bölüm yazarlarına şükranlarımı sunar, bu kitabın Orman Endüstri Mühendisleri, Orman Mühendisleri, Mimarlar, İç Mimarlar, İnşaat Mühendisleri ve ahşap ile uğraşan herkese faydalı olmasını dilerim.

Prof. Dr. Turgay AKBULUT

GİRİŞ

Ahşap, insanlık tarihinin en eski yapı malzemelerinden biri olarak yüzyıllardır mimaride, mühendislikte ve günlük hayatta vazgeçilmez bir yer tutmaktadır. Temel olarak ormanlardan elde edilen ve doğal bir ürünü olan ahşap, hem estetik özellikleri hem de fiziksel ve mekanik performansı ile kendine özgü bir karakter taşır. Ancak ahşabın özellikleri ağaç türleri arasında çok büyük farklılıklar gösterebilmektedir. Yenilenebilir bir kaynak olması, çevre dostu nitelikleri ve çeşitli yapı uygulamalarına uygunluğu nedeniyle, modern mühendislikte sürdürülebilir malzeme arayışlarının ön saflarında yer almaktadır.

Ahşap, doğası gereği birçok avantaj sunan bir malzemedir. Lifli yapısı sayesinde yüksek çekme ve basınç dayanımına sahiptir. Bu özellikleri, ahşabı sadece estetik açıdan değil, aynı zamanda yapısal açıdan da cazip bir seçenek haline getirir. Ahşap, içeriğindeki selüloz ve lignin gibi bileşenler sayesinde düşük yoğunluğuna rağmen yüksek mukavemete sahiptir. Ayrıca, düşük yoğunluğu ile hafif ve işlenebilir bir malzeme olmasının yanı sıra, doğal lif yapısı sayesinde ısı ve ses yalıtımı konularında da etkin bir performans sergiler.

Ahşap, diğer yapı malzemelerine göre daha düşük karbon ayak izine sahiptir. Ormanların sürdürülebilir şekilde yönetilmesi ve ahşap ürünlerinin geri dönüştürülebilir olması, çevresel etkilerini minimuma indirir. Ahşap, karbon döngüsünde önemli bir rol oynar; ağaçlar büyüdükçe atmosferden karbon dioksiti absorbe eder ve oksijen üretirler. Bu döngü, ahşabı çevre dostu bir seçenek haline getirir ve iklim değişikliği ile mücadelede etkin bir araç olarak öne çıkarır.

Günümüzde ahşap gerek masif olarak gerekse mekanik, kimyasal ve biyolojik yöntemlerle işlenmek suretiyle binlerce ürünün elde edilmesinde kullanılmaktadır.

Günümüzde ahşap, geleneksel yapılarla sınırlı kalmayıp, çeşitli tekniklerle yeni malzemelere dönüştürülüp modern mühendislik uygulamalarında da geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Bu amaçla LVL (Lamine kaplama kereste) ve CLT (Çapraz lamine kereste) gibi gelişmiş mühendislik ürünleri, büyük ölçekli ve yüksek performanslı yapı projelerinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yenilikçi ürünler, ahşabın geleneksel sınırlarını aşarak daha yüksek mukavemet, dayanıklılık ve esneklik sunar. Ayrıca, ahşap esaslı ürünler, akustik performans, yangın direnci ve estetik çeşitlilik gibi birçok farklı kriterde başarılı sonuçlar vermektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının ve çevresel sürdürülebilirlik yaklaşımlarının önemi arttıkça, ahşap malzemenin önemi de giderek artmaktadır. Ahşabın sürdürülebilirliği, çevresel dostluğu ve teknik avantajları, modern mühendislik ve yapı sektörü için kritik bir malzeme olarak gelecekte de öne çıkmasını sağlamaktadır. Ahşap, sürdürülebilir tasarım ve inşaat uygulamalarında yenilikçi çözümler sunarak, gelecek nesiller için hem ekolojik hem de ekonomik avantajlar sağlamaya devam edecektir.

Bu kitap, ahşabın anatomik, fiziksel ve mekanik özelliklerinden başlayarak, kurutulması, işlenmesi, korunması, yapıştırılması, yeni ürünlere dönüştürülmesi, mühendislikteki çeşitli uygulamalarına ve sürdürülebilirlik potansiyeline kadar geniş bir perspektif sunmayı amaçlamaktadır. Ahşabın teknik detaylarına, yenilikçi uygulamalarına ve gelecek projeksiyonlarına yönelik bilgiler sunarak, mühendislikteki rolünü ve potansiyelini derinlemesine incelemeyi hedeflemektedir.

BÖLÜM 1

AHŞAP: DOĞAL VE YENİLENEBİLİR MÜHENDİSLİK MALZEMESİ

Muvaffak Osman ENGÜR
Türker DÜNDAR
Turgay AKBULUT

Ahşap: Doğal ve Yenilenebilir Mühendislik Malzemesi

Wood: A Natural and Renewable Engineering Material

BÖLÜM HAKKINDA

Çevre duyarlılığı, sürdürülebilirlik prensibi, geri dönüşüm, depreme dayanıklılık, enerji tüketimi, karbon tutma gibi konuların büyük önem arz ettiği günümüz dünyasında ahşabın değeri daha iyi anlaşılmaya başlandı. Günümüzde ahşap gerek masif olarak gerekse mekanik, kimyasal ve biyolojik yöntemlerle işlenmek suretiyle binlerce ürünün elde edilmesinde kullanılmaktadır. Hemen hemen her bölgede bulunması, kullanım çeşitliliği, kolay işlenebilmesi, estetik ve yenilenebilir olması, ahşabın kıymetli bir malzeme olarak kabul görmesini devam ettirmektedir.

Anahtar kelimeler: Orman, ahşap, sürdürülebilirlik, geri dönüşüm, yenilenebilirlik

ABOUT the CHAPTER

In today's world where issues such as environmental awareness, sustainability principle, recycling, earthquake resistance, energy consumption, carbon sequestration are of great importance, the value of wood has started to be better understood. Today, wood is used in the production of thousands of products both as a solid and by processing with mechanical, chemical and biological methods. The fact that it is found in almost every region, its diversity of use, easy processing, aesthetic and renewable, continues to be accepted as a valuable material.

Keywords: Forest, wood, sustainability, recycling, renewable

Giriş

Mucizevi Bir Malzeme: Ahşap

Ahşap özel bir malzemedir. İnsan elinin ahşapla çalışma becerisi çok eski zamanlardan bu yana o kadar gelişmiştir ki "ahşapla olan ilişki insan doğasının yadsınamaz bir parçasıdır" denilebilir. Ahşabı bir malzeme olarak ele almak, insan bedeni tarihinin yanı sıra insan işçiliği tarihinin de temel bir unsurudur.

Ahşap, kemik ve taş gibi malzemelere kıyasla daha kolay ve daha hızlı degradasyona uğradığı için, tarih öncesi buluntularda ahşaba rast gelmek olağandışı bir durumdur. Şimdiye kadar keşfedilen en eski ahşap ürün, Almanya'da Schöningen kentindeki bir kömür madeninde bulunan 400.000 yıllık yedi ahşap mızraktır (Schmitt vd., 2005). Bunlar açık ara dünyanın bilinen en eski ahşap aletleridir. Bu mızraklar, ahşap işçiliğinde inanılmaz bir ustalığa tanıklık etmekte ve ilk insanların ahşap malzeme ile uğraşırken nasıl bir mükemmellik geliştirebildiklerini açıkça ortaya koymaktadırlar.

Arkeolojik çalışmalar ve tarih araştırmaları incelendiğinde "ahşap kültürü" ya da "ahşap çağı" çok uzun bir zaman dilimini oluşturmakta ve taş devrinden 18. yüzyıla kadar binlerce yıla yayılan dönemi kapsamaktadır. J. Radkau (2018) "Holz" isimli kitabında bu dönem için "ahşap, ahşap, her yerde ahşap!" ifadesini kullanmaktadır. Binlerce yıl boyunca ahşap, birçok endüstri için en önemli, genellikle yakıt amaçlı tek, yapılar, donatılar ve eşyalar içinse temel malzeme olmuştur. Ahşap özelinde geriye dönüp tüm dünya tarihine baktığınızda; odun kesiciler, salcılar, kömür yakıcılar, potas üreticileri ve ormandaki cam ustaları ile başlayıp, tuz yapıcılara, izabe ve demircilere, marangozlara, vagon yapımcıları, bakırcılar, kaplamacılar, oymacıların ve gemi yapımcılarının yüksek sanatına kadar uzanan birçok farklı meslek görebilirsiniz. Öte yandan kara sabandan değirmen çarkına, saldan kadirgaya, kömürden kâğıda kadar uzanan geniş kullanım alanıyla gizli bir kahraman gibi medeniyetlerin gelişiminde adeta bir başrol oynamıştır. Günümüze gelinceye kadar ise teknolojik gelişmelere paralel olarak kullanımı artmış ve önemini asla kaybetmemiştir. Sürdürülebilir bir şekilde yenilenebilir kaynaklardan elde edilen doğal bir malzeme olması, küresel ısınma ve iklim değişikliği açısından masumiyeti nedeniyle yoğun



Muvaffak Osman Engür¹

Turgay Akbulut²

Türker Dündar²

¹ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Orman Biyolojisi ve Odun Koruma Teknolojisi Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

² İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Odun Mekanikliği ve Teknolojisi Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

E-posta: engur@iuc.edu.tr

dundar@iuc.edu.tr

takbulut@iuc.edu.tr

Bu bölümü alıntıla / Cite this chapter as:
Engür, O. Akbulut, T. Dündar, T. (2024) Ahşap: Doğal ve Yenilenebilir Mühendislik Malzemesi. T. Akbulut (Ed.), *Ahşap: Doğal ve yenilenebilir mühendislik malzemesi* içinde (s. 1-10) İstanbul: İÜC Üniversite Yayınevi



CC BY 4.0: Telif hakkı yazarlardadır. Bu kitabın içeriği Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası lisans altında lisanslanmıştır.

kullanımı için yapılan övgüler ve destek, onu içinde bulunduğumuz yüzyılda kulağa çok daha hoş gelen retorik bir figür haline getirmiştir.

Ahşap farklı bilim dallarınca çeşitli şekillerde tanımlanmıştır. Bu tanımların en önemlileri aşağıda sıralanmıştır:

Ahşap, ağaçlarda sadece karbondioksitin fotosentetik fiksasyonu ile üretilen ve yeryüzünde en fazla bulunan yenilenebilir ve geri dönüşüm yapılabilir bir biyokaynağın biyolojik küttesidir.

Ahşap, hem iğne hem de geniş yapraklı ağaçların vaskular kambiumunda hücre bölünmesiyle meydana gelen sekonder ksilemdir (Hickey ve King, 2001).

Ahşap, iki ana komponent olan karbonhidratlar (selüloz, hemiselüloz) ve lignin ile iki yan komponent olan organik ekstraktifler ve inorganik minerallerden oluşan heterojen bir materyaldir (Pettersen, 1984).

Ahşap, selüloz, lignin, hemiselüloz ve ekstraktiflerin kimyasal bir kompleksi olan doğal kompozit bir materyaldir.

Ahşap, üç boyutlu ligno-selülozik bir polimerdir (Rowell vd., 2005).

Ahşap, çevre ve insan dostu doğal bir malzemedir.

Ahşap, yapı malzemesi, selüloz ve kağıt, enerji/yakıt olarak kullanılan insan için en temel hammaddelerden biridir.

Ahşap, anizotropik, higroskopik, poröz, viskoelastik, biyolojik yolla bozunabilir, yanabilir, kompost yapılabilir, çevrilebilir, ağırlığına oranla yüksek dirençli, iyi izolasyon özelliklerine (ses, ısı ve elektrik) sahip, yapısı boşluklu, moleküler tabakalı malzemedir.

Ahşap – Yenilenebilir ve Doğal Bir Malzeme

Ormanlar peyzajımızı şekillendirir, toprağı erozyona karşı korur ve insanlar ve hayvanlar için yaşam alanlarını güvence altına alır. İklimi zarar veren CO₂'yi bağlarlar, aynı zamanda yaşam için hayati olan oksijeni serbest bırakırlar. Temiz hava ve saf yeraltı suyu sağlarlar. Çevre ve iklim korumasının mevcut zorlukları göz önüne alındığında, ormanın bu işlevleri en yüksek değere sahiptir. Tüm bunların yanında orman, ahşap için adeta bir "fabrika"dır (Şekil 1). Bu fabrikada, odun hammaddesi çevre dostu bir malzeme olarak sürekli üretilir.

Şekil 1

Ormanlar, doğal, çevre dostu ve yenilenebilir odun hammaddesinin kaynağıdır



Ağacın bir malzeme kaynağı olarak dikkatli ve akıllı kullanımı, ormana değerini verir ve böylece onun aşırı sömürülmesini ve yok edilmesini engeller. Türkiye'de düzenli ormancılık uzun yıllardır varlığını sürdürmektedir. Temel ilkelerden biri, tekrar büyüyecek olandan daha fazla odun kesilmemesidir. Bu amaçla ilk kez ormancılık özelinde geliştirilen sürdürülebilirlik kavramı, bugün itibarıyla küresel olarak da önem kazanmıştır ve genel olarak birkaç yıldır kaynak koruma, enerji azaltma ve modern çevre koruma prensipleri açısından hammaddelerin çıkarılması ve işlenmesi için kullanılmaktadır. Orman yönetimi ilkeleri, yakın geçmişte orman sertifikasyon sistemlerinin tanıtılmasıyla ve yaygınlaşmasıyla daha da geliştirilmiştir.

Türkiye orman varlığı 23.110.000 hektar ile ülke yüzölçümünün yaklaşık % 29,6'sını kaplamaktadır. Bu alan içerisinde normal kapalı orman alanı (verimli orman) 13.500.000 hektar ile toplam ormanlık alanının % 58,42'sini, boşluklu kapalı orman alanı ise 9.610.000 hektar ile toplam ormanlık alanının (verimsiz/bozuk orman) % 41,58'sini oluşturmaktadır (OGM, 2022). Orman Genel Müdürlüğü (OGM) tarafından boşluklu kapalı orman olarak ifade edilen "bozuk orman" alanları, her ne kadar orman alanı olarak gösterilse de uluslararası orman tanımlarına göre orman sayılmamakta daha çok ağaçlık alan olarak kabul edilmektedir.

Dünya'da orman alanları 2010–2020 yılları arasında en fazla artan ülkeler arasında, Türkiye 6. sırada yer alırken toplam ormanlık alan bakımından ise 27. sırada yer almaktadır (FAO, 2020). Avrupa kıtasında büyük ormanlık alana sahip ülkelerden birisidir. Bu ormanlık alanın % 40'ı meşe, kayın, kızılçam, kestane, gürgen gibi geniş yapraklı ağaç türlerinden, % 60'ı ise kızılçam, karaçam, sarıçam, göknar, ladin, sedir gibi iğne yapraklı ağaç türlerinden oluşmaktadır. Türkiye ormanlarında şu anda toplam dikili ağaç serveti yaklaşık 1,72 milyar m³ ve odun hammaddesi verim gücünün bir göstergesi olan yıllık artım ise 47,6 milyon m³ düzeyindedir.

Türkiye'de 2017–2021 yıllarını kapsayan döneme ilişkin endüstriyel odun ve yakacak odun üretim miktarları Tablo 1'de verilmiştir. Türkiye ormanlarında 2022 yılı üretim programı kapsamında 25.480.940 m³ endüstriyel odun ve 6.128.791 ster (4.290.154 m³) yakacak odun olmak üzere toplam 29,8 milyon m³ odun üretimi gerçekleştirilmiştir. Odun üretimi 2022 yılında bir önceki yıla göre küçük bir miktar azalmakla birlikte son 5 yıl içinde toplam odun üretimi % 70'ten fazla artış göstermiştir (OGM, 2022).

Tablo 1

Türkiye'de Endüstriyel ve Yakacak Odun Üretim Miktarları (2018- 2022)

Odun Üretiminin Cinsi	2018	2019	2020	2021	2022
Endüstriyel odun üretimi (m ³)	19.080.137	22.113.249	24.751.066	27.735.268	25.480.940
Yakacak odun üretimi (Ster)	4.890.455	5.589.798	5.396.680	5.487.368	6.128.791

Türkiye'de ürün çeşitleri itibarıyla endüstriyel odun üretim miktarlarının son beş yıl içindeki değişimi Tablo 2'de verilmiştir. 2022

Tablo 2

Türkiye’de Ürün Çeşitleri İtibariyle Odun Üretim Miktarları (2018- 2022)

Endüstriyel Odun Çeşitleri (m3)	2018	2019	2020	2021	2022
Tomruk	7.152.776	8.514.026	9.790.637	10.327.486	8.609.521
Tel direk	71.147	58.333	68.298	99.211	72.372
Maden direk	731.604	929.259	1.070.533	1.254.837	957.835
Sanayi odunu	875.403	1.008.952	1.092.798	1.195.476	1.031.331
Kâğıtlık odun	2.874.882	3.175.505	3.609.978	4.453.280	5.387.855
Lif yonga odunu	7.361.714	8.417.096	9.105.038	10.388.354	9.411.013
Sırk	12.611	10.078	13.784	16.624	11.013

yılında nitelikli ürün olarak değerlendirebileceğimiz tomruk, tel direği ve maden direği üretimi toplam endüstriyel odun üretiminin %38’ini oluştururken, kalan %62’lik kısım lif yonga, sanayi odunu ve kâğıtlık odundan oluşmaktadır. Son yıllarda orman endüstrisinin ihtiyaçlarını ulusal kaynaklardan karşılama isteği ve Türkiye’de lif levha ve yonga levha fabrikalarının hızlı bir büyüme göstererek orman ürünleri endüstrisinde küresel birer oyuncuya dönüşmeleri endüstriyel odun üretimi artışında önemli bir etken olmuştur.

Ahşap – Karbon Deposu

Tüm dünya ormanlarında olduğu gibi, Türkiye ormanlarındaki; ağaçlarda, topraklarda, ölü örtü ve ölü odunda karbon depolanmakta, depolanan karbon ise küresel ısınmaya neden olan emisyonları emen bir işlev görmektedir. Bu nedenle, ormanlarda depolanan karbon miktarındaki değişim ülkelerin küresel katkıları olarak yorumlanmaktadır. Türkiye ormanlarındaki ağaçlarda depolanmış karbon stoklarının 2015 yılında 642.768.241 ton C (2,4 milyar ton CO₂ eşdeğeri) olduğu hesaplanmıştır. Ağaçlarda yıllık olarak 13,4 milyon ton C/yıl (49,0 milyon ton CO₂ eşdeğeri) karbon biriktirilmektedir (TOD, 2019). Toplamda ise Türkiye ormanlarındaki karbon havuzlarında (torak üstü ve altı bitkisel kütle, ölü örtü, ölü odun, toprak) 1,99 milyar ton karbon depolandığı hesaplanmıştır (Tolunay vd., 2018). 2016 yılı sonu itibarıyla Türkiye’de toplam sera gazı salımlarının 496 milyon ton CO₂ eşdeğeri olduğu dikkate alındığında, orman ağaçlarımız toplam sera gazı salımlarımızın ancak %10’unu karşılamaktadır.

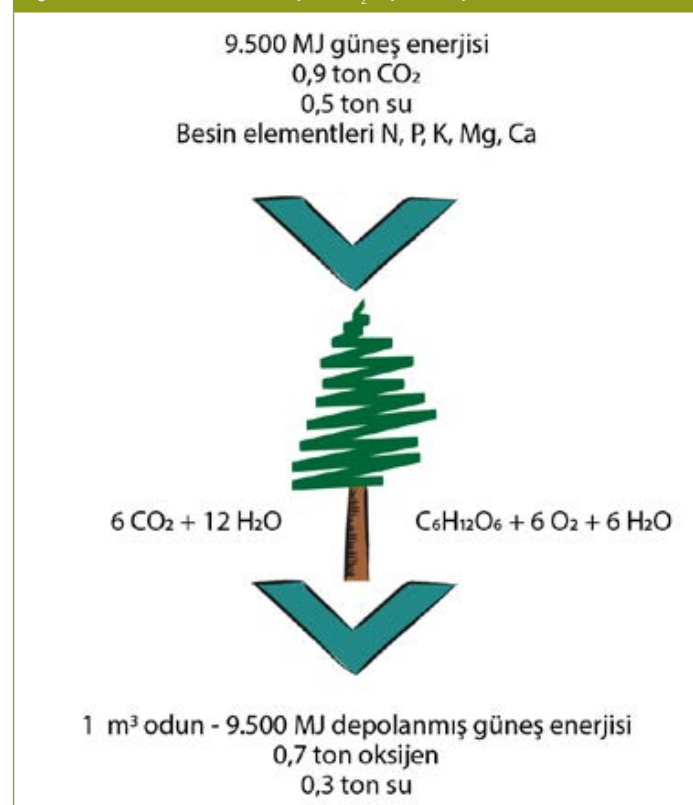
Türkiye’de karbon ayak izinin düşürülmesinde ormanlar ve ahşaptan üç şekilde faydalanılır:

- ormanda CO₂ tutulması;
- ahşap ürünlerde CO₂ depolanması;
- ahşap kullanımı ile üretimde ihtiyaç duyulan fosil kaynaklı enerji tüketiminin azaltılması.

Ağaç büyürken, iklime zarar veren en yaygın sera gazı olan CO₂’yi atmosferden emer ve güneş enerjisi yardımıyla fotosentez süreciyle biyokütle - hidrojene bağlı karbon bileşiklerine- dönüştürür (Şekil 2). Emilen karbon, ağaçlar ölünceye ve çürüye- ne veya bir orman yangınında yanana kadar “biyojenik karbon” olarak depolanır, bu noktada karbon atmosfere geri salınır. Daha az bilinen ise, ağaçların ahşap üretmek için karbon (CO₂) kullandığı ve ahşaptan yapılan ürünlerin var oldukları sürece karbon

depolamaya devam ettiği gerçeğidir. Ormanlar yetişkinlik evresine geldiklerinde tutulan karbon ile çürüme nedeni ile (yaprak, dal, ölen bireyler vb.) ayrılan karbon dengelenmekte, yaşlı ormanlarda ise atmosfere salınan karbon, tutulan karbondan daha fazla olmaktadır. Dolayısıyla erişkinlik çağına gelen bir ormandan sürdürülebilir orman yönetimi ilkeleri çerçevesinde endüstriyel odun hammaddesinin üretilmesi ve bunların örneğin ahşap yapılar gibi uzun ömürlü ürünlere dönüştürülmesi ile depolanan karbon uzun süre bu yapılar içerisinde hapsedilmiş olacaktır. Ahşabın kuru ağırlığının yarısı karbondur. Dolayısıyla bir ahşap yapı ya da mobilya üretildiğinde, yaratılan şey sadece kullanışlı bir ürün değil, aynı zamanda bir karbon deposudur. Özellikle ahşap yapılar karbonun kitlesel olarak depolandığı önemli kullanım alanlarıdır. Ahşap yapılar ya da ahşaptan yapılmış ürünler uygun koşullarda

Şekil 2

Ağaçlarda fotosentez süreciyle CO₂ biyokütleye dönüşür

yüzlerce yıl dayanabilmektedir. Kesilen ağaçların yerine yenilerinin yetiştirilmesi ile gençleşen orman karbon döngüsüne pozitif katkı sağlamaya devam edecektir.

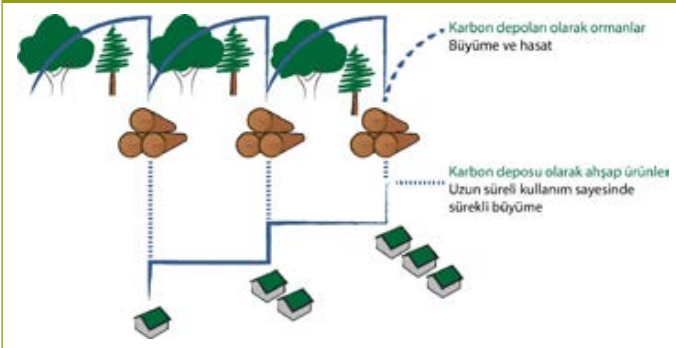
Ahşabın büyük miktarlarda karbonu uzun süre depolayabilmesi, ahşabı diğerlerinden ayırır ve plastik, çelik, beton gibi diğer malzemelere göre önemli bir avantaj sağlar. Ahşap yalnızca büyük miktarlarda karbon depolamakla kalmaz, aynı zamanda yararlı ürünlere dönüştürülmesi, diğer malzemelerin üretimine kıyasla önemli ölçüde daha düşük sera gazı emisyonlarıyla sonuçlanır. Bunun nedeni, ağaçların güneş enerjisi kullanarak ahşabı oluşturmaları ve bir kez oluşturulduktan sonra ahşap ürünler üretmek için nispeten daha az ek enerjiye ihtiyaç duyulmasıdır.

Sürdürülebilir orman yönetimi stratejisi ve sürdürülebilir şekilde hasat edilen ahşap, son derece büyük bir karbon deposudur. Ahşabın kullanımı sürdürülebilirliği sağlar ve havadaki karbonu bağladığı için iklimin korunmasına yardımcı olur. Her ahşap ürün, bir CO₂ deposu olarak adlandırılır. Ahşap ürünü; masif ahşap veya ahşap esaslı bir malzeme (örneğin kontrplak, OSB, yongalevha ve lif levha) olarak mümkün olduğunca uzun süre kullanmak suretiyle bu olumlu etki uzatılır (Şekil 3).

Ahşap ve ahşap artıkları birkaç kez geri dönüştürülebilir ve yeni, yüksek kaliteli ürünlere dönüştürülebilir. Amaç her zaman ahşabı kaynak zincirinde mümkün olduğu kadar uzun süre tutmaktır. Bu "kademeli" kullanımın sonunda termal geri dönüşüm vardır. Çeşitli araştırmalar, iklim değişikliğinden korunma için kademeli kullanımın ne kadar tutarlı ve mantıklı bir yol olduğunu göstermektedir (Rissea vd.,2017).

Şekil 3

Ormanlarda depolanan karbon ahşap ve ahşap ürünlerde depolanmaya devam eder.



Ahşap – Enerji Etkin Bir Malzeme

Ahşabı kullanmanın bir başka avantajı da, üretimi için çok fazla enerji tüketilen diğer malzemelerin yerine kullanılabilmesidir (ikame edilmesi). Tablo 1.3, bazı yapısal malzemelerin üretimindeki net karbon emisyonlarını göstermektedir. Kereste üretimi, örneğin alüminyum, plastik veya çeliğin üretimi için madencilik ve imalatla ihtiyaç duyulan enerjinin çok daha küçük bir kısmını kullanır. Böylece bir ahşap ürün, bünyesinde doğrudan hapsedtiği karbonun yanı sıra, bir de enerji tüketimi kaynaklı gömülü karbon ile karbon ayak izine olumlu katkı sağlamaktadır. Örneğin bir ahşap yapıda 1 ton (2 m³) ladin kerestesi kullanımı ile 1,8 ton CO₂ doğrudan ve 3,8 ton CO₂'de gömülü enerji kaynaklı olarak (ikame etkisi) toplam 5,6 ton CO₂ bağlanmış olacaktır (Salthammer ve Marutzky, 2013).

Tablo 3

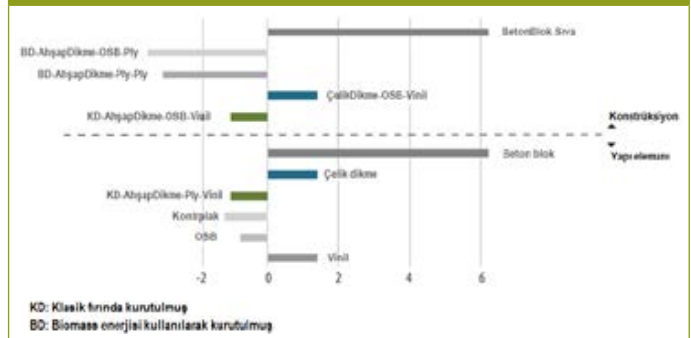
Bazı malzemelerin üretiminde net karbon emisyonu miktarları (U. S. Environmental Protection Agency, 2023)

Malzeme	Üretimde Net Karbon Emisyonu (kgC/ton)
İğne yapraklı yapısal ahşap	33
Tuğla	88
Cam	154
Geri dönüştürülmüş çelik	220
Beton	265
Beton blok	291
Geri dönüştürülmüş alüminyum	309
Çelik	694
Plastik	2502
Alüminyum	4532

Şekil 4, bir yapıda yaklaşık 1 metrekairelik bir duvar için çelik, beton ya da ahşap kullanılması durumunda net karbon emisyonlarını karşılaştırmaktadır. Görüldüğü gibi 0,1 metrekairelik duvar inşası için ahşap dikme, kontrplak ve OSB kombinasyonu kullanılması durumunda 2-4 kg arasında CO₂ depolanırken aynı duvar beton blok-sıva kombinasyonu ile inşa edildiğinde 6 kg'dan fazla CO₂ salımı söz konusudur. Ahşap kullanımının ikame etkisi ile birlikte 8-10 kg CO₂ tutulması mümkün olacaktır.

Şekil 4

1 metrekaire duvar inşası için farklı malzemelerin CO₂ emisyon miktarları



Açıklama notu. Lippke B, Edmonds L, 2009. Building with Wood – Proactive Climate Protection, https://www.dovetailinc.org/report_pdfs/2015/building_with_wood.pdf kaynağından uyarlanmıştır.

Ahşap kullanımı örneğin Almanya'da CO₂ emisyonlarını yaklaşık %15 oranında azaltmaktadır (Albrecht vd., 2008). CO₂'nin depolanması gelecekte CO₂ dengesine dahil edileceğinden, ahşap malzeme kullanımının yaygınlaşması ulusal CO₂ azaltma hedeflerine ulaşılmasına yardımcı olur. Sonlu hammaddeler yerine yenilenebilir temellere dayanan daha fazla ahşap kullanımı, iklim değişikliğini yavaşlatan ve dolayısıyla herkes için sürdürülebilir bir vizyonu temsil eden yeni bir sosyal ve ekonomik sistemin (biyoekonomi) temel ayağıdır. Ahşap bir yapının karbon bakiyesi metrekaire başına 114 ila 151 kg CO₂ iken, betonarme bir yapı için ise metrekaire başına 292 kg CO₂ olduğu hesaplanmıştır (Dodoo vd., 2009).

Ahşap Ürünler ve Yaşam Boyu Değerlendirme

Ürünlerin üretimlerinin ve kullanımlarının çevresel etkileri ve kullanım ömürlerinin sonunda ürünlerin nasıl bertaraf edileceği konusunda artan bir ilgi bulunmaktadır. Yaşam Boyu Değerlendirme (Life Cycle Assessment-LCA), bir ürün, hizmet, uygulama ya da sürecin yaşam döngüsü boyunca, doğrudan veya dolaylı olarak oluşturduğu çevresel ayak izinin hesaplandığı çok adımlı ve kapsamlı bir çalışmadır ve bir çok ülke için sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için karar verme süreçlerine katkı yapar.

Bir ahşap ürünün yaşam döngüsü bir ağaç tohumunun çimlenmesi ile başlar ve ağacın büyümesi, hasat edilmesi, ürünün imalatı ve kullanılması ile devam eder. Ahşap ürün kullanımının eko-verimliliğini doğru bir şekilde anlamak için orman ekosistemlerinin dikkate alınması esastır (Sathre, 2014). Çelik, beton gibi teknolojik prosesler ile fabrikalarda üretilen insan yapımı malzemelerin aksine ahşap, ormanlarda ağaçlar tarafından biyolojik bir süreç sonucunda üretilen doğal bir malzemedir. Canlı ağaçlar tarafından üretilen ahşap daha sonra hasat edilerek çok çeşitli ürünlerin üretiminde kullanılabilir. Ahşap esaslı bir ürünün çevresel değerlendirmesi ahşabın sürdürülebilir bir ormanlık faaliyeti sonunda elde edilmiş olmasını gerektirir.

Ahşap esaslı ürün imalat sistemlerinin çevresel etkilerini belirlemeye ve değerlendirmeye yönelik temel prosedürler, sistem sınırlarının fonksiyonel birim ve taksis yöntemlerinin yanısıra ilgili yaşam döngüsü envanterleri (LCI) verilerinin toplanması ve işlenmesini içerir (Sathre, 2014). Beşikten kapıya LCA çalışmaları doğal kaynağın elde edilmesinden fabrika çıkış kapısına kadar olan tüm süreçleri kapsar ve ürünün kullanımını ve ömrü sonunda bertaraf edilmesi sürecini değerlendirme dışında bırakır. Beşikten mezara yaklaşımı ise ürünün kullanımı, bakımı ve kullanım süresi sonunda imha edilmesi süreçlerini de değerlendirmeye dâhil eder. LCA değerlendirmesinin başarısı yaşam döngüsü envanter verilerinin doğruluğu ve yeterliliğine bağlıdır.

Malzemelerin, bileşenlerin ve binaların ekolojik değerlendirmesi genellikle yaşam boyu değerlendirme yöntemi kullanılarak yapılır. Metodoloji ISO 14040'ta tanımlanmıştır. Örneğin bir yapının yaşam boyu değerlendirmesinde tüm süreç dikkate alınır. Bunlar; hammadde madenciliği, malzeme üretimi, yapı malzemelerinin taşınması, onarım ve yenileme çalışmalarının yanı sıra binanın yıkımı veya sökülmesi için birincil enerji içeriğidir. Binaların yaşam döngüsü değerlendirmesi, yaşam döngüsü değerlendirme araçları olarak da bilinen programlarla makul bir çabayla mümkündür.

Ahşap ya da ahşap kökenli ürünlerin iklim değişikliği konusundaki avantajları ve karbon ayak izi analizleri LCA yoluyla gösterilebilir. Ahşap kökenli ürünler için kapsamlı LCA, özellikle birçok ahşap dışı alternatiflere kıyasla aşağıdaki faktörlerden dolayı daha karmaşıktır (Gustavsson ve Sathre, 2011; Perez-Garcia vd., 2005):

- Orman büyümesi ve binaların yaşam süresini içeren uzun zaman çerçevesi,
- Ormanın büyümesi sırasında aralama ürünleri, orman hasadı sırasında birincil ürünler ile yan ürünler ve bina ömrünün sonundaki yanıcı kalıntılar dâhil olmak üzere, zaman içinde farklı noktalarda elde edilen faydalı yan ürün yelpazesi,
- Karışık ormanlarda farklı türlerin farklı kullanımları

olduğundan, bir ağaçtan (örneğin kerestelik tomruk, kaplamalık tomruk ve kâğıtlık odun) ve bir ormandan elde edilebilecek geniş ürün yelpazesi,

- Karbon tutma dâhil olmak üzere orman yönetimi ve çevre hizmetleri arasındaki karmaşık ilişki,
- Yeniden kullanım ve geri dönüşümü kapsayan yaşam döngüsünün karmaşıklığı,
- Çeşitli ahşap ürünlerin kullanım ömrüne ilişkin veri eksikliği.

İnşaat sektöründeki ahşap bazlı ürünlerin sayısız yaşam döngüsü değerlendirmesinden (LCA) elde edilen kanıtlar, genel olarak ahşap ve ahşap kökenli malzemelerin, ürünün tüm yaşam döngüsü boyunca (kullanım ve imha dahil) rakip malzemelerden daha düşük emisyon ayak izine sahip olduğunu göstermektedir (Carre, 2011; Durlinger vd. 2013; FAO, 2016). Ahşap malzemelerin üretim aşaması, aynı işlevi gören ahşap olmayan malzemeler ile karşılaştırıldığında daha düşük sera gazı emisyonları ile sonuçlanır. Hizmet ömrünü tamamlamış ahşap ürünlerin yanı sıra ahşap ürün değer zinciri boyunca üretilen biyokütle atıklarının sorumlu yönetimi, ahşap ürün kaynaklı yüksek sera gazı salınımı için kritik öneme sahiptir.

Ormanların ve orman plantasyonlarının sürdürülebilir yönetimi, ahşabın diğer malzemelerin ve enerji kaynaklarının yerine kullanılması temel taşıdır. Sürdürülebilir orman yönetiminin iyi kurulduğu ve uzun vadede orman stoklarının geliştirilmesine çok dikkat edildiği ülkelerde – özellikle gelişmiş ülkeler ve diğer bazı orman bakımından zengin ülkelerde – sürdürülebilir bir odun arzı mümkündür.

Ahşap ürünlerin ikamesi üzerine yapılan 21 çalışmanın analizi (Gustavsson vd. 2016) aşağıdaki sonuçları ortaya koymuştur:

- Çoğu araştırma, ahşap ürünlerin, ürünün tüm yaşam döngüsü boyunca (kullanım ve imha dâhil) alternatiflerinden daha düşük sera gazları (SG) emisyonuna sahip olduğunu göstermektedir.
- Ahşap bazlı malzeme ve ürünlerin üretim aşaması, işlevsel olarak karşılaştırılabilir ahşap olmayan malzeme ve ürünlerin üretim aşamasına göre daha düşük SG emisyonları ile sonuçlanır.
- Ömrünü tamamlamış ahşap ürünler ile ahşap ürün değer zinciri boyunca üretilen atıkların sorumlu yönetimi, ahşap ürünlerden yüksek sera gazı salınımı için kritik öneme sahiptir.
- Bir binanın yaşam döngüsü içerisinde, kullanım aşamasında ortaya çıkan sera gazı etkileri, genellikle yapım ve bertaraf aşamalarından daha fazladır. Bu durum, ürünlerin ve binaların sera gazı etkilerini en aza indirmenin, üretim, kullanım ve bertaraf dâhil olmak üzere tüm yaşam döngüsünün dikkate alınmasını gerektirdiğini gösterir.
- Tahmini sera gazı ikame etkileri, artan hasata atfedilebilen ormandaki değişiklikleri hesaba katmak için kullanılan mevcut duruma, yöntemlere ve varsayımlara bağlı olabilir (Gustavsson ve Sathre, 2006; Upton vd., 2008).
- Birçok karbon ayak izi çalışması, hasat ve yeniden büyümenin dengede olduğu ve ormandan net karbon akışının sıfır olduğu, sürdürülebilir bir şekilde yönetilen ormanlardan elde edilen ahşabın kullanımını içerir veya varsayılır (birkaç yaygın olarak kabul edilen standartta kullanılan bir yaklaşım [Greenhouse Gas Protocol, 2011; ISO, 2013]).

- Son zamanlardaki ilgi, yüksek katlı binalarda ahşap kullanımına odaklanmıştır. Bununla birlikte, orta yükseklikteki binalar (dört ila on katlı), daha yaygın oldukları ve dolayısıyla daha büyük bir malzeme hacmi temsil ettikleri için genel olarak daha büyük azaltma potansiyeline sahip olabilir.

Ahşap - Orman ve Sürdürülebilirlik

Sürdürülebilir orman yönetiminin en önemli önceliği, yeniden büyüebileceklerinden fazlasını kullanmamaktır. Sürdürülebilir bir şekilde yönetilen ormanların sertifikasyonu ve sürdürülebilir kaynaklardan elde edilen ahşabın kanıtlanması son yıllarda önemli bir konu haline gelmiştir. Orman sertifikasyonu, bağımsız üçüncü bir tarafın (onaylayıcı) orman yönetimi ve üretiminin kalitesini, ulusal veya özel bir sertifikasyon kuruluşu tarafından önceden belirlenmiş bir dizi gereksinime (standart) göre değerlendirdiği gönüllü bir süreçtir. Orman sertifikasyonu ve ilgili etiketleme, ahşap ve diğer orman ürünlerinin üretildiği ormanların sürdürülebilirliği hakkında tüketicileri bilgilendirmenin bir yoludur. Toplamda, Türkiye verimli orman alanının yaklaşık yüzde 61'i, zaten orman yasasının katı gerekliliklere ek olarak bağımsız sertifika kriterlerine göre yönetilmektedir.

Türkiye'deki sertifika sistemi "Orman Yönetim Konseyi" olarak bilinen FSC (Forest Stewardship Council) sistemidir. FSC dünya çapında en yaygın sertifika sistemlerinden birisidir (diğeri PEFC-Orman Sertifikasyon Planlarının Onaylanması Programıdır). Türkiye'de FSC sertifikalı orman alanları 2022 yılı itibarıyla 14 Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı 100 orman işletme müdürlüğünde 8,27 milyon hektardır (FSC, 2023). Türkiye'de üretilen yuvarlak odun üretiminin yaklaşık %44'ü sertifikalı ormanlardan gelmektedir (OGM, 2023). Sertifika ile tüketicilere, kullandıkları ahşap veya ahşap kökenli ürünlerin, doğru ve sorumlu ormancılık kurallarına göre yönetilen ormanlardan elde edilen hammaddelerden üretiltiğinin güvencesini verirler.

Ahşap, Türkiye'de önemli hammaddedir ve sürdürülebilir bir şekilde mevcuttur. Ormanda yetişir ve orada sürdürülebilir bir şekilde çoğalır. Her yıl Türkiye ormanlarında yaklaşık 47,6 milyon metreküp ahşap yetismekte olup bu, saniyede yaklaşık 1,5 metreküp ahşapla sonuçlanır. Ortalama bir müstakil ahşap ev yaklaşık 40 metreküp ahşap gerektirir. Bu, her gün ahşaptan üretilebilecek 3.260 ev anlamına gelir.

Ahşap ile Verimli ve Sürdürülebilir Binalar

Günümüzde birçok gelişmiş ülkede tüm müstakil ve yarı müstakil evler ahşaptan inşa edilmeye başlanmıştır (örneğin İsveç ve Finlandiya %90, Kanada %76, Almanya %15 ve İsviçre %10) ve bu eğilim gittikçe artmaktadır (FAO, 2016). Ahşap yapılar, klasik yağma ve betonarme yapılardan farklı olarak kuru bir inşaa yöntemidir. Yapı genellikle fabrikada prefabrik elemanlardan yapılır, böylece bir ev bir günde yağmur geçirmez hale getirilebilir ve bütün inşaa süreci günler içerisinde bitirilebilir. Böylece bina, yapımı bittikten hemen sonra rüzgâra ve hava koşullarına dayanıklıdır ve kısa bir süre içinde kullanılabilir. Prefabrikasyon ile bağlantılı modern işleme yöntemleri, yüksek kaliteli yapılar oluşturur. Önceden belirlenmiş bir tasarıma ve değişken bina yapılarına sahip standart evler, müşterinin bireysel isteklerini gerçekleştirmesini de sağlar.

Ahşaptan yapılan yapılar yüksek ekolojik potansiyele sahiptir.

Hamburg Üniversitesi tarafından yürütülen bir araştırmada (Albrecht vd. 2008), ahşap dikme duvarın, metal ve beton dikme duvarlarla karşılaştırıldığında avantajları açıkça ortaya konulmuştur. Farklı malzemelerin çeşitli değerlendirme faktörleriyle küresel ısınma potansiyellerini açıkça ortaya koyduğu gibi (Şekil 5), 97 kg CO₂ eşdeğeri olan ahşap duvarın net küresel ısınma potansiyeli, metal duvardan (136 kg CO₂) ve beton duvardan (488 kg CO₂ eşdeğeri) önemli ölçüde düşüktür. Pencere, parke veya laminat parke gibi diğer ahşap ürünlerin potansiyel analizleri de sentetik, metalik veya mineral malzemelerden yapılan ürünlere kıyasla olağanüstü sonuçlar vermiştir.

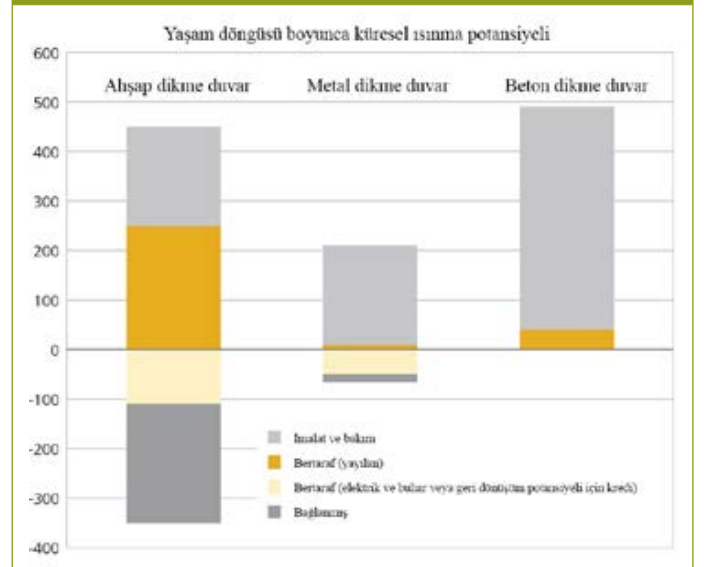
Sürdürülebilirlik terimi, ormancılıkla bağlantılı olarak 1.6 konu başlığında ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Terim bu arada birçok alanda kullanılmıştır. Buna inşaat süreçleri ve dolayısıyla ahşap yapı da dâhildir. Sürdürülebilir binanın amacı çevre, kaynaklar, sağlık, kültür ve sermaye gibi ortak malları korumaktır. Sürdürülebilirliğin klasik üç boyutu - ekoloji, ekonomi ve sosyo-kültürel yönler - yanında, sürdürülebilirliğin tüm yönleri üzerinde etkili olan teknik nitelikler ve süreç kalitesi de dikkate alınmalıdır (BBRS, 2010). Böylece yapı ürünlerinin yapım ve yaşam döngüsü üzerindeki etkilerine dair bütüncül bir bakış açısı vardır (Şekil 5).

Sürdürülebilir binaların kanıtı, "Yeşil Bina Etiketleri" olarak adlandırılan sertifikasyon sistemlerinin yardımıyla sağlanır. Bina sertifikasyon sistemlerinin amacı, binanın enerji verimliliği, kullanıcı konforu ve çevresel etki açısından değerlendirilmesini şeffaf hale getirmek ve farklı yapım yöntemlerini objektif olarak karşılaştırılabilir hale getirmektir. Bu amaçla çeşitli ulusal ve uluslararası değerlendirme sistemleri bulunmaktadır.

Şekil 6'da verilen, sürdürülebilir binalar için değerlendirme kriterlerinin kapsamı aşağıda verilmiştir:

Şekil 5

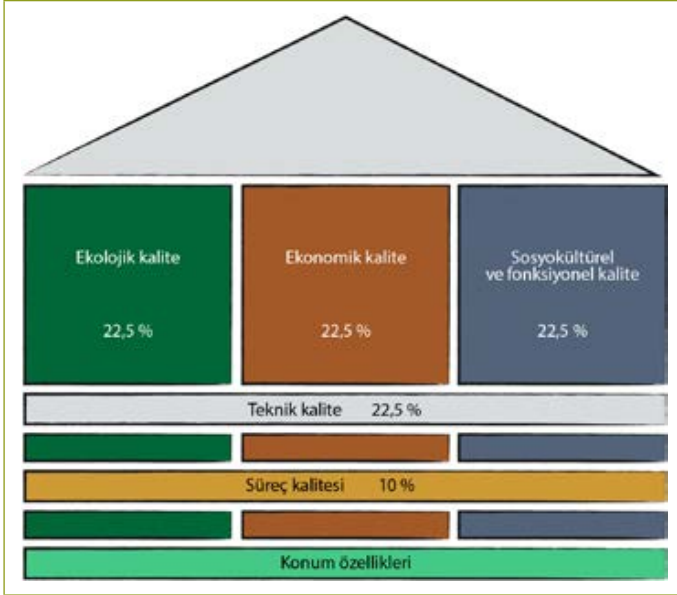
Farklı malzemeden yapılmış duvarların tüm yaşam döngüsü boyunca küresel ısınma potansiyeli



Acıklama notu. Albrecht, S., Rüter, S., Welling, J., Knauf, M., Mantau, U., Braune, A., Baitz, M., Weimar, H., Sörgel, S., Kreissig, J., Deimling, J., Hellwig, S. (2008): Ökologische Potenziale durch Holznutzung gezielt fördern. Arbeitsbericht aus dem Institut für Holztechnologie und Holzbiologie, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig kaynağından uyarlanmıştır.

Şekil 6

Sürdürülebilir bina için değerlendirme kriterleri



Ekolojik kalite: Binanın çevre üzerindeki etkileri araştırılır. Bu kapsamda su, enerji ve arazi kullanımı gibi kaynakların kullanımı dikkate alınır. Bu amaçla, bir yaşam döngüsü değerlendirme hazırlanır ve enerji ihtiyacı yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynaklarına bölünür.

Ekonomik kalite: Bir binanın ekonomik kalitesi, yaşam döngüsü maliyetlerini optimize etmeyi, ekonomik verimlilik ilkeleri yoluyla kaynak verimliliğini artırmayı ve sermaye ve bina değerini korumayı içerir.

Sosyokültürel ve işlevsel kalite: Burada sağlık, kullanıcı memnuniyeti, konfor, tasarım kalitesi ve işlevsellik yönleri incelenir. Konfor altında termal, görsel, akustik koşullar ve hava kalitesi noktaları değerlendirilir. İşlevsellik altında ise erişilebilirlik, kullanım değişikliği ve alan verimliliği değerlendirilir.

Teknik kalite: Binanın ve sistem bileşenlerinin teknik uygulamasının kalitesine odaklanılır. Temizlik ve bakım, ses yalıtımı, yangın koruması, ısı ve nem koruması, çevresel etkilere karşı dayanıklılık ve direnç değerlendirilir.

Süreç kalitesi: Süreç kalitesinin bir parçası olarak planlama, inşaat, operasyonel yönetim aşamaları değerlendirilir.

Konum özellikleri: Konum ve bina her zaman birbirini etkiler. Bölge, arazi ve inşa edilecek bina arasındaki bağımlılıkları tanımlayan özellikler (iklim, jeolojik koşullar, alt yapı vb.) değerlendirilir.

Ahşapla Sağlıklı ve Mutlu Bir Yaşam

Ahşabın doğal bir malzeme olarak iç mekanlarda kullanılması yaşam konforu ve hijyen açısından ayrı bir önem taşımaktadır. Ahşabın hem konstrüksiyon hem de zemin, duvar ve tavan kısımlarında yapısal donanımlarda kullanılması termal radyasyon, sağlıklı yaşam iklimi ve estetik açısından bir çok avantaja sahiptir. Bunlar arasında konfor, dokunsallık ve yüzey kalitesi, antistatik özellikler, koku ve nem dengeleme etkisi gibi özellikler bulunmaktadır. İç mekanlarda

kullanıldığında ahşabın bu olumlu özellikleri ön plana çıkmakta ve onu diğer malzemelerden açıkça ayırmaktadır. Ahşap iyi görünüş ve fiziksel özellikleri avantajlı bir şekilde birleştirir.

Ahşap, benzersiz renk ve doku çeşitliliği ile estetik taleplerimizin büyük bir kısmını karşılar. Her ahşap parçası benzersizdir ve herhangi bir ahşap parçanın dünyada bir ikincisi yoktur. Ahşabın renk paleti açık, hatta bazen beyazımsı tonlarda akçaağaçtan kırmızımsı çam ve kiraz ağacına, birçok kahverengi tonuyla etkileyici meşe ve ceviz ağacından venge ve abanozun özel, siyahımsı çeşitlerine kadar geniş bir yelpaze sunar (Şekil 7). Nihai görünümü; ağaç türü, ağacın büyüdüğü coğrafya, büyüme koşulları, ağacın boyutu, biçme şekli ve diğer üretim süreçleri dahil olmak üzere bir dizi değişkene bağlıdır.

Şeffaf kaplamalar veya mumlar ve yağlarla yapılan işlemler, ahşap yapıların algısını derinleştirir ve ayrıca küçük renk değişikliklerine izin verir. Dokunma davranışı, yapı malzemesinin haptikleri (dokunma deneyimleri dokunma hissi ile ilgili anlamında) ile tanımlanır. Ahşap, düşük ısı iletkenliği nedeniyle dokunulduğunda "sıcak" bir malzeme; gözenekliliği, yoğunluğu ve esnekliği nedeniyle "yumuşak" bir malzeme olarak algılanır. Bu özellikler genellikle ahşap yüzeylere dokunulduğunda olumlu bir algı oluşmasına neden olur. Ahşap yüzeylerin gözle görülür bir antibakteriyel davranış gösterdiği ve bu nedenle hijyen açısından genellikle diğer malzemelerden üstün olduğu daha az bilinmektedir (Stingl, 2010; Stingl, Teischinger, 2012). Öte yandan ahşap malzeme, biyomorfizm ya da "biyolojik biçimleniş" olarak bilinen doğada görülen desen ve şekilleri yansıtmak için dekoratif olarak sergilenen doğal bir malzeme olarak da kullanılabilir (Browning et al., 2014). Ahşap ve ahşap olmayan ofislerdeki 119 öğrenciyle yapılan bir çalışmada (Fell, 2010), ahşap olmayan ofise kıyasla ahşap ofisteki deneklerin daha az stresli oldukları görülmüştür. Araştırmacılar ahşap malzemenin doğaya maruz kalmanın etkisine benzer bir şekilde, stres azaltıcı etkiler ürettiğine dair kanıtlar sağladığını ve bu stres azaltma özelliğinin ahşabın doğayla bağlantılı olmasının bir rolü olduğu sonucuna varmıştır. Bu etkinin pratik anlamının ise, hastanelerin, ofislerin, okulların ve diğer yapıların biyofilik tasarımlarının bir parçası olarak stres azaltma sağlamak için ahşabın iç mekanlarda uygulanabilmesidir.

Şekil 7

Çeşitli ağaç türlerinin doğal renk ve doku zenginliği



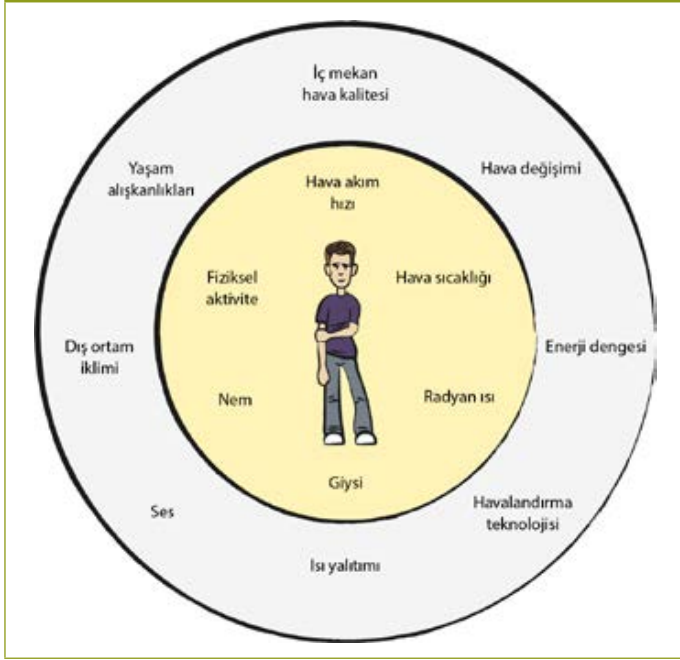
Ahşabın oda iklimi üzerindeki olumlu etkisi özellikle önemlidir. İnsanlar için belirleyici olan atmosferik çevre koşullarına biyoiklim denir. Bu, canlı organizmaları etkileyen tüm iklim faktörlerinin toplamıdır. Aşağıda, bunun iç mekanlardaki insanlar üzerindeki özel etki anlamına geldiği anlaşılmaktadır. Biyoiklim insan organizmasını etkiler ve bu nedenle esenlik ve sağlık üzerinde hem olumlu hem de olumsuz etkileri vardır. Özellikle havanın termal faktörleri ve malzeme bileşimi insan fizyolojisi üzerinde bir etkiye sahiptir ve bu nedenle kısmen sağlık ve mutluluğu belirler.

İyi yalıtılmış bir oda, büyük ölçüde homojen bir sıcaklık alanı aracılığıyla termal rahatlığa da katkıda bulunur. Oda hava kalitesi ile ilgili olarak, CO₂ ve hava nemi ile uçucu organik bileşenler (VOC'ler) ve kokular, değerlendirme için karakteristik değişkenlerdir. Şekil 8'de gösterildiği gibi, bu değişkenlerin etkileşimi termal konfor için belirleyicidir.

Ancak standartlar ve diğer düzenlemeler tarafından tanımlanan tüm konfor kriterlerine uygunluk, refahı otomatik olarak garanti etmez. Cinsiyet, yaş, psikolojik durum vb. özellikler algılanan hava kalitesinde de rol oynar ve oda havasında oluşabilecek kimyasal ve biyolojik zararlı gazların konsantrasyonundan da etkilenebilir. İnsanlar için iklim durumunu belirlemek için basit bir yöntem,

Şekil 8

İnsanların iç mekanlarda termal (sarı) ve dış (gri) konfor ortamı.



sadece hava nemi ve hava sıcaklığının dikkate alındığı Şekil 9'da gösterilen konfor diyagramıdır. Bu şemada kişisel boyutlar dikkate alınmamıştır.

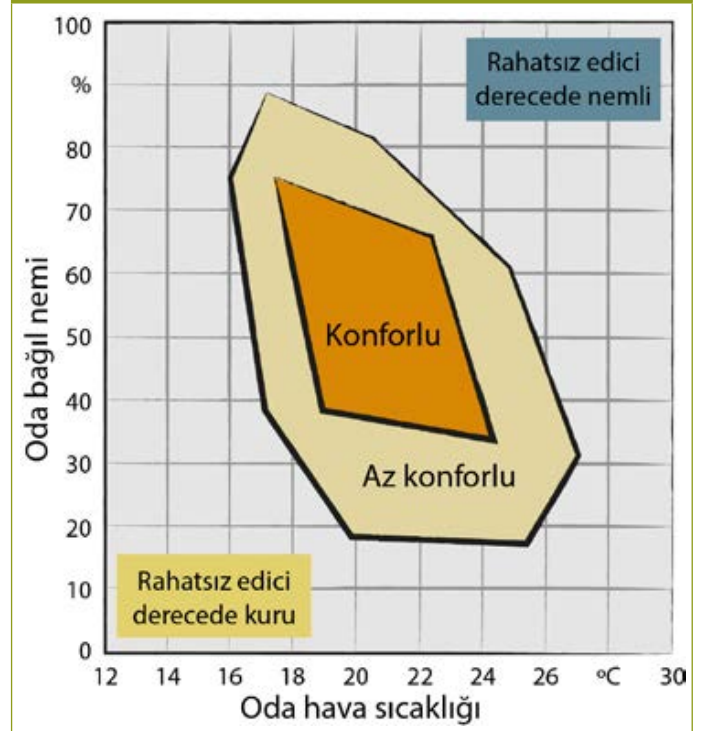
Ahşabın olağanüstü bir özelliği, büyük teknik önlemler olmaksızın optimal oda ikliminin nesnel ve öznel özelliklerini karşılamaya büyük ölçüde yardımcı olmasıdır. Kapsamlı bir şekilde ahşapla tasarlanmış odalarda, yüzey sıcaklıkları çoğu insanın konforlu bulunduğu şekilde hızlıca ayarlanır.

Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH (2003) tarafından yapılan bir araştırma, ahşabın sağlık için faydalı diğer

özelliklerini doğrulamaktadır. Çam ağacından elde edilen ahşap kaplamalı ve kaplamasız odalarda yapılan karşılaştırmalı çalışmalar, dolaşım, uyku ve genel sağlık üzerinde olumlu bir etki göstermiştir. Tsunetsugu vd. (2007) tarafından yapılan bir çalışmada ise, katılımcıların beyin aktiviteleri, kan basıncı ve nabız hızı yüzde 0, yüzde 45 veya yüzde 90'ı ahşapla kaplı (alanın tavan, duvar ve zeminin tamamına oranı) bir oda içerisinde iken izlenmiştir. Kan basıncı yüzde 90'ı ahşapla kaplı odada en düşük iken, yüzde 45'i ahşapla kaplı odada rahatlık, huzur duygusu ve dinlendirici etki en yüksek değerlere ulaşmıştır. Araştırmacılar, birçok insanın rahat ve sağlıklı hissettiği ortamlarda ahşabın yadsımamaz önemine vurgu yapmışlardır. Bir başka çalışmada ise Graz Üniversitesi'nden fizyolog ve araştırmacı Maximilian Moser, ahşabın kardiyovasküler değerler ve insanların konsantre olma yeteneği üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu çalışmalarında kanıtlamayı başarmıştır. Bu nedenle, doğal bir malzeme olan ahşap giderek daha fazla anaokuluna, okula ve ofise girmekte ve orada öğrenme ve çalışma ortamını teşvik etmektedir (Mikado edition 2012). Japonya'da bir grup araştırmacı, bir bakım evinde ahşap masa, sandalye ve sofa takımı kullanan 44 yaşlı Japon'un davranışlarını ve sağlık durumları inceleyerek, plastik ürün kullanan diğer bakım evi sakinleriyle karşılaştırmıştır. Sonuçlar, ahşap ürünlerin kullanımının bireyler arasındaki etkileşim sayısını artırdığını yani daha konuşkan ve birbirleriyle daha fazla iletişim kurmaya istekli olduklarını, duygusal durumu iyileştirdiğini ve kendini ifade etme biçimlerinin olumlu yönde geliştirdiğini göstermiştir (Anme vd., 2012). Ahşap odaların ve mobilyaların etkilerini inceleyen bu çalışmalar, ahşabın varlığının pozitif fizyolojik etkilere sahip olabileceğini, kan basıncını ve kalp atış hızını düşürdüğünü, diğer malzeme türlerine kıyasla daha iyi termal konfor ve daha düşük stres tepkileri sağladığını açıkça göstermektedir.

Şekil 9

Oda hava parametreleri sıcaklık ve nem için konfor diyagramı



Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Declaration of Interests: The authors declares that there are no competing interests

Kaynaklar

- Albrecht, S., Rüter, S., Welling, J., Knauf, M., Mantau, U., Braune, A., Baitz, M., Weimar, H., Sörgel, S., Kreissig, J., Deimling, J., Hellwig, S. (2008): Ökologische Potenziale durch Holznutzung gezielt fördern. Arbeitsbericht aus dem Institut für Holztechnologie und Holzbiologie, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig
- Anne T., Watanabe T., Tokutake K., Tomisaki E., Mochizuki H., Tanaka E., Wu B. MA, Shinohara R., Sugisawa Y., Tada C., Matsui T., Asada S., (2012): Behavior Changes in Older Persons Caused by Using Wood Products in Assisted Living. Public Health Research, 2012; 2(4): 106-109. [Crossref]
- BBRS, (2010): Nachhaltiges Bauen. Strategien - Methodik - Praxis, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBRS) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), ISBN 978-3-87994-609-9, 2
- Browning, W., Ryan, C. & Clancy, J. (2014): 14 Patterns of Biophilic Design: Improving Health & Wellbeing in the Built Environment.
- Bruckner, T., Bashmakov, I.A., Mulugetta, Y., Chum, H., de la Vega Navarro, A., Edmonds, J., Faaij, A., Fungtammasan, B., Garg, A., Hertwich, E., Honnery, D., Infield, D., Kainuma, M., Khennas, S., Kim, S., Nimir, H.B., Riahi, K., Strachan, N., Wiser, R., Zhang, X. (2014): Energy systems. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)], pp. 511-597. Cambridge, UK & New York, USA, Cambridge University Press.
- Carre, A. (2011): A comparative life cycle assessment of alternative constructions of a typical Australian house design. Forest and Wood Products Australia, Vol.147 (0809).
- Dodoo, A., Gustavsson, L. & Sathre, R. 2009. Carbon implications of end-of-life management of building materials. Resources, Conservation and Recycling, 53(5): 276-286.
- Durlinger, B., Crossin, E., Wong, J. (2013): Life Cycle Assessment of a cross laminated timber building. Forest & Wood Products Australia, Project Number: PNA282-1112.
- FAO, (2016): Forestry for a low-carbon future - Integrating forests and wood products in climate change strategies. Food And Agriculture Organization of The United Nations Forestry Paper 177, ISBN 978-92-5-109312-2, Rome.
- FAO, (2020): Global Forest Resources Assessment 2020 Main Report. ISBN 978-92-5-132974-0, Rome
- Fell, D. R. (2010): Wood in the human environment: Restorative properties of wood in the built indoor environment. The University of British Columbia, Vancouver.
- FSC, (2023): Forest Stewardship Council-Certified Forest Area Per Region. <https://fsc.org/en/facts-figures> (Erişim tarihi: 08.02.2023).
- Greenhouse Gas Protocol (2011): Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard. Washington, DC, World Resources Institute (WRI) & World Business Council for Sustainable Development (WBCSD).
- Gustavsson, L. & Sathre, R. (2006): Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials. Building and Environment, 41: 940-951
- Gustavsson, L. & Sathre, R. (2011): Energy and CO2 analysis of wood substitution in construction. Climatic Change, 105(1-2): 129-153.
- Gustavsson, L., Sathre, R. & Dodoo, A. 2016. Emission reduction by wood substitution: some studies. In Background papers on forests for a low-carbon future. Rome, FAO.
- Hickey, M., King, C. (2001): The Cambridge Illustrated Glossary of Botanical Terms. Cambridge University Press.
- Hickey, M., King, C. (2001): The Cambridge Illustrated Glossary of Botanical Terms "Cambridge University press" (16), Pp 2000-220. [Crossref]
- ISO (International Organization for Standardization) (2013): Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification and communication, Technical Specification ISO/TS 14067:2013.
- Joachim Radkau, 2018: Holz - Wie ein Naturstoff Geschichte schreibt. ISBN: 978-3-96238-068-7, München. [Crossref]
- Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH (2003): Auswirkungen von Zirbenholz als Einrichtungsmaterial auf Kreislauf, Schlaf, Befinden und vegetative Regulation. (www.zirbe.info).
- Julin, K., Saila, P., Talonpoika, L., Aho, M., Kaarakka, V. & Kyyronen, K. 2010. The international promotion of wood construction as a part of climate policy. Working Group Report. Helsinki, Ministry of Foreign Affairs of Finland.
- Michael Rissea, , Gabriele Weber-Blaschke, Klaus Richter (2017): Resource efficiency of multifunctional wood cascade chains using LCA and exergy analysis, exemplified by a case study for Germany. Resources, Conservation & Recycling 126 (2017) 141-152 [Crossref]
- Mikado edition (2012): "Holz fördert die Gesundheit", Interview mit Prof. Dr. Maximilian Moser, S. 12-13
- Lippke, B. and Edmonds, L. 2009. Life Cycle Assessments of Subassemblies Evaluated at the Component Level. Consortium for Research on Renewable Industrial Materials. https://www.dovetailinc.org/report_pdfs/2015/building_with_wood.pdf
- OGM (Orman Genel Müdürlüğü), (2021): Orman Genel Müdürlüğü 2021 Yılı İdare Faaliyet Raporu. Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- OGM (Orman Genel Müdürlüğü) (2023): Ülkemiz Ormanlarının Sertifikasyonu İçin Bir Adım Daha. <https://www.ogm.gov.tr/tr/haberler/ulke-miz-ormanlarinin-sertifikasyonu-i-cc%87cin-bir-adim-daha> (Erişim tarihi: 14.10.2023)
- Perez-Garcia, J., Lippke, B., Cornick, J. & Manriquez, C. (2005): An assessment of carbon pools, storage, and wood product market substitution using life-cycle analysis results. Wood and Fiber Science, 37: 140-148.
- Pettersen, R. C. (1984): The Chemical Composition of Wood. In: Roger M. Rowell ed. The Chemistry Solid Wood. Advances in chemistry series 207. Washington, DC: American Chemical Society; Chapter 2 (57-126).
- Rowell, R.M., Pettersen, R., Han, J.M., Rowell, J.S., Tshabalala, M.A. (2005): Cell Wall Chemistry (chapter 3). Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites, edited by Roger M. Rowell. ISBN: 0-8493-1588-3, Taylor & Francis Group.
- Salthammer, T., Marutzky, R., (2013): Bauen und Leben mit Holz. Informationsdienst Holz, Berlin.
- Sathre, L. (2014). Life Cycle Assessment (LCA) of Wood-Based Building Materials. In Eco-Efficient Construction and Building Materials, Edited by F.P. Torgal and S. Jalali. Elsevier Science. [Crossref]
- Schmitt, U.; Singh, A. P.; Thieme, H.; Friedrich, P.; Hoffmann, P. (2005): "Electron microscopic characterization of cell wall degradation of the 400,000-year-old wooden Schöningen spears". Holz Als Roh- und Werkstoff. 63 (2): 118-122. S2CID 10774765 [Crossref]
- Stingl, R., (2010): Holz und Hygiene - antibakterielle Eigenschaften von Holz. [Tischlerkongress 2010, Gmund, Austria, 17.06.2010 - 18.06.2010]
- Stingl, R., Teischinger, A. (2012): Hygienische Eigenschaften von Holz. Lignovisionen Bd. 27, Mensch und Holz, Universität für Bodenkultur, Wien., S. 13-17.
- Teischinger, A. (2012): Interaktion von Mensch und Holz. Lignovisionen Bd. 27, Mensch und Holz, Universität für Bodenkultur, Wien.

TOD (2019): Türkiye Ormancılığı: 2019. Türkiye Ormancılar Derneği, ISBN: 978-975-93478-4-0, Kuban Matbaacılık Yayıncılık, Ankara.

Tolunay, D., Karabıyık, B., Öztuna, A.G., (2018): Türkiye Ormanlarında Bitkisel Kütledeki Karbon Stokları. 71. Türkiye Jeoloji Kurultayı 23-27 Nisan 2018, s.1027.

Tsunetsugu, Y., Y. Miyazaki, & H. Sato (2007): Physiological Effects in

Humans Induced by the Visual Stimulation of Room Interiors with Different Wood Quantities. Journal of Wood Science, 53 (1), 11-16. [\[Crossref\]](#)

Upton, B., Miner, R., Spinney, M. & Heath, L.S. (2008): The greenhouse gas and energy impacts of using wood instead of alternatives in residential construction in the United States. Biomass and Bioenergy, 32(1): 1–10.

BÖLÜM 2

AHŞABIN ANATOMİK YAPISI

Ayşe Dilek DOĞU
Fatma Diğdem TUNCER

Ahşabın Anatomik Yapısı

Anatomical Structure of Wood

BÖLÜM HAKKINDA

İnsanlık tarihi boyunca değerli bir hammadde olarak hayatımızda önemli yer tutan ahşabın endüstriyel açıdan rasyonel şekilde değerlendirilmesi anatomik özelliklerinin bilinmesine ve ağaç türünün doğru olarak teşhis edilmesine bağlıdır. Ahşabı tanımak ve anlayabilmek için makroskopik, mikroskopik ve ultramikroskopik yapısını bilmek ve anatomik özellikler ile sahip olduğu diğer özellikleri (kurutma, doğal dayanıklılık, teknolojik özellikler vb. gibi) arasındaki ilişkileri iyi kurabilmek gerekir. Bu bölümde; ahşabın makroskopik, mikroskopik ve ultramikroskopik yapısı tanıtılmış, ağaç türü teşhisinin bazı uygulama alanları hakkında bilgi verilerek, ahşabın kalite özellikleri üzerinde etkili olan anatomik özellikler üzerinde durulmuştur.

Anahtar kelimeler: Odun anatomisi, makroskopik yapı, mikroskopik yapı, ağaç türü teşhisi, ahşap kalitesi

ABOUT the CHAPTER

The rational industrial utilization of wood, which has played an important role in our lives as a valuable material throughout human history, depends on the knowledge of its anatomical properties and the correct identification of the wood species. In order to recognize and understand wood, it is necessary to know its macroscopic, microscopic and ultramicroscopic structure and to be able to establish good relationships between anatomical features and other properties (such as drying, natural durability, technological properties, etc.). In this chapter; the macroscopic, microscopic and ultramicroscopic structure of wood were introduced, some application areas of wood identification were given and anatomical features that affect the quality characteristics of wood were emphasized.

Keywords: Wood anatomy, macroscopic structure, microscopic structure, wood identification, wood quality

Giriş

Kök, gövde ve taç olmak üzere üç temel bölgesi olan ağaçlar; dış morfolojik özelliklerine göre (yaprak, sürgün, kabuk, vb.) iğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçlar olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Olgun bir ağaç, iğne yapraklı veya geniş yapraklı olması fark etmeksizin, genellikle bir kabuk tabakasıyla kaplanmış tek bir gövdeden oluşmaktadır (Gschwantner ve ark. 2009; Erdin ve Bozkurt 2013). Orman ürünleri endüstrisinin temel hammadde kaynağını da bu gövde kısmı oluşturmaktadır (Ramage ve ark. 2017).

Ahşabın temel kaynağı olan ağaçlar; yapısını farklı kimyasal bileşenlerin oluşturduğu çeşitli hücre tiplerinin bir araya gelmesi sonucu oluşan karmaşık biyolojik yapılardır. Tüm bitkilerde olduğu gibi ağaçların temel yapı birimi hücrelerdir (Piot ve ark. 2022; Zhang ve ark. 2022). Bu hücreler, ağaçlarda iletim, destek ve depolama olmak üzere üç ana işleve hizmet edecek şekilde özelleşmektedir (Plomion ve ark. 2001; 2007). En basit haliyle iletimin gerçekleşmesi için geniş boşluklara (lümen) sahip hücreler, bitki gövdesinin mekanik olarak desteklenmesi için ise kalın çeperli hücreler oluşturulmaktadır. Ayrıca yeni hücrelerin oluşumunda kullanılmak üzere biyokimyasalların sentezlenmesi, kullanılması ve depolanması gerekmektedir. Bu ve benzer şekillerde ağacın ihtiyaç duyduğu üç ana işlev karşılanmaktadır (Wiedenhoeft ve Miller 2005; Fratzl ve Weinkamer 2007; Carlquist 2015).

Odun dokusunu oluşturan hücrelerin boyut, şekil ve yerleşim yerlerinden kaynaklanan çeşitlilik, ağaç türlerine bağlı olarak farklı görünüş özellikleri ortaya çıkarmaktadır. Aynı zamanda hücrelerdeki bu çeşitlilik odunun fiziksel, mekanik, teknolojik bütün özelliklerini etkilediğinden, bu çeşitliliğin iyi anlaşılması orman endüstrisi için oldukça önemlidir.

Bir malzeme olarak ahşabın anatomik yapısı elde edildiği ağacı oluşturan hücrelerin



CC BY 4.0: Telif hakkı yazarlardadır. Bu kitabın içeriği Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası lisans altında lisanslanmıştır.



Ayşe Dilek Doğu

Fatma Diğdem Tuncer

Istanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Orman Biyolojisi ve Odun Koruma Teknolojisi Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye
E-posta: addogu@iuc.edu.tr
fdigdemt@iuc.edu.tr

Bu bölümü alıntıla / Cite this chapter as:
Doğu, A.D. & Tuncer, F.D. (2024). Ahşabın anatomik yapısı. T. Akbulut (Ed.), *Ahşap: Doğal ve yenilenebilir mühendislik malzemesi* içinde (s. 12-33) İstanbul: İÜC Üniversite Yayınevi

farklı mesafelerden incelenmesine dayanmaktadır. Bu mesafelerden incelenen özellikler makroskobik, mikroskobik ve ultra-mikroskobik özellikler olarak isimlendirilmektedir.

Makroskobik Yapı

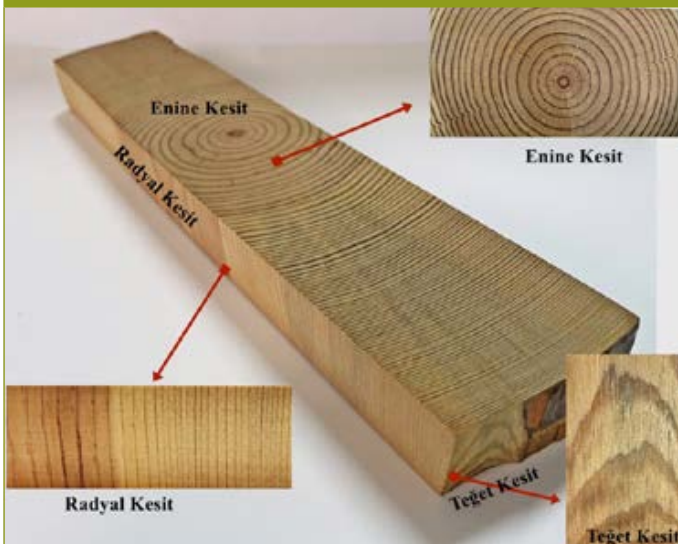
Makroskobik yapı, incelenen bir bütünün görünümü, bu bütünü oluşturan dokuların konumu, yerleşimi ve yapıları ile ilgilidir (Müller ve ark. 2019). Odunun çıplak gözle veya 10x büyütme lup (büyüteç) yardımıyla görülebilen özellikleri makroskobik özellikler olarak isimlendirilmektedir (Kollmann ve Cote, 1968). Bu özellikler odun dokusunu oluşturan hücrelerin tipleri, şekilleri ve doku içerisindeki yerlerine bağlı olarak farklılaşmaktadır. Odunun makroskobik özellikleri yıllık halka yapıları, öz ışını, trahe, paransim, reçine kanalı gibi farklı doku ve hücrelerin varlığı, boyutları, düzenleri ve bulunma sıklıkları gibi görsel özellikleri kapsamaktadır.

Ağaç gövdesi bir merkezin (öz) etrafına hücrelerin eklenmesi ile oluşmakta, sonunda silindirik bir form elde edilmektedir (Hoadley 1990). Bu silindirik gövde üç boyutlu ve üç eksenli olup, hücrelerin yerleşim şekillerine bağlı olarak farklı yönlerde farklı özelliklere sahiptir. Bir diğer ifade ile ahşap anizotropik yapıdadır (Fratzl ve Weinkamer 2007; Erdin ve Bozkurt 2013; Yuan ve ark. 2021). Ahşabın yapısını daha iyi anlayabilmek ve hücrelerin yerleşimlerinden kaynaklanan farklı özelliklerini anlamlandırabilmek için kesit ve yön kavramlarının bilinmesi gerekmektedir.

Ahşap enine, radyal ve teğet olmak üzere üç ana kesitte incelenmektedir. Ağacın boyuna eksene dik şekilde kesilmesiyle "enine kesit"; boyuna eksen doğrultusunda özden kabuğa doğru kesilmesiyle "radyal kesit"; boyuna eksen doğrultusunda ve yıllık halka sınırına tek bir noktadan temas edecek şekilde kesilmesi ile "teğet kesit" elde edilmektedir (Şekil 1). Radyal ve teğet kesitler lif yönüne yani ağacın boyuna eksenine paralel oldukları için boyuna kesitler olarak da isimlendirilmektedir. Geometrik olarak tomruk bir silindir gibi düşünüldüğünde, enine kesit silindirin başı ve sonundaki daireler ile temsil edilirken, boyuna kesitler silindirin uzunluğu boyunca yerleşmiştir. Radyal kesit silindirin yarıçapına

Şekil 1

Ahşapta kesitler; enine kesit, radyal kesit, teğet kesit.



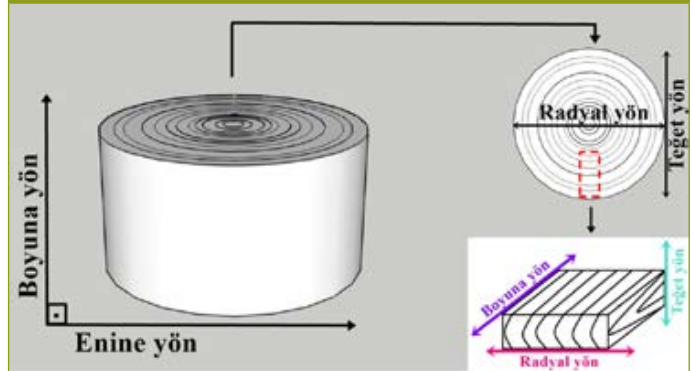
paralel iken, teğet kesit silindire bir noktadan temas eden herhangi bir doğruya paraleldir (Şekil 2).

Yön kavramı odun kesitleri ile yakından ilişkili olup, gerek hücrelerin odun yapısında yerleşim biçimlerini anlamak ve gerekse bazı odun özelliklerindeki değişimlerin (permeabilite, rutubete bağlı olarak daralma ve genişleme, direnç özellikleri vb.) kavranmasında önem taşımaktadır. Ağacın boyuna eksenine paralel giden yön "boyuna yön"; enine kesitte birden fazla yıllık halkayı dik bir şekilde kesen ve radyal kesiti açığa çıkaran yön "radyal yön"; enine kesitteki herhangi bir yıllık halkayı tek bir noktadan kesen ve kabuk soyulduğunda karşılaşılan teğet kesiti açığa çıkaran yön ise "teğet yön" olarak isimlendirilmektedir (Şekil 2).

Ahşabın doğru bir şekilde gözlemlenmesi için, ağacın yapısı ve hücre yerleşimi ile ilgili her üç kesit yüzeyi de önemlidir. Yani, ahşabın üç boyutlu yapısının bütünsel ve doğru bir şekilde anlaşılması yalnızca her bir kesite bakılarak sağlanabilmektedir.

Şekil 2

Ağaç gövde kesiti üzerinde boyuna ve enine (radyal ve teğet) yönler.



Enine kesitte eş merkezli, iç içe geçen büyüme halkaları diğer adıyla yıllık halkalar net bir şekilde görülebilmektedir. Bu sayede yıllık halka genişliği, ilkbahar odunu / yaz odunu katılım oranları, ilkbahar odunundan yaz odununa geçişin ani veya yavaş oluşu, trahelerin varlığı, büyüklükleri, düzeni, dağılışı gibi makroskobik incelemelerde oldukça sık kullanılan yıllık halka karakteristikleri incelenebilmektedir. Yıllık halka karakteristiklerinin yanı sıra yeterli genişlikte olduğu takdirde yıllık halkaları dik bir şekilde kesen ve özden kabuğa doğru uzanan ince çizgiler şeklinde görülen öz ışınları, boyuna paransimlerin varlığı ve dağılıma düzenleri, reçine ve sakız kanallarının varlığı da bu kesitte gözlenebilmektedir.

Radyal kesitte özellikle özden kabuğa doğru giden bir hat olarak gözlenen öz ışınları ve boyuna yönde birbirine paralel çizgiler şeklinde görülen yıllık halkalar, yıllık halkalara paralel yönde uzanan iğne çizikleri şeklinde görülen büyük traheler ve reçine kanalları ayrıca depo maddelerinin varlığı incelenmektedir. Radyal kesit, öz ışınları ile çakışan bir yüzey olmasına rağmen odun yapısındaki hafif düzensizlikler nedeniyle öz ışınlarının görünümü kesikli olabilmektedir. İnce öz ışınları odun dokusundan farklı yansıtma özelliğine sahip olduğu takdirde ince yatay şeritler şeklinde, geniş öz ışınları ise düzenli ya da düzensiz çizgiler, lekeler veya bantlar şeklinde görülebilmektedir (Hoadley 1990). Ayrıca, enine ve radyal kesitte aralarında renk farklılığı olması halinde öz odun-diri odun ayrımı da yapılabilmektedir.

Teğet kesitte, öz ışınları, reçine veya sakız kanallarının varlığı, boyuna yönde uzanan iğne çizikleri şeklinde görülen büyük traheler ve depo maddelerinin varlığı incelenmektedir. Dar öz ışınları makroskobik olarak görülmemekte, orta genişliğin üzerindeki öz ışınları ise teğet yüzeylerde lif yönünde uzanan koyu renkli çizgiler şeklinde görülmektedir. Teğet yüzeyde görülen bu koyu renkli çizgilerin uzunluğu öz ışınlının yüksekliği, genişliği ise öz ışınlının genişliğini göstermektedir (Hoadley 1990).

Bir ağacın enine kesitine bakıldığında birbirinden farklı özelliklere ve görevlere sahip alanlar görülmektedir. İçten dışa doğru; merkezde öz, özü silindirik şekilde çevreleyen öz odun, öz odunu çevreleyen sırasıyla diri odun, vasküler kambiyum, iç kabuk ve dış kabuk tabakaları bulunmaktadır (Şekil 3).



Öz

Gövdenin merkezinde bulunan öz, ağacın fide olduğu zamanlardan kalan kısmıdır (Şekil 3). Paransim hücrelerinden oluşan öz, ilk yıllarda ağaçta iletimden sorumlu kısmıdır. Odun dokusunun oluşturulmaya başlamasıyla öz canlılığını kaybetmektedir (Hoadley 2000; Wiedenhoef 2011). Özellikle geniş yapraklı ağaçlarda farklı boyut, renk, şekil ve yapılarla görülebilmektedir.

Diri Odun-Öz Odun

Olgun bir gövde enine kesitine bakıldığında özün etrafında, genellikle daha koyu renkli, öz odun denilen bir alan, bu alanın etrafında ise genellikle daha açık renkli diri odun olarak adlandırılan bir alan görülmektedir (Şekil 3). Diri odun ve öz odun arasındaki temel farklılık öz odun oluşumu sırasında paransim hücrelerinin canlılıklarını kaybetmesi ve bu kısımda çeşitli biyokimyasalların birikmesinden kaynaklanmaktadır (Wiedenhoef ve Miller 2005; Wiedenhoef ve Kretschmann 2014). Bu dönüşüm sırasında iğne yapraklı ağaçlarda bulunan kenarlı geçitler aspirasyona uğrayarak kapanmakta, geniş yapraklı ağaçlarda bulunan trahel lümenleri tüller ile dolarak tıkanmaktadır. Dolayısıyla fizyolojik olarak aktif olmayan öz odun kısmı sadece destek görevi görmektedir.

Diri odun; öz odun ve kabuk arasında kalan, yaşayan paransim hücreleri içeren, iletim ve destek görevinin yanı sıra fotosentez sonucu oluşturulan biyokimyasalların sentezlenmesi ve depolanmasından da sorumlu olan kısımdır (Hillis 1996; FPL 2021).

Gövdeyi oluşturan odun dokusu her zaman diri odun olarak oluşturulmaktadır. Diri odun oluşturulduktan sonra öz oduna dönüşüm sırasında hücre boyutlarında veya şekillerinde bir değişiklik

olmamakta, sadece hücre içeriklerinde ufak değişiklikler gerçekleşmektedir (Hoadley 2000). Özellikle öz odun sınırında bulunan canlı paransim hücrelerinin, ekstraktif madde olarak da isimlendirilen biyokimyasalları sentezleyip depolaması sonucu öz odun oluşumu başlamaktadır. Ekstraktif maddeler, diri odun öz odun sınırında paransim hücreleri tarafından sentezlenmekte ve geçitler aracılığıyla bitişik hücrelere aktarılmaktadır. Bu sayede canlılığını kaybetmiş hücrelerde birikerek öz oduna çeşitli özellikler kazandırmaktadır (Hillis 1987; Larson 1994; Wiedenhoef ve Miller 2005; FPL 2021).

Öz odun oluşumu belli bir yaştan sonra başladığı için genç ağaçlarda genellikle öz oduna rastlanılmamaktadır. Benzer bir durum ağacın gövdesi boyunca da geçerlidir. Ağaç enine olduğu gibi boyuna da büyüdüğü için öz odun gövde içerisinde koni şeklinde oluşmakta; koninin çapı ve yüksekliği ağacın hayatı boyunca artmaya devam etmektedir (Erdin ve Bozkurt 2013).

Öz odunun sahip olduğu pek çok karakteristik özellik ekstraktif maddeler ile ilişkilidir. Ekstraktif maddeler tiplerine ve miktarına bağlı olarak öz oduna toksik, hidrofobik veya aromatik özellikler gibi pek çok farklı özellik kazandırmaktadır. Toksik maddelerin etkisi ile mantar ve böceklerle karşı doğal dayanıklılık sağlanabilmektedir. Hidrofobik maddelerin etkisi ile hacimsel daralma yüzdesi azalabilmektedir. Aromatik ekstraktiflerin etkisi ile güzel veya kötü kokabilmektedir. Koyu renkli maddelerin etkisi ile rengi koyulaşabilmektedir. Ekstraktif maddelerin kazandırdığı bu gibi özellikler sebebiyle öz odun genellikle daha ağır, daha sert, daha düşük lif doygunluğu noktası ve higroskopisiteye sahip olup pek çok durumda diri odundan daha değerli olmaktadır. Bu özelliklerin yanı sıra öz odunda iğne yapraklı ağaçlarda geçitlerin aspirasyona uğraması, geniş yapraklı ağaçlarda trahelerin tüllerle dolması gibi sebepler ile iletim yolları tıkanmaktadır. İletim yollarının tıkanması ile ilişkili şekilde de kurutma ve emprenye işlemleri diri oduna göre çok daha güç olmaktadır (Wiedenhoef ve Miller 2005; Erdin ve Bozkurt 2013; FPL 2021).

Vasküler Kambiyum

Bütün hücreler, ağaç gövdesinde diri odun ve kabuk kısmı arasında kalan, vasküler kambiyum olarak isimlendirilen özel bir alanda oluşturulmaktadır (Şekil 3). Ağaçta yeni hücre üretiminin sorumlu bu alan bir çember şeklinde ağaç gövdesini sarmış durumdadır (Larson 1994; Schweingruber ve Büntgen 2013). Bu kısım makroskobik olarak görülemeyişi için "mikroskobik özellikler" kısmında daha detaylı ele alınmıştır.

Kabuk

İç Kabuk-Dış Kabuk

Bir ağaçta kambiyumun dış tarafında kalan dokular kabuk olarak tanımlanmaktadır. Odun dokusundaki diri odun öz odun ayrımına benzer şekilde kabuk, iç kabuk (floem) ve dış kabuk olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır (Şekil 3). İç kabuk diri odun gibi yaşayan hücreler içermekte ve iletim görevini görmeye devam etmektedir. İç kabuğun en önemli görevi yapraklarda üretilen fotosentez ürünlerini (karbonhidratlar) yeni hücrelerin üretilmesinde kullanılmak üzere kambiyuma taşımasıdır. Dış kabuk ile karşılaştırıldığında daha açık renkli olduğu ve nadiren 1 cm'den kalın olduğu görülmektedir. Öz oduna benzer şekilde dış kabuk ağacın dış etkilere

karşı mekanik korunmasını sağlamaktadır. İç kabuğu koruyan daha koyu renkli ve mantarlaşmış dış kabuk aynı zamanda ağaç içerisinde iletilen suyun buharlaşarak kaybolmasına da engel olmaktadır. Bütün ağacı dışarıdan saran kabuk tabakası, odunu sıcaklık, kuraklık, yaralanmalar gibi dış etkilere karşı korumakla görevlidir. Dış kabuğun görünüşü ağaç türlerine ve yaşına göre farklılık göstermektedir (Rowell 2005; Wiedenhoefte ve Miller 2005; Erdin ve Bozkurt 2013)

Yukarıda bahsedilen farklı özelliklere sahip bu alanların yanı sıra ahşaba daha yakından baktığımızda makroskobik olarak farklı yapıları da incelemek mümkündür. Burada yıllık halkalar, öz ışınları, boyuna paranzimler, reçine kanalları ve makroskobik teşhiste dikkate alınan fiziksel özelliklerden tekstür ve lif yapısı üzerinde durulacaktır.

Yıllık Halkalar

Enine kesitte makroskobik olarak görülebilen bir diğer önemli oluşum, büyüme halkaları veya artım halkası olarak da bilinen yıllık halkalardır (Şekil 4). Yıllık halkalar enine kesitte iç içe geçen daireler, radyal kesitte birbirine paralel uzanan çizgiler, teğet kesitte ise iç içe geçen üçgenler (U veya V şeklinde) şeklinde görülmektedir (Şekil 1).

Odun dokusunun oluşması kambiyumda yeni hücrelerin üretilmesi ile başlamakta, üretilen hücreler bir araya gelerek ağacın iletim, destek, depolama gibi ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Ilıman iklim kuşağında yetişen ağaçlarda kambiyumun aktifleşip yeni hücreler oluşturmaya için gerekli koşullar yılın sadece belirli

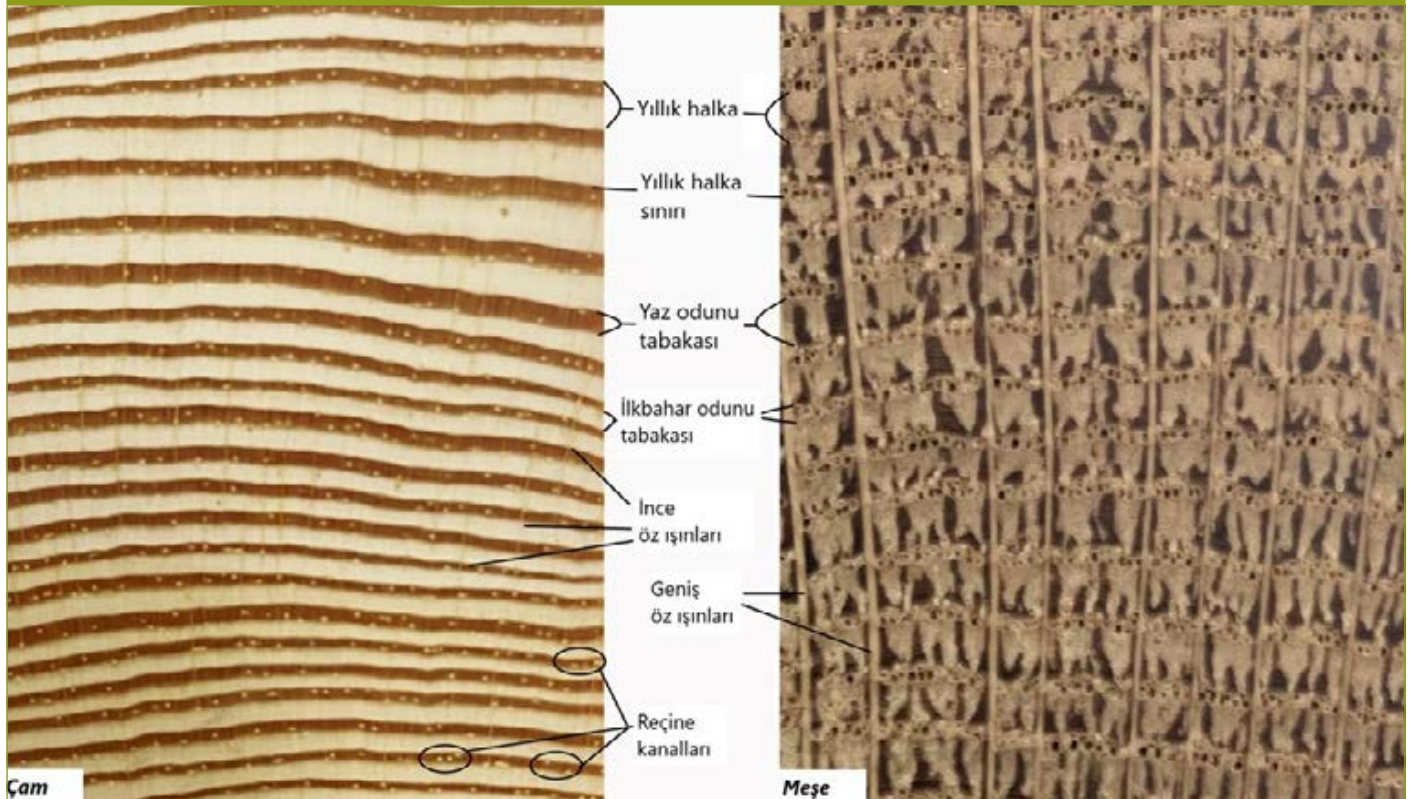
zamanlarında oluşmaktadır. Kambiyumun aktif olduğu bu dönem vejetasyon mevsimi olarak isimlendirilmektedir. Vejetasyon mevsimi boyunca gerçekleşen büyüme ve bir sonraki yılın vejetasyon mevsimine kadar duran yeni hücre üretimi, bir diğer ifade ile büyümenin kesikli gerçekleşmesi yıllık halkaların belirgin olması üzerinde etkilidir. Bu özellik sayesinde ılıman iklim kuşağında yetişen bir ağacın yaşı bu halkalar sayılarak tespit edilebilmektedir. (Schweingruber 1988; Chaffey 2002; Vaganov ve ark. 2006; Pandey 2021).

Farklı zamanlarda oluşturulan hücreler çeşit, boyut, sayı, dağılışı ve görevleri bakımından farklılık göstermektedir. Bu farklılık iğne yapraklı ağaçlarda bir yıllık halka içerisinde iki farklı tabaka ile karşılık bulmaktadır. İğne yapraklı ağaçlarda odun dokusunun %70-90'ını oluşturan boyuna traheid hücreleri vejetasyon mevsimi başında hızlı bir çap artımı ile ince çeperli ve geniş lümenli, vejetasyon mevsimi sonuna doğru ise yavaş bir artımın gerçekleşmesi ile kalın çeperli ve dar lümenli hücreler olarak üretilmektedir. İnce çeperli hücrelerin bir araya gelmesi ile ilkbahar odunu olarak isimlendirilen açık renkli, kalın çeperli hücrelerin bir araya gelmesi ile de yaz odunu olarak isimlendirilen koyu renkli tabakalar gözlenmektedir. İlkbahar odunu tabakasını oluşturan geniş lümenli hücreler su iletimini sağlarken, yaz odunu tabakasını oluşturan kalın çeperli hücreler destekleme görevi görmektedir (Hall ve Stern 2012; Schweingruber ve ark. 2013a). Bir yıl içerisinde birbiri ardına üretilen bu iki tabakanın birleşimi bir yıllık halka olarak isimlendirilmektedir (Şekil 4).

İğne yapraklı ağaçlarda yıllık halkalar ile ilişkili olarak incelenen bazı makroskobik özellikler bulunmaktadır. Yıllık halka içerisinde

Şekil 4

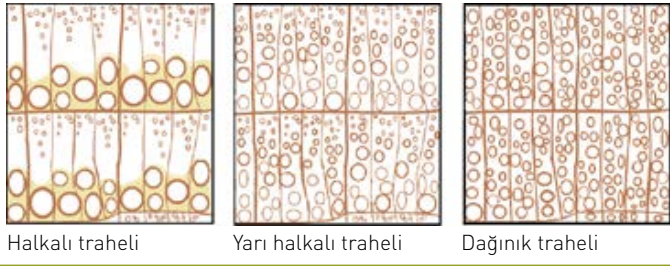
İğne yapraklı (Çam) ve halkalı traheli geniş yapraklı (Meşe) ağaç odunlarının enine kesitlerinde incelenen bazı makroskobik özellikler: İlkbahar odunu tabakası, yaz odunu tabakası, bir yıllık halka, yıllık halka sınırı, ince ve geniş öz ışınları, reçine kanalları.



ilkbahar odunu tabakasından yaz odununa geçişin hızı, yıllık halka sınırlarının belirginliği olması ve düzgünlüğü incelenen özellikler arasındadır. Bir yıllık halka içerisinde ilkbahar odunu tabakasından yaz odunu tabakasına geçişin hızlı veya yavaş olması teşhis amacıyla kullanılan bir özelliktir (Hoadley 2000). Örneğin sarıçam, karaçam, melez, Douglas göknarında geçiş ani, Veymut çamı, kızılçam, göknar, ladin, ardıc, Toros sediri, porsukta geçiş yavaştır. İğne yapraklı ağaçlarda yıllık halka sınırı genellikle düzgün olmasına rağmen porsuk ve ardıc türlerinde genellikle dalgalı yıllık halka sınırları meydana gelmektedir.

Şekil 5

Geniş yapraklı ağaçlarda trahe düzenleri: halkalı traheli, yarı halkalı traheli, dağınık traheli.



Geniş yapraklı ağaç odunları iğne yapraklı ağaçlardan daha farklı tipte hücrelerden meydana gelmiştir. En önemli farklılık geniş yapraklı ağaçlarda trahe adı verilen geniş boşluklu hücrelerin bulunmasıdır. Geniş yapraklı ağaç odunlarında yıllık halka içerisinde bulunan trahe hücrelerinin düzeni ve büyüklükleri hem teşhiste kullanılmakta hem de yıllık halka sınırının belirgin olması üzerinde etkili olmaktadır. Geniş yapraklı ağaç odunları trahelerin bir yıllık halka içerisindeki düzenine göre isimlendirilmekte ve halkalı traheli, dağınık traheli ve yarı halkalı traheli olmak üzere 3 grup altında incelenmektedir (Şekil 5) (Carlquist 1988; Alfonso ve ark. 1989; Pace ve Angyalossy 2013).

Halkalı traheli ağaç türlerinde traheler ilkbahar odununda geniş çaplı olup yıllık halka boyunca bir halka şeklinde sıralanmış konumdadır. Yaz odunu traheleri ise çok daha dar çaplı ve farklı düzenlerde bir araya gelmişlerdir. Yaz odunu trahelerinin düzenine göre halkalı traheli ağaçların makroskobik teşhisi mümkün olmaktadır. Örneğin; yaz odunu traheleri meşe ve kestanede radyal yönde sıralı, dişbudakta tek tek dağılmış, karaağaçta teğet yönde dalgalı sıralı, yalancı akasyada ise gruplar halinde ve yıllık halka sonunda teğet yönde kısa dalgalı / diyagonal sıralı olmak üzere odun dokusuna yerleşmektedirler (Erdin ve Bozkurt 2013). Halkalı traheli ağaç türlerinde ilkbahar odunu tabakası ve yaz odunu tabakalarında bulunan trahe hücrelerinin boyutlarındaki farklılık ve trahelerin yıllık halka içerisindeki dağılım düzenleri yıllık halka sınırını belirgin kılmaktadır.

Tüm yıllık halka içerisinde trahelerin büyüklük veya düzeninde belirgin bir farklılık veya değişim bulunmayan geniş yapraklı ağaçlar dağınık traheli ağaçlar olarak isimlendirilmektedirler. Kayın, kavak, çınar, gürgen, huş, akçaağaç, kızılğöğ, ihlamur, söğüt ve pek çok tropik ağaç dağınık traheli ağaç grubunda bulunmaktadır. Yıllık halka sınırları trahe düzenlerinde ve büyüklüklerinde belirgin bir farklılık olmadığından dolayı diğer hücrelerdeki farklılaşmalar ile belirgin hale gelmektedir. Yıllık halka sınırının sonuna doğru trahe sayılarında azalma, lif hücrelerinde yassılaşma ve

çeper kalınlaşması veya sınır paranzimi hücrelerinin bulunması bu ağaç türlerinde yıllık halka sınırını belirgin kılan değişimlerdir (Schweingruber 1988; Schoch ve ark. 2004; Schweingruber ve ark. 2013b).

Bir yıllık halka boyunca ilkbahar odunundan yaz odununa ilerledikçe trahe çapları ve / veya trahe sayıları yavaş yavaş azalan ağaçlar ise yarı halkalı traheli ağaçlar olarak isimlendirilmektedir. Bu ağaçlarda trahelerin dağılım düzeni halkalı ve dağınık traheli grup arasında kaldıkları için bu isimlendirme yapılmaktadır. Yıllık halka başından sonuna doğru yavaşça azalan trahe çapları, yıllık halka sonundaki küçük çaplı traheler ve bir sonraki yıllık halkanın başındaki büyük çaplı traheler sebebiyle yıllık halka sınırları belirgin hale gelmektedir. Yerli türlerimizden kiraz ve ceviz bu grupta bulunmaktadır.

Kambiyum faaliyetinde meydana gelen bazı düzensizlikler sonucunda bir yıllık halka içerisinde, enine kesitte tam bir halka oluşturmayan birden fazla yaz odunu tabakası ve yıllık halka sınırı bulunabilmektedir. Mevsim içi farklılıklar, böcek veya mantar saldırıları gibi sebeplerle oluşan bu anormal yapılar "yalancı yıllık halka" denilmektedir (Schweingruber 1988). Sekoya, ardıc ve bataklik servisi türlerinde sıklıkla rastlanılmaktadır. Benzer şekilde kambiyumun yaranlanması veya yetersiz gelişim koşulları nedeniyle faaliyet gösterememesi sonucu özün etrafında tam bir halka oluşturmayan yıllık halkalara "devamlı olmayan yıllık halkalar" denilmektedir. Ülkemizde ardıc türlerinde bu oluşumlara rastlanılmaktadır (Erdin ve Bozkurt 2013).

Yıllık halkaların yapısı ve genişliği odunun fiziksel, mekanik ve teknolojik özelliklerini etkilemekte dolayısıyla ahşabın kullanım yeri üzerinde etkili olmaktadır. Yıllık halka genişliği ağacın yaşı, genetiği, yetiştirme yeri şartları, ağaçtaki konumu ve silvikültürel müdahalelere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Yıllık halka genişliğinin yanı sıra ilkbahar-yaz odunu tabakası arasındaki oran, özellikle de yaz odunu tabakasının yıllık halkaya katılım oranı, odunun yoğunluğunu artırıcı etkisiyle bağlantılı olarak fiziksel ve mekanik özellikleri etkilemektedir (Merev 2003; Erdin ve Bozkurt 2013; Hughes 2016).

Öz Işınları

Ağaç türüne bağlı olarak öz ışınlarının çıplak gözle veya lup altında görülmesi makroskobik teşhiste kullanılan özelliklerden biridir (Şekil 4). Odun dokusunu oluşturan hücrelerin büyük bir çoğunluğu (%95-70) ağacın boyuna yönünde sıralanırken, öz ışınlarını oluşturan hücreler enine yönde yerleşim göstermektedir (Erdin ve Bozkurt 2013). İğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçlarda

Şekil 6

Kayında öz ışınlarının enine, teğet ve radyal kesitteki görünümü (siyah oklar) ve geniş öz ışını bantları (kırmızı oklar).



enine yönde biyokimyasalların sentezlenmesi, iletilmesi ve depolanması görevlerini yerine getirmektedirler (Kollmann ve ark. 1975; Carlquist 1988; Carlquist 2015; Lev-Yadun ve Aloni 1995; Connors 2015; Morris 2016; Meng ve ark. 2021).

Öz ışınları, iğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaç türlerinin hepsinde bulunmaktadır. Enine kesitte yıllık halkaları dik kesen çizgiler şeklinde görülmekte, boyuna kesitlerden radyal kesitte özden kabuğa giden bantlar, teğet kesitte ise yukardan aşağıya inen çizgiler şeklinde görülebilmektedirler (Şekil 6). Genel olarak iğne yapraklı ağaçlarda dar öz ışınları, geniş yapraklı ağaçlarda ise farklı genişliklerde öz ışınları görülebilmektedir. Öz ışınları enine kesitteki genişliklerine göre dar ve geniş olarak sınıflandırılmaktadır. Geniş yapraklı ağaç odunlarında iğne yapraklı ağaçlarda olduğu gibi dar öz ışınları her zaman bulunmaktadır. Ayrıca bazı geniş yapraklı ağaç türlerinde çıplak gözle rahatlıkla görülebilen geniş öz ışınları mevcuttur (Şekil 4 ve 6). Bu ikili sınıflandırmanın yanı sıra bazı ağaç türlerinde sadece enine kesitte geniş öz ışını gibi görünen yapılar bileşik veya yalancı öz ışınları olarak isimlendirilmektedir (Erdin ve Bozkurt 2013). Örneğin; geniş yapraklı ağaçlardan meşe, kayın, çınar ve akçaağaçta geniş öz ışınları, kızıl ağaç ve gürgende birleşik öz ışınları görülmektedir.

Radyal ve teğet yüzeylerde oldukça dekoratif görünümlere sebep olan öz ışınları bu özellikleri sebebiyle özellikle kaplama endüstrisi için önemli olmaktadır. Aynı zamanda radyal yönde kurumaya bağlı çalışma oranlarını (daralma ve genişleme) azaltıcı yönde etki göstermektedir. Ancak bu olumlu özelliklerinin yanı sıra bu yapıların alanda direnç azalmasına sebep olmakta ve çatlak ve yarılmalar bu alanlarda görülmektedir (Lev-Yadun ve Aloni 1995; Xue ve ark. 2019; Meng ve ark. 2021).

Boyuna Paransimler

İğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçlarda boyuna yönde biyokimyasalların sentezlenmesi, iletilmesi ve depolanması görevlerini yerine getirmektedirler (Kollmann ve ark. 1975; Carlquist 1988; Carlquist 2015; Lev-Yadun ve Aloni 1995; Connors 2015; Morris 2016; Meng ve ark. 2021). Yapılarındaki rezerv maddeleri sebebiyle enine kesit üzerinde açık veya koyu renkli alanlar olarak görülebilmektedirler. İğne yapraklı ağaçlarda az sayıdaki türde görülmekte ve genellikle mikroskopik olarak tespit edilmektedir. Geniş yapraklı ağaçlarda özellikle tropik bölgelerde yetişen geniş yapraklı ağaçlarda boyuna paransimlerin dağılımı makroskopik teşhiste önem kazanmaktadır. Boyuna paransimler için çeşitli sınıflandırmalar olsa da temelde yıllık halka sınırında bulunmaları, şeritler oluşturmaları ve traheler ile temas halinde olup olmamalarına göre sınıflandırılmaktadır. Yıllık halka sınırında sınır paransimleri,

traheler ile temas halinde paratraheal paransimler, trahelerden uzak olduklarında apotraheal paransimler olarak gruplandırılmaktadır. Her bir grup içerisinde de boyuna paransimlerin bir araya gelerek oluşturdukları şekillere göre ayrıca isimlendirilmektedir (Şekil 7) (Carlquist 1988; Alfonso ve ark. 1989; Uetimane Jr. ve ark. 2018).

Reçine Kanalları

Reçine kanalları enine kesitte bulundukları alana göre açık veya koyu renkli noktacıklar şeklinde görülmektedirler (Şekil 4). Doğal reçine kanalı bulunan çam, ladin, melez ve Douglas göknarında reçine kanalları lup altında rahatlıkla görülmektedir. Sedir gibi bazı iğne yapraklı ağaçlarda travmatik reçine kanallarına sıklıkla rastlanılmaktadır. Ilıman iklim kuşağında yetişen geniş yapraklı ağaçlarda doğal olarak bulunmasa da bazı geniş yapraklı tropik ağaç türlerinde paransim dokusu içerisinde reçine, sakız, lateks kanalları bulunabilmektedir (Esteban ve De Palacios 2009; Thumm ve Riddell 2017; Tamburini ve ark. 2020).

Tekstür

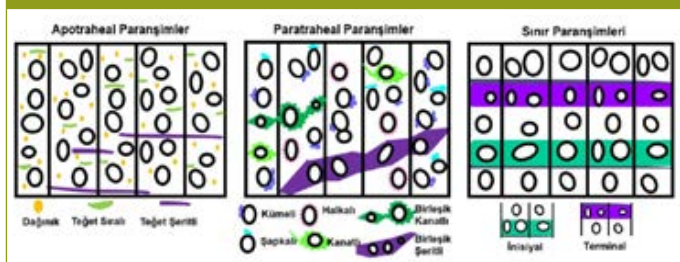
Tekstür terimi herhangi bir malzemenin yüzey karakteristiklerini ifade etmek için kullanılmaktadır. Yani odunun dokusu dolaylı olarak da bu dokuyu oluşturan hücreler ile ilişkilidir. Ahşabın dokusu/ tekstürü, hücrelerin boyutuna ve düzenlenişlerine bağlıdır. Bu sayede odun dokusundaki hücre tipleri (traheid, trahe, öz ışını gibi) ve boyutlarındaki farklılıklar ve bu farklılıklardan kaynaklanan (görsel) değişiklikler odunun tekstürü hakkında yorum yapmak için kullanılmaktadır. Tekstür sınıflandırmasında temel alınan noktaya göre iki farklı sınıflandırma yapmak mümkündür. Hücre boyutları ile ilişkili tanımlama yapıldığında ince-kaba tekstürlü ağaçlar (çok ince, ince, orta, kaba, çok kaba), hücrelerin ve/veya farklı hücre boyutlarının dağılımı ile ilişkili tanımlama yapıldığında ise düzenli-düzensiz tekstürlü ağaçlar olacak şekilde sınıflandırma yapılmaktadır (Dinwoodie 2004; Erdin ve Bozkurt 2013). Örneğin hücre çapları küçük olan şimsir, akçaağaç gibi türler ince tekstürlü, meşe kestane gibi büyük lümenli hücreleri olan ağaçlar kaba tekstürlü, belirgin olmayan öz ışınları, yıllık halka sınırları ve hücre boyutlarında büyük farklılıklar olmayan ladin, ıhlamur gibi ağaçlar yeknesak (düzenli) tekstürlü, belirgin renk kontrastına veya hücre boyutlarında belirgin farklılıklara sahip olan melez, meşe gibi türler ise düzensiz tekstürlü ağaçlar olarak sınıflandırılmaktadır. Tekstür, ahşaba uygulanacak her türlü işlem için önemlidir. Düzenli tekstürdeki bir ahşabın işlenmesi genellikle daha kolay iken, kaba tekstürdeki bir ahşap yüzey işlemleri sırasında sorun çıkarabilmektedir.

Lif Yapısı

Odun dokusunu oluşturan hücreler lif olarak isimlendirilmektedir. Ağaçta boyuna yönde uzanan hücrelerin ağacın boyuna eksenine göre odun dokusuna katılma yönlerine lif yapısı, lif yönü denilmektedir. Optimum koşullarda lifler birbirlerine ve ağacın boyuna eksene paralel olacak şekilde yerleşmektedir. Bu tip ağaçlar düzgün lifli olarak isimlendirilmektedir. Lifler birbirine paralel fakat ağacın boyuna eksenine belli bir açı ile yerleşiyorsa spiral liflilik (lif kıvrıklığı), liflerin odun dokusuna yerleşim açısı belli aralıklarla değişikliğe uğruyorsa girift liflilikten bahsedilmektedir. Lif yapısındaki düzensizlikler odunda dekoratif şekillerin oluşmasını sağladığı için özellikle kaplama sanayinde tercih

Şekil 7

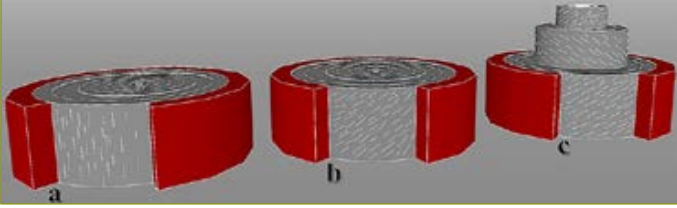
Geniş yapraklı ağaçlarda boyuna paransim tipleri.



edilmekte fakat ağaç malzemenin pek çok özelliğini olumsuz olarak etkilemektedir. Düzensiz lif yapısı sonucu direnç azalmakta, çalışma (daralma-genişleme) düzensiz hale gelmekte dolayısıyla ciddi kurutma kusurlarının görölme sıklığı artış göstermektedir (Şekil 8) (Harris 1989; Hoadley 2000; Dinwoodie 2004; Wiedenhoef ve Kretschmann 2014).

Şekil 8

Odunda lif yapısı, a) düzgün lifli, b) spiral lifli, c) girift lifli.



Mikroskobik Yapı

Herhangi bir malzemenin en iyi şekilde değerlendirilmesi için, onun özellikleri hakkında kapsamlı bilgi sahibi olmak esastır. Bu durum özellikle kompleks çeper yapısına sahip hücre adı verilen küçük birimlerden meydana gelen ahşap için kaçınılmaz bir gerçektir. Farklı ağaç türlerinden elde edilen ahşap örnekleri arasındaki temel yapısal farklılıklar bu hücrelerin farklı tipte, boyutta ve oranda oluşu ile hücrelerin yerleşim düzeninden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, ahşabın uygun şekilde makineler ile işlenmesi, kurutulması, emprenye edilmesi, tutkallanması ve yüzey işlemlerinin gerçekleştirilebilmesi anatomik yapıya bağlı olarak farklı işlem süreçlerinin uygulanmasını gerektirmektedir. Bu nedenle, ahşabın mikroskobik yapısını bilmek ve doğru ağaç türü tespiti ile bu malzemenin en rasyonel biçimde değerlendirilmesi sağlanmaktadır. Bunlara ilaveten, olumsuz çevre koşulları altında yetişen ağaçlardan elde edilen hammaddede ya da kullanım yerindeki uygun olmayan şartlar nedeniyle malzemede meydana gelen kalite kayıpları mikroskobik yapıya bağlı olarak belirlenebilmektedir. Benzer şekilde, yeni bir ürünün geliştirilmesi veya hammadde özelliklerinin iyileştirilmesi amacı ile uygulanan endüstriyel işlemlerin başarı derecesi mikroskobik incelemeler yolu ile tespit edilebilmektedir. Orman ürünleri endüstrisinde çoğunlukla makinelerle işleme, kurutma, emprenye ve yüzey işlemleri gibi süreçlerde oluşan malzeme kaynaklı problemler mikroskobik yapıya bağlı olarak çözümlenebilmektedir (Wheeler ve Baas 1998; Wiedenhoef ve Miller 2012; Doğu 2013; Erdin ve Bozkurt 2013; Riki ve ark. 2019).

Kızaklı bir mikrotom yardımı ile alınan ince (20µm-30µm) odun kesitleri ışık mikroskobu altında incelendiğinde hücrel kompozisyon kolaylıkla gözlemlenebilmektedir. Odunsu bir hücre ışık mikroskobu altında incelenecek olursa en dışında hücre çeperi, çeper üzerinde bir hücreden diğerine besin suyu akışını sağlayan geçitler ve orta kısımda lümen adı verilen hücre boşluğunun olduğu görülür (Şekil 10). Ayrıca, hücrelerin aralarında onları bir arada tutan orta lamel bulunmaktadır. Odun dokusunda hücrelerin arasında bulunan orta lamel çeşitli kimyasallar ile çözülerek hücreler birbirinden ayrılabilirler. Maserasyon adı verilen bu dokuyu çözme işleminden sonra hücreler mikroskop altında tek tek incelenebilmektedir. Odun dokusunu oluşturan hücreler yapısal özelliklerine göre ağaçlarda iletim, mekanik destekleme ya da depolama görevini üstlenmektedirler (Kollmann ve Cote 1968;

Merev 2003; Bozkurt ve Erdin, 2011; Erdin ve Bozkurt 2013).

İğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçların odunları farklı hücre çeşitliliğine sahip oldukları için hem görünüşleri hem de yapısal özellikleri bakımından birbirinden farklılık göstermektedir. En önemli farklılık, sadece geniş yapraklı ağaçlara özgü olan trahe hücrelerinin varlığından kaynaklanmaktadır.

Bu bölümde odunun yapısını daha iyi anlayabilmek için öncelikle yeni bir odun hücresinin oluşumu ve çeper yapısı üzerinde durulacak ardından, iğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçların odunlarının önemli mikroskobik özellikleri ele alınacaktır.

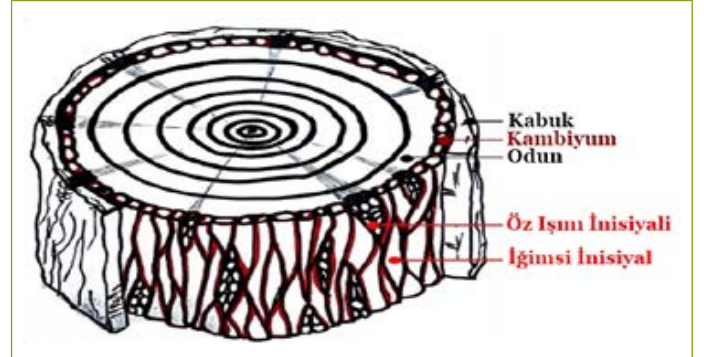
Vasküler Kambiyum ve Gövde Odununda Yeni Bir Hücresinin Oluşumu

Ağaçlarda büyüme boyuna (primer büyüme) ve enine yani çap doğrultusunda (sekonder büyüme) olmak üzere iki yönde gerçekleşmektedir. Orman endüstrisi için çap artırımının hammadde miktarı ve kalitesi üzerindeki etkisi daha önemli kabul edildiğinden bu bölümde enine büyüme üzerinde durulacaktır.

Ağaçlarda çap ve çevredeki artışlar iç kabuk (floem) ile odun (ksilem) arasında kalan ve ağacın hayatı süresince bölünme özelliğini koruyan vasküler kambiyum adı verilen bir tabaka tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu tabaka bir veya daha çok sayıdaki meristematik hücre sırasından oluşmakta ve ağaçta gövde, dallar, kök ve sürgünleri bir manto gibi sarmaktadır. Kambiyum tabakasında meydana gelen hücre bölünmeleri ile odun ve kabuk tabakalarına yeni hücreler eklenmektedir. Kambiyumu oluşturan hücreler "iğimsi inisiyaller" ve "öz ışını inisiyalleri" olmak üzere iki tiptir (Şekil 9). İğimsi inisiyaller boyuna yönde uzanan ince ve uzun hücreler olup, yaptıkları bölünmeler ile hem boyuna yönde uzanan ksilem ve floem hücrelerini hem de kambiyumdaki yeni iğimsi inisiyal hücrelerini oluşturmaktadırlar. Öz ışını inisiyalleri ise kısa ve yuvarlak hücreler olup, enine yönde uzanmaktadırlar. Öz ışını inisiyalleri ksilem ve floemdeki öz ışınları ile kambiyumdaki yeni öz ışını inisiyallerini meydana getirmektedir (Loewus ve Runeckles 1977; Zimmermann 1983; Chaffey 2002; Merev 2003; Bozkurt ve Erdin, 2011; Shmulsky ve Jones 2011; Wiedenhoef ve Miller 2012; Erdin ve Bozkurt 2013; Gril ve ark. 2017; Wiedenhoef ve Miller 2021).

Şekil 9

Vasküler kambiyum ve hücre tipleri.



Ilıman iklim bölgelerinde yetişen ağaçlarda kambiyum kış ayları süresince faaliyette değildir. Kambiyum inisiyallerinde bölünme

faaliyetinin başlayabilmesi için hava sıcaklığının bir hafta süre ile ortalama 7°C olması ve tomurcuk diplerinde ve yeni yapraklarda oluşan büyüme hormonları (Auxin'ler) tarafından kambiyumun uyarılması gerekmektedir. Yeni hücrelerin oluşumu kambiyum bölünmeleri ile başlamakta, ardından büyüme, çeper kalınlaşması ve ligninleşme safhalarından geçmektedir. Tüm bu safhaları geçiren bir hücre olgun hücre olarak kabul edilmekte ve odun dokusunun bir parçası haline gelmektedir. Büyüme safhası primer çeperin yayılması ile gerçekleşmekte, yeni hücreler son büyüklük ve şekillerine bu safhada ulaşmaktadırlar. Bu safhada ayrıca, protoplazmanın hücre çeperine doğru çekilmesi ile hücrenin iç kısmında lümen adı verilen bir boşluk meydana gelmeye başlamaktadır. Hücre çeperinin kalınlaşması safhasında hücrenin orta kısmından uç kısımlara doğru sekonder çeper tabakası oluşmaya başlamaktadır. Hücrelerdeki geçitler, perforasyon tablaları ve spiral kalınlaşmalar yine bu safhada meydana gelmektedirler. Ligninleşme safhasında sırasıyla hücre köşelerinde, orta lamelde ve sekonder çeperde lignin depolanmaktadır. Bu safha sonunda protoplazma tüketilmiş olmakta ve bu durumdaki bir hücre canlılığını kaybederek olgun bir odun hücresi haline dönüşmektedir. Ancak, diri odundaki paransim hücreleri öz odun oluşumuna dek canlı protoplazmalarını koruyarak ligninleşmemektedir (Merev 2003; Bozkurt ve Erdin 2011; Shmulsky ve Jones 2011; Erdin ve Bozkurt 2013).

Hücre Çeper Tabakaları

Odunun yapısında bulunan traheid, trahe ve lif hücreleri kambiyum faaliyeti ile oluştuktan sonra olgun bir hücre haline gelmek için geçirdikleri dört safha sonunda ligninleşerek canlılıklarını kaybederler. Yukarıda da açıklandığı gibi sadece paransim hücreleri öz odun oluşumuna dek canlılıklarını korurlar. Paransim hücrelerinin dışında kalan hücrelerde dıştan içe doğru primer çeper ve sekonder çeper bulunmaktadır. Ayrıca, primer çeperin dış kısmında ve hücreleri birbirine bağlayan orta lamel bulunmaktadır (Şekil 10). Odunu oluşturan hücrelerin çeperleri selüloz, lignin, hemiselüloz ve az miktarda da pektinden oluşmakta, orta lamel ise sadece lignin ve pektin içermektedir. Hücre çeperinin kimyasal bileşimini meydana getiren bu maddeler primer maddeler olup, odunun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde etkilidirler. Ayrıca, ekstraktif maddeler olarak adlandırılan hücre çeperine ve/veya lümenine yerleşen organik ve inorganik maddeler bulunmaktadır. Ekstraktif maddeler sekonder maddeler olup, odunun oluşumu üzerinde etkileri yoktur. Bu maddeler, odunu biyolojik etkenlere karşı korumakta, oduna renk ve koku gibi özelliklerini

kazandırmaktadır. Primer maddelerden selüloz, hücre çeperinin iskeletini oluşturmaktadır.

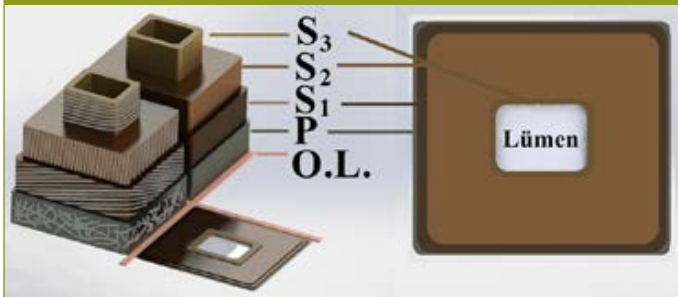
Hücre çeperinin oluşumu sırasında selüloz zincir molekülleri birbirine paralel şeritler halinde bir araya gelerek elementer fibrilleri, çok sayıda elementer fibril bir araya gelerek selüloz mikrofibrillerini oluşturmaktadır. Hemiselüloz ve lignin maddelerinin içine gömülü selüloz mikrofibrilleri de farklı açılarda bir araya gelerek hücre çeper tabakalarını meydana getirmektedir (Merev 2003; Shmulsky ve Jones 2011; Erdin ve Bozkurt 2013).

Selüloz mikrofibrillerinin yerleşim yönü hücre çeper tabakalarında büyük ölçüde değişiklik göstermekte olup, çeper özelliklerini dolayısıyla da odunun fiziksel ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Primer çeperde mikrofibriller gevşek bir yapıda olup, düzensiz bir örgü şeklindedir ve hücre eksenine ile 85°'lik bir açı yaparlar. Primer çeperin dış tarafında mikrofibriller daha düzensiz bir yapı gösterirken, iç tabakada daha düzenlidir (Şekil 10). Bitişik iki hücrenin primer çeperi ve orta lameli ışık mikroskopu altında birbirinden güç ayırt edildiği için bu yapı "bileşik orta lamel" olarak tanımlanmaktadır. Bir traheid veya lif hücresinde primer çeperden sonra üç tabakadan oluşan sekonder çeper gelmektedir. Bu tabakalar primer çeperin bittiği yerden lümeneye doğru S1-S2 ve S3 olarak sıralanmaktadır (Şekil 10). Sekonder çeperin ilk tabakası olan S1'de mikrofibriller hücrenin boyuna eksenine 50° -70°'lik bir açı ile uzanmaktadır. Bu mikrofibril düzeni hücrede rutubete bağlı boyuna yöndeki değişim üzerinde etkili olduğu gibi ayrıca hücrede enine yöndeki çekme direncini sağlamaktadır. Sekonder çeperin en kalın ve mikrofibril yoğunluğu en fazla olan tabakası S2 olup, mikrofibriller hücre eksenine hemen hemen paralel olacak şekilde 10°-20° (30°)'lik bir açı ile uzanmaktadırlar. S2 en kalın çeper tabakası olduğu için ahşabın fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde en yüksek etkiye sahiptir. S2 tabakasında mikrofibriller hücre eksenine hemen hemen paralel olduğu için ahşap su aldığı anda boyuna yöndeki genişleme enine yöndeki genişlemeye daha az olur. Sekonder çeperin en iç tabakası olan ve lümen tarafında yer alan S3 'de mikrofibriller hücre eksenine ile 60°-90°'lik açı ile seyretilmektedirler. Bu tabakada mikrofibril açısının yüksek olması rutubete bağlı enine yöndeki genişlemeyi engelleyici etki yapmaktadır. Bazı hücrelerin S3 tabakasının lümeneye bakan kısmında ufak çıkıntılar şeklinde kalıntılar görülebilmektedir. Bu çıkıntılar sitoplazmik karakterde olduğu için, kambiyumda yeni oluşan bir hücrenin sitoplazmasını tüketerek olgun bir hücre haline dönüşmesi sırasında arta kalan kalıntılar olduğu kabul edilmektedir. Siğilli tabaka olarak adlandırılan bu tabakanın varlığı ağaç türlerini ayırmada yardımcı olmaktadır. Yumuşak çam grubunda siğilli tabaka bulunmamakta ancak sert çamlarda bulunabilmektedir. Yine Avrupa kayınında trahe hücrelerinin çeperlerinde, Toros sedirinde kenarlı geçitlerin geçit odasında siğilli tabakaya rastlanabilmektedir (Merev 2003; Daniel 2009; Bozkurt ve Erdin 2011; Shmulsky ve Jones 2011; Erdin ve Bozkurt 2013).

Trahe ve paransim hücrelerinde çeper tabakaları farklılık göstermektedir. Trahe hücrelerinin çeper yapısı lif hücreleri ile aynı olabileceği gibi, sekonder çeperde sadece S1 ve S3 tabakalarına sahip trahe hücreleri de vardır. Bazı trahe hücrelerinde ise çeper tek tabakadan oluşmaktadır (Merev 2003). Paransim hücrelerinde primer çeper vardır ancak, sekonder çeper yerine "koruyucu tabaka" adı verilen farklı yapıda bir çeper bulunmaktadır. Bazı ağaç türlerinde

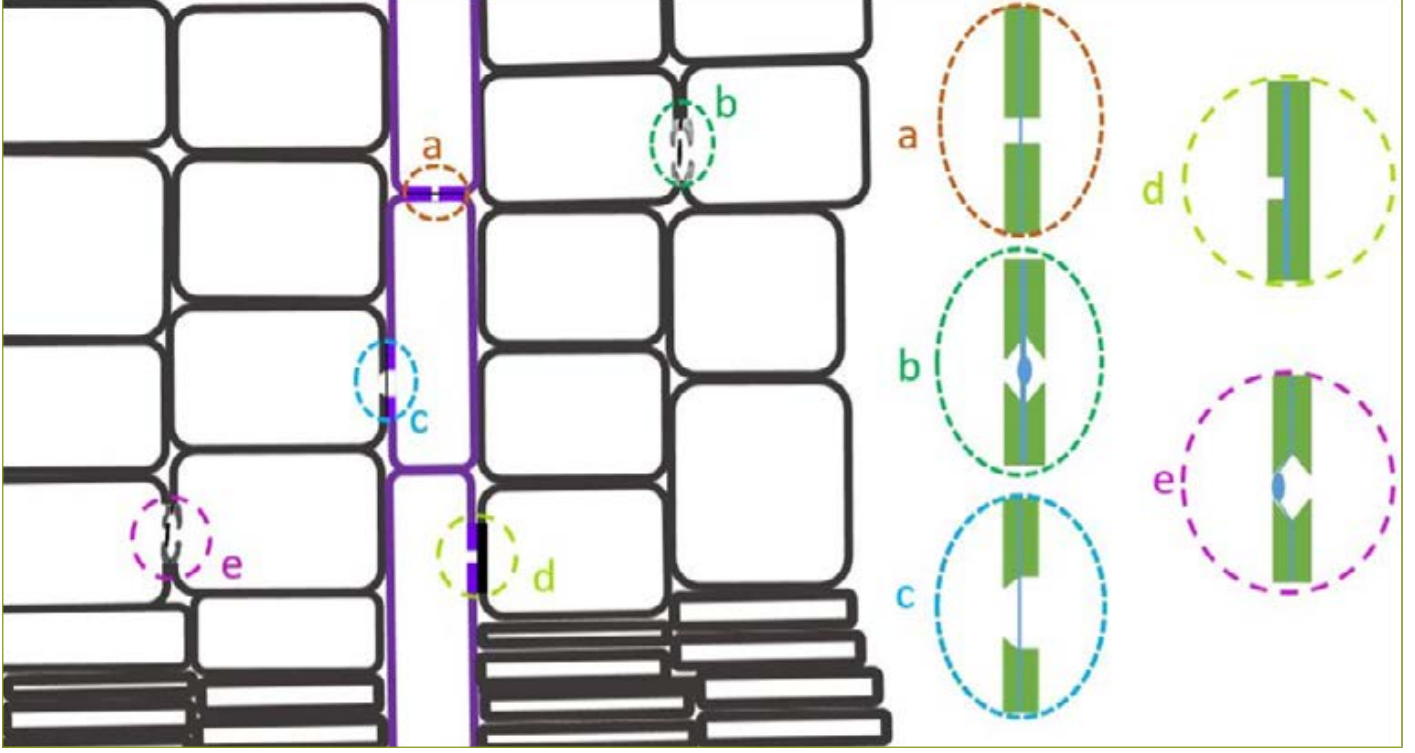
Şekil 10

Hücre çeper tabakaları ve orta lamel [O.L.]. P: primer çeper, S: sekonder çeper.



Şekil 11

İğne yapraklı ağaç enine kesitinde geçit tipleri; a: iki öz ısını parانشim hücresi arasında basit geçit çifti, b: iki boyuna traheid hücresi arasında kenarlı geçit çifti, c: boyuna traheid ve öz ısını parانشim hücresi arasında yarı kenarlı geçit çifti, d: kör geçit, e: aspirasyon halindeki geçit.



öz odun oluşumunun ardından koruyucu tabakanın üzerinde sekonder çeper oluşmaktadır (Merev 2003; Erdin ve Bozkurt 2013).

Geçitler

Ağaç dikili halde iken iki komşu hücre arasında su ve besin maddesi iletimini sağlayan geçitler; ağaç kesildikten sonra malzemeye uygulanacak kurutma, emprenye, yüzey işlemleri ve tutkallama gibi odunda iletim yollarının ön planda olduğu işlemlerde önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle geçit tiplerini ve yapısal özelliklerini bilmek oldukça önemlidir (Wiedenhoef ve Miller 2012; Wiedenhoef ve Miller 2021).

Hücrelerin sekonder çeper tabakasının devamlılığının kesildiği alanlardaki açıklıklar şeklinde tanımlanan geçitler; hücre tipine bağlı olarak basit ve kenarlı geçitler olmak üzere iki tiptir. Hem iğne yapraklı hem de geniş yapraklı ağaçların odunlarında bulunan hücreler için geçit tipleri karakteristiktir. Örneğin, traheidlerde, trahelerde, lif traheidlerinde kenarlı geçitler, libriform lifleri ve tüm parانشim hücrelerinde ise basit geçitler bulunmaktadır. Geçitler komşu iki hücrede karşılıklı olarak bulunduğu zaman geçit çiftlerini oluştururlar. Eğer her iki hücrede basit geçit bulunuyorsa "basit geçit çifti" (Şekil 11a), kenarlı geçit bulunuyorsa "kenarlı geçit çifti" (Şekil 11b), hücrelerden birinde kenarlı geçit diğerinde basit geçit varsa bu durumda da "yarı kenarlı geçit çifti" (Şekil 11c) oluşmaktadır. Bitişik iki hücrenin geçitlerinin karşılıklı gelmediği durumlarda ise geçitler "kör geçit" olarak tanımlanmaktadır (Şekil 11d). Tüm geçitler geçit zarı ve geçit boşluğu olarak adlandırılan iki esas bölüme sahip olup, yapısal özellikleri en iyi şekilde radyal ve teğet kesitlerde incelenebilmektedir. İğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçların kenarlı geçitlerinde geçit zarının yapısı birbirinden farklıdır.

İğne yapraklı ağaçlarda geçit zarının orta kısmı bir düğme şeklinde kalınlaşmaktadır. Torus adı verilen bu kısım genellikle geçirgen yapıda değildir. Ayrıca, hem geniş yapraklı hem de iğne yapraklı ağaçların yarı kenarlı geçitlerinde torus bulunmamaktadır. Torusu geçit kenarına bağlayan geçit zarı kısmı mikrofibriller bir yapıya sahip olup, "margo" olarak tanımlanmaktadır. Margodaki mikrofibril demetleri arasında bulunan boşluklardan sıvı maddeler ve 0,2 µm çapa kadar katı parçacıklar geçebilmektedir. Kenarlı geçitin hücre lümenine bakan açıklığına "geçit ağzı (porus)" denilmektedir. İğne yapraklı ağaçların radyal kesitlerinde kenarlı geçitler iç içe geçmiş üç halka şeklinde görünmektedir. En dış halka geçit kenarını, orta halka torusu, en içteki halka ise porusu temsil etmektedir. Dikili haldeki iğne yapraklı ağaçlarda, hücreler içindeki sıvı basınç farklılıklarından, biçilmiş malzemede ise kuruma nedeni ile margodaki mikrofibril demetlerinde meydana gelen yüzey gerilimi sonucunda, torus geçit çiftinin iki tarafında bulunan poruslardan birine doğru kaymaktadır. Bu durumda torus porusu tıkayarak sıvıların akışını önlemektedir. Böyle geçitler "aspirasyon" halindeki geçitler olarak tanımlanmaktadır (Şekil 11e). Yıllık halkaların ilkbahar odunu tabakasındaki traheidlerin geçitlerinde torusu askıda tutan mikrofibril demetleri ince olduğu için geçitlerin aspirasyon haline geçmesi kolayken, yaz odunu tabakasındaki traheidlerde kalın mikrofibril demetleri ile tersine bir durum söz konusudur. Aspirasyon halindeki geçitler daha çok diri odundan öz oduna dönüşüm sırasında meydana gelmekte, bu nedenle de öz odun ya çok az emprenye edilebilmekte ya da edilememektedir. İğne yapraklı ağaçlarda margonun öz odun ekstraktif maddeleri ile örtülmesi ya da lignin gibi çözünmeyen maddeler ile tıkanması sonucunda da traheidler arasındaki sıvı akışı engellenebilmektedir (Merev 2003; Bozkurt ve Erdin 2011; Shmulsky ve Jones 2011; Erdin ve Bozkurt 2013).

İğne Yapraklı Ağaçlarda Mikroskopik Yapı

İğne yapraklı ağaçların odun dokusu genel itibarı ile traheid ve paransim hücrelerinden oluştuğu için geniş yapraklı ağaçlara göre daha basit bir yapıya sahiptir. Odunları genellikle homojen yapıda, düzgün lifli ve hafiftir. Bu özellikleri nedeni ile çoğunlukla yapı malzemesi olarak tercih edilmektedir. Uzun ve düzgün gövdeli olanlar direklik malzeme olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, odun dokusuna katılım oranı en yüksek hücre tipi olan boyuna traheidlerin uzun hücreler olması nedeni ile iğne yapraklı ağaçlar kâğıt endüstrisinde tercih edilmektedir (Wiedenhoeft ve Miller 2012; Bozkurt ve Erdin 2011; Shmulsky ve Jones 2011; Wiedenhoeft ve Kretschmann 2014).

İğne yapraklı ağaçların odun yapısı mikroskop altında incelendiğinde başlıca elemanlar olarak "boyuna traheidler", "öz ışınları", "boyuna paransimler", "epitel hücreler ve reçine kanalları" görülebilmektedir (Şekil 12).

Boyuna Traheidler

Boyuna traheidler, ağaç gövdesinin boyuna eksenine paralel yönde uzanan, uçları kapalı, enine kesitleri dört ya da altı köşeli, uzunlukları çaplarının 100 katı kadar olan hücrelerdir. Teğet yöndeki çapları ağaç türlerine göre değişiklik göstermekte olup ortalama 20-40 µm arasında değişmektedir. Uzunlukları ise ortalama 3-4 mm'dir. Odun dokusuna katılım oranı %90-95 arasında değişim gösterdiği için iğne yapraklı ağaçların ana hücre tipini oluşturmakta ve ağaçta iletim ve destek görevini gerçekleştirmektedir. Yıllık halkanın ilkbahar odunu tabasında ince çeperli, geniş lümenli, yaz odunu tabakasından ise kalın çeperli ve dar lümenli hücrelerdir (Şekil 12). Boyuna traheidlerin yıllık halka içerisinde farklı yapısal özellikler göstermesi nedeniyle ilkbahar odunu tabakası açık renkli, yaz odunu tabakası ise koyu renkli görünmektedir. Bu yapısal farklılık ayrıca, yaz odunu tabakasının ilkbahar odunu tabakasına göre daha yoğun ve sert olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, ilkbahar odunu traheidleri ağaçta iletim görevini üstlenirken, yaz odunu traheidleri mekanik destek görevini üstlenmektedir. Bazı ağaç türlerinde yaz odunu traheid hücrelerinde çeperin aniden kalınlaşması nedeniyle, ilkbahar odunu tabakasının yaz odunu tabakasından keskin şekilde ayırt edildiği görülmektedir.

Böyle ağaçlara ilkbahar odunu tabakasından yaz odunu tabakasına geçişin ani (hızlı) olduğu ağaçlar denilmektedir. Örneğin, sert çamlar (sarıçam, karaçam, fıstık çamı), Douglas göknarı ve melezde geçiş anidir. Bazı ağaç türlerinde ise, ilkbahar odunu tabakasından yaz odunu tabakasına doğru gidildikçe çeper kalınlığındaki artışın yavaş yavaş olduğu görülmektedir. Yumuşak çamlar (Veymut çamı, İsviçre fıstık çamı, şeker çamı), göknar, Toros sediri, ardıç, ladin ve porsukta böyle bir durum gözlenmekte ve böyle ağaçlara geçişin yavaş olduğu ağaçlar denilmektedir. Geçişin ani veya yavaş olması bir teşhis kriteri olarak da kullanılmaktadır (Merev 2003; IAWA Committee 2004; Daniel 2009; Shmulsky ve Jones 2011; Erdin ve Bozkurt 2013; Wiedenhoeft ve Miller 2012; Wiedenhoeft ve Miller 2021).

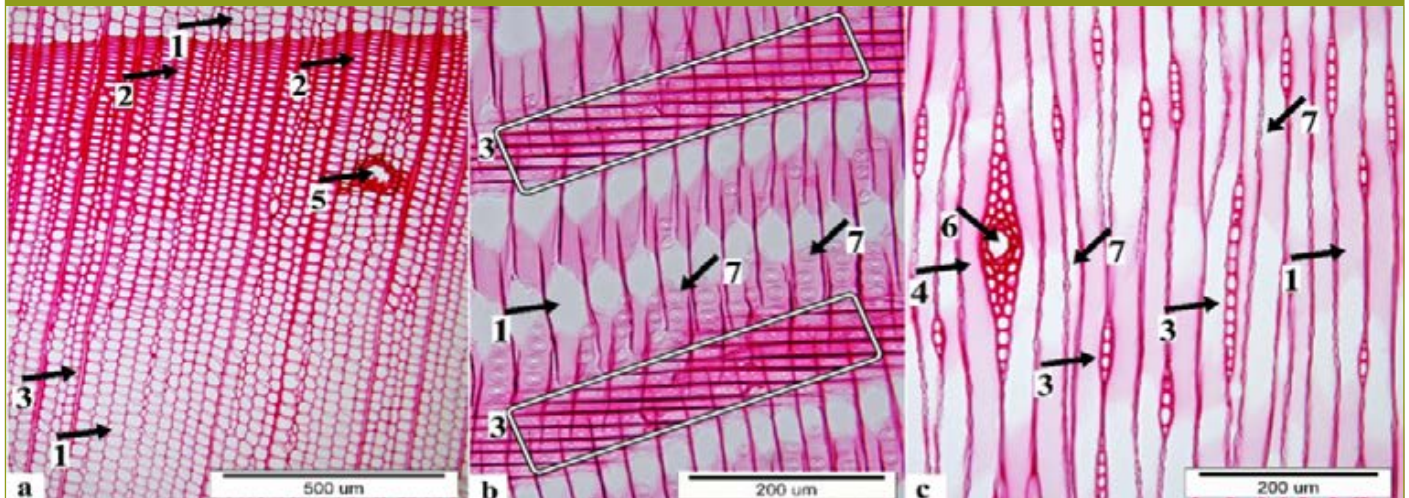
Boyuna traheid hücreleri arasında sıvı maddelerin iletimini sağlayan kenarlı geçitler bulunmaktadır. Bu geçitler boyuna traheidlerin radyal çeperleri üzerinde belirgin şekilde ve çok sayıda görülmürler. Şekilleri yuvarlak, iç içe geçmiş üç daire halinde olup (Şekil 12), ilkbahar odunu traheidlerinde büyük ve çok sayıda, yaz odunu traheidlerinde ise küçük ve az sayıda bulunurlar. Kenarlı geçitlerin büyüklük ve sayısındaki farklılık, boyuna traheid hücrelerinin radyal yöndeki çaplarının ilkbahar odunu tabakasında daha büyük, yaz odunu tabakasında ise daha küçük olmasından kaynaklanmaktadır. Dikili ağaçlarda su ve besin maddelerinin iletimini sağlayan bu geçitler, kesilmiş ağaçların odunlarına uygulanacak kurutma ve emprenye işlemlerinin gerçekleşmesinde önemli rol oynamaktadır (Kollmann ve Cote 1968; Merev 2003; Shmulsky ve Jones 2011; Erdin ve Bozkurt 2013).

Öz Işınları

Öz ışınları ağaç gövdesinin boyuna eksenine dik olacak şekilde yerleşmiş olup, radyal yönde besin maddesi alışverişini sağlamak ve depolama görevi yapmaktadır. Odun dokusuna katılım oranları ortalama % 5-9 arasında değişim gösterir. Teğet kesitteki görünüşleri çoğunlukla 1 hücre genişliğinde (göknar, sedir, ardıç, porsuk) olup, ortalama yükseklikleri 10-15 hücre kadardır (Şekil 12). Toros sediri, Kaliforniya su sediri, sekoya, Amerikan bataklık servisi ve diğer bazı servi türlerinde 1 hücre genişliğindeki öz ışınlarının yanında zaman zaman 2 sıralı öz ışınlarına da

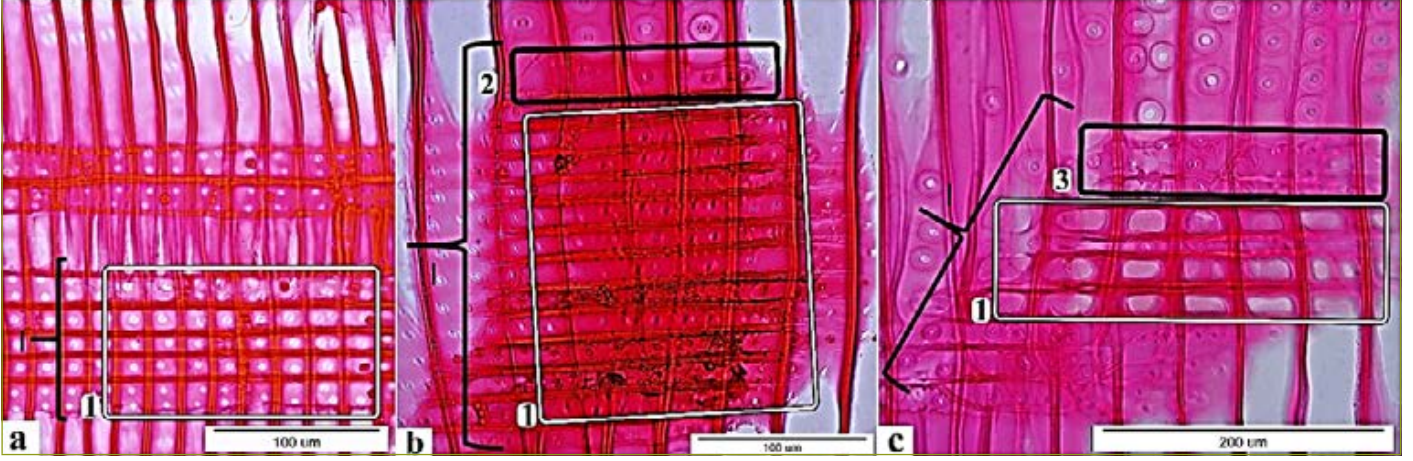
Şekil 12

Doğu ladininde enine [a], radyal [b] ve teğet [c] kesitler. 1: ilkbahar odunu traheidi, 2: yaz odunu traheidi, 3: öz ışını, 4: fusiform öz ışını, 5: boyuna reçine kanalı, 6: enine reçine kanalı, 7: kenarlı geçit.



Şekil 13

Radyal kesitte öz ışını (I) tipleri. a) Homojen öz ışını (Kokulu ardıç), b) Heterojen öz ışını (Toros sediri), c) Heterojen öz ışını (Sarıçam). 1: öz ışını paransimleri, 2) düzgün çeperli öz ışını traheidi, 3: çeperleri dişli yapıda öz ışını traheidi.



rastlanılmaktadır. Sekoyada nadiren 5 hücre genişliğinde öz ışınları da görülmektedir (Bozkurt ve Erdin 2011; Erdin ve Bozkurt 2013).

İğne yapraklı ağaçlarda öz ışınları sadece öz ışını paransim hücrelerinden oluştuğu gibi, öz ışını paransimi ve öz ışını traheidlerinden de oluşabilir. Öz ışınlarının sadece öz ışını traheidlerinden meydana geldiği bazı ağaç türleri de mevcuttur. Bir öz ışını tek hücre tipinden meydana geliyorsa "homojen" (Şekil 13a), her iki hücre tipini de yapısında bulunduruyorsa "heterojen" (Şekil 13 b-c) öz ışını olarak tanımlanmaktadır (Hoadley 1990; Hather 2000; Merdiv 2003; Shmulsky ve Jones 2011, Erdin ve Bozkurt 2013).

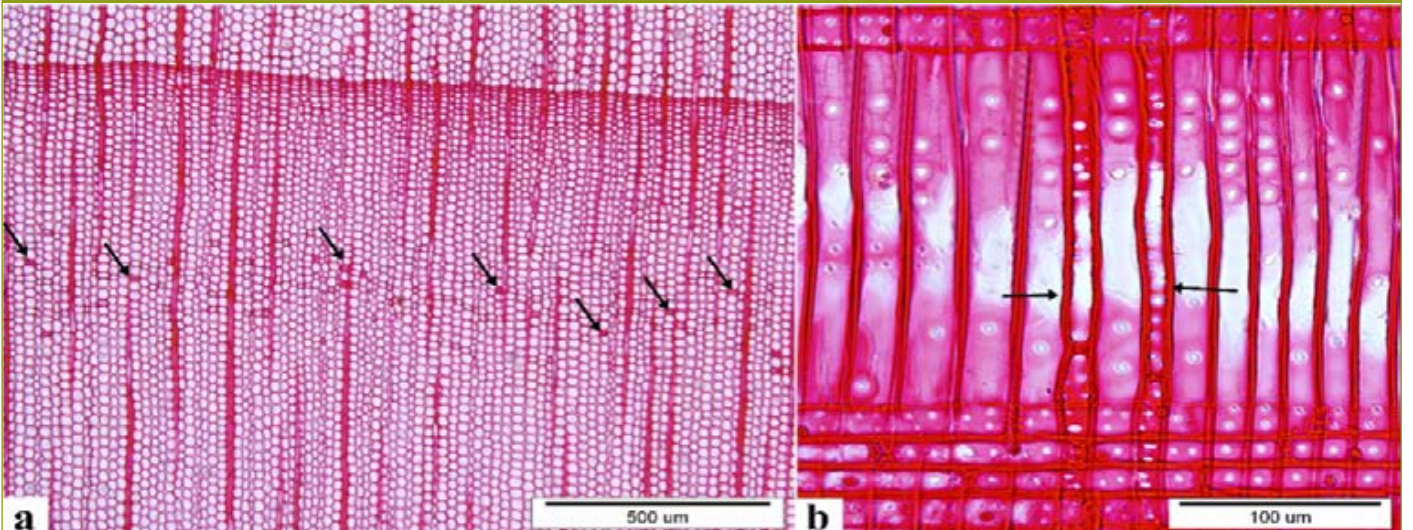
Öz ışını paransim hücreleri prizmatik ya da kiremit şeklinde, ince veya kalın çeperli olup diri odun kısmında canlı hücrelerdir. Bu hücreler besin maddelerini depolayarak aynı zamanda radyal yönde iletimi de sağlamakta ayrıca, öz odun oluşumunda rol oynayan ekstraktif maddeleri üretmektedir. Depo maddelerinin rengine bağlı olarak özellikle radyal kesitte koyu renkli olarak görülebilirler. Çeperleri üzerindeki geçitler basit geçit tipindedir. Öz ışını

paransim hücreleri ile boyuna traheidlerin temas ettiği alanlarda ise karşılaşma yeri geçitleri oluşmaktadır. Bu geçitler yarı kenarlı geçit tipinde olup şekil, büyüklük ve sayıları ağaç türlerine göre değişim gösterdiği için, teşhis edici bir özellik olarak kabul edilmektedir (Hoadley 1990; Merdiv 2003; Shmulsky ve Jones 2011; Wiedenhoef ve Miller 2012; Erdin ve Bozkurt 2013).

Öz ışını traheidleri (enine traheidler); öz ışınlarının alt ve üst kenarında ya da ara kısmında bir veya birkaç sıra halinde bulunmaktadır. Nadir olarak bir öz ışını tamamen öz ışını traheidlerinden de meydana gelebilmektedir. Çam, ladin, melez, sedir, Douglas göknarı, Tsuga ve Nutka servisi türlerinde öz ışını paransim hücreleri ile birlikte heterojen öz ışınlarının yapısına katılmaktadır. Bu hücreler kenarlı geçitlere sahiptir ve radyal yönde besin suyu iletimi yaparlar. Çeperlerinin iç yüzeyi düzgün, dalgalı ya da dişli olabilir. Sert çam grubunda dişli veya ağ şeklinde iken, yumuşak çamlarda, ladin, melez, sedir türlerinde çeperler düzgündür (Şekil 13 b-c). Çeperlerin bu özelliği teşhis kriteri olarak kullanılmaktadır (Kollmann ve Cote 1968; Hoadley 1990; Merdiv 2003; IAWA Committee 2004; Shmulsky ve Jones 2011; Erdin ve Bozkurt 2013).

Şekil 14

Kokulu ardıç odununda boyuna paransim hücreleri, a) enine kesit b) radyal kesit.



Bazı öz ışınlarının yapısında öz ışını parانشimleri ve öz ışını traheidlerine ilave olarak reçine kanalı ve bu kanalların çevresinde epitel hücreleri bulunmaktadır. Bu tip öz ışınları, "iğimsi (fusiform) öz ışınları" olarak tanımlanmaktadır (Şekil 12). Boyuna reçine kanalı bulunan çam, ladin, melez, sedir, Douglas göknarı türlerinde mevcuttur (Merev 2003; IAWA Committee 2004; Hoadley 1990; Shmuly ve Jones 2011; Erdin ve Bozkurt 2013).

Boyuna Parانشimler

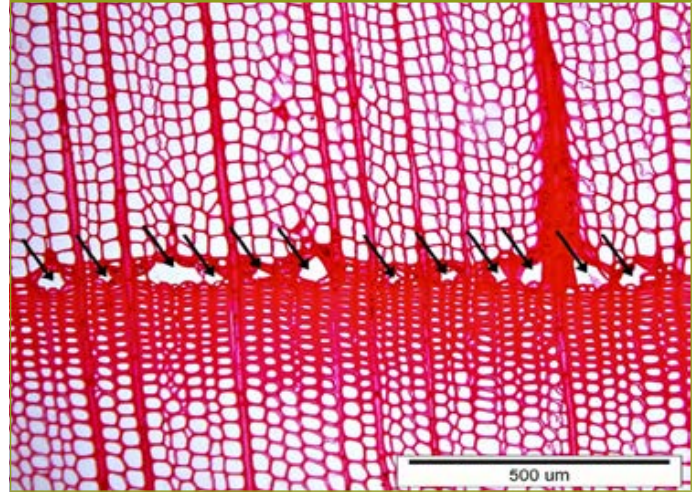
Boyuna parانشim hücreleri sedir, servi, ardıç, Kaliforniya su sediri, sekoya, mazi ve Amerikan bataklık servisi gibi bazı ağaç türlerinde rastlanılan, boyut ve şekil olarak öz ışını parانشim hücrelerine benzeyen, ancak boyuna yönde uzanan hücrelerdir. Enine kesitteki görünüşleri boyuna traheidlere benzemekle birlikte lümenlerinin genellikle koyu renkli depo maddeleri ile dolu olması ve çoğunlukla çeperlerinin etrafındaki hücrelerden daha ince olması ile ayırt edilmektedir (Şekil 14). Boyuna kesitlerde (radyal ve teğet kesit) ise bu kısa hücreler üst üste gelerek uzun parانشim dizileri şeklinde görülürler (Şekil 14b). Çeperleri üzerinde basit geçitler vardır. Bulundukları ağaç türüne göre tüm yıllık halka içinde veya yaz odununda tek tek ve dağınık ya da yıllık halka sınırında kısa teğet sıralar halinde dağılım gösterirler ve dokuya katılım oranları % 1'e ulaşmaz. Boyuna parانشim hücrelerinin bulunması mikroskopik teşhiste kullanılan bir özelliktir (Hoadley 1990; Merev 2003; IAWA Committee 2004; Wiedenhoef ve Miller 2012; Erdin ve Bozkurt 2013; Wiedenhoef ve Miller 2021).

Reçine Kanalları ve Epitel Hücreler

Bazı iğne yapraklı ağaçların odun yapısında boyuna ve enine reçine kanalları bulunmaktadır. Reçine kanallarının var olması o ağaç türleri için teşhis edici bir özelliktir. Reçine kanalları bir hücre tipi olmayıp, diğer hücreler arasında oluşan bir boşluktur. Epitel hücreleri ise, hücreler arasında oluşan bu boşlukları çevreleyen özel tipte bir parانشim hücresi olup görevleri reçine maddesinin salgılanmasıdır. Ağaç türüne bağlı olarak ince ya da kalın çeperli olabilmektedirler. Boyuna reçine kanalları boyuna traheidler arasında, enine reçine kanalları ise öz ışınlarının içerisinde

Şekil 15

Toros sediri enine kesitinde yıllık halka sınırında teğet sıralar oluşturan travmatik reçine kanalları.

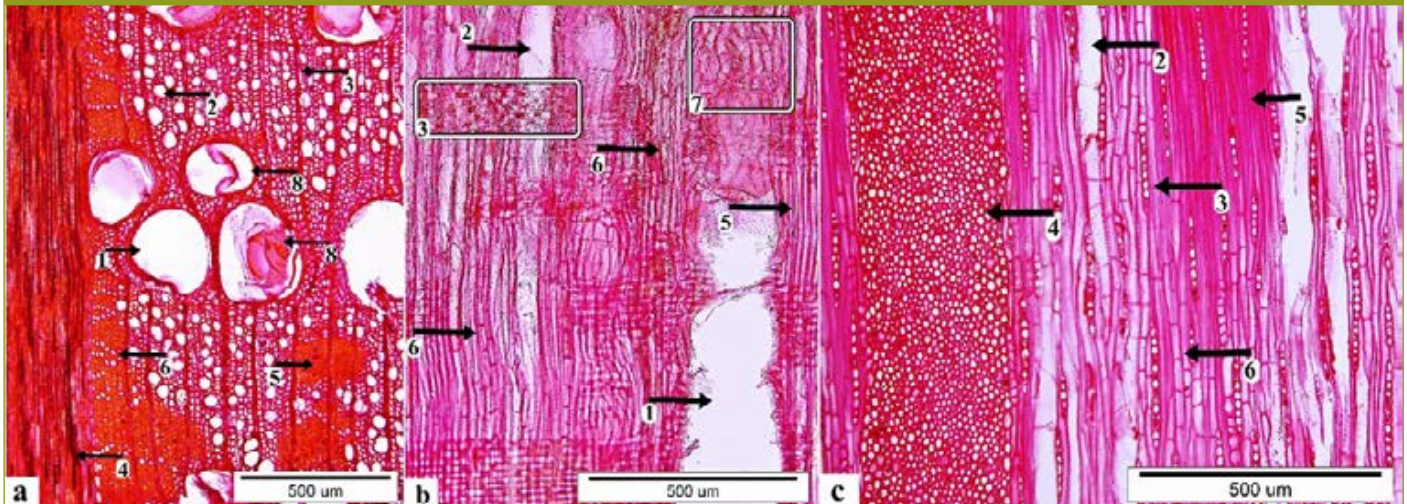


bulunmaktadır (Şekil 12 a-c). Çam, ladin, melez, Douglas göknarı türlerinde boyuna ve enine reçine kanalları her zaman mevcuttur. Genellikle çam türlerinde reçine kanalları diğer türlere göre daha büyük çaplı ve fazla sayıdadır. Enine reçine kanallarını çevreleyen epitel hücrelerinin sayısı teşhis kriteri olarak kabul edilmektedir (Hoadley 1990; Merev 2003; IAWA Committee 2004; Daniel 2009; Erdin ve Bozkurt 2013; Shmuly ve Jones 2011).

Reçine kanalları don, yangın ya da mekanik etki gibi nedenlerle yaralanmalar sonucunda da oluşabilmekte ve "travmatik reçine kanalları" olarak isimlendirilmektedir. Travmatik kanallar hem normal reçine kanalı bulunan hem de bulunmayan ağaçlarda meydana gelebilmektedir. Bu kanallar normal reçine kanallarından daha büyük, düzensiz şekilleri ve genellikle teğet sıralar oluşturmaları ile dikkat çekmektedir (Şekil 15). Travmatik kanallara sedir türünde her zaman rastlanılmaktadır (Hoadley 1990; Merev 2003; Erdin ve Bozkurt 2013).

Şekil 16

Geniş yapraklı ağaçlarda [Sapsız meşe] mikroskopik yapı; enine (a), radyal (b) ve teğet (c) kesitler. 1: ilkbahar odunu trahesi, 2: yaz odunu trahesi, 3: dar öz ışını, 4: geniş öz ışını, 5: lif hücreleri, 6: boyuna parانشimler, 7: vasisentrik traheidler, 8: trahelerde tül oluşumu.



Geniş Yapraklı Ağaçlarda Mikroskobik Yapı

Geniş yapraklı ağaçların odun yapıları iğne yapraklı ağaçlar ile karşılaştırıldığında, çok daha fazla hücre çeşitliliğine sahip olması ile daha karmaşık bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Aynı zamanda, bu hücrelerin büyüklükleri, şekilleri, yıllık halka içindeki dağılış düzenleri ve bulunuş oranları ağaç türleri arasında önemli değişiklikler göstermektedir. Bu nedenle, geniş yapraklı ağaç türlerinin odunları birbirlerinden oldukça farklı görünüş özelliklerine sahiptir. Bu durum geniş yapraklı ağaç türlerinin daha çok dekoratif amaçlı kullanım alanlarında tercih edilmesine neden olmaktadır (Bozkurt ve Erdin 2011; Shmulsky ve Jones 2011).

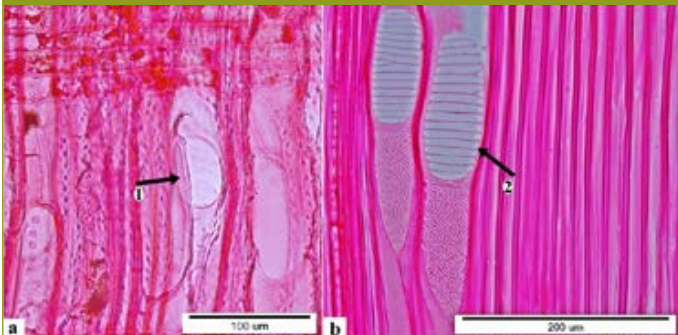
Geniş yapraklı ağaçların odun yapısı mikroskop altında incelendiğinde başlıca elemanlar olarak "trahe hücreleri", "lif hücreleri", "öz ışınları", "traheidler", "boyuna paransimler", "epitel hücreler ve sakız/reçine kanalları" görülebilmektedir (Şekil 16).

Traheler

Trahe hücreleri geniş yapraklı ağaçlar için karakteristik olup, gövde eksenine paralel olarak uzanan ve iletim görevi yapan hücrelerdir (Şekil 16). İki ucu açık olan bu hücreler, büyük çaplı ve kısa olabildikleri gibi, küçük çaplı ve boyları uzun hücreler şeklinde de olabilmektedir. Teğet yöndeki çapları oldukça küçük (<30 µm) veya oldukça büyük (>300 µm) olabilir ancak, tipik olarak 50–200 µm arasında değişim göstermektedir. Uzunlukları ise, iğne yapraklı ağaçlardaki boyuna traheidlerden çok daha kısadır ve 100–1200 µm (0.1–1.2 mm) arasında değişmektedir. Odun dokusunda üst üste yerleşerek uzun iletim boruları oluşturmaktadırlar. Uç uca eklendikleri kısımlarındaki açıklıklar boyuna yöndeki su iletimine yardım etmekte ve "perforasyon tablası" olarak tanımlanmaktadır. Perforasyon tablalarının tipi ağaç türlerine göre farklılık göstermekte olup, bir teşhis kriteridir. İki trahe hücresi arasında tek boşluk halinde bir açıklık varsa "basit perforasyon tablası" (Şekil 17a) (meşe, karaağaç, dişbudak, akçaağaç, ıhlamur, kavak, söğüt), birbirine paralel çok sayıda açıklıklar şeklinde bir boşluk varsa "merdivenimsi perforasyon tablası" (Şekil 17b) (kızılağaç, huş, şimşir, gürgen) olarak adlandırılmaktadır. Egzotik ağaçların bir bölümünde ise ağ şeklinde veya çok delikli perforasyon tablaları bulunmaktadır. Ancak, dünyadaki ağaçların %80'inde basit perforasyon tablası mevcuttur (IAWA Committee 1989; Meriv 2003; Wiedenhoef ve Miller 2012; Erdin ve Bozkurt 2013; Wiedenhoef ve Miller 2021).

Şekil 17

Radyal kesitte perforasyon tablaları; a) Sapsız meşede basit perforasyon tablası (1), b) Sığilli huşta merdivenimsi perforasyon tablası (2).

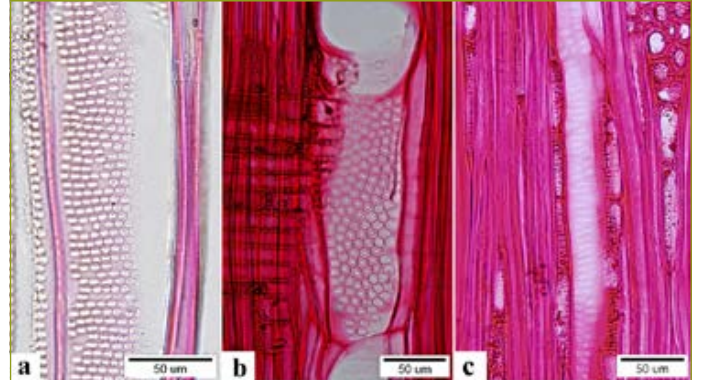


Trahelerin bir yıllık halka içindeki dağılış düzenleri ağaç türlerine göre "halkalı traheli", "dağınık traheli" ve "yarı halkalı traheli" olmak üzere farklılık göstermekte olup, önemli bir teşhis kriteridir. Trahelerin dağılış düzenleri ile ilgili tanım ve açıklamalar bu bölümün "Makroskobik Özellikler" kısmında detaylı bir şekilde yapılmıştır. Trahe hücreleri enine yönde kesilecek olursa yuvarlak, oval ya da köşeli küçük delikler şeklinde görülürler ve dağınık traheli ağaçlarda tek tek, ikisi bir arada, radyal sıralı ya da gruplar halinde bulunabilmektedir (IAWA Committee 1989; Hoadley 1990; Meriv 2003; Shmulsky ve Jones 2011; Erdin ve Bozkurt 2013).

Trahe hücrelerinin teğet çeperleri üzerindeki kenarlı geçitler, bir-biri ile temas halinde olan trahe hücreleri arasında enine yöndeki iletimi sağlamaktadır. Bu geçitlerin düzenleri "karşılıklı (yatık sıralı)" (Şekil 18a), "diyagonal (almaçlı)" (Şekil 18b) ve "merdivenimsi (skalariform)" (Şekil 18c) tipte olup, ağaç türlerine göre farklılık göstermekte ve bir teşhis kriteri olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, trahelerin temasta olduğu hücre tipine bağlı olarak aralarında kenarlı ya da yarı kenarlı geçit çiftleri bulunmaktadır (IAWA Committee 1989; Meriv 2003; Shmulsky ve Jones 2011, Wiedenhoef ve Miller 2012; Erdin ve Bozkurt 2013; Wiedenhoef ve Miller 2021).

Şekil 18

Teğet kesitte traheler arası geçit tipleri; a) *Nyssa aquatica* 'da karşılıklı (yatık sıralı) diziliş (1), b) Söğütte diyagonal (almaçlı) diziliş (2), c) Kızılcıkta merdivenimsi (skalariform) diziliş.



Trahe hücreleri ile boyuna paransim hücreleri ya da trahe hücreleri ile öz ışını paransim hücreleri arasındaki geçit çiftlerinin boyutuna bağlı olarak trahelerin içerisinde "tül oluşumu" (Şekil 16) ya da "yabancı madde birikimi" meydana gelebilmektedir. Bir trahenin bitişiğinde bulunan paransim hücrelerinin protoplazması ve koruyucu tabakası ile birlikte ortak geçitlerden geçerek trahe lümenini kısmen ya da tamamen doldurması sonucunda tül oluşumu meydana gelmektedir. Tüller, öz odun oluşumu, trahelerdeki su miktarındaki azalma, ağacın yaralanması, mantar ve virüs enfeksiyonu, ağaçların 25 °C sıcaklık ve % 98 bağıl nem şartlarında kesim yapılmasına bağlı olarak oluşabilmektedir. Tül oluşumunun meydana gelebilmesi için trahe ve paransim hücreleri arasındaki geçit çapının yeterli büyüklükte olması ($\geq 10 \mu\text{m}$) ve paransim hücresinin aktif olması gerekmektedir. Trahelerin kısmen ya da tamamen tüllerle tıkanması permeabilitenin düşmesine neden olduğundan emprenye işlemi ya da boyut stabilizasyonunu sağlamak amacıyla uygulanan kimyasal maddelerin ahşap tarafından alınımı güçleştirmekte, kurutma işlemi yavaşlatmaktadır. Tül oluşumu ahşabın kullanım yerleri üzerinde de etkili olabilmektedir. Örneğin; ak meşeler trahelerinin içerisi fazla miktarda tül

içerdiğinden sızdırmazlık özelliği kazanarak fıçı yapımında tercih edilirken, kırmızı meşeler tül oluşumu az miktarda olması ya da hiç olmaması nedeniyle tercih edilmemektedir.

Traheler ile öz ışını parانشim hücreleri arasındaki geçit çapının yeterli büyüklükte olmaması ($\leq 8 \mu\text{m}$) durumunda tül oluşumu meydana gelmemekte, ancak öz ışını parانشim hücrelerinden trahe içine doğru bazı maddeler salgılanabilmektedir. Bu maddeler trahe lümeninde hava ile temas ettiğinde sakız, reçine veya kimyasal maddeler şeklinde sertleşmekte, özellikle sakızlı maddeler ahşap rengi üzerinde etkili olmaktadır. *Fagara flava* (West Indian satinwood)'da sarı rengi, *Diospyros ebenum* (hakiki abanoz)'da siyah rengi veren bu maddelerdir (Shmulsky ve Jones 2011; Erdin ve Bozkurt 2013).

Lif hücreleri

Geniş yapraklı ağaçlarda lif traheidleri ve libriform lifleri olmak üzere iki tip lif hücresi bulunmakta olup; uzun, dar, uçları kapalı ve genellikle kalın çeperli hücreler olmaları nedeniyle iğne yapraklı ağaçlardaki boyuna traheid hücrelerine benzemektedirler (Şekil 16). Ancak bu hücrelerden daha kısa olup, uç kısımları sivri, çatalı ya da dişli yapıdadır. Enine kesitlerde 4-6 köşeli ya da yuvarlak şekilde görünmektedirler. 1-2 mm uzunlukta olup, ortalama teğet çapları iğne yapraklı ağaçlardaki boyuna traheidlerin yaklaşık yarısı kadardır, ancak genellikle bir trahe hücresinden 2-10 kat daha uzundur. (Wiedenhoeft ve Miller 2012; Erdin ve Bozkurt 2013; Wiedenhoeft ve Miller 2021).

Lif traheidlerinin çeperlerinde kenarlı geçitler, libriform liflerinde ise çoğunlukla basit geçitler bulunmaktadır. Odun dokusuna katılım oranları % 50, bazen daha yüksek olabilmektedir (Wiedenhoeft ve Miller 2012; Wiedenhoeft ve Miller 2021).

Lif traheidleri ve libriform lifleri aynı ağaç türünde bulunabilmektedir. Görevleri ağaçlara mekanik destek sağlamak olup, ağaç malzemedir direnç, sertlik, ağırlık ve kimyasal kompozisyon üzerinde etkili olmaktadır (Erdin ve Bozkurt 2013).

Öz Işınları

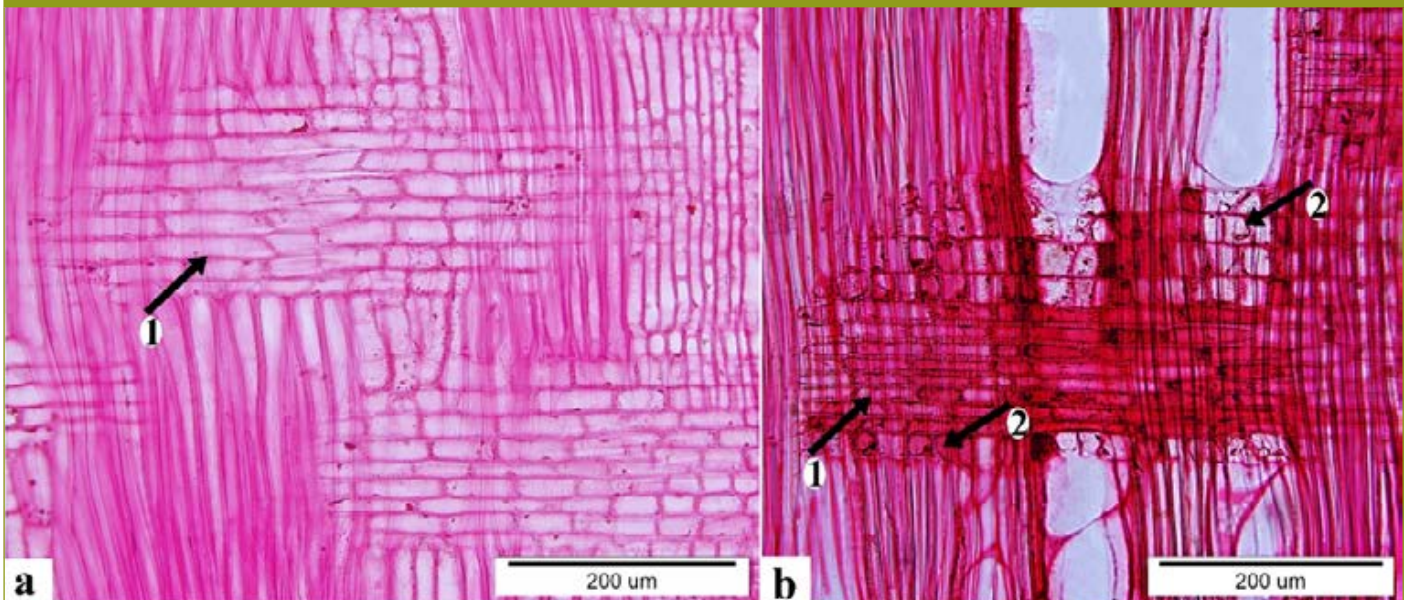
Geniş yapraklı ağaçlarda öz ışınları yatık ya da dikine tipte parانشim hücrelerinden meydana gelmekte ve gövde boyuna eksenine dik olacak şekilde (enine yönde) uzanmaktadır. Bu hücreler diri odun kısmında canlılıklarını korumakta, besin maddelerinin depolanmasında ve bu maddelerin radyal yönde iletiminde görev almaktadır (Bozkurt ve Erdin 2011; Erdin ve Bozkurt 2013). Öz ışınları tipik olarak aynı büyüklük ve şekildeki parانشim hücrelerinden meydana geliyorsa "homoselüler" (Şekil 19a), farklı büyüklük ve şekildeki parانشim hücrelerini içeriyorsa "heteroselüler" (Şekil 19b) öz ışını olarak tanımlanmaktadır (Merev 2003; Wiedenhoeft ve Miller 2012; Erdin ve Bozkurt 2013). Öz ışınlarının yapısal düzenindeki bu farklılık ağaç türlerinin teşhisinde önemli bir kriterdir. Örneğin; akçaağaç, dişbudak, huş, ıhlamur, kestane, kavak, meşe, karaağaç, yalancı akasyada öz ışınları homoselüler iken; şimşir, zeytin, kiraz, söğütte heteroselüler yapıdadır (Merev 2003; Erdin ve Bozkurt 2013).

Geniş yapraklı ağaçlarda öz ışınlarının hücre sayısı olarak genişliği ağaç türlerine göre çeşitlilik göstermekte ve bir teşhis kriteri olarak kullanılmaktadır. Öz ışınları, 1 hücre genişliğinde (üniseri / tek sıralı), 2 hücre genişliğinde (biseri / iki sıralı), 3 ve daha fazla hücre genişliğinde (mültiseri / çok sıralı) olabilmektedir. Öz ışınları bazı ağaç türlerinde sadece tek sıralı olabilirken (söğüt, kavak, kestane) bazılarında da tek sıralı ve çok sıralı (geniş) öz ışınları (kayın, çınar, meşe) bir arada bulunmaktadır (Şekil 16). Kızılağaç ve gürgen'de olduğu gibi öz ışınları bileşik (yalancı) öz ışını tipinde de olabilmektedir. Bileşik öz ışınları, tek sıralı öz ışınlarının çok sık aralıklarla yan yana geldiği ve aralarında lif hücrelerinin ve zaman zaman da trahelerin bulunduğu öz ışınlarıdır (Merev 2003; Erdin ve Bozkurt 2013).

Öz ışınlarının yüksekliği ağaç türlerine göre değişiklik göstermektedir. Yaklaşık $20 \mu\text{m}$ 'den başlayan ve 1mm 'yi aşan öz ışını yüksekliklerine sahip ağaç türlerine rastlanmaktadır (IAWA

Şekil 19

Geniş yapraklı ağaçlarda öz ışını tipleri-radyal kesit; a) Dişbudakta homojen öz ışını, b) Söğütte heterojen öz ışını. 1: yatık parانشim hücreleri, 2: dikine parانشim hücreleri.



Committee 1989; Erdin ve Bozkurt 2013].

Öz ısını paranzim hücrelerinin çeperleri üzerinde belirgin bir özelliğe sahip olmayan basit geçitler bulunmaktadır. Ancak, öz ısınlarının trahelerle temas ettikleri alanlarda oluşan geçit çiftleri şekil ve boyutları itibarı ile ağaç türlerine göre değişiklik göstermekte ve teşhis özelliği taşımadır. Bu geçitler; "küçük ve sık geçitler" (Akcaağaç, huş, dişbudak), "büyük, yuvarlak ya da oval geçitler" (okaliptus, meşe, ıhlamur) ve "büyük ve uzun geçitler" (çitlembik, kayın) olarak sınıflandırılmaktadır [Erdin ve Bozkurt 2013].

Traheidler

Bazı geniş yapraklı ağaçların odun yapılarında bulunan traheid hücreleri boyuna yönde uzanmakta ve iletim görevi görmektedirler. "Vasküler ve vasisentrik traheidler" olmak üzere iki tiptedir. Her iki hücre tipinin de uçları kapalı olup, çeperleri üzerinde kenarlı geçitler bulunmaktadır [IAWA Committee 1989; Erdin ve Bozkurt 2013].

"Vasküler traheidler" genellikle yıllık halkanın yaz odunu tabakasında ya trahe hücrelerinden bağımsız olarak ya da gruplar halinde bulunan trahelerin çevresinde yer almaktadır. Büyüklük, şekil ve çeper yapısı itibarı ile yaz odunu trahelerine benzemektedirler [IAWA 1989, Merev 2003; Erdin ve Bozkurt 2013].

Büyük çaplı ilkbahar odunu trahelerinin çevresinde yer alan "vasisentrik traheidler" kısa ve genellikle düzensiz şekilli hücrelerdir (Şekil 16). Bu hücrelerin radyal ve teğet çeperleri üzerinde çok sayıda kenarlı geçitler bulunmaktadır [IAWA 1989, Merev 2003; Erdin ve Bozkurt 2013].

Boyuna Paranzimler

Boyuna paranzimler iğne yapraklı ağaçların sınırlı sayıdaki türünde bulunurken geniş yapraklı ağaçlarda çok daha fazla türde bulunmaktadır. Her iki gruptaki boyut, şekil ve görevleri aynıdır. Ancak, geniş yapraklı ağaçlarda boyuna paranzim hücreleri çok miktarda bulunmakta ve yıllık halka içinde farklı dağılış düzenlerinde bulunmaktadır. Dağılış düzenlerindeki bu çeşitlilik geniş yapraklı ağaç türlerinin teşhisi için önemli bir kriterdir [Kollmann ve Cote 1968; Wiedenhoef ve Miller 2012; Wiedenhoef ve Miller 2021].

Boyuna paranzim hücreleri ılıman iklim kuşağında yetişen ağaçlarda % 24'e varan oranlarda bulunurken, bu oran tropik ağaçlarda % 50'ye kadar ulaşabilmektedir. Diri odunda uzun yıllar canlılığını koruyan paranzim hücreleri öz odun oluşumu ile birlikte canlılığını kaybetmektedir. Bu hücreler ince çeperli, basit geçitlere sahip olup, kısa ve tuğla şeklindedir. Ana görevleri depolama olduğu için içlerinde açık veya koyu renkli reçineli veya sakızlı maddeler, nişasta taneleri, kalsiyum bileşikleriyle ılıman bölgelerde yetişen ağaç türlerinde az bulunmak üzere amorf silis (SiO₂) parçacıkları bulunabilmektedir. Bu hücreler bir dereceye kadar karbonhidratların iletiminde de rol oynamaktadır. Odun dokusu içinde içerdikleri depo maddelerinin rengine bağlı olarak açık ya da koyu renkli olarak görülmektedirler. Enine kesitlerde lif hücrelerine çok benzemektedir ancak, çeperlerinin ince olması ile kolayca ayırt edilmektedirler (Şekil 16) [Kollmann ve Cote 1968; Merev 2003; Wiedenhoef ve Miller 2012; Bozkurt ve Erdin 2011; Erdin ve Bozkurt 2013; Wiedenhoef ve Miller 2021].

Boyuna paranzimler yıllık halka içinde paratraheal, apotraheal ve sınır paranzimleri olmak üzere 3 ana dağılış düzenine sahiptir. Boyuna paranzimler trahe hücreleri ile temas halinde iseler "paratraheal", trahe hücreleri ile temas etmiyorlarsa "apotraheal", yıllık halkanın başında ya da sonunda bir veya birkaç sıra halinde bulunuyorlarsa "sınır paranzimleri" olarak tanımlanmaktadır (Şekil 7). Paranzim hücreleri yıllık halkanın başlangıç kısmında yer alıyorsa "inisial sınır paranzimleri", son kısmında bulunuyorlarsa "terminal sınır paranzimleri" olarak adlandırılmaktadır (Merev 2003; Erdin ve Bozkurt 2013). Boyuna paranzim hücrelerinin dağılış düzenleri ile ilgili daha detaylı bilgi bu bölümün makroskobik özellikler kısmında verilmiştir.

Epitel Hücreleri ve Reçine / Sakız Kanalları

Bazı geniş yapraklı ağaçlarda boyuna ya da enine yönde uzanan reçine veya sakız kanalları bulunmaktadır. Bu kanallar normal kanallardır ve epitel hücreleri ile çevrilmiş olup, sakız, reçine ya da yapışkan maddeler içermektedirler. İğne yapraklı ağaçlardaki reçine kanalları gibi meydana gelen normal kanallar ılıman iklim kuşağında yetişen ağaçlarda bulunmamaktadır. Boyuna kanalların enine kesitteki dizilişleri uzun teğet sıralar halinde (*Hopea* spp., *Shorea* spp., *Parashorea* spp.), kısa teğet sıralı (*Dipterocarpus* spp.) ya da tek tek dağılmış (*Anisoptera* spp., *Prioria copaifera*) halde olabilmektedir. Enine kanallar ise iğnimsi öz ısınlarının içerisinde bulunmaktadır (*Pistacia* spp., *Bursera gummiifera*). Boyuna ve enine kanallar genellikle aynı ağaç türünde bir arada bulunmamaktadır. Boyuna kanallar travmatik yani yaralanma sonucunda da oluşabilmektedir. Travmatik kanallara Anadolu sığla ağacı, kiraz, *Terminalia procera*, *Carapa procera* gibi ağaç türlerinde rastlanılmaktadır. Travmatik kanallar enine kesitlerde düzensiz şekilleri ve yakın aralıklı teğet sıralar oluşturmaları ile normal kanallardan ayırt edilmektedirler. Reçine veya sakız kanallarının var olup olmaması ağaç türlerinin teşhisinde ayırt edici bir kriterdir [IAWA Committee 1989; Merev 2003; Erdin ve Bozkurt 2013].

Ağaç Türü Teşhisinin Bazı Önemli Uygulama Alanları

Bir ahşabın hangi ağaç türüne ait olduğunun tespiti sadece orman ürünleri endüstrisine değil aynı zamanda ahşap ticareti ile ilgili konulara, botanik, arkeoloji, konservasyon, restorasyon, sanat tarihi, etnografya, antropoloji ve kriminoloji gibi farklı disiplinlere de bilgi sağlayarak katkıda bulunmaktadır. Bu bölümde ağaç türü teşhisinin uygulama alanlarından bazıları üzerinde durulacaktır.

Ahşap Ticareti

Günümüzde ahşap ülkelerin ihracat ve ithalatında önemli yer tutan ticari bir malzemedir. Uluslararası ticarete konu olan ham madde, yarı mamul ya da mamule ait gümrük tarife bedellerinin sağlıklı biçimde belirlenebilmesi ve ticari yönetmeliklerin doğru şekilde uygulanabilmesi ancak söz konusu ticari mala ait beyan edilen tanımlayıcı bilgilerin doğru olması ile mümkündür (Wheeler ve Baas, 1998; Doğu 2013).

Son yıllarda ulusal ve uluslararası düzeyde yasal olmayan ağaç kesimleri ve ahşap ticareti çevresel, sosyal ve ekonomik açılarından önemli bir sorun olarak kabul edilmektedir [Johnson ve Laestadius 2011; Doğu 2013; Dormontt ve ark. 2015]. Özellikle uluslararası düzeyde CITES (Nesli Tehlike Altında Olan Yabani Hayvan

ve Bitki Türlerinin Uluslararası Ticaretine İlişkin Sözleşme) Sözleşmesi kapsamında koruma altında olan ağaç türlerinin ticareti en önemli sorunlardan biri olmaktadır. Bunun yanı sıra, bazı ihracatçı firmalar ticari maliyetlerini azaltmak amacıyla gümrük beyannamelerinde bilerek yanlış ağaç türünü bildirebilmektedirler (Chen 2006; Doğu 2013).

Ahşap ticaretinde sıklıkla rastlanılan önemli sorunlardan biri de bazı önemli ağaç türleri için yaşanan isim karmaşasıdır. Ağaç türlerinin Latince olan bilimsel isimleri yerine yerel isim ya da ticari isimlerinin kullanılması ticari açıdan hataların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Çünkü çok sayıda ağaç türünün yerel ve ticari isimleri ülkeden ülkeye, hatta aynı ülkenin değişik bölgelerinde farklılık göstermektedir. Bu durum yanlış alım ve satım işlemlerinin yapılmasına neden olabilmektedir (Doğu 2013).

Ticari açıdan sorun yaratan bir diğer konu da makroskobik olarak birbirine benzer ağaç türlerinin sayısındaki fazlalıktır. Bu benzerlik nedeni ile satın alımlarda hatalar söz konusu olabilmektedir. Yanlış yapılan alımlar da, ağaç malzemenin gerek işlenmesi sırasında ve gerekse kullanım yerinde malzeme kaynaklı problemlerin yaşanmasına neden olabilmektedir (Doğu 2013).

Yukarıda sözü edilen tüm sorunların çözülmesi ağaç malzemenin anatomik yapısı ve teşhisi konularında uzmanlaşmış "odun anatomistleri" tarafından doğru ağaç türü teşhisi ile mümkün olmaktadır.

Kültürel Varlıkların Korunması (Restorasyon ve Konservasyon)

Geçmişten günümüze ulaşmayı başaran ahşap yapı ve eserlerin koruma altına alınarak gelecek kuşaklara güvenle aktarımının sağlanması tüm dünyada önem verilen konular arasında yer almaktadır. Koruma çalışmalarında en önemli unsur tarihi ahşap yapı ve eserlerin özünü kaybetmeden ayakta kalmasını sağlamaktır. Bu amaçla, uygulanacak en uygun ve doğru yöntemin seçimi konunun uzmanları tarafından gerçekleştirilecek ayrıntılı malzeme analizlerinin sonuçlarına dayandırılması, uluslararası düzeyde bir koruma ilkesi olarak kabul edilmiştir. Her ağaç türünün kendine özgü anatomik yapıya sahip olması nedeni ile malzeme analizlerinin ilk aşamasını doğru ağaç türü teşhisi ve ahşabın yapısında meydana gelen değişimlerin doğru değerlendirilmesi oluşturmaktadır (Doğu 2013; Thibaut ve ark. 2022).

Sanat Tarihi ve Antikacılık

Ağaç türü teşhisi sanat tarihi ve antikacılık açısından da büyük önem taşımaktadır. Örneğin, bir sanat eseri, antika bir eşya ya da objenin yapımında kullanılan ağaç türünün tespit edilmesi ile o eserin hangi döneme ait olduğu, nerede üretildiği, özgün olup olmadığı, herhangi bir onarımdan geçip geçmediği ve hatta üreticisi ile ilgili sorulara cevap bulunabilmektedir (Barker 2005; Doğu 2013).

Antropoloji ve Etnografya

Geçmişten günümüze ulaşan ahşap objeler ait oldukları dönemlerde yaşamış olan insanların yaşayış biçimleri, alan kullanımı, hangi ağaç türlerini hangi amaçlarla kullandıkları ve kullanım yerine uygun tür seçimi yapıp yapmadıklarına dair bilgi sağlayan önemli kaynaklardır. Bu bilgiler ancak doğru ağaç türü teşhisi ile

sağlanmakta olup antropoloji ve etnografya bilim dallarına katkıda bulunmaktadır (Doğu 2013).

Ahşabın Anatomik Yapısı ve Kalite İlişkisi

Dünyada orman ürünleri endüstrisinin gelişimine bağlı olarak artan rekabetçi piyasa baskıları nedeniyle dikkatler odun hacmin-den daha çok odun kalitesine çevrilmiştir (Wei ve ark. 2013; Yamei ve ark. 2020).

Orman ürünleri endüstrisinde "kalite"; ahşabı belirli bir kullanım yerinde değerlendirilebilmesi için uygun kılan ve o kullanım yerinin gereksinim ve beklentilerini karşılamak için sahip olması istenilen özelliklerin bütünüdür (Jozsa ve Middleton 1994; Gedik ve Batu 2005; Bozkurt ve Erdin 2011).

Bazı kullanım yerlerinde ahşabın sahip olması istenen bir özellik diğer bir kullanım yeri için istenilmeyebilir. Bu nedenle farklı kullanım yerlerinde ahşabın sahip olması gereken özelliklerin neler olduğunun bilinmesi çok önemlidir (Jozsa ve Middleton, 1994). Ahşabın belirli bir kullanım yeri için uygunluğunu belirleyen önemli kriterler; yoğunluk, yıllık halka genişliği, ilkbahar ve yaz odunu tabakası oranı, lif uzunluğu, mikrofibril açısı, diri odun-öz odun oranı, genç odun-ergin odun oranı, lif yapısı, reaksiyon odununun bulunması, budaklılık, kimyasal kompozisyon, ekstraktif maddelerin kalitesi olarak sayılabilir (Rathgeber ve ark. 2006; Bozkurt ve Erdin 2011; Shmulsky ve Jones 2011; Yamei ve ark. 2020).

Bu bölümde ahşabın kalite özellikleri üzerinde etkili olan anatomik özellikler ve yoğunluk üzerinde durulmuş, kimyasal kompozisyon ve ekstraktif maddelerin kalitesi kapsam dışında bırakılmıştır.

Yoğunluk

Yoğunluk ahşabın çeşitli fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde etkili olduğu için kullanım yerleri ile ilgili olarak fikir veren önemli bir kalite değerlendirme özelliği olarak kabul edilmektedir. Yoğunluk, ahşabın birim hacmindeki ağırlık, diğer bir ifade ile birim hacimdeki hücre çeper maddesi miktarı olarak tanımlanmaktadır. Yoğunluk ahşabın fiziksel karakteristikleri arasında yer almasına rağmen büyük ölçüde anatomik özelliklere bağlı olarak değişim göstermektedir. Yıllık halka genişliği, ilkbahar ve yaz odunu tabakasının yıllık halka içindeki katılım oranı, öz odun-diri odun miktarı, genç odun bulunması ve reaksiyon odunu oluşumu yoğunluk değerinin artmasına ya da azalmasına neden olan anatomik yapı ile ilgili özellikler arasında sayılmaktadır (Rathgeber ve ark. 2006; Chave ve ark. 2009; Niklas ve Spatz 2010; Bozkurt ve Erdin 2011; Genet ve ark. 2013).

Bazı kullanım yerlerinde yoğunluğu daha yüksek ağaç türleri tercih edilirken, diğer bazı kullanım yerlerinde ise yoğunluğu daha düşük olan ağaç türleri istenmektedir. Bunun nedeni yoğunluğun ahşabın mekanik direnç değerleri, teknolojik özellikleri, rutubet karşısında çalışması, işlenme özellikleri, yüzey işlemlerinin kalitesi, termal iletkenliği gibi kullanım yerinde aranılan özellikleri üzerinde etkili olmasıdır. Ahşapta yoğunluk arttıkça mekanik direnç değerlerinin, sertliğinin ve aşınma direncinin, rutubet karşısında çalışmasının, termal iletkenliğinin artması beklenir. Yüksek yoğunluktaki ağaç türleri düşük yoğunlukta olanlara göre daha iyi işlenmekte ve düzgün yüzey vermektedirler. Yüzey işlemi uygulamalarında ise düşük yoğunluktaki ağaç türleri daha iyi sonuç

vermektedir. Yoğunluk ayrıca, kağıt hamuru verimi ve kağıt kalitesi için belirleyici özelliklerden biri olarak kabul edilmektedir (Jozsa ve Middleton 1994; Bozkurt ve Erdin 2011).

Görüldüğü üzere herhangi bir ağaç türü için kullanım yeri belirlenirken yoğunluk mutlaka dikkate alınması gereken kriterlerden biridir.

Yıllık Halka Genişliği

Orman ürünleri endüstrisinde yıllık halkaların hemen hemen eşit genişlikte olması aranılan bir özelliktir. Çünkü bir gövde enine kesiti üzerinde yıllık halkaların eşit genişlikte olması ahşabın özelliklerinde sapmaların olmayacağını garantisi olarak kabul edilir. Bir yıllık halka, ilkbahar ve yaz odunu olmak üzere birbirinden farklı özellikler taşıyan iki tabakadan oluşmaktadır. Gövde enine kesiti boyunca yıllık halka genişliklerindeki farklılaşma ilkbahar ve yaz odunu tabakalarının da katılım oranlarında değişikliğe neden olacaktır. Farklı yoğunluklara ve işlenme özelliklerine sahip bu iki alandaki farklılaşma, ahşap işleyen endüstrilerde önemli kalite problemleri yaratabilmektedir (Bozkurt ve Erdin 2011; Shmulsky ve Jones 2011).

Yıllık halka genişliği, halkalı ve yarı halkalı traheli geniş yapraklı ağaçlar ile ilkbahar odunu tabakasından yaz odunu tabakasına geçişin ani olduğu iğne yapraklı ağaçlarda, yoğunluk üzerinde önemli etkiye sahiptir. Dağınık traheli geniş yapraklı ağaçlar ile yıllık halkalarında ilkbahar odunundan yaz odununa geçişin yavaş olduğu iğne yapraklı ağaçlarda ise bu etki daha azdır. Yıllık halkaların aynı genişlikte olmaması yıllık halkalar arasında yoğunluk farklılaşmalarına neden olacağı için masif malzemede ilkbahar ve yaz odunu tabakalarının farklı daralma ve genişleme göstermesine, sertliğin homojen olmamasına bu nedenle de makineler ile işlemede yüzeylerin pürüzlü yapıda olmasına neden olur. Ayrıca, böyle malzemelerde tekstür de yeknesak olmayacaktır. Bu tip malzemeden üretilen kağıdın direnci ve yüzey kalitesi de olumsuz etkilenecektir (Bozkurt ve Erdin 2011; Shmulsky ve Jones 2011).

Lif Uzunluğu

Genel anlamda "lif" denildiğinde kağıt hamuru elde etmek için kullanılan iğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçlara ait tüm odunsu hücreler anlaşılmaktadır. Bu hücrelerin büyük çoğunluğu gövde eksenine paralel yani boyuna yönde uzanmakta olup, iğne yapraklı ağaçlarda boyuna traheidler, geniş yapraklı ağaçlarda libriform lifleri, lif traheidleri, vasküler ve vasisentrik traheidler ile bazı uzun trahe hücrelerini kapsamaktadır. Lif uzunluğu, kağıt endüstrisinde üretilen kağıdın lifleri arasındaki bağlanma ile doğrudan ilişkili olup, kağıdın çekme, katlanma, yırtılma ve patlama dirençleri üzerinde etkilidir. Bu nedenle kağıt endüstrisinde kullanılacak ağaç türlerinin uzun lifli olması arzu edilmektedir. İğne yapraklı ağaçların lifleri geniş yapraklı ağaç liflerinden daha uzun olduğu için kağıt üretiminde tercih nedeni olmaktadır (Bozkurt ve Erdin 1989; Denilson ve Thierry 2003; Bozkurt ve Erdin 2011). Kağıt endüstrisinin yanı sıra lif levha üretiminde de benzer sebeplerden uzun lifli ağaç türleri tercih edilmektedir.

Mikrofibril Açısı

Mikrofibril açısı (MFA), hücre çeperindeki selüloz mikrofibrillerinin hücre boyuna eksenine göre düzenleniş biçimine bağlı olarak

aralarındaki açıyı ifade etmektedir (Evans 1998; Butterfield 2003). Hücre çeper tabakaları içerisinde en kalın ve ahşabın fiziksel özellikleri üzerinde en etkili olan sekonder çeperin S2 tabakası olduğu için teknik açıdan bu tabakadaki MFA ahşabın kalite özellikleri üzerinde çok daha fazla önemli olup, bu tabakadaki MFA kambiyum yaşına, ağaçtaki yüksekliğe, genç odun olmasına, reaksiyon odunu bulunup bulunmayışına ve ağaç türlerine göre değişim göstermektedir (Donaldson 2008). MFA, ahşabın daralma özelliği, eğilme özellikleri ve sertliği üzerinde direkt etkili olup bu etki nedeni ile de fiziksel ve mekanik özelliklerde değişime neden olmaktadır. (Yamamoto ve ark. 2001; Lindstrom ve ark. 2002; Barbour ve ark. 2003; Butterfield 2003; Alteyrac ve ark. 2006b; Donaldson 2008; Hein ve ark. 2013; Lube ve ark. 2016; Yamei ve ark. 2020). Günümüz bilim dünyası tarafından kabul gören bir çalışmaya göre, MFA'nın 40°'den 10°'ye inmesi ile hücre çeperinin sertliği 5 kat artış göstermektedir (Cave ve Walker 1994; Butterfield 2003). Artan MFA ve daha kalın bir S2 tabakası ağaç malzemede daha fazla boyuna daralmaya neden olur. Bir kerestenin genişliği ve kalınlığı doğrultusunda boyuna yöndeki daralmanın miktarındaki değişime bu kerestenin kurutulması sırasında önemli şekil değişimlerinin oluşmasına neden olacaktır (Lamb ve Wengert 1987; Barbour ve ark. 2003). Düşük MFA'ya sahip liflerin çekme direnci ve elastikiyet modülü yüksek olduğu için kağıt hamuru eldesi sırasında tercih edilmektedir (French ve ark. 2000; Burgert ve ark. 2002; Groom ve ark. 2002; Downes ve ark. 2003; Donaldson 2008).

Diri Odun-Öz Odun Oranı

Diri odun ve öz odun oranı, kimyasal ve fiziksel yapılarındaki farklılık nedeniyle hem masif ahşap hem de kağıt hamuru ve kağıt üretim sektörleri için malzeme kalitesini karakterize eden önemli bir kalite tanımlayıcısıdır. Öz odun oluşumu ile birlikte ekstraktif maddelerin bu kısımda birikmesi ahşabın işlenmesi ve kullanım yerleri üzerinde etkili olmaktadır. Ekstraktif maddelerin ahşabın kullanım yerine en önemli etkisi doğal dayanıklılığı arttırmasıdır (Barbour ve ark. 2003; Pereira ve ark. 2003; Pometti ve ark. 2010; Bozkurt ve Erdin 2011; Paques ve Charpentier 2015; Bon ve ark. 2020).

Özellikle terpenoidler ve fenolik ekstraktif maddeler sahip oldukları toksik etki nedeniyle öz odunun mantar, böcek ve deniz zararlılarına karşı dayanıklılığını arttırmaktadır (Hart 1989; Pereira ve ark. 2003). Böylece doğal dayanıklılığın önemli olduğu şartlarda kullanılacak (dış cephe kaplaması, dış mekan mobilyaları, çatı, pergola, çit yapımı vb.) malzemenin seçiminde mantar ve böceklerle karşı dayanıklı ağaç türleri tercih edilmelidir.

Öz odunda özellikle hücrelerin çeperlerine yerleşen ekstraktif maddeler yoğunluğu arttırabilir ve rutubet karşısındaki daralma ve genişleme miktarını azaltabilir (Tsoumis 1991; Walker 1993; Pereira ve ark. 2003). Özellikle yüksek doğal dayanıklılık ve düşük çalışma miktarının öz odunda bir arada bulunması bu tip malzemeyi yapısal uygulamalar için çok uygun hale getirir (Faherty ve Williamson 1995; Pereira ve ark. 2003).

Genellikle diri odun öz odundan daha fazla rutubet içermektedir ve rutubet karşısında daha fazla çalışır. Bu nedenle kurutma programlarının uygulanması sırasında dikkatli olunması gerekmektedir. Ayrıca, öz odundan suyun uzaklaştırılması geçitlerin aspirasyona uğraması, ekstraktif maddelerin hücre çeperlerinde

özellikle de geçit zarları üzerinde birikmesi ve trahelerin kısmen veya tamamen tül oluşumu ile tıkanması nedeniyle diri oduna göre zordur. Kurutma işlemi sırasında bu durumun da dikkate alınması önemlidir. Öz odunda geçiş yollarının tıkanması nedeni ile permeabilitenin azalması emprenye işlemi de zorlaştırmaktadır (Jozsa ve Middleton 1994; Bektaş ve ark. 2003; Pereira ve ark. 2003; Erdin ve Bozkurt 2013).

Özellikle renkli ekstraktif maddelerin varlığı boyama ve vernikleme gibi yüzey işlemlerini, tutkallamayı ve odun polimer kompozitlerin üretimini etkiler. Örneğin, reçinece zengin çam, ladin ve melez gibi iğne yapraklı ağaç türlerinin yüksek sıcaklıklarda kurutulması yapılarında mevcut reçinenin malzeme yüzeyine sızıntı yapmasına neden olur ve bu durum da zımparalama işlemini, boya ve vernik uygulamalarını olumsuz yönde etkiler. Ekstraktif maddeler, odunun ıslanabilirlik özelliğini olumsuz yönde etkileyebilir ve bu nedenle boyama ve tutkallama işlemlerinde problemlere neden olur (Pereira ve ark. 2003).

Ekstraktif maddeler kağıt hamuru elde edilmesi sırasında fazla miktarda kimyasal madde kullanılmasına, kâğıt hamuru veriminin düşmesine, lignin çözünürlüğünün azalmasına ve bu nedenle ağartma işleminin daha zorlaşmasına ve düşük parlaklıkta kağıt hamurunun elde edilmesine neden olmaktadır (Pereira ve ark. 2003; Bon ve ark. 2020).

Bazı ağaç türlerinde öz odun ve diri odun arasında renk farkı yokken, bazı ağaç türlerinde ise öz odun belirgin şekilde daha koyu renge sahiptir. Doğal koyu renk ahşaba dekoratif bir özellik kazandırması nedeni ile özellikle mobilya, parke, lambri, kaplama levha üretiminde tercih nedeni olabilmektedir (Pereira ve ark. 2003; Bozkurt ve Erdin 2011).

Genç Odun-Ergin Odun Oranı

Genç bir kambiyum tarafından üretilen ve genellikle ağaçların ilk 5-20 (25) yılını kapsayan kısmı "genç odun" olarak tanımlanırken, daha sonra oluşan odun kısmı ise "ergin odun" olarak adlandırılır. Genç odun ve ergin odun aynı ağaç gövdesinde bulunan ancak birbirinden farklı yapısal özelliklere sahip iki kısımdır. Ergin odun ağaç türünün kendine özgü anatomik ve kimyasal özelliklerini taşıırken, genç odunda bu özellikler farklılık göstermekte olup, ergin odundan daha düşük kalite özelliklerine sahiptir. İğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçlar az ya da çok genç odun içerdiği için bu oluşum nedeniyle ortaya çıkabilecek problemlerin daima mevcut olacağı bilinmelidir. Genel bir kural olarak genç odunun düşük kalite özelliklerinin iğne yapraklı ağaçlarda, geniş yapraklılara göre daha belirgin olduğu ifade edilmektedir. Genç odundan kaynaklanacak problemlerin bilinmesi, herhangi bir kullanım yerinde ortaya çıkabilecek kalite kusurlarına karşı önlemler alınmasını sağlayacaktır (Göker ve Dündar 1999; Erdin ve Bozkurt 2013).

Genel olarak genç odun ergin odun ile karşılaştırıldığında sahip olduğu özellikler şu şekilde özetlenebilir. Genç odunda yıllık halkaların genişliği daha fazla olup, yaz odunu katılım oranı düşüktür, hücrelerin çapları daha küçük, çeperleri daha ince ve boyları daha kısadır. Geniş yapraklı ağaçlarda lif hücrelerinin oranı daha fazla, trahe hücrelerinin oranı ise daha azdır. Hücrelerde sekonder çeperin S2 tabakasında mikrofibril açısı büyüktür. Mikrofibril açısı genel olarak iğne yapraklı ağaçlarda 40°-50° arasında değişim gösterirken; bu açı geniş yapraklı ağaçlarda 25°-35° arasında

değişmektedir. Spiral liflilik oluşma eğilimi fazla olup, lif açısı özden itibaren ilk birkaç yıllık halkada maksimuma ulaşır ve ergin odun kısmında daha düşük bir değere iner. Genç odunda yoğunluk genel olarak %10-20 daha düşüktür, ancak yoğunluk değeri bazı çam türlerinde çoğunlukla da sert çamlarda % 50 oranında daha düşük olabilir. Selüloz oranı az, lignin oranı fazla olup, selülozun kristallik derecesi küçüktür. Reçine miktarı da genç odun kısmında daha fazladır. İğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçların genç odun kısımlarında reaksiyon odunu oluşumuna yatkınlık daha yüksektir. Düşük yoğunluk ve yüksek mikrofibril açısına sahip olması nedeni ile genç odunda direnç ve elastiklik özellikleri daha düşük, boyuna yönde daralma miktarı ise daha fazladır (Göker ve Dündar 1999; Alteyrac ve ark. 2006a; Jordan ve ark. 2007; Mansfield ve ark. 2009; Auty ve ark. 2013; Erdin ve Bozkurt 2013; Trevisan ve ark. 2014; Moore ve Cown 2017).

Birçok ahşap ürünün kullanım yerindeki performansı, büyük ölçüde ahşabın anatomik, fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlıdır (Panshin ve Zeeuw 1980). Sahip oldukları özelliklerin farklılık göstermesi nedeni ile genç odun kısmından yapılan ürünlerin, ergin odun kısmından yapılan ürünlerden farklı performans özelliklerine sahip olması beklenmelidir. Ahşap masif halde genel olarak yapısal ve dekoratif amaçlarla kullanılmaktadır. Dekoratif amaçlı kullanımlarda budak, reçine kesesi ve çatlak gibi kusurların bulunmaması ile birlikte lif yönü ve boyutsal stabilite malzemede dikkat edilen en önemli özelliklerdendir. Ahşabın yapısal amaçlı kullanımında ise iyi bir boyutsal stabilite ile birlikte yüksek sertlik ve direnç özellikleri aranmaktadır (Moore ve Cown 2015; Moore ve Cown 2017). Genç odun ise düşük yoğunluk ve yüksek mikrofibril açısına sahip olması nedeni ile düşük elastiklik modülü ve eğilme direnci (Bendtsen ve Senft 1986; Moore ve ark. 2012) ile daha yüksek boyuna daralma miktarına sahiptir (Saranpää 1994; Ivkovich ve ark. 2009). Aynı malzeme içerisinde hem genç odun hem ergin odun kısmının bulunması halinde ortamdaki rutubet derecesinde meydana gelecek herhangi bir değişiklik karşısında bu iki kısım farklı çalışacak ve malzemede şekil değişimlerine neden olacaktır (Harding ve ark. 1999; Wagner ve ark. 2002; Erdin ve Bozkurt 2013; Moore ve Cown 2017).

Reaksiyon Odunu

Ağaçların sahip olduğu kendine özgü özelliklerinden biri devamlı esen rüzgar, kar yükü, fazla eğimli arazi yapısı, ışık, yerçekimi, asimetrik taç yapısı gibi onları eğilmeye zorlayan yük ya da kuvvetlere karşı gövdelerinin dik durumunu ve mevcut dal eğimlerini korumak için tepki vermeleridir. Bu tepki sonucunda ağaçların yapısında farklı özelliklere sahip ve "reaksiyon odunu" olarak tanımlanan özel bir odun dokusu oluşmaktadır. İğne yapraklı ağaçlarda reaksiyon odunu gövde ve dallarda kuvvetin geldiği yönün ters tarafında oluşmakta ve "basınç odunu" olarak tanımlanmaktadır. Geniş yapraklı ağaçlarda ise kuvvetin geldiği yönde oluşmakta ve "çekme odunu" olarak isimlendirilmektedir (Du ve Yamamoto 2007).

Basınç odunu ve çekme odunu hem birbirinden hem de bulundukları ağaçtaki normal odun kısmından gerek anatomik gerekse kimyasal yapıları ile farklılık gösterirler. Her iki tip reaksiyon odununun anatomik ve kimyasal yapısındaki bu farklılıklar ahşabın fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyerek kalitesinde değişikliklere neden olduğundan önemli bir kusur olarak kabul edilmekte

ve endüstriyel açıdan değerlendirme alanlarını sınırlamaktadır (Blankenhorn 2001; Erdin ve Bozkurt 2013).

Basınç odununda meydana gelen en önemli değişiklikler şu şekilde sıralanabilir; boyuna traheidlerin çeperleri normalden 2 kat daha kalın olur, S2 tabakasında boyuna yönde uzanan helezonik çatlaklar oluşur ve mikrofibril açısı artarak 45°'ye yükselir, selülozun kristallik derecesi azalır, lignin miktarı artarken selüloz miktarı azalır. Boyuna traheid hücrelerindeki çeper kalınlaşması sonucunda basınç odunu 1/3 oranında daha fazla çeper maddesi içerdiği için bu kısımda yoğunluk artar. Yoğunluk ile ilişkilendirildiğinde tüm mekanik direnç değerlerinde artış beklenmesine rağmen, basınç direnci dışında diğer direnç değerlerinin azaldığı görülmektedir. Direnç değerlerindeki bu azalmanın nedeni olarak, boyuna traheid hücrelerinin çeperlerinde oluşan helezonik çatlaklar, selüloz oranındaki azalma ve mikrofibril açısındaki artış gösterilmektedir. Basınç direncindeki artışın nedeni ise, lignin miktarının artması ve hücre çeper maddesi miktarının fazla olması ile açıklanmaktadır. Basınç odunu içeren malzemenin yapı elemanı olarak çeşitli yüklerin etkisinde kalacak şekilde kullanılması sakıncalıdır. Çünkü bu tip malzemelerde yoğunluk ve direnç değerleri arasındaki ilişki normal odunda olduğu gibi değildir ve ani kırılmalar meydana gelebilir. Yine malzemenin hafif, direnç değerlerinin ise yüksek olması istenilen kullanım alanları için basınç odunu uygun değildir. Basınç odununda boyuna yönde daralma miktarı % 6-7'lik bir orana ulaşmakta yani, normal oduna göre yaklaşık 10 kat artmaktadır. Bu artışın nedeni olarak S2 tabakasındaki mikrofibril açısının artması gösterilmektedir. Buna karşılık enine yöndeki daralma miktarı ise normal odunun yarısı kadar olmaktadır. Boyuna yönde daralmadaki bu artış nedeniyle basınç odunu içeren kerestede kuruma ile birlikte çarpılmalar ve dönüklükler oluşmakta, basınç odunu ile normal odun arasında çatlamlar meydana gelmektedir (Blankenhorn 2001; Pereira ve ark. 2003; Shmulsky ve Jones 2011; Erdin ve Bozkurt 2013). Basınç odunu, yüksek lignin içeriği sebebiyle daha düşük hamur verimi ve delignifikasyon derecesine sahiptir. Bu nedenle basınç odunundan kalitesiz kağıt hamuru elde edilmektedir. Basınç odununun yapısında bulunan selülozun sahip olduğu yüksek mikrofibril açısı ve düşük kristallik derecesi ise, üretilen kağıdın direnç ve boyutsal stabilite değerlerini düşürmektedir (Timell 1986; Lohrasebi ve ark. 1999; Hortling ve ark. 2001; Pereira ve ark. 2003).

Çekme odununda ise; lif hücrelerinin oranı fazlalaşmış olup çeperleri çok kalınlaşmıştır; bu hücrelerin çeperlerinin lümen tarafında hemen hemen tamamen selülozdan oluşan ve "jelatin tabakası" (G-tabakası) olarak tanımlanan bir çeper tabakası meydana gelmiştir. Bu tabakadaki selüloz mikrofibrilleri hücre eksenine ile 5°'lik bir açı yapacak şekilde uzanmakta olup, kristallik derecesi yüksektir. Çekme odununda selüloz oranı artarken lignin oranı azalmaktadır. Çekme odununda yoğunluk % 30 kadar artış göstermektedir. Boyuna yöndeki daralma miktarı normal oduna göre 1-2 kat daha yüksektir. Boyuna daralma miktarındaki artış jelatinli liflerde sekonder çeperin S1 ve S3 tabakalarında mikrofibril açılarının fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Aslında boyuna daralma miktarındaki artış oranı büyük ölçüde jelatin tabakasının sekonder çeperin S1, S2 ve S3 tabakalarından hangisi üzerinde oluştuğu ile ilişkilidir. Çekme odunu içeren malzemede kurutma sırasında dönüklük ve çarpılma gibi çeşitli şekil bozuklukları meydana gelir. Bu durumun nedeni hem çekme odunu hem de normal odun kısmının bir arada bulunması ve farklı daralma özellikleri

göstermeleridir. Yine kurutma sırasında kollaps oluşumu görülmektedir. Çekme odununda enine yöndeki daralma normal oduna göre daha azdır. Liflere paralel çekme direnci hariç diğer direnç değerleri normal oduna göre daha düşüktür. Bu nedenle yapısal amaçlı kullanımı sakıncalıdır. Yüksek oranda selüloz içeren jelatin tabakasına sahip kalın çeperli lif hücrelerinin dışarıya doğru çıkıntı yapmaları sebebiyle çekme odunu içeren malzeme biçildiğinde yüzeyler pürüzlü olmaktadır. Pürüzlü yapı üst yüzey işlemlerinin uygulanması sırasında da güçlükler neden olmaktadır. Çekme odunu içeren kaplama levhalarda çukurlaşmalar, dalgalanmalar ve çatlaklar meydana gelmektedir. Yüksek oranda selüloz içeren çekme odunundan, yüksek verimli ve parlak kağıt hamuru elde edilebilmesi nedeni ile kağıt ve selüloz üretimi için uygun bir malzeme olarak görülmektedir. Ancak, jelatin tabakası liflerde kollaps oluşumunu engellemekte ve özellikle çekme ve patlama dirençleri düşük, kalın ve gözenekli yapıda kağıt üretimine neden olmaktadır (Pereira ve ark. 2003; Erdin ve Bozkurt 2013).

Reaksiyon odunu ile ilgili problemlerin birçoğu aynı malzemede normal odunla bir arada bulunması nedeni ile ortaya çıkmaktadır. Böylece, tüm malzemede aynı olması istenen özellikler reaksiyon odunu ve normal odunda değişkenlikler göstermekte ve önemli kalite sorunlarına neden olmaktadır. Reaksiyon odununun masif ahşap ürünlerde olumsuz etkileri daha fazla iken yonga levha ve lif levha gibi odun esaslı materyalde daha az olmaktadır (Wimmer ve Johansson 2014).

Lif Yönü

Ağaçlarda boyuna eksene paralel olarak uzanan hücrelerin ek-sene paralellüğünden belirli derecede uzaklaşması ahşap kalitesi üzerinde az ya da çok olumsuz etki yapacağı için bir kusur olarak kabul edilmektedir. Lif yönündeki sapmalar, özellikle eğilme ve şok dirençleri üzerinde olumsuz yönde etkili olup, bu tip malzemenin yapısal eleman olarak kullanımını sınırlandırır. Ayrıca, malzemenin makinelerle işlenme özelliklerini, rutubete bağlı çalışma özelliklerini, kesme ve soyma kaplama üretimini, bükülme özelliklerini de olumsuz şekilde etkiler. Lif kıvrıklığı olan malzemede kuruma sonucu çatlaklar ve çarpılmalar meydana gelmektedir. Lif yönündeki sapmalar yarılmayı da güçleştirmektedir. Ancak, lif yönündeki sapmalar, özellikle de girift lifli yapı ahşapta dekoratif şekillerin oluşmasını sağlamakta ve mobilya sanayiinde tercih edilmektedir (Bozkurt ve Erdin 2011; Shmulsky ve Jones 2011).

Budaklar

Budak, bir dalın ağaç gövdesi içinde gömülü kalan kısmıdır. Bütün ağaçlarda gömülü halde dalların olması nedeni ile budak ahşapta en fazla karşılaşılan kusurdur. Budak odunu gövde odununa göre çok daha sert ve yoğun olup, yüksek oranda reaksiyon odunu içermektedir. Reçine kanalına sahip iğne yapraklı ağaçlarda budak odunu çok reçinelidir. Budakların alt ve üst tarafındaki gövde kısmı yüksek oranda reaksiyon odunu içermekte olup, özellikle kaynamış budakların çevresinde lif yönünde büyük sapmalar görülmektedir. Ayrıca, budaklar kendilerini çevreleyen odundan daha fazla daralma miktarına sahiptir. Sahip olduğu özellikler nedeni ile budaklar bulundukları malzemede makinelerle işlenmeyi, yüzey işlemlerini, tutkallamayı, kurutmayı ve başta eğilme direnci olmak üzere pek çok direnç özelliğini olumsuz yönde etkilemektedir (Zink-Sharp 2003; Shmulsky ve Jones 2011).

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Declaration of Interests: The authors declares that there are no competing interests

Kaynaklar

- Alfonso, V.A., Baas, P., Carlquist, S., Chimelo, J.P., Coradin, V.T.R., Detienne, P., Gasson, P.E., Grosser, D., Illic, J., Kuroda, K., Miller, R., Ogata, K., Richter, H.G., ter Welle, B.J.H., ve Wheeler, E.A., 1989. Iawa List Of Microscopic Features For Hardwood Identification. *IAWA Journal*, 10 (3), 219-332. [\[Crossref\]](#)
- Alteyrac, J., Cloutier, A. ve Zhang, S.Y., 2006a. Characterization of juvenile wood to mature wood transition age in black spruce (*Picea mariana* (Mill.) BSP) at different stand densities and sampling heights. *Wood Sci Tech.*, 40(2), 124-38. [\[Crossref\]](#)
- Alteyrac, J., Cloutier, A., Ung, C.H. ve Zhang, S.Y., 2006b. Mechanical properties in relation to selected wood characteristics of black spruce. *Wood and Fiber Science*, 38(2), 229-237.
- Auty, D., Gardiner, B.A., Achim, A., Moore, J.R. ve Cameron, A.D., 2013. Models for predicting microfibril angle variation in Scots pine. *Ann For Sci.*, 70, 209-218. [\[Crossref\]](#)
- Barbour, R.J., Marshall, D.D. ve Lowel, E.C., 2003. Managing for wood quality, Compatible forest management, In: Monserud, R.A., Haynes, R.W. and A.C. Johnson, A.C. (ed.), Chapter 11, Kluwer Academic Publishers. Printed in The Netherlands.
- Barker, J. A., 2005. A prototype interactive identification tool to fragmentary wood from Eastern Central Australia and its application to Aboriginal Australian ethnographic artefacts, A Thesis submitted in fulfilment of the requirements of the degree of Doctor Philosophy (Science), Adelaide University.
- Bektas, I., Alma, M.H., Goker, Y., Yuksel, A. ve Gundogan, R., 2003. Influence of site on sapwood and heartwood ratios of Turkish calabrian pine. *Forest Prod. J.*, 53(4), 48-50.
- Bendtsen, B.A. ve Senft, J., 1986. Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation-grown eastern cottonwood and loblolly pine. *Wood Fiber Sci.*, 18, 23-8
- Blankenhorn, P.R., 2001. Wood: Sawn materials, Encyclopedia of materials: Science and Technology, 2nd ed., In: Buschow, K.H.J., Flemings, M.C., Kramer, E.J., Veyssi re, P., Cahn, R.W., Ilshner, B. ve Mahajan, S. (ed.), Pergamon Press, Oxford, UK.
- Bon, P.V., Harwood, C.E., Chi, N.Q. Thinh, H.H. ve Kien, N.D., 2020. Comparing wood density, heartwood proportion and bark thickness of diploid and triploid *Acacia* hybrid clones in Vietnam. *Journal of Tropical Forest Science*, 32(2), 206-216. [\[Crossref\]](#)
- Bozkurt, A.Y. ve Erdin, N., 2011. Ağaç teknolojisi, 2. Baskı, İstanbul Üniversitesi yayın no. 5029, Orman Fakültesi yayın no. 445, İstanbul Üniversitesi Basım ve Yayınevi Müdürlüğü.
- Bozkurt, Y. ve Erdin, N., 1989. Odunsu lifler ve tanımı, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, seri B, 39(4), 1-16.
- Burgert, I., Keckes, J., Fr hmann, K., Fratzl, P. ve S.E. Tschegg, S.E., 2002. A comparison of two techniques for wood fibre isolation - Evaluation by tensile tests on single fibres with different microfibril angle. *Plant Biol.* 4,9-12. [\[Crossref\]](#)
- Butterfield, B.G., 2003. Wood anatomy in relation to wood quality, Wood quality and its biological basis, In: Barnett, J.R. and Jeronimidis, G. (ed.), Chapter 2, Blackwell Publishing Ltd., Crc Press, Oxford, UK.
- Carlquist, S., (1988). *Comparative Wood Anatomy*. PhD Proposal. [\[Crossref\]](#)
- Carlquist, S., (2015). Living cells in wood. 1. Absence, scarcity and histology of axial parenchyma as keys to function. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 177 (3), 291-321. [\[Crossref\]](#)
- Cave, I. D. ve Walker, J. C. F., (1994). Stiffness of wood in fast-grown plantation softwoods: the influence of microfibril angle. *Forest Prod. J.*, 44:(5), 43-48.
- Chaffey, N., (2002). *Wood Formation in Trees: Cell and Molecular Biology Techniques*. Singapore: Taylor & Francis. [\[Crossref\]](#)
- Chave, J., Coomes, D., Jansen, S., Lewis, S.L., Swenson, N.G. ve Zanne, A.E., (2009). Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecol. Lett.* 12, 351-366. [\[Crossref\]](#)
- Chen, H. K., (2006). The role of CITES in combating illegal logging-current and potential. TRAFFIC International, Cambridge, İngiltere.
- Conners, T., (2015). *Introduction to Wood Structure and Characteristics*. Agriculture and Natural Resources Publications.
- Daniel, G., (2009). Wood and fibre morphology. In: Pulp and paper chemistry and technology Vol. 1. Wood chemistry and wood biotechnology, De Gruyter, Berlin. [\[Crossref\]](#)
- Denilson, D.S.P. ve Thierry, F., (2003). Wood quality for pulp and paper, Wood quality and its biological basis, In: Barnett, J.R. and Jeronimidis, G. (ed.), Chapter 3, Blackwell Publishing Ltd., Crc Press, Oxford, UK.
- Dinwoodie, J.M., (2004). *Timber: Its nature and behaviour*. Second. London and New York: Taylor & Francis.
- Do u, A.D., (2013). Ah abı tanımak, Restorasyon ve Konservasyon  alışmaları, 16- zel sayı, 59-71.
- Donaldson, L., (2008). Microfibril angle: Measurement, variation and relationships - A review. *IAWA Journal*, 29(4), 345-386. [\[Crossref\]](#)
- Dormontt, E.E., Boner, M., Braun, B., Breulmann, G., Degen, B., Espinoza, E., Gardner, S., Guillery, P., Hermanson, J.C., Koch, G., Lee, S.L., Kanashiro, M., Rimbawanto, A., Thomas, D., Wiedenhoef, A.C., Yin, Y., Zahnen, J. ve Lowe, A.J., (2015). Forensic timber identification: It's time to integrate disciplines to combat illegal logging. *Biological Conservation*, 191, 790-798. [\[Crossref\]](#)
- Downes, G., Evans, R., Wimmer, R., French, J., Farrington, A. ve Lock, P., (2003). Wood, pulp and handsheet relationships in plantation grown *Eucalyptus globulus*, *Appita J.* 56, 221-228.
- Du, S. ve Yamamoto, F., (2007). An overview of the biology of reaction wood formation, *Journal of Integrative Plant Biology*, 49(2), 131-143. [\[Crossref\]](#)
- Erdin, N. ve Bozkurt, A.Y., (2013). Odun anatomisi, g zden ge irilmiş 2. Baskı, İstanbul Üniversitesi yayın no.5145, Orman Fakültesi yayın no.506, Yazın Basın Yayın Matbaacılık.
- Esteban, L.G. ve De Palacios, P., (2009). Comparative wood anatomy in Abietoideae (Pinaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 160 (2), 184-196. [\[Crossref\]](#)
- Evans, R., (1998). Rapid scanning of microfibril angles in increment cores by X-ray diffraction, Microfibril angle in wood, Butterfield, B.G., (ed.), Proceedings of the IUFRO/IAWA International Workshop on the significance of microfibril angle to wood quality, 116-139.
- Faherty, K.F. ve Williamson, G.T., (1995). *Wood engineering and construction handbook*, 2nd ed., McGraw-Hill Inc., New York.
- FPL, (2021). *Wood Handbook Wood as an Engineering Material*. General Technical Report FPL-GTR-282. Madison, WI.
- Fratzl, P. ve Weinkamer, R., (2007). Nature's hierarchical materials. *Progress in Materials Science*, 52 (8), 1263-1334. [\[Crossref\]](#)
- French, J., Conn, A.B., Batchelor, W.J. ve Parker, I.H., (2000). The effect of fibre fibril angle on some handsheet mechanical properties. *Appita J.* 53, 210-226.
- Gedik, T. ve Batu, C., (2005). Orman  r nleri sanayinde kalite g vence sistemlerinin izlenmesi (D zce ili  rne i), *Kafkas Üniversitesi Artvin Orman Fakültesi Dergisi*, 6(1-2), 35-45.
- Genet, A., Auty, D., Achim, A., Bernier, M., Pothier, D. Ve Cogliastro, A., (2013). Consequences of faster growth for wood density in northern red oak (*Quercus rubra* Liebl.), *Forestry*, 86, 99-110. [\[Crossref\]](#)
- Göker, Y. ve Dündar, T., (1999). Genç odun özelliklerinin odun kalite-

si ve kullanım yeri üzerine etkileri, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri B, 49(1-2-3-4), 31-43.

Gril, J., Jullien, D., Bardet, S., ve Yamamoto, H., (2017). Tree growth stress and related problems. *Journal of Wood Science*, 63 (5), 411-432. [\[Crossref\]](#)

Groom, L., Mott, L. ve Shaler, S., (2002). Mechanical properties of individual southern pine fibres, Part 1, determination and variability of stress-strain curves with respect to tree height and juvenility, *Wood Fibre Sci.* 34, 14-27.

Gschwantner, T., Schadauer, K., Vidal, C., Lanz, A., Tomppo, E., Di Cosmo, L., Robert, N., Duursma, D.E., ve Lawrence, M., (2009). Common Tree Definitions for National Forest Inventories in Europe. *Silva Fennica*, 43 (2), 303-321. [\[Crossref\]](#)

Hall, D.W. ve Stern, W., (2012). *Plant Anatomy*. Forensic Botany: A Practical Guide. [\[Crossref\]](#)

Harris, J.M., (1989). *Spiral Grain and Wave Phenomena in Wood Formation*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [\[Crossref\]](#)

Harding, O.V., Turner, J. ve Hebert, J., (1999). Performance of radiata pine as moulding raw material, *Forest Prod. J.*, 49(9), 69-78.

Hart, J., (1989). Role of wood exudates and extractives in protecting wood from decay, Natural products of woody plants: Chemicals extraneous to the lignocellulosic cell wall, In: Rowe, J.(ed.), Vol. 2, Springer-Verlag, Berlin. [\[Crossref\]](#)

Hather, J.G., (2000). *The identification of the Northern European woods*. A guide for archaeologists and conservators, Archetype Publications Ltd., London.

Hein, P.R.G., Silva, J.R.M.; Brancheriau, L., 2013. Correlations among microfibril angle, density, modulus of elasticity, modulus of rupture and shrinkage in 6-year-old Eucalyptus urophylla x E. Grandis. *Maderas-Cienc. Tecnol.*, 15, 171-182. [\[Crossref\]](#)

Hillis, W.E., (1987). *Heartwood and Tree Exudates*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [\[Crossref\]](#)

Hillis, W.E., (1996). Formation of robinetin crystals in vessels of Intsia species. *IAWA Journal*, 17 (4), 405-419. [\[Crossref\]](#)

Hoadley, R.B., (1990). *Identifying Wood: Accurate results with simple tools*. Newtown, Connecticut: The Taunton Press.

Hoadley, R.B., (2000). *Understanding Wood: a craftsman's guide to wood technology*. Newton, CT: The Taunton Press.

Hortling, B., Tamminen, T. ve Pekkala, O., (2001). Effects of delignification on residual lignin-carbohydrate complexes in normal pine wood and pine wood enriched in compression wood, I. Kraft pulping, *Nordic Pulp Paper Research Journal*, 16, 219-224. [\[Crossref\]](#)

Hughes, M., (2016). Wood structure and anatomy. <https://www.slideshare.net/slideshow/wood-anatomy-and-structure-wood-and-its-products/165593446>

IAWA Committee, (1989). IAWA list of microscopic features of hardwood identification, *IAWA Bulletin*, 10(3), 219-332.

IAWA Committee, (2004). IAWA list of microscopic features of softwood identification, (ed.) Richter, H.G., D. Grosser, I. Heinz, P.E., Gasson, *IAWA Journal*, 25, 1-70. [\[Crossref\]](#)

Ivkovich, M., Gapare, W.J., Abarquez, A., Illic, J., Powell, M.B. ve Wu, H.X., (2009). Prediction of wood stiffness, strength, and shrinkage in juvenile wood of radiata pine, *Wood Sci Tech*, 43(3-4), 237-57. [\[Crossref\]](#)

Johnson, A., Laestadius, L., (2011). New laws, new needs: The role of wood science in global policy efforts to reduce illegal logging and associated trade", *IAWA Journal*, 32 (2), 137-154. [\[Crossref\]](#)

Jordan, L., He, R., Hall, D.B., Clark III, A. ve Daniels, R.F., (2007). Variation in loblolly pine ring microfibril angle in the southeastern United States, *Wood Fiber Sci.*, 39(2), 352-63.

Jozsa, L.A. ve Middleton, G.R., (1994). A discussion of wood quality attributes and their practical implications, Special Publication No. SP-34, Forintec Canada Corp.

Kollmann, F.F. ve Côté, W.A.Jr., (1968). *Principles of wood science and technology*. Vol. I. solid wood, Springer-Verlag, Berlin.

Kollmann, F.F., Kuenzi, E.W., and Stamm, A.J., (1975). *Principles of*

Wood Science and Technology. Principles of Wood Science and Technology. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Lamb, F.M., ve Wengert, E.M. (1987). *The drying properties of lumber containing juvenile wood*. In: *Executive summary plenary session IVA: juvenile wood in hardwoods and conifers* [not paginated]. Madison, WI: Forest Products Research Society.

Larson, P.R., (1994). *The Vascular Cambium*. Hakkila Utilization of Residual Forest Biomass Methods in Lignin Chemistry Trees and Wood in Dendrochronology. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Lev-Yadun, S. ve Aloni, R., (1995). Differentiation of the ray system in woody plants. *The Botanical Review*, 61 (1), 45-84. [\[Crossref\]](#)

Lindstrom, H., Harris, P. ve Nakada, R., (2002). Methods for measuring stiffness of young trees, *Holz Roh-Werkst.* 60(3), 165-174. [\[Crossref\]](#)

Loewus, F.A. ve Runeckles, V.C., eds., (1977). *The Structure, Biosynthesis, and Degradation of Wood. recent advances in phytochemistry*. Boston, MA: Springer US. [\[Crossref\]](#)

Lohrasebi, H., Mabey, W.E. ve Roy, D.N., (1999). Chemistry and pulping feasibility of compression wood in black spruce, *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 19, 13-25. [\[Crossref\]](#)

Lube, V., Lazarescu, C., Mansfield, S.D. ve Avramidis, S., (2016). Wood microfibril angle variation after drying, *Holzforschung*, 70, 485-488. [\[Crossref\]](#)

Mansfield, S.D., Parish, R., Di Lucca, C.M., Goudie, J., Kang, K.Y. ve Ott, P., (2009). Revisiting the transition between juvenile and mature wood: a comparison of fibre length, microfibril angle and relative wood density in lodgepole pine, *Holzforschung*, 63(4), 449-56. [\[Crossref\]](#)

Meng, Q., Fu, F., Wang, J., He, T., Jiang, X., Zhang, Y., Yin, Y., Li, N., ve Guo, J., (2021). Ray traits of juvenile wood and mature wood: Pinus massoniana and Cunninghamia lanceolata. *Forests*, 12 (9), 1-13. [\[Crossref\]](#)

Merev, N., (2003). Odun anatomisi, Karadeniz Teknik Üniversitesi genel yayın no. 209, Orman Fakültesi yayın no. 31, Karadeniz Teknik Üniversitesi Matbaası.

Moore, J.R. ve Cown, D.J., (2015). Processing of wood for wood composites, *Wood composites*, In: Ansell, M.P. (ed.), Woodhead Publishing, Cambridge. [\[Crossref\]](#)

Moore, J.R. ve Cown, D.J., (2017). Corewood (juvenile wood) and its impact on wood utilisation, *Curr Forestry Rep.*, 3, 107-118. [\[Crossref\]](#)

Moore, J.R., Lyon, A.J. ve Lehneke, S.J., (2012). Effects of rotation length on the grade recovery and wood properties of Sitka spruce structural timber grown in Great Britain, *Ann For Sci.*, 69, 353-62. [\[Crossref\]](#)

Morris, H.R., (2016). *The structure and function of ray and axial parenchyma in woody seed plants*. ULM University.

Müller, M.J., Geisler, C., ve Bosy-Westphal, A., (2019). Body Composition. In: *Encyclopedia of Endocrine Diseases*. Elsevier, 406-413. [\[Crossref\]](#)

Niklas, K.J. ve Spatz, H.C., (2010). Worldwide correlations of mechanical properties and green wood density. *Am. J. Bot.* 97, 1587-1594. [\[Crossref\]](#)

Pace, M.R. ve Angyalossy, V., (2013). Wood anatomy and evolution: A case study in the Bignoniaceae. *International Journal of Plant Sciences*, 174 (7), 1014-1048. [\[Crossref\]](#)

Pandey, S., (2021). Climatic influence on tree wood anatomy: a review. *Journal of Wood Science*, 67 (1). [\[Crossref\]](#)

Panshin, A.J. ve de Zeeuw, C., (1980). *Textbook of wood technology*. 4th ed., New York: McGraw-Hill, ISBN 10: 0070484414.

Paques, L.E. ve Charpentier, J., (2015). Perspectives for genetic improvement in heartwood size and extractive content in relation to natural durability and aesthetics in interspecific hybrid larch (Larix x eurolepis), *European Journal of Forest Research*, 134, 857- 868. [\[Crossref\]](#)

Pereira, H., Graça, J. ve Rodrigues, J.C., (2003). Wood chemistry in relation to quality, Wood quality and its biological basis, In: Barnett, J.R. and Jeronimidis, G. (ed.), Chapter 3, Blackwell Publishing Ltd., Crc Press, Oxford, UK.

Piot, A., El-Kassaby, Y.A., ve Porth, I., (2022). Genomics-Based Systems and Multi-disciplinary Approaches to Unlock Complex Gene Networks Underlying Wood Formation. *Current Forestry Reports*, 8 (2), 166-180. [\[Crossref\]](#)

Plomion, C., Chagné, D., Pot, D., Kumar, S., Wilcox, P., Burdon, R., Prat,

- D., Peterson, D., Paiva, J., Chaumeil, P., Vendramin, G., Sebastiani, F., Nelson, C., Echt, C., Savolainen, O., Kubisiak, T., Cervera, M.T., D., e María, N. I., ve Slam-Faridi, M., (2007). The Pines. In: *Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants*. In: C. Kole, ed. Forest Trees. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 29-78. [\[Crossref\]](#)
- Plomion, C., Leprovost, G., ve Stokes, A., (2001). Update on Wood Formation in Trees Wood Formation in Trees 1 Trees Are Major Components Of The Biosphere, And Their Wood Has A Major Role As A Sustainable And Renewable Ecomaterial. *Am Soc Plant Biol*, 127 (December), 1513-1523. [\[Crossref\]](#)
- Pometti, C.L., Palanti, S., Pizzo, B., Charpentier, J.P., Boizot, N., Resio, C. ve Saidman, B.O., (2010). Durability of five native Argentine wood species of the genera Prosopis and Acacia decayed by rot fungi and its relationship with extractive content, *Biodegradation* 21, 753-760. [\[Crossref\]](#)
- Ramage, M.H., Burridge, H., Busse-Wicher, M., Fereday, G., Reynolds, T., Shah, D.U., Wu, G., Yu, L., Fleming, P., Densley-Tingley, D., Allwood, J., Dupree, P., Linden, P.F., ve Scherman, O., (2017). The wood from the trees: The use of timber in construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68 (October 2016), 333-359. [\[Crossref\]](#)
- Rathgeber, C.B.K., Decoux, V. Ve Leban, J.M., (2006). Linking intra-tree-ring wood density variations and tracheid anatomical characteristics in Douglas fir [*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco], *Ann. For. Sci.* 63, 699-706. [\[Crossref\]](#)
- Riki, J. T. B., Sotannde, O. A. ve Oluwadare, A. O., (2019). Anatomical and chemical properties of wood and their practical implications in pulp and paper production: a review, *Journal of Research in Forestry, Wildlife & Environment*, 11(3), 358-368.
- Rowell, R.M., (2005). *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. CRC Press. [\[Crossref\]](#)
- Saranpää, P., (1994). Basic density, longitudinal shrinkage and tracheid length of juvenile wood of *Picea abies* (L.) Karst. *Scand. J. For. Res.*, 9(1-4), 68-74. [\[Crossref\]](#)
- Schoch, W., Heller, I., Schweingruber, F.H., ve Kienast, F., (2004). *Wood anatomy of central European Species* [online]. Available from: www.woodanatomy.ch.
- Schweingruber, F.H., (1988). *Tree Rings*. Tree Rings. [\[Crossref\]](#)
- Schweingruber, F.H., Börner, A., ve Schulze, E.-D., (2013a). Atlas of Stem Anatomy in Herbs, Shrubs and Trees. *Atlas of Stem Anatomy in Herbs, Shrubs and Trees*. Springer. [\[Crossref\]](#)
- Schweingruber, F.H., Börner, A., ve Schulze, E.-D., (2013b). Atlas of Stem Anatomy in Herbs, Shrubs and Trees. *Atlas of Stem Anatomy in Herbs, Shrubs and Trees*. [\[Crossref\]](#)
- Schweingruber, F.H. ve Büntgen, U., (2013). What is 'wood' - An anatomical re-definition. *Dendrochronologia*, 31 (3), 187-191. [\[Crossref\]](#)
- Shmulsky, R., ve Jones, P.D., (2011). *Forest products and wood science, an introduction*. 6 th ed., Wiley-Blackwell, West Sussex.
- Tamburini, D., Cartwright, C.R., Gasson, P., ucejko, J.J., ve Leme, C.L.D., (2020). Using analytical pyrolysis and scanning electron microscopy to evaluate charcoal formation of four wood taxa from the caatinga of north-east Brazil. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 151 (June). [\[Crossref\]](#)
- Thibaut, B., Care, S. ve Maurin, E., (2022). Oak beams in medieval frameworks: Constraints and advantages for restoration, *Journal of Cultural Heritage*, 65: 32-41 [\[Crossref\]](#)
- Thumm, A. ve Riddell, M., (2017). Resin defect detection in appearance lumber using 2D NIR spectroscopy. *European Journal of Wood and Wood Products*, 75 (6), 995-1002. [\[Crossref\]](#)
- Timell, T.E., (1986). Compression wood in Gymnosperms, vol.3, Springer-Verlag, Berlin. [\[Crossref\]](#)
- Trevisan, R., Motta, Cld., Fiorelli, T., Trautenmüller, A.V., Rabuske, J.E. ve Denardi, L., (2014). Idade de segregação do lenho juvenil e adulto para *Pinus elliottii* Engel [Age of segregation of juvenile and mature *Pinus elliottii* Engel wood], *Ciência Rural*, 44(4), 634-638. [\[Crossref\]](#)
- Tsoulis, G., (1991). Science and Technology of wood: Structure, properties, utilization, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Uetimane Jr., E., Jebrane, M., Terziev, N., ve Daniel, G., (2018). Comparative Wood Anatomy and Chemical Composition of *Millettia mossambicensis* and *Millettia stuhlmannii* from Mozambique. *BioResources*. [\[Crossref\]](#)
- Vaganov, E.A., Hughes, M.K., ve Shashkin, A.V., 2006. Growth Dynamics of Conifer Tree Rings.
- Wagner, F.G., Gorman, T.M., Pratt, K.L. ve Keegan, C.E., (2002). Warp, MOE, and grade of structural lumber curve sawn from small-diameter Douglas-fir logs, *Forest Prod. J.*, 52(1), 27-31.
- Walker, J. C. F., (1993). Basic wood chemistry and cell wall ultrastructure, Primary wood processing: Principles and practice, In: Walker, J.C.F. (ed.), Chapter 2, Springer Dordrecht, London.
- Walker, J. C. F., ve Butterfield, B. G., (1996). The importance of microfibril angle to the processing industries, *NZ Forestry*, 4(4), 34-40.
- Wei, L., McDonald, A.G., Freitag, C. ve Morrell, J.J. E., (2013). Effects of wood fiber esterification on properties, weatherability and biodegradability of wood plastic composites, *Polym. Degrad. Stabil.*, 98, 1348-1361. [\[Crossref\]](#)
- Wheeler, A.E. ve Baas, P., (1998). Wood identification- a review, *IAWA Journal*, 19(3), 241-264. [\[Crossref\]](#)
- Wiedenhoeft, A.C. ve Miller, R.B., (2005). Structure and function of Wood. In: R.M. Rowell, ed. *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. Boca Raton, Florida: CRC Press, 9-33. [\[Crossref\]](#)
- Wiedenhoeft, A.C., (2011). *Identification of Central American Woods*. Madison, WI.
- Wiedenhoeft, A. C. ve Kretschmann, D. E., (2014). Species identification and design value estimation of wooden members in covered bridges. General Technical Report FPL-GTR-228. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. [\[Crossref\]](#)
- Wiedenhoeft, A.C. ve Miller, R.B., (2012). Structure and function of wood, *Handbook of wood chemistry and wood composites*, 2nd ed., In: Rowell, R.M. (ed.), Chapter 2, Crc Press, Boca Roton.
- Wiedenhoeft, A.C. ve Miller, R.B., (2021). Structure and function of wood, In: *Wood handbook- wood as an engineering material*, Chapter 2, General Technical Report, FPL-GTR-282, Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 65-84.
- Wimmer, R. ve Johansson, M., (2014). Effect of reaction wood on the performance of wood and wood-based products, The biology of reaction wood, In: Gardiner, B., Barnett, J., Saranpää, P. and Gril, J. (ed.), Chapter 8, Springer Berlin, Heidelberg.
- Xue, Q., Sun, W., Fagerstedt, K., Guo, X., Dong, M., Wang, W., ve Cao, H., (2019). Effects of wood rays on the shrinkage of wood during the drying process. *BioResources*, 13 (3), 7086-7095. [\[Crossref\]](#)
- Yamamoto, H., Sassus, F., Ninomiya, M. ve Gril, J., (2001). A model of anisotropic swelling and shrinking process of wood-Part 2. A simulation of shrinking wood, *Wood Sci. Technol.*, 35, 167-181. [\[Crossref\]](#)
- Yamei, L., Liang, Z., Yingqi, Z. ve Shengquan, L., (2020). Anatomical features and its radial variations among different *Catalpa bungei* clones, *Forests*, 11(824), 1-17. [\[Crossref\]](#)
- Yuan, Q., Liu, Z., Zheng, K., ve Ma, C., (2021). Wood. In: *Civil Engineering Materials*. Elsevier, 239-259. [\[Crossref\]](#)
- Zhang, X., Li, L., ve Xu, F., (2022). Chemical Characteristics of Wood Cell Wall with an Emphasis on Ultrastructure: A Mini-Review. *Forests*, 13 (3). [\[Crossref\]](#)
- Zimmermann, M.H., (1983). Xylem Structure and the Ascent of Sap. *Journal of Chemical Information and Modeling*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [\[Crossref\]](#)
- Zink-Sharp, A., (2003). The mechanical properties of wood, *Wood quality and its biological basis*, In: Barnett, J.R. and Jeronimidis, G. (ed.), Chapter 8, Blackwell Publishing Ltd., Crc Press, Oxford, UK,

BÖLÜM 3

AHŞABIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Türker DÜNDAR

Ahşabın Fiziksel Özellikleri

Physical Properties of Wood

BÖLÜM HAKKINDA

Ahşabın doğal bir malzeme olması, heterojen ve anizotropik yapısı, doğal kusurları ve rutubet ile olan etkileşimleri onun teknolojik özelliklerinde ve kullanım yeri performansında geniş varyasyonlara neden olmakta ve onu mühendislik açısından tahmin edilmesi güç bir malzeme haline getirmektedir. Bu ünik malzemenin doğru bir mühendislik ile kullanılabilmesi ve servis ömrünün uzatılabilmesi, onun yapısının ve bu yapıda değişkenliğe neden olan faktörlerin çok iyi anlaşılmasını gerektirir. Bu bölümde mühendisler ve mühendis adayları için ahşabın su ile olan ilişkileri, birim hacim ağırlığı, termal, elektriksel ve akustik özellikleri gibi önemli fiziksel özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Ahşap fiziği, ahşap-su ilişkileri, ahşabın yoğunluğu, termal özellikler, elektriksel özellikler, akustik özellikler

ABOUT the CHAPTER

Wood is a natural, heterogeneous and anisotropic material. In addition to these, a number of natural defects and its relationship with water may cause wide variations in its technological properties and end-use performance. This makes wood a difficult material to predict in terms of engineering. The proper engineering of this unique material and the extension of its service life requires a very good understanding of its structure and the factors that cause variability in this structure. In this chapter, information is given for engineers and engineer candidates about important physical properties of wood such as its relationship with water, unit volume weight, thermal, electrical and acoustic properties.

Keywords: Wood physics, Wood-water relations, Wood density, Thermal properties, Electrical properties, Acoustical properties.

Giriş

Doğal, heterojen yapılı ve anizotropik bir malzeme olan ahşabın teknolojik özellikleri genetik faktörlerden yetiştirme ortamı özelliklerine ve içerdiği birtakım doğal oluşumlara (genç odun, reaksiyon odunu, budaklar, lif kıvrıklığı vb.) kadar bir dizi faktörün etkisi ile oldukça değişkenlik göstermektedir. Bu sebeple, ahşabın çok çeşitli kullanım amaçları için en uygun biçimde değerlendirilebilmesi için, ahşabın bu ünik yapısının çok iyi bilinmesi ve bu ünik özelliklere uygun özel mühendislik çözümlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Ahşabın yoğunluğu, ahşap-nem ilişkileri gibi temel fiziksel özellikleri, bu eşsiz malzemenin herhangi bir amaç için kullanılması sırasında mutlaka dikkate alınması gereken temel özelliklerdir. Bilhassa ahşap kullanımı ile ilgili yaşanan mühendislik problemlerin çok büyük bir kısmının ahşap-nem ilişkisinden kaynaklandığı düşünüldüğünde konunun önemi çok daha iyi anlaşılabacaktır.

Ahşap Rutubet İlişkisi

Ahşap, diğer birçok doğal malzeme gibi higroskopik bir malzeme olup bulunduğu ortam şartlarına göre nem alıp verebilmektedir. Ahşabın higroskopik özelliği, temel yapısını oluşturan selüloz ve hemiselüloz zincirlerinde bulunan serbest hidroksil gruplarının su moleküllerini bağlama kapasitesinden kaynaklanmaktadır. Ahşap aynı zamanda kapılar (kılcal) bir yapıya sahip olduğu için kapılar kuvvetler etkisi ile de etrafındaki ortamdan bünyesine su alabilmektedir.

Ahşapta Rutubet Miktarı ve Tarifi

Ahşabın birçok fiziksel ve mekanik özellikleri içerdiği rutubet miktarına bağlıdır. Ahşapta lif doygunluğu noktasının altında gerçekleşen rutubet kayıpları boyutsal ve hacimsel daralma, rutubet alması ise genişleme ile sonuçlanır. Ahşabın anizotropik yapısından



Türker Dündar 

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Odun Mekanik ve Teknolojisi Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye
E-posta: dundar@iuc.edu.tr

Bu bölümü alıntıla / Cite this chapter as:
Dündar, T. (2024) Ahşabın Fiziksel Özellikleri. T. Akbulut (Ed.), *Ahşap: Doğal ve yenilenebilir mühendislik malzemesi* içinde (s. 35-55) İstanbul: İÜC Üniversite Yayınevi



CC BY 4.0: Telif hakkı yazarlardadır. Bu kitabın içeriği Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası lisans altında lisanslanmıştır.

dolayı rutubet kaybı ile gerçekleşen daralmaya şekil değişimleri, çatlama ve çarpılma gibi problemler de eşlik edebilir. Dolayısıyla ahşabın içerisindeki rutubet miktarının bilinmesi ve kontrol altına alınması ahşap mühendisliği bakımından son derece önemlidir. Ahşabın rutubet miktarı (%), içerisindeki suyun ağırlığının tam kuru haldeki odun kitlesine oranı olarak Formül 1’de ifade edilmektedir:

$$M = \frac{W_{su}}{W_0} = \frac{W_m - W_0}{W_0} \quad (\%) \quad (1)$$

Burada; W_m ahşabın rutubetli haldeki ağırlığını (g, kg), W_0 ise ahşabın tam kuru haldeki ağırlığını (g, kg) ifade etmektedir.

Ahşapta rutubet miktarını belirlemek için kurutma metodu, destilasyon, titrasyon, higrometrik metotlar ve elektrikli rutubet ölçerler gibi farklı yöntemler bulunmakla birlikte (Kollmann ve Cote, 1968; Bozkurt ve Göker, 1987) kurutma metodu ve elektrikli rutubet ölçerler pratikte yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir.

Kurutma metodu ile rutubet miktarı tespiti, ahşabın 103 ± 2 °C sıcaklıktaki fırınlarda tam kuru hale kadar (%0 rutubet) kurutulması öncesi ve kurutulması sonrası ağırlıklarının tartılması esasına dayanır. Yukarıda 1 numaralı eşitlikte görüldüğü gibi kurutma ile meydana gelen ağırlık kaybının tam kuru haldeki ağırlığa oranlanması ile rutubet miktarı bulunmakta ve % olarak ifade edilmektedir. Rutubet genellikle tam kuru ağırlığa oranla yüzde olarak ifade edilmekle birlikte kimi zaman yaş haldeki ağırlığa oranlanmak suretiyle de ifade edilebilmektedir.

Küçük kusursuz örneklerde kurutma metodu ile rutubet miktarının tespiti TS ISO 13061-1 standardında tanımlanan yöntemle yapılmaktadır. Kerestelerde kurutma metodu ile rutubet miktarı ise TS EN 13183-1 standardında verilen yöntem ile tespit edilmektedir.

Taze Haldeki Ahşabın Rutubeti

Yeni kesilmiş ağaçlardan elde edilen tomruklardan biçilen ahşabın rutubet içeriği "taze hal" olarak adlandırılır. Ahşabın taze haldeki rutubet içeriği ağaç türüne, yetiştirme ortamına, öz odun-diri odun oranına, odun yoğunluğuna ve ülkemiz gibi ılıman iklim kuşaklarında kesim zamanına bağlı olarak %30 ile %200 arasında değişebilmektedir (Glass ve Zelinka, 2010; Rowell, 2012). İğne yapraklı ağaçlarda taze halde öz odun genellikle diri odundan daha az su ihtiva etmektedir. Yapraklı ağaçlarda ise bu durum ağaç türüne bağlıdır. Bazı yapraklı ağaçlarda taze halde öz odun diri odundan daha düşük rutubet içeriğine sahipken bazı ağaç türlerinde taze halde öz odunun rutubet miktarı diri odundan daha yüksektir. Vejetasyon dönemi içerisinde kesilen ağaçlarda taze halde rutubet içeriği daha yüksek iken, vejetasyon dönemi dışında (kış mevsiminde) kesilen ağaçlarda taze halde rutubet miktarı daha düşük bulunmaktadır.

Ahşabın taze haldeki rutubet içeriğinin bilinmesi gerek taze haldeki tomruk ve kerestelerin ağırlıklarının belirlenmesi (orman- dan çıkarma, nakliye), gerekse kurutma ile ahşap içerisinden uzaklaştırılması gereken su miktarının bilinmesi bakımından önem arz etmektedir.

Taze halde ortalama rutubet miktarlarına göre ağaç türlerini dört genel grupta toplamak mümkündür (Bozkurt ve Göker, 1987):

Orta derecede rutubetli oduna sahip ağaç türleri ($M = \%30-40$, $100-200$ kg su/ m^3); Ladin, Çam, Melez, Gökmar ve Douglas Gökmarı öz odunları.

Rutubetli oduna sahip ağaç türleri ($M = \%40-60$, $200-400$ kg su/ m^3); Dişbudak, Ceviz, Yalancı Akasya, Titrek Kavak.

Oldukça rutubetli oduna sahip ağaç türleri ($\%60-115$, $400-550$ kg su/ m^3); Kayın, Meşe, Huş, Akçaağaç, İhlamur, Kızılağaç, Söğüt.

Çok rutubetli oduna sahip ağaç türleri ($>\%115$, >550 kg su/ m^3); Karaağaç, Kavak, Kestane, iğne yapraklı ağaçların diri odunu ve kök odunları.

Tablo 1, önemli bazı ağaç türlerinin taze halde içerdikleri rutubet miktarlarını vermektedir (Glass ve Zelinka, 2010).

Bağlı Su, Serbest Su ve Lif Doygunluğu Noktası

Ağaç malzeme içerisinde su hem bağlı su hem de serbest su olmak üzere iki şekilde bulunabilmektedir. Bağlı su; suyun hidrojen iyonunun (H^+) hücre çeperinde bulunan selüloz ve hemiselüloz zincirlerindeki serbest hidroksil grupları (OH^-) tarafından Wan der Waals çekim kuvvetleri ile bağlanması suretiyle tutulan sudur. Serbest su ise; odunun kapilar (kılcal) yapısı içerisinde kapilar basınç kuvvetlerinin bir neticesi olarak lümen boşlukları, geçit boşlukları vb. boşluklara mekanik olarak emilmek suretiyle yerleşen sudur. Ahşapta serbest suyun bulunabilmesi için ahşabın mutlaka sıvı haldeki su ile doğrudan temas etmesi, bu suyun kılcal yapı içerisine mekanik olarak emilmesi gerekir. Bağlı su ise havada bulunan su buharının serbest hidroksil gruplarına bağlanması ile yerleşir. Ahşabın su ile temas etmesi sonucu da hidroksil gruplarına su bağlanabilmektedir.

Taze halde bulunan bir ahşap içerisinde hem bağlı su, hem de serbest su birlikte yer alır. Taze haldeki ahşap kurumaya başladığında bir noktada içerisindeki serbest suyun tamamen buharlaştığı ancak hücre çeperindeki bağlı suyun maksimum olduğu bir duruma ulaşılır ki, bu durum "Lif Doygunluğu Noktası (LDN)" olarak adlandırılır. Teknik olarak lif doymunluğu noktası odunun hücre çeperlerine bağlı olan suyun maksimum olduğu, buna karşın serbest suyun hiç bulunmadığı noktadır. LDN ahşabın yapısına ve kimyasal kompozisyonuna göre her ağaç türünde farklı olup LDN' ye göre ağaç türlerini 5 grupta toplamak mümkündür (Bozkurt ve Göker, 1987):

- Lif doymunluğu noktası çok yüksek olanlar ($\%32-35$ ve üstü); Dağınık traheli olup belirgin bir özodununa sahip olmayan Kavak, İhlamur, Kızılağaç, Huş, Gürgen, Kayın ile halkalı ve yarı halkalı traheli ve koyu renkli özodununa sahip olan Meşe, Kestane, Yalancı akasya, Dişbudak, Ceviz ve Kirazın diri odunları.
- Lif doymunluğu noktası yüksek olanlar ($\%30-34$); Koyu renkli bir özodunu bulunmayan Ladin ve Gökmar ile koyu renkli özodununa sahip Çam ve Melezin diri odunları.
- Lif doymunluğu noktası orta derecede olanlar ($\%26-28$); Çam, Melez, Douglas Gökmarı özodunları.
- Lif doymunluğu noktası düşük olanlar ($\%22-24$); Halkalı ve yarı halkalı traheli Meşe, Kestane, Dişbudak, Yalancı akasya, Ceviz ve Kirazın özodunları.
- Lif doymunluğu noktası çok düşük olanlar ($\%18-22$); Ekstraktif madde içeriği oldukça zengin olan Sedir ve Ardiç özodunları.

Tablo 1

Önemli bazı ağaç türlerinin taze haldeki rutubet miktarları

Ağaç Türü (Geniş Yapraklı Ağaçlar)	Rutubet miktarı (%)		Ağaç Türü (İğne Yapraklı Ağaçlar)	Rutubet miktarı (%)	
	Öz odun	Diri Odun		Öz odun	Diri odun
Kızılağaç (<i>Alnus rubra</i>)	-	97	Bataklık servisi (<i>Taxodium distichum</i>)	121	171
Elma (<i>Malus domestica</i>)	81	74	Ardıç (<i>Juniperus virginiana</i>)	33	-
Dişbudak (<i>Fraxinus nigra</i>)	95	-	Sedir (<i>Calocedrus decurrens</i>)	40	213
Dişbudak (<i>Fraxinus pennsylvanica</i>)	-	58	Yalancı servi (<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>)	50	98
Dişbudak (<i>Fraxinus americana</i>)	46	44	Boylu mazı (<i>Thuja plicata</i>)	58	249
Titrek Kavak (<i>Populus tremula</i>)	95	113	Nutka servisi (<i>Cupressus nootkatensis</i>)	32	166
İhlamur (<i>Tilia americana</i>)	81	133	Duglas göknarı (<i>Pseudotsuga menziesii</i>)	37	115
Kayın (<i>Fagus grandifolia</i>)	55	72	Göknar (<i>Abies balsamea</i>)	88	173
Huş (<i>Betula papyrifera</i>)	89	72	Göknar (<i>Abies grandis</i>)	91	136
Huş (<i>Betula lenta</i>)	75	70	Göknar (<i>Abies procera</i>)	34	115
Huş (<i>Betula alleghaniensis</i>)	74	72	Göknar (<i>Abies amabilis</i>)	55	164
Kiraz (<i>Prunus serotina</i>)	58	-	Göknar (<i>Abies concolor</i>)	98	160
Kestane (<i>Castanea dentata</i>)	120	-	Tsuga (<i>Tsuga canadensis</i>)	97	119
Kavak (<i>Populus spp.</i>)	162	146	Tsuga (<i>Tsuga heterophylla</i>)	85	170
Karaağaç (<i>Ulmus americana</i>)	95	92	Larix (<i>Larix occidentalis</i>)	54	119
Karaağaç (<i>Ulmus crassifolia</i>)	66	61	Çam (<i>Pinus taeda</i>)	33	110
Karaağaç (<i>Ulmus thomasi</i>)	44	57	Çam (<i>Pinus contorta</i>)	41	120
Yaban mersini (<i>Vaccinium myrtillus</i>)	61	65	Çam (<i>Pinus palustris</i>)	31	106
Hikori (<i>Carya cordiformis</i>)	80	54	Çam (<i>Pinus ponderosa</i>)	40	148
Hikori (<i>Carya tomentosa</i>)	70	52	Çam (<i>Pinus resinosa</i>)	32	134
Hikori (<i>Carya glabra</i>)	71	49	Çam (<i>Pinus echinata</i>)	32	122
Hikori (<i>Carya ovalis</i>)	69	52	Çam (<i>Pinus lambertiana</i>)	98	219
Hikori (<i>Carya pallida</i>)	68	50	Çam (<i>Pinus monticola</i>)	62	148
Hikori (<i>Carya aquatica</i>)	97	62	Sekoya (<i>Sequoiadendron spp.</i>)	86	210
Manolya (<i>Magnolia L.</i>)	80	104	Ladin (<i>Picea mariana</i>)	52	113
Akçaağaç (<i>Acer saccharinum</i>)	58	97	Ladin (<i>Picea engelmannii</i>)	51	173
Akçaağaç (<i>Acer saccharum</i>)	65	72	Ladin (<i>Picea sitchensis</i>)	41	142
Meşe (<i>Quercus kelloggii</i>)	76	75	Larix (<i>Larix laricina</i>)	49	-
Meşe (<i>Quercus rubra</i>)	80	69			
Meşe (<i>Quercus falcata</i>)	83	75			
Meşe (<i>Quercus nigra</i>)	81	81			
Meşe (<i>Quercus alba</i>)	64	78			
Meşe (<i>Quercus phellos</i>)	82	74			
Siğla (<i>Liquidambar styraciflua</i>)	79	137			
Çınar (<i>Platanus occidentalis</i>)	114	130			
Tupelo (<i>Nyssa sylvatica</i>)	87	115			
Tupelo (<i>Nyssa biflora</i>)	101	108			
Tupelo (<i>Nyssa aquatica</i>)	150	116			
Ceviz (<i>Juglans nigra</i>)	90	73			
Lale ağacı (<i>Liriodendron tulipifera</i>)	83	106			

Açıklama notu. Glass, S.V., Zelinka, S.L., 2010. Moisture Relations and Physical Properties of Wood. Wood Handbook, Wood as an Engineering Material, Edited by Robert J. Ross, USDA Forest Service, FPL-GTR-190 kaynağından uyarlanmıştır.

Yukarıda görüldüğü gibi LDN ağaç türlerine göre oldukça geniş bir aralıkta değişmekle birlikte ahşap mühendisliğinde teknik hesaplamalarda kullanılmak üzere ortalama %28 olarak kabul edilmektedir (Bozkurt ve Göker, 1987). LDN ahşap teknolojisi bakımından son derece önemli bir kavramdır. Taze haldeki ahşap kurumaya başladığında LDN' ye ulaşana kadar (serbest su uzaklaşırken) hacminde bir değişiklik meydana gelmezken, rutubet içeriği LDN noktasına ulaştıktan sonra kurudukça (bağlı su miktarı azaldıkça) boyutlarında ve hacminde azalma meydana gelmektedir. Ahşap LDN üstünde serbest su kaybederken elastikiyet modülü ve direnç değerlerinde bir değişiklik olmazken, LDN altında kurduğunda elastikiyet modülü ve mukavemeti artmaktadır. Benzer şekilde LDN ahşabın diğer birçok teknolojik özelliği üzerinde etkili olan bir noktadır.

Maksimum Rutubet Miktarı

Ahşapta hem hücre çeperinin doymun halde (bağlı su) ve bütün hücre lümenleri ve diğer kapılar boşlukların su ile tamamen dolu olduğu (serbest su) durum tam yaş hal olarak adlandırılmakta ve bu durumda odun rutubeti de mümkün olan en yüksek düzeyine ulaşmış olmaktadır. Ahşabın maksimum rutubet miktarına ulaşabilmesi için su içerisine daldırılmış olması gerekmektedir. Ahşabın tam yaş haldeki muhtemel rutubet miktarı hacim ağırlık değerine (ahşabın tam kuru haldeki ağırlığının taze haldeki hacmine oranı) bağlı bulunmaktadır. Ahşabın selüloz, hemiselüloz ve ligninden oluşan hücre çeperinin yoğunluğu bütün ağaç türlerinde sabit olup 1,5 g/cm³ olarak kabul edilmektedir. Böylece ahşabın hacim ağırlık değeri arttığında boşluk hacmi azalacağı için ulaşabilecek maksimum rutubet miktarı da azalacaktır. Ulaşabilecek maksimum rutubet miktarı hacim ağırlık değeri ve hücre çeperi yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak aşağıda yer alan Formül 2 ile hesaplanabilir:

$$M_{maks} = 100(1,5 - R)/1,5R \quad (2)$$

Ahşapta maksimum rutubet miktarı yoğunluğu yüksek ağaç türlerinde %40'larda iken, hafif olan ağaç türlerinden söz gelimi Balsa ağacında %750'ye kadar çıkabilmekte ve hatta uzun süre su içerisinde beklemiş ahşaplarda %2000'lere ulaşabilmektedir (Brown vd., 1952)

Su Buharı Sorpsiyonu ve Denge Rutubet Miktarı

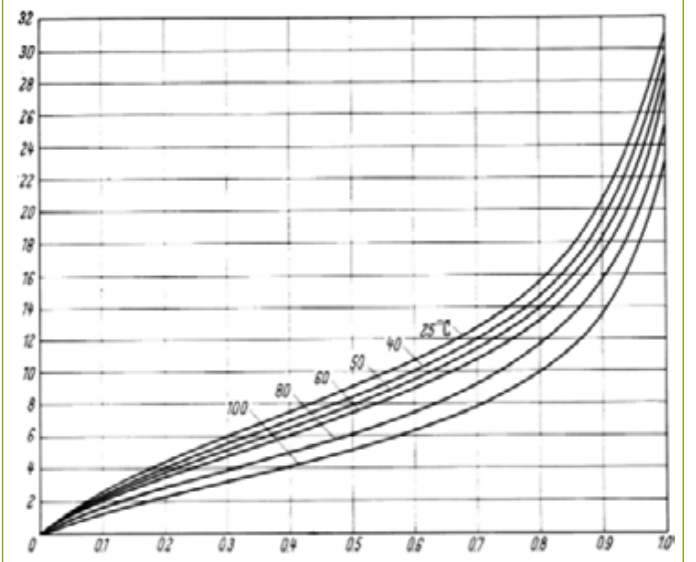
Su buharı sorpsiyonu su buharı ile ahşap içerisinde tutulan su arasındaki bir faz değişimidir (Glass ve Zelinka, 2010). Ahşabın bulunduğu ortamdaki su buharını hücre çeperindeki serbest OH⁻ grupları vasıtası ile tutması olayı adsorpsiyon, çepere kondanase edilen suyun tekrar su buharı olarak ortama verilmesi olayı desorpsiyon olarak adlandırılır. Ahşap doğrudan su ile temas etmediğinde ve herhangi bir ısı kaynağına maruz kalmadığında içerisindeki rutubet miktarını çevresindeki havanın sıcaklığı ve bağıl nemi belirler. Herhangi bir amaç için kullanılmakta olan ahşabın çevresindeki havanın sıcaklığı ve bağıl nemi bulunduğu coğrafi konuma göre hem günlük hem de mevsimsel değişimlere maruz kalmakta ve bu değişimler ahşap içerisindeki rutubet miktarında da değişimlere neden olmaktadır. Ahşap içerisindeki bu rutubet değişimleri tedrici olarak gerçekleşmekte olup rutubet değişimlerinin az ya da çok olması ahşabın başlangıçtaki rutubet içeriğinin kullanım yerindeki sıcaklık ve bağıl nem koşullarına uygun olmasına bağlıdır. Sıcaklık ve bağıl nemdeki günlük değişimleri

ahşabın rutubet miktarı üzerine etkisi genellikle yüzeyseldir.

Ahşap mikroskobik ve özellikle ultramikroskobik düzeyde oldukça geniş iç yüzey alanlarına sahip olup havadaki su buharı moleküllerini serbest OH⁻ grupları vasıtası ile bu geniş yüzey alanları üzerine kondanase etmektedir. Bütün ağaç türlerinde mikroskobik iç yüzey alanı (hücre lümenleri, geçit odaları vb.) 220-2000 cm²/cm³ arasında değişirken, ultramikroskobik iç yüzey alanı (fibriller arası yüzey alanları) çok daha geniş olup 8×10⁵ ile 6×10⁶ cm²/cm³

Şekil 1

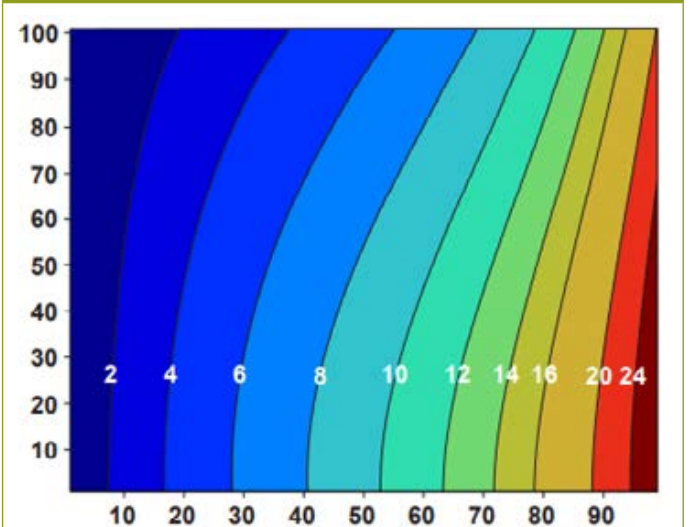
Ahşapta farklı sıcaklık dereceleri için sorpsiyon izotermi



Açıklama notu. Stamm, A.J., Harris, E.E., 1953. Chemical Processing of Wood. New York, NY, Chemical Publication Company Inc., s. 113-138 kaynağından alınmıştır.

Şekil 2

Sıcaklık ve bağıl neme bağlı olarak ahşapta oluşan denge rutubet miktarları



Açıklama notu. Glass, S.V., Zelinka, S.L., 2010. Moisture Relations and Physical Properties of Wood. Wood Handbook, Wood as an Engineering Material, Edited by Robert J. Ross, USDA Forest Service, FPL-GTR-190 kaynağından alınmıştır.

arasında değişmektedir [Bozkurt ve Göker, 1987]. Ahşap bu geniş iç yüzey alanlarının bir sonucu olarak havanın bağıl neminin düşük ya da yüksek olma durumuna göre hücre çeperlerine su moleküllerini tek tabakalı ve çok tabakalı olarak bağlayabilmektedir. Böylece sabit sıcaklıkta havanın bağıl nemine göre ahşapta oluşacak denge rutubetlerini gösteren sorpsiyon izotermi Şekil 1’de görüldüğü gibi açık bir “S” eğrisi şeklinde oluşmaktadır (Stamm ve Harris, 1953).

Ahşap sıcaklığı ve bağıl nemi değişmeyen bir ortamda yeterli bir süre beklediğinde adsorpsiyon ve desorpsiyon olaylarında bir denge durumu oluşmakta ve ahşap içerisindeki rutubet miktarı artık değişmemektedir. Bu durumdaki ahşabın rutubet miktarına Denge Rutubet Miktarı (DRM) denilmektedir. Havanın sıcaklığı ve bağıl nemine bağlı olarak ahşap içerisinde oluşacak denge rutubet miktarları Şekil 2’de [Glass ve Zelinka, 2010] ve Tablo 2’de [Bozkurt ve Göker, 1987] verilmiştir.

Tablo 2’de farklı sıcaklık ve bağıl nem koşulları için verilen kesin rutubet değerleri matematiksel bir ilişki ile hesaplanmış değerler olup uygulamada oluşacak denge rutubet miktarları ağaç türleri arasında ve hatta aynı ağaç türünden elde edilmiş parçalar arasında da küçük farklılıklar gösterir. Oda sıcaklığında düşük ve orta bağıl nemlerde bu farklılıklar çok azken (<%1), yüksek bağıl nemlerde daha yüksek farklar ortaya çıkabilmektedir. Yüksek bağıl nemlerde denge rutubet miktarı bakımından ağaç türleri arasında oluşan farklılıkların en büyük nedeni ekstraktif madde içeriği olup yüksek ekstraktif madde içeren ağaç türlerinde yüksek bağıl nemlerde oluşan denge rutubet miktarı da daha düşük olmaktadır. Bir başka sebep ağaç türleri arasında özellikle ultramikroskopik düzeyde suyun kondanse olacağı iç yüzey alanları bakımından da farklılıklar olmasıdır. Bu farklılıklar düşük ve orta derecede bağıl nemlerde önemli bir etki oluşturmazken yüksek bağıl nemlerde (özellikle >%95) su moleküllerinin iç yüzey alanlarına çok tabakalı olarak kondanse edilmesi sırasında etkili olmaktadır.

Tablo 2

Belirtilen sıcaklık ve bağıl nem koşulları için verilen kesin rutubet değerleri

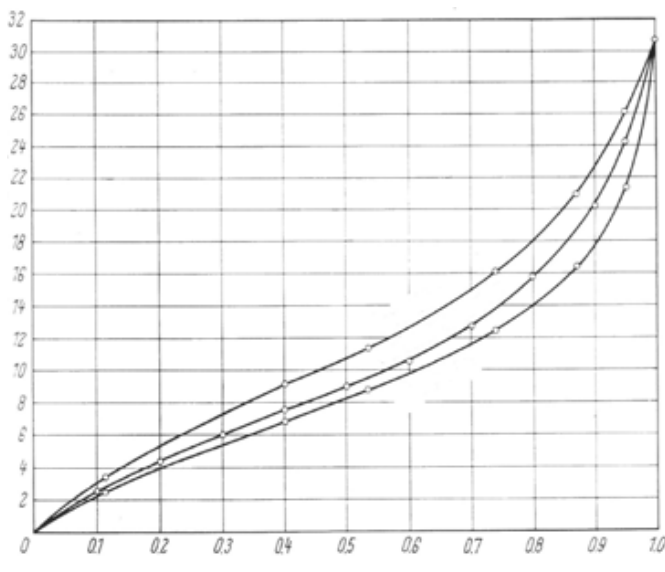
Sıcaklık	Çeşitli bağıl nem değerlerinde rutubet miktarı (%)																		
°C	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
-1.1	1.4	2.6	3.7	4.6	5.5	6.3	7.1	7.9	8.7	9.5	10.4	11.3	12.4	13.5	14.9	16.5	18.5	21.0	24.3
4.4	1.4	2.6	3.7	4.6	5.5	6.3	7.1	7.9	8.7	9.5	10.4	11.3	12.3	13.5	14.9	16.5	18.5	21.0	24.3
10.0	1.4	2.6	3.6	4.6	5.5	6.3	7.1	7.9	8.7	9.5	10.3	11.2	12.3	13.4	14.8	16.4	18.4	20.9	24.3
15.6	1.3	2.5	3.6	4.6	5.4	6.2	7.0	7.8	8.6	9.4	10.2	11.1	12.1	13.3	14.6	16.2	18.2	20.7	24.1
21.1	1.3	2.5	3.5	4.5	5.4	6.2	6.9	7.7	8.5	9.2	10.1	11.0	12.0	13.1	14.4	16.0	17.9	20.5	23.9
26.7	1.3	2.4	3.5	4.4	5.3	6.1	6.8	7.6	8.3	9.1	9.9	10.8	11.7	12.9	14.2	15.7	17.7	20.2	23.6
32.2	1.2	2.3	3.4	4.3	5.1	5.9	6.7	7.4	8.1	8.9	9.7	10.5	11.5	12.6	13.9	15.4	17.3	19.8	23.3
37.8	1.2	2.3	3.3	4.2	5.0	5.8	6.5	7.2	7.9	8.7	9.5	10.3	11.2	12.3	13.6	15.1	17.0	19.5	22.9
43.3	1.1	2.2	3.2	4.0	4.9	5.6	6.3	7.0	7.7	8.4	9.2	10.0	11.0	12.0	13.2	14.7	16.6	19.1	22.4
48.9	1.1	2.1	3.0	3.9	4.7	5.4	6.1	6.8	7.5	8.2	8.9	9.7	10.6	11.7	12.9	14.4	16.2	18.6	22.0
54.4	1.0	2.0	2.9	3.7	4.5	5.2	5.9	6.6	7.2	7.9	8.7	9.4	10.3	11.3	12.5	14.0	15.8	18.2	21.5
60.0	0.9	1.9	2.8	3.6	4.3	5.0	5.7	6.3	7.0	7.7	8.4	9.1	10.0	11.0	12.1	13.6	15.3	17.7	21.0
65.6	0.9	1.8	2.6	3.4	4.1	4.8	5.5	6.1	6.7	7.4	8.1	8.8	9.7	10.6	11.8	13.1	14.9	17.2	20.4
71.1	0.8	1.6	2.4	3.2	3.9	4.6	5.2	5.8	6.4	7.1	7.8	8.5	9.3	10.3	11.4	12.7	14.4	16.7	19.9
76.7	0.7	1.5	2.3	3.0	3.7	4.3	4.9	5.6	6.2	6.8	7.4	8.2	9.0	9.9	11.0	12.3	14.0	16.2	19.3
82.2	0.7	1.4	2.1	2.8	3.5	4.1	4.7	5.3	5.9	6.5	7.1	7.8	8.6	9.5	10.5	11.8	13.5	15.7	18.7
87.8	0.6	1.3	1.9	2.6	3.2	3.8	4.4	5.0	5.5	6.1	6.8	7.5	8.2	9.1	10.1	11.4	13.0	15.1	18.1
93.3	0.5	1.1	1.7	2.4	3.0	3.5	4.1	4.6	5.2	5.8	6.4	7.1	7.8	8.7	9.7	10.9	12.5	14.6	17.5
98.9	0.5	1.0	1.6	2.1	2.7	3.2	3.8	4.3	4.9	5.4	6.0	6.7	7.4	8.3	9.2	10.4	12.0	14.0	16.9
104.4	0.4	0.9	1.4	1.9	2.4	2.9	3.4	3.9	4.5	5.0	5.6	6.3	7.0	7.8	8.8	9.9			
110.0	0.3	0.8	1.2	1.6	2.1	2.6	3.1	3.6	4.2	4.7	5.3	6.0	6.7						
115.6	0.3	0.6	0.9	1.3	1.7	2.1	2.6	3.1	3.5	4.1	4.6								
121.1	0.2	0.4	0.7	1.0	1.3	1.7	2.1	2.5	2.9										
126.7	0.2	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.4												
132.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4													

Açıklama notu. Glass, S.V., Zelinka, S.L., 2010. Moisture Relations and Physical Properties of Wood. Wood Handbook, Wood as an Engineering Material, Edited by Robert J. Ross, USDA Forest Service, FPL-GTR-190 kaynağından uyarlanmıştır.

Belli bir sıcaklık ve bağıl nem koşullarında ahşabın su vermesi (desorpsiyon) ile ulaşılan denge rutubet miktarı, su alması (adsorpsiyon) ile ulaşılan denge rutubet miktarından daha yüksek olmaktadır. Böylece herhangi bir sabit sıcaklık derecesinde desorpsiyon ve adsorpsiyon durumları için iki farklı sorpsiyon izotermi mevcuttur. Bu iki eğri %0 ve %100 bağıl nemlerde kapanmakta olup ahşabın bu davranışına histerez denilmektedir (Skaar, 1988). Şekil 3, 25 °C sıcaklıkta ladin odununda histerez davranışını göstermektedir (Stamm ve Harris, 1953). Aynı sıcaklık ve bağıl nem koşullarında desorpsiyonda oluşan DRM (M_D) ile adsorpsiyonda

Şekil 3

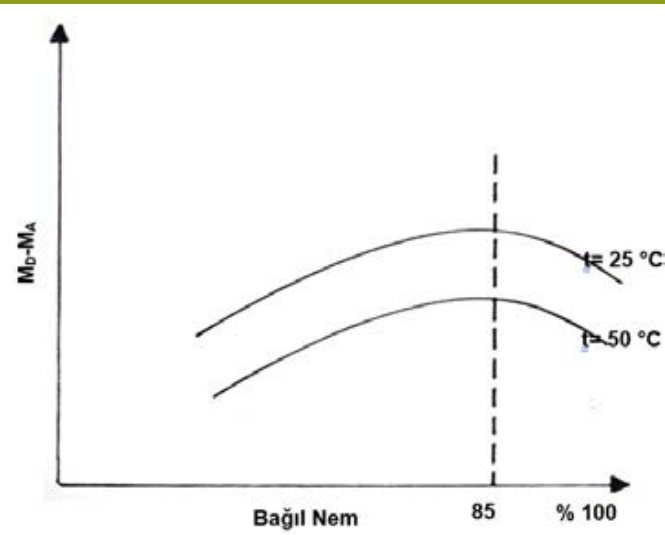
Ladinde 25 oC'de histerez davranışı



Açıklama notu. Stamm, A.J., Harris, E.E., 1953. Chemical Processing of Wood. New York, NY, Chemical Publication Company Inc., s. 113-138 kaynağından alınmıştır.

Şekil 4

Histerez MD/MA oranı



Açıklama notu. Bozkurt, A.Y., Göker, Y., 1987. Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No. 3445, O.F Yayın No. 388, ISBN 975-404-010-9 kaynağından alınmıştır.

oluşan DRM (M_A) arasındaki fark ($M_D - M_A$) havanın bağıl nemine göre değişmekte ve Şekil 4'te görüldüğü gibi %85 bağıl neme kadar fark doğrusal bir şekilde artmaktadır. Bu doğrusal ilişkiden faydalanarak sorpsiyon histerezi M_A/M_D oranı ile karakterize edilmektedir. Yüksek sıcaklıklarda $M_D - M_A$ farkı daha düşük olmaktadır (Şekil 4) (Bozkurt ve Göker, 1987).

Ahşapta belli bir sıcaklık ve bağıl nemde oluşacak denge rutubetini belirleyen bir başka faktör de ahşabın sorpsiyon geçmişi'dir. Yukarıda izah edildiği gibi ahşap adsorpsiyon ve desorpsiyonda histerez davranışı sergileyen bir malzemedir. Şekil 3'te görüldüğü gibi, yeni kesilmiş bir ağaç tomruğundan biçilen taze haldeki kerestede ilk desorpsiyon eğrisi ile bir kez kuruduktan sonra tekrar rutubet aldığı anda oluşan ikinci desorpsiyon eğrisi de birbiri ile çakışmamakta ve ikinci desorpsiyonda ulaşılan denge rutubet miktarları ilkinden daha düşük gerçekleşmektedir (Spalt, 1958). Ahşap eskidikçe yapısında meydana gelen birtakım değişimler (kimyasal, fiziksel) nedeniyle higroskopik kapasitesi sınırlanmakta ve aynı koşullarda oluşan denge rutubet miktarı da daha düşük gerçekleşmektedir (Brown vd., 1952; Kollmann ve Cote 1968).

Sıvı Su Absorpsiyonu

Ahşap doğrudan su ile temas ettiğinde ya da toprak ile teması söz konusu olduğunda sıvı haldeki su ahşabın kapilar yapısı nedeniyle ile ahşap içerisine hızlı bir şekilde emilmektedir. Ahşabın su buharı adsorpsiyonu ile rutubet içeriği daha yavaş değişirken su ile temas durumunda rutubet içeriğinde çok daha hızlı bir değişim meydana gelmektedir. Havadaki su buharının adsorpsiyonu ile ahşapta rutubet miktarı en fazla LDN'ye kadar çıkabilirken su ile temas durumunda temas süresine ve koşullarına bağlı olarak rutubet LDN üzerine çıkmakta hatta su içerisinde bekleyen ahşapta boşluklardaki havanın tamamen su ile yer değiştirmesi sonucu tam yaş hale ulaşabilmektedir.

Ahşabın hücre çeperindeki bileşenlerin higroskopik yapısından dolayı su molekülleri ile kuvvetli bir etkileşim halindedir. Böylece su molekülleri, ahşabın kapilar yapısı içerisinde (hücre lümenlerinde) konkav menisküsler oluştururlar (Şekil 5). Su ve hücre çeperi bileşenleri arasındaki bu çekim ve su hava yüzeyi gerilimi ile birleştiğinde kapilar basınç adı verilen bir basınç kuvveti oluşmakta ve böylece sıvı su hücre lümenlerinde yükselebilmektedir.

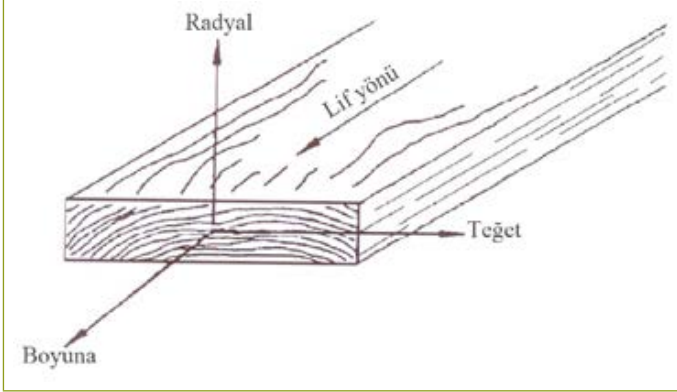
Ahşapta sıvı haldeki suyun absorpsiyon hızı, hücrelerin düzenlenişinden dolayı lif yönünde liflere dik yönden daha hızlıdır. Dolayısıyla ahşap enine kesitlerinin su ile temas etmesi durumunda rutubet içeriğindeki artış çok daha hızlı olmaktadır. Bu durum ahşap yapıların tasarımında dikkate alınması ve yapı fiziği bakımından çözümlenmesi gereken bir durumdur.

Daralma ve Genişleme

Ahşap taze halde iken (rutubeti LDN üzerinde iken) boyutları ve dolayısıyla hacmi sabittir. Kuruma sonucu rutubeti LDN altına indiğinde boyutları küçülmeye başlamakta ve bu durum tam kuru hale ulaşınca kadar devam etmektedir. LDN altında hücre çeperine bağlı olan su buharlaştıkça kabaca buharlaşan suyun hacmi kadar (gerçekteki durum bundan biraz farklıdır) bir hacim azalması meydana gelir. Bu durum ahşabın "daralması" olarak adlandırılır. Ters durumda LDN altında rutubet aldığı anda ise kabaca hücre çeperine yerleşen suyun hacmi kadar bir hacim artışı

Şekil 5

Ahşapta lif yönü ve yıllık halkalara göre anizotropi.



meydana gelmesi de "genişleme" olarak adlandırılır ve bu durum ahşap yeniden LDN'ye ulaşmaya kadar devam eder. Bu durumların her ikisi birden "ahşabın çalışması" olarak adlandırılır.

Daha önce ifade edildiği gibi ahşap anizotropik bir malzemedir. Ahşapta anizotropi lif yönüne (liflere paralel/liflere dik) ve enine kesitte yıllık halkaların durumuna göre (radyal/teğetsel) oluşmaktadır (Şekil 5). Ahşabın anizotropik yapısı nedeniyle daralma ve genişleme ahşapta her yönde aynı miktarda gerçekleşmez. Ahşap normal koşullarda liflere paralel yönde çok küçük miktarlarda (genellikle <%0.2, Rowell 2012, Glass ve Zelinka, 2010) boyut değiştirmektedir. Liflere dik yönde boyut değişikliği çok daha fazla miktarda olup LDN' den tam kuru hale kadar olan daralma teğet yönde çeşitli ağaç türlerinde %3,5-15 arasında, radyal yönde ise %2,4-11 arasında değişmektedir (Bozkurt ve Göker, 1987).

Ahşapta LDN' den tam kuru hale kadar olan daralma miktarı Formül 3 ile bulunmaktadır:

$$\% \beta_{r,t,l} = \frac{L_{yas,r,t,l} - L_{kuru,r,t,l}}{L_{yas,r,t,l}} \times 100 \quad (3)$$

Burada L_{yas} LDN üzerindeki radyal, teğet ya da boyuna yöndeki ölçüyü, L_{kuru} tam kuru haldeki radyal teğet ya da boyuna yöndeki ölçüyü ifade etmektedir.

Tablo 3

Çeşitli ağaç türlerinde maksimum daralma ve maksimum genişleme oranları.

Ağaç Türü	Daralma (%)			Genişleme (%)		
	Teğet	Radyal	Hacimsel	Teğet	Radyal	Hacimsel
İğne Yapraklı Ağaç Türleri	Sarıçam (<i>Pinus sylvestris</i> L.)	8.3	4.3	12.7		
	Karaçam (<i>Pinus nigra</i> Arnold.)	7.1	3.6	10.6		
	Kızılçam (<i>Pinus brutia</i> Ten.)	6.8	4.9	12.2		
	Sedir (<i>Cedrus libani</i> A. Rich.)	5.0	3.3	9.2		
	Uludağ Göknaarı (<i>Abies bormülleriana</i> Mattf.)	8.6	4.3	13.0		
	Doğu Ladini (<i>Picea orientalis</i> (L.) Link.)	6.2	3.4	10.2		
	Fıstıkçamı (<i>Pinus pinea</i> L.)	3.9	6.2	9.4	3.9	6.3
	Boylu Ardiç (<i>Juniperus excelsa</i> Bieb.)	5.1	4.4	10.2		
	Kokulu Ardiç (<i>Juniperus foetidissima</i> Willd.)	4.8	4.1	8.3		
	Porsuk (<i>Taxus baccata</i> L.)					
Geniş Yapraklı Ağaç Türleri	Servi (<i>Cupressus semp. var. pyramidalis</i>)	3.4	3.3	6.9		
	Meşe (<i>Quercus robur</i> L.)	7.8	4.0	12.2		
	Kayın (<i>Fagus orientalis</i> Lipsky.)	11.4	5.0	16.2		
	Gürgen (<i>Carpinus betulus</i> L.)	11.5	6.8	18.8		
	Kızılağaç (<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.)	7.3	4.4	12.6		
	Akçaağaç (<i>Acer platanoides</i> L.)	9.3	4.7	13.0	9.0	4.7
	Dişbudak (<i>Fraxinus excelsior</i> L.)	8.0	5.0	13.2		
	Anadolu Kestanesi (<i>Castanea sativa</i> Mill.)	6.4	4.3	11.3		
	Çınar (<i>Platanus orientalis</i> L.)	8.7	4.5	13.7		
	Huş (<i>Betula sp. L.</i>)					
	İhlamur (<i>Tilia grandifolia</i> Moench.)	9.1	5.5	14.9		
	Sığla (<i>Liquidambar orientalis</i> Mill.)	9.5	6.4	16.1		
	Kavak (<i>Populus nigra</i> L.)	8.3	5.2	13.8		
	Douglas Göknaarı (<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco)	7.3	4.1	11.3		
	Sahil çamı (<i>Pinus pinaster</i> Ait.)	6.3	3.2	9.5		
Plantasyonu olan türler	Monteri çamı (<i>Pinus radiata</i> D. Don.)	5.4	3.4	9.1		
	Okaliptüs (<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehn.)	12.3	7.6			
	Pavlonya (<i>Paulownia elengota</i>)			9.0		10.2

Açıklama notu. Bozkurt, A.Y., Göker, Y., 1987. Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No. 3445, O.F Yayın No. 388, ISBN 975-404-010-9 kaynağından uyarlanmıştır.

Benzer şekilde tam kuru halden LDN'ye kadar olan genişleme miktarı da Formül 4 ile hesaplanmaktadır:

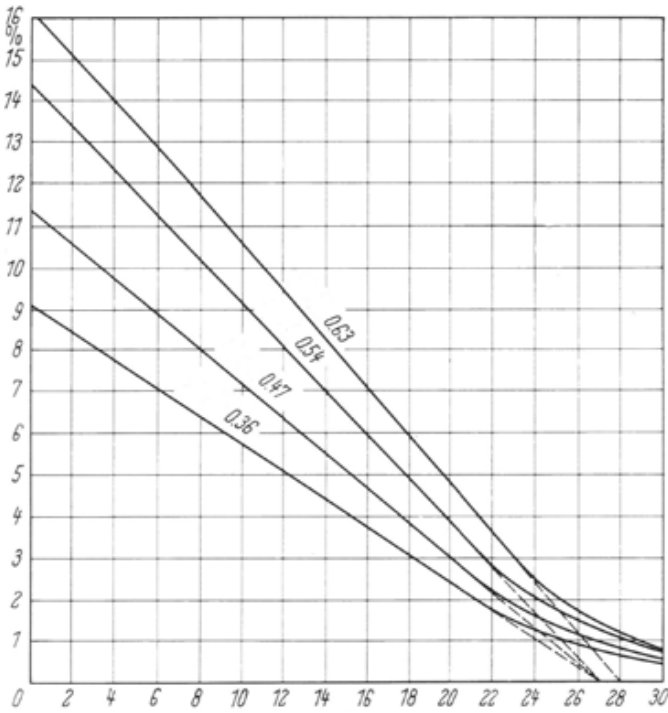
$$\% \alpha_{r,t,l} = \frac{L_{yaş,r,t,l} - L_{kuru,r,t,l}}{L_{kuru,r,t,l}} \times 100 \quad (4)$$

Ahşapta küçük kusursuz örnekler üzerinde daralma ve genişleme oranlarının tespiti ile ilgili standart deney izlekleri TS ISO 13061-13 (Radyal ve teğet daralma), TS ISO 13061-14 (Hacimsel daralma), TS ISO 13061-15 (Radyal ve teğet genişleme) ve TS ISO 13061-16 (Hacimsel genişleme) standartlarında verilmektedir. Tablo 3 çeşitli ağaç türlerinde bu standart yöntemlere göre bulunan LDN'den tam kuru hale kadar olan daralma (maksimum daralma) ve tam kuru halden LDN'ye kadar olan genişleme (maksimum genişleme) oranlarını göstermektedir.

Ahşap ısı iletkenli katsayısı düşük ve geçirgenliği sınırlı bir malzemedir. Yeteri derecede küçük boyutlarda bir ahşapta daralma rutubet LDN altına düştüğünde başlar ve tam kuru hale ulaşınca kadar neredeyse doğrusal bir biçimde devam eder. Bununla birlikte kerestelerde ve diğer görece büyük boyutlardaki ahşaplarda kuruma yüzeylerden başlar ve yüzeyler ile iç kısımlar arasında bir rutubet meyli oluşur. Ahşabın dış kısımları LDN altına düştüğünde yüzeylerde daralma başlarken iç kısımlar hala LDN üzerinde olduğundan daralma görülmez. Böylece kerestenin ortalama rutubeti LDN üzerinde olsa bile rutubet meyli nedeniyle daralma meydana gelir. Ahşapta oluşan bu rutubet meyli nedeni ile rutubet miktarı-daralma ilişkisi tam olarak doğrusal olmasa bile Şekil 6'da görüldüğü gibi neredeyse doğrusal olarak kabul edilebilir.

Şekil 6

Farklı özgül ağırlık değerleri için rutubet içeriği ile daralma oranı arasındaki ilişki



Açıklama notu. Kollmann, FEP, Cote, W.A.Jr., 1968. Principles of Wood Science and Technology I, Solid Wood. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York kaynağından alınmıştır.

Pratikte ahşabın kurutulmasında ya da herhangi bir kullanım yerinde ahşap içerisindeki rutubet salınımları LDN ve tam kuru hal (ya da tam tersi) arasında olmayıp daha dar bir aralıkta gerçekleşmektedir. Bu sebeple pratikte ahşaptaki maksimum daralma ya da genişleme oranlarından ziyade LDN ile tam kuru hal arasındaki herhangi iki rutubet değeri arasında meydana gelecek çalışma miktarı önem kazanmaktadır. Ahşapta LDN ile tam kuru hal arasındaki daralma (ya da tersi durumda genişleme) tam olarak doğrusal bir şekilde gerçekleşmemekle birlikte Şekil 6'da görüldüğü gibi tam kuru hal ile yaklaşık %22-24 rutubetler arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Pratik hesaplamalar için bu ilişki LDN'ye kadar doğrusal kabul edilerek ve küçük hata payları göz ardı edilerek her bir birim rutubet değişiminde meydana gelecek birim daralma oranı ($k_{\beta,r,t,v}$) (Formül 5) ve birim genişleme oranı ($k_{\alpha,r,t,v}$) (Formül 6) basitçe aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$k_{\beta,r,t,v} = \frac{\beta_{r,t}}{LDN} \quad (5)$$

$$k_{\alpha,r,t,v} = \frac{\alpha_{r,t}}{LDN} \quad (6)$$

Birim daralma oranı kullanılarak, LDN ile tam kuru hal arasındaki rutubet değişimleri (ΔM) sonucu oluşacak boyutsal değişiklikler Formül 7'de verildiği gibi hesaplanabilir:

$$L'_{r,t,v} = L_{r,t,v} [1 - (k_{\beta,r,t,v} \cdot \Delta M)] \quad (7)$$

Benzer şekilde tam kuru hal ile LDN arasındaki rutubet değişimleri (ΔM) için genişleme ile oluşacak yeni ölçü, birim genişleme katsayısı kullanılarak Formül 8'deki şekilde hesaplanabilmektedir:

$$L'_{r,t,v} = L_{r,t,v} [1 + (k_{\alpha,r,t,v} \cdot \Delta M)] \quad (8)$$

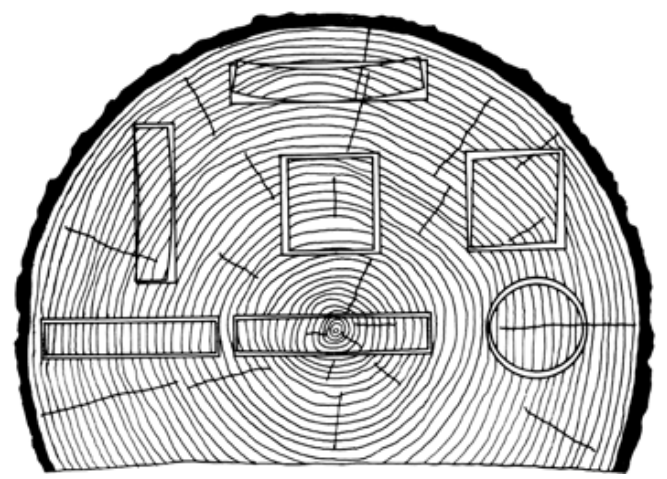
Daha önce de ifade edildiği gibi ahşapta normal koşullarda boyuna (liflere paralel) yönde çalışma dikkate alınmayacak kadar küçük miktarlardadır. Bunun sebebi normal odunda hücre çeperinin S2 tabakasındaki mikrofibril düzenlenişidir. Hücre çeperinin en kalın tabakası olan ve fiziksel ve mekanik özelliklerde belirleyici olan S2 tabakasında mikrofibriller hücre boyuna eksenine 10°-20° arasında küçük bir açı ile paralel uzanırlar. Ancak, bütün ağaçlarda doğal bir oluşum olarak özden itibaren ilk 5 ila 20 yıllık halkada görülen genç odun ile ağaçların dikili halde iken dışardan etki eden kuvvetlere (yer çekimi, kar yükü, hakim rüzgarlar vb.) karşı korunmak için oluşturduğu reaksiyon odunu (basınç odunu, çekme odunu) oluşumları söz konusu olduğunda S2 tabakasındaki mikrofibril açısı artarak 45°'ye kadar çıkabilir. Bu durumda boyuna yöndeki çalışma miktarı da %2'lere kadar çıkabilmektedir.

Ahşapta çalışma anizotropik olduğu için çalışma ile yalnızca boyutsal ve hacimsel değişimler meydana gelmez. Özellikle teğet yönde radyal yönden yaklaşık iki kat daha fazla oranda meydana gelen daralmadan dolayı daralma ile birlikte çarpılma ve çatlama da meydana gelmektedir. Bu sebeple teğet daralmanın radyal daralmaya oranı (β_t/β_r) ahşapta stabilite bakımından önemli bir göstergedir. Bu değer küçüldükçe ahşap şekil değişimleri bakımından daha stabil olacaktır. Ahşapta kuruma sonucu şekil değişimleri üzerine, kerestenin tomruktan alındığı yere göre oluşan enine kesitte yıllık halkaların pozisyonu da büyük bir etkiye sahiptir. Şekil 8 tomruğun farklı yerlerinden ve farklı kesit şekillerinde biçilen kerestelerin kuruma sonucunda şekil değişimlerini göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi freze olarak tabir edilen yıllık

halkaların yüzeylere dik olarak çıktığı kerestelerde kuruma ile boyutlar değişse bile kesit şeklinde bir değişiklik meydana gelmemektedir. Kerestelerde kuruma ile en aşırı çarpılmalar, reaksiyon odunu ve genç odun oluşumu normal odun ile birlikte bulunduğu durumlarda ortaya çıkmaktadır. Bu duruma normal odun ile genç odun ya da reaksiyon odunu arasındaki boyuna yönde çalışma bakımından ortaya çıkan büyük farklılık neden olmaktadır.

Şekil 8

Tomruktan biçildiği pozisyona göre kerestelerde kuruma ile oluşan durum



Açıklama notu. Berkel, A., 1970. Ağaç Malzeme Teknolojisi Ders Kitabı, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No. 1448/147, İstanbul, 593s kaynağından alınmıştır.

Ahşapta çalışma miktarı üzerine birçok faktör etkili olabilmektedir. Ağaç türleri arasında oluşan farklarda ekstraktif madde içeriği ve bağlantılı olarak LDN arasındaki farklar önemli rol oynamaktadır. Bunun yanı sıra yoğunluğun artması çalışmanın da artması ile sonuçlanmaktadır. Malzemenin boyutları ve şekli de önemli olmaktadır (Bozkurt ve Göker, 1987; Glass ve Zelinka, 2010)

Ahşapta rutubet alış verişi sonucu boyutsal ve hacimsel değişiklikler, çatlama ve çarpılmalar ahşap mühendisliği bakımından önemli bir sorun teşkil etmektedir. Pratik olarak ahşabın çalışmasını önlemek mümkün değildir. Bununla birlikte sınırlandırmak mümkündür. Ahşabın kullanım yerindeki rutubet salınımı ne kadar sınırlandırılabilirse çalışma kaynaklı problemler de o kadar azaltılmış olacaktır. Bu sebeple çalışmaya karşı alınabilecek en önemli tedbir ahşabın kullanım yerinde maruz kalacağı sıcaklık, bağıl nem, su ile temas vb. koşullar dikkate alınarak uygun bir rutubet derecesine kadar kontrollü bir şekilde teknik kurutma ile kurutulmasıdır. Böylece kullanım yerinde ahşap içerisindeki rutubet değişimleri asgari düzeye indirileceğinden boyutsal ve hacimsel değişimler ve bağlı olarak çarpılma, çatlama gibi problemler büyük oranda ortadan kaldırılmış olacaktır. Tablo 4, bazı kullanım alanlarında ahşapta olması gereken rutubet miktarlarını göstermektedir (Kantay, 1993).

Ahşapta rutubet alışverişini sınırlandırarak çalışma kaynaklı problemleri en aza indirmek için, hidrofobik maddelere daldırma (parafin, PEG), kimyasal muamele (asetillendirme, fenollendirme), yüksek sıcaklıkla muamele (ısıtılma işlem) gibi farklı uygulamalar da söz konusudur.

Tablo 4

Bazı kullanım alanlarında ahşapta olması gereken rutubet miktarları

Kullanım Yeri	Rutubet Miktarı (%)
Kreozot ile empenye edilecek malzeme (direkler, traversler)	25
Karkas yapılar ve açıkta kullanılan ağaç malzeme	16-22
Fıçı tahtaları	17-20
Taşıt araçları, uçaklar, gemi güverteleri	15-16
Spor aletleri, açıkta kullanılan aletler, bahçe mobilyası	12-16
Dış pencere doğramaları, kapılar	12-16
Soba ile ısıtılan yerler için mobilya	12-15
Kaloriferlerle devamlı ısıtılan yerler için mobilya	6-10
Yer döşemeleri, parkeler	6-8
Radio, televizyon, müzik seti yapımı	6-8
Kaplama levha ve kontrplak	6-8
Yongalevha	7-8
Liflevha	5-7

Açıklama notu. Kantay, R., 1993. Kereste Kurutma ve Buharlama. Ormancılık Eğitim ve Kültür Vakfı, Yayın No: 6 kaynağından uyarlanmıştır.

Ahşabın Birim Hacim Ağırlığı, Yoğunluk

Bir malzemenin birim hacimdeki kitlesi olarak ifade edilen yoğunluk değeri malzeme karakterizasyonu bakımından son derece önemli bir göstergedir. Ahşap insanlık tarihi boyunca önemli bir mühendislik malzemesi olmuştur. Özellikle mukavemet değerlerinin önem kazandığı yapısal maksatlı kullanımlarda yoğunluk değeri büyük önem kazanmaktadır. Ahşabın bir mühendislik malzemesi olarak en büyük avantajı düşük olan yoğunluğuna kıyasla yüksek elastikiyet modülü ve mukavemet değerlerine sahip olmasıdır. Ahşabın bu avantajı diğer mühendislik malzemeleri ile karşılaştırıldığında çok net olarak ortaya çıkmaktadır. Ahşapta ortalama yoğunluk değeri 600 kg/m^3 ve liflere paralel çekme direnci kabaca 200 N/mm^2 kabul edilirse çekme direnci/yoğunluk oranı 0,33 olarak bulunacaktır. Aynı değer örneğin yapısal çelikte (7800 kg/m^3) en fazla 0,13, alüminyumda (2700 kg/m^3) 0,11 ve betonda (2300 kg/m^3) basınçta 0,05 olarak hesaplanmaktadır.

Yoğunluk sadece ahşabın mekanik özellikleri bakımından önemli olmayıp, sertliği, aşınması, odun-su ilişkileri, ahşabın termik özellikleri ve ısı değeri, elektriksel özellikleri, akustik özellikleri, lif-selüloz verimi, kurutulması, işlenmesi, taşıma-montaj vb. bütün teknik özellikleri üzerinde belirleyici olan ya da etki eden bir niteliktir. Dolayısıyla yoğunluk ahşabın kalitesi ve herhangi bir amaç için kullanımı hakkında karar vermede belirleyici olan son derece önemli bir özelliktir.

Yoğunluk, Özgül Ağırlık ve Hacim Ağırlık

Yoğunluk bir maddenin birim hacimdeki kütlesi, ya da boşluktaki durumu (yerçekimi) göz ardı edildiğinde birim hacimdeki ağırlığı (g/cm^3 , kg/m^3) olarak (Formül 9) tarif edilmektedir:

$$D = \frac{m}{V} \text{ g/cm}^3 \quad (9)$$

Özgül ağırlık kavramı pratikte çoğunlukla yoğunluk ile aynı anlamda kullanılan bir terim olmakla birlikte teknik olarak yoğunluktan farklıdır bir kavramdır. Özgül ağırlık herhangi bir maddenin yoğunluğunun suyun +4 °C sıcaklıktaki yoğunluğuna oranlanması ile bulunan bir değerdir. Suyun +4 °C sıcaklıktaki yoğunluğu 1 gr/cm³'tür. Dolayısıyla değerinde bir değişiklik olmamakla birlikte rölatif bir değer olan özgül ağırlığın birimi yoktur.

Normal koşullarda belli bir hacimdeki ahşap içerisinde hücre çeper maddesi (selüloz, hemiselüloz ve lignin), su (bağlı su, serbest su) ve hava boşlukları bulunmaktadır. Belli bir hacimdeki hücre çeperinin ağırlığı her ağaç türünde hemen hemen aynı olduğundan ahşabın yoğunluğu hava boşluğu miktarı ve su miktarına bağlı bulunmaktadır. Ekstraktif maddeler de birim hacim ağırlığı üzerine etki etmekle birlikte yerli ağaç türlerimizin ekstraktif madde oranları düşük bulunmaktadır. Buna bir istisna olarak bazı durumlarda reçine içeriği yoğunluk üzerine belirgin etkiye sahip olabilmektedir. Tam kuru haldeki (%0 rutubet) ahşap yalnızca hücre çeperi ve hava boşluğundan ibaret olduğundan tam kuru yoğunluk değeri (D_0) ahşabın birim hacmindeki kuru odun kitlesini ifade eder ve odunun tam kuru haldeki ağırlığının (W_0) tam kuru haldeki hacmine (V_0) oranlanması (Formül 10) ile bulunur:

$$D_0 = \frac{W_0}{V_0} \text{ g/cm}^3 \quad (10)$$

Ahşapta tam kuru hal ancak 100 °C' nin üzerinde belli bir süre kurutulması ile oluşacak bir durum olduğundan, normal koşullar altında içerisinde her zaman belli bir miktar su bulunacaktır. Su miktarı birim hacimdeki ağırlığı artırmasının yanı sıra, LDN' ye kadar ahşabın hacmini de artırmaktadır. Dolayısıyla ahşabın yoğunluğu ifade edilirken ve karşılaştırma yapılabilmesi bakımından hangi rutubette olduğu mutlaka belirtilmelidir. Hava kurusu hal olarak ifade edilen %12 rutubet derecesi teknik bakımdan önemli olup bu rutubetteki yoğunluk (D_{12}) değeri de hava kurusu haldeki ağırlığın (W_{12}), yine hava kurusu haldeki hacme (V_{12}) oranlanması (Formül 11) ile bulunmaktadır:

$$D_{12} = \frac{W_{12}}{V_{12}} \text{ g/cm}^3 \quad (11)$$

Rutubetli ahşapta yoğunluk değeri ahşabın bulunduğu rutubeteki ağırlığının hacmine oranlanması ile bulunduğu, birim hacimdeki ağırlık hücre çeper maddesi ve su muhtevasının ağırlığının toplamını ifade etmektedir. Ahşapta teknik olarak birçok durumda, rutubetli halde belli bir hacimdeki ahşabın içerisindeki tam kuru çeper maddesi miktarının bilinmesi daha anlamlıdır. Hacim ağırlık değeri (R) ahşabın taze haldeki (LDN üstü) birim hacminde ne kadar odun kitlesi bulunduğunu gösteren bir değer olup özellikle lif ve selüloz verimi ve ısı değeri bakımından önemli bir göstergedir. Ahşabın tam kuru haldeki ağırlığının (W_0) taze haldeki hacmine (V_T) oranlanması (Formül 12) ile bulunur:

$$R = \frac{W_0}{V_T} \text{ g/cm}^3 \quad (12)$$

Ahşapta yoğunluk değeri küçük kusursuz örneklerde TS ISO 13061-2 standardında verilen yöntemle göre bulunmaktadır. Bu standarda göre kesit ölçüleri ve lif yönünde uzunluğu 20 mm'den az olmayacak prizmatik örnekler hazırlanmakta ve hazırlanan örnekler belli bir rutubet değerine (tam kuru, %12 vb.) getirildikten sonra ağırlık ve hacmi tespit edilerek yoğunluk değeri

hesaplanmaktadır. Eğer ahşap örneğin hacmi geometrik olarak hesaplanamıyorsa sıvılara daldırma, yüzdürme gibi metotlar ile örneğin hacmi ya da yoğunluğu tespit edilebilir. Ayrıca radyasyon metotları da (X-ray, β -ray, γ -ray) yoğunluğun tespitinde başarılı bir şekilde kullanılabilmektedir.

Ahşapta Yoğunluk Üzerine Etki Eden Faktörler

Ağaç Türü ve Porözite

Ahşabın yoğunluğu ağaç türlerine göre geniş bir aralıkta değişim

Tablo 5

Önemli ağaç türlerinin hava kurusu (%12) ve tam kuru halde ortalama yoğunluk değerleri

Ağaç Türü		Yoğunluk (g/cm ³)	
		Hava Kurusu	Tam Kuru
İğne Yapraklı Ağaç Türleri	Sarıçam (Pinus sylvestris L.)	0.53	0.50
	Karaçam (Pinus nigra Arnold.)	0.59	0.54
	Kızılçam (Pinus brutia Ten.)	0.57	0.53
	Sedir (Cedrus libani A. Rich.)	0.52	0.48
	Uludağ Göknarı (Abies bormülleriana Mattf.)	0.43	0.40
	Doğu Ladini (Picea orientalis (L) Link.)	0.43	0.40
	Fıstıkçamı (Pinus pinea L.)	0.51	0.48
	Boylu Ardıç (Juniperus excelsa Bieb.)	0.55	0.51
	Kokulu Ardıç (Juniperus foetidissima Willd.)	0.52	0.47
	Porsuk (Taxus baccata L.)	-	-
	Servi (Cupressus semp. var. pyramidalis)	0.53	0.48
	Duglas Göknarı (Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco)	0.44	0.41
	Sahil çamı (Pinus pinaster Ait.)	0.47	0.43
	Monteri çamı (Pinus radiata D. Don.)	0.43	0.38
Geniş Yapraklı Ağaç Türleri	Meşe (Quercus robur L.)	0.69	0.65
	Kayın (Fagus orientalis Lipsky.)	0.66	0.64
	Gürgen (Carpinus betulus L.)	0.83	0.79
	Kızılağaç (Alnus glutinosa (L.) Gaertn.)	0.53	0.49
	Akçaağaç (Acer platanoides L.)	0.66	0.62
	Dişbudak (Fraxinus excelsior L.)	0.69	0.65
	Anadolu Kestanesi (Castanea sativa Mill.)	0.63	0.59
	Çınar (Platanus orientalis L.)	0.63	0.58
	Huş (Betula sp. L.)	-	-
	İhlamur (Tilia grandifolia Moench.)	0.53	0.49
	Siğla (Liquidambar orientalis Mill.)	0.72	0.68
	Kavak (Populus nigra L.)	0.45	0.41
	Okaliptus (Eucalyptus camaldulensis Dehn.)	0.65	0.62
	Pavlonya (Paulownia elengota)	0.28	0.23

Açıklama notu. Bozkurt, A.Y., Göker, Y., 1987. Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No. 3445, O.F. Yayın No. 388, ISBN 975-404-010-9 kaynağından uyarlanmıştır.

göstermektedir. Ülkemizde yetişen ağaç türleri bakımından en düşük tam kuru yoğunluk değeri Gökmar (Abies spp.) ve Kavakta (Populus spp.) 390 kg/m³ ile en yüksek tam kuru yoğunluk değeri Şimşirde (Buxus spp.) 920 kg/m³ arasında değişmektedir. Dünyada ticareti yapılan bütün ağaç türleri göz önüne alındığında ise tam kuru yoğunluk değeri en düşük 130 kg/m³ ile Balsada (Ochroma logopus) ve en yüksek 1200 kg/m³ ile Pelesenk (Guajacum officinale) ağacında tespit edilmiştir (Bozkurt ve Göker, 1987). Tablo 5 önemli ağaç türlerinin hava kuru (%12) ve tam kuru halde rutubet derecesinde ortalama yoğunluk değerlerini göstermektedir.

Ahşapta hücre çeperinin temel bileşenleri olan selüloz, hemiselüloz ve ligninin yoğunluk değerleri bütün ağaç türlerinde aynıdır. Bu bileşenlerin hücre çeperinde bulunış oranları ağaç türleri arasında farklılıklar göstermekle birlikte bütün ağaç türlerinde holoselüloz (selüloz+hemiselüloz) %60-83 ve lignin %17-40 arasında değişmektedir (Bozkurt ve Göker, 1987). Holoselülozun ortalama yoğunluğu 1,6 g/cm³ ve ligninin ortalama yoğunluğu 1,4 g/cm³ kabul edildiğinde bunlardan oluşan hücre çeperinin yoğunluğu 1,52 g/cm³ ile 1,57 g/cm³ arasında hesaplanmaktadır. Böylece pratikte hücre çeperinin yoğunluğu 1,5 g/cm³ olarak kabul edilmektedir (Bozkurt ve Göker, 1987).

Belli bir hacimdeki ahşap tam kuru halde iken odun kitlesini oluşturan hücre çeperi maddesi, ağaç türüne göre küçük miktarlarda ekstraktif maddeler ve hava boşluğundan oluşmaktadır. Ekstraktif madde içeriğinin yoğunluk üzerine etkisi çoğu zaman ihmal edilebilir düzeyde olmakla birlikte bazı ağaç türlerinde ekstraktif madde oranı yüksek olabilmekte ve ağırlığı artırmak suretiyle yoğunluğa önemli miktarda etki edebilmektedir.

Ekstraktif madde içeriği göz ardı edildiğinde tam kuru halde belli bir hacimdeki ahşap hücre çeper maddesi ve hava boşluklarından ibaret olacaktır. Böylece bütün ağaç türlerinde hücre çeperi yoğunluğu hemen hemen aynı iken ağaç türleri arasında yoğunluk değerleri arasında büyük farklılıklar olmasının nedeni hava boşluğu oranındaki (porözite) değişimlerden kaynaklanmaktadır.

Ahşapta toplam hacim içerisindeki hava boşluğu hacmi oranı (Porözite, P) aşağıdaki (Formül 13) şekilde hesaplanabilir:

$$P = 1 - K = 1 - \frac{D_0}{D_c} = 1 - 0,667D_0 \quad (13)$$

Burada K tam kuru ahşapta toplam hacim içerisindeki hücre çeperi hacmi oranıdır. D_0 ahşabın tam kuru yoğunluk değerini, D_c ise hücre çeperi yoğunluğunu (1,5 g/cm³) ifade etmektedir. Buna göre örneğin ortalama tam kuru yoğunluğu 0,13 g/cm³ olan Balsada boşluk hacmi oranı yaklaşık %91, ortalama tam kuru yoğunluğu 1,2 g/cm³ olan pelesenkte ise yaklaşık %20 olarak bulunacaktır.

Rutubet İçeriğinin Etkisi

Belli bir hacimdeki ahşabın bünyesinde bulunan su ahşabın yalnızca ağırlığı artırmamakta, bağlı su aynı zamanda hacmini de artırmaktadır. Dolayısıyla rutubet miktarının yoğunluk üzerine etkisini ortaya koyabilmek için hem ağırlık hem de hacim üzerine etkisi dikkate alınmalıdır.

Ahşapta rutubet miktarının ağırlık üzerine etkisi aşağıdaki şekilde bulunabilir:

$$W_M = W_0(1 + M) \quad (14)$$

Burada W_M rutubetli ahşabın ağırlığını, W_0 tam kuru haldeki ahşabın ağırlığını, M ise rutubet miktarını ifade etmektedir.

LDN altında rutubetin hacim üzerine etkisi ise aşağıdaki (Formül 15) gibi hesaplanabilir:

$$V_M = V_0(1 + \alpha_{V,M}) \quad (15)$$

Burada $\alpha_{V,M}$, M rutubetinde meydana gelecek hacimsel genişleme oranıdır (%). Böylece tam kuru yoğunluğunu bildiğimiz bir ağaç türünün herhangi bir rutubetteki yoğunluğu aşağıdaki Formül 16 ile hesaplanabilmektedir:

$$D_M = \frac{W_M}{V_M} = D_0 \frac{(1+M)}{(1+\alpha_{V,M})} \quad (16)$$

Ahşapta tam kuru hal ile LDN arasında nem aldığındaki hacimsel genişleme meydana gelmektedir. Yoğunluğu hesaplanacak ahşap taze halde ise $\alpha_{V,M}$ [8] numaralı eşitlikte $\alpha_{V,M}$ maksimum hacimsel genişlemeye (α_V) eşit olacaktır. LDN altındaki herhangi bir rutubet için ise $\alpha_{V,M}$ aşağıdaki (Formül 17) gibi hesaplanabilir:

$$\alpha_{V,M} = k_{\alpha V} \cdot M \quad (17)$$

Burada verilen $k_{\alpha V}$ her bir %1 rutubet artışında meydana gelecek genişleme oranı olup birim hacim genişleme katsayısı olarak adlandırılabilir. Daha önce açıklandığı gibi, ahşapta daralma ve genişleme tam olarak doğrusal olmamakla birlikte pratikte kabul edilebilir hata payları ile doğrusal olarak kabul edilebilir. Böylece;

$$k_{\alpha V} = \frac{\alpha_V (\%) }{LDN (\%)}$$

yazılabilir. LDN bütün ağaç türleri için ortalama %28 kabul edilirse ve α_V ile tam kuru yoğunluk ve lif doygunluğu noktası arasında bilinen ($\alpha_V = D_0 \cdot LDN$) ilişkisi yerine konursa $k_{\alpha V}$ aşağıdaki gibi bulunur:

$$k_{\alpha V} = \frac{28D_0}{28} = D_0$$

Böylece [8] numaralı eşitlik aşağıdaki (Formül 18) gibi yazılabilir:

$$D_M = D_0 \frac{(1+M)}{[1+(D_0M)]} \quad (18)$$

Yukarıda verilen [10] numaralı eşitlik ile tam kuru yoğunluğu bilinen bir ağaç türünün herhangi bir rutubetteki yoğunluğu pratik amaçlar için kabul edilebilir bir yaklaşımla hesaplanabilmektedir.

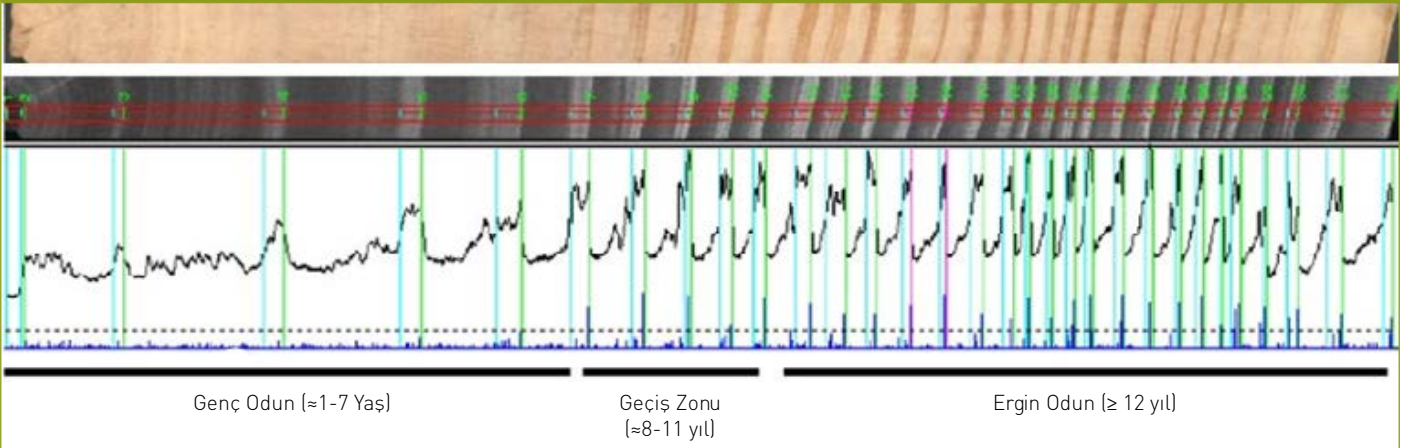
Ağaç Yaşının Yoğunluk Üzerine Etkisi

Ağacın yaşı bir ağaç gövdesinden elde edilecek ahşabın yoğunluğunu etkileyen bir başka faktördür. Bütün ağaç türlerinde gençlik yıllarında oluşan ve özden itibaren ilk oluşan 5 ila 20 yıllık halkayı ihtiva eden ve genç odun olarak adlandırılan bir oluşum söz konusudur. Ağacın dip kısımları erginlik yaşına ulaşsa bile tepe kısımları hala gençlik evresinde olacağından genç odun oluşumu ağacın hayatı boyunca devam etmektedir.

İğne yapraklı ağaç türlerinde genç odunda yıllık halkalar gövde enine kesitinin dış kısımlarındaki daha yaşlı odun dokusuna göre

Şekil 9

İğne yapraklı ağaç odununda özden çevreye doğru genç odun ve ergin odunda odun yoğunluğunun değişimi



Açıklama notu. Xinguo Li, Harry X Wu, Shannon K Dillon and Simon G Southerton, 2009. Generation and analysis of expressed sequence tags from six developing xylem libraries in *Pinus radiata* D. Don, BMC Genomics 2009, 10:41 kaynağından uyarlanmıştır.

belirgin şekilde daha geniş bulunmakta ve yıllık halka içerisindeki yaz odunu katılım oranı da düşük bulunmaktadır. İnce çeperli ilkbahar odunu traheidleri nedeniyle genç odunda yoğunluk değeri ergin oduna göre daha düşüktür. Kabuğa doğru gidildikçe ortalama odun yoğunluğu değeri tedrici olarak artmaktadır (Şekil 9). Buna karşın halkalı traheli geniş yapraklı ağaçlarda (meşe, kestane vb.) öze yakın yıllık halkalarda oluşan odun daha ağır teşekkül etmektedir. Dağınık traheli geniş yapraklı ağaçlarda ise özden çevreye doğru odun yoğunluğunda dikkate değer bir değişim görülmemektedir (Brown vd., 1952; Hygreen ve Bowyer, 1996).

Ağaç yaşı ile yoğunluk arasındaki ilişki ele alınırken bir sonraki başlıkta ele alınacağı üzere, ağacın büyüme koşullarına bağlı olarak oluşan yıllık halka genişliği, yaz odunu-ilkbahar odunu oranları, öz odun-diri odun farklılıkları gibi faktörler göz ardı edilmemelidir.

Yetiştirme Ortamı, Yıllık Halka Genişliği, Yaz Odunu Katılım Oranı

Ağacın yetiştiği yerin coğrafi konumu, iklim ve yağış durumu, toprak özellikleri, yükseltisi, bakışı vb. coğrafik, edafik ve iklimik faktörler ile meşcere yapısı, ağaçların rekabet koşulları (sıklık, kapallık vb.) ve bu rekabete etki eden silvikültürel faaliyetler bir bütün olarak ağacın büyümesini, bir vejetasyon dönemi içerisinde oluşturacağı yıllık halka yapısını ve genişliğini, etkilemektedir.

Ülkemiz gibi ılıman iklim kuşaklarındaki ağaçlarda bir yıllık halka içerisinde ilkbahar odunu ve yaz odunu ismi verilen iki farklı odun

tabakası oluşmaktadır. Bu iki farklı odun tabakası arasındaki sınır iğne yapraklı ağaçlarda ve halkalı traheli geniş yapraklı ağaçlarda kolayca ayırt edilebilirken, dağınık traheli geniş yapraklı ağaçlarda iki tabaka arasında geçiş tedrici olduğundan sınırlarını ayırt etmek güçleşmektedir (Şekil 10).

İğne yapraklı ağaç odununda (solda), halkalı traheli geniş yapraklı ağaç odununda (ortada) ve dağınık traheli geniş yapraklı ağaç odununda makroskobik görünüm.

İlkbahar odunu hücrelerinde çeperler ince ve lümenler geniş iken yaz odunundaki hücrelerin çeperleri kalın ve lümenleri dardır. Böylece yaz odunu tabakasında daha ağır bir odun oluşurken ilkbahar odununda daha hafif bir odun oluşmaktadır. Bir yıllık halka içerisindeki yaz odunu katılım oranının artması ahşabın yoğunluğunda da artışa neden olmaktadır.

Yukarıda özetlenen yetiştirme ortamı faktörleri ve meşcere yapısı ağacın büyüme hızını ve yıllık halka genişliğini etkilerken aynı zamanda yıllık halka içerisindeki ilkbahar odunu ve yaz odunu tabakalarının genişliklerini de etkilemektedir. Genel kaniya göre iğne yapraklı ağaçlarda yıllık halkalar genişledikçe yaz odunu katılım oranı düşmektedir (Hygreen ve Bowyer, 1996). Bununla birlikte bu yaygın kaniya iğne yapraklı ağaçlarda öze yakın geniş yıllık halkalar ile karakterize edilen ve yoğunluğu ergin oduna göre düşük olan genç odun oluşumunun neden olduğu yönünde de görüşler bulunmaktadır. Eğer sadece ergin odun kısmında yıllık halka genişliği yaz odunu genişliği karşılaştırması yapılırsa geniş yıllık halkalarda da yaz odunu katılım oranının yüksek olabileceği ifade edilmektedir. Halkalı traheli geniş yapraklı ağaçlarda yıllık halkalar genişledikçe yaz odunu katılım oranının artmasına bağlı olarak odun yoğunluğunun da arttığı tespit edilmiştir. Dağınık traheli geniş yapraklı ağaçlarda ise yıllık halka genişliği ile odun yoğunluğu arasında belirgin bir ilişki tespit edilmemiştir.

Yoğunluğu Etkileyen Diğer Faktörler

Ağaçların yetiştiği yerde dışarıdan etki eden yer çekimi, hâkim rüzgâr, kar yükü gibi kuvvetlere karşı bir korunma mekanizması olarak oluşturduğu reaksiyon odunu oluşumu da odun yoğunluğunu

Şekil 10

İğne yapraklı ağaç odununda (solda), halkalı traheli geniş yapraklı ağaç odununda (ortada) ve dağınık traheli geniş yapraklı ağaç odununda makroskobik görünüm.



etkilemektedir. İğne yapraklı ağaçlarda basınç odununda odun yoğunluğu normal oduna göre %30'a varan oranlarda daha yüksek olabilmektedir. Geniş yapraklı ağaçlarda görülen çekme odununda da odun yoğunluğu normal odundan az da olsa daha yüksek olmaktadır.

Ağaç gövdesinde öz odun ve diri odun kısımlarında da yoğunluk farklılık göstermektedir. Ekstraktif madde miktarı özodunda daha fazla olduğundan öz odun yoğunluğu diri odundan yüksek olmaktadır.

Isıl (Termal) Özellikler

Ahşabın ısı özellikleri ahşabın kurutulmasında, buharlanmasında, kuru destilasyonunda, çeşitli amaçlar için preslenmesinde, yüksek frekansla ısıtılmasında, aynı zamanda yapısal maksatlı kullanımlarda ısı izolasyonunda büyük önem kazanmaktadır. Ahşabın önemli ısı özellikleri ısı iletkenlik katsayısı, özgül ısı (ısı kapasitesi), ısı dağılım faktörü ve termal genleşmesi olarak sayılabilir.

Isı İletkenliği Katsayısı

Bir ağaç malzemeye yeknesak bir oranda ısı verildiğinde, kaybedilen ısı miktarı ile malzemeye verilen ısı miktarının eşit olduğu duruma kararlı durum denilmektedir. Kararlı durumda aralarında belli bir sıcaklık farkı bulunan iki yüzey arasında oluşan sabit sıcaklık meylini devam ettirmek için malzemeye verilmesi gereken ısı enerjisi miktarı Q aşağıdaki Formül 19 ile hesaplanır;

$$Q = \lambda \frac{Az\Delta t}{d} \text{ cal} \quad (19)$$

Burada; A ısı akışına dik olan yüzey alanını, z zamanı, Δt yüzeyler arasındaki sıcaklık farkını ($t_2 - t_1$), d malzeme kalınlığını ifade etmektedir. λ ise malzemenin ısı iletkenlik katsayısı olup aralarında 1 cm açıklık bulunan ve sıcaklık farkı 1°C olan karşılıklı paralel iki yüzeye sahip ağaç malzemede 1 cm² alandan 1 saniyede geçen ısı miktarını (Formül 20) göstermektedir:

$$\lambda = \frac{Qd}{Az\Delta t} \frac{\text{cal}}{\text{cm.s.}^\circ\text{C}} \quad (20)$$

Genel olarak ahşapta ısı iletkenlik katsayısı oldukça düşüktür. Ahşabın boşluklu (poröz) bir yapıda olması ve ısı transferini sağlayan serbest elektronlar bakımından fakir olması ısıyı oldukça kötü iletmesine neden olmaktadır. Tablo 6 ahşabın ısı iletkenlik katsayısı ile diğer bazı yapı malzemelerinin ısı iletkenlik katsayılarını göstermektedir (Bozkurt ve Göker, 1987). Tablo 7 ise çeşitli ağaç türlerinde liflere paralel ve liflere dik yönde ısı iletkenlik katsayılarını vermektedir (Glass ve Zelinka, 2010).

Ahşabın ısıyı kötü iletmiyor olması birçok durumda ahşaba önemli avantajlar sağlamaktadır. Her şeyden önce yapısal kullanımda ısı izolasyonu, enerji verimliliği ve karbon emisyonu bakımından son derece arzu edilen bir özelliktir. Ayrıca binalarda yangın durumunda ahşap kolay tutuşmasına rağmen tutuştuktan sonra

yüzeylerde oluşan kömürleşme ile birlikte ısıнын ve alevin iç kısımlara ulaşması zorlaşmaktadır. Özellikle yeterli kesit ölçüsüne sahip yapısal ahşaplarda yangın güvenliği açısından tatminkâr sonuçlar elde edilebilir. Binanın bir bölümünde süren yangının ısıнын bitişikteki bölümlere transferini de önlemektedir. Ayrıca ahşabın ısıyı kötü iletmesi onun ısıya maruz kalan yerlerde çeşitli el aletleri, alet sapları vb. amaçlarla kullanılmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte bazı durumlarda da ahşabın ısıyı kötü iletmesi dezavantaj oluşturur. Ahşabın kurutulması, buharlanması, ahşap esaslı kompozitlerin üretiminde sıcaklık altında preslenmesi vb. uygulamalarda ısıнын ahşap ya da ahşap esaslı malzemelerin iç kısımlarına hızlı bir şekilde transferinin arzu edildiği durumlarda bir dezavantaj söz konusudur. Bu dezavantajı bertaraf etmek için bu gibi durumlarda yüksek frekans ile ısıtma seçeneği gündeme gelmektedir.

Tablo 6

Ahşabın ısı iletkenlik katsayısı ile diğer bazı yapı malzemelerinin ısı iletkenlik katsayıları

Malzeme	λ (cal/cm.s.°C)
Bakır	0.92
Alüminyum	0.49
Çelik	0.12
Beton	0.002
Tuğla	0.0015
Cam	0.002
Buz	0.001
Mantar	0.0001
Ahşap	0.0003-0.0001
Hava	0.000057
Yün	0.000085

Açıklama notu. Bozkurt, A.Y., Göker, Y., 1987. Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No. 3445, O.F. Yayın No. 388, ISBN 975-404-010-9 kaynağından uyarlanmıştır.

Ahşapta ısı iletkenlik katsayısı liflere paralel yönde liflere dik yönden 1,5 ila 2,8 kat daha fazladır (Glass ve Zelinka, 2010). Çünkü liflere dik yönde lümen boşlukları nedeni ile daha az ısı köprüleri oluşmaktadır. Ahşapta radyal yöndeki ısı iletkenliği teğet yönden bir miktar daha fazladır. Ahşabın yoğunluğu yükseldikçe ve ekstraktif madde içeriği arttıkça ısı iletkenliği de artmaktadır. Benzer şekilde rutubet içeriğindeki artış ta ısı iletkenlik katsayısının yükselmesine neden olmaktadır. Sıcaklığın artması da ısı iletkenlik katsayısında küçük miktarda da olsa artış meydana getirmektedir.

Isıl direnç basitçe ısı iletkenliğinin tersidir ($1/\lambda$). Yapı malzemeleri, ısı yalıtımı bakımından ısıl direncin malzemenin kalınlığı ile çarpılması ile bulunan "R" değeri ile karakterize edilirler.

Tablo 7

Çeşitli ağaç türlerinde liflere paralel ve liflere dik yönde ısı iletkenlik katsayıları

			İletkenlik (W m ⁻¹ K ⁻¹ (Btu in. h ⁻¹ ft ⁻² °F ⁻¹))	Direnç (K m W ⁻¹ (h ft ² °F Btu ⁻¹ in. ⁻¹))		
Ağaç Türü		Özgül ağırlık	Tam kuru	%12 Hava kuru	Tam kuru	%12 Hava kuru
Dişbudak	(Fraxinus nigra)	0.53	0.12 (0.84)	0.15 (1.0)	8.2 (1.2)	6.8 (0.98)
	(Fraxinus americana)	0.63	0.14 (0.98)	0.17 (1.2)	7.1 (1.0)	5.8 (0.84)
Titrek kavak	(Populus grandidentata)	0.41	0.10 (0.68)	0.12 (0.82)	10 (1.5)	8.5 (1.2)
	(Populus tremuloides)	0.40	0.10 (0.67)	0.12 (0.80)	10 (1.5)	8.6 (1.2)
Ihlamur (Tilia americana)		0.38	0.092 (0.64)	0.11 (0.77)	11 (1.6)	9.0 (1.3)
Kayın (Fagus grandifolia)		0.68	0.15 (1.0)	0.18 (1.3)	6.6 (0.96)	5.4 (0.78)
Huş	(Betula lenta)	0.71	0.16 (1.1)	0.19 (1.3)	6.4 (0.92)	5.2 (0.76)
	(Betula alleghaniensis)	0.66	0.15 (1.0)	0.18 (1.2)	6.8 (0.98)	5.6 (0.81)
Kiraz (Prunus serotina)		0.53	0.12 (0.84)	0.15 (1.0)	8.2 (1.2)	6.8 (0.98)
Kestane (Castanea dentata)		0.45	0.11 (0.73)	0.13 (0.89)	9.4 (1.4)	7.8 (1.1)
Kavak	(Populus trichocarpa)	0.35	0.087 (0.60)	0.10 (0.72)	12 (1.7)	9.6 (1.4)
	(Populus deltoides)	0.43	0.10 (0.71)	0.12 (0.85)	9.8 (1.4)	8.1 (1.2)
Karaağaç	(Ulmus americana)	0.54	0.12 (0.86)	0.15 (1.0)	8.1 (1.2)	6.7 (0.96)
	(Ulmus thomasi)	0.67	0.15 (1.0)	0.18 (1.3)	6.7 (0.97)	5.5 (0.80)
	(Ulmus rubra)	0.56	0.13 (0.88)	0.15 (1.1)	7.9 (1.1)	6.5 (0.93)
Yaban mersini (Vaccinium myrtillus)		0.57	0.13 (0.90)	0.16 (1.1)	7.7 (1.1)	6.4 (0.92)
Hikori (Carya illinoensis)		0.69	0.15 (1.1)	0.19 (1.3)	6.6 (0.95)	5.4 (0.77)
Hikori	(Carya tomentosa)	0.78	0.17 (1.2)	0.21 (1.4)	5.9 (0.85)	4.8 (0.69)
	(Carya ovata)	0.77	0.17 (1.2)	0.21 (1.4)	5.9 (0.86)	4.9 (0.70)
Manolya (Magnolia grandiflora)		0.52	0.12 (0.83)	0.14 (1.0)	8.4 (1.2)	6.9 (1.0)
Akçaağaç	(Acer nigrum)	0.60	0.14 (0.94)	0.16 (1.1)	7.4 (1.1)	6.1 (0.88)
	(Acer rubrum)	0.56	0.13 (0.88)	0.15 (1.1)	7.9 (1.1)	6.5 (0.93)
	(Acer saccharinum)	0.50	0.12 (0.80)	0.14 (0.97)	8.6 (1.2)	7.1 (1.0)
	(Acer saccharum)	0.66	0.15 (1.0)	0.18 (1.2)	6.8 (0.98)	5.6 (0.81)
Kırmızı Meşe	(Quercus velutina)	0.66	0.15 (1.0)	0.18 (1.2)	6.8 (0.98)	5.6 (0.81)
	(Quercus rubra)	0.65	0.14 (1.0)	0.18 (1.2)	6.9 (1.0)	5.7 (0.82)
	(Quercus falcata)	0.62	0.14 (0.96)	0.17 (1.2)	7.2 (1.0)	5.9 (0.85)
Ak Meşe	(Quercus macrocarpa)	0.66	0.15 (1.0)	0.18 (1.2)	6.8 (0.98)	5.6 (0.81)
	(Quercus alba)	0.72	0.16 (1.1)	0.19 (1.3)	6.3 (0.91)	5.2 (0.75)
Siğla (Liquidambar styraciflua)		0.55	0.13 (0.87)	0.15 (1.1)	8.0 (1.2)	6.6 (0.95)
Çınar (Platanus occidentalis)		0.54	0.12 (0.86)	0.15 (1.0)	8.1 (1.2)	6.7 (0.96)
Tupelo	(Nyssa sylvatica)	0.54	0.12 (0.86)	0.15 (1.0)	8.1 (1.2)	6.7 (0.96)
	(Nyssa aquatica)	0.53	0.12 (0.84)	0.15 (1.0)	8.2 (1.2)	6.8 (0.98)
Lale ağacı (Liriodendron tulipifera)		0.46	0.11 (0.75)	0.13 (0.90)	9.3 (1.3)	7.7 (1.1)

Tablo 7*Çeşitli ağaç türlerinde liflere paralel ve liflere dik yönde ısı iletkenlik katsayıları (devamı)*

		Özgül ağırlık	İletkenlik (W m ⁻¹ K ⁻¹ (Btu in. h ⁻¹ ft ⁻² °F ⁻¹))		Direnc (K m W ⁻¹ (h ft ² °F Btu ⁻¹ in. -1))	
Ağaç Türü			Tam kuru	%12 Hava kurusu	Tam kuru	%12 Hava kurusu
Bataklık servisi (<i>Taxodium distichum</i>)		0.47	0.11 [0.76]	0.13 [0.92]	9.1 [1.3]	7.5 [1.1]
Sedir Ardıç Servi Mazı	Beyaz Sedir (<i>Chamaecyparis thyoides</i>)	0.34	0.085 [0.59]	0.10 [0.70]	12 [1.7]	9.9 [1.4]
	Ardıç (<i>Juniperus virginiana</i>)	0.48	0.11 [0.77]	0.14 [0.94]	8.9 [1.3]	7.4 [1.1]
	Batı mazısı (<i>Thuja occidentalis</i>)	0.31	0.079 [0.55]	0.094 [0.65]	13 [1.8]	11 [1.5]
	Yalancı servi (<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>)	0.43	0.10 [0.71]	0.12 [0.85]	9.8 [1.4]	8.1 [1.2]
	Boylu mazı (<i>Thuja plicata</i>)	0.33	0.083 [0.57]	0.10 [0.68]	12 [1.7]	10 [1.5]
	Nutka servisi (<i>Cupressus nootkatensis</i>)	0.46	0.11 [0.75]	0.13 [0.90]	9.3 [1.3]	7.7 [1.1]
Duglas göknarı	(<i>Pseudotsuga menziesii</i>)	0.51	0.12 [0.82]	0.14 [0.99]	8.5 [1.2]	7.0 [1.0]
Göknar	(<i>Abies balsamea</i>)	0.37	0.09 [0.63]	0.11 [0.75]	11 [1.6]	9.2 [1.3]
	(<i>Abies concolor</i>)	0.41	0.10 [0.68]	0.12 [0.82]	10 [1.5]	8.5 [1.2]
Tsuga	(<i>Tsuga canadensis</i>)	0.42	0.10 [0.69]	0.12 [0.84]	10 [1.4]	8.3 [1.2]
	(<i>Tsuga heterophylla</i>)	0.48	0.11 [0.77]	0.14 [0.94]	8.9 [1.3]	7.4 [1.1]
Melez	(<i>Larix occidentalis</i>)	0.56	0.13 [0.88]	0.15 [1.1]	7.9 [1.1]	6.5 [0.93]
Çam	(<i>Pinus strobus</i>)	0.37	0.09 [0.63]	0.11 [0.75]	11 [1.6]	9.2 [1.3]
	(<i>Pinus banksiana</i>)	0.45	0.11 [0.73]	0.13 [0.89]	9.4 [1.4]	7.8 [1.1]
	(<i>Pinus taeda</i>)	0.54	0.12 [0.86]	0.15 [1.0]	8.1 [1.2]	6.7 [0.96]
	(<i>Pinus contorta</i>)	0.43	0.10 [0.71]	0.12 [0.85]	9.8 [1.4]	8.1 [1.2]
	(<i>Pinus palustris</i>)	0.62	0.14 [0.96]	0.17 [1.2]	7.2 [1.0]	5.9 [0.85]
	(<i>Pinus rigida</i>)	0.53	0.12 [0.84]	0.15 [1.0]	8.2 [1.2]	6.8 [0.98]
	(<i>Pinus ponderosa</i>)	0.42	0.10 [0.69]	0.12 [0.84]	10 [1.4]	8.3 [1.2]
	(<i>Pinus resinosa</i>)	0.46	0.11 [0.75]	0.13 [0.90]	9.3 [1.3]	7.7 [1.1]
	(<i>Pinus echinata</i>)	0.54	0.12 [0.86]	0.15 [1.0]	8.1 [1.2]	6.7 [0.96]
	(<i>Pinus elliottii</i>)	0.61	0.14 [0.95]	0.17 [1.2]	7.3 [1.1]	6.0 [0.86]
	(<i>Pinus lambertiana</i>)	0.37	0.09 [0.63]	0.11 [0.75]	11 [1.6]	9.2 [1.3]
	(<i>Pinus monticola</i>)	0.40	0.10 [0.67]	0.12 [0.80]	10 [1.5]	8.6 [1.2]
Sekoya	(<i>Sequoiadendron spp.</i>)	0.41	0.10 [0.68]	0.12 [0.82]	10 [1.5]	8.5 [1.2]
Ladin	(<i>Picea mariana</i>)	0.43	0.10 [0.71]	0.12 [0.85]	9.8 [1.4]	8.1 [1.2]
	(<i>Picea engelmannii</i>)	0.37	0.09 [0.63]	0.11 [0.75]	11 [1.6]	9.2 [1.3]
	(<i>Picea rubens</i>)	0.42	0.10 [0.69]	0.12 [0.84]	10 [1.4]	8.3 [1.2]
	(<i>Picea sitchensis</i>)	0.42	0.10 [0.69]	0.12 [0.84]	10 [1.4]	8.3 [1.2]
	(<i>Picea glauca</i>)	0.37	0.09 [0.63]	0.11 [0.75]	11 [1.6]	9.2 [1.3]

*Bu tablodaki değerler yaklaşıktır ve dikkatle kullanılmalıdır; gerçek iletkenlikler %20'ye kadar değişebilir. Özgül ağırlıklar da tür ortalamalarını temsil etmez.

Açıklama notu. Glass, S.V., Zelinka, S.L., 2010. Moisture Relations and Physical Properties of Wood. Wood Handbook, Wood as an Engineering Material, Edited by Robert J. Ross, USDA Forest Service, FPL-GTR-190 kaynağından uyarlanmıştır.

Ahşabın Özgül Isısı

Belli bir ağırlıktaki (m) bir maddenin sıcaklığını t_1 °C' den t_2 °C' ye çıkarmak için gerekli olan ısı enerjisi miktarı aşağıdaki (Formül 21) gibi hesaplanmaktadır:

$$Q = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1) \text{ cal, Kcal} \quad (21)$$

burada c maddenin özgül ısıdır. Özgül ısı bir maddenin birim kütesinin sıcaklığını 1 °C artırmak için gerekli olan enerji miktarı olarak tanımlanmaktadır.

Ahşabın özgül ısı sıcaklık ve içerdiği rutubet miktarına göre değişmektedir. Bununla birlikte ağaç türü ve yoğunluğunun özgül ısı üzerine bir etkisi yoktur. Reçine içeriği ve ekstraktif maddeler de özgül ısıнын artmasına neden olmaktadır. Tam kuru ağaç malzemenin t derecedeki özgül ısı aşağıdaki (Formül 22) gibi hesaplanabilir;

$$c_0 = 0,226 + 0,00116t \quad (22)$$

Sıcaklık ile özgül ısı sıcaklık artışı ile doğrusal bir şekilde arttığından, ahşabın ısıtılmasında herhangi iki sıcaklık derecesi arasındaki özgül ısı değerini aşağıdaki (Formül 23) gibi hesaplamak mümkün olur;

$$c_0 = 0,226 + 0,00053(t_1 + t_2) \quad (23)$$

Daha önce ifade edildiği gibi ahşap içerisinde her zaman belli bir oranda su bulunmaktadır. Suyun özgül ısı ahşabinkinden farklı olduğu için rutubetli ahşapta da özgül ısı farklı olacaktır. LDN altında rutubetli ahşabın özgül ısı, tam kuru ahşabın özgül ısı ile suyun özgül ısının toplamı ve odun su bağlarındaki ilave enerjiyi hesaba katan ilave bir A_c düzeltme faktörü (Formül 24) ile hesaplanabilir:

$$c_M = \frac{(c_0 + c_w \frac{M}{100})}{(1 + \frac{M}{100})} + A_c \quad (24)$$

Burada verilen A_c faktörü aşağıdaki (Formül 25) gibi bulunmaktadır;

$$A_c = M(b_1 + b_2T + b_3M) \quad (25)$$

Sıcaklık Kelvin (K) için formüldeki; $b_1 = -0.06191$, $b_2 = 2,36 \cdot 10^{-4}$, $b_3 = -1,33 \cdot 10^{-4}$ olarak alınmaktadır. Bu formüller rutubetin LDN altında ve sıcaklık derecesinin 280 K (6 °C) ile 420 K (147 °C) arasında olması durumunda geçerlidir.

Isı Dağılım Faktörü

Isı dağılım faktörü bir materyalin etrafındaki ortamdan ısıyı ne kadar çabuk absorbe edebileceğinin bir göstergesidir. Isı dağılım faktörü ısı iletkenliği katsayısı (λ), özgül ısı (c) ve herhangi bir rutubetteki ahşap yoğunluğunun (D_M) bir fonksiyonu olarak aşağıdaki (Formül 26) eşitlikle hesaplanır;

$$a = \frac{\lambda}{cD_M} \text{ m}^2/\text{s} \quad (26)$$

Ahşapta ısı iletkenlik katsayısı oldukça düşük olduğundan ısı dağılım faktörü de diğer malzemelerden daha düşüktür. Bu sebeple ahşap dokunulduğunda sıcak ya da soğuk hissi vermediğinden

yapısal bakımdan avantajlı bir malzeme olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca yüksek ısıya maruz kalan kullanım yerlerinde de tercih edilmesine neden olmaktadır.

Isıl Genleşme Katsayısı

Bütün malzemeler ısındıklarında boyutlarında ve hacminde az ya da çok artış meydana gelir. Isıl genleşme katsayısı, sıcaklık değişimi ile ahşabın boyutlarında meydana gelen nispi değişimin bir ölçüsüdür. Bir çubuğun orijinal uzunluğu l_1 iken sıcaklıkta meydana gelen Δt kadar bir değişime bağlı olarak çubukta meydana gelen Δl uzama miktarı aşağıdaki (Formül 27) eşitlikle bulunur:

$$\Delta l = \alpha l_1 \Delta t \quad (27)$$

Burada α ısıl genleşme katsayısı olup 1 oC sıcaklık değişimine karşılık çubukta meydana gelen uzamayı ifade etmektedir. Böylece l_1 uzunluğundaki bir çubuğun sıcaklık artışı sonucu ulaşacağı uzunluğu l_2 , aşağıdaki (Formül 28) gibi hesaplanır:

$$l_2 = l_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (28)$$

Tablo 8 değişik malzemelerde ve ahşapta ısıl genleşme katsayılarını (Bozkurt ve Göker, 1987), Tablo 9 ise farklı ağaç türlerinin odunlarında ısıl genleşme katsayılarını göstermektedir (Bozkurt ve Göker, 1987).

Tablo 8

Değişik malzemelerde ve ahşapta ısıl genleşme katsayıları

Materyal	Termik Genleşme Katsayıları		
Demir	12×10-6		
Bakır	14×10-6		
Alüminyum	24×10-6		
Ahşap	Liflere Paralel	Liflere Dik	
		Radyal	Teğet
	3...11×10-6	15...35×10-6	24...75×10-6

Açıklama notu. Bozkurt, A.Y., Göker, Y., 1987. Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No. 3445, O.F. Yayın No. 388, ISBN 975-404-010-9 kaynağından uyarlanmıştır.

Rutubetli ahşapta sıcaklık arttığında rutubet miktarı azalacağından ve rutubet miktarı azaldığında özellikle liflere dik yönde boyutlarda önemli miktarlarda daralma meydana geleceğinden sıcaklık artışına bağlı bir genleşmeden söz etmek mümkün değildir. Benzer durum sıcaklık azalmasında da söz konusudur. Ancak tamamen kuru ahşapta sıcaklık artışına bağlı genleşme ya da tersi durumda büzüşme ortaya çıkmaktadır.

Tablo 8 ve 9 da görüldüğü gibi ısıl genleşme katsayısı liflere dik yönde liflere paralel yöne nazaran daha yüksektir. Teğet yönde de radyal yönden daha yüksek olduğu söylenebilir. Ahşapta liflere dik yönde ısıl genleşme katsayısı ile yoğunluk arasında doğrusal artan bir ilişki vardır. Buna karşın liflere paralel yönde ısıl genleşme katsayısı ile yoğunluk arasında bir ilişki yoktur.

Tablo 9

Farklı ağaç türlerinin odunlarında ısı genleşme katsayıları

Ağaç Türü	α ($\times 10^{-6}$)		$\frac{\alpha \perp}{\alpha \parallel}$
	Paralel	Dik	
Akçaağaç	6.38	48.4	7.6
Meşe	4.92	54.4	11.7
Dişbudak	11.00	45.8	4.2
Kestane	6.49	32.5	5.0
Kayın	2.57	61.4	23.5
İhlamur	5.46	44.4	8.1
Mahun	3.61	40.4	11.2
Ceviz	6.55	48.4	7.4
Kavak	3.85	36.5	9.5
Karaağaç	5.65	44.3	7.8
Ladin	5.41	34.1	6.3
Gökknar	3.71	58.4	15.8

Açıklama notu. Bozkurt, A.Y., Göker, Y., 1987. Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No. 3445, O.F. Yayın No. 388, ISBN 975-404-010-9 kaynağından uyarlanmıştır.

Elektriksel Özellikler

Normal koşullarda kuru ahşap yalıtkan olarak değerlendirilir. Ancak rutubet miktarının artması ile iletken hale gelmektedir. Dolayısıyla ahşapta elektrik iletkenliği büyük oranda içerdiği rutubet miktarına bağlı bulunmaktadır. Tam kuru halden lif doygunluğu noktasına kadar ahşabın elektrik iletkenliği 10^9 - 10^{12} kat yükselmektedir. Ahşapta rutubet miktarındaki küçük değişimler elektriksel dirençte büyük değişimler meydana getirdiğinden ahşapta rutubet miktarının belirlenmesi için elektrikli rutubet ölçerlerin kullanımı mümkün olmuştur. Ahşabın çeşitli amaçlar için ısıtılmasında da elektriksel özelliklerinden yararlanılmaktadır. Ahşap dielektrik bir malzeme olduğundan yüksek frekans ile kurutma, tutkal ya da yüzey işlemlerinin kirlenmesi mümkün olmaktadır.

Ahşabın elektriksel özellikleri doğru akım (DC) ve alternatif akım (AC) olmak üzere iki ana başlıkta incelenir.

Doğru Akım Özellikleri

Elektronların bir iletkenin atomları arasından geçerken meydana gelen zorluğa iletkenin direnci denilmektedir. Ohm kanununa göre bir iletkenin uçları arasındaki potansiyel farkı ile bu iletkeni geçen akımın şiddeti arasındaki oran sabittir. Bu sabit orana (Formül 29) iletkenin elektriksel direnci (ohm direnci) adı verilir:

$$R = \frac{U}{I} \text{ ohm } (\Omega) \quad (29)$$

Sabit bir sıcaklıkta elektrik direnci iletkenin uzunluğu (l) ile doğru, enine kesit alanı (A) ile ters orantılıdır (Formül 30):

$$R = \rho \frac{l}{A} \Omega \quad (30)$$

burada verilen ρ , malzemenin öz direnci olup, birim uzunluktaki (cm, m) ve birim kesit alanındaki (cm^2 , m^2) bir malzemenin elektrik

direncini ifade etmektedir (Ωcm , Ωm). Öz direncin tersi ($1/\rho$) ise öz iletkenlik olarak isimlendirilir.

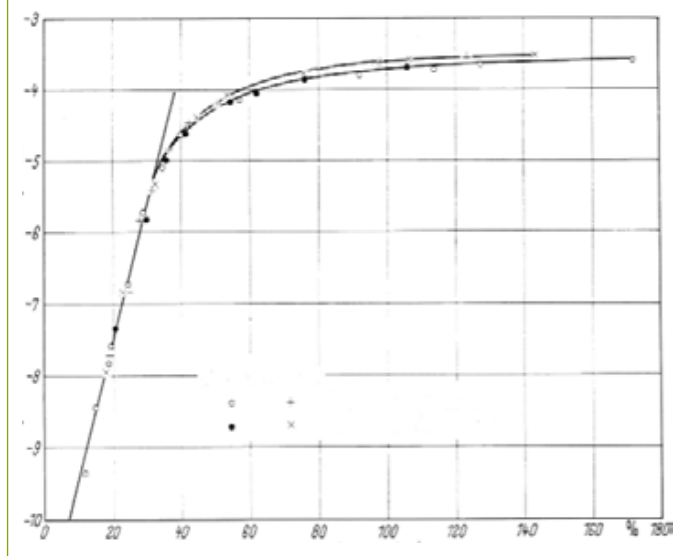
Ahşap tam kuru halde iken elektriksel direnci çok yüksek olup iyi bir yalıtkan olarak mütalaa edilmektedir. Muhtelif ağaç türleri için tam kuru halde elektriksel özgül direnç yaklaşık 10^{18} ohm-cm tespit edilmiştir. Örneğin bakalitin özgül direnci 10^{12} , camın 10^{13} , porselenin 10^{14} tür. Bununla birlikte ahşabın rutubeti LDN'ye doğru arttıkça, elektriksel özgül direncinde hızlı bir azalma meydana gelir. LDN'deki özgül direnç 10^6 ohm-cm'dir. LDN'den sonra rutubet artışına bağlı olarak özgül direnç azalmaya devam etmekle birlikte bu artış çok daha düşük oranlardadır. LDN'den sonra tam yaş hale kadar öz dirençte 50 kat bir azalma söz konusudur. Su ile doygun bir ağaç malzemedeki elektriksel direnç hemen hemen suyunkine eşit olmaktadır. LDN'nin (%30) altındaki rutubetlerde elektrik iletkenliğinin ($1/\rho$) logaritması (Formül 31) ile rutubet içeriği arasında doğrusal bir ilişki tespit edilmiştir (Şekil 11):

$$\log \frac{1}{\rho} = aM - C \rightarrow \rho = 10^{C-aM} \quad (31)$$

burada; Amerika'da yapılmış bir araştırmada $C=11,5$ ve $a=0,2$ bulunmuştur.

Şekil 11

Ahşapta elektrik iletkenliğinin logaritması ile rutubet miktarı arasındaki ilişki



Açıklama notu. Kollmann, FFP, Cote, W.A.Jr., 1968. Principles of Wood Science and Technology I, Solid Wood. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York kaynağından alınmıştır.

Ahşapta elektrik iletkenliği metallerin aksine sıcaklık arttığında artmaktadır. Anizotropi de elektrik iletkenliği üzerine etkili olup liflere paralel yönde iletkenlik daha fazladır. Radyal yönde de teğet yönden hafifçe daha yüksektir. Suda çözünen ekstraktif maddeler elektrolitik özelliklerinden dolayı elektrik iletkenliğini önemli derecede artırmaktadır. Aynı rutubet içeriğinde farklı ağaç türlerinin elektriksel dirençleri arasında önemli bir farklılık yoktur. Küçük farklar ağaç türüne göre değişen inorganik madde miktarından kaynaklanmaktadır. Ahşabın yoğunluğu arttıkça elektriksel direnci önemsiz bir miktar azalmaktadır. Suda çözünen tuzlarla yapılan

emprenye işlemi elektriksel direnci önemli miktarda azaltır. Suni reçinelerle (fenolik reçine) emprenye edilmiş ağaç malzemede (impreg, compreg) elektriksel direnç normalden daha yüksektir. Suni reçine ile muamele, ahşapta higroskopisiteyi azaltarak DRM'yi düşürmekte ve böylece aynı koşullarda normal oduna göre elektriksel direnci artırmaktadır.

Alternatif Akım Özellikleri

Bir alternatif akım devresinde kondensatörün plakaları arasında bir dielektrik madde (ahşap) bulunması durumunda kondansatörün sığasının, plakalar arasında vakum bulunması durumunda kondensatörün sığasına oranı dielektrik sabiti (ϵ) olarak adlandırılmaktadır. Kondensatörün plakaları arasında vakum bulunduğu durumda kondensatörde bir polarizasyon meydana gelmeyeceğinden, dielektrik sabiti, maddenin polarizasyonunun bir ölçüsü olmaktadır. Dielektrik sabitinin büyümesi maddenin daha fazla polarize olduğunu başka bir deyişle iletken hale geldiğini anlamına gelmektedir. Tablo 10 farklı malzemelerin dielektrik sabitlerini vermektedir (Bozkurt ve Göker, 1987).

Tablo 10

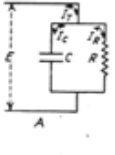
Farklı maddelerin dielektrik sabitleri

Madde	Dielektrik Sabiti (ϵ)
Vakum	1.0
Hava	1.0006
Parafin	2.0
Tam Kuru Ahşap	
Liflere Dik	2.0-3.0
Liflere Paralel	3.0-4.0
Porselen	5.7
Su	81.0

Açıklama notu. Bozkurt, A.Y., Göker, Y., 1987. Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No. 3445, O.F. Yayın No. 388, ISBN 975-404-010-9 kaynağından uyarlanmıştır.

Doğru akımda olduğu gibi alternatif akımda da ahşapta rutubet miktarındaki değişimler dielektrik sabitinde önemli miktarlarda değişime neden olmakta ve rutubet arttıkça dielektrik sabiti de yükselerek madde iletken hale gelmektedir. Doğru akımdan farklı olarak alternatif akımda dielektrik sabitindeki artış özellikle LDN' den sonra çok daha hızlı olmaktadır (Şekil 12). Ahşapta liflere paralel yönde dielektrik sabiti liflere dik yönden %30-60 kadar daha büyüktür. Akımın frekansı da dielektrik sabiti üzerine etkili bir faktör olup ilişki biraz daha karışık olmakla birlikte genel olarak frekans arttıkça dielektrik sabitinin küçüldüğü söylenebilir.

Dielektrik bir materyalin güç faktörü; plakalar arasında dielektrik madde bulunan bir kondansatörde her bir osilasyon döngüsünde harcanan elektrik enerjisinin, o döngü sırasında kondansatörde

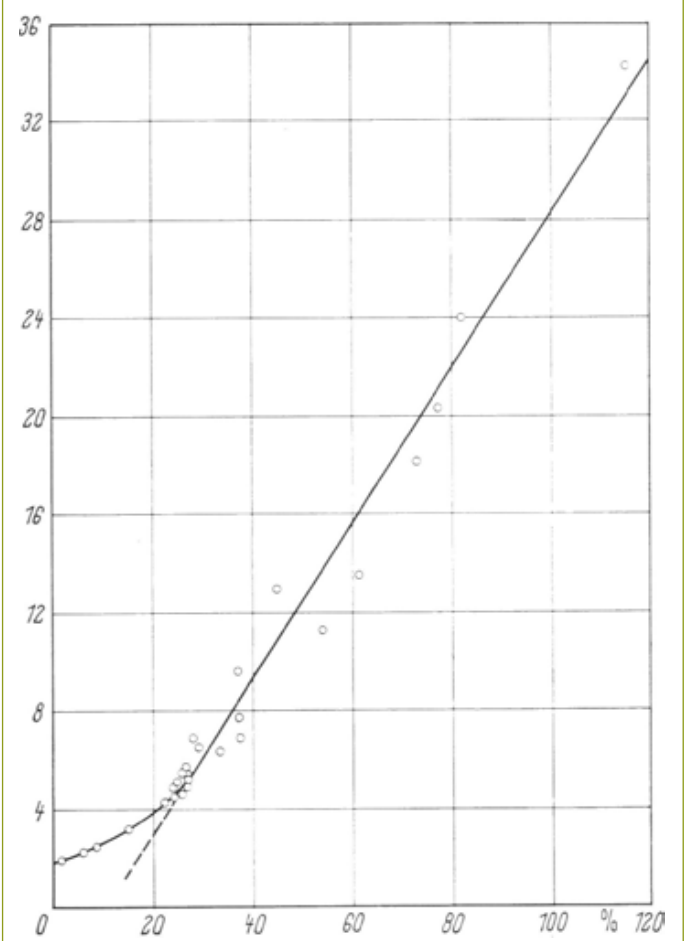


$$\cos \phi = \frac{I_R}{\sqrt{(I_R)^2 + (I_C)^2}}$$

(30)

Şekil 12

Rutubet miktarının dielektrik sabiti üzerine etkisi



Açıklama notu. Kollmann, FFP, Cote, W.A.Jr., 1968. Principles of Wood Science and Technology I, Solid Wood. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York kaynağından alınmıştır.

Güç kaybının 0.10'dan (%10) daha az olması durumunda direnç bileşeni akımının karesi ihmal edilebilir ve bu eşitliğe ohm kanunu uygulandığında aşağıdaki (Formül 33) gibi yazılabilir:

$$\cos \phi = \frac{1}{2\pi f C R} \quad (33)$$

Burada; f akımın frekansı, C kondensatörün sığası ve R ise elektrik direncidir. C ve R ile ilgili eşitlikler de yerine yazılarak eşitlik aşağıdaki (Formül 34) gibi sadeleştirilebilir:

$$\cos \phi = \frac{1.8 \cdot 10^{12}}{f \rho \epsilon} \quad (34)$$

burada; ρ alternatif akım devresinin öz direncini (Formül 35) ifade etmektedir:

$$\rho = \frac{1.8 \cdot 10^{12}}{f \epsilon \cos \phi} \quad (35)$$

Alternatif akım devresinin özgeçirgenliği de öz direncin tersi olarak aşağıdaki (Formül 36) gibi yazılabilir:

$$x = \frac{1}{\rho} = \frac{f \epsilon \cos \phi}{1.8 \cdot 10^{12}} \quad (36)$$

Ahşabın radyofrekans ile ısıtılmasında ahşap tarafından absorbe

edilerek ısı enerjisine çevrilen güç miktarı önem kazanmakta olup bu; kondansatörün sığası (C), ahşabın güç faktörü ($\cos \phi$), gerilim (U) ve frekansla (f) doğru orantılıdır (Formül 37):

$$P_R = 2\pi f U^2 C \cos \phi \quad (37)$$

Buradan belli bir gücü üretebilmek için gereken gerilim miktarı aşağıdaki (Formül 38) gibi bulunur:

$$U = \sqrt{\frac{P_R}{2\pi f C \cos \phi}} \quad (38)$$

Ahşabın Akustik Özellikleri

Ahşabın akustik özellikleri birçok kullanım yerinde ve çeşitli amaçlar için doğrudan ya da dolaylı olarak önem kazanmaktadır. Ahşap ses radyasyonu gibi akustik bakımdan sahip olduğu bazı üstün özellikleri nedeniyle geleneksel olarak çalgı aletlerinin yapımında alternatifsiz bir malzemedir. Ses dalgalarının yayılım özellikleri içerisinde yayıldığı materyalin yapısı ve elastik özellikleri ile doğrudan ilişkili olduğundan ahşabın bazı temel akustik özellikleri ahşabın iç yapısının incelenmesi, elastikiyet modülü ve mukavemet özelliklerinin tahmin edilmesi amacıyla tahribatsız test yöntemi olarak kullanılmaktadır. Ahşabın akustik özellikleri binalarda ses izolasyonu ve ses absorpsiyonu (akustik kalite) gibi mimari akustik bakımından da büyük önem arz etmektedir.

Ahşap İçerisinde Ses Dalgalarının Yayılımı

Elastik bir cisimde 16-20000 Hz arasındaki frekanslarda meydana gelen bütün titreşimler ve dalgalar ses olarak adlandırılır. Katı cisimler içerisinde ses dalgalarının yayılımı üç boyutlu gerçekleşmekle birlikte, kalınlığı dalga boyuna göre göz ardı edilebilecek uzunluğa sahip bir katı cisimde iki boyutlu olarak kabul edilebilir. Bu durumda katı madde içerisinde boyuna yönde yayılan ses hızı (Formül 39);

$$v = \sqrt{\frac{E}{D}} \quad (39)$$

burada, E cismin elastikiyet modülü, D ise yoğunluğudur.

Elastik torsiyonal dalgaların cisim içerisindeki yayılma hızı ise cismin kayma modülü (Formül 40) ile ilişkili olarak;

$$v = \sqrt{\frac{G}{D}} \quad (40)$$

Belli bir ahşap parçanın yoğunluğu sabit olduğundan liflere paralel ve liflere dik ses iletim hızı elastikiyet modülü ile ilgili olarak aşağıdaki (Formül 41) gibi yazılabilir;

$$\frac{v_{\parallel}}{v_{\perp}} = \sqrt{\frac{E_{\parallel}}{E_{\perp}}} \quad (41)$$

Tablo 11 bazı ağaç türlerinde elastik sabit üzerinden hesaplanmış ses iletim hızı değerleri görülmektedir. Yeknesak yapıda olmak koşuluyla ahşapta liflere paralel yönde ses hızının liflere dik hıza oranı arttıkça ahşabın çalgı aletleri yapımına uygunluğu artmaktadır.

Ahşapta ses iletim hızı liflere paralel yönde liflere dik yöne nazaran 2-5 kat daha yüksektir. Radyal yönde ise teğet yöne nazaran bir miktar daha yüksek bulunmaktadır. Yoğunluk elastikiyet modülü ile doğrudan orantılı olduğundan ses iletim hızı yoğunluktan bağımsız olarak değerlendirilir. Ahşapta LDN' ye kadar rutubet

miktarının artması ses iletim hızını azaltırken LDN' den sonra rutubetin ses iletim hızına etkisi son derece sınırlıdır.

Tablo 11

Bazı ağaç türlerinde liflere paralel ve liflere dik yönde ses iletim hızları

Ağaç Türü	Özgül Ağırlık	Ortalama Elastikiyet Modülü		Ortalama Ses Hızı		$\frac{v_{\parallel}}{v_{\perp}}$
		Paralel (kp/cm ²)	Dik (kp/cm ²)	Paralel (m/s)	Dik (m/s)	
Ladin	0.47	110000	5500	4790	1072	4.47
Çam	0.52	120000	4600	4760	932	5.11
Gökmar	0.45	110000	4900	4890	1033	4.73
Akcağaç	0.63	94000	9150	3826	1194	3.21
Kayın	0.73	160000	15000	4638	1420	3.27
Meşe	0.69	130000	10000	4304	1193	3.61

Açıklama notu. Kollmann, F.F.P., Cote, W.A.Jr., 1968. Principles of Wood Science and Technology I, Solid Wood. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York kaynağından uyarlanmıştır.

Ses Dalga Rezistansı, Ses Sönümleme Kapasitesi

Ses dalga rezistansı bir cismin yoğunluğu ile dalga hızının çarpımı şeklinde (Formül 42) ifade edilir ve sesin yayılmasında ve özellikle iki cisim arasındaki sınırdan (ahşap-hava) yansımada belirleyici bir rol oynar.

$$\omega = D \cdot v = D \sqrt{\frac{E}{D}} = \sqrt{D \cdot E} \quad (42)$$

Ahşapta liflere paralel yönde ses iletim hızı bakır, demir gibi metallerle hemen hemen aynı olmakla birlikte ahşabın yoğunluğu bu metallerden 10-15 kat daha düşüktür. Tablo 12 Ahşap ve bazı diğer malzemelerin ses dalga rezistansı değerlerini göstermektedir (Bozkurt ve Göker, 1987).

Tablo 12

Ahşap ve diğer bazı malzemelerin ses dalga rezistansı değerleri

Materyal	Ses Dalga Rezistansı (w) dyn.s/m
Çelik	395.104
Dökme demir	258. 104
Bronz	168. 104
Kurşun	82.5. 104
Tik	37. 104
Gökmar	20. 104
Kayın	22. 104
Su	14. 104
Kauçuk	1. 104
Hava	0.004. 104

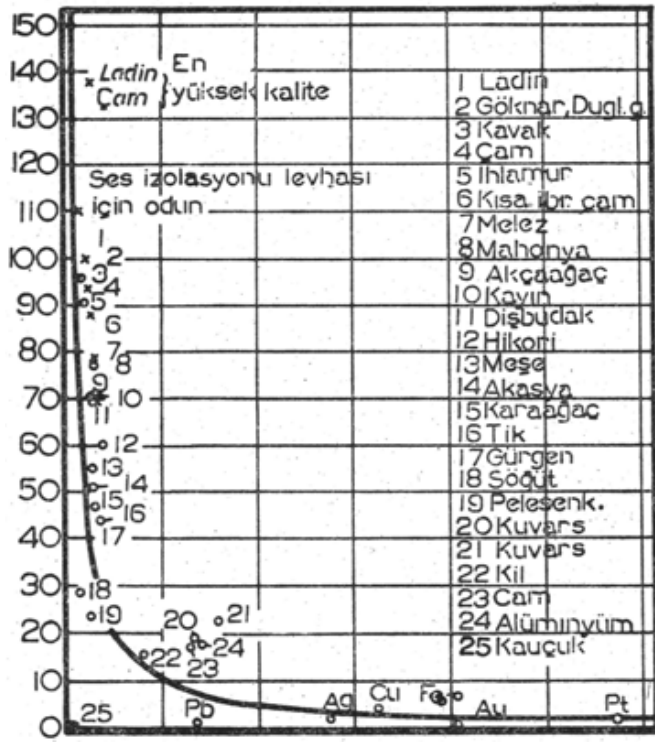
Açıklama notu. Bozkurt, A.Y., Göker, Y., 1987. Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No. 3445, O.F. Yayın No. 388, ISBN 975-404-010-9 kaynağından uyarlanmıştır.

Tablo 12'de görüldüğü gibi ahşap düşük yoğunluğu nedeniyle ses dalga rezistansı da oldukça düşük olup bu ahşaba çalgı aletleri yapımı (ses tahtası) bakımından önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Bir katı cisim içerisinde ses dalgalarının sönümlenmesi (dalga genliklerinin zamanla azalarak sıfırlanması) malzeme cinsine ve içyapı özelliklerine bağlı olarak iç sürtünme ile ve cismin sınırlarından bitişindeki cisme aktarılarak ses radyasyonu ile olmaktadır. Çalgı aletleri yapımında kullanılacak ahşapta ses radyasyonu ile ses sönümlenmesinin fazla buna karşın iç sürtünme ile ses sönümlenmesinin (boğulmasının) az olması arzu edilir (Kollmann ve Cote, 1968). Ses radyasyonu belli bir materyalin ses hızının yoğunluğuna oranına bağlıdır. Böylece ağaç malzemenin akustik üstünlüğü ortaya çıkmaktadır. Şekil 13, ahşap ve diğer bazı malzemeler için ses dalga rezistansı ve ses radyasyonu değişimini göstermektedir (Bozkurt ve Göker, 1987). Ahşap düşük olan yoğunluğuna karşın ses dalgalarını oldukça hızlı ilettiği için ses dalga rezistansı düşük, buna karşın ses radyasyonu yüksek bir malzemedir.

Şekil 13

Farklı ağaç türü ahşapları ve diğer bazı malzemelerde ses dalga rezistansı ve ses radyasyonunun değişimi



Açıklama notu. Bozkurt, A.Y., Göker, Y., 1987. Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No. 3445, O.F. Yayın No. 388, ISBN 975-404-010-9 kaynağından uyarlanmıştır.

Binalarda Akustik

Havada yayılan ses, hareket halindeki enerjidir. İnsanın duyabildiği minimum ses enerjisi (duyma eşiği) 10^{-16} watt/cm² olup 0 desibele (dB) karşılık gelmektedir. İnsanın dayanabileceği maksimum ses enerjisi ise 10^{-4} watt/cm² olup 120 dB' e eşittir.

Binalarda akustik bakımdan ön plana çıkan iki temel özellik kullanım amacına bağlı olarak bir mekândaki yankılanmayı ve akustik kaliteyi belirleyen ses absorpsiyonu ile bitişik mekânlar arasında sesin şiddetinin azaltılması anlamına gelen ses yalıtımıdır.

Bir malzemenin ses absorpsiyon kabiliyetinin ölçüsü olan ses absorpsiyon katsayısı (α), absorbe edilen ses enerjisinin çarpan toplam ses enerjisine oranı olarak ifade edilmektedir. Absorbe edilen ses enerjisi malzeme içerisinde sürtünme nedeniyle ısı enerjisine dönüşür. Açık bir pencerenin ses absorpsiyon katsayısı 1 olarak kabul edilirse buna kıyasla değişik malzemelerin ses absorpsiyon katsayıları Tablo 13 verilmektedir (Bozkurt ve Göker, 1987).

Tablo 13

Farklı malzemelerin ses absorpsiyon katsayıları

Materyal	A
Açık pencere	1.00
Tuğla, Briket	0.03
Halı	0.25
Cam	0.03
Sıva, alçı	0.03
Ağır kalın perde, kadife	0.27
Ahşap-planyalı	0.06
Ahşap-cıtalı	0.03
Özel akustik duvar levhaları	0.20-0.90

Açıklama notu. Bozkurt, A.Y., Göker, Y., 1987. Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No. 3445, O.F. Yayın No. 388, ISBN 975-404-010-9 kaynağından uyarlanmıştır.

Tablo 13 da görüldüğü gibi cıtalı bir ahşap yüzeyinde ses absorpsiyonu son derece düşükken planyalı bir ahşapta bu değer 2 kat daha yüksektir. Odun lifi, odun yünü gibi malzemelerden üretilen özel akustik levhalarda bu değer çok çok daha yüksektir. Ses absorpsiyonu bakımından en önemli husus yüzeyin şekli ve yüzey alanının büyüklüğüdür. Yumuşak, poröz yapıda ve kaba, pürüzlü yüzeylere sahip (halı, perde vb.) malzemelerin ses absorpsiyon katsayıları daha yüksektir.

Ses absorpsiyonu frekans ile yakından ilişkilidir. Doğrusal bir ilişki bulunmamakla birlikte genel olarak frekans arttıkça ses absorpsiyonu da artmaktadır. Malzemenin kalınlığı arttıkça da ses absorpsiyonu artmaktadır.

Bir mekandaki toplam ses absorpsiyonu (a) o mekânda bulunan bütün materyallerin absorpsiyon katsayıları ile yüzey alanlarının çarpımının toplamı (Formül 43) olarak hesaplanmaktadır:

$$a = \sum \alpha \cdot A \quad (43)$$

Bir mekandaki toplam absorpsiyon miktarı o mekandaki yankılanmayı ve dolayısıyla ses kalitesini belirlemektedir. Ses reverberasyon süresi, mekân içerisinde sesin tekrarlı olarak yankılanma süresini gösterir ve mekânın akustik kalitesinin bir ölçüsüdür. Uzun reverberasyon süresi konuşmaların anlaşılabilirliğini azaltırken kısa reverberasyon süreleri de akustik bakımdan ölü mekânlar anlamına gelmektedir. Örneğin belli bir hacimdeki (V) mekânda 512 Hz frekans (ortalama ton seviyesine tekabül eder) için reverberasyon süresi aşağıdaki (Formül 44) gibi hesaplanır:

$$t = 0,049 \frac{V}{a} \quad (44)$$

İdeal reverberasyon süresinin ne olması gerektiği o mekânın kullanım amacına göre değişmektedir. Örneğin konser salonlarında reverberasyon süresinin 2-2,5 saniye civarında olması arzu edilirken bir amfide bu değer 1-1,5 saniye arasında olması idealdir. Genel amaçlar için reverberasyon süresinin 1-2 saniye arasında olması uygun kabul edilebilir.

Ses yalıtımı ses absorpsiyonundan farklı bir kavramdır. Ses yalıtımı bir mekândaki sesin dB cinsinden şiddetinin bitişikteki bir mekâna geçerken ne kadar azaltıldığına bir ifadesidir. Örneğin bir odadaki 60 dB şiddetindeki ses bitişikteki odaya 20 dB olarak geçiyorsa 40 dB'lik bir ses yalıtımı sağlanmıştır. Ses absorpsiyonu için arzu edilen yumuşak ve poröz malzemelerin aksine iyi bir ses yalıtımı için sert ve birim alan ağırlığı fazla olan malzemeler gerekir. Tablo 14 ahşap ve diğer bazı yapı malzemelerinin ses yalıtım değerlerini göstermektedir (Bozkurt ve Göker, 1987).

Tablo 14

Bazı yapı malzemelerinin ses yalıtımı değerleri

Materyal	D (dB)
Tuğla+Siva (20 cm)	49 dB
Odun yünü levhası	39 dB
Kontrplak (6 mm)	19 dB
Liflevha (12 mm)	30 dB
Cam (3 mm)	25 dB
Basit kapı ve pencere	15-20 dB

Açıklama notu. Bozkurt, A.Y., Göker, Y., 1987. Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No. 3445, O.F. Yayın No. 388, ISBN 975-404-010-9 kaynağından uyarlanmıştır.

Tablo 14'te de görüldüğü gibi aynı kalınlıkta ahşap esaslı malzemeler, tuğla ve sıvadan oluşan klasik bir duvar profiline göre çok daha iyi bir ses yalıtımı sağlayacaktır. Özellikle tabakalı yapıda oluşturulmuş ve tabakalar arasında hava boşluğu bırakılmış duvarlarda aynı kalınlıkta çok daha iyi bir ses yalıtımı sağlanabilmektedir.

Ses absorpsiyonunda olduğu gibi ses yalıtımında da sesin frekansı

önemli olup yüksek frekanslarda daha iyi bir yalıtım sağlanabilmektedir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Declaration of Interests: The author declares that there are no competing interests

Kaynaklar

- Berkel, A., 1970. Ağaç Malzeme Teknolojisi Ders Kitabı, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No. 1448/147, İstanbul, 593s.
- Bozkurt, A.Y., Göker, Y., 1987. Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No. 3445, O.F. Yayın No. 388, ISBN 975-404-010-9.
- Brown, H.P., Panshin, A.J., Forsaith, C.C., 1952. Textbook of Wood Technology, Volume II. McGraw-Hill Book Company Inc., New York.
- Glass, S.V., Zelinka, S.L., 2010. Moisture Relations and Physical Properties of Wood. Wood Handbook, Wood as an Engineering Material, Edited by Robert J. Ross, USDA Forest Service, FPL-GTR-190.
- Hygreen, J.G., Bowyer, J.L., 1996. Forest Products and Wood Science 3rd Edition. Wiley-Blackwell, ISBN: 978-0813822563.
- Kantay, R., 1993. Kereste Kurutma ve Buharlama. Ormancılık Eğitim ve Kültür Vakfı, Yayın No: 6.
- Kollmann, F.F., Cote, W.A.Jr., 1968. Principles of Wood Science and Technology I, Solid Wood. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York. [\[Crossref\]](#)
- Rowell, M.R., 2012. Moisture Properties. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites, Edited by Roger M. Rowell, CRC Press, ISBN 9781439853818. [\[Crossref\]](#)
- Skaar, C., 1988. Wood-water relations. New York, NY: Springer-Verlag, ISBN: 978-3-642-73683-4. [\[Crossref\]](#)
- Spalt, H.A., 1958. Fundamentals of Water Vapor Sorption by Wood. Forest Products Journal, 8(10):288-295.
- Stamm, A.J., Harris, E.E., 1953. Chemical Processing of Wood. New York, NY, Chemical Publication Company Inc., s. 113-138.
- Xinguo, L., Harry, X. W., Shannon, K. D., Simon, G. S., 2009. Generation and analysis of expressed sequence tags from six developing xylem libraries in Pinus radiata D. Don, BMC Genomics 2009, 10:41. [\[Crossref\]](#)

BÖLÜM 4

AHŞABIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Nusret AS

Ahşabın Mekanik Özellikleri

Mechanical Properties of Wood

BÖLÜM HAKKINDA

Ahşap, malzeme, ara ürün ve ürün halinde iken mekanik cinsten kuvvetlerin (yüklerin) etkisinde kalmaktadır. Bu yüklemeler, farklı çeşit ve şekillerde olabilmektedir. Ahşapta deformasyona ve hatta kırılmaya neden olabilen bu kuvvetlere karşı gösterilen mekanik performans, farklı boyutlardaki örnekler üzerinde yapılan testlerle ortaya konulmaktadır. Mekanik özellikler, elastik, visko-elastik, plastik (direnç) özellikler şeklinde üç ana grup halinde belirlenmektedir. Kusurlar, yoğunluk, rutubet vb. faktörler, mekanik özellikler üzerinde etkili olmaktadır.

Anahtar kelimeler: Ahşap mekaniği, elastik özellikler, visko-elastik özellikler, direnç özellikleri, etkili faktörler

ABOUT the CHAPTER

Wood is under the influence of mechanical forces (loads) as a material, inter and final product. These loads can be different types and shapes. The mechanical performance against these forces, which can cause deformation and even breakage in wood, is demonstrated by tests performed on samples of different sizes. Mechanical properties are determined in three main groups: elastic, visco-elastic and plastic (strength) properties. Defects, density, moisture content etc. factors affect mechanical properties.

Keywords: Wood mechanic, elastic properties, visco-elastic properties, strength properties, factors that affect

Giriş

Ahşap ağaç halinde, malzeme (kereste, levha, kompozit vb.) halinde, üretim prosesi esnasında ve ürün (mobilya, yapı vb.) halinde iken farklı şekil ve çeşitlerdeki yüklemelerin (kuvvetlerin) etkisine maruz kalmakta ve bu yükler ahşapta şekil değişimine, deformasyonlara ve hatta kırılmalara neden olabilmektedir. Uygulanan bu yükler (zor), ahşapta gerilme (zorlanma) oluşturmaktadır. Konstrüksiyonlarda gerilmeler hem ahşapta hem de birleşimlerde meydana gelmektedir. Mekanik özellikler, etki eden bu kuvvetlere karşı ahşabın gösterdiği performans (karşı koyma derecesi) ve durumunu ortaya koymaktadır.

Ahşapta oluşan gerilmeler büyüme, kuruma gerilmeleri şeklinde de olabilmektedir. Buna bağlı deformasyonlar ve kırılmalar (çatlamalar, kollaps) oluşabilmektedir. Kesilen bir ağaçta veya kalın bir kerestede sonradan boyuna yönde yarılmaların meydana gelmesi, büyüme gerilmeleri nedeniyledir. İletim yolları tıkalı olan ahşapta kurutma esnasında oluşan kapılar kuvvetler, doku çökmelerine (kollaps) neden olmaktadır. Kurutma esnasında Lif Daygunluğu Rutubet Noktasının (LDN) altındaki rutubetlerde ahşapta oluşan çalışma farklılıkları da gerilmeler oluşturmakta ve gerilmeler arası farklılıklar, şekil değişimi (eğilme, burulma, çanaklaşma vb.) ile çatlamalara sebebiyet vermektedir. Çatlaklar da bir mekanik kırılmadır ve genelde kuruma sonucunda oluşan iç gerilme, ahşabın liflere dik çekme direncini aşması durumunda meydana gelir. Oluşan çatlakların büyümesi (ilerlemesi), iç gerilmelerin ahşabın yarılmaya direncini aşması ile devam eder.

Dikili haldeki ağaçlar üzerinde mekanik kuvvetler, rüzgar, kar, yerçekimi vb. şeklinde etkili olmakta ve deformasyon (eğilme) ve kırılmalara (ağaç devrilmesi, gövde ve/veya dal kırılması) neden olabilmektedir. Ağacın kesilmesi, devrilmesi sonucu yere çarpması, budanması, kabuklarının soyulması, yükleme ve boşaltma vb. gibi işlemler esnasında ahşap, farklı çeşit ve şekillerdeki mekanik kuvvetlere maruz kalmaktadır.

Ayrıca ahşabın biçilmesi, kesilmesi, soyulması, yongalanması, preslenmesi, bükülmesi, vidalanması, çivilenmesi, zımparalanması, raspanması vb. gibi çeşitli üretim prosesleri esnasında ahşaba farklı çeşit ve şekillerde mekanik kuvvetler uygulanmaktadır.



CC BY 4.0: Telif hakkı yazarlardadır. Bu kitabın içeriği Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası lisans altında lisanslanmıştır.



Nusret As

Istanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye
E-posta: nusretas@iuc.edu.tr

Bu bölümü alıntıla / Cite this chapter as:
As, N. (2024). Ahşabın mekanik özellikleri. T. Akbulut (Ed.), *Ahşap: Doğal ve yenilenebilir mühendislik malzemesi* içinde (s. 57-68) İstanbul: İÜC Üniversite Yayınevi

Ahşap, ürün halinde iken (yapı, mobilya, eşya, alet, oyuncak vb.) de kullanım esnasında da çok farklı yüklemelere maruz kalmakta, ahşabın kullanım yeri performansını ve hizmet ömrünü büyük ölçüde bu mekanik etkilere karşı koyma derecesi belirlemektedir.

Ahşabın dikili, kesili, malzeme, ara ürün ve ürün halinde iken içten ve dıştan maruz kaldığı bu mekanik etkilere karşı gösterdiği performans ve durumunun ortaya konulması Ahşap Mekaniğinin konusudur.

Yükleme Çeşit ve Şekilleri

Ahşaba uygulanan yükler önce şekil değişimi ve deformasyonlara sonra da kırılmalara neden olmaktadır. Bu yüklerin etkisi ile ahşapta eğilme, kısalma, uzama, burulma gibi deformasyonlar meydana gelebilir. Ahşap (aynı zamanda ahşap olmayan diğer malzemeler), basma, çekme, eğme, makaslama, burulma gibi yükleme çeşitlerine (türlerine) maruz kalabilir. Ahşabı sıkıştırmaya, ezme-ye çalışan yükler basma, uzatıp koparmaya çalışan yükler çekme, eğmeye çalışan yükler eğme, aynı düzlemde aksi istikametlerde kaydırmaya çalışan yükler makaslama, belli bir eksen etrafında ters yönlerde döndürmeye çalışan yükler burulma (torsiyon) yükleri (kuvvetleri) olarak tanımlanır.

Belirtilen bu yükleme türleri ahşaba farklı şekillerde etki edebilir. Yükleme şekilleri şunlardır:

- Statik Yükleme (Kuvvetin yavaş yavaş ve sürekli olarak artış göstermesi)
- Dinamik Yükleme (Çok kısa zaman diliminde, ani olarak kuvvetin etki etmesi)
- Yorma Yüklemesi (Kuvvetin uzun süre uygulanması)
- Değişken Yükleme (Uygulama yönü zamana bağlı olarak farklılık gösteren yükler)

Ahşap farklı yük türlerini, belirtilen bu şekillerde alabilir. Örneğin basma yükleri (ya da diğerleri) ahşaba statik, dinamik, yorma, değişken şekillerde etki edebilir. Ayrıca aynı ahşap kombine olarak farklı yük çeşit ve şekillerine de maruz kalabilir. Ahşaba statik, dinamik ya da değişken olarak etki eden herhangi bir yükleme çeşidi (basınç, eğme vb.), kırılma olmaksızın periyodik olarak bu yükleri uzun süre alması durumunda, ahşapta yorma meydana gelecektir. Ayrıca belirli bir yükü uzun süre taşıyan ahşapta yorma etkisi olduğu gibi hiçbir dış yük taşımayıp sadece kendi öz ağırlığını uzun süre taşıyan ahşapta bile yorma etkisi meydana gelecektir. Yorma yüklemeleri uzun süreli sabit yükler olabildiği gibi değişken yükler de olabilir. Kırılma olmaksızın farklı tür ve çeşitteki yükleri uzun süre alan ahşapta yorulma meydana gelecektir.

Mekanik Testler

Ahşap, üretim öncesi, esnası ve sonrasında (kullanım) farklı çeşit ve şekillerdeki mekanik yüklemelere maruz kaldığından mekanik özelliklerinin tespit ve takibi büyük önem arz etmektedir. Masif ve ahşap kökenli olan tüm malzemelerde, bunlardan üretilmiş birleşim ve ürünlerde (konstrüksiyonlarda), uygulamada maruz kaldığı yük çeşitleri ve şekilleri dikkate alınarak mekanik testler, standart deney yöntemleri kullanılarak uygulanmaktadır. Mekanik testlerin uygulanmasında farklı yük çeşit ve şekillerini uygulayabilen test makineleri kullanılmaktadır. Tek bir yük çeşidi uygulayabilen test makinesi olabildiği gibi farklı yük çeşitlerini

Resim 1

Statik yük uygulayan Üniversal Test Makinesi



Açıklama notu. Fotoğraf, H. Akkılıç'a aittir

uygulayabilen makinelerde mevcuttur. Örneğin sadece basma, çekme ya da burulma yükü uygulayan makineler basma test makinesi, çekme test makinesi, burulma test makinesi şeklinde isimlendirilmektedir. Farklı çeşitlerde yük uygulayabilen makinelere ise (basma, çekme, eğme, makaslama vb.) Üniversal test makinesi denilmektedir. Farklı yükleme çeşitleri dışında farklı yükleme şekilleri uygulayabilen mekanik test makineleri mevcuttur. Sabit ve değişken yüklemeli yorma test makineleri mevcuttur. Yükü sabit tutan yorma makineleri olduğu gibi deformasyonu sabit tutan yorma makineleri de vardır. Eğilme denemelerinde sabit bir yükü ahşaba asarak makine kullanılmadan da yorma denemesi yapılabilir. Statik ve/veya dinamik yüklemeli mekanik deneylerde genelde test makineleri kullanılır. Resim 1 de statik yük uygulayan, Resim 2 de ise dinamik yük uygulayan mekanik test makinesi görülmektedir.

Mekanik testler, uygulanan yükleme şekli ve çeşidine göre adlandırılır. Örneğin Statik eğme, basma, çekme; Dinamik eğme, basma, çekme; Yorma eğme, çekme, basma vb. testleri gibi.

Bu testler sonucunda ahşabın mekanik özellikleri, basınç, çekme, eğilme, makaslama, burulma gerilmesi ya da direnci şeklinde ortaya konulmaktadır. Gerilme, kırılma olmaksızın ahşaba uygulanan yükün birim alana düşen miktarı iken direnç, kırılmaya neden olan maksimum yükün (P_{max}) birim alana düşen miktarıdır.

Resim 2

Dinamik yük uygulayan Şok Eğme Test Makinesi



Açıklama notu. Fotoğraf, H. Akkılıç'a aittir.

Diğer bir ifade ile direnç, kırılma gerilmesidir. Farklı yükleme tür ve şekilleri ile ahşap, farklı mekanik değerler vermektedir.

Mekanik testler, ahşabın tutkal, çivi, vida, kavela, minifiks, blom, metal konektör vb. malzeme ve elemanları ile yapılan birleştirmelerin performans ve durumlarını ortaya koymak için de yapılmaktadır. Bu mekanik testler aşınma, sertlik, çizilme vb. testler ile birlikte 'Ahşabın Teknolojik Özellikleri' kapsamında değerlendirilir. Ahşap konstrüksiyonların hizmet ömrü (sağlamlığı, Rijitliği), kullanılan malzeme mukavemetinin yanı sıra birleşimlerin mekanik performansına da bağlı bulunmaktadır. Yapışma testi, vida-çivi tutma testi, Diyoganal basma-çekme gibi köşe birleşim testleri bu mekanik testlere örnek olarak verilebilir.

Mekanik testler, masif ahşap ya da ahşap kökenli (veya lignoselülozik) malzeme ya da ürünlere uygulanabilir. Masif ahşap, tabakalı (lamine), yongalevha, liflevha, Odun-plastik kompoziti (OPK) ve benzeri kompozit malzemeler ile bunlardan üretilmiş konstrüksiyonlar, mekanik test amaçlı kullanılabilirler.

Mekanik testler;

- Tahribatlı
- Yarı tahribatlı
- Tahribatsız

yöntemlerle uygulanabilmektedir.

Tahribatsız muayene, malzemenin son kullanım özelliklerini değiştirmeksizin, malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirleme bilimidir (Pellerin, Ross, 2002).

Tahribatsız testler bazı önemli avantajlar sunar (Kollmann, and Cote, 1968).

1. Yapısal elemanlar, yapı parçaları, dikili ağaçlar veya direkler dahil olmak üzere herhangi bir numune incelenebilir.
2. Tek bir numune birkaç kez test edilebilir ve nem içeriği, sıcaklık ve belirli koşullar altında çürüme veya yük süresi gibi ahşabın fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki çeşitli etkiler araştırılabilir.
3. Tek bir numune üzerinde test edilen farklı özellikler ilişkilendirilebilir. Ahşabın tahribatsız testlerinin farklı yöntemleri arasında, pratik önemi yüksek olanlar vardır. Ahşapta iç doku kesintilerinin, çürümenin, lif yönünün, yoğunluk değişimlerinin ve nem içeriğinin radyografik yöntemlerle tespiti ve titreşim yöntemleriyle elastik sabitlerin belirlenmesi, örnek olarak verilebilir.

Günümüzde genelde tahribatlı olarak uygulanan testlerin yerini zamanla büyük oranda tahribatsız yöntemlere bırakacağı düşünülmektedir. Tahribatsız olarak ölçülen Akustik, ısı, elektriksel vb. özelliklerle, tahribatlı olarak bulunan mekanik değerler arasındaki ilişkileri, matematiksel modellemeleri ortaya koyma çalışmaları devam etmekte olup, önemli oranda ilerlemeler olmuştur.

Mekanik Test Amaçları

Ahşapta mekanik testler, aşağıda belirtilen farklı amaçlar için yapılabilir.

- Bir ağaç türünün ya da ahşap kökenli kompozit malzemenin mekanik özelliklerini belirlemek
- Bir faktör ya da değişkenin (Bonitet, yükselti, silvikültürel uygulama, kurutma, buharlama, ısı işlem, emprenye, rutubet, sıcaklık, bağlayıcı- birleşim elemanı, yoğunluk, yıllık halka genişliği, öz-diri odun, kusur, reaksiyon odunu, mantar- böcek zararı, vb.) mekanik özelliklere olan etkisini saptamak
- İklim değişikliğinin (Sıcaklık ve kuraklık artışı, ekolojik çevredeki değişimler) mekanik özelliklere olan etkisini ortaya koymak
- Çevre kirliliğinin (hava, su, toprak) ahşabın mekanik özellikleri üzerine etkisini belirlemek
- Zamana bağlı olarak mekanik özelliklerdeki değişimleri saptamak
- Farklı boyut, şekil ve özellikler ile ahşabın mekanik özellikleri arasındaki ilişki ve korelasyonları ortaya koymak
- Ahşabın kimyasal, anatomik, fiziksel özellikleri ile mekanik özellikler arasındaki ilişki ve korelasyonları ortaya koymak
- Üretim ve kullanım yeri isteklerini mekanik boyut bakımından ahşabın sağlayıp sağlamadığını irdelemek

- Ağaç malzeme ya da ürünün standartlara uygunluğunu denetlemek
- Üretim esnasında uygunluk kontrolü yapmak (Üretim kontrolü)
- Üretim sonrası ürünün kalite kontrolünü yapmak (kalite kontrolü)

Mekanik Test Örnek Boyutları

Ahşabın mekanik özelliklerini belirlemek için farklı boyutlarda test örnekleri kullanılabilir. Bunlar;

- Mikromekanik
- Standart
- Tam boyut (full size)

şeklinde gruplandırılabilir.

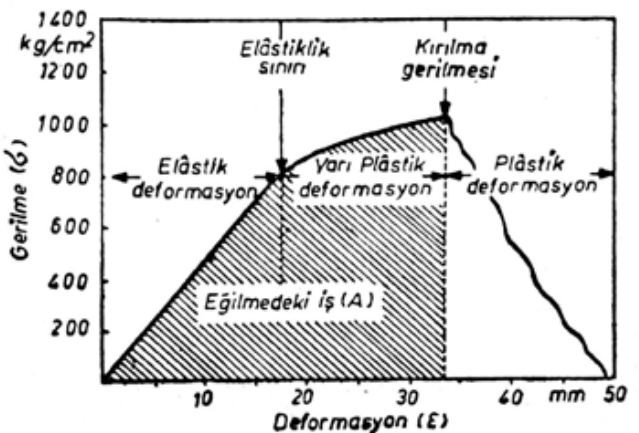
Mikromekanik test örnekleri, çok küçük boyutlarda hazırlanmaktadır. Kusur içermezler. Standart (Küçük) boyutta olanlar mekanik özelliklerin tespitinde çok kullanılmış olup halen kullanılmaktadır. Standartların ön gördüğü boyutlara sahiptir ve kusur içermezler. Tam boyutlu (full size) örnekler, uygulamadaki kullanım boyutlarına sahiptir. Belirli oranlarda kusur ihtiva ettiğinden ve boyut etkisinden dolayı küçük boyutlu örnekler nazaran daha düşük mekanik değerler vermektedir. Ancak kullanıma yönelik en uygun mekanik değerler büyük boyutlu örneklerde elde edilmektedir. Örneklerin hazırlanması ve deneylerin yapılmasında belirli standartlar esas alınmaktadır. Genel olarak küçük boyutlu olan örnekler kusur içermezken tam (büyük) boyutlu olanlar kusur içerebilmektedirler.

Mekanik Özellikler

Ahşap, başlangıç yüklemelerinde elastik, yük miktarı arttıkça viskoelastik ve plastik davranış göstermektedir. Yüklemeye bağlı olarak ahşapta deformasyon oluşmakta ve bu deformasyon miktarı yükün artmasına bağlı olarak artış göstermekte ve bir noktada kırılma meydana gelmektedir. Yüke bağlı oluşan deformasyonların grafik gösterimi ile 'Yük Deformasyon Grafiği' (stress-strain) elde edilir (Şekil 1).

Şekil 1

Ahşapta Yük-Deformasyon Grafiği



Açıklama notu. Knigge, W., und Schulz, H., 1966, Grundriss der Forstbenutzung. Verlag Paul Parey, Hamburg-Berlin kaynağından alınmıştır.

Ahşabın mekanik özellikleri, yük-deformasyon grafiğindeki 3 farklı bölgeyi kapsamaktadır.

- | | | |
|--------------|-------------------------|-----------------------------|
| • I. Bölge | Elastik davranış | Elastik özellikler |
| • II. Bölge | Elasto-plastik davranış | Visko-elastik özellikler |
| • III. Bölge | Plastik davranış | Plastik özellikler (Direnc) |

Elastik Özellikler

Belli bir yüke kadar ahşapta meydana gelen deformasyonlar yükün kaldırılması ile tamamen geri kazanılabilir. Diğer bir ifade ile yükün kaldırılması ile ahşap ilk boyutlarına (şekline, haline) tamamen geri dönebilmekte ve hiçbir kalıcı deformasyon meydana gelmemektedir. Bu husus belli bir yük kademesine kadar geçerlidir. Deformasyonların kalıcı olmadığı sınır yük değerine 'Elastik sınır' denilmektedir. Yük-deformasyon grafiğinde 'Elastik Bölge' de denilen bu kısımda yüke bağlı olarak deformasyon artışı doğrusallık gösterir ve birim yükün neden olduğu deformasyon miktarı da sabittir. Elastik sınıra kadar herhangi bir noktada yük kaldırılırsa ahşap ilk boyutlarına dönecek ve oluşan deformasyonlar tamamen geri kazanılacaktır. Elastik bölge içinde belli bir yükte daha fazla deformasyon gösteren ahşabın elastikiyeti daha fazladır. Bu bağlamda I. Bölge için elastikiyet ve deformasyon aynı hususu ifade etmektedir.

Rutubet, sıcaklık, kusur ve yoğunluk elastik sınır ile I. Bölgedeki doğrunun eğimi üzerine etkilidir. Elastik sınır yüklemeye çeşidine göre de farklılık gösterir. Örneğin elastik sınır basınçta, çekmede kinden çok daha düşüktür.

Yine elastik bölge için tanımlanan diğer bir mekanik özellik 'Elastikiyet Modülü (Young Modülü)'dür. Uygulanan yük çeşidine göre farklı elastikiyet modüllerinden bahsedilir. Örneğin; eğilmede elastikiyet modülü, basınç ve çekmede elastikiyet modülü, makaslama elastikiyet modülü, burulmada elastikiyet modülü gibi. Ahşap Ortotropik bir malzemedir. Liflere paralel (L), radyal (R) ve teğet (T) yönlerde aynı özellik için farklı mekanik değerler vermektedir.

İzotrop bir malzemenin elastik davranışını üç önemli parametre tanımlar. Bunlar Deformasyon katsayısı (α), Kayma katsayısı (β), Poisson oranı (μ) dır (Bozkurt, Göker, 1987).

Ahşabın dokuz bağımsız elastik sabiti vardır. Bunlar boyuna, radyal, teğet elastikiyet modülleri (E_L, E_R, E_T), Makaslama (Kayma) modülleri (G_{LR}, G_{LT}, G_{RT}) ve poisson oranlarıdır ($\mu_{LR}, \mu_{LT}, \mu_{RT}$) (Sun 1999).

Elastikiyet Modülü

Uygulanan yükün birim alana düşen miktarına gerilme (σ) denilmektedir. Bu aşamada ifade edilen yük, elastik bölge sınırları içinde kalan bir yüküdür. En çok elastik sınır yükü olabilir.

$$\sigma = \frac{P}{F} \text{ N/mm}^2 \text{ olarak ifade edilir.}$$

Burada;

P= Uygulanan yük (kuvvet), (N)

F= Yükün uygulandığı kesit alanı, (mm²)

Birim gerilmedeki deformasyon miktarına 'Deformasyon Katsayısı (α)' denilmektedir.

$$\alpha = \frac{\varepsilon}{\sigma}$$

ε = Toplam deformasyon

σ = Toplam gerilme

Deformasyon katsayısının tersi ($\frac{1}{\alpha}$), Elastikiyet modülü (E) olarak ifade edilmektedir. Buna göre uygulanan belli bir yüke (gerilmeye) bağlı olarak oluşan deformasyonun (elastikiyetin) yüksek olması Elastikiyet modülünün düşük olması anlamına gelmektedir.

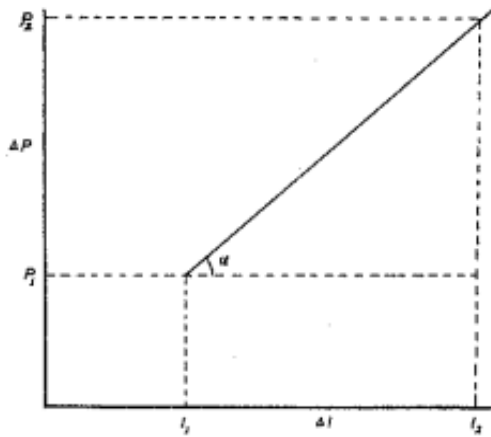
Elastikiyet modülü formülasyonu aşağıda verilmiştir:

$$E = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{\frac{\varepsilon}{\sigma}} = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Buna göre elastikiyet modülü birim deformasyondaki gerilme miktarıdır. Yük deformasyon grafiğindeki elastik (doğrusal) bölgede, gerilmadaki ΔP kadar olan değişim deformasyonda Δl gibi sabit bir değişime neden olmaktadır (Şekil 2).

Şekil 2

Elastik bölgedeki gerilme- deformasyon ilişkisi



Açıklama notu. Bozkurt T., Göker Y., 1987, Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi, İ.Ü. yayın no:3445, O.F yayın no: 388, İstanbul kaynağından alınmıştır.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$$\sigma = \frac{\Delta P}{F} \quad (\text{Stress})$$

ΔP Yük değeri (N), F =Ahşap kesit alanı (mm²)

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (\text{Strain})$$

Δl = Deformasyon

miktardır, l = ahşabın ilk boyutu

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\frac{\Delta P}{F}}{\frac{\Delta l}{l}} = \frac{\Delta P}{\Delta l} \times \frac{l}{F}$$

$$F = b.h$$

b = örnek genişliği, h = örnek yüksekliği

$$E = \frac{\Delta P}{\Delta l} \times \frac{l}{b.h} \quad \text{N/mm}^2$$

Bu formül, basınç ve çekmede elastikiyet modülü değerlerini vermektedir.

Eğilmede elastikiyet modülü için aşağıda verilen formül kullanılmaktadır.

$$E = \frac{\Delta P}{\Delta l} \times \frac{l_s^3}{4.b.h^3} \quad \text{N/mm}^2 \quad l_s = \text{Mesnet açıklığı}$$

Elastikiyet modülü (E) anizotrop olan ahşapta farklı yönlerde farklı değerler vermektedir. Yıllık halkalara teğet yönde E-modülü 1 birim ise radyal yönde 2, liflere paralel (boyuna) yönde 20 birim kadardır. Örneğin çam ve kayın için farklı üç ana eksen yönünde Elastikiyet modülü değerleri N/mm² olarak aşağıda verilmiştir (Bozkurt, Y., Göker Y., 1987).

Çam

Boyuna $E_L = 16\,610 \text{ N/mm}^2$

Teğet $E_T = 580 \text{ N/mm}^2$

Radyal $E_R = 1120 \text{ N/mm}^2$

Kayın

Boyuna $E_L = 14\,010 \text{ N/mm}^2$

Teğet $E_T = 1160 \text{ N/mm}^2$

Radyal $E_R = 2280 \text{ N/mm}^2$

Makaslama (Kayma) Modülü

Rijitlik Modülü de denilen bu elastik özellik, ahşabın iki yüzeyinin aynı düzlemde farklı yönlerde kuvvet uygulaması ile meydana gelen makaslama deformasyonları dikkate alınarak elde edilir. Ahşapta makaslama düzlemleri LT (teğet), LR (radyal) ve RT (enine kesit) gibi farklı kesitlerde oluşabilir.

Makaslama gerilmesi (τ);

$$\tau = \frac{P}{F}$$

eşitliği ile ifade edilmektedir. Makaslama (kayma) deformasyon katsayısı (β);

$$\beta = \frac{\gamma}{\tau} \quad \gamma = \text{Makaslama açısı}$$

Formülü ile bulunur.

Makaslamada elastikiyet modülü (G) ise makaslama deformasyon katsayısının tersidir.

$$G = \frac{1}{\beta}$$

eşitlikleri ile bulunmaktadır.

Rijitlik modülü genelde en düşük en kesit makaslama, en yüksek radyal yüzey makaslama elde edilmektedir. Teğet yüzey makaslama modülü biraz daha düşük olmakla birlikte radyal makaslama modülü değerlerine yakındır.

Poisson Sabitesi (Oranı)

Bu oran, bir diğer önemli elastik bölge özelliğidir. Boyuna yönde çekme uygulanan malzemede uzama meydana gelirken aynı zamanda enine boyutlarında (genişlik, kalınlık) azalma (daralma) olmaktadır. Benzer şekilde boyuna yönde basma uygulanan malzemede kısalma meydana gelirken aynı zamanda enine boyutlarında artış (genişleme) olmaktadır. Cismin hacmi ise yaklaşık aynı kalmaktadır.

$$\varepsilon_l = \frac{\Delta l}{l} \quad \text{Boyuna deformasyon}$$

$$\varepsilon_t = \frac{\Delta t}{t} \quad \text{Enine deformasyon}$$

$$m = \frac{\varepsilon_l}{\varepsilon_t} \quad \text{Enine daralma değeri}$$

Enine daralmanın tersi;

$$\mu = \frac{1}{m} = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_l} \quad \text{Poisson sabitesini vermektedir.}$$

Poisson sabitesi, en (yanal) deformasyonun boy (eksenel) deformasyona oranıdır. Birimi yoktur. Çeşitli malzemeler için poisson sabitesi genel olarak 0 ile 0,50 arasında değişir (Örneğin; lastik 0,50; çelik 0,30, beton 0,20). Poisson sabitesi sarıçamda boyuna yönde 0,57, enine yönde 0,31-0,42 arasındadır. Dişbudakta boyuna yönde 0,51, enine yönde 0,39- 0,46 arasında değişmektedir. Kayında ise boyuna 0,51, enine 0,36-0,45 aralığındadır (Gao, Z., Zhang, X., Wang, Y., Yang, R., Wang, G., and Wang, Z.,2016).

Özetlenecek olursa deformasyon katsayısının (α) tersi elastiklik modülünü (E), makaslama deformasyon katsayısının (β) tersi makaslama elastiklik modülünü (G), enine daralma (m) değerinin tersi de poisson oranını (μ) vermektedir. Bu üç sabiteden (α , β , μ) ikisi biliniyorsa üçüncüsü aşağıda verilen eşitlik yardımı hesaplanabilir (Bozkut, Göker, 1987).

$$\beta = 2\alpha(1 + \mu)$$

Burulmada elastikiyet modülü (D), burulma elastik deformasyon katsayısının (δ) tersidir (Berkel, A., 1970).

$$D = 1/\delta$$

Visko-Elastik Özellikler

Yük- deformasyon grafiğinin 2. Bölgesinde ahşaba uygulanan yük elastik sınırı aşmakta, yükün artışına bağlı olarak daha fazla deformasyonlar meydana gelmekte ve yükün kaldırılması ile bir kısım deformasyon geri kazanılırken (ortadan kalkarken), bir miktar deformasyon kalıcı hale gelmektedir. Diğer bir ifade ile ahşabın elastik özelliği gereği belli bir deformasyon kazanımı olmakta ancak ahşabın plastik özelliği gereği bir miktar deformasyon kalmaktadır. Yük, elastik sınırı ne kadar fazla aşarsa kalıcı deformasyon miktarı o kadar fazla olmaktadır. Yükün dışında kalıcı olan bu deformasyon miktarı üzerine ağaç türü (ahşap kökenli malzeme çeşidi), sıcaklık, rutubet ve kusurlar etkili olmaktadır. Burada yük, elastik sınır ve kırma yükü arasındadır. Kırma yüküne ulaşıldığında kırılma ile birlikte grafikte 3. Bölgeye geçilmiş olur.

Bu aşamada uygulanan yük artışı devam ederken, buna bağlı oluşan deformasyon artışları daha fazla oranda olmaktadır. Aynı birim yük artışı için meydana gelen deformasyonlar 1. Bölgeden daha fazla olmaktadır. Grafikte doğrusal bölgeden çıkmış, eğrisel bölgeye geçilmiştir. Bu bölgenin uzun olması, ahşabı kırmadan daha fazla deforme edilebilirliğini göstermektedir (Örneğin Ahşap bükme). Bu nedenle ahşabı daha kolay ve daha küçük yarıçaplara kırmadan bükülmek için ahşap rutubetlendirilerek ve ısıtılarak 2. Bölge uzunluğu arttırılmaya çalışılır (Şekil 3).

Şekil 3

Yük- deformasyon grafiğinde 2. bölge uzunluğu



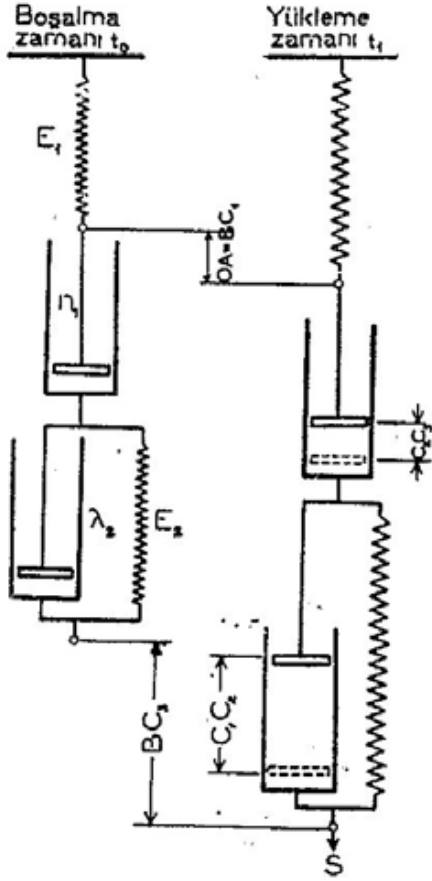
Belli bir yük çeşidi (Basma,çekme, eğme vb.) ile elastik sınırı aşarak kalıcı hale gelen deformasyon, daha az bir tersinir yük ile ortadan tamamıyla kaldırılabilir. Örneğin çekme yükü ile uzama şeklinde kalan bir deformasyon, aynı malzemeye tersine bir yük (basma) uygulamak suretiyle uzamış haldeki malzeme ilk boyutuna gelene kadar kısaltılabilir. Belli bir yöne eğilmiş ve kalıcı eğrilik oluşmuş ahşap, tersine eğme ile ilk haline döndürülebilir.

Ahşabın kimyasal birleşenlerinden selüloz ahşapta elastik davranışa, lignin ise plastik davranışa sebep olmaktadır. Reoloji malzemenin gerilme-şekil değişimini inceleyen bir bilim dalıdır. Ahşabın visko-elastik özelliklerinin açıklanmasında kullanılan reolojik modellerde spiral yay elastik davranışı, içi boş piston plastik davranışı sembolize etmektedir (Şekil 4). Elastik bölgede yüke bağlı olarak oluşan deformasyonlarda sadece Spiral yayların uzama veya kısalması söz konusu iken, 2. Bölgede spiral yaylarla birlikte içi boş pistonlar da hareket etmekte, yük kaldırıldığında spiral yaylar pistonların izin verdiği kadar deformasyonu geri

kazandırabilmekte, pistonların yükleme esnasında hareket etme miktarı kadar bir deformasyon kalıcı olmaktadır.

Şekil 4

Elastik ve viskoz elamanların yüke bağlı deformasyonları



Acıklama notu. Schmidt, A. X. and Marlies, C. A., 1948, Principles of High.Polymer Theory And Practice. McGraw-Hill Book Co. Inc., New York, Toronto, London kaynağından alınmıştır.

Belli bir yük çeşidi belli miktarda (elastik sınırı aşan, kırılma sınırına ulaşmayan) ardışık olarak ahşaba uygulanıp bırakıldığında (doldur-boşalt), kalıcı olan deformasyon miktarı başlangıçta fazla iken daha sonra gittikçe azalmaktadır. Ancak toplam deformasyonda artış meydana gelmektedir. Bu deformasyon artışı gittikçe azalarak belli bir yükleme-boşaltma sayısından sonra durmaktadır (Şekil 5). Bu noktada uygulanan aynı miktardaki yüke bağlı bir deformasyon artışı meydana gelmekte ve yük kaldırıldıktan sonra ahşap son haline geri dönmektedir. Diğer bir ifade ile başlangıçta plastik davranış gösteren ahşap, belli bir yükleme periyodundan sonra elastik davranış göstermektedir. Bu aşamada ahşaba uygulanan yük miktarı arttırılırsa bir önceki periyoda benzer şekilde yine kalıcı deformasyonlar meydana gelecek, bu deformasyon miktarları gittikçe azalma gösterecek, sonra malzeme yine elastik davranış gösterecektir. Bu şekilde yük artışları ahşabın kırılma sınırı yük değeri izin verdiği ölçüde yapılabilir ve her seferinde benzer bir değişim elde edilir. Burada ardışık yükler, statik ve dinamik olarak uygulanabilir. Bu şekilde uygulanan ardışık (periyodik) yüklerin, zamanla malzemede yorulma etkileri meydana getireceği unutulmamalıdır.

Şekil 5

Elastik sınırı aşan periyodik yüklemelerde ahşabın gerilme- deformasyon grafiği



Acıklama notu. Barkas, W.W., 1949, The Swelling of Wood under Stress. Dep. Sci. Ind.Res., for Prod.Res., London kaynağından alınmıştır.

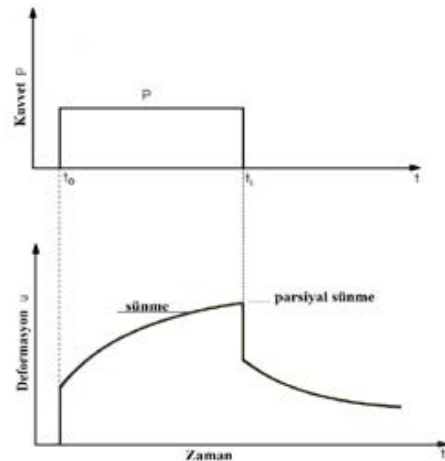
Ahşap, periyodik yükleme ve boşaltma dönemlerinde yüklü ve boş halde belli sürelerde bekletilirse visko-elastik davranış göstermektedir. Bu davranış sünme, parsiyal sünme ve relaksiyonu kapsamaktadır.

Sünme- Parsiyal Sünme

Ahşabın yük altında zamana bağlı olarak gösterdiği hem elastik ve hem de plastik (viskoz) davranıştır. Ahşaba belli bir yük uygulanıp sabit tutulduğunda, zamana bağlı olarak bir deformasyon artışı (sünme) meydana gelmekte, yükün kaldırılıp beklenmesi durumunda ise ahşapta oluşan bu deformasyonun bir kısmı geri kazanılmaktadır (Parsiyal sünme). Sonuçta bir miktar deformasyon kalıcı hale gelmektedir (Şekil 6). Kalıcı olan bu deformasyon miktarı üzerine ağaç türü, ahşap rutubeti, ahşap sıcaklığı, yük miktarı, bekleme süreleri, uygulanan ön işlemler etkili olmaktadır.

Şekil 6

Ahşabın Visko elastik Davranışı

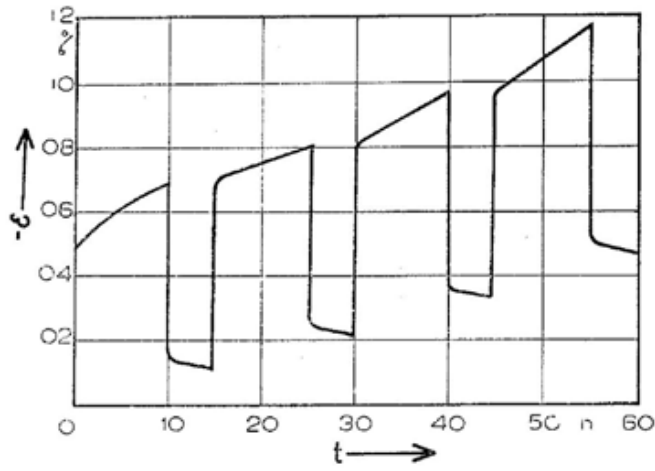


Acıklama notu. Jozsef Bodig, Benjamin A. Jayne. 1993, Mechanics of Wood and Wood Composites, Florida, USA kaynağından alınmıştır.

Yükleme-bekleme, boşatma-bekleme şeklinde tarif edilen bir doldur boşalt periyodu, tekrar tekrar yapıldığında her periyot sonunda kalıcı olan deformasyon miktarında artış meydana gelir. Ahşap rutubetinin artması her periyot sonunda daha fazla kalıcı deformasyona neden olmaktadır (Şekil 7). Benzer durum ahşap sıcaklığında artış olması durumunda da ifade edilebilir.

Şekil 7

Hava kurusu ahşapta liflere paralel basınç [500 kg/cm²] deneyinde zamana [60 dak.] bağlı olarak deformasyon grafiği



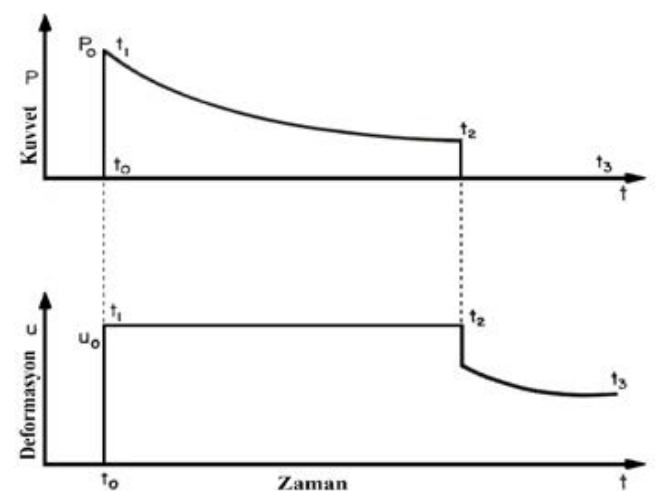
Açıklama notu. Kollmann, FFR 1962, Über das Rheologische Verhalten Von Buchenholz Verschiedener Feuchtigkeit bei Druckbeanspruchung langs der Faser. Materialprüfung 4 [9]: 313-319 kaynağından alınmıştır.

Relaksasyon

Gerilme relaksasyonu, ahşaba kuvvet uygulayarak verilmiş bulunan bir deformasyonun sabit tutulması için, uygulanması gereken kuvvetin zamana bağlı olarak azalması şeklinde tanımlanmaktadır (Jozsef Bodig, Benjamin A. Jayne. 1993). Uygulanan kuvvet ile ahşapta bir deformasyon oluşmakta ve zamana bağlı olarak

Şekil 8

Ahşapta Relaksasyon



Açıklama notu. Jozsef Bodig, Benjamin A. Jayne. 1993, Mechanics of Wood and Wood Composites, Florida, USA kaynağından alınmıştır.

uygulanan kuvvet miktarında ve deformasyonda bir artış ve azalış olmamaktadır (Şekil 8). Deformasyon oluşmuş ahşap içinde oluşan iç gerilmeler, gerilme relaksasyonu (gevşeme) ile zamanla azalma göstermekte, yeterince beklenmesi durumunda tamamiyle ortadan kalkmaktadır. Böylece deformasyon tamamen kalıcı hale gelmektedir. Bükmede, ahşabın bu mekanik özelliğinden faydalanılmaktadır. Relaksasyon hızı, ağaç türü, rutubet, sıcaklık, kimyasal yapı ve uygulanan ön işlemlere göre farklılık gösterir. Ahşap rutubet ve sıcaklığının artırılması ile relaksasyon hızı artırılabilir.

Plastik Özellikler (Direnc Özellikleri)

Direnc kırılma anındaki gerilmedir. Diğer bir ifade ile ahşapta kırılmaya neden olan maksimum yükün birim alana düşen miktarıdır. Yük- deformasyon grafiğinde artık III. Bölgeye geçilmiş ve ahşapta hiçbir şekilde geri kazanılamayan tam deformasyon (kırılma) meydana gelmiştir. Uygulanan yükün çeşidi ve şekline göre direnc özellikleri isimlendirilir (Örneğin statik basınç direnci, dinamik eğilme direnci vb.). Direnc ifadesi, maksimum yüke ulaşıldığını, ahşabın kırılarak kalıcı tam deformasyon meydana geldiğini tanımlar. Kırılma sınırının altındaki yük değerlerinin birim alana düşen miktarı için 'gerilme', kırılmaya neden olan maksimum yük değerlerinin birim alana düşen miktarı için 'direnc' ifadeleri kullanılmaktadır.

Uygulanan yükün çeşidine bağlı olarak (basma, çekme, eğme vb.) basınç, çekme, eğilme vb. direnci şeklinde isimlendirilir. Yüklemeye şekline göre (dinamik, statik, yorma) statik basınç, dinamik eğilme direnci vb. şeklinde ifade edilir.

Kuvvet uygulama yönü ile ahşabın liflerinin gidiş yönüne göre liflere paralel ve liflere dik direnc değerlerinden bahsedilir. Genel olarak masif ahşapta liflere paralel direnc değerleri liflere dik direncden fazladır. Ayrıca radyal ve teğet yönlerde yapılan yüklemelere göre radyal ve teğet dirençlerden bahsedilir. Lif-yongalevha gibi levha halindeki malzemede ise levha yüzüne paralel, levha yüzüne dik direnc söz konusudur. Tabakalı ağaç malzemede levha uzun kenarına paralel veya dik dik direnc ayrımı vardır.

Ahşapta en yüksek direnc, liflere paralel çekme direncidir ve burada ahşabın ultramikroskopik ve mikroskopik yapısı etkili olmaktadır.

- Ultramikroskopik etki: Hücre çeperini oluşturan tabakalardan S₂ tabakasında mikrofibriller hücre boyuna eksenine yaklaşık 20° lik açı ile uzanmaktadır (S₁ ve S₃ tabakalarında mikrofibril uzanış açısı hücre boyuna eksenine yaklaşık olarak diktir).
- Mikroskopik etki: Ağaç malzemeyi oluşturan hücreler büyük oranda ağaç boyuna eksenine paraleldir.

Ahşap mikrofibrillerini çekerek koparmak, birbirinden ayırmaktan çok daha zordur. Bu nedenle ahşapta liflere paralel çekme direnci en yüksek direnc çeşididir. Yine bu nedenlerden dolayı masif ahşapta yarılmaya direnci en düşük direnc çeşididir.

Liflere paralel çekme örneklerinin hazırlanmasında ve deneyin yapılmasında çok dikkatli olunması gerekir. Ahşapta en yüksek mekanik değeri liflere paralel çekme direnci vermektedir ancak kusurlardan (budak, çatlak, lif sapması vb.) olumsuz yönde en çok etkilenen de bu dirençtir.

Direnç Tanımları

Yükün çeşidine bağlı olarak farklı dirençlerden bahsedilir. Bazı direnç tanımları aşağıda verilmiştir.

Çekme direnci: Aksi yönlerde tesir eden ve ahşap liflerini ayırmaya, koparmaya çalışan kuvvetlere karşı gösterilen maksimum gerilme,

Basınç direnci: Birbirine ters yönlerde tesir eden ve ağaç malzeme sıkıştırmaya, ezmeye çalışan kuvvetlere karşı gösterilen maksimum gerilme,

Yarılma direnci: Bir ağacın lifleri arasına giren ve onu ayırmaya çalışan kama şeklindeki alete gösterilen maksimum gerilme,

Torsiyon (Burulma) direnci: Ahşabı kendi eksenini etrafında ters yönlerde dönmeye zorlayan kuvvetlere karşı gösterdiği direnç,

Makaslama (kesme) direnci: ahşabı aynı düzlem üzerinde aksi yönlerde kaydırmaya ve birbirinden ayırmaya çalışan kuvvetlere karşı gösterilen maksimum gerilme.

Makaslamada liflere dik direnç genelde bulunmaz. Çünkü ahşap, maksimum yüke ulaşmadan önce başka nedenlerden dolayı kırılır (Desch, H.E., 1973). Ahşap için en önemli dirençler, paralel eğilme, basınç ve makaslama dirençleridir.

Direnç Özelliklerinin Belirlenmesi

Mekanik direnç denemeleri belirli standartlara göre yürütülmektedir. Farklı direnç çeşitleri (eğilme, basınç, makaslama, vb), ağaç malzeme (masif, ahşap levha, lamine vb), boyut (standart, büyük) için farklı standartlar kullanılır. Ayrıca farklı bağlayıcılar (tutkal, çivi, vida, metal konnektör) için mekanik test standartları mevcuttur. Malzeme ve ürün (mobilya, ahşap yapı ve elemanları) bazında standartlar, mekanik testler için kullanılmaktadır. Kağıt ve ürünlerinin mekanik testleri için de kullanılan standartlar vardır.

Standart boyuttaki masif ahşap örneklerin mekanik testleri için günümüzde yürürlükte olan TS ISO 13061 standartları kullanılmaktadır.

- TS ISO 13061-3 Statik eğilmede nihai mukavemet tayini, Kabul tarihi: 02.12.2021
- TS ISO 13061-4 Statik eğilmede elastikiyet modülünün tayini, Kabul tarihi: 02.12.2021
- TS ISO 13061-5 Liflere dik basınçta mukavemet tayini, Kabul tarihi: 02.12.2021
- TS ISO 13061-6 Liflere paralel nihai çekme geriliminin tayini, Kabul tarihi: 02.12.2021
- TS ISO 13061-7 Liflere dik nihai çekme geriliminin tayini, Kabul tarihi: 02.12.2021
- TS ISO 13061-10 Çarpmaya karşı eğilme mukavemetinin tayini, Kabul tarihi: 02.12.2021
- TS ISO 13061-11 Çarpmaya karşı delinme mukavemetinin tayini, Kabul tarihi: 02.12.2021
- TS ISO 13061-12 Statik sertliğin tayini, Kabul tarihi: 02.12.2021
- TS ISO 13061-17 Liflere paralel basınç altında nihai gerilimin belirlenmesi, Kabul tarihi: 30.09.2019

Mekanik deney örnekleri, ilgili standardın ön gördüğü boyut ve şekilde hazırlanır ve %65±5 bağıl nem, 20°C sıcaklık şartlarında klimatize edilir. Bu şartlarda bekleyen ve değişmez ağırlığa ulaşan mekanik deney örneklerinin sıcaklığı 20°C Denge rutubet miktarı (DRM) %12 olur. Klimatizasyon işleminden sonra örnek kesit ölçüleri (b,h) alınır.

Mekanik testler, ilgili standardın ön gördüğü şekilde ve deney hızında yapılır. Deney, örnek kırılana kadar devam eder. Kırılma yük değeri olan Pmax bulunduktan sonra hesaplamalara geçilir.

Yüklemeye çeşidine bağlı olarak ahşap kesiti içinde aynı tür gerilmenin oluşması durumunda (Sadece basınç veya çekme, makaslama, yarılma gibi) direnç;

$$\sigma = \frac{P_{max}}{F} \quad P_{max} = \text{Maksimum}$$

Yük değeri (N), F=Ahşap kesit alanı (mm²)

$F = b \cdot h$ b= Örnek genişliği, h= Örnek yüksekliği (mm) eşitliği ile hesaplanır.

Buradaki F ahşap kesit alanı, yükün maksimuma ulaşması ile kırılmanın oluşacağı alandır. Bu alanı bulmak üzere b ve h ölçüleri, kırılmanın meydana geleceği kesit dikkate alınarak alınır. Deney- sel hata ya da ahşap kusurlarına bağlı olarak ölçü alınan kesitte kırılma olmamışsa ve/veya ön görülmeyen şekilde bir kırılma olmuşsa deney iptal edilir.

Liflere paralel ve dik basınç, liflere paralel ve dik çekme, makaslama, yarılma dirençlerinin bulunmasında yukarıdaki eşitlik kullanılır ve deneyde ahşaba basma, çekme, makaslama, yarma kuvvetleri uygulanır. Liflere paralel basınç direncinde ahşap uzunluğunun kısa kenar boyutuna oranının (L/h), 11 ve üstüne çıkması durumunda oluşan flambaj etkilerinden dolayı basınç direncinin bulunmasında farklı eşitlikler kullanılır.

Eğilme direnci denemelerinde ise dayanak noktaları arasına konulan ahşaba eğme yükü uygulanır ve buna bağlı olarak ahşapta 3 farklı gerilme oluşur. Yükün uygulandığı tarafta (eğilme tarafı) basınç, aksi tarafta çekme, ikisinin arasında (ahşap yüksekliğin yaklaşık yarısında) makaslama gerilmeleri meydana gelir. Yükün artması ile bu gerilme miktarları artar ve hangisinde ahşabın karşı koyabileceği maksimum gerilmeye ulaşırsa ahşap, o bölgeden kırılır. Buna göre kırılma, basınç, çekme, makaslama kırılması şeklinde adlandırılır.

Eğilme direncinin bulunmasında aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$\sigma_e = \frac{3}{2} \times \frac{P_{max} \cdot l_s}{b \cdot h^2} \quad (N/mm^2)$$

Bu formül 3 noktalı (iki dayanak ve bir ortadan yükleme noktası) deney için geçerlidir. İki yada çok noktalı (Yayıllı) yüklemelerde eğilme direncinin bulunması için farklı eşitlikler kullanılır.

Tüm eğilme grubu (eğilme direnci, dinamik eğilme, eğilmede elastiklik modülü) mekanik deneylerde yükleme radyal yüzeylerden

yıllık halkalara teğet yönde yapılır. Bu nedenle örnek en kesitlerinde yıllık halkalar bir kenara paralel komşu kenara dik olmalıdır. Diğer bir ifade ile örnekler tam radyal, tam teğet olacak şekilde hazırlanmalıdır. Teğet yöndeki direnç radyal yöne göre bir miktar daha düşük olduğu için bu uygulama yapılmaktadır.

Mekanik Özellikleri Etkileyen Faktörler

Ahşapta mekanik özellikleri etkileyen çok farklı faktörler söz konusudur. Bu faktörler uygulanan kuvvetle ve ahşapla ilgili faktörler şeklinde 2 grup altında ifade edilebilir.

Uygulanan Kuvvetle İlgili Faktörler. Uygulanan dış kuvvetin (yükün) çeşidi, süresi, yönü ve miktarı, ahşabın mekanik performansını artırıcı ya da azaltıcı yönde etkilemektedir.

Aynı ağaç malzemede, yükleme çeşidine göre farklı mekanik değerler elde edilmektedir. Ahşapta en yüksek direnç liflere paralel çekme direncidir. Sonra sırasıyla eğilme, liflere paralel basınç, burulma, makaslama, dik basınç, şeklindedir. Ahşapta en düşük direnç yarıлма direncidir. Yükleme çeşidine göre direnç değerlerinin değişimi aşağıda verilmiştir.

Bazı ağaç cinslerinin statik direnç değerleri (Berkel, A. 1970).							
Direnç (kg/cm ²)	Çam	Ladin	Melez	Kayın	Meşe	Dişbudak	Akasya
Paralel Çekme	1190	900	1070	1350	900	1650	1360
Paralel Eğilme	1000	780	990	1230	1100	1200	1361
Paralel Basınç	550	500	550	620	650	520	730
Paralel Burulma	160	90	-	150	200	190	250
Paralel Makaslama	100	67	90	150	110	128	18
Dik Basınç	77	58	75	-	110	110	199
Dik Eğilme	57	46	75	142	135	113	-
Dik Burulma	46	34	-	-	-	110	160
Dik Çekme	30	38	50	107	90	112	81
Yarıлма	4,6	5,1	5,2	8,6	8,8	9,6	6,2

Yükleme süreleri de mekanik özellikleri etkilemektedir. Dinamik, statik ve yorma yüklemelerine göre direnç değerleri farklılık gösterir. Saniyenin binde biri sürede yapılan yüklemeler ile elde edilen mekanik dirençler daha yüksektir. Ahşap bir kiriş, statik yükün %150 kadar daha fazla olan bir dinamik yüke karşı koyabilir. Dinamik eğilme direncinin yüksek olması esnekliği, düşük olması gevrekliği ifade eder. Statik yüklemeler sonucu elde edilen dirençler dinamik dirençlere nazaran daha düşüktür ancak ahşabın çokça maruz kaldığı yorma yüklemeleri sonucunda bulunan

direnç değerlerinden daha yüksektir. Bu bağlamda yorma yüklemeleri daha düşük direnç değerleri verir ve dirençteki azalma yorma yükleme sürelerinin artmasına bağlı olarak devam eder. Örneğin liflere paralel basınç yorma yüklemesinde direnç, kısa süreli direncin %60 ına, liflere paralel çekme yüklemesinde %50 hatta %40 ına düşebilir (Bozkurt T., Göker Y., 1987). Sonuç olarak yükleme şekline göre direnç sıralaması, Dinamik direnç > Statik direnç > Yorma direnci şeklinde yapılabilir.

Bazı ağaç cinslerine ait dinamik eğilme, değişken yüklemeli sürekli (yorma) eğilme direnci ile statik eğilme dirençleri aşağıda verilmiştir (Berkel, A., 1970).

Ağaç türü	Direnç (kg/cm ²)	
	Statik eğilme direnci	Yorma eğilme direnci
Sarıçam (Diri odun)	955	360
Ladin	780	195
Douglas	1052	281
Meşe	745	224
Dişbudak	1220	360
Ceviz	1400	420

Dinamik eğilme (kgm/cm ²)	
Çam	0,40
Ladin	0,46
Melez	0,60
Kayın	1,00
Meşe	0,60
Dişbudak	0,68
Akasya	1,35

Yükün uygulama doğrultusu (yönü) ahşabın mekanik özellikleri üzerine etkisi olmaktadır. Liflere paralel yönde etki eden kuvvetlere karşı ahşap, genel olarak daha yüksek mekanik performans gösterirken liflere dik yönde etki eden kuvvetlere karşı mekanik değerlerde düşme olmaktadır. Ahşap anizotropik bir malzeme olduğundan farklı yönlerde farklı mekanik özellikler göstermektedir.

Başlangıç yüklemelerinde (düşük miktartlı yüklemelerde) ahşap, elastik davranış gösterirken, yükün miktarının artmasına bağlı olarak visko-elastik ve plastik davranış göstermektedir. Bu husus, önceki bölümlerde açıklanmıştır.

Ahşapla İlgili Faktörler. Yük uygulanan yüzeyin şekli, büyüklüğü, ahşabın gerilme şekli, hal ve durumu da karşı koymayı etkilemektedir (Bozkurt T., Göker Y., 1987).

Ahşabın sahip bulunduğu en kesit şekli ve ölçüleri direnç değerleri etkileyebilmektedir. Örneğin ahşap uzunluğunun kısa kenar boyutuna olan oranı (L/d) arttıkça oluşan flambaj etkilerinden dolayı basınç direnci azalma göstermektedir. Ayrıca, aynı kesit yüz ölçüsüne sahip olmak şartıyla kare kesitli ahşap daire kesitli olana nazaran daha yüksek basınç direnci vermektedir.

Ayrıca L/d oranı arttıkça eğilme direnci önce hızlı bir artış göstermekte L/d oranı 15'e eşit ya da daha büyük olması ile dirençte önemli bir artış olmamaktadır (Bozkurt T., Göker Y., 1987).

Kare kesitli malzemede elastiklik modülü karenin kenar uzunluğunun artması ile biraz azalmaktadır. Başlangıçta dikdörtgen kesitli malzemede ise elastikiyet modülü dikdörtgenin yüksekliğinin genişliğine oranı arttıkça yükselmektedir.

Dinamik eğilme direnci de L/d oranına göre değişmektedir. Bu oran belli bir değerde iken dinamik eğilme direnci minimum olmakta, bu değer in altında ve üstünde artış göstermektedirler. Ayrıca enine kesit yüksekliği ve dayanak noktaları arasındaki mesafe aynı kalmak kaydıyla enine kesit genişliğinin artması ile dinamik eğilme direnci belirgin bir şekilde artmaktadır.

Ahşabın çeper maddesine zarar veren mantarların sebep olduğu çürümeler, yoğunluğu düşürmekte ve direnç azalmaktadır. Mantarların çeper maddesine verdiği zarar ölçüsünde direnç kayıpları artabilmektedir. Ayrıca mantarların ahşap rutubetini arttıran faaliyetlerinden dolayı mekanik değerlerde düşme meydana gelmektedir. Başlangıç çürüklüğü bile mekanik özelliklerde olumsuz etkiye neden olur. Küflenme ya da mavi renklenmenin etkisi sınırlı iken özellikle mavi renklenme şok direncini büyük oranda azaltmaktadır.

Kimyasal yapı bakımından bir değerlendirme yapmak gerekirse, lignin ahşapta basınç direncini, selüloz ise çekme direncini arttırmaktadır. Dinamik eğilme denemelerinde kırılmalar lignince daha zengin olan orta lamelden olduğu, statik basınç denemelerinde ise öncelikle segonder çeperin kırıldığı bilinmektedir.

Anatomik yapı, ahşabın mekanik özelliklerini etkileyen diğer bir önemli faktördür. Birim alandaki hücre (trahe, traheid, parankim) sayısı, hücre genişliği, lümen genişliği, çeper kalınlığı, hücre uzunluklarına bağlı olarak yoğunluk değişirken mekanik karşı koyma da değişmektedir. Örneğin birim alandaki hücre sayısının azalması hücre genişliklerinin artması ile olur. Çeper kalınlıklarının azalması ile birlikte yoğunluk azalır ve birim alanda ahşaba uygulanan kuvvete karşı koyan çeper maddesi miktarı azaldığından direnç düşme gösterir. Geniş yapraklı ağaçlarda trahelerin sayısı azaldıkça (çapı arttıkça) sertlik değerleri azalır. Ayrıca ahşapta öz ışınlarının çok olması yarılmaya direncini düşürürken çatlak oluşma ihtimalini de arttırmaktadır (Örneğin meşe).

Makroskopik yapı da mekanik değerlere etki eder. İbrelilerde yıllık halka genişliğinin artması ile yoğunluk azalırken mekanik performans da azalmaktadır. Aksi durum için tersi söz konusudur. Geniş yapraklı ağaçlarda ise genel olarak yıllık halka genişliğinin artması ile yoğunluk artmakta mekanik performans ta artmaktadır. Burada yoğunluk artışı yaz odun katılım oranının artması ile olmaktadır. Bu da mekanik özellikleri etkilemektedir.

Genel olarak daha yüksek yoğunluğa sahip olan geniş yapraklı ağaç türleri, iğne yapraklılara nazaran daha yüksek mekanik

değerlere sahiptir. Daha düşük yoğunluğa sahip geniş yapraklı ağaçlar ile nispeten daha yüksek yoğunluğa sahip ibrelili ağaçlarda bu durum farklılık gösterebilir. Burada mekanik özellikler üzerine etkili olan temel faktör yoğunluktur. Yoğunluk artışı ile mekanik değerler yükselirken azalışı ile düşmektedir. Ancak yoğunluk artışı, birim hacimdeki hücre çeper maddesinin artmasına bağlı olmalıdır. Ahşap içindeki rutubet, yabancı maddeler (reçine, sakız vb.) yoğunluğu arttırırken direnci arttırmamakta aksine azaltmaktadır.

Ahşap, higroskopik bir malzemedir. Ortam şartlarına bağlı olarak absorpsiyon ya da adsorpsiyon yolu ile rutubet alır. Kuruma olursa da bünyesinden rutubet verir. Ahşap rutubeti, mekanik özellikleri etkileyen diğer bir önemli faktördür. Bu etki, higroskopik rutubet sınırları içinde olur. Diğer bir ifade ile %0 ve LDN rutubet sınırları arasında mekanik özelliklerde değişim olur. LDN sonrası bir değişim olmaz. Bunun başlıca iki nedeni vardır:

- Rutubet alma ya da vermeye bağlı olarak birim alandaki çeper maddesi miktarı değişmektedir.
- Ahşap miselleri arasına su molekülleri girmesiyle kohezif kuvvetlerde azalma, çıkmasıyla, artma meydana gelmektedir.

LDN sonrası bu faktörün etkisi kalmaz çünkü ahşap miselleri arasına artık su girmez. Bu nedenle de LDN üstü rutubetlerde mekanik özelliklerde bir değişim olmaz. Ahşap, rutubet aldıkça direnç değerleri azalır, kurudukça artar. Ancak %8 rutubetin altında paralel çekme direncinde, %5 in altında eğilme direncinde bir miktar azalma olur (Bozkurt T., Göker Y., 1987). Bunun nedeni, selüloz makro-moleküllerinin tam kuru halde bir ön gerilmeye sahip olmalarıdır (Kollmann, 1951). Belirli ahşap rutubet değerleri arasında direnç-rutubet ilişkisi doğrusallık gösterir. Farklı direnç çeşitleri için bu rutubet sınır değerleri değişir. Bu sınır değerleri arasında herhangi bir rutubet değeri için ahşabın direnç değeri biliniyorsa yine bu rutubet sınır değeri içinde kalan farklı bir rutubet değeri için ahşabın direnç değeri hesaplanabilir. Bunun için kullanılan rutubet tahvil (çeviri) formülleri vardır.

Sıcaklık, ahşabın mekanik özelliğini etkileyen diğer bir faktördür. Ahşap sıcaklığının artmasına bağlı olarak direnç değerleri azalır, tersi durumda artış meydana gelir. Donmuş ahşabın direnç değerleri daha yüksektir.

Burada belirtmek gerekir ki rutubet-sıcaklık-kusur gibi faktörlerin kombine etkisi direnç değerlerini daha fazla düşürmekte ve mekanik özellikleri olumsuz olarak daha fazla etkilemektedir. Örneğin Rutubetli ahşapta budakların basınç direnci üzerindeki olumsuz etkisi daha fazladır. Benzer şekilde rutubetli ahşabın sıcaklığı da arttığı zaman çekme direnci daha fazla azalır. Ancak sıcaklık artışı ile ahşapta kuruma olması durumunda direnç değerlerinde sıcaklığın olumsuz etkisine rağmen bir miktar artış meydana gelir.

Lif sapması, budaklar, çatlak-kertik vb. kusurlar da mekanik özellikleri düşürücü etki yaparlar. Lif sapması ağaçtan kaynaklı (lif kıvrıklılığı) ya da biçmeden kaynaklı (diyagonal) olabilir. Ancak her iki durumda da sonuç aynıdır ve özellikle düşük lif sapmalarında yüksek direnç kayıpları yaşanır. 0° lik lif sapması ile liflere paralel direnç, 90° lik lif sapması ile liflere dik direnç elde edilir. Bu iki direnç (ya da elastiklik modülü) biliniyorsa belli bir lif açısı olan ahşabın mekanik değeri, Hankinson formülü ile hesap yoluyla bulunabilir.

Budaklar, lokal lif sapmasına neden olurlar. Ağaç gövdesi içindeki dal odunu oldukları için lifleri gövde liflerine diktir. Ayrıca yoğunlukları yüksek olduğu için daralma ile genelde çatlak oluşturlar. Bütün bu faktörler ayrı ayrı ya da kombine olarak mekanik özellikleri olumsuz etkilerler. Budak büyüklüğü ve/veya çokluğu da önemlidir.

Kertikler ve çatlaklar ahşap dokusunda kesinti oluşturlar. Dolaşımı ile mekanik özellikleri azaltırlar. Ancak azalma oranı bulunma oranı ile orantılı değildir. Örneğin, kertik nedeniyle enine kesitte 1/3 oranında azalma, çekme direncinde %50, 1/2 lik azalma dirençte %85 lik düşmeye neden olur (Bozkurt T., Göker Y., 1987). Ayrıca kusurlardan olumsuz yönde en fazla olumsuz etkilenen direnç çekme direncidir.

Coğrafi orijin, yetiştirme muhiti şartlarına bağlı olarak mekanik özellikler değişme göstermektedir. Çevre kirliliği (hava, su, toprak kirliliği), iklim değişikliği (sıcaklık artışı, su azlığı) gibi faktörler, ağacın mekanik özelliklerini olumsuz etkilediği gibi aynı zamanda doğal dayanıklılığını da düşürmekte ve ağaçların doğal ömürleri kısalmaktadır.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Declaration of Interests: The author declares that there are no competing interests

Kaynaklar

- Barkas, W.W., (1949). The Swelling of Wood under Stress. *Dep. Sci. Ind. Res.*, for: Prod. Res., London
- Berkel, A., (1970). *Ağaç Malzeme Teknolojisi*, İ.Ü. yayın no:1448, O.F yayın no: 147, İstanbul.
- Bozkurt T., Göker Y., (1987). *Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi*, İ.Ü. yayın no:3445, O.F yayın no: 388, İstanbul.
- Desch, H.E., (1973). *Timber, Its Structure and Properties*, Fifth Edition, Macmillan
- Gao, Z., Zhang, X., Wang, Y., Yang, R., Wang, G., and Wang, Z. (2016). "Measurement of the Poisson's ratio of materials based on the bending mode of the cantilever plate," *BioRes.* 11(3), 5703-5721. [\[Crossref\]](#)
- Jozsef Bodig, Benjamin A. Jayne. (1993). *Mechanics of Wood and Wood Composites*, Florida, USA.
- Knigge, W., und Schulz, H., (1966). *Grundriss der Forstbenutzung*. Verlag Paul Parey, Hamburg-Berlin.
- Kollmann, FEP, (1951). *Technologie des Holzes der Werkstoffe*, Vol. I, 2nd, SpringerVerlag, Berlin, Göttingen.
- Kollmann, FEP (1962). Über das Rheologische Verhalten Von Buchenholz Verschiedener Feuchtigkeit bei Druckbeanspruchung langs der Faser. *Materialprüfung* 4 (9): 313-319. [\[Crossref\]](#)
- Kollmann, FEP and W.A. Cote, Jr., (1968). *Principles of Wood Science and Technology*. I Solid Woods, SpringerVerlag, Berlin.
- Pellerin R., F., and Ross R., J., (2002). *Nondestructive Evaluation of Wood*. Forests Products Society, WI, USA.
- Schmidt, A. X. and Marlies, C. A., (1948). *Principles of High Polymer Theory And Practice*. McGraw-Hill Book Co. Inc., New York, Toronto, London.
- Sun, Y. F. (1999). *Textbook of Lumber Manufacturing Technology*, China Forestry Press, Beijing, China. Tan, S. X., and Zhou, D. G. (2007). *Wood Industry Handbook*, China Forestry Press, Beijing, China

BÖLÜM 5

TİCARETTE ÖNEMLİ AĞAÇ TÜRLERİ

Fatma Diğdem TUNCER
Ayşe Dilek DOĞU

Ticarette Önemli Ağaç Türleri

Important Wood Species in Trade

BÖLÜM HAKKINDA

Ağaç türü teşhisi ahşap işleyen endüstriler, yarı mamul ve mamul halde ticaretini yapan kuruluşlar için olduğu kadar botanik, antropoloji, arkeoloji, sanat tarihi, etnografya, konservasyon, restorasyon, kriminoloji gibi farklı disiplinler için de oldukça önemlidir. Klasik odun teşhis yöntemleri olarak kabul edilen ve ahşabın makroskobik ve mikroskobik yapısını incelemeye dayanan yöntemler günümüzde en yaygın olarak kullanılan ve güvenilir teşhis yöntemleridir. Bu iki yöntem birbiri ile karşılaştırıldığında mikroskobik teşhis makroskobik teşhise göre laboratuvar şartlarında nispeten uzun hazırlık ve inceleme sürelerini ve bu konuda uzmanlaşmış olmayı gerektirmektedir. Bu bölümde; konunun uzmanı olmamakla birlikte özel ilgi duyan kişiler dikkate alınarak, ülkemizde ticarete sıklıkla kullanılan iğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaç türlerinin makroskobik özellikleri ve kullanım alanları ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Anahtar kelimeler: İğne yapraklı ağaç odunları, geniş yapraklı ağaç odunları, ahşap teşhisi, ahşap ticareti

ABOUT the CHAPTER

Wood identification is very important for wood processing industries and organizations that trade semi-finished and finished wood as well as for different disciplines such as botany, anthropology, archaeology, art history, ethnography, conservation, restoration and criminology. The methods based on examining the macroscopic and microscopic structure of wood, which are considered as conventional wood diagnostic methods, are the most widely used and reliable diagnostic methods today. When these two methods are compared with each other, microscopic diagnosis requires relatively long preparation and examination times under laboratory conditions and specialization in this field compared to macroscopic diagnosis. In this chapter; taking into account those who are not experts but only interested in this subject, macroscopic characteristics and usage areas of softwood and hardwood species frequently used in trade in our country were given.

Keywords: Softwood, Hardwood, wood identification, wood trade

Giriş

Bu bölümde ülkemizde ticarete sıklıkla kullanılan, doğal olarak yetişen (yerli) ve ithal edilen ağaç türleri makroskobik özellikleri ve kullanım yerleri açısından ele alınmıştır. İncelenen ağaç türleri bilimsel isimlerine göre alfabetik sıra ile iğne yapraklı ve geniş yapraklı, yerli ve ithal olmak üzere gruplandırılarak sıralanmış; her türe ait enine kesit görüntüleri verilmiştir. İğne yapraklı ağaç odunlarından Uludağ göknarı (Şekil 1, Tablo 1), Toros sediri (Şekil 2, Tablo 2), Doğu ladini (Şekil 3, Tablo 3) ve Sarıçam (Şekil 4, Tablo 4); geniş yapraklı ağaç odunlarından Siğilli huş (Şekil 5, Tablo 5), Anadolu kestanesi (Şekil 6, Tablo 6), Doğu kayını (Şekil 7, Tablo 7), Adi dişbudak (Şekil 8, Tablo 8), Adi ceviz (Şekil 9, Tablo 9), Kara kavak (Şekil 10, Tablo 10), Sapsız meşe (Şekil 11, Tablo 11) ve Gümüş ıhlamur (Şekil 12, Tablo 12); egzotik ağaç odunlarından Iroko (Şekil 13, Tablo 13), Sapelli (Şekil 14, Tablo 14), Afrika mahunu (Şekil 15, Tablo 15), Meranti (Şekil 16, Tablo 16), Teak (Şekil 17, Tablo 17), Frake (Şekil 18, Tablo 18) ve Ayous (Şekil 19, Tablo 19) türleri ele alınmış ve teşhiste faydalanılacak makroskobik özellikleri tablo formunda verilmiştir (Erdin ve Bozkurt 2013; Dallwitz ve ark. 2022; InsideWood 2022; Meier 2023). Bu bölümde verilen makroskobik özelliklere ait ayrıntılı bilgiler "Ahşabın Anatomik Yapısı" bölümünde ayrıntılı şekilde açıklanmıştır.



Fatma Diğdem Tuncer

Ayşe Dilek Doğu

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Orman Biyolojisi ve Odun Koruma Teknolojisi Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye
E-posta: fdigdemt@iuc.edu.tr
addogu@iuc.edu.tr

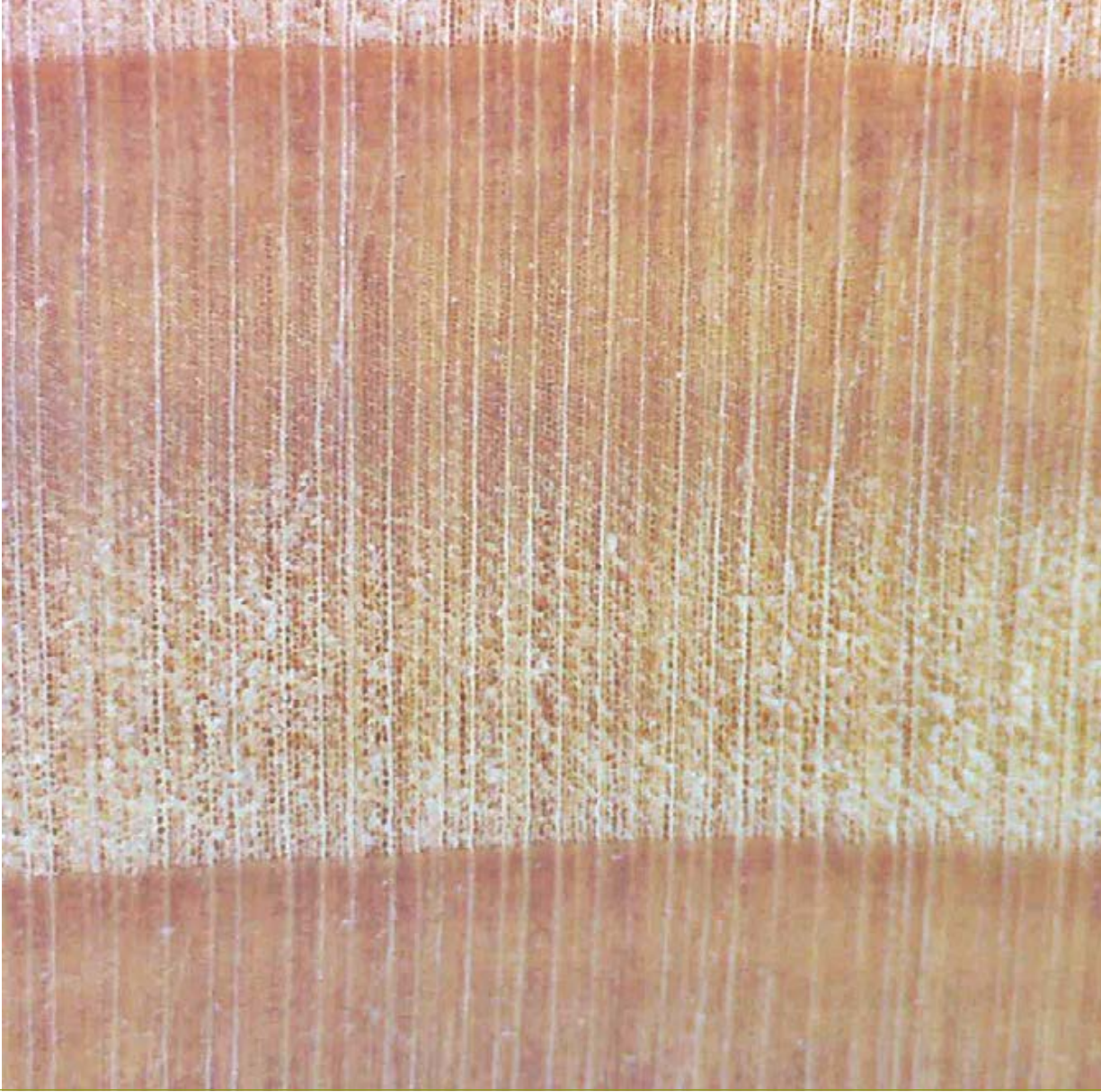
Bu bölümü alıntıla / Cite this chapter as:
Tuncer, F.D., Doğu, A.D. (2024). Ticarete Önemli Ağaç Türleri. T. Akbulut (Ed.), *Ahşap: Doğal ve yenilenebilir mühendislik malzemesi* içinde (s. 70-90) İstanbul: İÜC Üniversite Yayınevi



CC BY 4.0: Telif hakkı yazarlardadır. Bu kitabın içeriği Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası lisans altında lisanslanmıştır.

Şekil 1

Uludağ göknarı enine kesit görüntüsü.



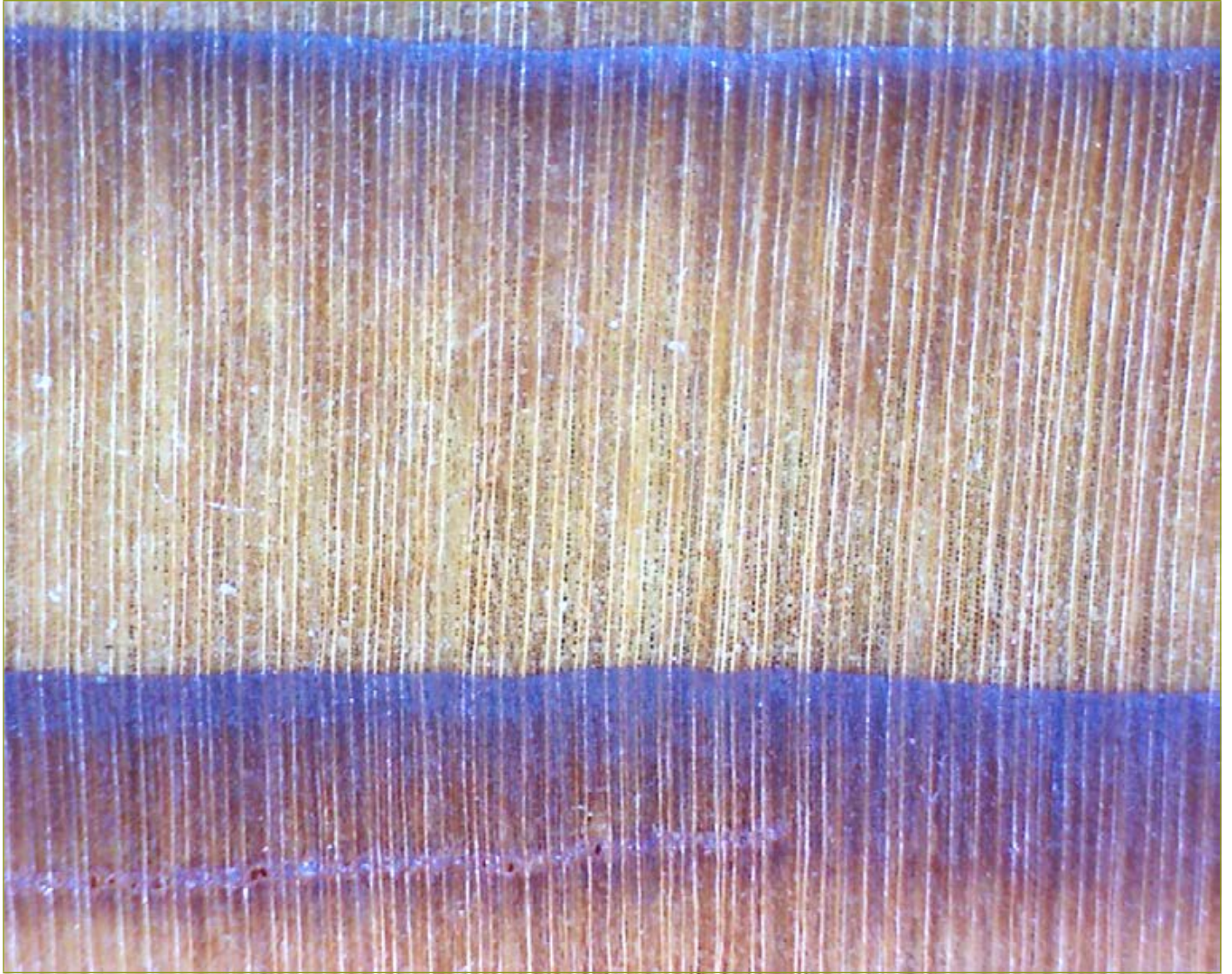
Tablo 1

Uludağ göknarı makroskobik teşhis özellikleri

Latince Adı	<i>Abies bornmülleriana</i> Mattf.
Ticari Adı	Uludağ göknarı – Turkish fir
İğne Yapraklı- Geniş Yapraklı	İğne yapraklı – Yerli
Öz Odun-Diri Odun	Diri odun ve öz odun renk bakımından farklı değildir. Odunun rengi sarımsı beyaz ile gri beyazdır.
Yıllık Halka	Yıllık halka sınırları belirgindir. İlkbahar odunundan yaz odunu tabakasına geçiş yavaştır.
Öz Işını	Çok incedir.
Boyuna Paransim	Mikroskobik olarak görülebilir.
Kanallar	Doğal reçine kanalı yoktur.
Ek Özellikler	Yumuşak ve hafif bir oduna sahiptir. Odunu mat olup, düzgün biçilmiş radyal kesitlerde öz ışınları ince ve parlak şeritler halinde görülebilir.
Kullanım Yeri	Bina inşaatında iç kısımlarda, cephe kaplaması, kapı ve pencere doğramalarında, mobilya üretiminde ara ve iç kısımlarda, ambalaj ve kağıt sanayiinde kullanılmaktadır.

Şekil 2

Toros sediri enine kesit görüntüsü



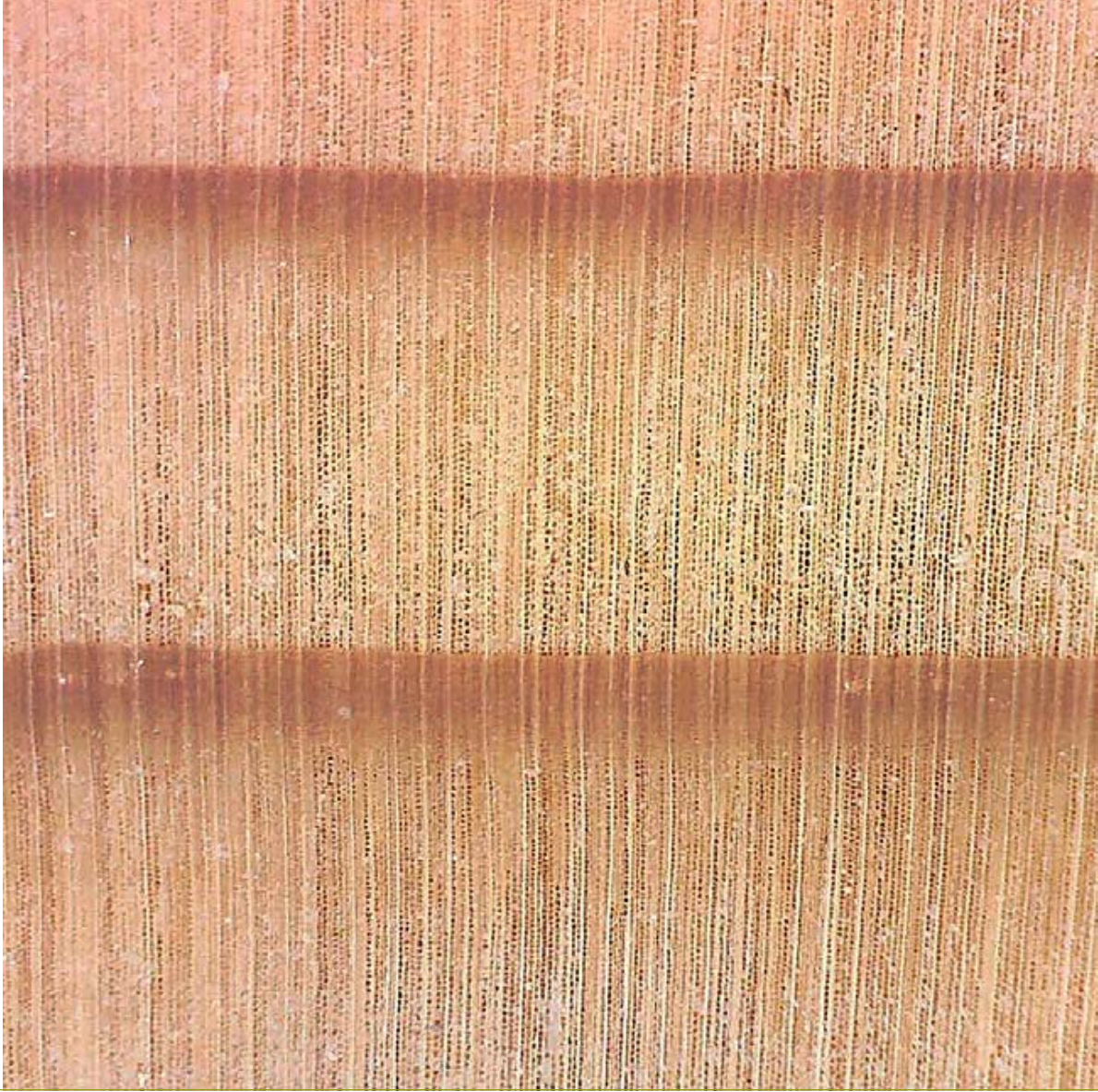
Tablo 2

Toros sediri makroskobik teşhis özellikleri

Latince Adı	<i>Cedrus libani</i> A. Rich
Ticari Adı	Toros sediri – Lebanon cedar
İğne Yapraklı- Geniş Yapraklı	İğne yapraklı – Yerli
Öz Odun-Diri Odun	Diri odun geniş, hafif kırmızımsı beyaz ile sarımsı beyaz tonda, öz odun açık sarımsı kahverengi ile kırmızımsı kahverengindedir.
Yıllık Halka	Yıllık halka sınırları belirgindir. İlkbahar odunundan yaz odunu tabakasına geçiş yavaştır.
Öz İşini	Çok ince ve sıktır. Düzgün yüzeyli enine kesitlerde lup altında görülebilir, radyal kesitlerde dağınık levhacıklar halinde fark edilir.
Boyuna Paransim	Mikroskobik olarak görülebilir.
Kanallar	Doğal reçine kanalı yoktur. Çoğunlukla travmatik reçine kanalları vardır.
Ek Özellikler	Odunu orta sertlikte ve orta ağırlıktadır. Öz odunu hoş kokuludur.
Kullanım Yeri	Travers, tel ve çit direği yapımında, binaların iç ve dış kısımlarda, kapı ve pencere doğramalarında, cephe kaplaması, bahçe pergolası, çeyiz sandıkları yapımında kullanılmaktadır.

Şekil 3

Doğu ladini enine kesit görüntüsü



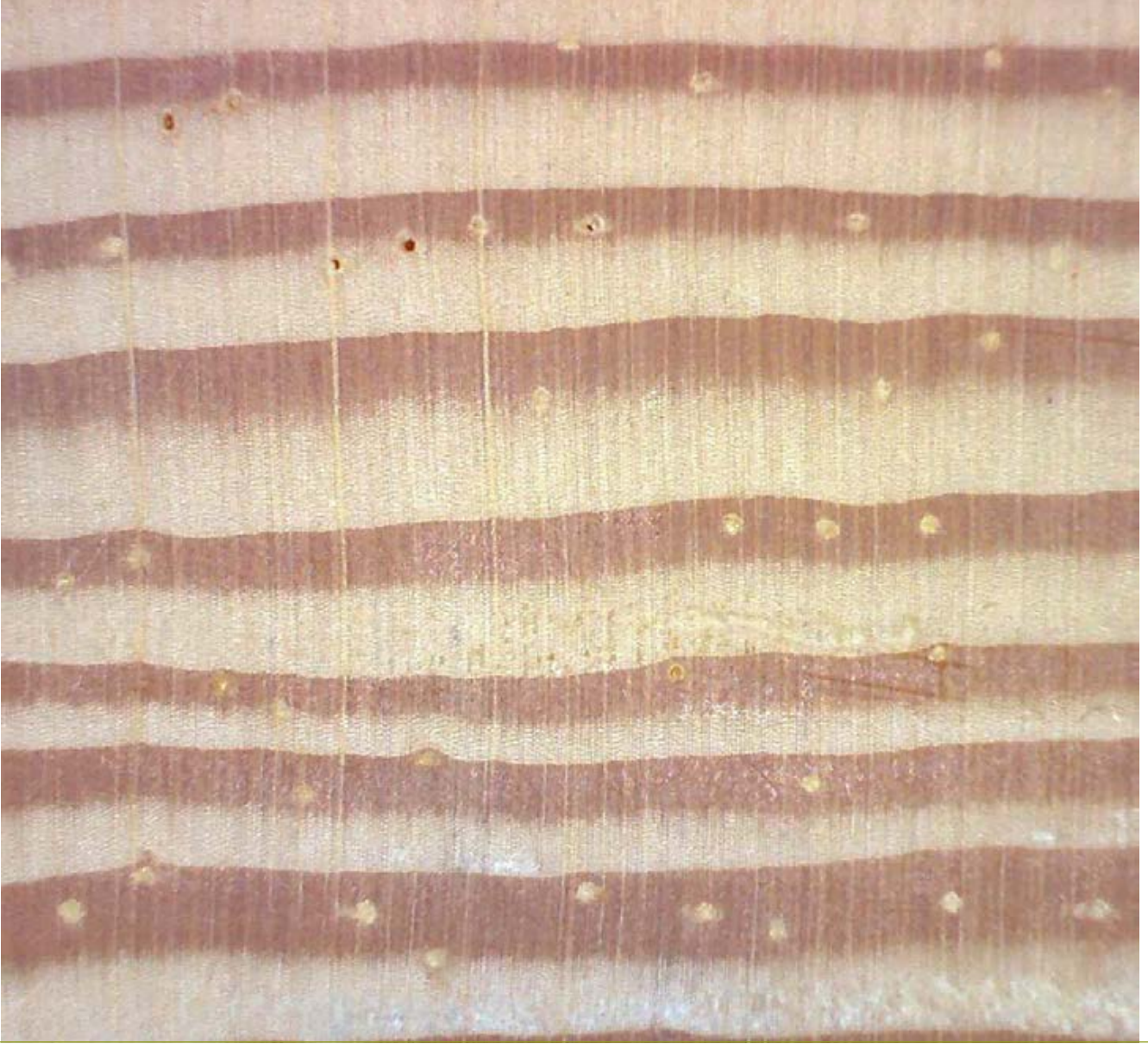
Tablo 3

Doğu ladini makroskobik teşhis özellikleri

Latince Adı	<i>Picea orientalis</i> (L.) Link.
Ticari Adı	Doğu ladini – Oriental spruce – Caucasian spruce
İğne Yapraklı- Geniş Yapraklı	İğne yapraklı – Yerli
Öz Odun-Diri Odun	Diri odun ve öz odun renk bakımından farklı değildir. Odunun rengi sarımsı beyaz ile gri beyazdır.
Yıllık Halka	Yıllık halka sınırları belirgindir. İlkbahar odunundan yaz odunu tabakasına geçiş yavaştır.
Öz Işını	Çok incedir.
Boyuna Paransim	Yoktur.
Kanallar	Doğal reçine kanalları vardır.
Ek Özellikler	Odunu yumuşak ve orta ağırlıktadır. Boyuna kesitleri parlaktır. Düzgün biçilmiş radyal kesitlerde öz ışınları ince, mat şeritler halinde görülebilir.
Kullanım Yeri	Binalarda yapı malzemesi ve merdiven olarak, gemi yapımı, gemi direği, maden direği, mekanik ve kimyasal odun hamuru üretiminde, kaplama levha, yonga ve lif levha yapımında, müzik aletlerinde rezonans tablası olarak ve ambalaj talaşı üretiminde kullanılmaktadır.

Şekil 4

Sarıçam enine kesit görüntüsü



Tablo 4

Sarıçam makroskobik teşhis özellikleri

Latince Adı	<i>Pinus sylvestris</i> L.
Ticari Adı	Sarıçam – Scots pine
İğne Yapraklı- Geniş Yapraklı	İğne yapraklı – Yerli
Öz Odun-Diri Odun	Diri odun sarımsı beyaz renkte, öz odun kırmızımsı sarı, kırmızımsı kahverengidir.
Yıllık Halka	Yıllık halka sınırları belirgin ve hafif dalgalıdır. İlkbahar odunundan yaz odunu tabakasına geçiş genellikle anidir.
Öz Işını	Çok incedir
Boyuna Paransim	Yoktur.
Kanallar	Doğal reçine kanalları vardır. Bu kanallar ladin ve melezden büyük ve çok sayıdadır.
Ek Özellikler	Odunu oldukça sert, orta ağırlıkta ve mattır. Taze haldeyken reçine kokuludur.
Kullanım Yeri	Binalarda iç ve dış kısımlarda, pencere doğramalarında, pencere doğramalarında, kaplama levha, kontrplak, lif ve yonga levha, kağıt endüstrisi, mobilya yapımında kullanılmaktadır.

Şekil 5

Siğilli huş enine kesit görüntüsü



Tablo 5

Siğilli huş makroskopik teşhis özellikleri

Latince Adı	<i>Betula pendula</i> Roth.
Ticari Adı	Siğilli huş – Silver birch
İğne Yapraklı- Geniş Yapraklı	Geniş yapraklı – Yerli
Öz Odun-Diri Odun	Diri odun ile öz odun arasında renk farkı yoktur. Odunu sarımsı beyaz, kırmızımsı beyaz, açık kahverengimsi renktedir.
Yıllık Halka	Yıllık halka sınırları fazla belirgin değildir. Bazen yıllık halka sonuna doğru yassılaştıran lif hücreleri sebebiyle belirgin olabilmektedir. Dağınık traheli düzendedir. Traheler küçük ve orta büyüklükte, un tanecikleri gibi açık renkli noktacıklar şeklinde görülmektedir.
Öz Işını	Öz ışınları dardır. Enine kesitte kıvrımlı bir gidiş göstermekte olup lup altında belirgin, radyal kesitte ise çok kısa aynacıklar şeklinde görülmektedirler.
Boyuna Paransim	Apotraheal dağınık, teğet sıralı ve sınır paransimi düzenindedir. Makroskopik olarak belirgin değildir.
Kanallar	-
Ek Özellikler	Orta ağırlık ve orta sertliktedir. Odunu az parlaktır. Sık sık öz lekeleri görülür.
Kullanım Yeri	Kaplama levha, kontrplak, mobilya, parke, kürdan üretiminde, iç dekorasyonda, oymacılık ve tornacılıkta kullanılmaktadır.

Şekil 6

Anadolu kestanesi enine kesit görüntüsü



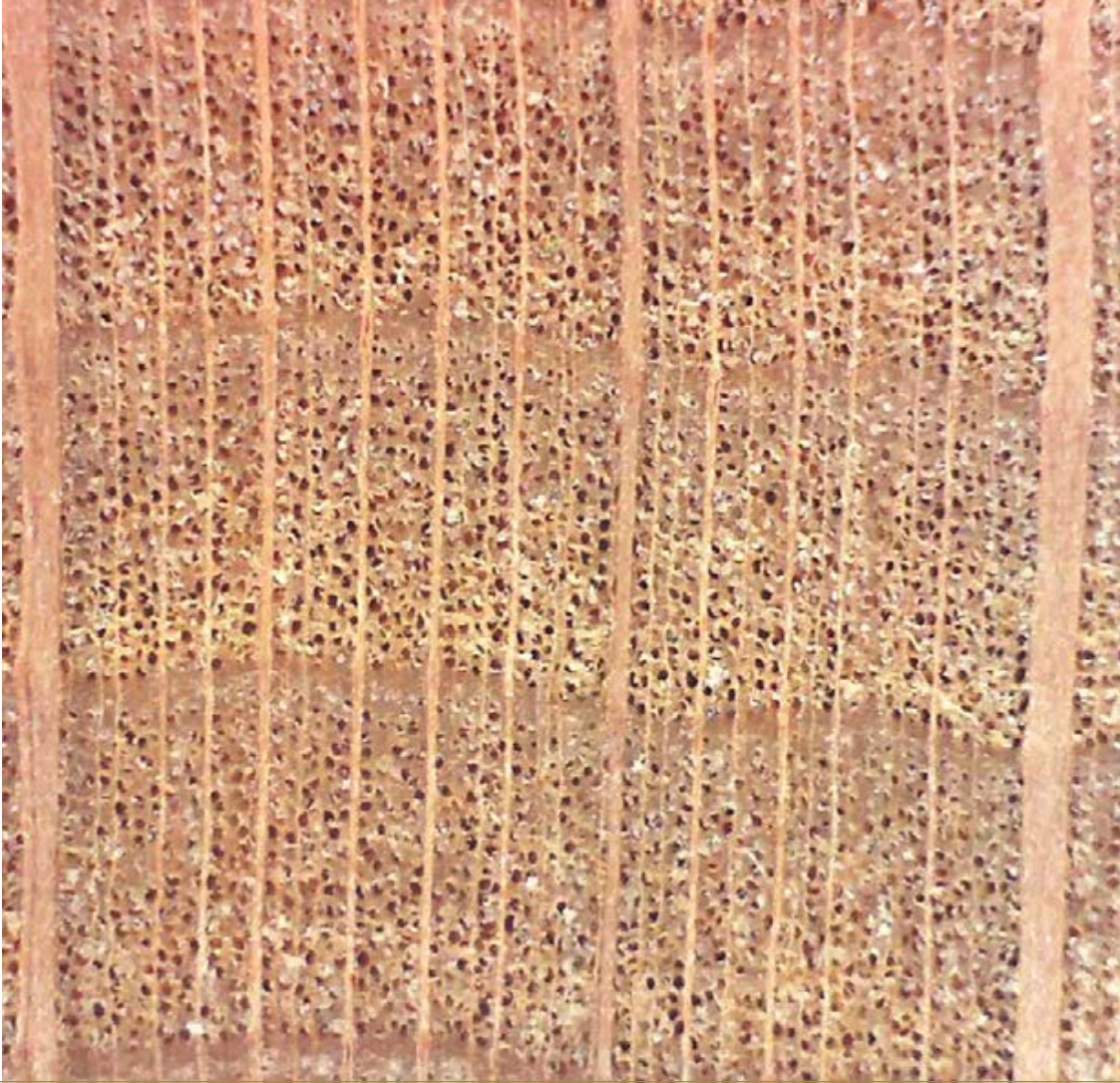
Tablo 6

Anadolu kestanesi makroskopik teşhis özellikleri

Latince Adı	<i>Castanea sativa</i> Mill.
Ticari Adı	Anadolu kestanesi – Sweet chestnut
İğne Yapraklı- Geniş Yapraklı	Geniş yapraklı – Yerli
Öz Odun-Diri Odun	Diri odun çok dar, grimsi beyaz ile kahverengimsi beyaz, öz odunu taze halde gri-sarı ile soluk kahverenginde, kesimden sonra koyulaşır.
Yıllık Halka	Yıllık halka sınırları belirgindir. Halkalı traheli düzendedir. Yaz odunu traheleri genellikle radyal veya diyagonal sıralıdır.
Öz Işını	Çok ince, lup altında güçlükte görülür.
Boyuna Paransim	Az sayıda, apotraheal dağınık, paratraheal kümeli düzendedir. Paratraheal kümeli boyuna paransimler düzgün kesilmiş enine kesitlerde makroskopik olarak görülebilir.
Kanallar	-
Ek Özellikler	Traheler tüllerle tıkalıdır. Meşeye benzerlik göstermekte, geniş öz ışınlarının olmayışı ile ayırt edilebilmektedir. Odunu oldukça sert ve orta ağırlıkta olup, mat ve dekoratiftir.
Kullanım Yeri	Kaplama levha, mobilya, bükme mobilya, döşeme, panel, tel ve çit direği, travers, kuru madde fıçılarının yapımında kullanılmaktadır.

Şekil 7

Doğu kayını enine kesit görüntüsü



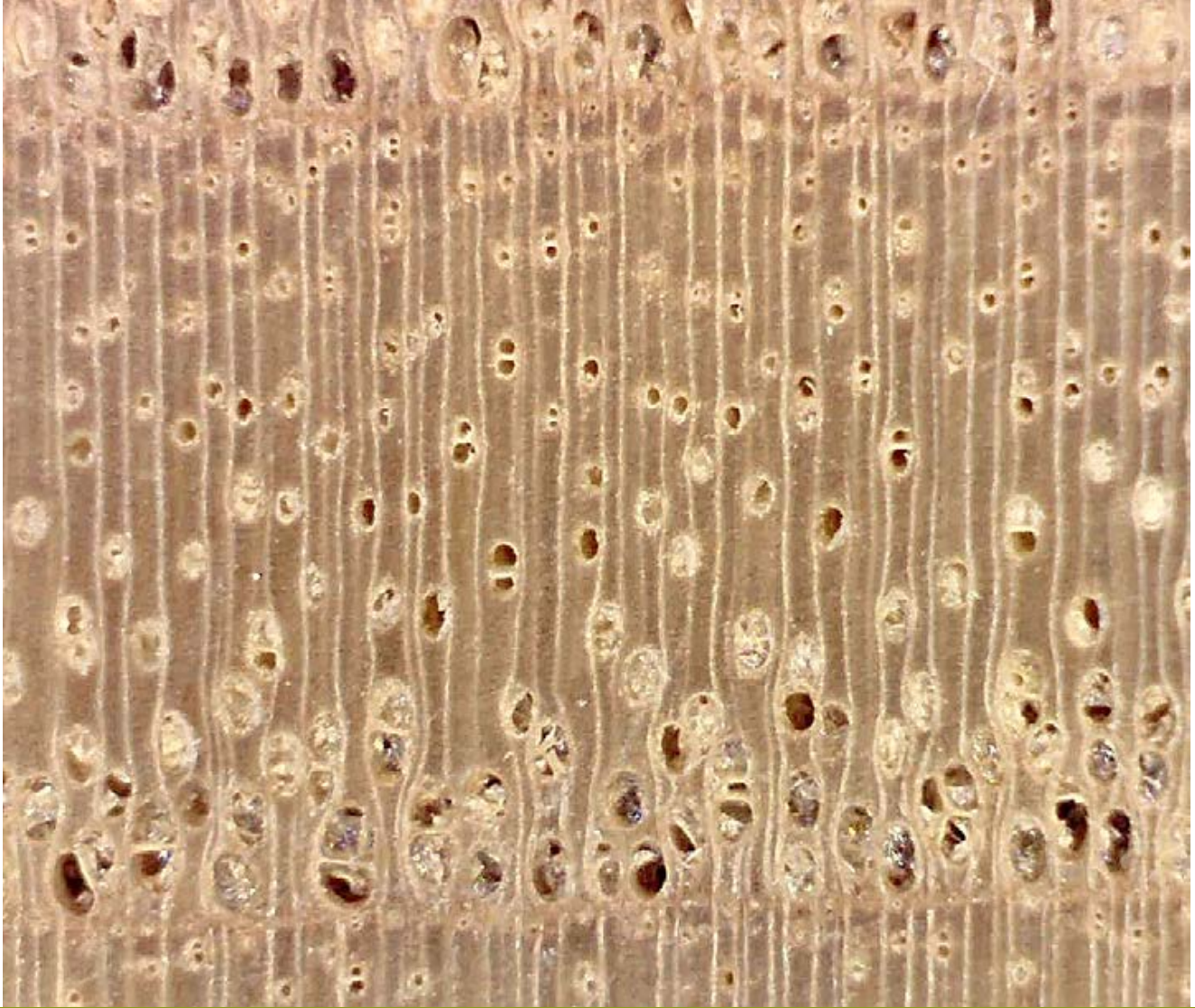
Tablo 7

Doğu kayını makroskobik teşhis özellikleri

Latince Adı	<i>Fagus orientalis</i> Lipsky.
Ticari Adı	Doğu kayını – Oriental beech
İğne Yapraklı- Geniş Yapraklı	Geniş yapraklı – Yerli
Öz Odun-Diri Odun	Diri odun ile öz odun arasında renk farkı yoktur. Odunu kırmızımsı beyaz renktedir. 80 yaşın üzerindeki ağaçların iç kısımlarında düzensiz şekilli, dalgalı ve şeritli kırmızımsı kahverenginde kırmızı yürek adı verilen bir öz odun oluşmaktadır.
Yıllık Halka	Yıllık halka sınırları belirgindir. Dağınık traheli düzendedir. Traheler küçük çaplıdır.
Öz Işını	Geniş öz ışınları bulunur. Enine kesitte 0,5-1 mm aralıklarla uzanır ve yıllık halka sınırında daha da genişler. Öz ışınları radyal kesitte koyu renkli düzenli ve/veya düzensiz geniş aynacıklar halinde, teğet kesitte ise iğ şeklinde görülürler.
Boyuna Paransim	Apotraheal dağınık ve teğet sıralı düzendedir. Makroskobik olarak belirgin değildir.
Kanallar	-
Ek Özellikler	Odunu sert ve ağır olup, dekoratif yapıya sahiptir.
Kullanım Yeri	Masif mobilya, bükme mobilya, kaplama levha, parke, yonga levha, lif levha, kontrplak, oyuncak, spor aletleri, alet sapları, tornacılık, fıçı, karoser yapımı, kağıt yapımında, emprenye edildiğinde travers üretiminde de kullanılmaktadır.

Şekil 8

Adi dişbudak enine kesit görüntüsü



Tablo 8

Adi dişbudak makroskopik teşhis özellikleri

Latince Adı	<i>Fraxinus excelsior</i> L.
Ticari Adı	Adi dişbudak – European ash – Common ash
İğne Yapraklı- Geniş Yapraklı	Geniş yapraklı – Yerli
Öz Odun-Diri Odun	Diri odun ile öz odun arasında renk farkı yoktur. Diri odunu geniş, beyaz veya açık sarımsı renktedir. Bazı ağaçlarda 40 yaşından sonra biraz daha koyu renkte öz odun oluşumu görülebilir. Esmer öz odun olarak adlandırılan bu kısım gri kahverengindedir. Diri odun-öz odun sınırı her zaman belirgin değildir.
Yıllık Halka	Yıllık halka sınırları çok belirgindir. Halkalı traheli düzendedir. Yaz odunu traheleri genellikle tek tek dağılmış haldedir.
Öz Işını	Öz ışınları dar, radyal kesitte lup altında kısa aynacıklar şeklinde görülürler.
Boyuna Paranşim	Özellikle yaz odunu trahelerinin çevresinde paratraheal halkalı ve sınır paranşimi düzenindedir. Paratraheal halkalı boyuna paranşimler düzgün kesilmiş enine kesitlerde makroskopik olarak görülebilir.
Kanallar	-
Ek Özellikler	Odunu sert ve ağır olup, dekoratif yapıya sahiptir.
Kullanım Yeri	Spor aletleri (kürek, beyzbol sopası, bardo istakası), alet sapları, yatlar, bükme mobilya, masif mobilya, üst yüzey kesme kaplama levha yapımında kullanılmaktadır.

Şekil 9

Adi ceviz enine kesit görüntüsü



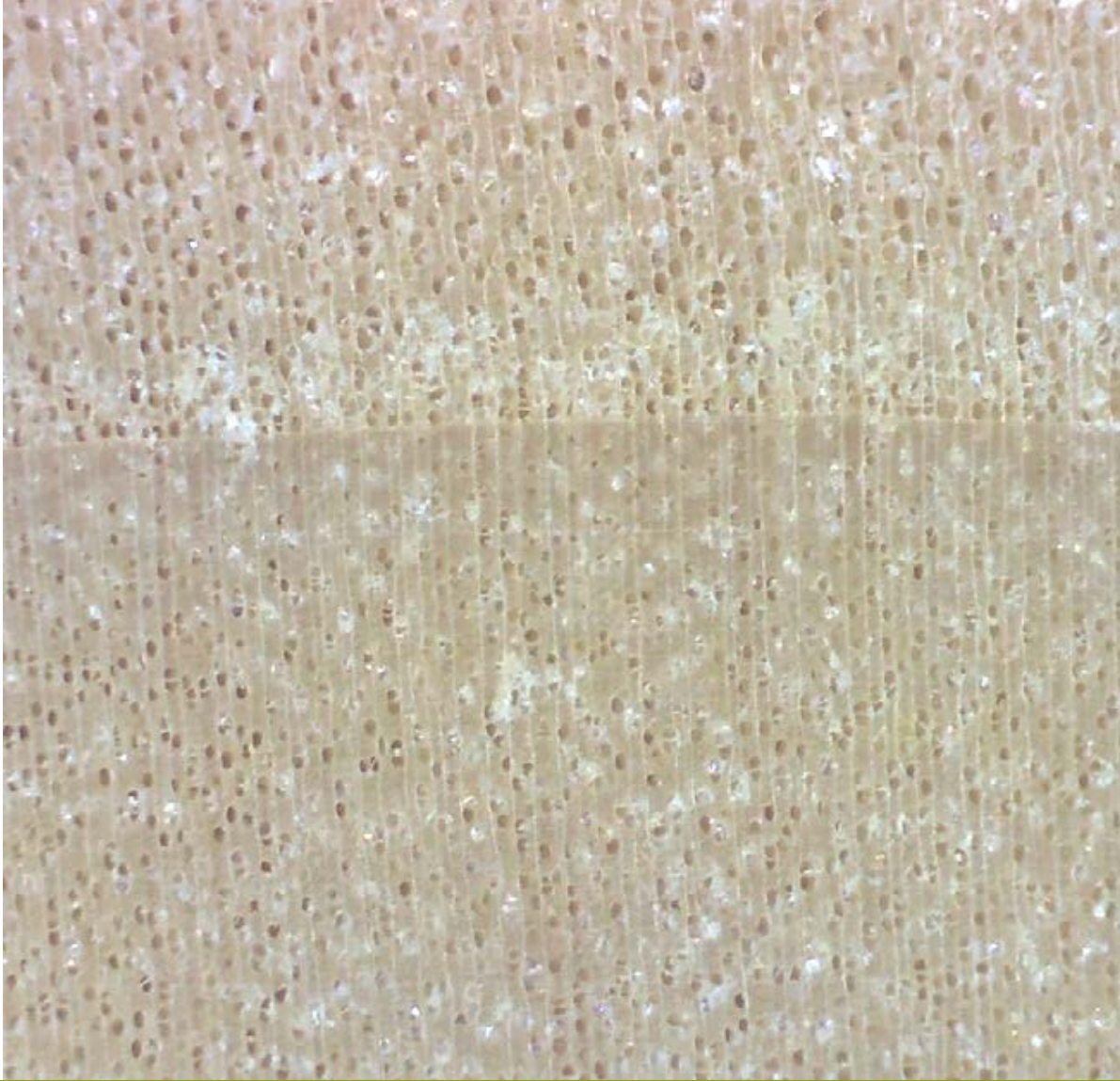
Tablo 9

Adi ceviz makroskobik teşhis özellikleri

Latince Adı	<i>Juglans regia</i> L. - Yerli
Ticari Adı	Adi ceviz – European walnut
İğne Yapraklı- Geniş Yapraklı	Geniş yapraklı – Yerli
Öz Odun-Diri Odun	Diri odun grimsi beyaz ile kırmızımsı gri renkte, öz odun rengi ağaç yaşı ve yetiştirme yerine bağlı olarak gri kahverengi ile koyu kahverenginde, yer yer koyu gri ya da siyah şeritlidir.
Yıllık Halka	Yıllık halka sınırları belirgindir. Yarı halkalı traheli düzendedir. Traheler büyük ile orta büyüklükte, tek tek, ikisi bir arada veya radyal gruplar halindedir.
Öz Işını	Öz ışınları dar olup enine kesitte lup altında, radyal kesitte küçük kısa aynacıklar şeklinde görülürler.
Boyuna Paranşim	Boyuna paranşimler enine kesitte teğet kısa sıralar halinde görülebilir. Paratraheal kümeli, apotraheal dağınık ve teğet sıralı ve sınır paranşimleri düzenindedir.
Kanallar	-
Ek Özellikler	Traheler genellikle tüllerle tikalıdır. Odunu orta sert ve orta ağırlıkta olup, mat ve dekoratiftir.
Kullanım Yeri	Kesme kaplama levha, mobilya, kapı, döşeme, çerçeve, tüfek (kundak ve dipçik), piyano yapımında ve tornacılıkta kullanılmaktadır.

Şekil 10

Kara kavak enine kesit görüntüsü



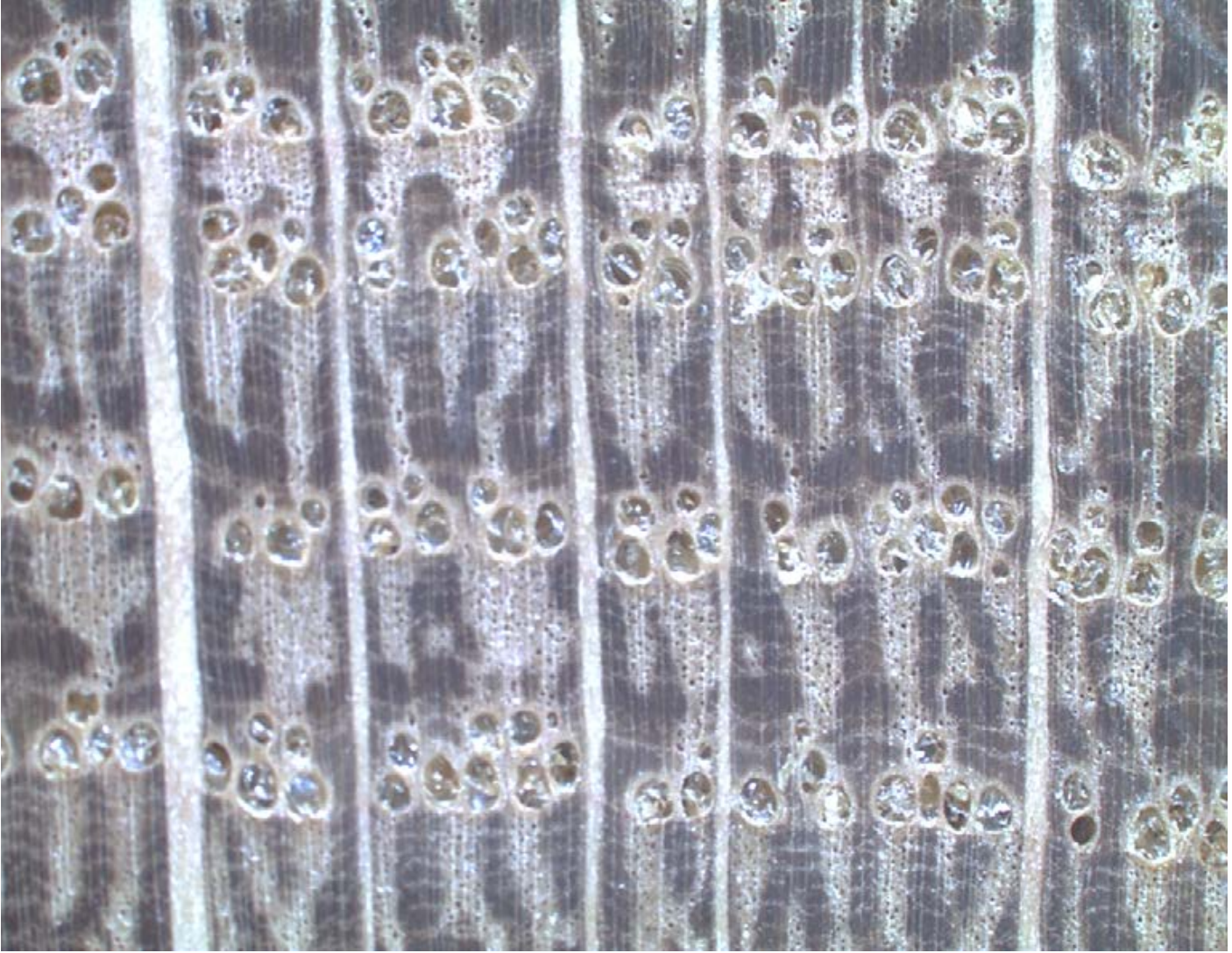
Tablo 10

Kara kavak makroskobik teşhis özellikleri

Latince Adı	<i>Populus nigra</i> L.
Ticari Adı	Kara kavak – Black poplar
İğne Yapraklı- Geniş Yapraklı	Geniş yapraklı – Yerli
Öz Odun-Diri Odun	Diri odun beyazımsı gri ile sarımsı beyaz renktedir. Öz odunu açık kahverengi, gri kahverengi ile açık yeşilimsi kahverengindedir.
Yıllık Halka	Yıllık halka sınırları belirgindir. Yıllık halkalar çok geniş, yaz odunu tabakası dardır. Dağınık traheli düzendedir. Traheler küçük, çok sayıda olup lup altında görülebilir.
Öz Işını	Öz ışınları çok dar, radyal kesitte lup altında küçük kısa aynacıklar şeklinde görülebilir.
Boyuna Paransim	Boyuna paransimler yaz odununda apotraheal teğet sıralı ve sınır paransimi düzenindedir. Makroskobik olarak belirgin değildir.
Kanallar	-
Ek Özellikler	Odunu yumuşak ve hafif olup parlaktır ancak dekoratif değildir. Beyaz öz lekelerine rastlanabilir.
Kullanım Yeri	Kontrplak yapımı, kibrit yapımı, mobilyaların iç kısımlarında, model yapımı, protez yapımında, ambalaj kutu ve sandıkları, palet, yonga levha ve kağıt endüstrisinde kullanılmaktadır.

Şekil 11

Sapsız meşe enine kesit görüntüsü



Tablo 11

Sapsız meşe makroskobik teşhis özellikleri

Latince Adı	<i>Quercus petraea</i> Lieble.
Ticari Adı	Sapsız meşe – Sessile oak
İğne Yapraklı- Geniş Yapraklı	Geniş yapraklı – Yerli
Öz Odun-Diri Odun	Diri odun genellikle dar, sarımsı beyaz renkte, öz odunu açık kahverengi ile sarımsı kahverengindedir. Kesimden sonra renk koyulaşır.
Yıllık Halka	Yıllık halka sınırları belirgindir. Halkalı traheli düzendedir. Yaz odunu traheleri radyal veya diyagonal sıralı olup, alev şeklinde görülürler. İlkbahar odunu traheleri 1-2 sıra genişlikte bir halka oluşturacak şekilde dizilmişlerdir.
Öz Işını	Öz ışınları dar ve geniş olmak üzere iki tiptir. Geniş öz ışınları enine kesitte çıplak gözle, radyal kesitte kaba ve düzensiz aynacıklar şeklinde, teğet kesitte ise iğ şeklinde görülürler.
Boyuna Paranşim	Boyuna paranşimler apotraheal dağınık ve teğet sıralı düzendedir. Apotraheal teğet sıralı boyuna paranşimler enine kesitte lup altında görülebilirler.
Kanallar	-
Ek Özellikler	Traheler tüllerle tıkalıdır. Odunu sert ve ağır olup, parlak ve dekoratiftir.
Kullanım Yeri	Yapı ve konstrüksiyon malzemesi olarak, köprü, vagon, merdiven basamağı, parke, masif mobilya, kutu, sandık, palet, küçük gemi yapımı, alet sapları, alkol fiçileri ve çok değerli kesme kaplama levha yapımında kullanılmaktadır.

Şekil 12

Gümüşi ıhlamur enine kesit görüntüsü



Tablo 12

Gümüşi ıhlamur makroskopik teşhis özellikleri

Latince Adı	<i>Tilia tomentosa</i> Moench.
Ticari Adı	Gümüşi ıhlamur – European white lime – Silver linden
İğne Yapraklı- Geniş Yapraklı	Geniş yapraklı – Yerli
Öz Odun-Diri Odun	Diri odun ile öz odun arasında renk farkı yoktur. Odunu beyazımsı, sarımsı, bazen kırmızımsı beyaz, açık kahverengimsi renktedir.
Yıllık Halka	Yıllık halka sınırları fazla belirgin değildir. Bazen yıllık halka sonuna doğru yassılaştıran lif hücreleri sebebiyle belirgin olabilmektedir. Dağınık traheli düzendedir. Traheler küçük ve çok sayıdadır.
Öz Işını	Öz ışınları dardır.
Boyuna Paranşim	Apotraheal dağınık, teğet sıralı ve sınır paranşimi düzenindedir. Makroskopik olarak belirgin değildir.
Kanallar	-
Ek Özellikler	Tekstür ince ve düzenli, lif yapısı düzgün, odunu orta ağırlıkta olup, parlaktır.
Kullanım Yeri	Heykel, model, piyano anahtarları, müzik aletlerinde rezonans tablası, resim çerçevesi, şapka kalıbı, arı kovani yapımında, mobilya iç kısımlarında, tornacılıkta ve oymacılıkta kullanılmaktadır.

Şekil 13

Iroko enine kesit görüntüsü



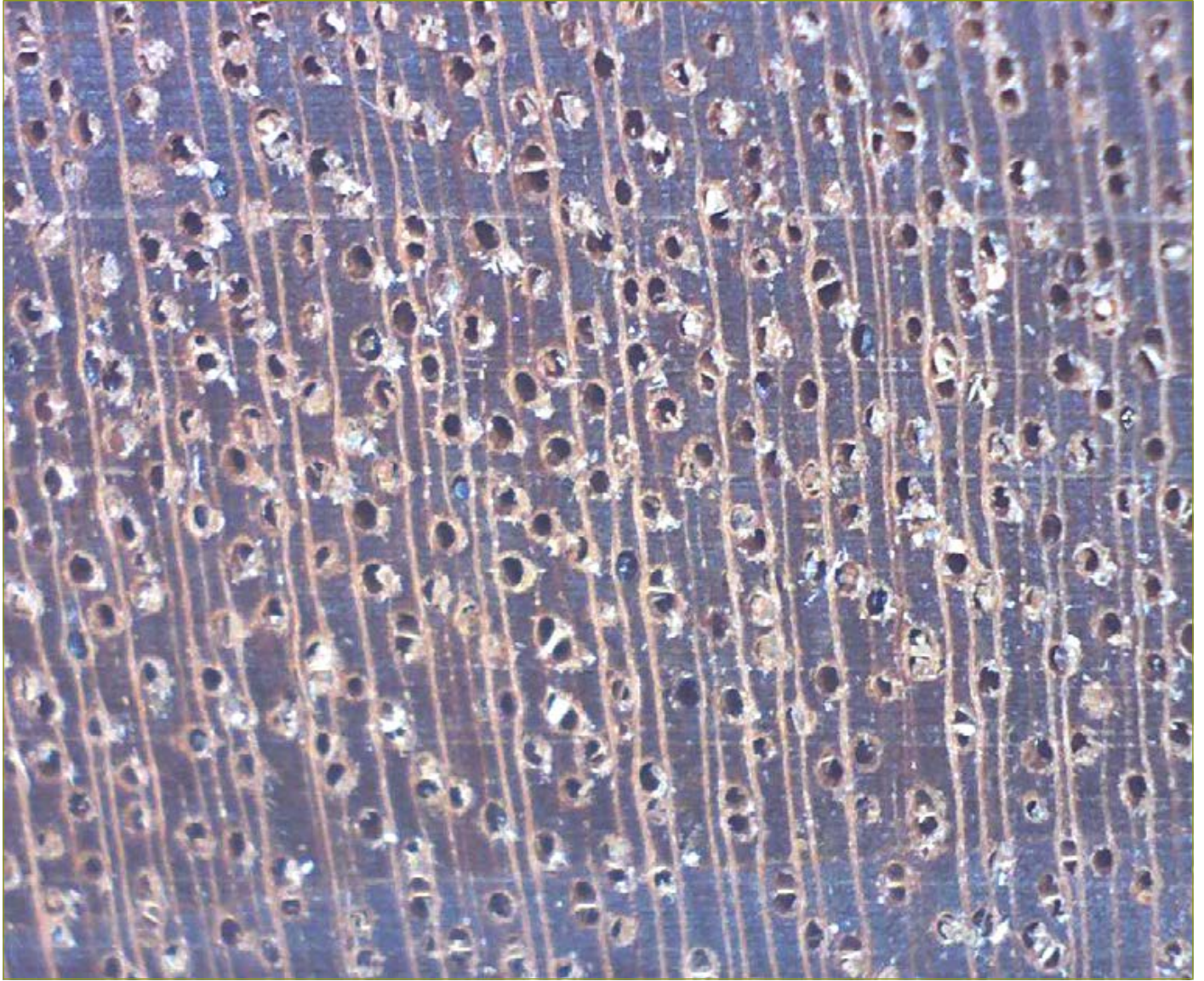
Tablo 13

Iroko makroskobik teşhis özellikleri

Latince Adı	<i>Milicia excelsa</i> (Welw) C.C. Berg syn. <i>Chlorophora excelsa</i> Benth. & Hook. f.
Ticari Adı	Iroko – Kambala – Odum
İğne Yapraklı- Geniş Yapraklı	Geniş yapraklı – İthal (Afrika)
Öz Odun-Diri Odun	Diri odun sarımsı beyaz ile soluk sarı renkte, öz odun gri sarı ile açık kahverengi olup kesimden sonra altın sarısı ile kahverengine döner.
Yıllık Halka	Yıllık halka sınırları sınır paransimleri sebebiyle bazen belirgin olabilmektedir. Dağınık traheli düzendedir. Traheler genellikle tek tek veya ikisi bir arada bulunmaktadır.
Öz Işını	Dardır. Lup altında görülebilir.
Boyuna Paransim	Paratraheal bileşik şeritli, kanatlı, bileşik kanatlı dizilişlidir. Makroskobik olarak görülür.
Kanallar	-
Ek Özellikler	Traheler genellikle tüllerle tıkalıdır. Odunu orta ile kaba ve yeknesak tekstürde. Lif yapısı düzensiz veya girift. Az parlak ve dekoratiftir.
Kullanım Yeri	Dekoratif üst yüzey kaplamalarda, mobilya, parke, bina iç ve dış kısımlarda, kapı, pencere, küçük gemi, vagon, köprü, travers, kimyasal kaplar, laboratuvar masaları, bahçe mobilyası, tornacılık ve oymacılıkta kullanılmaktadır.

Şekil 14

Sapelli enine kesit görüntüsü



Tablo 14

Sapelli makroskobik teşhis özellikleri

Latince Adı	<i>Entandrophragma cylindricum</i> Sprague
Ticari Adı	Sapelli – Sapele – Lifaki
İğne Yapraklı- Geniş Yapraklı	Geniş yapraklı- İthal (Afrika)
Öz Odun-Diri Odun	Öz odun koyu kırmızımsı kahverengi ile morumsu kahverengidir.
Yıllık Halka	Yıllık halka sınırları belirgindir. Dağınık traheli düzendedir. Traheler tek tek bazen ikisi bir arada, nadiren gruplar oluştururlar.
Öz Işını	Dardır.
Boyuna Paransim	Apotraheal dağınık, teğet sıralı, paratraheal kümeli, bileşik şeritli. Bileşik şeritli paransimler üç ve daha fazla hücre genişliğindedir. Makroskobik olarak görülür.
Kanallar	-
Ek Özellikler	Tekstür ince ve düzenli, lif yapısı girift bazen dalgalıdır. Girift lifli yapı sebebiyle radyal yüzeyler açık ve koyu renkli boyuna şeritli görünüştedir. Bazı trahelerde kırmızı kahverengi öz odun maddeleri bulunur.
Kullanım Yeri	Özellikle üst yüzeylerde kesme kaplama, mobilya, lambri, parke, kapı, binaların iç ve dış kısımlarda, uçak, vagon, gemi, yat, keman yapımında, markiteri, tornacılık ve oymacılıkta kullanılmaktadır.

Şekil 15

Afrika mahunu enine kesit görüntüsü



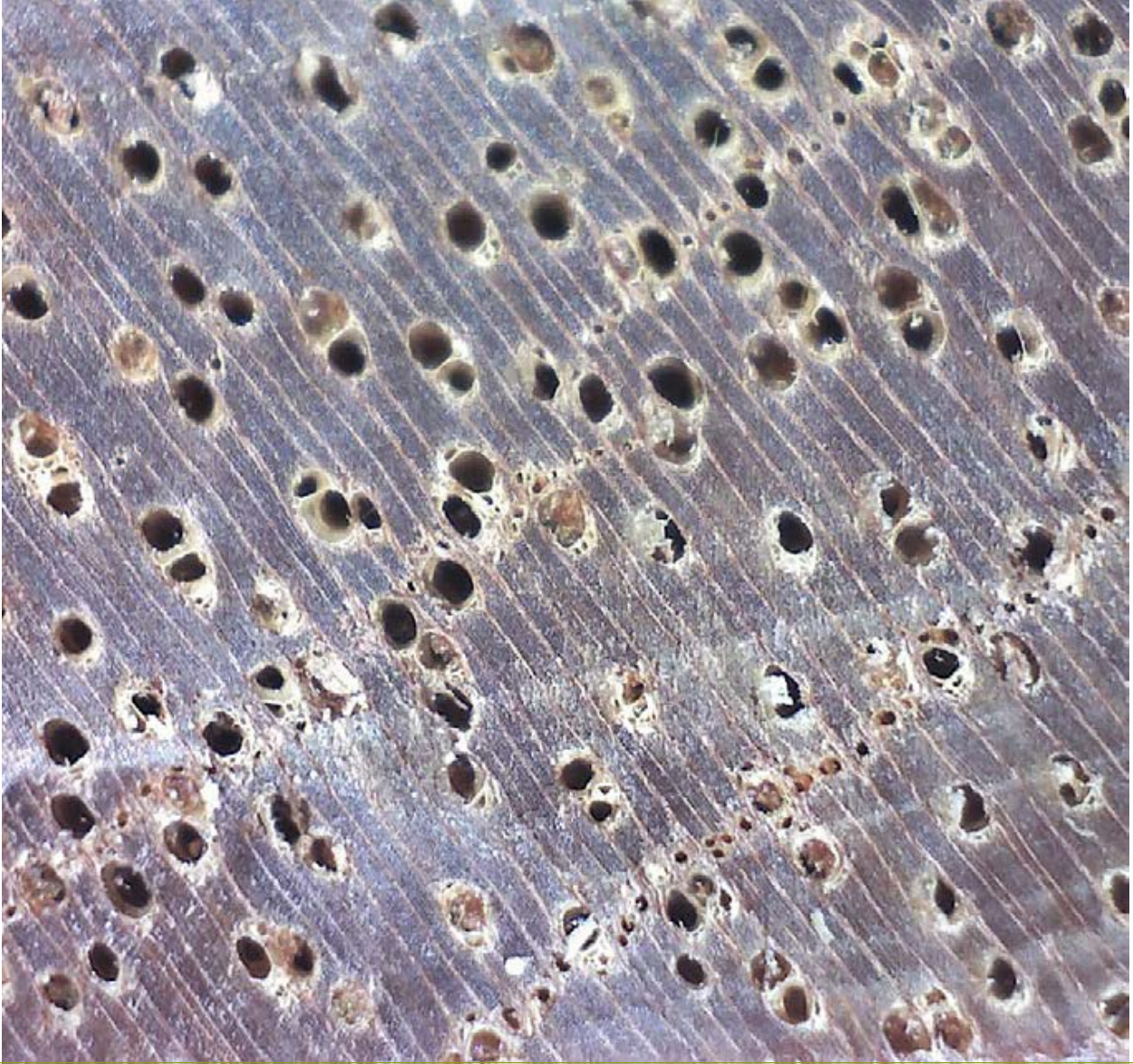
Tablo 15

Afrika mahunu makroskopik teşhis özellikleri

Latince Adı	<i>Khaya ivorensis</i> A. Chev.
Ticari Adı	Afrika mahunu, African mahogany, Acajou d'Afrique
İğne Yapraklı- Geniş Yapraklı	Geniş yapraklı – İthal (Afrika)
Öz Odun-Diri Odun	Diri odun sarımsı renkte olup, öz odun soluk pembemsi kahverengi ile kırmızımsı kahverenginde, bazen kırmızımsı kahverengi şeritli yapıda.
Yıllık Halka	Yıllık halka sınırları sınır paransimleri sebebiyle bazen belirgin olabilmektedir. Dağınık traheli düzendedir. Traheler tek tek, bazen ikisi bir arada ve kısa radyal sıralar (2-3) halindedir.
Öz Işını	Öz ışınları çıplak gözle görülebilir.
Boyuna Paransim	Paratraheal kümeli, dar halkalı, tek yanlı kanatlı.
Kanallar	Travmatik kanallar görülür.
Ek Özellikler	Tekstür orta ve kaba, lif yapısı düzgün veya girift, odunu parlak ve dekoratiftir. Bazı trahelerde koyu renkli öz odun maddeleri bulunur.
Kullanım Yeri	Kesme kaplama, mobilya, lambri, parke, kapı, gemi, vagon, müzik aletleri yapımında, markiteri, tornacılık ve oymacılıkta kullanılmaktadır.

Şekil 16

Meranti enine kesit görüntüsü



Tablo 16

Meranti makroskopik teşhis özellikleri

Latince Adı	<i>Shorea acuminata</i> Dyer
Ticari Adı	Meranti – Seraya batu – White lauan
İğne Yapraklı- Geniş Yapraklı	Geniş yapraklı – İthal (Güneydoğu Asya)
Öz Odun-Diri Odun	Diri odun grimsi veya açık kırmızımsı renkte, öz odun beyazdan pembe, koyu kırmızı ve koyu kahverengine kadar değişen renklerde dir.
Yıllık Halka	Dağınık traheli düzendedir. Traheler çoğunlukla ikisi bir arada veya kısa radyal (2-3) sıralıdır.
Öz Işını	Dardır.
Boyuna Paranşim	Apotraheal dağınık ve şeritli, paratraheal halkalı ve kanatlı dizilişlidir. Paratraheal halkalı ve kanatlı paranşimler makroskopik olarak görülür.
Kanallar	Boyuna reçine kanalları bulunur.
Ek Özellikler	Tekstür orta ve kaba, lif yapısı genellikle girift, hafif parlak ve az dekoratiftir.
Kullanım Yeri	Kontrplak yapımında, kesme kaplama levha, iç marangozluk, kapı, döşeme, ucuz mobilya yapımı ve genel maksatlarda kullanılmaktadır.

Şekil 17

Teak enine kesit görüntüsü



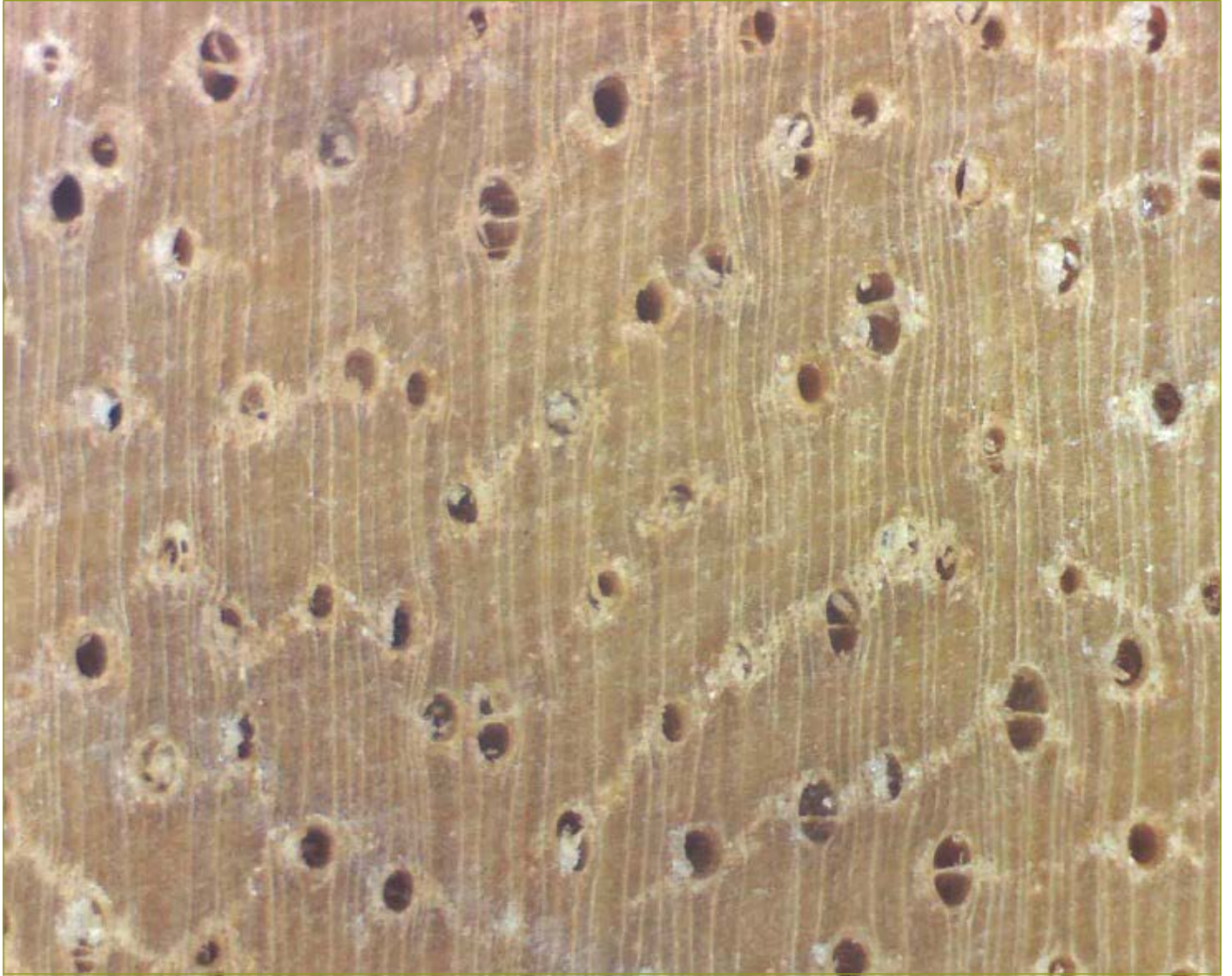
Tablo 17

Teak makroskopik teşhis özellikleri

Latince Adı	<i>Tectona grandis</i> L. f.
Ticari Adı	Teak – May sak – Pahi
İğne Yapraklı- Geniş Yapraklı	Geniş yapraklı – İthal (Güneydoğu Asya)
Öz Odun-Diri Odun	Diri odun sarımsı renkte, öz odun sarı ve sarımsı kahverenginde, kısmen koyu morumsu kahverengi ve siyah şeritlidir.
Yıllık Halka	Yıllık halka sınırları belirgin. Halkalı veya yarı halkalı düzendedir. İlkbahar odunu traheleri çıplak gözle görülebilir. Yaz odunu traheleri tek tek veya ikisi bir arada bulunur.
Öz Işını	Dardır. Çıplak gözle görülür.
Boyuna Paransim	Paratraheal kümeli, şeritli ve terminal sınır paransimi düzenindedir. Makroskopik olarak görülür.
Kanallar	-
Ek Özellikler	Tekstür kaba, lif yapısı düzgün, bazen dalgalı ve girift, odunu mat, yapısındaki doğal yağlar sebebiyle dokunulduğunda yağlı his verir, taze halde deri kokusunda ve dekoratif yapıdadır.
Kullanım Yeri	Gemi güverte kaplamalarında, mobilya iç- dış marangozluk işlerinde, kapı, pencere doğramalarında, parke, bahçe mobilyası, lambri, kimyasal kaplar, laboratuvar masaları, her türlü kontrplak ve dekoratif üst yüzey kaplama levhaların yapımında, tornacılık ve oymacılıkta kullanılmaktadır.

Şekil 18

Frake enine kesit görüntüsü



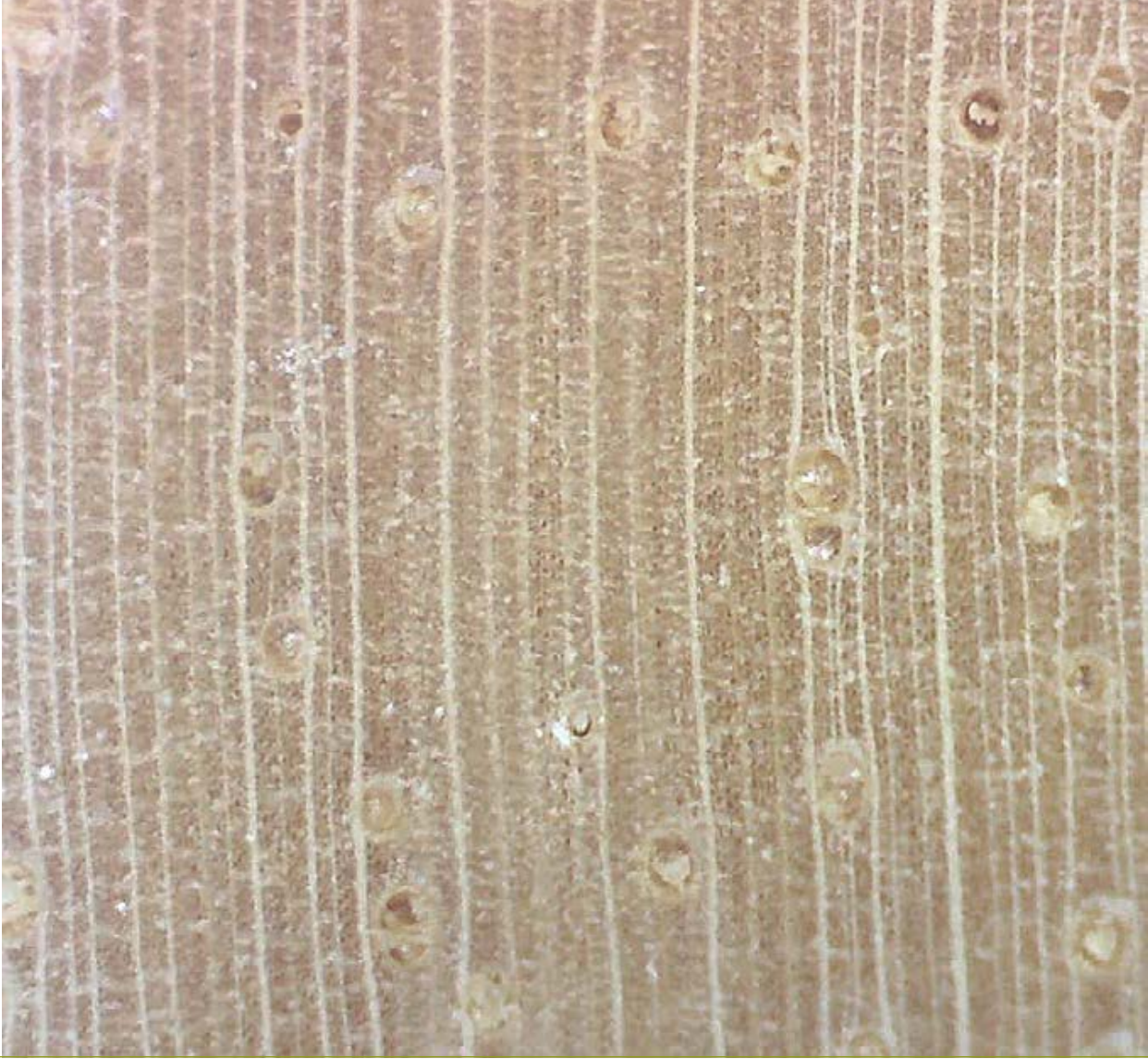
Tablo 18

Frake makroskopik teşhis özellikleri

Latince Adı	Terminalia superba Engl. & Diels
Ticari Adı	Fraké – Limba – Afara – Akom
İğne Yapraklı - Geniş Yapraklı	Geniş yapraklı – İthal (Afrika)
Öz Odun - Diri Odun	Diri odun ile öz odun arasında renk farkı yoktur. Odunu sarımsı kahverengi, bazen gri-siyah koyu renkli şeritlidir.
Yıllık Halka	Yıllık halkalar geniş ve sınırları belirgindir. Dağınık traheli düzendedir. Traheler tek tek, ikisi bir arada ve kısa radyal sıralıdır.
Öz Işını	Dardır. Lup altında görülebilir.
Boyuna Paransim	Paratraheal halkalı, kanatlı, bileşik kanatlı, bileşik şeritlidir. Makroskopik olarak görülür.
Kanallar	-
Ek Özellikler	Öz odundaki trahelerde tül oluşumu ve bazen depo maddeleri bulunur. Tekstür orta ve kaba, lif yapısı düzgün ve girift, hafif parlak ve dekoratiftir.
Kullanım Yeri	Dekoratif kaplama levha, müzik aletleri yapımında (özellikle bas gitar), kontrplaklarda, mobilya iç ve dış marangozluk işlerinde, tornacılık, oymacılık ve markiteride kullanılmaktadır.

Şekil 19

Ayous enine kesit görüntüsü



Tablo 19

Ayous makroskopik teşhis özellikleri

Latince Adı	Triplochiton scleroxylon K. Schum
Ticari Adı	Ayous – Obeche – Abachi
İğne Yapraklı- Geniş Yapraklı	Geniş yapraklı – İthal (Afrika)
Öz Odun-Diri Odun	Diri odun ile öz odun arasında renk farkı yoktur. Odunu fildişi ile altın sarısı, kahverengimsi sarı, grimsi, nadiren zeytin rengindedir.
Yıllık Halka	Yıllık halkalar geniş olup, sınırları az belirgindir. Dağınık traheli düzendedir. Traheler genellikle tek tek, nadiren ikisi bir arada veya kısa radyal sıralıdır.
Öz Işını	Çıplak gözle görülebilir, radyal kesitte levhacıklar şeklinde uzanır.
Boyuna Paranşim	Apotraheal dağınık, teğet sıralı, paratraheal halkalı, bileşik şeritli ve sınır paranşimi düzenindedir. Makroskopik olarak görülür.
Kanallar	-
Ek Özellikler	Öz odundaki traheler tüllerle tıkalıdır. Tekstür orta ile kaba, lif yapısı girift, odunu parlak ve az dekoratiftir.
Kullanım Yeri	Kontrplak yapımında, mobilya kısımlarında, karoseri, uçak ve resim çerçevesi yapımında, müzik aletlerinde, org ve piyanolarda, protez, ambalaj kapları ve kağıt endüstrisinde kullanılmaktadır.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Declaration of Interests: The authors declares that there are no competing interests

Kaynaklar

Dallwitz, M.J., Paine, T.A. and Zurcher, E.J. 2022. *Principles of interactive keys*. delta-intkey.com [12.11.2022]

Erđin, N, Bozkurt, Y. 2013. Odun Anatomisi. İstanbul Üniversitesi Yayın No: 5145. İstanbul.

InsideWood. 2022. Published on the Internet. <http://insidewood.lib.ncsu.edu/search> [07.12.2022].

Meier,E. 2023. <https://www.wood-database.com/> [10.12.2022]

BÖLÜM 6

YUVARLAK VE BİÇİLMİŞ AHŞAP

Hızır Volkan GÖRGÜN
Öner ÜNSAL

Yuvarlak ve Biçilmiş Ahşap

Round and Sawn Wood

BÖLÜM HAKKINDA

Masif ahşap, insanlığın yapacak olarak ağaç malzemeyi değerlendirmek için kullandığı en eski formlardan biridir. Masif ahşap, ağaç gövdesini kesme, biçme gibi mekanik yöntemlerle şekillendirilerek elde edilmektedir. Bununla birlikte her geçen gün gelişen teknoloji masif ahşap üretimine de yansımaktadır. İnsanlığın nüfus artışı ve gelişimi, ihtiyaçları arttırmakta, dolayısıyla daha hızlı ve kapasiteli olma gibi öncelikler ön plana çıkmaya başlamıştır. Örneğin son yıllarda yüksek katlı ahşap binalar yapılmasına olanak tanıyan 'Tabakalanmış Ağaç Malzeme' (TAM veya GLULAM) (Mengeloğlu ve Kurt, 2004) ve 'Çapraz Tabakalanmış Kereste' (ÇTK veya CLT) (Çavuş, 2019) gibi malzemelerin hammaddesi olması, masif ahşabı daha popüler hale getirmiş ve tüketim miktarının da artmasına neden olmuştur. Ayrıca masif ahşap endüstrisinin hammadde kaynağı olan ormanların azalması ve doğanın dengesini değiştirme gibi tehditler de bulunmaktadır. Bu tür sebepler üretimlerin daha randımanlı olması gibi ilave ihtiyaçları doğurduğundan, bu endüstrinin sürekli gelişim halinde olduğu söylenebilir.

Bu çalışmada, genel olarak masif ahşap ve üretimi ile ilgili bilimsel ve teknik doğrular ışığında özet bilgi verilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda ilk olarak hammaddeyi oluşturan ağaç, gövde, tomruk vb. tanımları yapılmıştır. Ardından masif ahşapla ilgili tanımlamalar, sınıflar ve özellikle kaliteyi belirleyen kusurlar, ulusal ve uluslararası standartlara göre belirtilmiştir. Son olarak masif ahşabın güncel teknolojiyle üretim aşamaları, kullanılan makine ve teknolojileri özet halinde verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Kusur, masif ahşap, odun, kalite, tomruk

ABOUT the CHAPTER

It can be said that solid wood is one of the oldest forms used by humanity to use wooden materials as producing things. Solid wood (lumber or sawn wood) is obtained by shaping the tree trunk using mechanical methods such as cutting and sawing. However, the technology that develops day by day is also reflected in solid wood production. Population growth and development of humanity increases needs. For this reason, priorities such as being faster and more capable have come to the fore. For example, in recent years, solid wood became more popular and caused the consumption amount to increase with being the raw material of such as "Glued Laminated Timber" (GLULAM) (Mengeloğlu and Kurt, 2004) and "Cross Laminated Timber" (CLT) (Çavuş, 2019) which made possible to build multi-storey buildings. There are also threats such as the decrease of forests, which are the raw material source of the solid wood industry, and changing the balance of nature. Since such reasons create additional needs such as more efficient production, it can be said that this industry is in constant development.

In this study, it is aimed to provide summarized information in the light of scientific and technical facts about solid wood and its production in general. In this context, first of all, definitions of trees, trunks, logs, etc. that constitute raw materials have been made. Then, the definitions, classes and especially the defects that determine the quality of solid wood are specified according to national and international standards. Finally, the manufacturing stages of solid wood with current techniques, machines and technologies used are given in summary.

Keywords: Defect, solid wood, wood, quality, log

Giriş

Masif Ahşap: Tanım ve Sınıflandırma

Kereste endüstrisinde kullanılan parçalar "tomruk", "yuvarlak odun" ve "kereste" olarak üç ana grupta toplanmaktadır. [Bu ve diğer tanımlamalar için standartlar referans alınmış olup, bu çalışmada endüstride yaygın olarak kullanılan bazı tanımlamalara da yer verilmiştir].

Tomruk

Masif ahşabın hammaddesi olan "tomruk", TS EN 844-2'te (2000) "yuvarlak yapacak odunun boylanmış parçaları" olarak tanımlanmaktadır. Bununla birlikte Tablo 1'deki değerler dikkate alındığında, kabuksuz orta çapı 19 cm'den ve boyu 1,50 m'den büyük



CC BY 4.0: Telif hakkı yazarlardadır. Bu kitabın içeriği Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası lisans altında lisanslanmıştır.



Hızır Volkan Görgün

Öner Ünsal

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Odun Mekanığı ve Teknolojisi Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye
E-posta: volkan.gorgun@iuc.edu.tr
onsal@iuc.edu.tr

Bu bölümü alıntıla / Cite this chapter as:
Görgün, H.V. Ünsal, Ö. (2024). Yuvarlak ve Biçilmiş Ahşap. T. Akbulut (Ed.), *Ahşap: Doğal ve yenilenebilir mühendislik malzemesi* içinde (s. 92-107) İstanbul: İÜC Üniversite Yayınevi

Tablo 1*Masif Ahşapta Hammadde Boyutları*

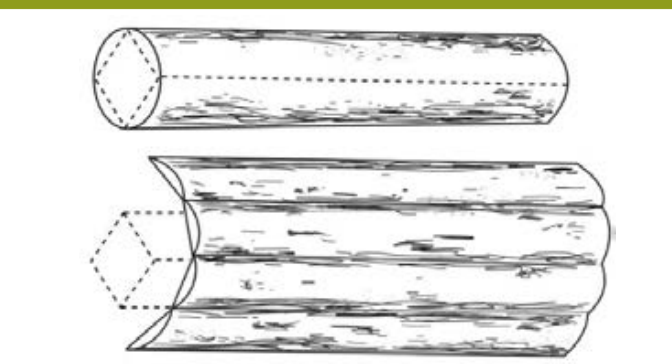
Cinsi	Çap Grubu	Kabuksuz Orta Çap (cm)	Boy Grubu	Boy
Tomruk	İnce	19-29	Kısa	Yumuşak tomruklar (0,50 m kademe ile)
	Orta	30-39	Normal	Sert tomruklar (0,10 m kademe ile)
	Kalın	40-49	Uzun	1,50 – 2,50
	Çok Kalın	50 ve fazla	Çok Uzun	3,00 – 5,00
				5,50 – 8,00
Maden Direği	İnce	8-12	Kısa	1,50 , 2,00
	Orta	13-16	Normal	2,50 , 3,00 , 3,50 , 4,00
	Kalın	17-20	Uzun	4,50 , 5,00 , 5,50 , 6,00
Tel Direği	-	12-20	Normal	6,00 – 9,00 (0,50 m kademe ile)
	-	21-25	Uzun	9,50 ve daha fazla (// //)
	-	26-29		
Yuvarlak Sanayi Odunu	İnce	5-15	-	0,50 – 1,40 (0,10 m kademe ile)
	Kalın	16 ve fazla	-	0,50 – 1,40 (0,10 m kademe ile)
Sırık	-	5-8 (Kabuklu)	-	2,00 ve fazla (1,00 m kademe ile)
Çubuk	-	1-4 (Kabuklu)	-	1,00 ve daha fazla (0,25 m kademe ile)

Açıklama notu. Kantay, R., 2005, Kereste endüstrisi ders notu (yayınlanmamış), Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

olmalıdır (TS 52, 1979; Kantay, 2005). "Kerestelik tomruk"larda ise bu özelliklere ilave olarak, masif ahşap (kereste) üretimine uygun kalite özelliklerine de sahip olması beklenmektedir (TS 276, 1980; TS EN 844-2, 2000). Tomruklar ayrıca ağaçtan alındığı yere göre (toprağa yakın kısmından uç kısma doğru) "Dip Tomruğu", "İkinci (Ara) Tomruk" ve "Uç Tomruğu" gibi farklı isimlerle de anılmaktadır (Şekil 1).

Şekil 1*Ağaç Gövdesinden Alındığı Bölgeye Göre Tomruk İsimleri*

Açıklama notu. Biometria, 2020, Measurement of roundwood stacks, 2014, [Version 2020-10-01]. SDC's instructions for timber measurement, Swedish Regulations for Timber Measurement. Uppsala, İsveç kaynağından uyarlanmıştır.

Şekil 2*Silindir Formundan Prizmaya Geçişte Çıkan Kapak Tahtaları*

Açıklama notu. Rast, E. D., Sonderman, D. L., & Gammon, G. L., 1973, A guide to hardwood log grading [Vol. 1]. Forest Service, US Department of Agriculture, Northeastern Forest Experiment Station kaynağından alınmıştır.

Tomruktan kereste üretimine doğru elde edilen ara ürünlerle ilgili farklı terimler bulunmaktadır. Örneğin "daha ileri düzeyde kereste haline getirilmeden önce iki veya dört tarafından biçilmiş olan yapacak odun"a (TS EN 844-12, 2003) "Prizma" denilmektedir. Ayrıca tomruktan prizmaya geçişte, bir yüzeyi biçilmiş ve diğer yüzeyi yuvarlak odunun dış yüzeyi olan ve biçme sonucu oluşan kısımlara da "Kapak (Tahtası)" (TS EN 844-3, 2000) adı verilmektedir (Şekil 2).

Yuvarlak Yapacak Odun

Genellikle yakacak odun hariç olmak üzere kesilmiş, uç kısmı alınmış ve tüm dalları budanmış ürün "Yuvarlak yapılacak odun" olarak tanımlanmaktadır (TS EN 844-2, 2000). (Şekil 3). Kullanım yeri ve boyutlarına göre farklı çeşitleri bulunmaktadır. Örneğin "Direk"; madencilik çalışmalarında (Maden Direği - TS EN 844-12, 2003) veya iletişim, enerji vb. nakil hatlarında kullanılan (Tel Direği) yuvarlak yapılacak odundur. Ayrıca daha küçük boyutlarda olan "Sırık" (kabuklu orta çapı 5-8 cm, boyu en az 2 m) ve "Çubuk" (kabuklu orta çapı 1-4 cm, boyu en az 1 m) isimli yuvarlak odunlar da bulunmaktadır (TS 1215, 1972)

Şekil 3*Tomruk (a), Yuvarlak Odun (b) ve Kereste (c)*

Masif Ahşap (Kereste veya Biçilmiş Yapacak Odun)

Masif ahşap (kereste veya biçilmiş yapılacak odun), "tomruk veya odunun boylamasına biçilmesi, yarılmaması veya makina kullanılarak kesilmesi veya yongalanması sonucu elde edilen belirli ebatlardaki kısımları" (TS EN 844-3, 2000; TS EN 844, 2019¹) olarak tanımlanmaktadır. Özelliklerine ve kullanım yerlerine göre farklı isimler alabilmektedir.

Özelliklerine Göre Keresteler

Keresteler, ağaç türüne göre (TS 51, 2012) veya ağaç türü grubuna göre (İğne yapraklı - Yumuşak, Yapraklı (Sert) ve Tropik (Egzotik) (yine yapraklı ağaç olsa da)) tanımlanmaktadır. (TS EN 1611-1/A1, 2006; TS EN 975-1, 2010; TS EN 16737, 2016).

Keresteler, işlenme sonrası boyut ve kalitesinde izin verilen tolerans miktarına göre (fazladan aza doğru): "Kaba", "Düzeltilmiş", "Hazır (Taslak)", "Planyalanmış (Silinmiş)" kereste olarak tanımlanmaktadır (TS EN 844-3, 2000).

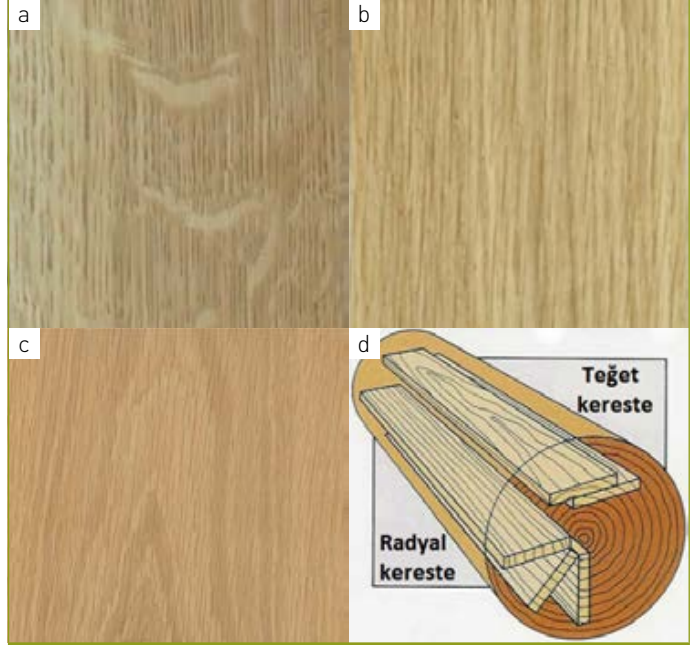
Kerestelerin görünüş, fiziksel ve mekanik özellikleri, yıllık halkaların geniş yüzeye çıkış açısına (YHA) göre değiştiğinden farklı isimler almıştır. Kereste endüstrisinde yaygın olarak, yıllık halkalara dik (YHA > 45°) ve paralel (YHA < 0°) olmasına göre sırasıyla "Radyal (Freze)" ve "Teğet (Hareli)" ifadeleri kullanılmaktadır (TS 697, 1974). Ancak günümüzde bu tanımlamalar değişmiştir (TS EN 844-3, 2000). Çünkü özellikle öz ışınları geniş olan ağaç türlerinden (meşe, çınar vb.) üretilen radyal keresteler (90° > YHA > 60°), öz ışınları farklı bakış açıları gözle görülebilecek şekilde ışıyı yansıtabildiği için "tam ayna keşişli (aynalı veya cıncanlı)" keresteler denilmektedir. Daha küçük açılarda (60° > YHA > 30°) aynı ağaç türlerinde öz ışınları geniş yüzde çizgi şeklinde gözükmetedir ve bu tip kerestelere "ayna (radyal)" keresteler denilmektedir. Yıllık halkalara teğet veya teğete yakın olacak şekilde biçilen (30° > YHA) ve geniş yüzde yıllık halkaların parabol çizgileri şeklinde gözükten keresteler yine "Teğet (Hareli) Kereste" olarak tanımlanmaktadır (Şekil 4).

Keresteler, boy ve enine kesit ölçülerine göre farklı isimler alabilmektedir. Boylarına göre; çok kısa, kısa, normal ve uzun boy, enine kesit ölçülerine göre ise (dardan geniş ölçüye); "çita", "lata", "tahta", "kadron", "azman", "kalas", "kiriş" gibi farklı isimler almaktadır. Ancak enine kesitte ölçü sınırları standarda göre değişebilmektedir. Örneğin TS 51 (2012)'e göre kalas ölçüleri, kalınlık için 40-100 mm ve genişlik için de 80-350 mm arasında değişmektedir (Tablo 2). TS 1265'te (2021) ise kalas aynı kalınlık aralığı belirtilmesine karşın, genişlik aralığı farklıdır ve 80-300 mm arasında değişmektedir.

Ölçülerde dikkat edilmesi gereken bir diğer husus ise, boyutların lif doygunluğu noktası altında, rutubete göre değişmesidir. Bu nedenle standartlarda "Anma Boyutu (Kesit Ölçüsü)", belirli bir rutubette, kerestede bulunması gereken ve adlandırmaya esas olan boyut olarak tanımlanmaktadır (TS EN 844-6 2000). Ayrıca rutubetin özellikle biyolojik dayanıklılık ve boyuttaki öneminden dolayı, rutubet içeriğine göre de farklı tanımlamalar bulunmaktadır. Genel olarak, kurutulmamış veya rutubeti %20 üstünde

Şekil 4

Aynalı (a), Radyal (b) ve Teğet (c) Meşe Keresteleri ve Biçilme Yönüne Göre Oluşumu (d)



Açıklama notu. The Frank Miller Lumber. [2019, Aralık]. Quartersawing process, The Frank Miller Lumber. <https://frankmiller.com/lumber/quartersawing-process>; Wood Database. [2023, Şubat 18]. White Oak. The Wood Database. <https://www.wood-database.com/white-oak>; Buitenschrijnwerk [2023, Şubat]. Zwembad-Terrassen. Buitenschrijnwerk.eu. <https://www.buitenschrijnwerk.eu/houten-zwembad-terras> kaynaklarından alınmıştır.

Tablo 2

TS 51'e (2012) göre (%15 rutubetteki) enine kesit (anma) boyutları

Boyutlarına Göre Kereste	Ölçü (mm)	
	Kalınlık	Genişlik
Çita	15, 20, 25	25
Lata	20, 25, 30, 40	50
Kadron	30x30, 40x40, 50x50, 60x60, 70x70	
Tahta	10, 15, 20, 25, 30, 35	80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200, 210, 220, 230, 240, 250, 260, 270, 280, 290, 300, 310, 320, 330, 340, 350
Kalas	40, 50, 60, 70, 80, 90, 100	80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200, 210, 220, 230, 240, 250, 260, 270, 280, 290, 300, 310, 320, 330, 340, 350

Açıklama notu. TS 51, 2012, Kereste - Ladin ve göknar keresteleri - Genel amaçlar için, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye kaynağından alınmıştır.

olan keresteler "Yaş Kereste", rutubeti %20'nin altına indirilmiş keresteler de "Kuru Kereste" olarak tanımlanmaktadır. Kurutma yöntemine göre "Hava Kuru" ve "Fırınlanmış Kereste" olarak da tanımlar da bulunmasına karşın, bazı sakıncaları bulunmaktadır. Örneğin açık havada yapılan (doğal/hızlandırılmış doğal) kurutmalarda, ahşap rutubet değerleri Türkiye şartlarında en düşük %12'ye inebilmektedir, ancak bu değer iç mekân kullanımları için yüksektir. Ayrıca bazı çalışmalarda (TS ISO 13061-3, 2021) fırında %12-15 rutubet aralığına kadar kurutulan keresteler için de

1 Güncel TS EN 844 (2019) standardı, bu çalışmanın yapıldığı sırada İngilizce yayınlanmıştır. Türkçe karşılıkları için yerini aldığı TS EN 844-1, 2... (2000) standart serisi referans alınmıştır.

"hava kurusu" ifadesi kullanılabilir. "Fırınlanmış kereste" veya "Fırınlama" kavramları da, kullanılan fırın tipi (kurutma, ısı işlem, termal modifiye, buharlama fırını vb.) değişebileceğinden tek başına yetersiz kalabilmektedir. Ayrıca her yöntemde de yeterli bekleme süresine ihtiyaç duyulacağından, mutlaka rutubet miktarının tespitiyle değerlendirme yapılması gereklidir.

Keresteler boyutsal stabilite ve biyolojik dayanıklılık özelliklerinin artırılması için gördükleri işlemlere göre de farklı isimlendirilmektedir. Bu kapsamda, emprenye maddeleri kullanarak biyolojik bozulmadan koruma ve iyileştirme işlemleri (TS EN 844-10, 2000) uygulanmış kerestelere "Emprenyeli Kereste" denilmektedir. Kerestelerin hücresel yapısı, düşük oksijenli ortamda 160°C'den yüksek sıcaklıklara maruz kalmasıyla değiştirilirse (TSE CEN/TS 15679, 2011) "Termo İşlemli (Termal modifiyeli) Kereste" olarak isimlendirilmektedir. Her ne kadar alt sıcaklık sınırı 160°C olarak belirlense de, ısı işlemin amacına uygun şekilde gerçekleşmesi için, minimum sıcaklığın 180°C ve üzerinde düşünülmesi daha uygun olacaktır.

Kullanım Yerine Göre Tanımlar

Genel amaçlı kullanım: Yapısal, travers vb. kullanım yeri ve özellikleri belirlenmemiş, çeşitli amaçlar için kullanılan keresteleri ifade etmektedir (TS 51, 2012).

Ambalajlık kereste: Endüstriyel kullanım için üretilen ahşap ambalajlarda (kutu, palet, sandık vb.) kullanılan kerestelerdir (TS EN 12246, 2002).

Doğramalık kereste: Bir binada yapısal olmayan kullanım için tasnif edilmiş ahşap veya ahşap esaslı mamullerdir (TS EN 942, 2009). Yapı içerisinde ve dış cephesinde kullanılan döşeme tahtaları örnek olarak verilebilir. Genellikle görünen ve görünmeyen olmak üzere iki yüzü farklı değerlendirilmektedir.

Travers: İşletme rayları, kontrol rayları ve uygun olduğu yerlerde iletkin rayları kendi eksenine göre dik açılarda destekleyen ahşap kiriştir. Genellikle giriş, bir yol oluşturmak için iki işletme rayını destekler (TS 700 EN 13145+A1, 2012).

Yapı kerestesi: Taşıyıcı olarak kullanılmaya elverişli olan kerestelerdir (TS 1265, 2021). Bu kavram doğramalık, kaplamalık kerestelerle, denizlik, parmaklık, veranda, dolap vb. yapımında ve

dekoratif amaçlarla kullanılan, taşıyıcı olmayan keresteleri kapsamaktadır (TS EN 13307-1, 2007). Ayrıca bu çalışmanın yapıldığı dönemde, "İnşaatlık kereste" kavramı, inşaat yapımında kalıplık, iskele vb. yapılması için kullanılan düşük kalite sınıfındaki ve rutubeti %20'nin altındaki keresteler için kullanılmaktadır (Şekil 5).

Kereste Kusurları ve Görünüşe Göre Kalite Sınıflandırması

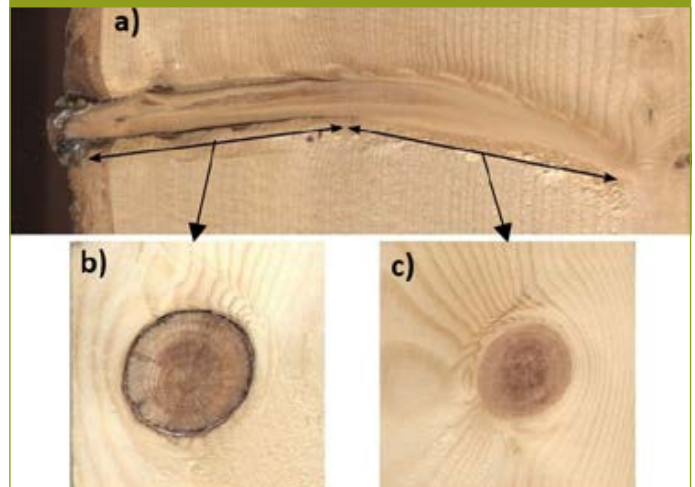
Kalite, kullanım yerine uygunluk seviyesini belirleyen göreceli bir kavramdır. Örneğin kalemtırışla kolayca açılması istenen kurşun kalemde kullanılan masif ahşapla, üstünden yüksek tonajlı trenlerin geçtiği traverslerde kullanılan masif ahşaptan beklentiler farklıdır. Ayrıca mobilya, yapı gibi karmaşık strüktüre sahip tasarımların her bir eleman için farklı kalite beklentileri bulunmaktadır (Malkoçoğlu ve Çakmak, 2016). Görecelilik durumu kalite sınıflarında da görülmektedir. "1. sınıf kereste" tanımı, genellikle en iyi kalitede olan keresteler için kullanılmasına karşın, bu tanımlamada referans alınan standart, teknik şartname gibi kurallar bütünü bulunmadığı için, eksik bir ifade olacağı söylenebilir. Örneğin doğramalık kereste standardının (TS EN 942, 2009) en iyi sınıfı "J2" veya "A" olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca bu sınıfta 2 mm çapa kadar olan budaklara müsaade edilirken bazı işletmeler, daha iyi bir sınıf olarak, hiç budak bulunmayan "Ekstra" isimli bir kalite sınıfı da ilave edebilmektedir. Bu nedenle kalite düzeyi (sınıf) belirtilirken, mutlaka kabul şartlarını belirten standart, teknik şartname vb.'nin de yer alması gereklidir (TS 1265'e göre 2. sınıf yapı kerestesi gibi). Aksi takdirde farklı kişi, kuruluş, işletme veya bölgelerin farklı değerlendirmeleri, özellikle ticarete anlaşmazlıklara yol açacaktır.

Kusurlar ve Çeşitleri

Kerestede kalite sınıfını belirleyen en önemli unsurlar boyut, rutubet, tür ve kusurlardır. Kerestede doğal halde bulunan veya sonradan meydana gelen oluşumlar, birçok kullanım yeri için istenmediğinden veya sınırlı olarak kabul edildiği için "kusur" olarak

Şekil 6

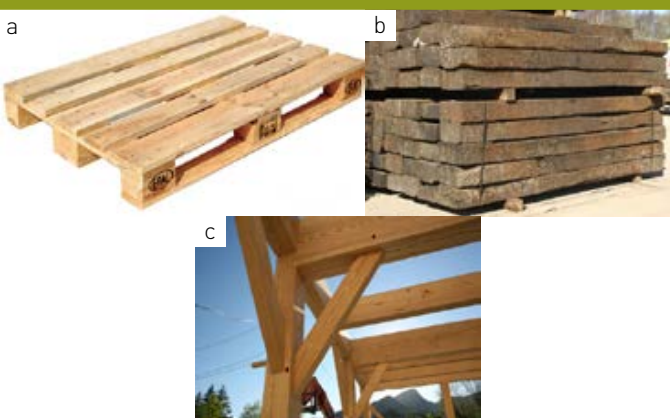
a) Kereste İçindeki Dal Odununda (Budak), b) Düşer ve c) Kaynamış Budak Farkları



Açıklama notu. Berglund A, 2014, Efficient utilization of sawlogs using scanning techniques and computer modelling, Doktor Tezi, Luleå Tekniska Üniversitesi, Skellefteå, İsveç kaynağından alınmıştır.

Şekil 5

Ağac Ambalaj (Palet) (a), Travers (b) ve Yapı Kerestesi (c)



tanımlanmaktadır. Ancak bazı durumlarda özellikle estetik özellikleri arttırdığından, kabul edilebilirlik sınırları esnetilebilmektedir. Bu çalışmada, tomruk ve kerestede yaygın olarak görülen ve standartlarda da sıkça belirtilen kusurlardan bahsedilmiştir.

Budak

Bir dalın odun içine gömülmüş bölümüdür. Masif ahşabın yüzeyinde dairesel, eliptik veya kanat şekline benzer görünüşlerde bulunmaktadır. Bu nedenle standartlarda genel olarak görünür çapı dikkate alınırken, BS 4978 (2017) gibi bazı standartlarda ise üç boyutlu olarak değerlendirilebilmektedir. Etrafındaki odun dokusuyla kaynama durumuna göre "Kaynamış" veya "Düşer" gibi çeşitleri de vardır (Şekil 6).

Çatlak

Liflerin uzunlamasına birbirinden ayrılmasıdır. Enine kesitten bakıldığında ise yıllık halkalara paralel olma durumunda "halka çatlağı", yarıçap yönünde ilerlediği zaman "radyal çatlak", bulunduğu yüzeye göre "enine kesit", "yüzey", "uç", "iç çatlakları" gibi tanımları bulunmaktadır (Şekil 7). Dikili halde büyüme gerilmeleri, yıldırım, don vb. nedenlerle olabildiği gibi, tomrukta enine kesitte ve kereste bütününde daha çok kurumaya bağlı daralma gerilmeleri nedeniyle oluşmaktadır. Standartlarda genellikle uzunluğu, genişliği veya derinliği dikkate alınmaktadır.

Şekil 7

Tomrukta (a) ve Kerestede (b) Uç Çatlağı ve Halka Çatlağı (c)



Açıklama notu. Tomruk görseli, Komut, O., İmamoğlu, S., Öztürk, A., 2010, Orman işletmeleri satış depolarında etkili olan zararlar ve alınabilecek önlemler. III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 20-22 Mayıs 2010, Cilt: I Sayfa: 270-278, Artvin, Türkiye kaynağından alınmıştır.

Lif Kıvrıklığı

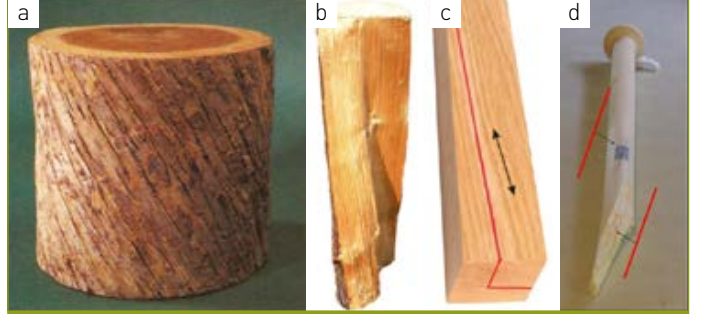
Liflerin öz etrafında kıvrık bir yol takip etmesi halidir. Tomrukta veya kerestede liflerin boyuna paralel olmaması durumudur. Kerestede birçok direnci önemli derecede düşürmektedir (Şekil 8). Standartlarda genellikle 1 m'de tomruk veya kereste uzunluk ekseninden sapma miktarı olarak belirtilmektedir.

Çürüklük ve Renklenme

Genellikle biyolojik kaynaklı olup, renklenme kimyasal reaksiyonlar

Şekil 8

Tomruk (a), Yuvarlak Odun (b), Kereste (c) ve Beyzbol Sopasında (d) Lif Kıvrıklığı



Açıklama notu. Hoadley, R. B. 2000, Understanding wood: a craftsman's guide to wood technology. Taunton press. ABD; - Säll, H., 2002, Spiral grain in Norway spruce (Doktora tezi), Växjö University Press, İsveç kaynaklarından alınmıştır.

sonucu da oluşabilmektedir. Ahşabın yapısını bozması ve yayılma olasılığı nedeniyle çürüklük neredeyse tüm standartlar ve şartnamelerde istenmemektedir. Renklenme ise ağaç türüne ve oluşum sebebine göre değişmekte olup, bazı kullanıcılar tarafından estetikliği arttırdığından tercih edilebilmektedir (Şekil 9).

Şekil 9

Çürüklük (a), Mavi Renklenme (b), Meşede Rutubet (c) ve Oksidasyon (d) Renklenmesi



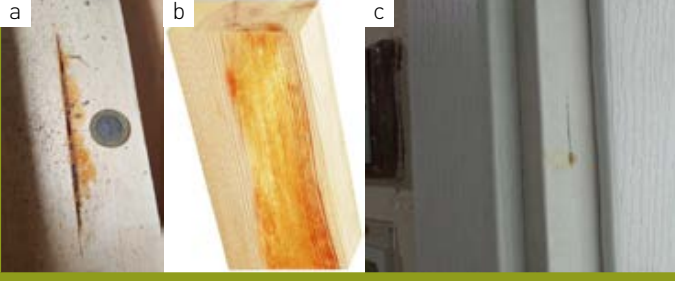
Açıklama notu. Buffalo Lumber (2023, Şubat). Natural Blue Stained Pine Wood Paneling. Buffalo Lumber. <https://www.buffalo-lumber.com/projects/blue-stain-pine-wood-home>, Colonial Pest Control (2023, Şubat). Common Causes Of Indoor Wood Decay. Blog. Colonial Pest Control Inc. <https://www.colonialpest.com/2014/05/26/common-causes-indoor-wood-decay>, Timber Frame Company (2023, Şubat). Common stains in wrot oak. The Timber Frame Company. Birleşik Krallık. <https://www.thetimberframe.co.uk/how-we-do-it/oak-finishes/gallery> kaynaklarından alınmıştır.

Reçine Kesesi

Bazı iğne yapraklı türlerinde doğal halde bulunmaktadır. Tomruk ve kereste işlemede talaşı testereye yapıştırarak biçmeyi zorlaştırdığı gibi, malzemenin son kullanım yeri performansını da etkilemektedir (Şekil 10).

Şekil 10

Doğal Reçine Kanalı (a), Yüzeye Dağılımı (b) [Swedish Wood, 2023] ve Uygulamada Ortaya Çıkması (c)



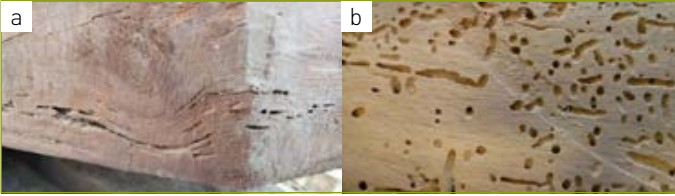
Açıklama notu. Swedish Wood [2023, Mart]. From raw material to wood product. Swedish Wood. İsveç. <https://www.swedishwood.com/wood-facts/about-wood/from-log-to-plank/> kaynağından alınmıştır.

Delikler

Doğal nedenlerle genelde böcek delikleri ve ökseotu nedeniyle oluşmaktadır. Ökseotu deliği, ökseotu (*Viscum album* L.) bitkisi köklerinin odun içerisinde açtığı delik olup (TS 1265, 2021) daha çok yıllık halka boyunca devam ederken, böcek delikleri (türe göre değişmekle birlikte) farklı yönlerde ve çaplarda oluşabilmektedir (Şekil 11). Ayrıca üretim ve kullanım sırasında da çivi, vida, zımba vb. delikleri bulunabilmektedir. Estetik açıdan olumsuz etkisiyle birlikte, keresteleri işlerken kesicilere zarar vermemesi için, delik içlerinde kalıp kalmadığı da kontrol edilmelidir.

Şekil 11

Ökseotu (a) (Foto: H.V.Görgün) ve Böcek Delikleri (b)



Şekil Bozuklukları

Tomrukta silindirik yapıdan, kerestede ise dikdörtgenler prizması yapısından uzaklaştıran, biçmeyi ve son kullanım yeri performansını etkileyen bazı şekil bozuklukları bulunmaktadır. Genellikle olması gereken şekilden sapma miktarına göre ölçülmektedir.

[Tomrukta] Koniklik ve Ovallık

Koniklik, dikili bir gövdenin yüksekliği arttıkça veya bir tomruğun tomruk boyunca uca doğru çapının düşmesi durumudur. Hacim hesaplamalarını ve biçme diyagramı belirlemeyi zorlaştırmakta, tomruk eksenine paralel biçilen kerestede lif kıvrıklığı oluşturmaktadır. Ovallık ise, yuvarlak yapacak odunun enine kesitinde büyük çap ile küçük çap arasında belirgin bir fark olması durumudur. Enine kesiti daire şeklinden uzaklaştırdığı gibi, genellikle yapısı daha farklı olan reaksiyon odunu da oluşmaktadır (Şekil 12).

Eğrilik

Tomruk veya kereste boyuna ekseninin düzgün bir hattan saptmasıdır. Genellikle büyüme sırasında oluşan etmenlerden (lif kıvrıklığı, iç gerilmeler vb.) oluşmaktadır (Şekil 13). Kerestede ayrıca kurutmaya

Şekil 12

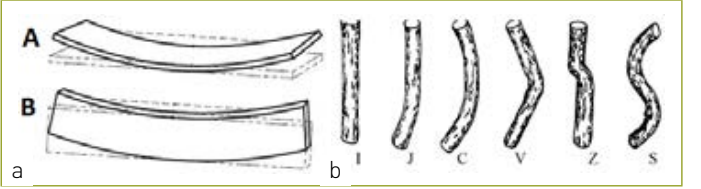
Tomrukta Koniklik (b) [Biometria, 2021] ve Ovallık (b)



Açıklama notu. Biometria, [2021], Measurement of Log Volume Under Bark (Version 2021-04-01). Swedish Regulations for Timber Measurement, , Biometria, İsveç kaynağından alınmıştır.

Şekil 13

Kerestede (a) ve Tomrukta (b) Eğrilik Çeşitleri (A: Normal, B: Kılıcına Eğilme)



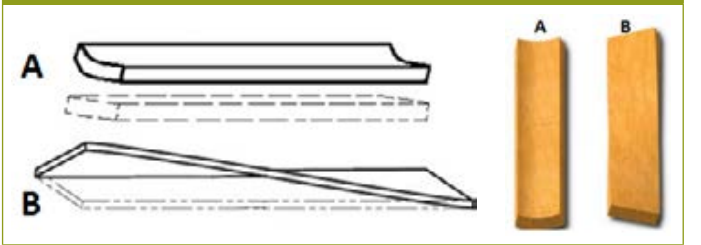
bağlı gerilmeler veya istifleme hatalarından da kaynaklanabilmektedir.

(Kerestede) Oluklaşma ve Burulma

Kereste yüzeyinde boylamasına meydana gelen bükülmeye "Oluklaşma" (Çanaklaşma), kereste boyunca oluşan spiral bükülmeye de "Burulma" denilmektedir (Şekil 14) (TS EN 844-3, 2000). Oluklaşma, genellikle teğet kerestenin rutubet alışverişi sonucu oluşurken, burulma da genellikle lif kıvrıklığından veya yanlış istiflemenin kaynaklanmaktadır.

Şekil 14

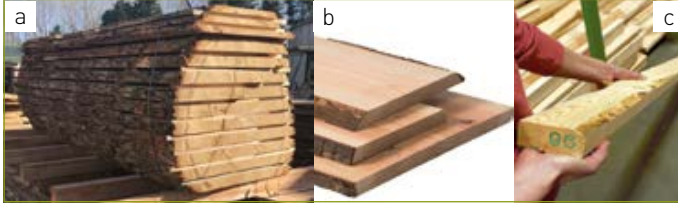
Kerestede A) Oluklaşma, B) Burulma



Sulama. Kerestenin herhangi bir yüzünde veya kenarında bulunan tomruğun kabuklu veya kabuksuz orijinal yuvarlak yüzey olarak tanımlanmaktadır (TS EN 844-3, 2000). Standartlarda genellikle enine kesit ölçülerini azaltma oranına göre değerlendirilmektedir (Şekil 15). Kerestenin herhangi bir yüzünde veya kenarında sulama bulunuyorsa "Sulamalı (Yanı alınmamış) Kereste" olarak tanımlanmaktadır. Eğer sulama kereste boyunca devam ediyorsa "Yanlı kereste" olarak da ifade edilmektedir. Ayrıca, belirli toleranslarda sulama içeren, (veya hiç sulama içermeyen) dik açılı dörtgen kesitli keresteler de "Dörtgen Kesitli (Dört Yüzü Düzgün veya Dört Köşe) Kereste" olarak tanımlanmaktadır (TS EN 844-3, 2000). Eğer tomruğun boydan boya paralel olarak biçilmesi ile elde edilmiş ve tekrar orijinal tomruk şeklinde düzenlenmiş kapaksız yanları alınmamış kerestelere "Tomruk Bloğu (Bul, Boule)" denilmektedir (TS EN 844-3, 2000).

Şekil 15

Tomruk Bloğu (Bul veya Boule İstif) (a), Yanlı (b) ve Sulamalı Kereste (c)



Kusurların standartlardaki kalite sınıflarında yer almasıyla ilgili bir örnek de Tablo 3'te gösterilmiştir. Ayrıca kerestelerde kalite düşüşünün görünüş özelliklerine yansımalarıyla ilgili örnek olması açısından, farklı sınıflarda yer alan kerestelerin görünüşleri Şekil 16'da gösterilmiştir.

Tablo 3

TS 1265'e Göre 2. Sınıf İğne Yapraklı Yapı Kerestesi Özellikleri

Özellikler (Korunmamışlarda)		Taşıma yeteneği normal olanlar (II. Sınıf)
Renklenme (Kahverengi, kırmızı şerit)		Bulunabilir
Çürük, kovuk		Bulunmaz
Yıldırım çatlağı		Bulunmaz
Don çatlağı		Bulunmaz
Halka çatlağı		Bulunmaz
Çevre ve öz çatlağı		Bulunabilir
Yan ve yüz çatlağı		Bulunabilir
Böcek deliği		Bulunmaz
Ökseotu deliği		Bulunmaz
Sulama		Uzunlukları toplamı bulunduğu kenar boyunun 2/3'ünü, herhangi bir enine kesitte sulama ile eksilen alan o kesitin anma alanının 1/8'ini geçmemelidir.
Yıllık halka kalınlığı (genişliği)		Aranmaz
Basınç odunu		Bulunmaz
Budaklar	a) Birer birer dağılmış budaklar	1/3
	a1) Kadron, kiriş ve azmanlarda (Budak çapının budağın bulunduğu yüzün genişliğine oranı en çok	Çapları 70 mm'den büyük olmamalıdır.
	a2) Tahta, kalas ve latalarda (Budağın bulunduğu ve uzunluk eksenine dik olarak düşünülen kesitteki her yüzde görünen boyutları toplamının parça genişliğinin iki katına oranı) en çok	1/3
b) Toplu budaklar	b1) Kadron, kiriş ve azmanlarda (kusurların en çok bulunduğu bölgede 150 mm'lik boy içine giren her yüzde bulunan budakların çapları toplamının o yüzün genişliğine oranı en çok	2/3
	b2) Tahta, kalas ve latalarda (Kusurların en çok bulunduğu bölgede 150 mm'lik boy içine giren, her yüzde bulunan budakların kereste eksenine dik olarak ölçülen boyutları toplamının tahta kalas ve lata genişliğinin iki katına oranı) En çok	1/2
Lif kıvrıklığı (1m boyda liflerine yanlardan sapma miktarı)	a) Yüzey çatlakları varsa	En çok 200 mm
	b) Yüzey çatlaklıkları yoksa	En çok 120 mm
Eğrilik	a) (Eğriliğin en fazla olduğu yerde 2 m'lik bir kısma düşen en büyük sapma) en çok	8 mm
	b) (En büyük sapmanın kereste boyuna oranı) en çok	1/250
Burulma		Bulunmaz
Oluklaşma		Parça genişliğinin %2'si kadar

Açıklama notu. TS 1265, 2012, Kereste - İğne yapraklı ağaç keresteleri - Yapılarda kullanım için, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

Şekil 16

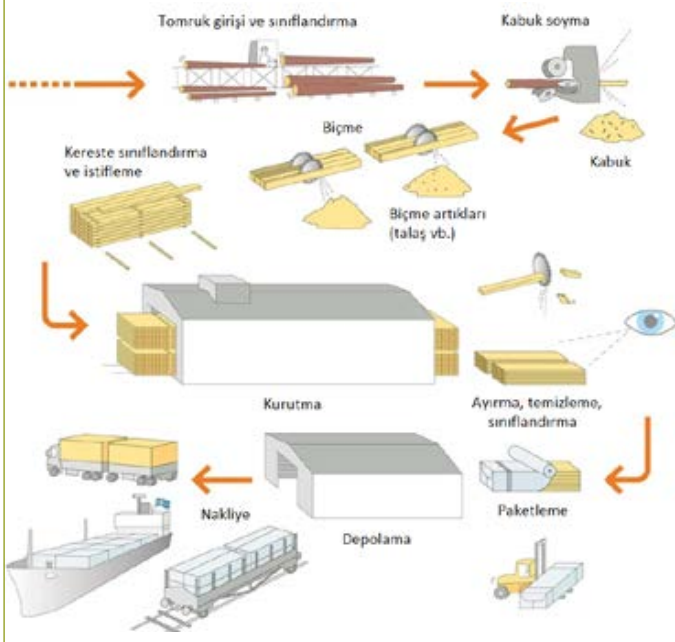
En İyi Sınıftan En Kötü Sınıfa Kereste Görünüşleri (Yukarıdan Aşağıya)



Açıklama notu. AHEC. (2023 Mart). Amerikan Sert ağaç Kütük Sınıfları Resimli Rehberi (American Hardwood Lumber Grades). American Hardwood Export Council, ABD. <https://www.americanhardwood.org/tr/library/publications/amerikan-sertagac-kutuk-siniflari-resimli-rehberi?region=mea> kaynağından alınmıştır.

Şekil 17

Kereste Üretiminde İş Akışı



Açıklama notu. Swedish Wood'tan [2023] alınıp Türkçe'ye çevrilmiştir. Swedish Wood. (2023, Mart). From raw material to wood product. Swedish Wood. İsveç. <https://www.swedishwood.com/wood-facts/about-wood/from-log-to-plank/> kaynağından alınmıştır.

Masif Ahşap (Kereste) Üretimi

Kereste üretimi; tomruğun fabrikaya gelmesiyle başlayan, bıçme ve kurutma işlemleriyle devam eden bir süreçten oluşmaktadır (Şekil 17).

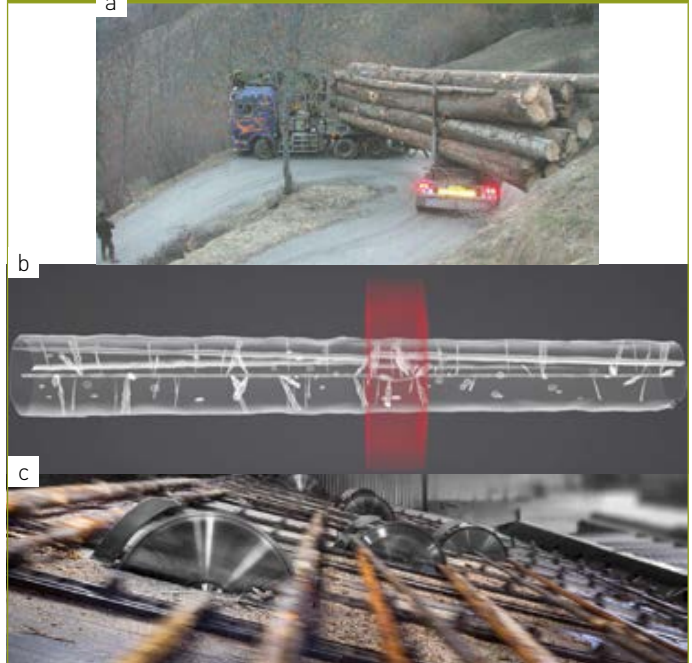
Hammadde (Tomruk) Temini

Kereste endüstrisi, hammaddesini ormanlardan temin etmektedir. Orman ve yapı taşı ağacın ekolojik ve ekonomik önemi nedeniyle en uygun ağacın seçilmesi ve en az kayıpla işlenmesi hedeflenmelidir. Örneğin dikili haldeyken en yüksek randıman verecek ve gerekli kriterleri sağlayacak (TS 276, 1980 gibi) olanların seçilmesi gereklidir. Devrilen ağaçlar taşıma imkânları doğrultusunda

gövde veya tomruk olarak işletmeye nakledilmektedir. Tomruklara ayırma işlemi, taşıma aracının kapasitesi, gövdede kaliteyi etkileyen unsurlar, işletme ihtiyaçları gibi kriterlere göre şekillenmektedir. Örneğin 20 m'lik bir gövde, beşer m'lik dört tomruğa ayrılabilirken, dallanmanın olduğu bölgede daha düşük sınıfta kereste elde edileceğinden daha farklı aralıklarla da boylama yapılabilir. Bu işlem ormandaki işçiler tarafından yapılabilirken, gövdelerin fabrikaya nakledildiği durumda tarayıcılarla bütünsel optimizasyon programları kullanılabilir (Şekil 18).

Şekil 18

Orman Yollarında Gövde Taşıma (a), Boylama Optimizasyonu (b) (Microtec, 2015), Tomruk Boylama İşlemi (c)



Açıklama notu. Microtec. (2015, Mayıs). MiCROTEC CT Log 360° X-ray CT-Sawing Optimization. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=xK4CdNT-3DK4> kaynağından alınmıştır.

Hammaddenin sevkiyatında kullanılan araçların kapasiteleri genellikle ağırlık ve hacim üzerinden belirlenmektedir. Aracın aldığı hacimsel kapasite belirli aralıkta olduğundan, ağırlık daha

fazla önem kazanmaktadır. Yoğunluk esas alınarak yapılan hesaplamalarda, rutubetin de hesaba katılması son derece önemlidir. Örneğin tam kuru halde (%0 rutubet) 1m³'ü 550 kg olan bir çam tomruğu, tomruk halindeyken (ortalama %60-70 rutubet) 850 ila 900 kg olabilmektedir. Dikkate alınmadığı takdirde nakliyatla ilgili önemli sorunlar oluşabilmektedir (Şekil 19). Ayrıca tomruğun silindirik hacimli olması nedeniyle yuvarlanması veya araç içi dengesizlik nedeniyle, tomruğun veya aracın devrilmesine bağlı yüksek kaza riski bulunmaktadır.

Şekil 19

Tomruk taşımada kapasitenin yanlış hesaplanmasında karşılaşılan sorunlar



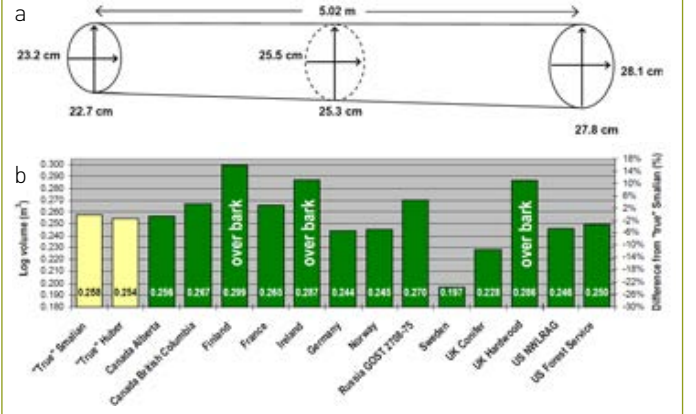
Tomrukta hacmin belirlenmesi, taşımayla birlikte ticareti için değer belirlemede önem kazanmaktadır. Yapısı nedeniyle genellikle silindir ve kesik koni hacim formülü referans alınsa da eğrilik, ovallik gibi kusur barındırdığı takdirde farklı yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak bu durum bölgeler ve ülkeler bazında farklılıklara yol açtığından ticarete anlaşmazlıklara yol açabilmektedir. Birleşmiş Milletler tarafından yayınlanan bir rapora göre, Şekil 20'nin üst kısmında ölçüleri belirtilen tomruğun hacmi, grafikte görüldüğü gibi 15 farklı hesap yönteminin sonucu aynı değildir (UNECE/FAO, 2010).

Tomruk Deposu ve Depolama Teknikleri

Üretim hattının devamlı olarak beslenebilmesi, uzun gövde veya tomrukların boylanması vb. (Kantay, 2005) avantajları nedeniyle tomruklar depolanmaktadır. Ancak ağaç kesildikten sonra orman veya fabrika deposunda bekletilirken çeşitli nedenlerle kalite kaybına uğrayabilmektedir. Taşımada yaşanabilen fiziksel kayıplarla birlikte, enine kesitte kurumaya bağlı çatlaklar, dikili haldeyken ve toprak teması sonrası çürüklük veya böcek zararı gibi birçok etmen kaliteyi düşürebilmektedir. Engellemek için her bir tomrukta uygulanan enine kesitlerin kapatılması, iğne yapraklı ağaçlarda kabukların soyulması gibi önlemlerle birlikte, depolarda toprakla teması kesme, yağmurlama veya su altında bekletme gibi daha uzun süreli koruma yöntemleri de uygulanabilmektedir (Kantay ve

Şekil 20

Bir Tomruğun (a) Farklı Bölge veya Ülkelere Göre Hacmindeki Farklılıklar (b)



*[NWLRAG: Northwest Log Rules Advisory Group, GOST 2708-75: Rusya Federasyonu standardı, UK Conifer: En büyük çap yöntemi-İngiltere, UK Hardwood: Orta çap yöntemi-İngiltere, Over bark: Kabuk üstü, Log volume: Tomruk hacmi, Difference from "true" Smalian: "Gerçek" Smalian'dan farkı]

Acıklama notu. UNECE / FAO, 2010, Forest products conversion factors for the UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) region, Geneva Timber and Forest Discussion Paper 49, Timber Selection, Geneva, Switzerland. Wintersteiger. (2023, Şubat). Thin-Cutting Sawing Machines, Wintersteiger. Avusturya. <https://www.wintersteiger.com/en/Woodtech/Flooring-furniture-and-boards/Product-range> kaynaklarından alınmıştır.

Şekil 21

Toprakla Teması Kesme (a), Enine Kesitlerin Kapatılması (b), Yağmurlama (c)



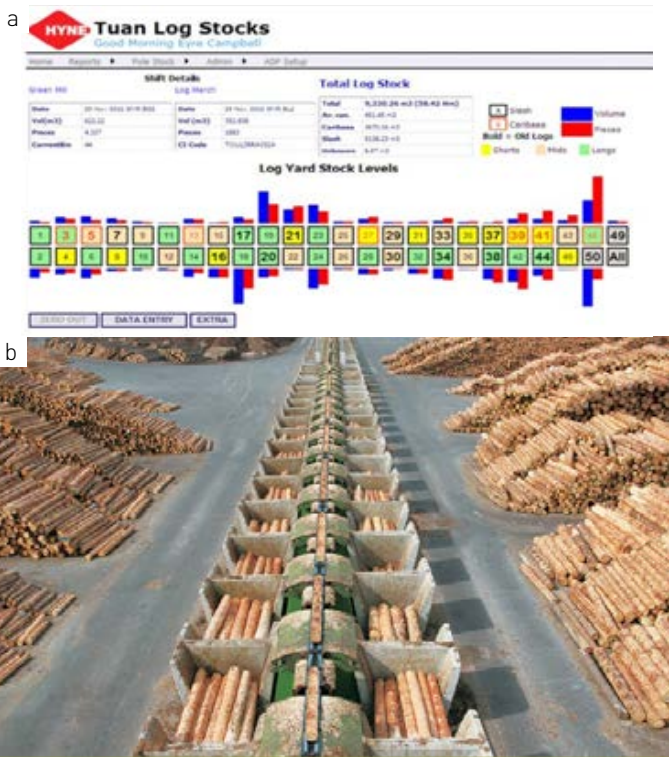
Köse, 2009). Ayrıca su kullanılan yöntemler, kesicilere zarar verebilecek malzemeleri de uzaklaştırabilmektedir (Şekil 21).

Tomruk deposunun verimli bir şekilde yönetilmesi için genellikle ağaç türü, çap, boy ve kaliteye göre sınıflandırılarak tasnif edilmektedir. Şekil 22'de yüksek tasnif transportörünün tercih edildiği tomruk deposunda kullanılan bir stok takip programı görülmektedir.

Kabuk, yapısının farklı olması nedeniyle işleme sırasında daha fazla toz çıkarması, inorganik maddeler barındırabilmesi nedeniyle

Şekil 22

Yüksek Tasnif Transportörü İle Sınıflandırma Yapılan Bir Tomruk Deposu (a) (Schmidt, 2009) ve Yönetim Yazılımı Örneği (b)



Açıklama notu. Campbell, E., 2013, Simulation of sawmill yields at hyne tuan pine mill, Dissertation Report of ENG4112 Research Project, Faculty Health, Engineering & Sciences

Şekil 23

Kabuk Soyma Yöntemleri: Elle (a), Düşer Makineyle (b), Silindirleme (c, d)



Açıklama notu. Türk, Y., Şengöç, E., Gültekin, Y. S., & Enez, K. (2022). Orman sertifikasyonunun odun hammaddesi üretim faaliyetlerine etkilerinin incelenmesi (Bolu Orman İşletme Müdürlüğü örneği). Ormancılık Araştırma Dergisi, 9 (Özel Sayı), 30-40. Wikipedia. (2023, Şubat). Debarking (lumber). Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Debarking_%28lumber%29, Erka Ahşap. (2023, Şubat). 3.Tomruk Tornası ve Tornalı Malzeme İşleme Makineleri, Erka Grup, http://erkaahsap.com.tr/index.php?route=product/category&path=74_77 kaynaklarından alınmıştır.

testerelelerin daha hızlı körelmesine sebep olabilmektedir. Ayrıca iğne yapraklı ağaçlarda kabuklu halde bekletmeyle oluşan böcek zararı odun dokusuna da zarar verdiğiinden, ormanda veya fabrikada odun dokusundan en az kaybı sağlayan yöntemlerle soyulması gereklidir (Şekil 23).

Elle yapılan yöntemlerde, balta, nacak gibi el aletleri ile motorlu kabuk soyma makineleri kullanılmaktadır. Motorlu makineler bazı fabrikalarda da kullanılmakta, kendi ağırlığı ile döndürülen tomruğun üzerine düşerek, temas edilen bölgedeki kabuklar soyulabilmektedir. Silindirleme makinelerinde ise, tomruk üzerine gelen bıçaklar, tomruk etrafında yüksek hızlarla döndürülerek kabukla birlikte, dairesel enine kesite sahip olmayan tomruklardan bir miktar odun dokusunu da uzaklaştırılmaktadır. Çıkan kabuk, fabrikaların kendi ısı merkezlerinde değerlendirilebilmekte, ahşap esaslı levha, pelet, biyoyakıt vb. üretim tesislerine de verilebilmektedir.

Kereste Üretim Teknikleri ve Makineleri

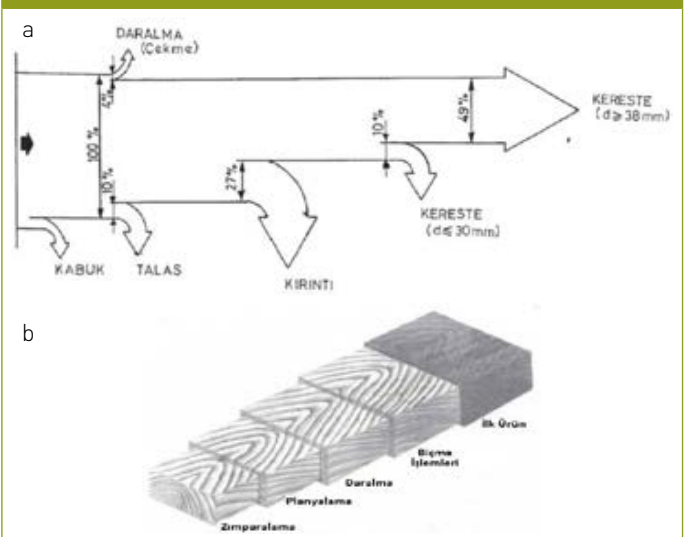
Kereste üretimi genellikle birincil ve ikincil (İng. "Primary" ve "Secondary Breakdown") olmak üzere iki ana aşamada gerçekleşmektedir. Birincil üretimde tomruktan yarı mamul (prizma, kaba malzeme, taslak vb.) üretimi yapılırken, ikincil üretimde ise son kullanım yerine göre daha hassas biçme işlemleri yapılmaktadır. Her aşamada biçilen malzeme çeşidi ve hassasiyeti değiştiğinden, farklı makineler ve biçme yöntemleri kullanılmaktadır.

Birincil Üretim (Tomruk Biçme) Teknikleri ve Makineleri

Randıman ve Verimlilik. Ağacın ekolojik ve ekonomik önemi nedeniyle, her aşamada en iyi şekilde değerlendirilmesi gereklidir. Kereste endüstrisinde değerlendirme kriterleri olarak başlıca randıman ve verimlilik değişkenleri dikkate alınmaktadır. Verimlilik, birim sürede elde edilen ürün veya üretim olarak tanımlanabilirken, randıman Kantay'a (2005) göre, "genel olarak çıktılar toplamının girdiler toplamına oranı" olarak tanımlanmaktadır.

Şekil 24

Kereste Üretiminde Materyal Akışı ve Oluşan Kayıplar: Tomruktan yarı mamule (a), Yarı mamulden keresteye (b)



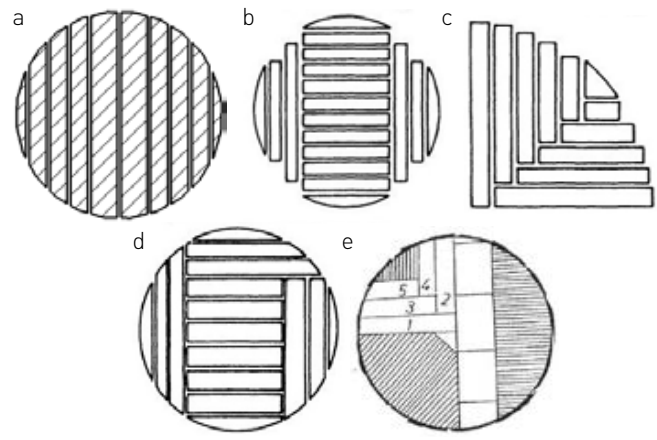
Açıklama notu. Kantay, R., 2005, Kereste endüstrisi ders notu (yayınlanmamış), Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul kaynağından alınmıştır.

Kometter ve Maravi'ye (2007) göre, dikili ağaç hacmi referans alındığında kereste randımanı yaklaşık %38'ken, tomruk hacmi referans alındığında ise bu oran ortalama %60'tır (%50 - %80) (Şekil 24). Ayrıca çıktı (ürün) sadece hacimsel olarak değerlendirilirse "miktar (kantite, nicelik) randımanı", kalite sınıfına dayalı değerlendirilirse "kalite (nitelik) randımanı" olarak da ifade edilebilmektedir.

Tomruk Biçme Yöntemleri. Tomruktan istenen kriterlere ve mevcut kısıtlara göre kereste üretilebilmesi için geliştirilen yöntemlerdir. Genellikle enine kesit referans alınıp, oluşturulan biçme diyagramları üzerinden kesişler yapılmaktadır. Kriter ve kısıtlar değişkenlik gösterdiğinden, genellikle standardize edilmiş biçme diyagramları kullanılmaktadır (Şekil 25).

Şekil 25

Tomruk Biçme Teknikleri: Keskin (a), Prizma (b), Çeyrek (c), Teğet (d) ve Diyagram (e) Kesiş



Açıklama notu. Kantay, R., 2005, Kereste endüstrisi ders notu (yayınlanmamış), Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul. Walker, J. C., 2006, Primary wood processing: principles and practice. Springer Science & Business Media. kaynaklarından alınmıştır.

"Keskin kesiş"te, tomruğun ilk pozisyonu değiştirilmeden biçme yapılmaktadır. Döndürmeye bağlı zaman kayıpları yaşanmadığı için diğerlerine göre daha verimli bir yöntem olmasına karşın, kapasite odaklı kullanıldığından kalite randımanı düşük olabilmektedir. "Prizma kesiş"te, tomruktan iki kapak tahtası alındıktan sonra dört-köşe keresteler biçilmektedir. Keskin kesisteki gibi yanlı malzeme üretimi olmadığı için kalite daha yüksektir.

Şekil 26

Tomrukta Biçme Optimizasyonu Programı Örnekleri



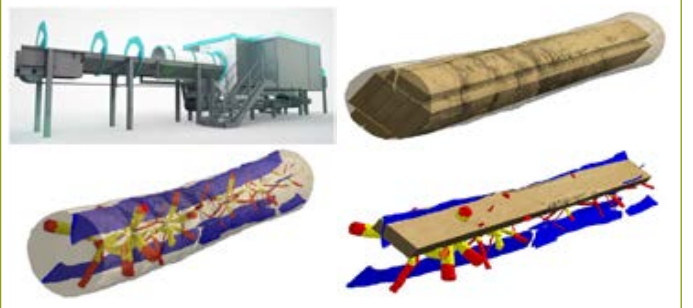
Açıklama notu. CutLog. (2020, Nisan). CutLog timber sawing optimization software. Tekl Studio. Slovakya. <https://cutlog.com>, Microtec. (2020, Haziran). Maxicut best cut solution. Microtec. <https://microtec.eu/en/catalogue/products/maxicut> kaynaklarından alınmıştır.

"Çeyrek kesiş"te amaç radyal kereste üretmek olduğu için, tomruğun mümkün olduğu kadar özışınlarına paralel yönde biçilmesine uygun diyagramlar uygulanmaktadır. Bu kesişte, tomruk genellikle dörde bölünerek biçildiği için "çeyrek kesiş" denildiği gibi, çıkan kereste görünüşü nedeniyle "radyal" veya "ayna kesiş" de denilmektedir. "Teğet kesiş"te ise amaç teğet kereste üretmek olduğu için, mümkün olduğu kadar yıllık halkalara teğet yönde tomruk biçilir. "Diyagram kesiş"te üretilmek istenen farklı özelliklerdeki kerestelere ve kullanılacak makineye göre özel biçme diyagramları oluşturulmaktadır. Biçme kararı genellikle operatörler tarafından verilirken, günümüzde tomruk enine kesitini veya tüm hacmini dikkate alan optimizasyon programları da bulunmaktadır (Şekil 26).

Son yıllarda geliştirilen bilgisayarlı tomografi cihazıyla tomruk biçilmeden budak, çatlak, reçine kesesi gibi tomruk iç özelliklerinin tespit edilebilmektedir. Bu özelliklerin keresteye sanal olarak yansıtılmasıyla, randımanla birlikte en yüksek kalite veya değerde keresteler verecek biçme diyagramları da tespit edilebilmektedir (Şekil 27).

Şekil 27

Bilgisayarlı Tomografi İle Tarama ve Tomruğun İç Kusurlarıyla Biçme Optimizasyonu (Mavi: Çatlakın Oluşturduğu Boşluk, Kırmızı: Ölü Budak, Sarı: Sağlam Budak)



Açıklama notu. Microtec. (2015, Mayıs). MiCROTEC CT Log 360° X-ray CT-Sawing Optimization. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=xK4CdNT-3DK4> kaynağından alınmıştır.

Birincil Üretim (Tomruk Biçme) Makineleri.

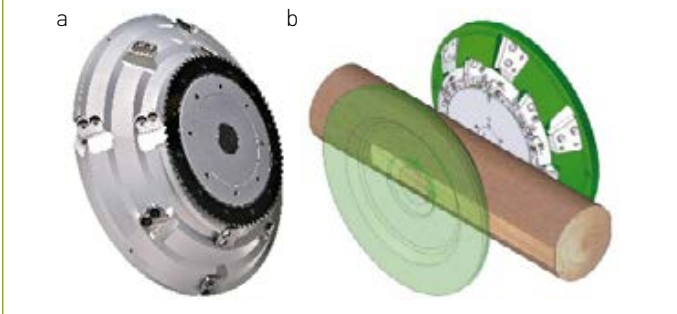
Bu aşamada tomruk, kapak tahtaları alındıktan sonra istenen kereste ebatlarına göre biçilmektedir. Kapak tahtasının fiziki olarak yer kaplaması ve genellikle ürün olarak değerlendirilememesi nedeniyle, bazı fabrikalarda kapaklar dönen bıçaklarla direkt olarak yongalanabilmektedir (İşlemin adı: "Kapak yongalama", "Yongalayıcı", "Kanter" veya "Çipir") (Şekil 28).

Tomruk biçmek için genellikle katrak, şerit testere ve daire testere makinesi kullanılmaktadır. Ormanda veya atölyelerde pratik çözümler için zincir testeresi de tercih edilse de, yüzey düzgünlüğü ve testere payı nedeniyle yaygın değildir. Bu örnekten de anlaşılacağı üzere, testere, biçilen ağaç türü, testere payı (biçme kalınlığı), kapasite, verimlilik, fabrika yerleşim alanına uygunluk vb. kriterlere göre seçilmektedir. Örneğin eskiden kapasite odaklı çalışmak için, birden fazla testere bir çerçeveye gerili olan ve düşey hareketle kendisine aktarılan tomruğu biçen katrak testere tercihi edilmmiştir (Şekil 29).

Bu çalışmanın yapıldığı dönemde, tomruk ve kerestenin değer artışı nedeniyle randımanlı üretimler tercih edilmektedir. Bu

Şekil 28

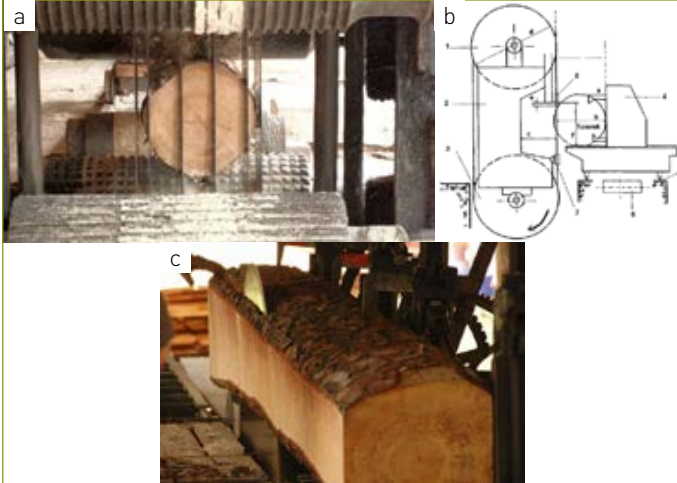
Kapak Yongalama Makinesi [a] ve İşlemi [b]



Açıklama notu. Ghosh, S. C., Hernández, R. E., & Blais, C., 2015, Effect of knife wear on surface quality of black spruce cants produced by a chipper-canter. Wood and Fiber Science, 47(4), 355-364. Esterer WD, (2023, Şubat), PF 19 Chipper Canter. Esterer WD GmbH. <https://www.ewd.de/en/sawing-technology/technology/circular-saw-profiling-technology/pf-19-chipper-canter/> kaynağından alınmıştır.

Şekil 29

Tomruk Biçme Makineleri: Katrak [a], Şerit [b] ve Daire [c] Testere Makinesi



Açıklama notu. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2020, Nisan). Unvan Değişikliği Sınavı Ders Notu. Personel Genel Müdürlüğü. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. Ankara, Türkiye. <https://www.tarimorman.gov.tr/PERGEM/Belgeler/M%C3%BChendis%20%28Orman%20End%C3%BCstri%29.pdf> kaynağından alınmıştır.

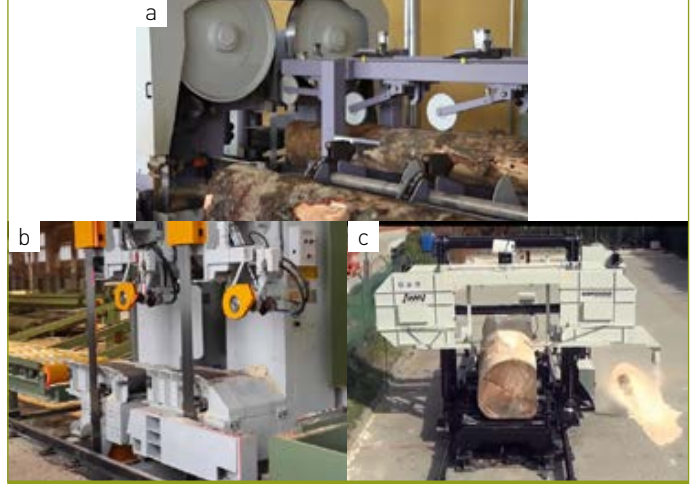
nedenle başta testere payının az olması, yüksek biçme kalitesi ve testere değişimiyle farklı ağaç türlerini biçebilme imkânı vb. özellikleri nedeniyle tomruk şerit testerelerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Kapasiteleri nispeten düşük olduğu için, testerelerin arka arkaya dizildiği (tandem), karşılıklı konulduğu (ikiz) üretim hatları da vardır. Ayrıca son yıllarda özellikle testere gerilimlerini azaltarak testere payını düşürmek için yatay şerit testereler de geliştirilmiştir (Şekil 30).

Yurtdışında ise yüksek kapasiteli üretim hatlarında, biçme hızı ve nispeten küçük çapta tomruklara (ort. < 30cm) uygunluğundan daire testereli üretim hatları daha yaygındır (Şekil 31).

Genellikle daire testereli üretimlerde, tomruğun veya prizmanın dairesel veya daireye yakın enine kesit formu, freze bıçaklı profil yongalama teknikleriyle (Çolakoğlu, 2005) yongalanarak köşeli hale getirilmekte ve üretilecek kerestelere uygun profiller oluşturulmaktadır (Şekil 32).

Şekil 30

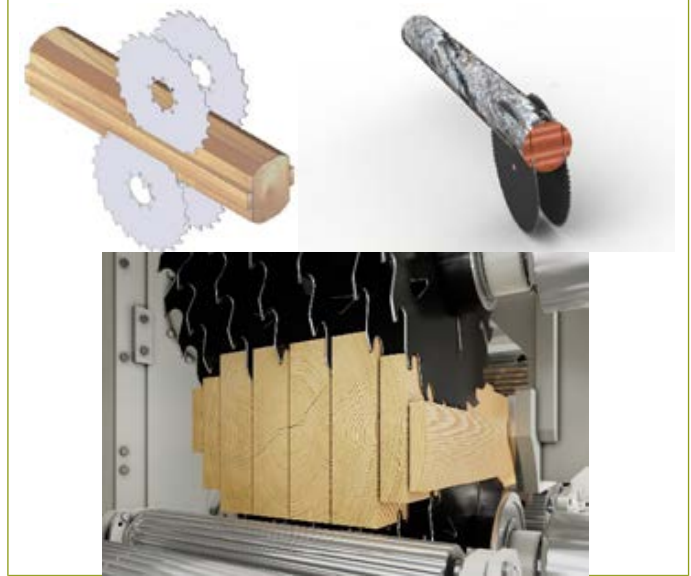
İkiz [a], Tandem [b] ve Yatay [c] Şerit Testere Makinesi



Açıklama notu. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2020, Nisan). Unvan Değişikliği Sınavı Ders Notu. Personel Genel Müdürlüğü. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. Ankara, Türkiye. <https://www.tarimorman.gov.tr/PERGEM/Belgeler/M%C3%BChendis%20%28Orman%20End%C3%BCstri%29.pdf> kaynağından alınmıştır.

Şekil 31

Tomruk Biçen Daire Testereler



Açıklama notu. Linck. (2023, Şubat). Double Arbor Circular Resaw MKS. Linck Holzverarbeitungstechnik GmbH. Almanya. <https://www.linck.com/en/machines/sawing/double-arbor-circular-resaw-mks> kaynaklarından alınmıştır.

Şekil 32

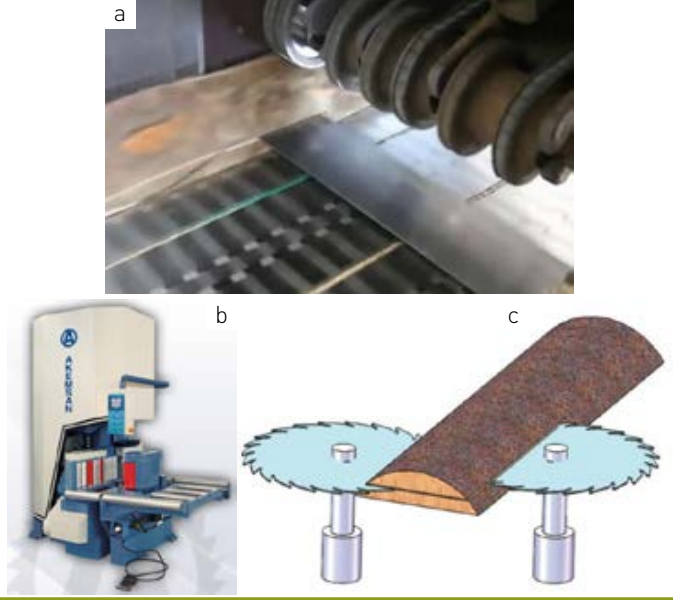
Profil Yongalama İşlemi



Açıklama notu. EWD. (2023, Şubat). Profiling and Saw Unit. Esterer WD GmbH. Almanya. <https://www.ewd.de/en/sawing-technology/technology/circular-saw-profiling-technology/profiling-and-saw-unit> kaynağından alınmıştır.

Şekil 33

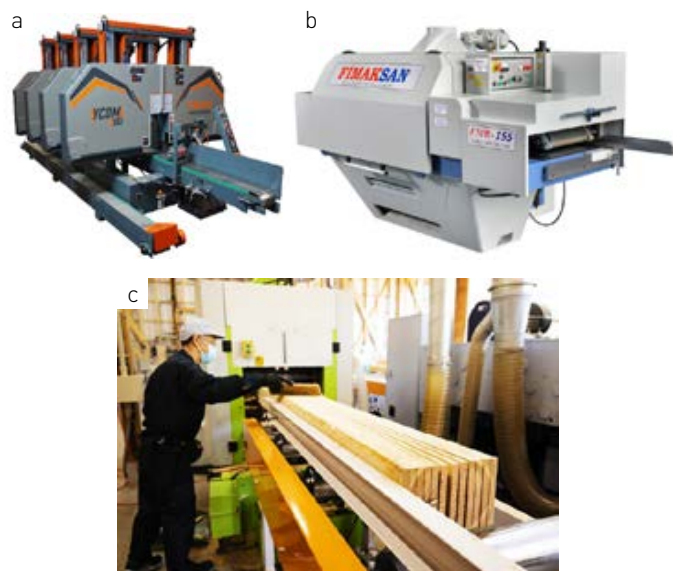
Yatay (a), Dikey (b) Şerit Testere, ve Daire Testere (c) ile Yarma



Açıklama notu. Üstünkarlı. (2023, Şubat). Tomruk biçme hatları. Üstünkarlı Makine A.Ş. Türkiye. <http://ustunkarli.com.tr>, Akemsan. (2023, Şubat). Hidrolik Yarma Makinası (Markol) - AE-HYM.120. Akemsan Ağaç Makineleri İmalatı Sanayi Ticaret Pazarlama Limited Şirketi. Adapazarı. Türkiye, <https://akemsan.com.tr/?portfolio=hidrolik-yarma-makinası-markol-ae-hym-120>, Akkuşlar Makina. (2023, Şubat). H.YM.350 Hidrolik Sistem Yatay Kapak Alma Makinası 350. Akkuşlar Makina Dış Tic. San ve Tic. Ltd. Şti. Türkiye. <https://akkuslarmakina.com.tr/urunler/h-y-m-350> kaynaklarından alınmıştır.

Şekil 34

Yatay Şerit (a), Daire (b) ve Katrak Testeresi (c) ile Çoklu Dilimleme



Açıklama notu. FORMMAKİNA. (2023, Şubat). Yatay Şerit Dilimleme Makinası, FORMMAKİNA - Ağaç ve Palet İşleme Makineleri. Türkiye. <https://www.formmaksan.com.tr/urun/kesim-makinalari/yatay-serit-dilimleme-makinası>, Fimaksan. (2023, Şubat). Çoklu Dilimleme / Pnömatik. Fimaksan San. LTD. ŞTİ. Türkiye. <https://www.fimaksan.com/sub-categories/5/products/20>, Wintersteiger. (2023, Şubat). Thin-Cutting Sawing Machines, Wintersteiger. Avusturya. <https://www.wintersteiger.com/en/Woodtech/Flooring-furniture-and-boards/Product-range> kaynaklarından alınmıştır.

İkincil Üretim (Son Ürüne Hazırlık) Teknikleri ve Makineleri

Kapasite, verimlilik vb. açısından ana (tomruk) biçme makinesinde biçilmesi uygun olmayan ebatlı yarı mamuller, çoklu dilimleme, dikey veya yatay yarma şerit testere makinesi (markul) daha ince malzemelere biçilebilmektedir (Şekil 33).

Kapasiteli üretimlerin istendiği durumlarda ebatlı malzemelerin tek seferde birden fazla daha ince malzemeye biçilmesi (dilimlenmesi ve çoklu dilme) işlemi de yapılmaktadır. Bu işlem için: a) Yan yana dizili daire testerelerden, b) Art arda konulan yatay şerit testerelerden ve c) katrak testeresinden (papel katrağı) oluşan, genellikle üç çeşit çoklu dilimleme makinesi kullanılmaktadır (Şekil 34). Ayrıca bu tür makinelerde testere sayısı ikiye indirilerek, yanlı malzemelerin sulama kısımları alınmakta ve dört-köşe malzemeye dönüştürme (yan alma) işlemi de yapılmaktadır.

Kerestelerin boyunun kısaltılması veya birden fazla parçaya bölünmesi için "Boy Ebatlama" (Boy kesme) işlemi yapılmaktadır. Keresteler sonrasında yaş halde oldukları için kurutma fırınında,

Şekil 35

Boy Kesme (a) ve Fırında Kurutma (b) İşlemleri



son kullanım yeri rutubetlerine kadar kurutulmaktadır (Şekil 35). Kurutma sonrasında ise gerektiği takdirde planyalama, kenar pahlama, profil açma gibi işlemlerle son ürün haline getirilmektedir.

Masif Ahşap Üretiminde Kullanılan Testerelerin Bazı Özellikleri

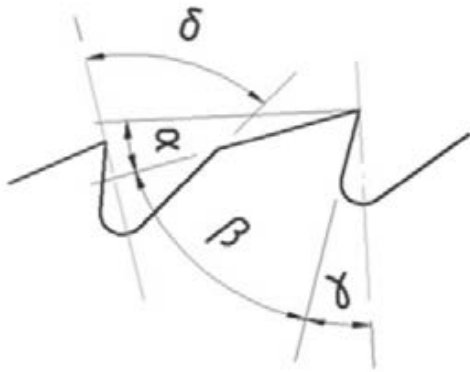
Masif ahşap üretimi genellikle testereler yardımıyla yapılmaktadır. Belirli bir kalınlığı olması nedeniyle randımanı, çalışma kısıtları nedeniyle kapasite ve verimi, üretim sırasında malzemeye temas etmesi nedeniyle malzeme kalitesini, yüksek devirde, seste vb. çalışması nedeniyle de çalışan sağlığını da etkileyebilmektedir.

Masif ahşap üretimindeki en kritik unsurlardan biri olduğundan seçimi, kullanımı ve bakımı sırasında özenle yaklaşılmalıdır.

Testerelerin, çalışma sırasında bağlı oldukları makinelerle göre isimlendirildikleri söylenebilir. Özel ağaç türüne uygunluk, kapasite, enerji tüketimiyle birlikte, takılan testere özelliklerinde de genel anlamda boyutsal farklılıklar bulunmaktadır. Örneğin en fazla dış genişliği (ve doğal olarak biçme payı) büyükten küçüğe doğru sırasıyla daire, katrak ve şerit testeresinde olduğu söylenebilir. Son yıllarda üretimlerde sıkça kullanılan şerit testere makine kombinasyonlarının (tandem, ikiz, yatay vb.) kullanımı, biçme payının en düşük seviyede olmasından (ortalama 1 – 1,5 mm arası) kaynaklanmaktadır. Testere seçimi ise daha çok dış geometrisi ile ilgilidir. Genel olarak biçilen ağaç türü ve tomruğun donmuş olma durumuna göre değişmekle birlikte, yumuşak (iğne yapraklı) ağaçlar için düşük güç gerektireceğinden ve talaş kabarma faktörü (Kantay, 2005) nedeniyle küçük kama (dış) açısı ve geniş talaş boşluğu olması gerektiği söylenebilir. Sert (yapraklı) ağaçlarda ise tam tersidir (Şekil 36).

Şekil 36

Testere Dişlerinde Sırt (α), Kama (β), Göğüs (γ) Açıları ve Talaş Boşluğu (δ)

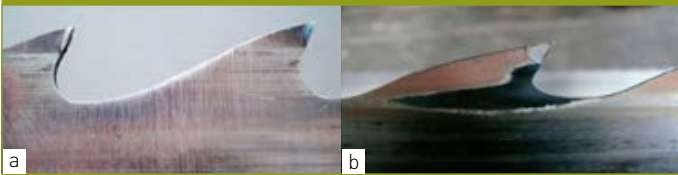


Açıklama notu. Droba, A., Svoreň, J., Marienčík, J. (2015). The shapes of teeth of circular saw blade and their influence on its critical rotational speed. Acta universitatis agriculturæ et silviculturæ mendelianæ brunensis, 63, 46 kaynağından alınmıştır.

Tomruk veya prizma biçme işlemi talaş kaldırarak gerçekleştirildiği için hem malzemeyi, hem de kesicileri zorlayan bir işlemdir. Dikkat edilmediği takdirde testerede diş kırılmaları, çatlaklar ve ileri aşamalarda kopmalar gibi yüksek riskli sonuçlar doğurabilmektedir. Biçilen malzemede ise testerenin düzgün bir hatta ilerlememesi (dalma), yüzey pürüzlülüğü veya ondüleliği, yüzey

Şekil 37

Testere Diş Ucu Modifikasyonları: Egalize (a), Stellitleme (b)



Açıklama notu. Droba, A., Svoreň, J., Marienčík, J. (2015). The shapes of teeth of circular saw blade and their influence on its critical rotational speed. Acta universitatis agriculturæ et silviculturæ mendelianæ brunensis, 63, 46 kaynağından alınmıştır.

yakma gibi sorunlara yol açabilir. Bu doğrultuda testere dayanıklılığını arttırmak için dış ucuna çeşitli modifikasyonlar yapılmaktadır. Örneğin dış ucu genişletilmesi (egalize) ve bazı dişlerin sağa – sola doğru eğim verilmesi (çapraz verme) işlemleri, diş hattının genişletilerek testere lamasının malzeme içinde rahat hareket etmesi için uygulanmaktadır. Bunun dışında testerelerin daha geç körelmesi, lif kıvrıklığı, girift liflilik ve sert ekstraktif madde barındıran ağaç türlerinin daha rahat biçilmesi için, diş uçlarına stellite (elmas uç) adı verilen ve ortalama %58 kobalt, %29 krom, %9 tungsten (Okai vd., 2006) ve %4 karbondan oluşan bir alaşım ilave edilmektedir (Şekil 37)

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Declaration of Interests: The authors declares that there are no competing interests

Kaynaklar

- AHEC. (2023 Mart). *Amerikan Sertağaç Kütük Sınıfları Resimli Rehberi (American Hardwood Lumber Grades)*. American Hardwood Export Council, ABD. <https://www.americanhardwood.org/tr/library/publications/amerikan-sertagac-kutuk-siniflari-resimli-rehberi?region=mea>
- Akemsan. (2023, Şubat). *Hidrolik Yarma Makinası (Markol) - AE-HYM.120*. Akemsan Ağaç Makineleri İmalatı Sanayi Ticaret ve Pazarlama Limited Şirketi. Adapazarı, Türkiye, <https://akemsan.com.tr/?portfolio=hidrolik-yarma-makinası-markol-ae-hym-120>
- Akkuşlar Makina. (2023, Şubat). *H.YM.350 Hidrolik Sistem Yatay Kapak Alma Makinası 350*. Akkuşlar Makina Diş Tic. San ve Tic. Ltd. Şti. Türkiye. <https://akkuslarmakina.com.tr/urunler/h-y-m-350>
- Berglund A, 2014, Efficient utilization of sawlogs using scanning techniques and computer modelling, Doktor Tezi, Luleå Tekniska Universitet, Skellefteå, İsveç.
- Biometria, 2020, *Measurement of roundwood stacks (2014) (Version 2020-10-01)*. SDC's instructions for timber measurement, Swedish Regulations for Timber Measurement. Uppsala, İsveç.
- Biometria, (2021), *Measurement of Log Volume Under Bark (Version 2021-04-01)*. Swedish Regulations for Timber Measurement, , Biometria, İsveç.
- BS 4978, 2017 Visual strength grading of softwood. Specification, British Standards Institution, (BSI), Birleşik Krallık.
- Buffalo Lumber (2023, Şubat). *Natural Blue Stained Pine Wood Paneling*. Buffalo Lumber. <https://www.buffalo-lumber.com/projects/blue-stain-pine-wood-home/>
- Buitenschrijnwerk (2023, Şubat). *Zwembad-Terrassen*. Buitenschrijnwerk.eu. <https://www.buitenschrijnwerk.eu/houten-zwembad-terrassen>
- Campbell, E., 2013, Simulation of sawmill yields at hyne tuan pine mill, Dissertation Report of ENG4112 Research Project, Faculty Health, Engineering & Sciences University of Southern Queensland, Australia.
- Colonial Pest Control (2023, Şubat). *Common Causes Of Indoor Wood Decay*. Blog. Colonial Pest Control Inc. <https://www.colonialpest.com/2014/05/26/common-causes-indoor-wood-decay>
- CutLog. (2020, Nisan). *CutLog timber sawing optimization software*. Tekl Studio. Slovakia. <https://cutlog.com>
- Çavuş, V., 2019. Mühendislik Ürünü Ağaç Malzemelerde Yükselen Trend; Çapraz Tabakalanmış Kereste. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 21(2), 560-569.
- Çolakoğlu, G., 2005, Kereste endüstrisi ders notu (yayınlanmamış),

Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

Droba, A., Svoreň, J., Marienčík, J. (2015). The shapes of teeth of circular saw blade and their influence on its critical rotational speed. *Acta universitatis agriculturae et silviculturae mendelianae brunensis*, 63, 46.

Erka Ahşap. (2023, Şubat). 3. Tomruk Tornası ve Tornalı Malzeme İşleme Makineleri. Erka Grup, http://erkaahsap.com.tr/index.php?route=product/category&path=74_77

Esterer WD, (2023, Şubat), PF 19 Chipper Canter: Esterer WD GmbH. <https://www.ewd.de/en/sawing-technology/technology/circular-saw-profiling-technology/pf-19-chipper-canter/>

EWD. (2023, Şubat). *Profiling and Saw Unit*. Esterer WD GmbH. Almanya, <https://www.ewd.de/en/sawing-technology/technology/circular-saw-profiling-technology/profiling-and-saw-unit>

Fimaksan. (2023, Şubat). *Çoklu Dilimleme / Pnömatik*. Fimaksan San. LTD. ŞTİ. Türkiye. <https://www.fimaksan.com/sub-categories/5/products/20>

FORMMAKİNA. (2023, Şubat). *Yatay Şerit Dilimleme Makinası*, FORMMAKİNA - Ağaç ve Palet İşleme Makineleri. Türkiye. <https://www.formmak-san.com/tr/urun/kesim-makinalari/yatay-serit-dilimleme-makinası>

Ghosh, S. C., Hernández, R. E., & Blais, C., 2015, Effect of knife wear on surface quality of black spruce cants produced by a chipper-canter. *Wood and Fiber Science*, 47(4), 355-364.

Hoadley, R. B. (2000). *Understanding wood: a craftsman's guide to wood technology*. Taunton press. ABD.

Kantay, R., 2005, Kereste endüstrisi ders notu (yayınlanmamış), Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

Kantay, R., Köse, C., 2009, Orman İşletme Depolan ve Depolama Teknikleri. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 59(1), 75-92.

Kometter, R., Maravi, E., 2007, Metodología para elaborar tablas nacionales de conversión volumétrica de madera rolliza en pie a madera aserrada calidad exportación, Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo-The World Bank, Managua, Nicaragua, 32p.

Komut, O., İmamoğlu, S., Öztürk, A., 2010, Orman işletmeleri satış depolarında etkili olan zararlar ve alınabilecek önlemler. III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 20-22 Mayıs 2010, Cilt: I Sayfa: 270-278, Artvin, Türkiye.

Linck. (2023, Şubat). *Double Arbor Circular Resaw MKS*. Linck Holzverarbeitungstechnik GmbH. Almanya. <https://www.linck.com/en/machines/sawing/double-arbor-circular-resaw-mks>

Malkoçoğlu, A., Çakmak, A. (2016). Mobilya ve doğrama endüstrisinde kereste kalite standartları seçimi. *Mobilya Dekorasyon Dergisi*, 134(1), 36-48.

Mengeloğlu, F., & Kurt, R. (2004). Mühendislik Ürünü Ağaç Malzemeler 1 Tabakalanmış Kaplama Kereste (TAK) ve Tabakalanmış Ağaç Malzeme (TAM). *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(1), 39-44.

Microtec. (2015, Mayıs). *MiCROTEC CT Log 360° X-ray CT-Sawing Optimization*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=xK4CdNT3DK4>

Microtec. (2020, Haziran). *Maxicut best cut solution*. Microtec. <https://microtec.eu/en/catalogue/products/maxicut>

Okai, R., Mitchal, S. J., Frimpong-Mensah, K. (2006). Optimisation techniques for minimising saw teeth deflection and lumber thickness variation. *Precision Engineering*, 30(1), 39-46

Rast, E. D., Sonderman, D. L., & Gammon, G. L., 1973, A guide to hardwood log grading (Vol. 1). Forest Service, US Department of Agriculture, Northeastern Forest Experiment Station.

Säll, H. (2002). *Spiral grain in Norway spruce* [Doktora tezi], Växjö University Press, İsveç.

Schmidt, J., 2009, Developments in log merchandising, board handling and trimming systems in the sawmill. Catalogue, Springer Maschinenfabrik GmbH, Avusturya.

Siklienka, M., Kminiak, R., Argay, F., Šafran, B., & Ćukić, I. 2015. Process characteristics of horizontal log band saw in cutting frozen beech.

Drvna industrija, 66(1), 41-48.

Swedish Wood (2023, Mart). *From raw material to wood product*. Swedish Wood. İsveç. <https://www.swedishwood.com/wood-facts/about-wood/from-log-to-plank/>

Tarım ve Orman Bakanlığı. (2020, Nisan). *Unvan Değişikliği Sınavı Ders Notu*. Personel Genel Müdürlüğü. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. Ankara, Türkiye. <https://www.tarimorman.gov.tr/PERGEM/Belgeler/M%C3%BChendis%20%28Orman%20End%C3%BCstri%29.pdf>

The Frank Miller Lumber. (2019, Aralık). *Quartersawing process*, The Frank Miller Lumber. <https://frankmiller.com/lumber/quartersawn-process>.

Timber Frame Company (2023, Şubat). *Common stains in wrot oak*. The Timber Frame Company. Birleşik Krallık. <https://www.thetimber-frame.co.uk/how-we-do-it/oak-finishes/gallery>

TS 51, 2012, Kereste - Ladin ve göknar keresteleri - Genel amaçlar için, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TS 52, 1979, Yuvarlak odunlar (genel tanımlar ve ilgili standartlar) , Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TS 276, 1980, Kerestelik meşe tomruğu, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TS 697, 1974, Yapraklı (sert) keresteler (terimler, tarifler ve ölçme metodları) (İptal Standard), Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TS 700 EN 13145+A1, 2012, Demir yolu uygulamaları - Demir yolu - Ahşap traversler ve destekler, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TS 1215, 1972, Ağaç sırk ve çubuklar, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TS 1265, 2012, Kereste - İğne yapraklı ağaç keresteleri - Yapılarda kullanım için, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TS EN 844, 2019, Yuvarlak ve biçilmiş yapacak odun (kereste)- Terimler, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TS EN 844-2, 2000, Yuvarlak ve biçilmiş yapacak odun (kereste)- Terimler- Bölüm 2: Yuvarlak yapacak odun ile ilgili genel terimler (İptal edilmiş standard), Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TS EN 844-3, 2000, Yuvarlak ve biçilmiş yapacak odun (kereste)- Terimler- Bölüm 3: Biçilmiş yapacak odun (kereste) ile ilgili genel terimler (İptal edilmiş standard), Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TS EN 844-6, 2000, Yuvarlak ve biçilmiş yapacak odun (kereste)- Terimler- Bölüm 6: Kereste boyutları ile ilgili terimler, (İptal edilmiş standard), Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TS EN 844-10, 2000, Yuvarlak ve biçilmiş yapacak odun (kereste)- Terimler- Bölüm 10: Renklenme ve mantar zararları ile ilgili terimler (İptal edilmiş standard), Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TS EN 844-12, 2003, Yuvarlak ve biçilmiş yapacak odun (kereste)-Terminoloji-Bölüm 12: İlave terimler ve genel fihrist(İptal edilmiş standard), Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TS EN 942, 2009, Doğramalık kereste - Genel gerekler, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TS EN 975-1, 2010, Biçilmiş yapacak odun (kereste)- Yapraklı (sert) ağaç odunlarının görünüş özelliklerine göre sınıflandırılması- Bölüm 1: Meşe ve kayın, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TS EN 1611-1/A1, 2006, Biçilmiş yapacak odun (kereste)- İğne yapraklı (yumuşak) odunların görünüşlerine göre sınıflandırılması- Bölüm 1: Avrupa ladinleri, göknarları, çamları ve duglas göknarları, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TS EN 12246, 2002, Ambalajlarda ve paletlerde kullanılan biçilmiş yapacak odunun (kereste) kalite sınıfları, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TS EN 13307-1, 2007, Yapısal olmayan kullanımlar için yarı profilendirilmiş ve işlenmemiş kereste - Bölüm 1: Gerekler, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TS EN 16737, 2016, Yapı Kerestesi-Tropik sert ağaç odunlarının görünüş mukavemet sınıflandırması, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TSE CEN/TS 15679, 2011, Isıl işleme değiştirilmiş kereste (tmt) - Tarifler ve karakteristik özellikleri, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TS ISO 13061-3, 2021, Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri - Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri - Bölüm 3: Statik eğilmede nihai mukavemet tayini, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

Türk, Y., Şengöç, E., Gültekin, Y. S., & Enez, K. [2022]. Orman sertifikasyonunun odun hammaddesi üretim faaliyetlerine etkilerinin incelenmesi (Bolu Orman İşletme Müdürlüğü örneği). *Ormanlık Araştırma Dergisi*, 9 (Özel Sayı), 30-40.

UNECE / FAQ, 2010, Forest products conversion factors for the UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) region, Geneva Timber and Forest Discussion Paper 49, Timber Selection, Geneva, Switzerland.

Üstünkarlı. (2023, Şubat). *Tomruk biçme hatları*. Üstünkarlı Makine A.Ş. Türkiye. <http://ustunkarli.com.tr>

Walker, J. C., 2006, Primary wood processing: principles and practice. Springer Science & Business Media.

Wikipedia. (2023, Şubat). *Debarking (lumber)*. Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Debarking_%28lumber%29

Wintersteiger. (2023, Şubat). Thin-Cutting Sawing Machines, Wintersteiger. Avusturya. <https://www.wintersteiger.com/en/Woodtech/Flooring-furniture-and-boards/Product-range>

Wood Database. (2023, Şubat 18). White Oak. The Wood Database. <https://www.wood-database.com/white-oak>

Wood-Mizer. (2021, Aralık). *WM1000 sawmill*. Wood-Mizer. ABD. <http://www.woodmizer-europe.com/Products/Industrial/Sawmills/WM1000>

BÖLÜM 7

AHŞABIN KURUTULMASI VE BUHARLANMASI

Hızır Volkan GÖRGÜN
Öner ÜNSAL

Ahşabın Kurutulması ve Buharlanması

Wood Drying and Steaming

BÖLÜM HAKKINDA

"Ağaç yaşken eğilir" atasözünde de geçtiği gibi, rutubet ahşabın özelliklerini önemli derecede etkileyen bir unsurdur. Ağacın dikili ve tomruk halindeyken, son kullanım yeri isteklerinden çok daha fazla rutubet barındırması da kurutmayı kaçınılmaz kılmaktadır. Ancak kurutma sırasında kalitenin korunması, en az sürede yapılması ve en düşük maliyetle yapılması gereklidir. Açık havada yapılan 'doğal kurutma' yönteminde çeşitli koşullara müdahale edilemediğinden bu hedeflere ulaşılması çok güçtür. Bu nedenle günümüzde gerekli şartlara müdahale edilerek bu faktörlerin sağlanabildiği fırınlarda 'teknik kurutma' yöntemleri geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, kurutma ihtiyacının gerekliliği ve kurutmaya ilgili temel kavramlar açıklandıktan sonra, en iyi koşullarda kurutma yapılabilmesi için müdahale edilmesi gereken faktörler anlatılmıştır. Sonrasında rutubet ölçümü, istifleme, teknik kurutma yöntemleri olmak üzere kurutma teknolojisi özetlenmiştir. Son olarak kurutmaya özgü oluşabilecek kusurlar ve önleme çareleri anlatılmıştır.

Anahtar kelimeler: Hava kurusu, kurutma fırını, kurutma kusuru, rutubet, rutubet ölçer

ABOUT the CHAPTER

As stated in the proverb "As the twig is bent, so grows the tree", moisture is a critical factor that significantly affects the properties of wood. The fact that the standing tree or in log form, contains much more moisture than the end-use requirements makes drying inevitable. However, it is necessary to maintain the highest quality, the least amount of time and the lowest cost during drying. It is very difficult to achieve these aims since various conditions cannot be intervened in the 'natural (air) drying' method which performed at outdoor. Therefore, today 'technical drying' methods have been developed in kilns where these factors can be achieved by intervening in the necessary conditions.

In this study, after explaining the necessity and the basic concepts related to drying, the factors that need to be intervened in order to dry under the best conditions are explained. Afterwards, drying technology including moisture measurement, stacking and technical drying methods is summarized. Finally, possible drying-specific defects and prevention solutions are explained.

Keywords: Air-dried, drying kiln, drying defect, moisture, moisture content

Kurutmanın Tanımı ve Önemi

Kurutmanın Tanımı

Kurutma, ahşabın içerisinde bulunan ve kullanım amacı için uygun olmayan fazla suyun atılması işlemidir. Kullanım yerindeki rutubet miktarına göre kurutulmayan ahşap, rutubet alış-verişine bağlı olarak boyutlarını değiştirmektedir (çalışmaktadır). Böylece ahşaptan yapılmış ürünlerde istenmeyen kusurlar ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle ahşap kullanılmadan önce kullanım yerinin gerektirdiği kuruluk derecesine kadar kurutulmalıdır (Tablo 1).

Tablo 1

Kullanım Yerine Göre Ahşapta Bulunması Gereken Rutubetler

Kullanım Yeri	Rutubet (%)
Emprenye edilecek malzeme (Direkler, traversler vb.)	19
Dış ortam şartlarında kullanılan malzeme (Bank, pergola vb.)	14-16
Yarı iç - yarı dış ortam için (Bina kapısı, pencere vb.)	12-15
Isıtılan iç mekânda kullanılacak malzeme (Masif, lamine parke vb.)	8-10

Açıklama notu. Kantay R, 1993, Kereste Kurutma ve Buharlama. Ormancılık Eğitim Ve Kültür Vakfı, Yayın No: 6, İstanbul kaynağından alınmıştır.



CC BY 4.0: Telif hakkı yazarlardadır. Bu kitabın içeriği Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası lisans altında lisanslanmıştır.



Hızır Volkan Görgün

Öner Ünsal

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye
E-posta: volkan.gorgun@iuc.edu.tr
onsal@iuc.edu.tr

Bu bölümü alıntıla / Cite this chapter as:
Görgün, H.V. Ünsal, Ö. (2024). Ahşabın Kurutulması ve Buharlanması. T. Akbulut (Ed.), *Ahşap: Doğal ve yenilenebilir mühendislik malzemesi* içinde (s. 109-124) İstanbul: İÜC Üniversite Yayınevi

Kurutmanın Faydaları

Kurutmanın ahşaba kattığı olumlu özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Kantay, 1993):

1. Yeterli oranda kurutulmuş ahşabın rutubeti korunabilirse çürümez.
2. Yeterli oranda kurutulmuş ahşap çok daha az çalışır ve kurumaya bağlı kusur oranı düşer.
3. Ahşabın işlenmesinde çok daha düzgün boyutlar ve düzgün yüzeyler elde edilir.
4. Tutkallama ve yapışma kabiliyeti artar.
5. Emprenye, vernik, cila gibi koruyucu yüzey işlemlerinde başarı oranı yükselir.
6. Ahşabın mekanik direnci artar. Sertliği, çivi ve boya tutma kabiliyeti artar.
7. Rutubet kaybına bağlı ağırlık azalışından dolayı taşımada kolaylık ve tasarruf sağlanır.

Kurutma Bakımından Önemli Bazı Kavramlar

Hava Hareketi

Elektrik akımının ve temas tipi ısıtıcıların kullanıldığı yöntemler dışında konveksiyon yoluyla, önce fırın atmosferi ısıtılmakta ve ardından kereste istifleri ısıtılmaktadır. Ayrıca kurutma yöntemlerinde (vakumun katkısı dışında) malzemeden rutubet çıkışını sağlayan en önemli unsurlardandır. Çünkü ısı taşıyıcı ve rutubet taşıyıcı olmak üzere iki ana görevi vardır. Sağlıklı bir kurutma yapılabilmesi için fırın içerisinde yeterli hızda (1 ila 4 m/sn (Kantay, 1993)) ve homojen bir hava hareketinin sağlanması, bunun için de yeterli kapasitede fan kullanımı ve düzgün istifleme gerekmektedir. Hava hareket hızı artırıldığında, %40'ın üstündeki rutubetlerde kurutma hızını artırırken, meşe ve kayın gibi güç kurutulabilen türlerde kusur riskini arttırmaktadır. Ancak %20 rutubetin altında hava hareket hızındaki değişimin kurutmaya etkisi çok azdır (Denig vd., 2000).

Sıcaklık

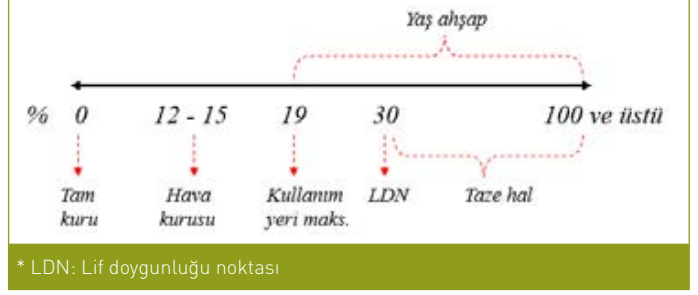
Kurutma atmosferini oluşturan en temel etken sıcaklıktır. Havanın basıncını, bağıl nemi ve su buharı difüzyonunu doğrudan etkilemektedir. Çünkü havanın sıcaklığı arttıkça, içerisine alabileceği su miktarı artmaktadır. Ancak sıcaklık yükseldikçe ahşapta renk değişimleri, hücre çökmesi (kollaps), çatlak, reçine sızması gibi kusur oluşumu riski de artmaktadır.

Nem Çeşitleri

Kurutma sırasında malzeme veya havanın, su veya su buharıyla olan ilişkisi çeşitlilik göstermektedir ve farklı kavramlarla açıklanması gereklidir. Örneğin mutlak nem, belirli bir hacimdeki havada (ağırlıkça) ne kadar su buharı olduğunu ifade eder. Buradan da anlaşılacağı üzere, hava içerisinde belirli bir miktara kadar su buharı bulundurmaktadır. Havanın içindeki ile alabileceği su buharı miktarı oranlanarak, havanın nemlilik oranı, yani bağıl nemi oransal olarak tespit edilir. Eğer hava içerisine alabileceği maksimum su buharını barındırıyorsa, doymuş rutubetli hava olarak tanımlanmaktadır ve bağıl nemi de %100'dür. Ahşabın nemi ise, ahşabın içindeki nem miktarı ile tam kuru ağırlığı oranlanarak tespit edilir ve oransal (örneğin yüzde, %) ile ifade edilir. Kurutma açısından önemli bazı rutubet kademeleri aşağıda gösterilmiştir (Şekil 1).

Şekil 1

Kurutma açısından önemli bazı rutubet kademeleri*

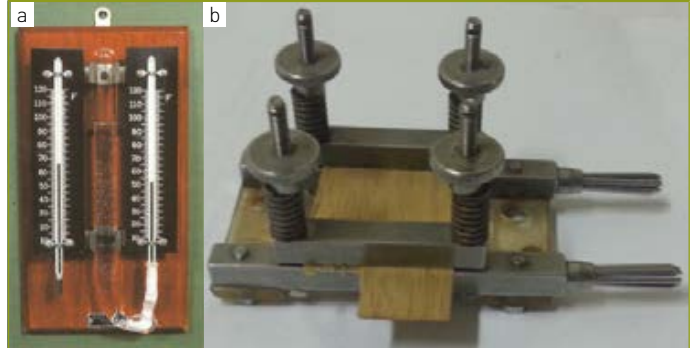


* LDN: Lif doygunluğu noktası

Ahşap, higroskopik yapısı nedeniyle bulunduğu atmosferle devamlı rutubet alışverişi halindedir. Eğer ahşap, sıcaklık ve bağıl nemin sabit olduğu bir ortamda, (bu alışveriş kaynaklı) ağırlığı değişmez hale gelinceye kadar bekletilirse, ulaştığı denge halindeki nem miktarı, denge nemi olarak tanımlanabilir. Denge nemi, yaş ve kuru termometre ölçüm farkı prensibine göre çalışan psikrometre, ahşap kaplama veya selüloz yongası rutubet ölçümüne göre çalışan duyucularla doğrudan ölçülebildiği gibi, oluşturulan hazır tablolarla (Örneğin Simpson, 1973'teki denge nemi tablosu), sadece sıcaklık ve bağıl nem ölçümüyle de tespit edilebilmektedir (Şekil 2).

Şekil 2

"Psikrometre (a), Elektronik (b) Denge Nemi Duyucusu (Foto: H.V.Görgün)



Açıklama notu. Hoadley, R. B. 2000. Understanding wood: a craftsman's guide to wood technology. Taunton Press kaynağından alınmıştır.

Ahşabın rutubet ve çalışmayla ilgili sorun yaşamaması için, ortamın sıcaklık ve bağıl nemine bağlı oluşan denge neminin belirlenmesi ve buradaki denge nemine göre kurutulması çok daha sağlıklı olacaktır. Bunun için sıcaklık ve bağıl nem değerleri cihazlarla veya (dış mekân için) meteorolojik ölçümleriyle tespit edilmelidir. Sonrasında denge nemi referans tablolar kullanılarak (Simpson, 1973) dolaylı olarak veya Şekil 2'deki gibi duyucularla direkt tespit edilebilir.

Ahşabın Çalışması

Ahşap bulunduğu ortamın denge neminden daha yüksek neme sahipse, rutubet kaybederek daralmakta, daha düşük neme sahipse de bünyesine rutubet alarak genişlemektedir. Bu iki durum genel olarak "ahşabın çalışması" olarak ifade edilmektedir. Bununla birlikte ahşap her rutubette çalışmamakta ve sadece tam kuru hal ile lif doygunluğu noktası (LDN) arasında gerçekleşmektedir. Ancak çalışma davranışı ağaç türü, anizotropiyle

birlikte, malzemedeki nem miktarına göre farklılık göstermektedir. Histerez olarak adlandırılan bu davranışta; rutubet kaybeden masif ahşap, daha düşük denge nemlerine ulaşmaktadır. Örneğin %15'e kurutulmuş bir masif ahşap, %12 denge nemine sahip bir ortamda, bu neme kadar kuruyacak ve daralacaktır. Ancak aynı denge nemine (%12) sahip bir ortama konulan %9'a kadar kurutulmuş ahşap, %12 rutubete kadar ulaşamamakta ve doğal olarak daha az çalışmaktadır. Ahşabın çalışmasıyla ilgili tasarımda dikkat edilmesi gereken bir başka husus ise kararlılıktır. Bir ahşabın belli bir denge nemine ulaşma süresi olarak da tanımlanabilecek olan "kararlılık", ağaç türüne göre değişmektedir. Örneğin %12,5 denge nemine sahip bir ortamda, %9 nemdeki kayın yaklaşık 12 günde %11 rutubete ulaşırken, aynı kalınlıktaki meşe ise daha kararlıdır ve bu rutubete yaklaşık 40 günde ulaşmaktadır (Remmert vd., 2006; Kantay ve Güngör, 2012). Bu nedenledir ki, stabilitenin en çok arandığı ahşap parke gibi ürünlerin imalinde, meşe diğer ağaç türlerine göre daha çok tercih edilmektedir.

Rutubet Farkı (Meyili)

Birçok kurutma yönteminde ahşap önce dış kısımlardan kurumaya başlamaktadır. Ancak ahşabın geçirgenlik kabiliyeti (permeabilite) düşük olduğundan, iç ve yüzey tabakaları arasında fark oluşmaktadır. Bu kabiliyeti düşük olan türlerde ve kalın malzemede bu fark daha da belirginleşmektedir. Bu fark çok yüksek olduğu takdirde, özellikle LDN altında tabakalar arasında gerilmelere sebep olmakta ve kusur oluşma riskini arttırmaktadır. Kollmann (1955)'a göre güç kuruyan ağaçlarda tabakalar arasındaki fark LDN üstünde %12'yi, altında ise %5'i geçmemelidir. Diğer türler ve kalınlıklar içinse, bu sınırların sırasıyla %15 ve %8 olması gerektiği söylenebilir. Bu farkların oluşmaması için ortamın çok kuru olmaması, diğer bir deyişle kurutma şiddetinin çok yüksek olmaması gerekmektedir. Kontrolü içinse, aynı kerestede yüzeye ve orta tabakadan alınan rutubet verileriyle aradaki fark takip edilebilir.

Kurutma Şiddeti (Meyili)

Kurutma atmosferinin, ortamda bulunan ahşaba göre kuruluk derecesini gösterir. Ahşabın ortalama rutubetinin (LDN üstünde %30 alınır), o anda ortamda oluşan denge rutubetine oranlanmasıyla bulunur ve birimsiz olarak belirtilir. Genellikle 1,5 ila 4,0 arasında değişen bu değer ne kadar büyükse kurutma o kadar şiddetlidir ve çok daha hızlı kuruma gerçekleşir. Tam tersi durumdaysa, kurutma daha yavaştır ve kusur riski azaldığından daha koruyucu bir kurutma yapıldığı söylenebilir.

Ağaç Malzemenin Rutubeti ve Ölçülmesi

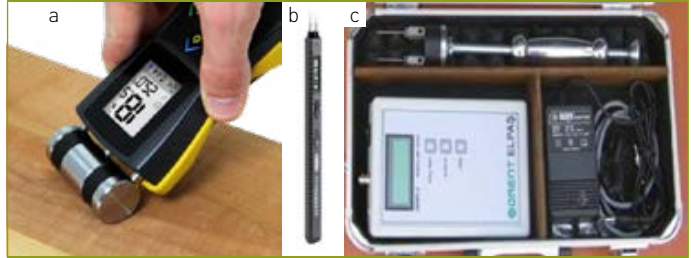
Ağaç Malzemedeki Rutubetin Ölçülmesi

Ahşapta rutubet miktarının tespit edilebilmesi için, ulusal ve uluslararası düzeyde geçerli olan TS EN 13183 1-3 (2012) serisi standartlar mevcuttur (Welling vd., 2010). TS EN 13183-1 (2012)'e göre ahşaptan alınan örneklerin mevcut ağırlığı, tam kuru hale getirildikten sonraki ağırlığa oranlanarak rutubeti bulunmaktadır. Ancak bu yöntemde örnek alınması malzemeye tahribat verirken, ölçüm süresi de günleri bulabilmektedir. Diğer standartlarda ise pratik kullanımlar için rutubet ölçer olarak bilinen iki tip ölçüm cihazı kullanımı belirtilmektedir. Bu cihazlarla saniyeler içerisinde yüksek doğrulukla sonuç alınabildiği için sıkça tercih edilmektedir. Cihazlardaki ölçüm prensibi; iki elektrot arasındaki elektriksel

direnç göre (TS EN 13183-2, 2012) ve ağaç malzemenin dielektrik (kapasite yöntemi) özelliklerine göre (TS EN 13183-3, 2012) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Şekil 3). Fırında kurutma takibi için genellikle elektriksel direnç yöntemi kullanılır. Ölçüm kerestelere çakılan rutubet sensörleri ve bu çivilere bağlanan kabloların merkezi bir sisteme aktarılmasıyla yapılmaktadır. 10'dan fazla sayıda olabilen bu sensörlerin kablolarında deformasyon riski olasılığı ve son yıllarda geliştirilen kesintisiz fırınlarda istiflerin hareketli olması sebebiyle kablosuz rutubet ölçerler de geliştirilmiştir. Kablosuz ölçüm teknolojisinin getirdiği kolaylık, bu sistemin seri üretim hatlarında da kullanılmasını sağlamıştır (Şekil 4).

Şekil 3

Dielektrik (Temas) Tip (a), Direnç Tipi (Batırmalı) (b) ve Çekiçli (c) Rutubet Ölçerler



Açıklama notu. Logica MoisTest. (2023, Mart). MoisTest 30. Moisture Meters. Logica H&S. <https://en.logica-hs.it/moistest30>, GANN. (2023, Mart). Electronic Moisture Meters. GANN Mess-u. Regeltechnik GmbH. Almanya. <https://www.gann.de/en/products/handhelds/electronic-moisture-meters>, Orent. (2024, Temmuz). Nem Ölçme Aletleri. Orent Orman Ürünleri. Türkiye. <https://www.orent.com.tr/nem-olcme-aletleri/> kaynaklarından alınmıştır.

Şekil 4

Fırınlarda Kablolü (a) (Foto: H.V.Görgün) ve Kablosuz (b), Üretim Hatında Kablosuz (c) Rutubet Ölçümü



Açıklama notu. Lignomat. (2024, Temmuz). Wireless Transmitters. Lignomat. ABD. <https://lignomatusa.com/product/wireless-data-logger-system-copy>, Brookhuis. (2023, Mart). FMI IV system. Brookhuis Applied Data Intelligence. Hollanda. <https://brookhuis.com/wood-testing/moisture-content/inline-moisture-content-systems/fmi-iv> kaynaklarından alınmıştır.

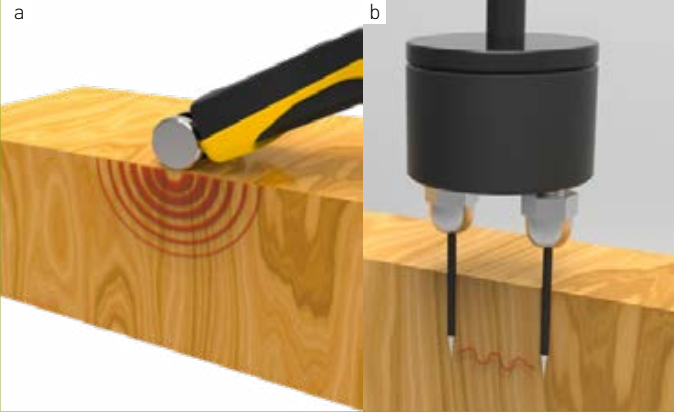
Rutubet Ölçümünde Dikkat Edilecek Hususlar

Tüm ölçüm cihazlarının kullanımında olduğu gibi, rutubet ölçerlerde de dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. Aksi takdirde cihazın göstergesinde okunan değer gerçeği yansıtmayacaktır. Örneğin rutubetin kerestenin her yerinde eşit dağılmaması nedeniyle, TS EN 13183-2 (2012)'de rutubet ölçümü malzeme kalınlığının 1/3 derinliğinde ölçülmesiyle standardize edilmiştir. Bu nedenle kereste kalınlığına uygun uzunlukta ve mümkünse yalıtımlı elektrot tipi seçilmelidir. Çünkü yalıtımlı elektrotlar, farklı derinliklerde ölçüm yapma imkânı vermektedir (Shmulsky ve Jones, 2019) (Şekil 5).

Prensipde ahşabın elektriksel direnci veya kapasitesi ölçüldüğü için, elektrik özelliklerine etkileyen diğer faktörlere de dikkat

Şekil 5

Temasla (Dielektrik) (a) ve Direnç Tipinde Yalıtımlı Elektrotla (b) Rutubet Ölçümü



Açıklama notu. Logica Moisture Meters. (2024, Temmuz). Moisture Meters. Logica H&S. <https://www.logica-hs.it/en/strumenti-di-misura> kaynağından alınmıştır.

edilmelidir. Her iki tip rutubet ölçer de de ağaç türüne (malzeme yoğunluğuna) bağlı olarak bir ayar bulunurken, direnç tipi ölçerlerde malzeme sıcaklığı ayarı da bulunmaktadır. Yine buna bağlı olarak ölçüm alanında budak, çatlak gibi kusur olmaması gerekmekte, emprenyeli, tutkallı, modifikasyon amaçlı termo işlem görmüş malzemede doğru ayarın yapılması, uygun değilse farklı yöntemlerle ölçülmesi gerekmektedir. Dielektrik tip rutubet ölçerlerde ise ölçüm alanındaki çivi, vida, kablo gibi elektriksel alanı etkileyen unsurlar verileri saptırdığından, ölçüm doğruluğu düşebilmektedir. Ayrıca bu tip ölçerlerde malzemeye zarar vermeden ölçüm yapılmasına karşın, ölçüm aralığı daha dar (%5 – 40 arası gibi) olması, ölçüm derinliğinin de 3 ila 4 cm arasında değişmesi gibi farklılıkları da bulunmaktadır.

Kurutma Teknolojisi

Kurutma Programları

Kurutma sırasında uygulanan sıcaklık ve nem koşulları serisidir (Shmulsky ve Jones, 2019). Zamana göre şartların değiştirildiği programlar olsa da, günümüzde kurutma kalitesi ve süresiyle doğrudan ilişkili olduğundan ahşap rutubeti referans alınan programlar uygulanmaktadır. Koşulların belirlenmesi için; başlangıç ve sonuç nemi, ağaç türü, kereste kalınlığı, fırın yapısı ve ekipman kapasitesi gibi değişkenler referans alınmaktadır. Bunun sonucunda, tüm bu değişkenler dikkate alınarak farklı koşulların uygulandığı, genelde dört aşamadan oluşan programlar uygulanmaktadır: 1) Isıtma, 2) Esas kurutma (LDN üstü ve altı), 3) Denkleştirme ve 4) Soğutma. Isıtma aşamasında; önce fırın atmosferinin, sonra da kerestelerin ısıtılması (derinlere kadar ısıtma) amaçlanmaktadır ve bu aşamada kurutma olması istenmemektedir. Esas kurutma, rutubetin keresteden uzaklaştırılması aşamasıdır. Hücrelerdeki suyun farklı şekilde bulunması (serbest ve bağlı), uzaklaştırılmasında uygulanacak dinamikleri de değiştirdiğinden LDN üstü ve altında farklı şartlar uygulanmaktadır. Kusur oluşma riski olduğundan, en çok dikkat edilmesi gereken aşamadır. Denkleştirme aşamasında, hem fırın içerisindeki istiflerde, hem her kerestede, hem de her bir kerestenin katmanları arasındaki rutubet dağılımının homojen olması amaçlanır. Bu kapsamda kurutma gerçekleşmeden ortamda,

sonuç rutubetine göre denge nemi şartları uygulanmaktadır. Soğutma aşamasında ise, kerestede kurutma ve ortam sıcaklık farkından kaynaklı oluşabilecek gerilimleri azaltmak ve su hareketinin tamamlanması sağlanır. Bu aşamada kademeli olarak fırın ekipmanını durdurulur ve sonunda kapılar kontrollü bir şekilde açılır. Sonuç olarak, kurutma aşamalarındaki ortam şartlarının kereste, fırınla ilgili değişkenler ve tecrübeler dikkate alınarak belirlenmesiyle, kurutma programları oluşturulmaktadır (Tablo 2).

Tablo 2

Örnek Bir Kurutma Programı

Aşama	Değişken	Değer
Isıtma	Derece (oC) / Saat	14
	Denge nemi (%)	14
	Derinlere kadar ısıtma süresi (saat)	11
Kurutma	Kurutma şiddeti 1 (LDN üstü)	2,9
	Kurutma şiddeti 2 (LDN altı)	3,5
	Kurutma sıcaklığı 1 (LDN üstü) (oC)	52
	Kurutma sıcaklığı 2 (LDN altı) (oC)	63
Denkleştirme	Süre (saat)	11
	Denge nemi (%)	12
Soğutma	Sonuç rutubeti (%)	10
	Fanları kapatma sıcaklığı (oC)	40

Açıklama notu. Logica Wood Wizard. (2024, Temmuz). Wood Wizard 2. Logica H&S. <https://www.logica-hs.it/en/woodwizard2> kaynağı referans alınarak düzenlenmiştir.

Kurutmanın Yönetilmesi

Kurutma programları basit, yarı-otomatik ve otomatik olmak üzere üç farklı sistemle yönetilmektedir. Her müdahalenin elle yapıldığı basit, sadece aşamaların değişimine müdahale edildiği yarı-otomatik yönetim sistemleri olsa da, günümüzde kurutma süresince müdahaleye gerek olmadan ve önceden belirlenmiş programlara göre çalışan tam otomatik sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemler fırın içerisindeki şartları algılama, programın ilgili aşamasındaki şartları kontrol ederek karşılaştırma, programdaki farklılıklara göre fırın içerisindeki şartları değiştirme özelliklerine sahiptir. Bunların gerçekleştirilebilmesi için algılayıcı ve uygulayıcı donanımlarla birlikte, mevcut şartları görüntüleme ve kontrol etme yazılımları bulunmaktadır. Fırın için ortam

Şekil 6

*Fırın İçi Ortam Şartlarının Algılanması (a ve b) Fırın İçindeki Kerestede Rutubet Ölçümü (c)**



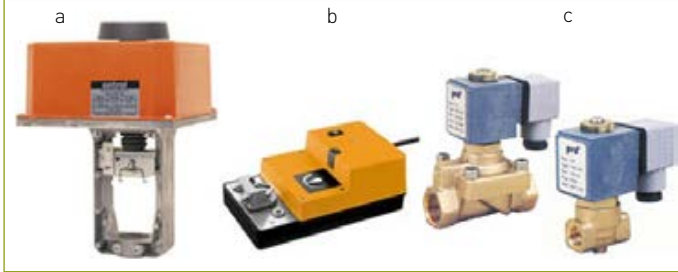
*1) Denge nemi duyucusu, 2) Sıcaklık duyucusu, 3) Otomasyon bağlantısı, 4) Sensör kutusu, 5) Rutubet ölçüm kablosu

şartlarından denge nemi için, Şekil 2'deki gibi denge nemi duyucuları, sıcaklık için de termometre kullanılmaktadır. Rutubet ise ölçüm sensörleri kerestelere direnç tipi rutubet ölçüm prensibine göre yerleştirildikten sonra, kablolu veya kablosuz olarak veri toplama merkezine aktarılmaktadır (Şekil 6).

Ortam şartlarına müdahaleler farklı şekilde yapılmaktadır. Isıtma ve nemlendirmede genellikle akışkanlar kullanıldığından akıllı vanalar tercih edilirken, baca kapakları servo motorlarla kontrol edilmektedir (Şekil 7).

Şekil 7

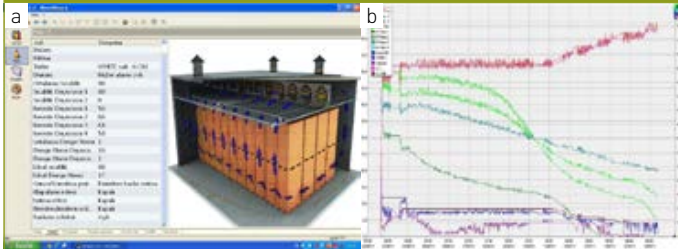
Ortam Şartlarına Müdahale Donanımı: Isıtma (a), Baca Klapası (b) ve Nemlendirme (c) Valfleri



Görüntüleme ve müdahale işlevi olan yazılımlarda ise genel olarak şu ekranlar bulunmaktadır: Yönetilecek fırın seçimi, program ayarlama, (programa göre) ideal şartları, anlık durumu ve donanımın çalışma durumunu gösteren simülasyon, toplanan veri ve buna bağlı oluşturulan grafik ve hata ekranları (Şekil 8).

Şekil 8

Kurutma Yazılımında Simülasyon (a) ve Grafik (b) Ekranları



Açıklama notu. Logica Wood Wizard. [2024, Temmuz]. Wood Wizard 2. Logica H&S. <https://www.logica-hs.it/en/woodwizard2> kaynağı referans alınarak düzenlenmiştir.

Kurutma Süresi

Kurutma süresi, fırın projelendirilmesi, işletme giderlerinin hesaplanması ve siparişlerin karşılanması gibi nedenlerden dolayı önem kazanmaktadır. Etkileyen birçok faktör vardır: Kerestelerin yoğunluğu, kalınlığı, genişliği, başlangıç – sonuç rutubeti aralığı, kurutma sıcaklığı, hava hareket hızı, istifleme kalitesi, fırın boyutu, kesintiler, kalite istekleri arttıkça ve kurutma şiddeti, ağaç türünün geçirgenliği, termal iletimi azaldıkça, kurutma süresi de artmaktadır (Kantay, 1993; Perre ve Keey, 2006; Mahild, 2023). Kurutma yöntemine göre de süre değişmekte olup, uzundan kısaya doğru şu şekilde sıralanabilir: Kondenzasyonlu > Klasik > Vakumlu > Yüksek Frekans (Zhang vd., 2007; Bond ve Espinoza, 2016). Kurutma süresinin hesaplanması için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bir kurutma fırını üreticisinin, farklı ağaç türlerinin

Tablo 3

*Tam Kuru Yoğunluğa Göre Bazı Ağaç Türlerinin Saatlik Kuruma Yüzde-leri**

Tam kuru yoğunluk (kg/m ³)	Saatlik kuruma yüzdesi
200 – 400	2.00 – 1.00
400 – 600	1.00 – 0.50
Ladin (Picea ssp.)	1.00
600 – 800	0.50 – 0.15
Kayın (Fagus ssp.)	0.30
Meşe (Oak ssp.)	0.20 – 0.10
800 – 1000	0.15 – 0.05
*25mm kalınlık için	

Tablo 4

25 mm Dışındaki Kalınlıklar İçin Geçerli Çarpım Katsayıları

Kereste kalınlığı (mm)	Çarpım Katsayısı	Kereste kalınlığı (mm)	Çarpım Katsayısı
15	0.46	60	3.72
20	0.72	70	4.68
25	1.00	80	5.72
30	1.31	90	6.83
35	1.66	100	8.00
40	2.02	120	10.50
50	2.83	140	13.30

farklı kalınlıkları için sunduğu çizelgeler ve hesaplamalar uygulamaya yakın sonuçlar verdiği için, bu çalışmada örnek olarak sunulmuştur (Tablo 3, Tablo 4) (Mühlböck, 2023).

Bu tablolara göre; başlangıç ve sonuç rutubeti (%) farkı, Tablo 7.3'teki ilgili değere oranlandığında, 25 mm kalınlık için, kurutma programındaki esas kurutma süresi hesaplanabilir. Eğer kereste kalınlığı 25 mm'den farklıysa süre, Tablo 7.4'teki ilgili katsayıyla çarpılabilir. Programdaki denkleştirme süresi; hesaplanan esas kurutma süresi de metal fırınlar için 0.10 – 0.15, kâğır fırınlarda ise hava hareket hızına bağlı olarak 0.10 – 0.45 ile çarpılarak tespit edilebilir. Isıtma süresi de; kereste kalınlığı (mm), güç kuruyan ağaç türleri için 0.15, diğer ağaç türleri için de 0.1 ile çarpılarak bulunabilir (Kantay, 1993).

Teknik Kurutma Yöntemleri

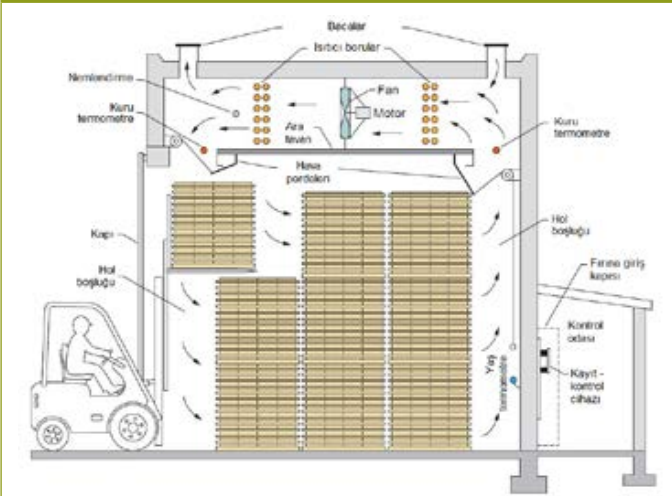
Masif ahşap, doğrudan doğruya açıkta veya sundurmalar altında istif edilerek "doğal kurutma" ile ya da bu amaçla yapılmış fırınlarda "teknik kurutma" yöntemiyle kurutulabilmektedir. Günümüzde doğal kurutma, kurutmada enerji tasarrufu sağlamak için rutubet içeriği %20-25 inene kadar değerlendirilebilmektedir (Puetmann vd., 2010). Ancak doğal kurutmada ortam şartlarına müdahale edilemediği için, istenen sonuç rutubetine çoğu zaman ulaşılamamakta, uzun ve pahalı kurutmalara neden olmakta ve dolayısıyla ideal kurutmalar yapılamamaktadır. Örneğin 25°C'de doğal kurutmayla bir ayda yapılan kurutma, yaklaşık olarak

100°C'deki bir fırındaki bir günlük bir günde gerçekleştirilebilmektedir (Langrish ve Walker, 2006). Bu nedenle geçmiş yüzyıllarda aşkın olan (Campean, 2010), tüm şartların kontrol edilip, kullanım yerine göre kurutma yapılabilen teknik kurutmanın kullanılması esastır. Çünkü ideal bir kurutmada: 1) Malzeme kalitesinin korunması, 2) Sürenin olabildiğince kısa olması ve 3) Giderlerin en düşük düzeyde tutulması amaçlanır (Kantay, 1993). Günümüzde doğal kurutma yerine, serbest suyun...” yerine “Günümüzde bazı güç kuruyan kerestelerin, lif doygunluğu noktasına kadar geçen sürede ve/veya fırınların dolu olması halinde istiflerin bekletildiği ön-kurutucular da kullanılmaktadır. Ön-kurutucularda üstünün kapalı olması, düşük seviyede hava hareketi olması gibi daha basit yöntemlerle ortam şartları kontrol edilmektedir (Bergman, 2021).

Klasik Kurutma

Geleneksel veya konvansiyonel olarak da adlandırılan bu yöntemde, 100°C'nin altındaki sıcaklıklarda havada nem açığı oluşturularak malzeme yüzeylerinden buharlaşma ile kurutma yapılmaktadır. Bacalar yardımıyla sıcak ve doygun hale gelen hava atılmakta ve dışarıdan nispeten soğuk ve taze (genellikle daha kuru) haldeki hava alınarak fanlar aracılığıyla istif katları arasında dolaştırılmaktadır. Devamlı hava dolanımı ve dışarıdan gelen havanın sürekli ısıtılması nedeniyle enerji tüketimi yüksektir ve koruyucu kurutma şartları uygulandığında ise kurutma süresi uzamaktadır. Neredeyse tüm ağaç türlerinin 10 cm (yumuşak ağaç türlerinde 14 cm) kalınlığa kadar olan ve yüksek başlangıç nemlerine sahip kerestelerinin kurutulabilmesi, kurutma şiddetinin ayarlanabilmesi ve fabrika içi artıkların enerji üretimi için kullanılabilmesi avantajlarındandır. Bu nedenle günümüzde en yaygın kullanımı olan bu yöntem için 25 ila 300 m³ kereste alabilen fırınlar inşa edilebilmektedir. (Şekil 9).

Şekil 9
Klasik Kurutma Fırını İçeriği



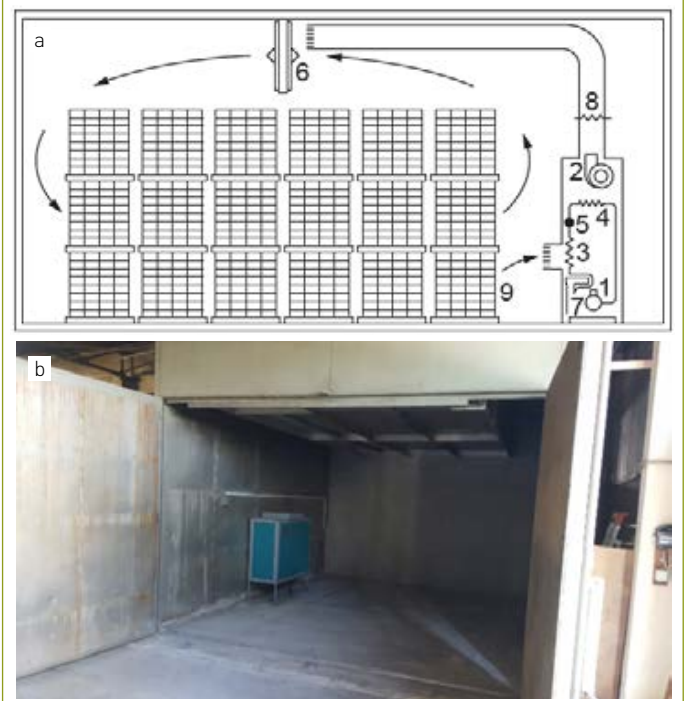
Açıklama notu. Bergman, R. 2021. Drying and control of moisture content and dimensional changes. Chapter 13 in Wood Handbook - Wood as an Engineering Material, FPL-GTR-282, 13-1. Forest Products Laboratory, United States Department of Agriculture Forest Service, Madison, Wisconsin, ABD kaynağından uyarlanmıştır.

Kondenzasyonlu Kurutma

Klasik yöntemle aynı prensipte kereste kurutmakla birlikte, en

önemli farkı kapalı (bacasız) bir hava dolanımı bulunmasıdır. Doygun havanın kurutulması işlemi, kondenzasyon cihazı ile gerçekleştirilmektedir. Bu cihazda soğuk yüzeylere çarpan havanın içindeki nem yoğunlaşır sıvı hale getirilerek uzaklaştırılmaktadır. Kuru ama soğuk olan hava, tekrar ısıtılarak fırın içerisine verilmektedir. Kapalı dolanım olması nedeniyle düşük enerji tüketimi vardır ancak cihaz kullanımı nedeniyle elektrik kullanımına muhtaçtır. Güç ve yavaş kuruyan türler için şiddetli olmayan kurutmalar yapılabilmesi ve nispeten düşük sıcaklık kullanımıyla ahşabı koruyucu bir yöntemdir. Ancak klasik yöntemle göre daha uzun süreli kurutma yapılması ve bu sürenin %15 rutubetin altında daha da uzaması, renklenme olasılığı olan türler için risk oluşturması yöntemin dezavantajlarındandır (Şekil 10).

Şekil 10
Kondenzasyonlu Kurutma Fırını (b) [Foto: H.V.Gorgun] ve İçeriği (a)*



Açıklama notu. Bergman, R. 2021. Drying and control of moisture content and dimensional changes. Chapter 13 in Wood Handbook - Wood as an Engineering Material, FPL-GTR-282, 13-1. Forest Products Laboratory, United States Department of Agriculture Forest Service, Madison, Wisconsin, ABD kaynağından alınmıştır.

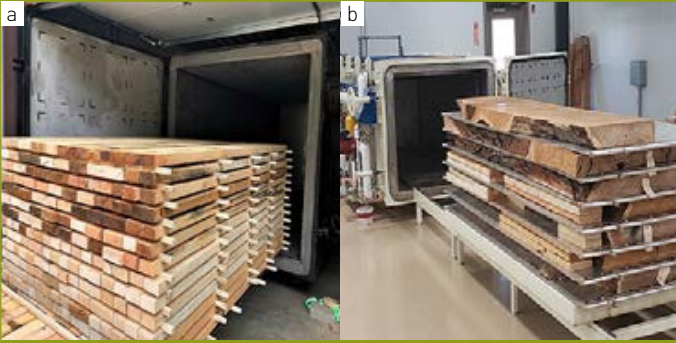
*1) Kompresör, 2) Fan, 3) Evaporatör (Buharlaştırıcı), 4) Kondenser (Yoğunlaştırıcı), 5) Kontrol valfi, 6) Ana fan, 7) Su tahliyesi, 8) İlave ısıtıcı, 9) İstifler

Vakumlu Kurutma

Bu yöntemde ortamdaki basıncın azaltılmasıyla kaynama noktası düşürülerek hem daha koruyucu bir kurutma, hem de buhar difüzyonuyla daha hızlı bir kurutma sağlanmaktadır. Düşük sıcaklık ve oksijen azlığı nedeniyle de ahşabın mevcut renginin korunduğu bir kurutmadır (Koumoutsakos vd. 2001). Vakumun uygulanma durumuna göre, sürekli veya periyodik olmak üzere iki ayrı yöntem vardır. Ayrıca ısıtma çeşidine göre de dört ana kategoride değerlendirilebilir: Kerestelerin arasında sıcak levha konularak temas yoluyla ısıtma, yine levha konularak dielektrik ısıtma, çıta konularak hava akımıyla ısıtma (Şekil 11) ve kızgın buharla ısıtma (Espinoza

Şekil 11

Levhalı (a) ve Levhasız (b) Vakumlu Kurutma Fırını Örnekleri



Açıklama notu. Lyon, S., Bowe, S., & Wiemann, M. 2021. Understanding vacuum drying technologies for commercial lumber. FS General Technical Report, United States Department of Agriculture, ABD. 287: 1-5 kaynağından alınmıştır.

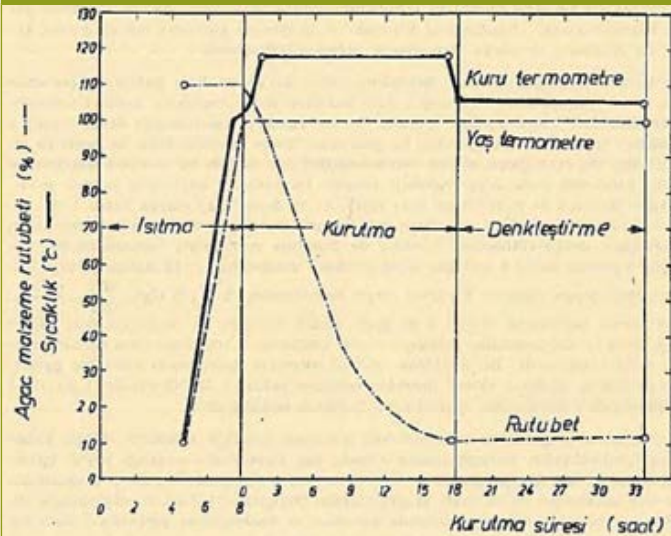
ve Bond, 2016). Vakumun zorlayıcı şartları nedeniyle genellikle 1 ila 25 m³ kapasiteli otoklav şeklindeki fırınlar tercih edildiği gibi, dielektrik ısıtmanın kullanıldığı fırınlarda kapasite 55 m³'e (Avramidis ve Zwick, 1997) kadar çıkabilmektedir. Düşük kapasiteyle birlikte yatırım giderleri de yüksektir. Ancak kurutma süresinin kısalması, kurutma kalitesinin iyi olması, daha verimli enerji tüketimi olması (Ressel, 1994), yavaş ve güç kurutulabilen keresteler için ideal olması bu dezavantajları dengeleyebilmektedir.

Yüksek Sıcaklıklarda Kurutma

Ortam sıcaklığının 130 °C'ye kadar çıkartıldığı bu yöntemde rutubet kerestelerden yüksek basınçlı buhar difüzyonu şeklinde çıkartılmaktadır. Böylece klasik kurutmaya oranla 1/3 oranındaki sürelerde kurutma yapılabilir. Yüksek sıcaklığın getirdiği zorlayıcı şartlar nedeniyle, genellikle kontrol psikrometreyle yapılmakta ve kolay kurutulabilen yumuşak ağaç türleri tercih edilmektedir. Daha az çatlak ve şekil değişimi oluşmakla birlikte,

Şekil 12

Yüksek Sıcaklıklarda Kurutma Aşamaları



Açıklama notu. Langendorf, G., Eichler, H., 1973, Holzvergütung, Dresden Veb Fachbuch verlag, Leipzig, Almanya, Kantay, R. 1980. Ağaç malzemenin yüksek sıcaklık derecelerinde kurutulması. Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University, 30(2), 134-151 kaynaklarından yararlanılmıştır.

renk değişimleri ve reçine sızması kurutma kalitesini düşürebilir niteliktedir. Ayrıca kimyasal yapıdaki değişiklikler nedeniyle mekanik özelliklerde (özellikle elastikiyet modülünde) düşüş olabilmektedir (Oltean vd, 2007). Günümüzde modifikasyon amaçlı ısı işleminin bir basamağı olarak da kullanılmaktadır (Şekil 12).

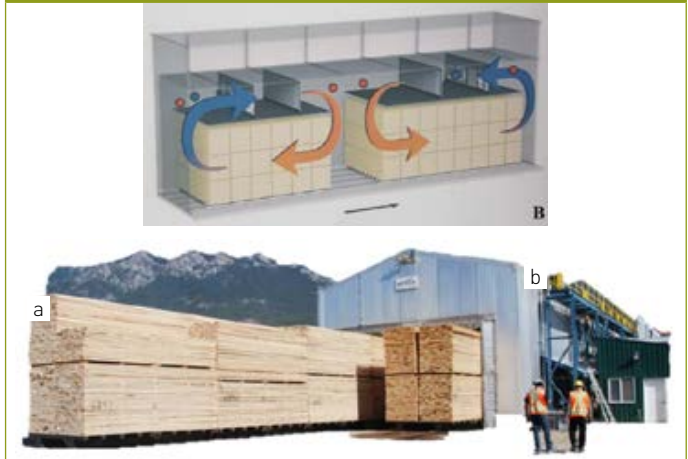
Diğer Kurutma Yöntemleri

Kesintisiz Kurutma Fırınları

Son yıllarda mevcut fırınlardan çok daha yüksek kapasiteli olan kesintisiz (İng. Continious veya Progressive) kurutma fırınları geliştirilmiştir. Mevcut fırınlarda kereste istifleri kurutma sırasında sabit dururken, bu tip fırınlarda farklı ortam koşullarına sahip odalardan geçerek kurutulmaktadır. Mevcut kurutma teknolojisiyle hızlı kurutulabilen ağaç türlerinin ince keresteleri tercih edilmektedir. Ekipman ve oda yerleşimine göre farklı çeşitleri bulunan bu tip fırınlarda uzunluk 90 m.'ye, yıllık kurutma kapasitesi de 170.000 m³'e kadar çıkabilmektedir. (Şekil 7.13) (Moren, 2016; Görgün ve Ünsal, 2020).

Şekil 13

Kesintisiz Kurutma Fırını (A) ve İçeriği (B)



Açıklama notu. Lazarescu, C., & Oliveira, L. C. 2018. Continuous Drying of Softwood Dimension Lumber (Progress Report), FPInnovations, Kanada, Moren, T. 2016. The Basics of Wood Drying - Moisture Dynamics, Drying Methods, Wood Responses. Valutec AB. Skellefteå, Sweden, 117 pages kaynaklarından alınmıştır.

Elektrik Akımıyla Kurutma

Bu yaklaşım ahşabı iki elektrot arasına yerleştirmeyi ve belirli frekanslarda salınan bir elektrik alanına maruz bırakmayı içermektedir (Shmulsky ve Jones, 2019). Mikrodalgada 915 MHz, 2450 MHz ve 5800 MHz frekansları, yüksek frekansta ise 13,56 MHz ve 27,12 MHz frekansları sıkça tercih edilmektedir (Resch 2006). Bu yöntemlerin en önemli farklılığı kerestelerin değil, içindeki suyun ısıtılması amaçlanmaktadır. İçindeki suyu ısıtmasıdır. Bu nedenle ısıtma daha efektif ve kuruma da daha kısa sürede (permeabilite problemi olmayan ağaç türlerinde klasik yöntemle göre 1/10 - 1/15 oranında) olmaktadır. Ayrıca bu prensip sayesinde diğer yöntemlerle kaliteli (en az kusurlu) şekilde kurutulamayan (veya güç kurutulabilen) ağaç türleri ve/veya kalın keresteler de hızlı ve kaliteli kurutulabilmektedir. Sabit fırınlarda kullanılabildiği gibi (statik yöntem), hızlı kurutma nedeniyle hareketli bant üzerinde de

(dinamik yöntem) keresteler kurutulabilmektedir. Sabit yöntemde istiflemenin çıtalı sandığın aksine elektrik akımının iyi iletilmesi için boşluksuz yapılması nedeniyle, şarj kayıplarını azaltmakta ve istiflemeye bağlı kusurları da azalmaktadır. Elektrik akımı ısıtma için kullanıldığından, suyun atılması için sıklıkla vakumla birlikte kombine edilmektedir. Ancak sıvı haldeki suyun buhar fazına geçişinde oluşan basınç artışı ve vakumla hızlanan buhar difüzyonu nedeniyle, geçirgenliği düşük olan kerestelerde bal peteği kusuru oluşabilmektedir. Bazı uygulamalarda kurutma sırasında oluşan deformasyonların azaltılması için de üst kısmından bir baskı mekanizması ilave edilmiştir (Görgün ve Ünsal, 2016) (Şekil 14).

Şekil 14

Yüksek Frekans – Vakum Kombinasyonlu (a), Mikrodalga Kurutma Fırını (b)



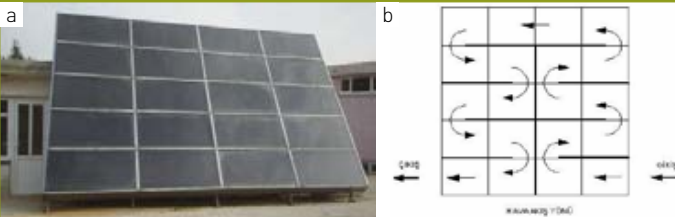
Açıklama notu. Görgün, H. V., Ünsal, Ö. 2016. Ahşap Kurutmada Temiz Enerji Kullanım Örnekleri, 10th International Clean Energy Symposium (ICES 'xx16), İstanbul, Türkiye, 24 - 26 Ekim 2016, ss.582-590, KingDryer. [2024, Temmuz]. Kingdryer Drying Oven. Recep Sivrikaya Orman Ürünleri İthalat ve İhracat. <https://www.recepsivrikaya.com/urun-detay/kingdryer-drying-oven> kaynaklarından alınmıştır.

Güneş Enerjisinin Kullanımı

Yeterli güneşlenme radyasyonu ve süresinin sağlandığı bölgelerde, güneş enerjisinin kurutma için gerekli ısının sağlanmasında kullanıldığı çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Pirasteh vd., 2014; Azizi vd., 2016; Simo-Tagne vd., 2018; Korkmaz vd., 2020). Temininin kolay olması, ahşap artıklarının farklı alanlarda değerlendirilmesine olanak sağlaması, ısı kaynağında yanma gerçekleşmediği için atmosfere zararlı gaz salınımının minimum düzeyde olması, yatırım ve işletme giderlerinin düşük olması gibi avantajları bulunmaktadır. En yaygın olarak kullanılan yöntemde; dış ortamdan alınan hava, güneş enerjisinin ısıttığı kolektörden geçip, sıcaklığı artırılarak fırına verilmektedir (Şekil 15). Güneşin olmadığı zamanlarda ise, temin edilen ısıyı depolayan malzemelerden yararlanılmaktadır.

Şekil 15

Güneş Enerjisi Kurutma Fırını (a) ve Kolektördeki Hava Dolanımı (b) [Korkmaz vd., 2020]



Açıklama notu. Korkmaz, H., Ünsal, Ö., Görgün, H. V., Avcı, E. 2020. Kereste kurutmada enerji verimliliği-güneş enerjisi ile kızılçam (Pinus brutia) kerestesi kurutma örneği. Politeknik Dergisi, 23(3), 671-676. <https://doi.org/10.2339/politeknik.528103> kaynağından alınmıştır.

Bu yöntemler dışında, sınırlı sayıda endüstrileşen diğer kurutma yöntemleri de bulunmaktadır. Kızgın yağlar içerisinde, sıcak organik çözücülerde, organik madde buharıyla, kimyasal maddelerle, preste, dondurarak kurutma (Campean, 2010; Shmulsky ve Jones, 2019).

Kurutma Fırınları

Uygun Fırın Büyüklüğünün Belirlenmesi

Uygun fırın büyüklüğünün belirlenebilmesi için; işletmenin yıllık kurutma ihtiyacının tespit edilmesi, ağaç türü, yatırım ve işletme giderlerine göre en uygun kurutma yönteminin seçilmesi ve sonrasında bu yöntemle göre (tüm kayıplarla birlikte) hangi sürede ne kadar hacimde kurutma yapılabileceğinin hesaplanması gereklidir. Eğer sonuçta tek bir fırın yeterli gelmiyorsa, birden fazla fırın yatırımı kararı verilebilir ve burada fırın büyüklüğü seçimi devreye girmektedir. Bunun için istenen kurutma homojenliği, kullanılacak işçilik, forklift ve fabrika alanı kısıtları, yatırım ve işletme giderleri, sipariş sıklığı ve esnekliği gibi faktörlere dikkat edilmesi gereklidir. Örneğin birçok yöntemde çıtalı sandık şeklinde istifleme yapıldığından, istif hacimleri kurutulacak kereste hacminden daha fazla olmaktadır. Hol boşlukları, ara tavan vb. diğer boşlukların ilavesiyle kereste hacmi, fırın dış hacminin %25-35'i kadar olmaktadır (Örs ve Keskin, 2008).

Fırın Yapım Esasları

Bir kurutma fırınının, kullanılan yöntem ve programda belirlenen kurutma şartlarını sorunsuz bir şekilde sağlayarak çalışması beklenmektedir. Bu nedenle başta fırın yapısı ve donanımın bu şartlara uygun olarak seçilmesi gereklidir. Örneğin dış ortam sıcaklığı ne olursa olsun, içerde istenen sıcaklığa kısa sürede ulaşılabilmesi ve korunabilmesi için iyi yalıtım özelliklerine sahip olması gereklidir. Bunun dışında fabrika alanı, kurutulacak ağaç türleri, yükleme – boşaltma sistemi özellikleri gibi diğer hususlar

Şekil 16

Kâğır (a) ve Metal (b ve c) Fırında Kurulum Süreçleri



Açıklama notu. KopDry. [2023, Mart]. Alüminyum Konstrüksiyonlu Fırınlara. Kopdry. Türkiye. http://www.kopdry.com.tr/?page_id=686 kaynağından alınmıştır.

da dikkate alınmalıdır. Örneğin klasik fırınlarda çatılar genelde düz inşa edildiğinden, kar yağışı alan bölgelerde çatıda kar yüküne dayanıklılık da ön plana çıkmaktadır. Bu kapsamda genellikle kâgir (taş veya tuğla) veya metal (genellikle alüminyum sandviç panel) yapıya sahip fırınlar tercih edilmektedir. İnşa tecrübesi, bulunabilirlik ve sağlamlık açısından kâgir fırınlar tercih edilebildiği gibi, iyi ısı yalıtımı, demonte edilebilir modüler sisteme sahip olması, daha dayanıklı olması gibi sebeplerden dolayı metal fırınlar son yıllarda çok daha sık tercih edilmektedir (Şekil 16).

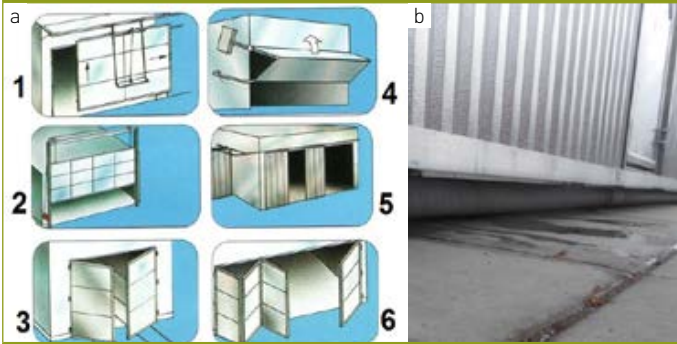
Fırın Donanımı

Kapılar

Yükleme – boşaltmanın yapıldığı kapılar, en fazla ısı kaybının yaşanabileceği kısımlardır. Kolaylıkla açılabilmesi, açılınca fabrikanın genel işleyişini engellemeyecek şekilde çalışması vb. hususlara dikkat edilmelidir (Şekil 17).

Şekil 17

Fırın Kapısı Çeşitleri (a) ve Conta İle Kapı Altında Sızdırmazlık Sağlama (n) (Foto: H.V.Görgün)*



* 1: Kaldırılabilir sürme kapı, 2: Kaldırma kapı, 3: Kanatlı kapı, 4: Yukarı katlanır kapı, 5: Bölmeli toplanabilir kapı, 6: Akordeon kapı

Şekil 18

Forklift (a) ve Raylı Sistemle (b) Yüklemeye – Boşaltma Örnekleri



Açıklama notu. Atria. (2024, Temmuz). Ana Sayfa. Atria Mimarlık İnşaat Dekorasyon Orman Ürünleri Sanayi Tic. Ltd. Şti. Türkiye. <http://www.atriatld.com.tr/TR/> kaynağından alınmıştır.

Doldurma ve Boşaltma

İstiflerin düzgün ve seri bir şekilde doldurulup boşaltılması, kurutma homojenliğini, kapasitesini ve ekonomisini direkt etkilemektedir. Bu sebeple işgücü yerine forklift, vinç, transportör ve raylı sistemler tercih edilmektedir (Şekil 18).

Havalandırma

Kurumayı sağlayacak hava hareketi genellikle fanlar aracılığıyla yapılmaktadır. Amaç yeterli miktarda ve hızda havanın istifler arasında geçişinin sağlanmasıdır. Fırın tipi, kurutma yöntemine göre farklı yerlerde bulunabilmektedir (Şekil 19).

Şekil 19

Fan Sistemi Çeşitleri: Üstten (a), Yan Duvardan Küçük (b) ve Büyük (c) Çaplı (c: H. V. Görgün)



Fırınlar sabit hacimlidir. Ancak kurutulması gereken kereste ve istif boyutları her zaman aynı değildir. Farklı istif boyutları nedeniyle bazen işletmeler fırının istif bölgesini tamamen dolduramaz. Havanın boş kalan alanlardan geçmemesi için kanatçık sisteminden yararlanılmaktadır (Şekil 20).

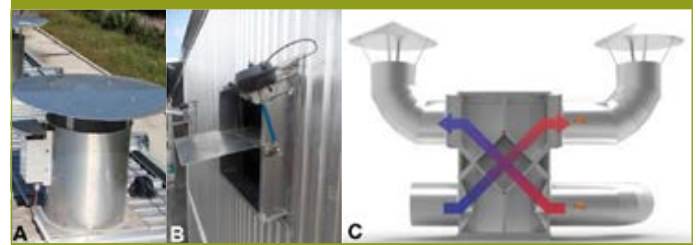
Şekil 20

Üstten (a) ve Yanlardan (b) Hava Yönlendirme Kanatçıkları



Şekil 21

*Baca Çeşitleri (a ve b) ve Isı Geri Kazanım Sistemi Şeması (c)**



Açıklama notu. Nyle Dry Kilns. (2023, Mart). Heat Recovery Venting, Kiln & Equipment Catalog ver. 1.2, Nyle Dry Kilns. ABD. <https://www.nyle.com/wp-content/uploads/2020/02/Dry-Kiln-Equipment-Catalog-2020-min.pdf> kaynağından alınmıştır.

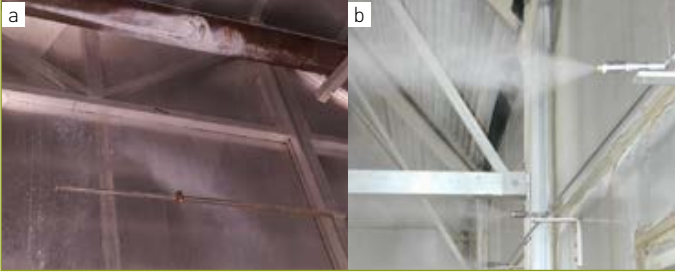
*A: Üstten, B: Yan duvardan, C: Isı geri kazanımı

Nemli havanın dışarı atılması ve dışarıdan taze ve kuru hava alınması için, kontrollü kanatçıklara sahip bacalar kullanılmaktadır. Kanatçıkları iki kademeli (aç – kapa) veya oransal açılan çeşitleri mevcuttur. Genellikle fırın çatısında kullanılırken, fan pozisyonuna göre yan duvarlarda da tercih edilebilmektedir. Dışarı atılan havanın sıcak olmasına karşın, alınan havanın kurutma atmosferinden genellikle daha soğuk olması nedeniyle, tekrar ısıtılarak fırına verilmesi gerekmekte ve bu da enerji ihtiyacını arttırmaktadır. Bunun için geliştirilmiş ısı geri kazanım sistemlerine sahip bacalar da mevcuttur (Şekil 21).

Nemlendirme Sistemi

Kurutma sırasından istenenden düşük bağıl nem, düşük basınçlı doymuş buhar veya pulverize edilen su kullanılan nemlendirme sistemleriyle arttırılmaktadır. Mevcut tesisattan gelen sulardaki pislik birikimi için filtrelenecek verilmesi, fırın donanımını koruyacaktır (Şekil 22).

Şekil 22
Nemlendirme Sistemi (b) ve Kireç Birikimi (a) (Foto: H.V.Görgün)



Isıtma

Kurutma genellikle dış ortam şartlarından daha sıcak bir atmosferde gerçekleştirildiği için ısıtmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ısının kurutma süresince kontrollü bir şekilde sağlanması gerektiğinden, kurutma programlarıyla bütünleşik çalışabilen ısıtma sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Fırın içerisine direkt olarak sıcak duman verilebildiği gibi, dolaylı ısıtmada ise; içinden sıcak su, kızgın su, kızgın yağ, farklı basınçlarda kızgın buhar gibi bir akışkanın geçtiği ısıtıcı borulardan (serpantin) veya elektrikli ısıtıcılardan faydalanılmaktadır (Şekil 23). Bu akışkanın ısıtılması için doğrudan gaz, yağ veya temin edilmesi kolay olduğundan üretimden çıkan odun artıkları ile yanan bir brülörden çıkan yanma

Şekil 23
Kanatlı Boru (a ve b) ve Direkt Yanmalı Brülör (c) Tipi Isıtma Sistemleri



Açıklama notu. Aygen. (2024, Temmuz). Kereste Kurutma Fırınları. Aygen Mekatronik Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. Türkiye. <https://www.aygenmuhendislik.com.tr/kereste-kurutma-firini?lightbox=datalltem-ktgmf9ux2> kaynağından alınmıştır.

gazları kullanılabilir. Gerekli ısı ihtiyacı, ısıtıcı boru miktarı ve ısıtıcı kapasitesi, fırın hacmi, ısı kayıpları, ısıtma ve ısıtıcılar gibi tüm bileşenlerine göre hesaplanmalıdır. Aksi takdirde ısıtmaya harcanan süre uzadıkça, kurutma süresi uzayacak ve enerji giderleri de artacaktır.

Kerestelerin İstiflenmesi

Kerestelerin bekleme süresince şekil değişikliği, renklenme, küflenme ve çürüme gibi biyotik zararlara maruz kalmasını engellemek ve kurutmak için, tekniğine uygun yığılması işine istifleme adı verilmektedir. Ana amaç; aralarında boşluk bırakarak kerestelerin yığın halinde ancak düzgün bir şekilde durabilmesinin sağlanmasıdır. Kurutma süresi, kalitesi ve ekonomikliği bakımından etkin kurutmalar yapılabilmesi için çeşitli özelliklere göre ayrılmış istiflerde kurutma yapılması gereklidir. Örneğin kerestelerin kurutulma özellikleri, ağaç türü, kalınlık, rutubet ve kaliteye göre değiştiğinden, mümkün olduğunca bu özellikleri aynı ya da birbirine yakın olanların istiflenmesi ve birlikte kurutulması gereklidir. Örneğin çam gibi hızlı kurutulabilen bir tür ile meşe gibi geçirgenliği düşük bir tür istiflenerek aynı fırında kurutulmaya çalışılırsa, meşede kusur riski yüksek olduğundan, daha yavaş ve kontrollü bir programa göre kurutma yapılmalıdır. Bu program da süreyi uzatacağından, daha erken kurutulabilecek çamın bu süre içerisinde değerlendirilememesine neden olacaktır. Tam tersi durumda ise, bu sefer meşede istenen sonuç rutubetine ulaşmama, düşük kurutma kalitesi gibi sonuçlar ortaya çıkabilecektir.

İstifleme Teknikleri

Farklı amaçlar için farklı istifleme teknikleri bulunmaktadır. Örneğin çapraz istif, üçgen istif, makasvari istif vb. (Şekil 24) şeklindeki istifler daha çok doğal kurutma için uygulanırken, teknik kurutmada fırın içi hacmin daha verimli kullanılabilmesi için, genellikle çatalı sandık tekniğine göre istifleme yapılmaktadır.

Şekil 24
Üçgen ve Makasvari İstif Örnekleri



Kerestelerin durumuna göre farklı istifleme çeşitleri de kullanılabilir. Şaşırtmalı istif farklı boydaki kerestelerin, farklı hizalarda ancak hem kurutmayı engellemeyecek şekilde, hem de prizmatik bir istif şekli oluşturacak şekilde dizilmesiyle elde edilir. Bul (blok, boule) istifte ise, bazı kullanım yerlerinde ahşaptaki doku devamlılığını sağlamak için, çıkan parçalar tomruktan elde edilmiş sırası bozulmadan istiflenmektedir (Şekil 25).

İstifleme teknikleri kereste çeşidiyle birlikte, kurutma yöntemine göre de değişmektedir. Teknik kurutma fırınlarında yüksek miktardaki kereste kurutulduğundan, taşımanın düzgün yapılabilmesi, kurutma atmosferinin her keresteye homojen bir şekilde

Şekil 25

Kerestelerde Şasırtmalı İstif (a, Foto: H.V.Görgün ve b) ve Yanlı Parçalarda But İstif (c) Örnekleri



Şekil 26

Çıtalı Sandık (a) ve Çıtasız (b: O.Unsal) İstif Örnekleri



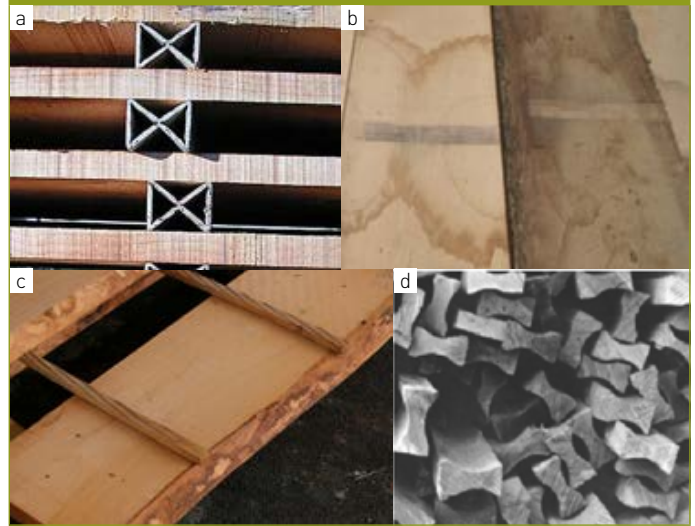
ulaştırılabilmesi ve kerestelerde şekil değişikliğine bağlı bir kusur oluşmaması için istifleme teknikleri son derece önemlidir. Konveksiyon yoluyla ısıtma ve/veya kurutma yapılan yöntemlerde düzgün ve homojen hava akımı ihtiyacından dolayı keresteler, aralarında çıta konularak istiflenmektedir (çıtalı sandık istifleme). Kurutmanın bir ön işlemi olan buharlamada, şarj kaybını engellemek için çıtasız istifleme yapılabilirdiği gibi, aynı kerestelerin sonrasında kurutma fırınlarına yerleştirileceği için ilave istifleme iş yükünden kaçınmak adına da çıtalı sandık şeklinde de istifleme yapılabilir. Elektrik akımının kullanıldığı yöntemlerde ısıtma prensibine göre boşluk istenmediğinden, çıtasız istiflemeler yapılmaktadır (Şekil 26).

İstifleme Kuralları

Çıtalı sandık istiflemesinde, kaliteli ve verimli bir kurutma için keresteler kadar çıtaların da önemi bulunmaktadır. Dirençli ve uzun ömürlü olması için kusur içermeyen ve kurutulacak keresteye bulaşmaması için mümkünse reçesiz, yoğunluğu çok düşük olmayan yumuşak ağaç türlerinden üretilmiş olmalıdır. Bununla birlikte çıtaların olduğu bölgede rutubet ve kir birikmesi kerestelerde iz yapabildiği için, çıtaların temas alanını azaltan kanallı istif çıtaları kullanılabilir (Şekil 27).

Şekil 27

Kanallı İstif Çıtası (a, c, d) ve Çıta İzi (b) Örnekleri



Uygun çıta kalınlığı kurutma için son derece kritiktir. Gerektiğinden fazla kalın çıta kullanımı, istif yüksekliğini arttırarak fırına konabilecek kereste miktarını azaltarak kapasite kaybına yol açarken, daha ince çıtalar ise, keresteler arasında kurutma için gerekli hava hareketi sağlanamamasına ve kurutma homojenliğinin düşmesine neden olacaktır. Kantay (1993)'a göre ideal çıta kalınlığı ($k_{\text{çita}}$, mm), kereste kalınlığına göre (k_{kereste} , mm) aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir:

$$k_{\text{çita}} = 10 + (0,3 \times k_{\text{kereste}})$$

Çıtalar arasındaki açıklık ise, şekil değişmelerine karşı hassas olan kerestelerde daha az olmalıdır. Aksi takdirde, üstte kalan kereste ve çıtaların ağırlığı, alta doğru baskı yaparak keresteleri eğmeye çalışacaktır. Bu ağırlığa ilave olarak, serbest kalan kerestelerde veya istif ara katlarında kusur oluşmaması için üstten baskı uygulayacak bir sistemin (pres mekanizması (Ünsal vd., 2014) veya ağırlık konulması) uygulanması gereklidir (Şekil 28).

Şekil 28

Serbest Kalan Kerestelerde Eğilme (a: H.V.Görgün), Ağırlıkla (b) ve Üstten Basınca (c) Uygulanan Baskı Sistemleri



Açıklama notu. Ünsal Ö., Güler C., Dilek B., Görgün H.V., 2014, "Çevre Dostu Kereste Kurutma Teknolojileri: Yüksek Frekans ve Mikrodalga", II. Ulusal Akdeniz ve Çevre Sempozyumu, 22-24 Ekim 2014, Isparta, Türkiye, ss.554-559 kaynağından alınmıştır.

Kalınlık ve açıklıkları belirlenen çıtaların uzunlukları, istifle aynı genişlikte veya çok az taşacak şekilde olmalıdır. Belirtilen hizaların uygulanabilmesi için istif takozları referans alınabilir, benzer kalınlıkların kurutulduğu fırınlarda ise her çıta için referans olacak "istif çıtalama kılavuzları" kullanılabilir. Uygulama

Şekil 29

Çıtalama (a) ve İstifleme Kılavuzu (b ve c) Örnekleri (c: Ö.Ünsal)



personelinin tekniğe uygun istif yapılabilmesi için önem arz ettiği, kılavuz tipleri de çeşitlilik göstermektedir. Örneğin arka arkaya gelen istifler arasında kalınlık farklarından dolayı çıta boşlukları aynı hizada değilse, bu araya 10 ila 15cm boşluk sınırlarına da istif dayamaya müsait, dik pozisyonlu kılavuzlar kullanılabilir. Yine hol boşluklarının istifleme sırasında ihmal edilmemesi için, yükleme alanı sınırlarına da kılavuzlarına konulabilir (Şekil 29).

İstifleri oluştururken aynı kalınlıktaki kerestelerin aynı katta olması, hava hareketini engellememesi için benzer uzunluklara sahip kerestelerden istif yapılması gerekmektedir. İstifte yan yana gelen keresteler arasında 40 mm kalınlığa kadar açıklık bırakılmaması, daha kalın kerestelerde ise kalınlığın %40'ı kadar boşluk bırakılması gerekmektedir (Kantay, 1993). İstif boyutlarıyla ilgili ise net bir aralık belirtilmemekle birlikte, yükleme – boşaltmayı sağlayan forkliftin ağırlık, asansör yüksekliği kapasitesi, fırın içerisindeki kereste yüklenebilecek hacmin sınırları gibi sınırlayıcı faktörlere dikkat edilmesi gerektiği söylenebilir. İstifler arasında bırakılan boşluk için forkliftin rahat çalışabilmesi için çatal kalınlığı referans alınmalıdır. Ancak hava hareketinin istif katlarından olabilmesi için, yan duvarlar ile ara tavan arasında olabildiğince boşluk bırakılmaması gereklidir.

Kurutma Kusurları ve Önleme Çareleri

Kereste üretiminde elde edilen ürün kalitesi, kurutma sonrasında düşebilmekte ve işletmeye ekonomik açıdan olumsuz yansıyabilmektedir. Bond ve Espinoza (2016)'ya göre, uygun sonuç rutubetlerine kadar kurutulmayan çam kerestesinde m³'te 1.2 \$ ile 2.8 \$, şekil değişikliği nedeniyle yaklaşık her 2.36 m³'te (1000 board-feet) 50 \$ ile 150 \$ (yaklaşık %5 ile %15) kayıp yaşanabilmektedir.

Kaliteyi Etkileyen Anatomik Özellikler

Biçme hattından gelen kerestenin kalitesi, düzgün ve özensiz bir kurutmayla düşebilir. Malzeme kalitesinin korunarak kurutmanın sorunsuz bir şekilde yönetilebilmesi için tüm faktörler dikkate alınmalıdır. Kurutma, aslında ahşaptan suyun difüzyonla alınması işlemi olduğundan, ahşabın anatomik yapısıyla doğrudan ilişkilidir. Örneğin iğne yapraklı ağaçlarda görülen geçit aspirasyonu, yapraklı ağaçlarda görülen tül oluşumu, öz odundaki maddeler vb. difüzyonu engelleyerek kurutmayı zorlaştıran etmenlerdir. Zorlaşan difüzyonla kalınlık boyunca rutubet farkı (meyiline) artmakta ve oluşan gerilimler de kusur riskini arttırmaktadır. Anatomik yapıdaki girift liflilik, lif kıvrıklığı, reaksiyon odunu gibi düzensizlikler özellikle kurutma sırasında da şekil değişikliğine neden olabilmektedir. Bununla birlikte öz ışınları radyal yönde rutubet difüzyonuna katkı vererek kurutmayı kolaylaştırmakta, ahşabın radyal yönde daha az çalışmasına katkı sağlamaktadır (Shmulsky ve Jones, 2019).

Şekil 30

Kurutma Sırasında Oluşan Olası Gerilimler ve Kusurlar



Açıklama notu. Hoadley, R. B. 2000. Understanding wood: a craftsman's guide to wood technology. Taunton press kaynağından uyarlanmıştır.

Şekil 31

Kerestede Hızlı Kurutma Sonucu Oluşabilen Durumlar: Islak Bölge (a), Bal Peteği (b)



Açıklama notu. ResearchGate. [2016, Temmuz]. Is there any drying schedule list for Gmelina sp wood species?. Questions. Research Gate. <https://www.researchgate.net/post/Is-there-any-drying-schedule-list-for-Gmelina-sp-wood-species>, Ünsal, Ö., Dündar, T., Görgün, H. V., Kaymakci, A., Korkut, S., & As, N. 2020. Optimizing Lumber Drying Schedules For Oriental Beech and Sessile Oak Using Acoustic Emission. BioResources, 15(3): 6012-6022. <https://doi.org/10.15376/biores.15.3.6012-6022> kaynaklarından alınmıştır.

Çatlaklar

Odun dokularının birbirinden ayrılmasıdır. Kurutma sonucu sıkça görülen bu kusur görüldüğü yere göre enine kesit, yüz ve iç çatlakları olarak isimlendirilebilir. Temelde LDN altına inen rutubet sonucu oluşan daralma gerilimlerinden dolayı oluşmaktadır (Şekil 7.30, Şekil 7.31).

Şekil 30'un en solunda, ilk başta LDN üstünde rutubeti olan bir kereste enine kesiti görülmektedir. Hızlı kurutma sonucu dış kısım kuruyarak LDN altına inmekte ve daralma gerilimleri oluşmaktadır. Eğer yüksek kurutma şiddeti uygulanırsa buradaki doku büyük oranda daralır ve "kabuklaşma" (sertleşme) kusuru gerçekleşir.

Şekil 32

Kılcal Çatlaklar (a), Kavakta İç Çatlağı (Bal Peteği) Oluşumu (b) (Foto: H.V. Görgün)



Açıklama notu. Hoadley, R. B. 2000. Understanding wood: a craftsman's guide to wood technology. Taunton press kaynağından alınmıştır.

Yüzeyde çok sayıda ve çok ince (kılcal) çatlakların görüldüğü bu kusur oluşursa, kerestede kurutma devam etmez. Tespiti ve değerlendirilmesi için TSE CEN/TS 14464 (2010) standardı bulunmaktadır. Bununla birlikte kurutma şiddeti kabuklaşmaya neden olmayacak şekilde yüksekse iç kısım ise hala LDN üstünde olduğu için basınç gerilimleri yaratmaktadır. Bu gerilim farklılığı, malzemenin en zayıf noktalarından olan öz ışınları dokusunda ayrılmalara neden olarak iç çatlağı (bal peteği) oluşturmaktadır (Şekil 32).

Teknik kurutmada oluşan bu gerilimleri azaltmak için kurutma şiddetinin ağaç türü ve malzeme kalınlığına göre çok iyi ayarlanması gerekmektedir. Açık havadaki kurutmada ise anatomik yapı nedeniyle en riskli bölgeler olan enine kesitlerin kapatılması alınan önlemlerdendir (Şekil 33).

Şekil 33

Açık Havada Çatlak Oluşumunu Önlemek İçin Enine Kesitlerin Kapatılması Örnekleri: File (a), Eriyik Madde (b) ve Metal Plaka ile (c)

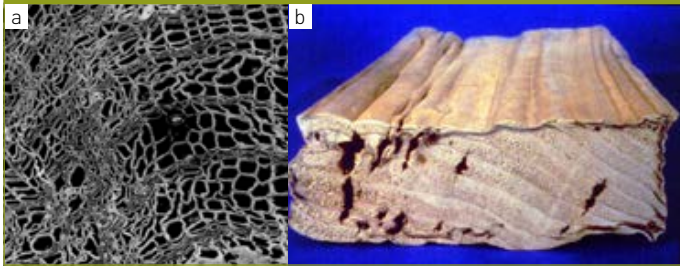


Hücre Çökmeleri (Kollaps)

Yüksek başlangıç rutubetlerindeki kerestelerde serbest suyun çok hızlı alınması, kapiler kuvvetler nedeniyle hücrelerde çökmelerle sonuçlanabilir (Bond ve Espinoza, 2016). Makroskobik olarak homojen olmayan kalınlık azalmaları ile tespit edilebilir. Oluşmaması için yatkın türlerde koruyucu kurutma şartları ve hücre çeper direncini düşürmeyecek düşük sıcaklıklar uygulanması gerektiği söylenebilir (Şekil 34).

Şekil 34

Mikroskobik (a) ve Makroskobik (b) Ölçekte Kollaps Oluşumu



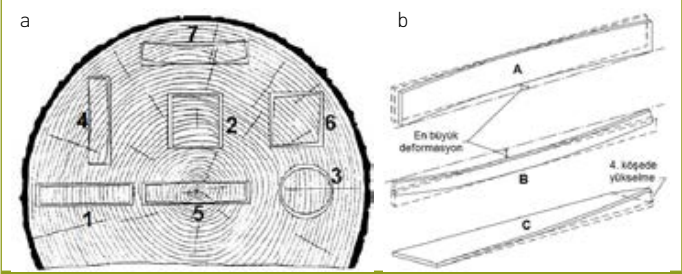
Şekil Değişimleri

Ahşapta çalışmaya bağlı şekil değişiklikleri anatomik yapıdaki heterojenlikten ve bazı düzensizliklerden kaynaklanmaktadır. Enine kesitteki değişimleri, genellikle teğet ve radyal yöndeki çalışma farklılıklarından oluşmaktadır (Şekil 35).

Şekil 35'in sol kısmında kerestenin enine kesit durumuna göre daralma farklılıkları yer almaktadır. 1 numaralı kereste daraldıktan sonra şeklini korurken, 2 ve 3'te kalınlık/genişlik oranı değişmiş, 4'te ve sonrasında da enine kesitteki dikdörtgen formu korunamamıştır. Literatürde ve endüstride Şekil 35'teki değişiklik

Şekil 35

Enine Kesitteki (a) ve Bütün Kerestedeki (b) Şekil Değişimleri



Açıklama notu. Glass, S., & Zelinka, S. 2021. Moisture relations and physical properties of wood. Chapter 4 in FPL-GTR-282, 4-1, Bergman, R. 2021. Drying and control of moisture content and dimensional changes. Chapter 13 in Wood Handbook - Wood as an Engineering Material, FPL-GTR-282, 13-1. Forest Products Laboratory, United States Department of Agriculture Forest Service, Madison, Wisconsin, ABD kaynaklarından alınmıştır.

mainleşme (elmaslaşma), 7 numaradaki değişiklik ise oluklaşma (çanaklaşma, kaşıklaşma) olarak isimlendirilmektedir. Hacimsel şekil değişimlerinde ise A (normal) eğilme, B kılıcına eğilme ve C ise Burulma olarak isimlendirilmektedir. Bu değişimler anizotropi veya kusurlar gibi anatomik yapıdan kaynaklı olmakla birlikte, istiflemedeki hatalar nedeniyle de oluşabilmektedir. İstifin üst katlarında oluşan ağırlık ve ahşabın yüksek sıcaklık ve nemde direncinin düşmesi gibi etkenlerin sebep olduğu söylenebilir. Aynı istif katında aynı kalınlıkta kerestelerin konulması, çıta kalınlıkları arasındaki farkın ± 1 mm'yi geçmemesi (Mahild, 2023), çitaların kereste bitimleri hizasında olması gibi istifleme kurallarına uyulmaması da kusur oluşumunda etkili olacaktır (Şekil 36).

Şekil 36

Çıtalı İstiflemedeki Hatalar Nedeniyle Oluşan Şekil Değişimleri



Açıklama notu. Mahild. (2023, Mart). Kiln Dried Timber. Germany - Egger-Oct. 2008. Mahild Drying Technologies. http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2864/Technical/PD401-06%20MANUAL%20FOR%20KILN%20DRYING%20TRAINING%20SEPT%2010.pdf kaynağından alınmıştır.

Şekil 37

Lalede (Liriodendron tulipifera) Oksidasyon Renklenmesi



Açıklama notu. Cassens, D.L., Makra, E., 2014, Urban Wood and Traditional Wood: A Comparison of Properties and Uses, Forestry and Natural Resources, Purdue University, ABD kaynağından alınmıştır

Renk Değişimleri

Kurutmaya bağlı renk değişimlerinin farklı sebepleri vardır. Örneğin yüksek sıcaklıkla odun bileşenlerinde meydana gelen değişim veya reçine sızması nedeniyle renkte koyulaşma olabilmektedir. Kestane, meşe gibi türlerde bulunan tanen özellikle metalle temasta renk değişimine sebep olabilmektedir. Bunun dışında belirli bir süre yüksek bağıl nem uygulaması, hassas türlerde renklenme oluşturabilir. Genellikle önemsenmeyen ancak yonga, talaş, kabuk vb. artıklar nem tuttuğu veya kurutmayı engellediği için bölgesel renklenmelere de sebep olabilmektedir. Bunun için fırının temiz tutulması, riskli türlerde istifleme ve kurutma programında dikkat edilmesi, mümkünse buralarda yoğunlaştığı için kanallı çıta kullanımı gibi önlemler alınabilir. Aşağıdaki şekilde lale ağacı (*Liriodendron tulipifera*) diri odununda yavaş kurumaya bağlı oksidasyon renklenmesi yer almaktadır. Şekil 37a'da ham kerestenin çıta ile temas ettiği bölgede yoğunlaşan bu renklenme, sağda ise planya sonrası kerestede dağılımı görülmektedir (Şekil 37).

Reçine Sızması

Reçine bakımından zengin ağaç türleri (çam, ladin vb.) 60°C üstündeki kurutma sıcaklıklarında kurutulduklarında (Kantay, 1993), akışkan hale gelen reçine yüzeye çıkmaktadır. Renkte koyulaşmayla birlikte, kurutma sonrası malzemenin yüzey işlemlerinde sorun oluşturabilmektedir.

Kurutma Kalitesinin Değerlendirilmesi

Kurutma kalitesinin değerlendirilmesiyle ilgili kurutma kusurları ve sonuç rutubetine göre değerlendirme yapan çeşitli standartlar bulunmaktadır. TS EN 14298 (2017)'de, her bir kerestenin rutubeti ve tüm kerestelerin ortalama rutubetinin, istenen sonuç rutubetinden farkı ile dış sertleşme (kabuklaşma) kusuru değerlendirilmektedir. Avrupa Kurutma Grubu'na göre ise (Tarvainen ve Forsen, 1994), kurutma kalitesi (iyiden kötüye) "Özel", "Kaliteli" ve "Standart" olmak üzere üç ayrı sınıfa ayrılmıştır. Ayrıca değerlendirme yapılırken, sayılan kriterlere ek olarak kollaps, yüzey, iç ve uç çatlakları ile ilgili limitler de yer almaktadır. Şekil değişimleri açısından ise daralma anizotropisinden dolayı meydana gelen deformasyonlara izin verileceği belirtilmiştir. Bununla birlikte şekil değişimleriyle ilgili, kullanım yerine göre ilave kriterler (2 m.'de en fazla 3 cm eğilme gibi) eklenmesi daha sağlıklı olacaktır.

Kerestenin Buharlanması

Ahşabın sıcak ve doygun su buharına maruz bırakılması işlemidir. İşlem sırasında kuruma olmaması arzulanır. Bu nedenle hem ortam sıcaklığının 100°C altında olması, hem de bağıl nemin %100 olması

sağlanır. Kurutma öncesinde ahşaptaki iç gerilmeleri azaltmak, malzemenin higroskopik özelliklerini iyileştirmek, malzemede daha homojen renk dağılımı ve bazı türlerde renk değişikliğini (Şekil 38) sağlamak, olası mevcut biyolojik zararlılara karşı sterilize etmek için tercih edilmektedir (Kantay, 1993; Ünsal, 1998).

Buharlama işlemi iki farklı yöntemle yapılmaktadır. Direkt buharlama yönteminde düşük basınçlı sıcak su buharı, fırın içerisinde dolaşan borularla doğrudan ortama verilmektedir. Dolaylı (endirekt) buharlama yönteminde ise; fırın tabanında yer alan havuzlardaki suyun ısıtılarak, ortaya çıkan buharın fırın içerisinde dağılması şeklinde yapılmaktadır (Şekil 39, Şekil 40). Buharlamanın yönetilmesi genelde süre esas alınarak yapılmakta olup, bazı sistemlerde fırından yoğunlaşarak dışarı atılan suyun rengine göre değerlendirme de yapılabilmektedir.

Şekil 39
Direkt Buharlama Yöntemi



Şekil 40
Dolaylı (Endirekt) Buharlama Yöntemi



Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Declaration of Interests: The authors declares that there are no competing interests

Kaynaklar

- Avramidis, S., Zwick, R.L., 1997, Commercial-scale RF/V drying of softwood lumber. Part 3: Energy consumption and economics, *Forest Products Journal*, 47(1):48-56.
- Atria. (2024, Temmuz). *Ana Sayfa*. Atria Mimarlık İnşaat Dekorasyon Orman Ürünleri Sanayi Tic. Ltd. Şti. Türkiye. <http://www.atrialtld.com.tr/TR/>
- Aygen. (2024, Temmuz). *Kereste Kurutma Fırınları*. Aygen Mekatronik Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. Türkiye. <https://www.aygenmuhendislik.com.tr/kereste-kurutma-firini?lightbox=dataltm-ktgm9ux2>

Şekil 38
Kayında Buharlama Öncesi (a) ve Sonrası (b) Renk Değişimi



- Azizi, M., Mohebbi, N., & De Felice, F. 2016. Developing a rating model for selection solar wood drying location. *Agriculture and agricultural science procedia*, 8, 378-386. [Crossref]
- Bergman, R. 2021. Drying and control of moisture content and dimensional changes. Chapter 13 in *Wood Handbook - Wood as an Engineering Material*, FPL-GTR-282, 13-1. Forest Products Laboratory, United States Department of Agriculture Forest Service, Madison, Wisconsin, ABD.
- Bond, B. H., & Espinoza, O. 2016. A decade of improved lumber drying technology. *Current Forestry Reports*, 2(2), 106-118. [Crossref]
- Brookhuis. (2023, Mart). *FMI IV system*. Brookhuis Applied Data Intelligence. Hollanda. <https://brookhuis.com/wood-testing/moisture-content/inline-moisture-content-systems/fmi-iv>
- Campean, M. 2010. Timber drying methods-passing through history into the future. 11th International IUFRO Wood Drying Conference, Skellefteå, İsveç.
- Cassens, D.L., Makra, E., 2014, Urban Wood and Traditional Wood: A Comparison of Properties and Uses, Forestry and Natural Resources, Purdue University, ABD.
- Denig, J., Wengert, E. M., & Simpson, W. T. 2000. Drying Hardwood Lumber (FPLGTR-118). US Department of Agriculture Forest Products Laboratory, Madison, WI, ABD. [Crossref]
- Espinoza, O., & Bond, B. 2016. Vacuum drying of wood-state of the art. *Current Forestry Reports*, 2(4), 223-235. [Crossref]
- GANN. (2023, Mart). *Electronic Moisture Meters*. GANN Mess-u. Regeltechnik GmbH. Almanya. <https://www.gann.de/en/products/handhelds/electronic-moisture-meters>
- Glass, S., & Zelinka, S. 2021. Moisture relations and physical properties of wood. Chapter 4 in FPL-GTR-282, 4-1. Görgün, H. V., Ünsal, Ö. 2016. Ahşap Kurutmada Temiz Enerji Kullanım Örnekleri, 10th International Clean Energy Symposium (ICES 'xx16), İstanbul, Türkiye, 24 - 26 Ekim 2016, ss.582-590.
- Görgün, H. V., Ünsal, Ö. 2020. Kesintisiz Kereste Kurutma Fırınları. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 22 (1), 283-293. Hoadley, R. B. 2000. Understanding wood: a craftsman's guide to wood technology. Taunton press. Kantay, R. 1980. Ağaç malzemenin yüksek sıcaklık derecelerinde kurutulması. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 30(2), 134-151.
- Kantay R. 1993. Kereste Kurutma ve Buharlama. Ormancılık Eğitim Ve Kültür Vakfı, Yayın No: 6, İstanbul. Kantay R., Güngör N.M., 2012, Ahşap parke endüstrisi ı, parke çeşitleri, standartları, üretim teknolojileri, Ekin Yayın Grubu, İstanbul, Türkiye.
- KingDryer. (2024, Temmuz). *Kingdryer Drying Oven*. Recep Sivrikaya Orman Ürünleri İthalat ve İhracat. <https://www.recepsivrikaya.com/urun-detay/kingdryer-drying-oven>
- Kollmann, F. 1955. *Technologie des Holzes und Werkstoffe*, 2.Bd. Springer Verlag-Berlin.
- KopDry. (2023, Mart). *Alüminyum Konstrüksiyonlu Fırınlar*. Kopdry. Türkiye. http://www.kopdry.com.tr/?page_id=686 Korkmaz, H., Ünsal, Ö., Görgün, H. V., Avcı, E. 2020. Kereste kurutmada enerji verimliliği-güneş enerjisi ile kızılçam (Pinus brutia) kerestesi kurutma örneği. *Politeknik Dergisi*, 23(3), 671-676. [Crossref]
- Koumoutsakos A, Avramidis S, Hatzikiriakos SG. 2001. Radio frequency vacuum drying of wood. II. Experimental model evaluation. *Drying Technology*, 19(1):85-98. [Crossref]
- Langendorf, G., Eichler, H., 1973, Holzvergütung , Dresden Veb Fachbuch verlag, Leipzig, Almanya. Langrish, T., Walker, J.C.F. 2006. "Drying of Timber" Chapter, In *Primary wood processing* (pp. 251-295). Springer, Dordrecht. [Crossref]
- Lazarescu, C., & Oliveira, L. C. 2018. Continuous Drying of Softwood Dimension Lumber (Progress Report), FPIInnovations, Kanada.
- Lignomat. (2024, Temmuz). *Wireless Transmitters*. Lignomat. ABD. <https://lignomatusa.com/product/wireless-data-logger-system-copy/>
- Logica MoisTest. (2023, Mart). *MoisTest 30*. Moisture Meters. Logica H&S. <https://en.logica-hs.it/moisstest30>
- Logica Moisture Meters. (2024, Temmuz). Moisture Meters. Logica H&S. <https://www.logica-hs.it/en/strumenti-di-misura>
- Logica Wood Wizard. (2024, Temmuz). Wood Wizard 2. Logica H&S. <https://www.logica-hs.it/en/woodwizard2> Lyon, S., Bowe, S., & Wiemann, M. 2021. Understanding vacuum drying technologies for commercial lumber. FS General Technical Report, United States Department of Agriculture, ABD. 287: 1-5.
- Mahild. (2023, Mart). *Kiln Dried Timber. Germany - Egger-Oct. 2008*. Mahild Drying Technologies. http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2864/Technical/PD401-06%20MANUAL%20FOR%20KILN%20DRYING%20TRAINING%20SEPT%2010.pdf
- Moren, T. 2016. The Basics of Wood Drying - Moisture Dynamics, Drying Methods, Wood Responses. Valutec AB. Skellefteå, Sweden, 117 pages.
- Mühlböck. (2023, Mart). *Take Over of VT-Trockentechnik*, Muehlboeck. Almanya. <https://www.muehlboeck.com/en/company/about-us-49549.html>
- Nyle Dry Kilns. (2023, Mart). *Heat Recovery Venting, Kiln & Equipment Catalog ver. 1.2*, Nyle Dry Kilns. ABD. <https://www.nyle.com/wp-content/uploads/2020/02/Dry-Kiln-Equipment-Catalog-2020-min.pdf>
- Oltean L, Teischinger A, Hansmann C. 2007. Influence of temperature on cracking and mechanical properties of wood during wood drying - a review. *Bioresources*.2(4):789-811 [Crossref]
- Orent. (2024, Temmuz). *Nem Ölçme Aletleri*. Orent Orman Ürünleri. Türkiye. <https://www.orent.com.tr/nem-olcme-aletleri/>
- Örs, Y., & Keskin, H. 2008. *Ağaç Malzeme Teknolojisi*, Gazi Kitabevi Tic. Ltd. Şti., Ankara, Türkiye. Perre, P., & Keey, R. B. 2006. 36: Drying of wood: principles and practices. Handbook of industrial drying, 822-872, Taylor & Francis Group, LLC.
- Pirasteh, G., Saidur, R., Rahman, S. M. A., & Rahim, N. A. 2014. A review on development of solar drying applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 133-148. [Crossref]
- Puettmann, M.; Bergman R.D.; Hubbard, S.; Johnson, L.; Lippke, B.; Wagner, F. 2010. Cradle-to-gate life-cycle inventories of U.S. wood products production-CORRIM Phase I and Phase II Products. *Wood and Fiber Science*. 42 (CORRIM Special Issue): 15-28.
- Remmert, K. Heller, J., Spang, H., Bauer, K., Brehm, T., 2006, *Fachbuch für parkettleger und Bodenleger* (2. Auflage). S-N Verlag Michael Steinert, An der Alster 21, 20099, Hamburg, Almanya.
- ResearchGate. (2016, Temmuz). *Is there any drying schedule list for Gmelina sp wood species?*. Questions. Research Gate. <https://www.researchgate.net/post/Is-there-any-drying-schedule-list-for-Gmelina-sp-wood-species>
- Resch, H. 2006. High-frequency electric current for drying of wood-historical perspectives. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 8(2), 67-82. [Crossref]
- Ressel JS. 1994. State-of-the-art report on vacuum drying of timber. In: Haslett AN, Laytner F editors. 4th IUFRO International Conference on Wood Drying. Rotorua, New Zealand: Forest Research Institute. 255-255
- Shmulsky, R., & Jones, P.D. 2019. Forest products and wood science: an introduction. John Wiley & Sons, Inc., West Sussex, İngiltere.
- Simo-Tagne, M., & Bennamoun, L. 2018. Numerical study of timber solar drying with application to different geographical and climatic conditions in Central Africa. *Solar Energy*, 170, 454-469. [Crossref]
- Simpson, W.T. 1973. Predicting equilibrium moisture content of wood by mathematical models. *Wood and Fiber Science*, 5(1), 41-49.
- Tarvainen, V., & Forsen, H. 1994. Assessment of drying quality of timber, European drying groups (EDG) recommendation. *Puumies*, 39(9), 18-22.
- TS EN 13183-1, 2012, Biçilmiş Yapacak Odun (Kereste) Parçasının Rutubet Muhtevası - Bölüm 1: Fırın Kurusu Yöntemiyle Tayin, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS EN 13183-2, 2012, Biçilmiş Yapacak Odun (Kereste) Parçasının Rutubet Muhtevası - Bölüm 2: Elektrikli Direnç Yöntemiyle Tahmin, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS EN 13183-3, 2012, Biçilmiş Yapacak Odun (Kereste) Parçasının Rutubet Muhtevası - Bölüm 3: Kapasite Metodu ile Tayin, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TS EN 14298, 2017, Biçilmiş yapacak odun (kereste) - Kurutma kalitesinin değerlendirilmesi, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TSE CEN/TS 14464, 2010, Biçilmiş yapacak odun (kereste) - Yüzey sertleşmesini değerlendirme metodu, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

Ünsal, Ö.,1998, Buharlanmış ve Buharlanmamış Kayın Odununun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

Ünsal Ö., Güler C., Dilek B., Görgün H.V., 2014, "Çevre Dostu Kereste Kurutma Teknolojileri: Yüksek Frekans ve Mikrodalga", II. Ulusal Akdeniz

ve Çevre Sempozyumu, 22-24 Ekim 2014, Isparta, Türkiye, ss.554-559.

Ünsal, Ö., Dündar, T., Görgün, H. V., Kaymakci, A., Korkut, S., & As, N. 2020, Optimizing Lumber Drying Schedules For Oriental Beech and Sessile Oak Using Acoustic Emission. *BioResources*, 15(3): 6012-6022. [\[Crossref\]](#)

Welling, J., Salin, J., de Corte, J., Sandland, K., Nemeth, R., Milic, G., Knaggs, G., 2010, Dried Timber-How to specify correctly. European Drying Group (EDG), COST Action E, 53.

Zhang, B. Guang, Zhou, Y. Dong, Ning, W., & Xie, D. Bin. 2007. Experimental Study on Energy Consumption of Combined Conventional and Dehumidification Drying. *Drying Technology*, 25(3), 471-474. [\[Crossref\]](#)

BÖLÜM 8

AHŞABIN BOZUNMASI

Coşkun KÖSE
Saip Nami KARTAL
Evren TERZİ

Ahşabın Bozunması

Deterioration of Wood

BÖLÜM HAKKINDA

Ahşap birçok doğal malzeme gibi zamanla kullanım yerinin şartlarına göre bozunmaya uğrayabilmektedir. Ahşabın bozunması besin döngüsünün bir parçası olarak onu ayrıştıran, dönüştüren organizmalar (biyotik faktörler) ile abiyotik faktörlerin neden olduğu yıkıcı karmaşık fiziksel ve kimyasal süreçleri içerir. Meydana gelen bozunma, yaşayan ağaçlara ve özellikle ekonomik açıdan değerli ahşabın hizmet ömrünün kısaltılmasıyla kullanım yerindeki ahşaba yönelik büyük tehditler oluşturur. Tarihi ve kültürel öneme sahip eserler başta olmak üzere ahşabın korunmasında tahribatın boyutunun bilinmesi kadar bozunmanın nedeni ve meydana gelme mekanizmalarının kavranması da gereklidir.

Bu bölümde, ahşabın performansının daha iyi anlaşılması için abiyotik faktörler ile su ve kara ekosistemlerinde organizmaların neden olduğu ahşap bozunmasına ilişkin detaylar sunulmaktadır. Bu çerçevede ahşabın bozunmasına genel olarak değinildikten sonra, ahşabın hizmet ömrü, odunda görülen mantarların neden olduğu çürüklükler, bakteri kaynaklı bozunmalar, mikrobiyolojik kökenli renklemeler, odunda çürüklük yapan bazı önemli mantarlar, ahşap zararlı böcekler ve deniz organizmalarının neden olduğu bozunmalar ile kontrol işlemleri hakkında bilgi verilmiştir.

Bu bölümün ahşapla çalışanlara, bilim insanlarına, Orman Endüstri Mühendislerine, Orman Mühendislerine, mimarlara, konservatörlere, restoratörlere, arkeologlara ve biyologlara yararlı olması umulmaktadır.

Anahtar kelimeler: Ahşabın hizmet ömrü, çürüklük tipleri, renklenme, abiyotik faktörler, biyotik faktörler

ABOUT the CHAPTER

Wood, like many natural materials, can deteriorate over time depending on the conditions of its usage. The degradation of wood involves a complex interplay of biotic factors—organisms that decompose and transform it—and abiotic factors that contribute to destructive physical and chemical processes. This degradation poses significant threats to wood both in standing tree as well as in the service economically valuable wood by shortening its service life. Understanding the extent of damage as well as the causes and mechanisms of deterioration is crucial for the preservation of wood, including historical and culturally significant artifacts.

This chapter provides details on wood deterioration caused by abiotic factors and organisms in aquatic and terrestrial ecosystems to better comprehend wood performance. After a general overview of wood degradation, topics addressed include wood service life, decay caused by fungi, bacterial degradation, microbiological discoloration, important wood-degrading fungi, wood-damaging insects, marine organisms, and control measures.

It is hoped that this chapter will be useful for all professional and scientists in the field of wood, including Forest Industrial Engineers, Forestry Engineers, architects, conservators, restorers, archaeologists, and biologists.

Keywords: Service life of wood, decay types, discoloration, abiotic factors, biotic factors

Ahşabın Bozunması

Ahşabın bozunması veya degradasyonu birçok biyotik (canlı) ve abiyotik (cansız) faktörün neden olduğu yıkıcı (destrüktif) karakterdeki tahribat anlamına gelmektedir. Ahşap gibi birçok malzeme zamanla kullanım yerinin şartlarına göre bozunmaya uğrayabilmektedir.

Bozunmalar esas olarak aerobik (oksijen varlığında) ve anaerobik (oksijen yokluğunda) olmak üzere iki durumda gerçekleşmektedir. Aerobik şartlarda ahşap ve benzeri organik malzemeler bozunma sonucu CO_2 (karbondioksit), H_2O (su), biyokütle ve atıklara dönüşmekte; anaerobik şartlarda ise CO_2 , CH_4 (metan), H_2O , biyokütle ve atıklar oluşmaktadır. Aslında biyolojik esaslı malzemeler yapıları gereği ıslak ortamlarda performans göstermek üzere doğa tarafından tasarlanmış olup, zaman içerisinde de yine doğa tarafından adı geçen abiyotik ve biyotik faktörler ile CO_2 ve H_2O 'ya dönüştürülürler (Rowell, 2005). Bu açıdan bakıldığında ahşabın kaynağı olan ağaçlar ısı, CO_2 ve H_2O kullanarak fotosentez ile odun ve O_2 oluşturmakta, bu biyokaynağın ve dolayısı ile malzeme olarak ahşabın



CC BY 4.0: Telif hakkı yazarlardadır. Bu kitabın içeriği Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası lisans altında lisanslanmıştır.



Coskun Köse

Saip Nami Kartal

Evren Terzi

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Orman Biyolojisi ve Odun Koruma Teknolojisi Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye
E-posta: ckose@iuc.edu.tr
snkartal@iuc.edu.tr
evrenterzi@iuc.edu.tr

Bu bölümü alıntıla / Cite this chapter as:
Köse, C., Kartal, S.N., Terzi, E. (2024). Ahşabın Bozunması. T. Akbulut (Ed.), *Ahşap: Doğal ve yenilenebilir mühendislik malzemesi* içinde (s. 126-152) İstanbul: İÜC Üniversite Yayınevi

mantarlar ve bakteriler tarafından çürütülerek yapı taşlarına ayrıştırılması doğadaki karbon çevriminin vazgeçilmez bir parçası olmaktadır.

Biyotik ve Abiyotik Faktörler

Ahşapta biyotik ve abiyotik faktörlerin neden olduğu bozunmalar aşağıda belirtilen şekillerde oluşmaktadır (Zabel ve Morrell, 1992; Schmidt, 2006):

1) Çürüklük ve renklenmeler

- Mantarların neden olduğu çürüklükler (esmer çürüklük, beyaz çürüklük ve yumuşak çürüklük)
- Bakterilerin neden olduğu çürüklükler (erozyon, tünel ve kaviteasyon) ve geçit zarları ve ligninleşmemiş odun dokularında tahribat
- Renk mantarlarının neden olduğu renk değişiklikleri (özellikle ahşabın diri odun tabakasında oluşturulan renklenmeler)
- Küf mantarlarının neden olduğu renk değişiklikleri (ahşap yüzeylerinde gelişen küflenmeler)

2) Hayvansal kaynaklı zararlıların neden olduğu bozunmalar

- Böcekler (ksilofag böcekler, termitler, odun arıları, Ambrosia böcekleri, marangoz karıncalar) tarafından ahşapta delik ve galeri oluşumu
- Deniz organizmaları tarafından ahşapta delik ve galeri oluşumları, yüzey aşınımları

Yukarıda sıralanan faktörler yanında, ziraat amacıyla ormanların açılması, yakacak odun ve kağıt üretimi gibi faaliyetlerle ormanların yoğun baskı altında tutulması (Schmidt, 2006), kullanım yerinde ahşabın korunmasına yönelik yanlış uygulamalar da (Reinprecht, 2016) insan etkisi olarak diğer bir biyotik faktörü ifade edebilmektedir.

Ahşapta abiyotik faktörlerin neden olduğu bozunmalar ise açık hava etkileri, termal bozunma, kimyasal bozunma, mekanik eskime olarak sıralanabilir (Zabel ve Morrell, 1992; Schmidt, 2006):

1) Açık hava etkileri (fotodegradasyon, oksidasyon reaksiyonları)

Açık hava etkilerinde kalan ahşap esas olarak güneş ışığı ve suyun etkisi ile yüzeysel degradasyona uğramaktadır. Korunmamış ahşap yüzeylerinde, mor ötesi (UV) ışınlarının ilk etkileri odunun renginde ortaya çıkmakta ve daha sonra radyasyon enerjisinin odunda yer değiştirmesi ya da transfer etkileri sonucunda, odun içinde lokalize olan bu enerji, bazı reaksiyonların (depolimerizasyon, dehidrogenasyon, dehidroksimetilasyon vb.) ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu reaksiyonlar odunun makromoleküler bileşenlerinde bozunmalara yol açarak, ahşap yüzeylerinde soyulmalar, çatlamlar ve yarılmalar meydana gelmektedir. Mor ötesi radyasyonu, su etkisiyle birlikte ahşap yüzeylerinin bozunmasında çok daha büyük rol oynamakta; hücre çeperlerindeki lignin degrade edildiğinden su, degradasyon ürünlerini yıkayıp uzaklaştırmakta ve selüloz liflerini gevşetmektedir (Kartal, 1992).

Bunlara ek olarak ahşabın renginde de değişiklikler ortaya çıkmaktadır. UV etkisiyle ahşap, daha açık ya da daha koyu tonlarda

bir değişikliğe uğramakta; gri, kırmızımsı ya da kahverengi renklere dönüşmektedir. Ahşaptaki renk değişiklikleri aynı zamanda sıcaklık ve odun rutubeti gibi faktörlere de bağlı olmaktadır. Açık hava etkilerine bırakılan ahşapta renk değişimlerine ek olarak çoğunlukla rutubetten kaynaklanan mekanik zararlar da meydana gelmektedir. Denge rutubetindeki değişikliklere bağlı olarak odun suyu absorbe etmektedir. UV ışınları, yağmur ve rüzgarın birlikte etkisiyle mikroskopik ve makroskopik hücreler arası ve içi yarıma ve çatlamlar oluşmaktadır. Odun yüzeyindeki hücreler birbirleri ile olan bağlarını kaybetmekte ve su, yumuşamış yüzeyleri yıkamaya devam ettikçe, yüzey pürüzlü bir hal alarak yavaş yavaş aşınmaktadır (Kartal, 1992; Sandberg vd., 2021). Açık hava koşullarına maruz kalma süresi uzadıkça, ahşap yüzeylerde gümüşümsü gri renk oluşmakta ve bu gümüşü tabaka yüzeyden 0,08-0,25 mm derinliğe (Şekil 1) kadar inebilmektedir (Kartal, 2014). Özellikle dış cephede kullanılan kaplamalar oluşan yüzey erozyonu ile birlikte incelmekte, hava koşullarına bağlı daralma ve genişlemeler sonucu yapısını koruyamayan ahşapta deformasyon gerçekleşmektedir (Şekil 1).

Şekil 1

Açık hava etkilerine maruz kalmış ahşapta renk değişiklikleri ve bozunmalar



2) Termal bozunma (Detaylı bilgi için bakınız Bölüm 9)

- Düşük sıcaklıklarda (<200°C) oluşan bozunmalar
- Yüksek sıcaklıklarda (>200°C) oluşan bozunmalar
- Yanma (>275°C)

3) Kimyasal bozunma

- Güçlü asitlerin etkileri
- Güçlü bazların etkileri
- Güçlü okside edici ajanların ve organik solventlerin etkileri

Ahşap korozyona karşı dayanıklı olduğundan özellikle kimyasal maddelerin depolanması ve yoğun kimyasal maddelerle işlem süreçlerinde (deri dolapları gibi) kullanılmaktadır. Asitler odunda öncelikle karbonhidratları tahrip ederek ahşabı gevrek, kırılgan bir hale getirmekte, ilk evrelerde esmer çürüklüğün etkisine benzer görünüş oluşmaktadır. Bazların aynı koşullarda ahşap üzerindeki etkileri ise daha şiddetli olmakta, hemiselülozların çözünmesi, ligninin ise modifiye edilmesiyle odun şişip yumuşamakta ve hamurlaşmaktadır. Bu haliyle odunun görünüşü adeta beyaz çürüklüğü andırmaktadır. Asit ve baz kaynaklı gerçekleşen korozyon şiddetini asit ve baz tipi, konsantrasyon, pH, maruz kalma süresi ve

sıcaklık ile ağaç türü belirlemektedir. Tuzlar, havanın bağıl nemi ve ahşabın rutubetine bağlı olarak odunda birikmekte sulu çözeltileri az ya da çok kuvvetli asidik ve alkali özellik göstermekte böylece tahribat gerçekleşmektedir. Gazlar ise ortamın sıcaklığı, bağıl nemi ve odun rutubetinin artışına bağlı olarak odunda korozyon oluşturmaktadır. Ahşabın alkol, benzen, aseton gibi organik çözeltilere maruz kalması odunun şişmesi ve direnç düşüşlerinin görülmesine neden olmaktadır. Yaş haldeki ahşap elemanlara demir çivilerin çakılması ve demirle uzun süreli temas, demirin indirgenmesi sonucu selülozun bozunmasına uzanan süreçte ahşapta ilgili alanda renk değişikliği, gevrekleşme (Şekil 2), çivi tutma özelliğinde düşüş ve çekme direncinde kayıplara neden olmaktadır (Zabel ve Morrell, 1992; Unger vd., 2001; Schmidt, 2006).

Şekil 2

Yaş haldeki ahşap elemanlara çakılmış demir çivilerin neden olduğu renklenmeler ve bozunmalar



4) Mekanik eskime (kırılma, çatlama, eğilme, bükülme, yüzey aşınması vb.)

Merdiven basamakları, soğutma kulelerindeki ahşap elemanlar, fabrika zeminleri, ağır makinelerin çevresi ve demiryolu traverslerinde ray döşenmiş kısımlar, ahşap köprülerde sürtünme ve uygulanan kuvvet nedeniyle ağaç malzemede mekanik eskime gerçekleşir. Ayrıca sahil kesimleri ve çöl gibi alanlarda rüzgarla taşınan kum zerrelere nedeniyle ahşap elemanların yüzeyleri aşınmaya maruz kalmaktadır (Zabel ve Morrell, 1992).

Ahşabın Hizmet Ömrü

Ahşabın hizmet ömrü, ahşap bir yapı ve/veya onu oluşturan ahşap elemanların hizmete konduktan sonra performans gereksinimlerini karşılayabildiği zamana kadar geçen süreyi tanımlamaktadır. Bu gereksinimler ise fonksiyonellik, teknik ve estetik özellikler olarak verilmektedir. Tamamen ön görülemeyen kullanım yeri şartlarından dolayı hizmet süresi değişken bir değer olarak karşımıza çıkmaktadır (Reinprecht, 2016).

Günümüzde araştırmacılar, mühendisler, mimarlar ve tasarımcılar ahşabın hizmet ömrünün belirlenmesine yönelik artan bir ilgi göstermektedirler. Ahşabın hizmet ömrünü etkileyen faktörler;

Doğal dayanıklılık ve malzeme olarak ahşabın kalite özellikleri,

Ahşapta koruma önlemlerinin alınıp alınmadığı,

Tasarım seviyesi (tasarıma yönelik önlemler ile ahşabın su ve toprak ile temasının engellenmesi),

Yapılarda ahşap işlerinin uygulama kalitesi (su temasının engellenmesi, enine kesitlerin kapatılması vb.),

İç ve dış ortam şartları (sıcaklık, bağıl nem, fotodegradasyon, manyetik etkiler, güneş ışığı, mekanik yüklenmeler, radyasyon, termal ajanlar, korozyon, kimyasal etkiler vb.),

Biyotik faktörler (mantarlar, böcekler, bakteriler, deniz organizmaları vb.),

Ağaç türleri (hücre içi besin maddeleri, pH, odun rutubet miktarı, odun sıcaklığı,

İklim şartları (hava sıcaklığı, bağıl nem vb.),

Ahşaba uygulanan bakımın niteliği,

Diğer kullanım yeri şartları (vandallık, ahşabın kullanım sıklığı ve yoğunluğu vb.) olarak sıralanabilir (Reinprecht, 2016).

Ahşabın hizmet süresinin belirlenmesi veya tahmin edilmesinde faktöriyel metod yaklaşımı ile aşağıda verilen eşitlikten yararlanılabilmektedir:

$$THS = RHS * A * B * C * D * E * F * G$$

THS: Tahmini hizmet süresi (yıl)

RHS: Referans hizmet süresi (yıl) (Standart üretim ve kullanım şartları altında)

A, B, C, D, E, F, G: Faktörler

Eşitlikte geçen faktörler ise yukarıda sözü edilen hizmet ömrünü etkileyen faktörleri simgelemektedir:

A: Ahşap yapının komponentlerinin kalitesi (dayanıklılık, emprenye maddeleri vb.)

B: Tasarım seviyesi (tasarım ile koruma, çatı uzantıları vb.)

C: Ahşap işleri seviyesi (birleşim yerleri, boşluklar, enine kesitler vb.)

D: İç ortam (sıcaklık, bağıl nem, kondensasyon vb.)

E: Dış ortam (iklim, yağmur, gölge vb.)

F: Kullanım şartları (mekanik zararlar, insan zararları vb.)

G: Bakım seviyesi (revizyonlar, boya işleri vb.)

A – G faktörleri boyutsal olmayan faktörler olup, değerleri genellikle 0,8-1,2 arasında değişkenlik göstermektedir. Ancak bazı durumlarda (tasarımdaki hatalar veya mükemmel bakım şartları vb.) 0,5-3 arasında da değerler alabilmektedir (Reinprecht, 2016).

Böylece ahşabın hizmet ömrü tüm bu bileşenleri bir fonksiyonu olarak;

$$THS = f(RHS, A, B, C, D, E, F, G)$$

şeklinde de verilebilir.

Ancak daha da basitleştirilerek ahşabın hizmet ömrü "kullanım yeri (risk) sınıfları", "doğal dayanıklılık" ve "iklim indeks değeri"nin bir fonksiyonu olarak da belirtilebilir:

$$THS = f(Risk\ sınıfı; Dayanıklılık; İklim)$$

Tablo 1*Ahşap ve ahşap esaslı ürünler için kullanım sınıfları, kullanım yerleri şartları ve ilgili biyolojik organizmalar*

Kullanım sınıfı	Genel kullanım durumu	Renk ve küf mantarları	Odun çürüten mantarlar	Böcekler	Termitler	Deniz organizmaları
1	Bina içi, kuru	-	-	H	B	-
2	Bina içi veya üstü kapalı, açık havaya maruz kalmamış, su buharı yoğunlaşma olasılığı mevcut	H	H	H	B	-
3	Bina dışı, toprak üstü, açık havaya maruz kalmış 3.1 sınırlı ıslanma şartları 3.2 uzun süreli ıslanma şartları	H	H	H	B	-
4	Bina dışı, toprak teması ve/veya tatlı su teması	H	H	H	B	-
5	Sürekli veya düzenli olarak tuzlu suda olma durumu	H*	H*	H*	B*	H

H: Avrupa ve Avrupa Birliği sınırlarında her yerde mevcut B: Avrupa ve Avrupa Birliği sınırlarında bölgesel olarak mevcut

*: Bazı ahşap elemanların su üstünde kalan kısımları tablodaki biyolojik organizmaların etkisinde kalabilir

Açıklama notu. BS EN 335-1. 2013. Durability of wood and wood-based products - Use classes: definitions, application to solid wood and wood-based products kaynağından uyarlanmıştır.

Bu basitleştirilmiş fonksiyonun bileşenleri ise aşağıda açıklanmıştır:

Kullanım Yeri (Risk) Sınıfları

BS EN 335-1 (2013) standardı ahşabın maruz kaldığı farklı hizmet şartlarını tanımlayan 5 kullanım yeri (risk) sınıfı belirlemiştir. Bu standart ayrıca her bir sınıf için biyolojik zararlıları da belirtmektedir (Tablo 1).

Kullanım veya risk sınıfları, ahşabın hizmet şartlarında doğal olarak kullanıldığında karşılaşacağı biyolojik riskleri ve rutubet durumlarını açıklamaktadır. Buna göre 1 ile 5 arasında 5 farklı kullanım sınıfı tanımlanmış ve bu sınıflarda ahşabın sahip olacağı rutubet durumları ve bu sınıflarda ahşaba zarar verebilecek biyolojik organizmalar açıklanmıştır.

Bu tabloya göre (Tablo 1), tüm coğrafik bölgelerdeki kullanım yeri koşullarında var olmayan veya ekonomik olarak önemsiz olan biyolojik organizmalar için tüm biyotik faktörlere karşı ahşapta koruma önlemleri almak gereksiz olabilir. Eğer, kullanım yeri şartlarında ahşabın beklenmedik ıslanma riski var ise (tasarım hataları, uygun olmayan ahşap işçiliği, yetersiz bakım, niteliksiz müdahale vb. nedenlerden dolayı), bu durumda da o ahşap için daha yüksek bir risk sınıfı değerlendirilebilir.

Doğal Dayanıklılık

Doğal dayanıklılık ahşabın odunu tahrip eden organizmalar karşı kendine özgü direnci olarak tanımlanmaktadır ve bu tanım yapılırken sadece öz odun esas alınmakta, diri odun dayanıksız olarak sınıflandırılmaktadır (BS EN 350, 2016). Ağaç türleri odun yapısını zararlı organizmalara karşı koruyabilmek için "ekstraktif maddeler" olarak adlandırılan bileşikler üretmekte ve bu bileşikler tüm ağaç türlerinde çürüklüğe karşı dayanıklılıkta esas kaynak olarak kabul edilmektedir. Ağacın öze yakın diri odun tabakasındaki yaşayan öz ışınları öldükçe bu tür bileşikler üretilir ve bu da cansız öz odunu oluşumuna yol açar. Diri odun tüm ağaç türü odunlarında dayanıksız olarak nitelendirilir. Bazı ağaç türü odunlarında öz odun tabakası belirgin bir daha koyu renge sahipken, diğerleri öz

ve diri odun rengi bakımından çok az farklılık gösterirler. Böylelikle, çürümeye karşı dayanıklılık, ağaç türleri arasında değiştiği gibi, aynı ağaç türleri arasında ve bir ağaç içerisinde de değişiklik gösterebilir (Scheffer ve Morrell, 1998).

Tablo 2'de BS EN 350 (2016) standardına göre odunun doğal dayanıklılık sınıfları çeşitli zararlı biyolojik organizmalar esas alınarak verilmektedir:

Tablo 2*Biyotik faktörlere göre ahşabın dayanıklılık sınıfları.*

Odun Çürüten Mantarlara Karşı Dayanıklılık Sınıfı	Tanım
DC 1	Çok Dayanıklı
DC 2	Dayanıklı
DC 3	Orta Derecede Dayanıklı
DC 4	Az Dayanıklı
DC 5	Dayanıksız
<i>Hylotrupes bajulus, Anobium punctatum, Lyctus brunneus ve Trichoferus holosericeus. Rossi (= Trichoferus holosericeus cinereus) Böceklerine Karşı Dayanıklılık Sınıfı</i>	Tanım
DC D	Dayanıklı
DC S	Dayanıksız
Termitlere Karşı Dayanıklılık Sınıfı	Tanım
DC D	Dayanıklı
DC M	Orta Derecede Dayanıklı
DC S	Dayanıksız
Deniz Organizmalarına Karşı Dayanıklılık Sınıfı	Tanım
DC D	Dayanıklı
DC M	Orta Derecede Dayanıklı
DC S	Dayanıksız

Tablo 3

Bazı yerli ve egzotik ağaç türü odunlarının dayanıklılık sınıfları

Doğal Dayanıklılık Sınıfı	Tanım	İğne Yapraklı Ağaçlar	Geniş Yapraklı Ağaçlar	Egzotik Ağaçlar
1	Çok Dayanıklı	-	-	Afrosmosia, Afzelia, Angelique, Azobe, Greenheart, Iroko, Iron bark,i Jarrah, Kapur, Makore, Mansonia, Muhuhu,Opepe, Paduk, Pyinkado, Pelesenk, Teak, Rhodesian Teak
2	Dayanıklı	Ardıç, Sedir, Porsuk	Ak meşe, Kestane	Agba, Dahoma, Framire, Guarea, Idigbo, Karri, Kempas, Kotibe, Manun, Niangon, Utile
3	Orta Derecede Dayanıklı	Douglas göknarı, Melez, Servi	Ceviz	Agathis, Afrika mahunu, Anisoptera, Ayan, Coigue, Dibetou, Keruing, Kosipo, Dark meranti, Okwen, Sapele, Seraya, Tiama
4	Az Dayanıklı	Çam, Gökna, Ladin	Karaağaç, Kırmızı meşe, Dut	Radiata çamı, Abura, Afara, Avodire, Hickory, Mengkulang, Obeche, Okume, Sterculia, Tchitola
5	Dayanıksız	-	Kayın, Akçaağaç, Kavak, Huş, Ihlamur, Dişbudak, Söğüt, Atkestanesi, Gürgen, Kızılağaç	Balsa, Bombax, Ceiba, Ilomba, Ramin

Açıklama notu. Bozkurt, A.Y., Göker, Y., Erdin, N. 1993. Emprenye Tekniği. İÜ Yayın No: 3779, OF Yayın No: 425. 429 s kaynağından alınmıştır.

Açıklama notu. BS EN 350. 2016. Durability of wood and wood-based products. Testing and classification of the durability to biological agents of wood and wood-based materials kaynağından uyarlanmıştır.

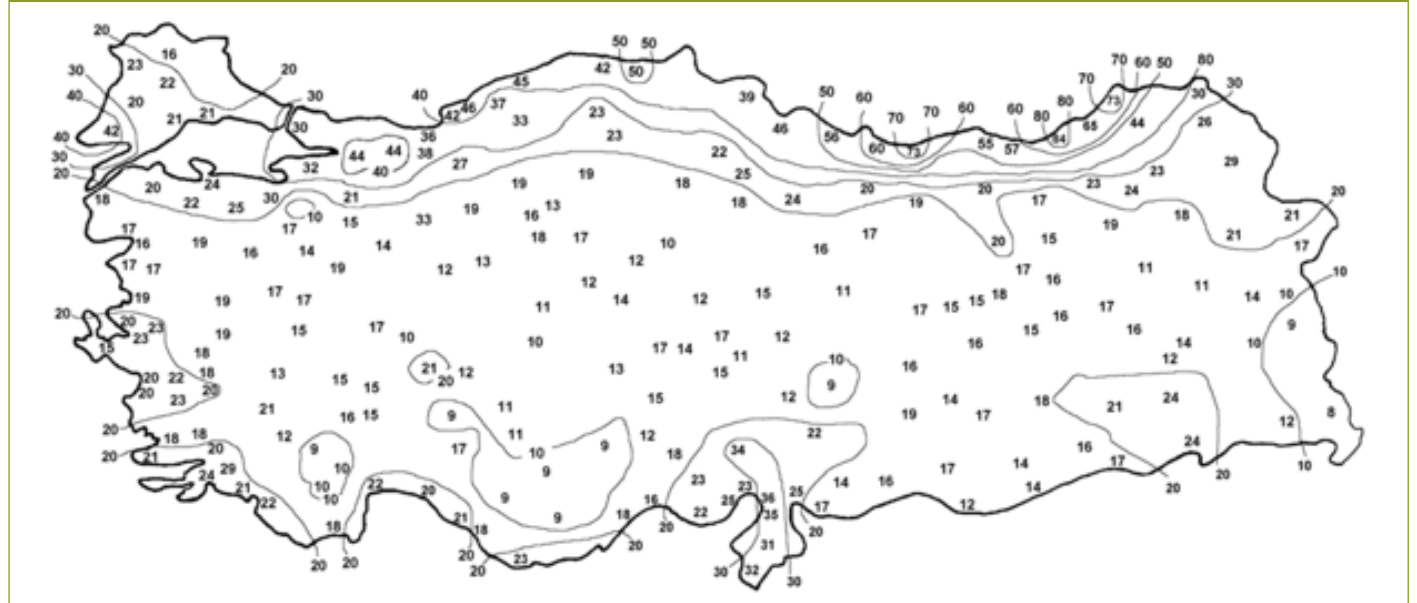
Tablo 3’de ise bazı yerli ve egzotik ağaç türü odunlarının ait oldukları dayanıklılık sınıfları verilmektedir.

Tablo 3’de yer alan doğal dayanıklılık sınıflandırması odunu çürüten mantarlar esas alınarak oluşturulmuştur. Mantarlara karşı yapılan çeşitli laboratuvar ve arazi testlerinden elde edilen sonuçlara göre ağaç türü odunları sınıflandırılmıştır. Böcekler dikkate alındığında ise ekstraktif maddelerden yoksun ve nişasta gibi

besin maddelerince zengin ağaç türlerinden hazırlanan diri odun içeren ahşabın böceklerle karşı hassas oldukları bilinmektedir. Farklı ağaç türlerinin öz odunları da böceklerle karşı hassasiyet açısından farklılıklar göstermekle birlikte termitler birçok ağacın öz odununa da atak yapabilmektedir. Deniz organizmaları açısından bakıldığında doğal dayanıklı ağaç türü odunlarının öz odunlarının da tamamen dirençli olmadıkları görülmektedir. Deniz suyu şartları, organizma çeşitliliği vb. nedenlerden dolayı deniz organizmalarına karşı ağaç türlerinin sınıflandırılması oldukça güç olmaktadır [Bozkurt vd., 1993; Köse ve Taylor, 2012].

Şekil 3

Türkiye iklim indeks değerleri haritası



Açıklama notu. Gündüz, G. 2007. Ahşap korumada rutubet izoterm eğrileri haritası: Türkiye örneği. ZKÜ Bartın Orman Fakültesi Dergisi 9 (1): 26-33 kaynağından alınmıştır.

İklim İndeks Değeri

Odunu bozan organizmalar ahşabı degrade edebilmeleri için belirli iklim şartlarına gereksinim duyarlar. Böylelikle, ahşabın kullanıldığı coğrafik bölgenin iklim şartları (sıcaklık, bağıl nem, yağış miktarı vb.) ve dış ortamda kullanılan ahşabın hizmet süresi arasında sıkı bir ilişki bulunmaktadır. Çoğu odun çürüten mantar türü daha yüksek ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerlerinde odunu daha hızlı tahrip ederler. Bu bilgi ışığında Scheffer (1971) iklim indeks değeri adı verilen bir kriteri ortaya koyarak toprak üstü şartlarda odunun kullanım durumlarında çürüklük riskini hesap etmiştir:

$$SII = \sum_{Ocak}^{Aralık} [(T - 2)(D - 3)]/16,7$$

Bu eşitlikte;

SII: Scheffer iklim indeksi

T: Bir aydaki günlük ortalama sıcaklık (°C)

D: O aya ait 0,03 mm'den fazla yağışlı gün sayısını göstermektedir.

İklim indeks değerine göre çürüme riski sınıflandırması ise;

SII < 35: Düşük çürüklük riski

SII = 35-65 arası: Orta derecede çürüklük riski

SII > 35: Yüksek çürüklük riski

şeklinde yapılmaktadır.

Gündüz (2007)'de Türkiye'nin 256 bölgesinde ölçümler yaparak detaylı bir iklim indeks değer haritası çıkarılmıştır (Şekil 3).

Bu sonuçlara göre, Doğu Karadeniz Bölgesi çürüklük riskinin en fazla olabileceği bölgeler olarak belirlenmiştir. Karadeniz kıyısının diğer bölümlerinde de risk faktörleri bulunmaktadır. Ayrıca, Marmara Bölgesi ve çevresi orta derecede risk taşıyan bölgeler arasında görülmektedir. Çürüklük riskinin Türkiye'de çok lokal olarak da görüldüğü alanlar bulunmaktadır. Buna örnek olarak yüksek dağ etekleri verilebilir (Uludağ). Orta Anadolu Platosu ve Güneydoğu bölgeleri ise az risk taşıyan bölgeler sınıfına girmektedir (Gündüz, 2007).

Odunda Görülen Çürüklükler

Çürüme, mantarlar ve bakterilerin etkisi ile organik maddelerin bozulması ve ayrışması olarak ifade edilmektedir (TÜBA, 2019). Odun çürüklükleri mikroorganizmaların odunda besin olarak tüketmedikleri veya çürüklük sürecine bağlı olarak daha az kullandıkları geriye kalan odun bileşenlerinin rengi ve bu tahribat nedeniyle oluşan odun görünüşü esas alınarak gruplandırılmıştır. Bu çerçevede yumuşak çürüklüğün bulunmasına (1954) kadar Basidiomycetes sınıfı mantarların oluşturduğu esmer ve beyaz çürüklük gerçek odun çürüklükleri olarak görülmüştür. Renkleri yanında o dönemde bilinen kimyasal etkiler sonucunda oluşan görünüşlerine göre esmer çürüklük, destrüksiyon çürüklüğü (Şekil 5), beyaz

çürüklük ise korozyon çürüklüğü (Şekil 6) olarak da anılmıştır. *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. mantarının etkisi sonucu çürüklüğün ilk evrelerinde oluşan renk nedeniyle adlandırılan kırmızı çürüklük (Şekil 9), tüm süreç ve etki mekanizmasının anlaşılması sonrasında günümüzde beyaz çürüklük olarak ifade edilmektedir. Bir evresini beyaz çürüklüğün oluşturduğu yaygın olarak kullanılan ardaklanma (Şekil 11) terimi ise ülkemizde zamam zaman çürüklükle eş anlamlı olarak kullanılabilmektedir. Benzer şekilde mavi renklenme (Şekil 14) yerine mavi çürüklük teriminin yanlış olarak kullanıldığına rastlanmaktadır. *Serpula lacrymans* (Wulfen) P.Karst.'ın (kuru çürüklük mantarı) %18-20 odun rutubeti seviyesinin altında etki gösterebildiği bilgisine dayanarak başka bir ifadeyle mantarların rutubet istekleri esas alınarak yapılan sınıflandırmada kuru çürüklük ve ıslak çürüklük terimlerinin kullanılageldiği görülmektedir. Son yıllarda özellikle genom dizilimi esas alınarak yapılan çalışmalar ile tek bir mantarın farklı çürüklük özellikleri gösterdiğine ilişkin sonuçlar (Floudas vd., 2015), odun çürüklüklerinde yeni sınıflandırma yaklaşımlarına ihtiyaç olduğunu göstermektedir.

Odun çürüklükleri, dikili ağaçlarda önemli kayıplar oluşabilmektedir. Bir ağacın kesilmesi sonrasında ise canlı hücrelerin bir süre sonra ölmesi ile ağacın aktif savunma sisteminin çalışmaması ve kabuğun da koruyucu özelliğini kaybetmesi nedeniyle uzun gövde odunları mikroorganizmalara karşı hassas hale gelmektedir. Ayrıca kesim öncesi gövdeye arız olmuş bazı mantarlar kesimden sonraki depolama koşullarında faaliyetlerine çürükçül olarak da devam edebilmektedir. Kesimden sonra uzun gövde odunları hızlı bir şekilde rutubet kaybetmekte ve mikroorganizmalar için enerji açısından zengin ekolojik koşullar sağlamaktadır. Sıcak iklimlerde, ılıman ve tropik kuşaklarda uzun gövde odunlarının depolama ve işlenme süreçlerinde birkaç gün ile birkaç hafta gibi çok kısa süre içerisinde renk değişikliği yapan mantarların, birkaç ay içerisinde ise esmer ve beyaz çürüklük mantarlarının etkisi görülmektedir. Açıklanan bu süreçlerde odun çürüklükleri sonucunda ciddi kayıplar görülmeye karşın mantarlar en büyük ekonomik kaybı ahşap yapılar başta olmak üzere işlenmiş, hizmet veren ahşap ürünlerde oluşturmaktadır (Rayner ve Boddy, 1988; Zabel ve Morrell, 1992; Kantay ve Köse, 2009; Kavanagh, 2014).

Günümüz ahşap yapı ve elemanlarında oluşan çürüklükler yanı sıra tarihi değere sahip ahşaplarda özellikle niteliksiz müdahale başta olmak üzere yanlış restorasyon uygulamaları sonucu oluşan çürüklükler (Uzun, vd., 2018) ile arkeolojik ahşap objelerde görülen mikrobiyolojik bozunmalar çürüklüklerin görüldüğü diğer alanları oluşturmaktadır (Blanchette vd., 1990; Blanchette 2000; Köse vd., 2013; Köse ve Taylor, 2013).

Odunda mikroorganizmaların etkisi sonucu hücre çeperinde erozyon ve/veya 2 µm'den büyük oyuklar oluşması ile sonuçlanan etkiler çürüklük olarak ifade edilmektedir (Tablo 4). Renk ve küf mantarlarının etkisi sonucu ise hücre çeperinde erozyon gerçekleşmemekte, sadece bazı durumlarda çeperde 1 µm'den küçük oyuklar oluşmaktadır. (Zabel ve Morrell, 1992).

Tablo 4

Odunda çürümeye neden olan mikroorganizmalar ve etki mekanizmaları

Mikrobiyolojik bozunma etkeni ve tipi	Hücre çeper bileşenlerinin kullanımı	Tahribat şekli, anatomik özellikler ve çürüklük sonucu odunun görünüşü	
MANTARLAR Esmer çürüklük (Basidiomycetes, çoğunluğu Polyporace)	Özellikle iğne yapraklı ağaç odunlarına arız olurlar. Karbonhidratlar tüketilir. Lignin bozunmadan kalır ancak yapısı değişikliğe uğrar.	Hücre çeperindeki selüloz ve hemiselülozun lümeninden başlayarak süratle ilerleyen depolimerizasyonu.	Kırımsımsı kahverenkli, enine ve boyuna yönde küp şeklinde çatlaklı (odun kömürünü andıran) ve gevrek yapı.
Beyaz çürüklük (Basidiomycetes ve Ascomycetes)	Tip I: Genellikle geniş yapraklı ağaç odunlarına, nadir olarak iğne yapraklı ağaç odunlarına arız olurlar. Tüm hücre çeper bileşenleri tüketilir, ancak çürüklüğün başlangıcında hemiselüloz ve lignin öncelikle seçilip kullanılır. Tip II: Geniş yapraklı ve iğne yapraklı ağaç odunlarına arız olurlar. Tüm hücre çeper bileşenleri eşzamanlı olarak tüketilir.	Tüm hücre çeper tabakalarında lümeninden başlayarak erozyon şeklinde ilerleyen, tüm bileşenlerin tüketilmesiyle sonuçlanan tahribat.	Sağlam görünen odun dokusu içinde birbirinden ayrı küçük iğ şeklinde içi beyaz dokularla dolu boşluklar. Ağarmış, yumuşak, süngerimsi lifli yapı.
Yumuşak çürüklük (Ascomycetes ve Deuteromycetes)	Karbonhidratlar tahrip edilir. Lignin çürüklüğün ilk evrelerinde bozunmadan kalır.	Tip 1: Genellikle iğne yapraklı ağaç odunlarında sekonder çeperde boyuna yönde oluşan oyuklarla karakterize edilen tahribat (Kavitasyon bakterileriyle benzer etki). Tip 2: Genellikle geniş yapraklı ağaç odunlarında tüm hücre çeper tabakalarının erozyonu ile karakterize edilen tahribat (Erozyon bakterileriyle benzer etki).	Malzeme ıslakken, mat kahverengi, mavi-gri veya siyaha yakın renkli yüzey, tırnakla bastırılabilir halde yumuşak, ağaç malzeme kuru olduğunda ise sert, esmer çürüklüğe göre daha ince ve sıg enine boyuna çatlaklı görünüş.

Açıklama notu. Zabel, R.A., Morrell, J.J., 1992; Unger vd., 2002; Blanchette, 2000; Schwarze vd., 2000 kaynaklarından uyarlanmıştır.

Tablo 4*Odunda çürümeye neden olan mikroorganizmalar ve etki mekanizmaları*

Mikrobiyolojik bozunma etkeni ve tipi	Hücre çeper bileşenlerinin kullanımı	Tahribat şekli, anatomik özellikler ve çürüklük sonucu odunun görünüşü	
BAKTERİLER Erozyon bakterileri	Karbonhidratlar tahrip edilir. Ligninin yapısında değişiklik olup olmadığı bilinmemektedir.	Erozyonla birlikte çok miktarda hücre çeper kalıntısı görülür.	Suya doymuş ağaç malzemednin görünüş özellikleri.
Tünel bakterileri	Karbonhidratlar ve biraz lignin tahrip edilir.	Sekonder çeper ve orta lamelde küçük tüneller oluşur.	Suya doymuş ağaç malzemednin görünüş özellikleri.
Kaviteasyon (oyuk açan) bakterileri	Karbonhidratlar tahrip edilir. Ligninin yapısında değişiklik olup olmadığı bilinmemektedir.	Sekonder çeperde oyuklar oluşur. Hücre çeper kalıntıları görülür.	Suya doymuş ağaç malzemednin görünüş özellikleri.

Kare şekli iğne yapraklı ağaç traheidlerini, beşgen şekli geniş yapraklı ağaç liflerini temsil etmektedir.

Açıklama notu. Zabel, R.A., Morrell, J.J., 1992; Unger vd., 2002; Blanchette, 2000; Schwarze vd., 2000 kaynaklarından uyarlanmıştır.

Mantarın Neden Olduğu Çürüklükler

Esmer Çürüklük

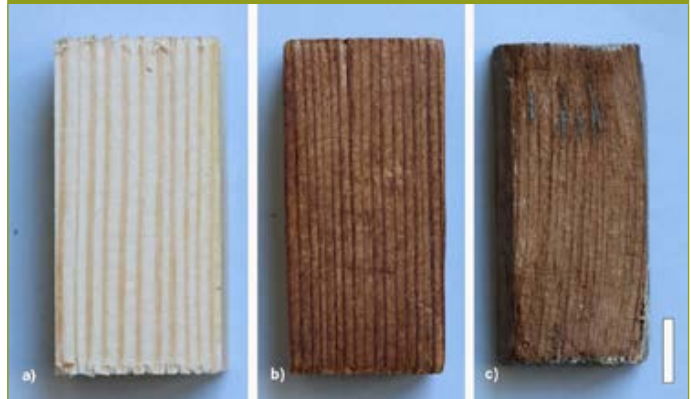
Esmer çürüklük, Basidiomycetes sınıfının %10'undan daha azını temsil eden, çoğunluğu Polyporales, Boletales, Gloeophyllales ve Dacrymycetales takımı üyesi mantarlar tarafından oluşturulmaktadır (Sümer, 2006; Arantes ve Goodell, 2014; Pournou, 2020; Sesli, 2022). Esmer çürüklük mantarları doğada genellikle iğne yapraklı ağaç odunlarında çürüklük oluştururlar. Lignoselüloz tahribatçısı bu grup meydana gelen kayıp ve tamirat maliyetleri nedeniyle Kuzey Yarım Küre'de ekonomik öneme sahip mantarlar olarak ön plana çıkmaktadır. Enzimatik ve enzimatik olmayan mekanizmaları ile odunun ana bileşenlerinden karbonhidratları (selüloz ve hemiselülozlar) tahrip etmektedirler. Tahribat sırasında lignin yapısının değişikliğe uğratılmasına karşın tüketilmediği genel kabul gören görüştür (Zabel ve Morrell, 1992; Eaton ve Hale, 1993; Fengel ve Wegener, 1989; Schmidt, 2006; Pournou, 2020). Ancak son yıllarda yapılan çalışmalar esmer çürüklük mantarlarının daha önce düşünülenenden çok daha büyük bir ligninolitik yeteneğe sahip olduğunu göstermektedir. Bu etkinin düşük moleküler ağırlıklı etkenler ve lignin tahribatına neden olan enzimlerin belirli bir alanla sınırlı aktiviteleriyle meydana geldiği düşünülmektedir (Arantes ve Goodell, 2014; Köse, 2006; Köse ve Kartal, 2010).

Esmer çürüklük mantarları öncelikle radyal yönde uzanan öz ışınlarına daha sonra boyuna hücrelere (traheidlere ve liflere) nüfuz

ederek ilk olarak paranzim hücrelerindeki basit şekerleri hazır enerji kaynağı olarak kullanırlar. Esmer çürüklük mantarlarının, hüflerden (hiflerden) salınan düşük moleküler ağırlığa sahip ajanlar ve/veya selüloolitik enzimlerin çürüklüğün son aşamasına

Şekil 4

Esmer çürüklük sonucu farklı ağırlık kayıplarında odunda oluşan daralma (Sırasıyla: a) sağlam odun, b) *Neolentinus lepideus* (%14 ağırlık kaybı), c) *Rhodonía (Postia) placenta* (%41 ağırlık kaybı) (Ölçek: a,b,c 1 cm)



Açıklama notu. Köse, C. 2000. Esmer Çürüklük Mantarlarının (Basidiomycetes) Odunun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. 113 s kaynağından uyarlanmıştır.

kadar bozunmadan kalabilen S3 tabakasını geçerek lümen yüzeyinin altındaki S2 tabakasına ulaşması ve bu tabakanın tamamen bozunmasına neden olan bir hücre dışı tahribat sistemine sahip olduğu varsayılmaktadır. Bu şekilde tahribat, yumuşak ve beyaz çürüklerde hüflerinin etrafıyla sınırlı gerçekleşen erozyondan farklı bir yapı göstermektedir. Tahribat karbonhidat içeriğince zengin S2'ye göre yüksek lignin içeriğine sahip olmasıyla daha dayanıklı S1 ve S3 tabakasının ve en sonunda çok daha yüksek lignin içeriğine sahip orta lamelin bozunmasıyla sonuçlanmaktadır [Zabel ve Morrell, 1992; Eaton ve Hale, 1993; Schmidt, 2006; Pournou, 2020].

Esmer çürüklüğün erken evrelerinde karbonhidratlar hızla depolimerize olur. Bağlı lignin miktarı hemiselüloz ve selülozun bozunmasına paralel olarak artar, mutlak lignin içeriği bir miktar azalır [Zabel ve Morrell, 1992; Eaton ve Hale, 1993; Schmidt, 2006]. Çürüklüğün ilk evrelerinde hızlı karbonhidrat depolimerizasyonu nedeniyle odunun su ve %1'lik NaOH çözünürlüğünde, ileri evrelerinde ise lignin çözünürlüğünde artış görülür [Schmidt, 2006; Köse, 2006]. Hızlı selüloz depolimerizasyonu nedeniyle daralan (Şekil 4) (bazı durumlarda %30'dan fazla) ahşap kütlesi enine ve boyuna yönde küp şeklinde çatlaklı görünüme sahip olur. Bu görünüşü nedeniyle esmer çürüklük, kahverengi kübik çürüklük olarak da anılmaktadır. Tahribat sonucu geriye kalan modifiye ligninin vermiş olduğu kırmızımsı kahverengi, odun kömürünü andıran (Şekil 5) ve kuruyken parmaklar arasında kolayca dağılabilen gevrek bir yapıya sahip olmasıyla beyaz çürüklükten makroskopik olarak ayrılır. Tahribat sonucu oluşan bu yapısı destrüksiyon çürüklüğü olarak adlandırılmasına neden olmuştur. Esmer çürüklüğün ileri evrelerinde maksimum %60-70 ağırlık kaybı oluşmaktadır. Bazı esmer çürüklük mantarlarının bazen çürümenin başlangıç aşamalarında daha küçük alanlar halinde veya sağlam odun dokusuyla çevrili çürüme cepleri oluşturdukları görülmektedir [Zabel ve Morrell, 1992; Eaton ve Hale, 1993; Bozkurt vd., 1995; Schmidt, 2006; Pournou, 2020].

Şekil 5
Esmer çürüklüğün makroskopik görünüşü (Ölçek: a, b 3 cm)



Esmer çürüklük mantarlarının etkisi sonucu odunun ağırlığı, hacmi, yoğunluğu azalmakta, direnç ve sertlik değerlerinde ciddi kayıplar meydana gelmektedir. Gözle görülür çürüklük belirtilerinin olmadığı esmer çürüklüğün ilk aşamalarında oluşan çok düşük ağırlık kayıplarında hızlı ve yoğun selüloz depolimerizasyonu gerçekleşmektedir. Bu durum odunun metabolize edilme hızına göre çok daha yüksek direnç kayıplarının oluşmasına, dolayısıyla ahşap elemanlarda beklenmeyen hasarların meydana gelmesine neden olmaktadır. Ayrıca çürüklüğün ilk evrelerinde gerçekleşen hemiselüloz tahribatı da direnç kayıplarıyla ilişkilidir. Çürüklüğün ileri evrelerinde ise odun neredeyse ligninden ibaret bir yapıya kavuşmaktadır. [Zabel ve Morrell, 1992; Eaton ve Hale, 1993; Köse, 2000; Erdin, 2009]. Esmer çürüklüğün başlangıç evrelerinde odunda

ciddi eğilme direnci kayıpları (%70'e varan) gerçekleşmektedir. *Serpula lacrymans* etkisinde bırakılmış odun örneklerinde %5'in altında gerçekleşen ağırlık kayıplarında %20'yi aşan, %10 ağırlık kaybı üzerinde ise %60'ı aşan eğilme direnci kayıpları [Köse, 2008], %45 basınç direnci kayıpları [Schmidt, 2006] belirlenmiştir. *Gloeophyllum trabeum* (Pers.) Murrill etkisinde kalmış ahşap örneklerde ağırlık kaybı meydana gelmediği ilk evrede bile %40 [Arantes ve Goodell, 2014], *Gloeophyllum trabeum*, *Rhodonina (Postia) placenta* (Fr.) Niemelä, K.H.Larss. & Schigel ve *Fomitopsis (Tyromyces) palustris* (Berk. & M.A.Curtis) Gilb. & Ryvarden etkisinde bırakılmış odun örneklerinde ise %10'un altında gerçekleşen ağırlık kayıplarında %30'un üzerinde eğilme direnci kayıpları görülmüştür [Köse, 2006].

Beyaz Çürüklük

Beyaz çürüklük lignoselülozu tahrip etme yeteneğine sahip Basidiomycetes (Basidiomycota şubesi) ve nadiren Ascomycetes (Ascomycota şubesi) sınıfı mantarlar tarafından çoğunlukla geniş yapraklı ağaç odunlarında oluşturulmaktadır. Basidiomycetes sınıfı beyaz çürüklük mantarlarının lignoselülozlardaki polisakaritlerle birlikte lignini de biyolojik olarak mineralize etme kapasiteleri bulunmaktadır. Aerobik koşullarda, mantarların hiçbir taksonomik grubunda görülmeyen bu mekanizma beyaz çürüklük mantarlarını benzersiz kılmaktadır. Beyaz çürüklük mantarlarının esas olarak iki farklı mekanizma ile odunu tahrip ettikleri mikroskobik incelemelerle belirlenmiştir. Bu fark hücre çeper bileşenleri selüloz, hemiselüloz ve ligninin tahrip edilme önceliğinden kaynaklanmaktadır. Bu iki morfolojik bozunma tipi eşzamanlı beyaz çürüklük ve seçici (tercihli) beyaz çürüklük olarak ifade edilmektedir. Ascomycetes sınıfı (*Xylaria*, *Hypoxylon*, *Ustulina* ve *Daldinia* cinsleri gibi) mantarların oluşturduğu farklı bir morfolojik beyaz çürüklükte ise odun hücrelerinde orta lamel bölgeleri tahribat sonrası bozunmadan kalmaktadır [Zabel ve Morrell, 1992; Eaton ve Hale, 1993; Schmidt, 2006; Daniel, 2014; Pournou, 2020].

Beyaz çürüklük mantarları da diğer çürüklüklerde olduğu gibi hem odun dokularına kolaca ulaşarak hüfler kolonizasyonu oluşturmaları, hem de paranzim hücrelerindeki hazır besin maddelerini tüketmeleri için öz ışınlarını kullanırlar. Burada yerleşip güçlenen hüfler tahribat sürecinde basit ve kenarlı geçitleri kullanarak, odun hücre çeperinde delik açmak için özelleşmiş hüfler vasıtasıyla hücreden hücreye geçerek lümenlerde gelişirler. Ayrıca, lignin ve hemiselülozların önce tüketildiği beyaz çürüklükte tipine özel olarak odun hücre çeperinin orta lamelinde gelişen hüfler görülmektedir. Beyaz çürüklükte hücre lümenlerinde esmer çürüklüğe göre çok daha fazla hüfler görülmektedir. Geniş yapraklı ve iğne yapraklı ağaç odunlarına beyaz çürüklük mantarlarının oduna nüfuz edip kolonileşmesi esas olarak benzerlik göstermekle birlikte, hüfler geniş yapraklı ağaçlarda traheler, iğne yapraklı ağaçlarda ise boyuna traheidler ve reçine kanalları vasıtasıyla boyuna yönde yayılırlar [Daniel, 2014; Pournou, 2020].

Tüm çeper bileşenlerinin (karbonhidratlar ve lignin) çürüklüğün tüm evrelerinde aynı anda ve benzer bir oranda neredeyse eşit olarak tahrip edildiği mekanizmaya sahip morfolojik tahribat tipine eşzamanlı beyaz çürüklük (korozyon çürüklüğü) denilmektedir (Şekil 6). Eşzamanlı beyaz çürüklük genellikle dikili haldeki ağaçlar ile depolardaki geniş yapraklı ağaç odunlarında görülmektedir. Eşzamanlı beyaz çürüklük etmenlerine *Fomes fomentarius*

(L.) Fr., *Phanerodontia* (*Phanerochaete*) *chrysosporium* (Burds.) Hjortstam & Ryvariden, *Phlebia radiata* Fr., *Phellinus igniarius* (L.) Quél., *Phellinus robustus* (P. Karst.) Bourdot & Galzin, *Trametes versicolor* (L.) Lloyd mantarları örnek olarak verilebilir (Schmidt, 2006; Daniel, 2014; Pournou, 2020).

Şekil 6

Eşzamanlı beyaz çürüklüğün makroskopik görünüşü (Ölçek: a,b,c 1 cm)

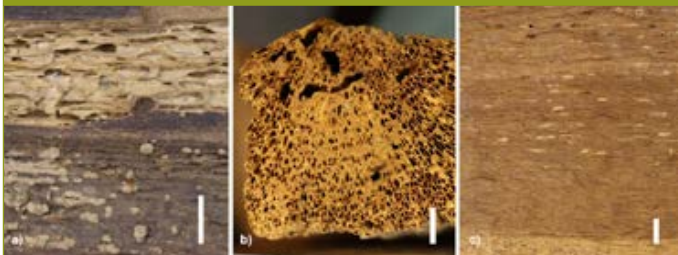


Eşzamanlı beyaz çürükte, hüflerin çepere tutunduğu çok yakın alanlarda, adeta bir nehrin zemini aşındırmasına benzer şekilde lümen tarafı geniş çeperin içerisine doğru giderek daralan oluklar şeklinde erime zonları oluşmaktadır (Schmidt, 2006). Bu alanların derinleşip birleşmesiyle, tahribat lümeninden orta lamelle doğru ilerlemektedir. Tüm hücre çeper tabakaları kademeli olarak tahrip edilerek kalınlıkları azalmaktadır. Orta lamelin hücre köşeleri tüm yapının neredeyse tamamen kaybolduğu çok ileri çürüme aşamalarında bile en büyük dayanıklılığı gösteren kısmı oluşturmaktadır (Daniel, 2014; Pournou, 2020).

Çürüklüğün ilk evrelerinde lignin ve hemiselülozların öncelikli olarak tüketildiği morfolojik tahribat tipi seçici beyaz çürüklük olarak isimlendirilmiştir. *Phellinus pini* (Brot.) Bondartsev & Singer ve *H. annosum*'un iğne yapraklı ağaçlarda oluşturduğu beyaz delikli çürüklük yanında *Ceriporiopsis subvermisporea* (Pilát) Gilb. & Ryvariden, *Dichomitus squalens* (P. Karst.) D.A. Reid, *Inonotus*

Şekil 7

Meşe odununda *Xylobolus frustulatus* tarafından oluşturulan keklik çürüklüğün makroskopik görünüşü (Ölçek: a,b,c 1 cm)

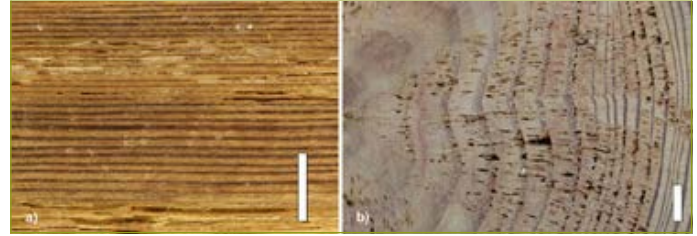


dryophilus (Berk.) Murrill ve *Phlebia tremellosa* (Schrad.) Nakasone & Burds. mantarları tarafından oluşturulan çürüklükler, *Xylobolus frustulatus* (Pers.) Boidin tarafından dikili ve devrilmiş meşelerde görülen keklik çürüklüğü (Şekil 7) en belirgin örnekleri oluşturmaktadır.

Dikili iğne yapraklı ağaçların öz odununda *P. pini* (Şekil 8) ve *H. annosum* (Şekil 9) tarafından oluşturulan çürüklükte sağlam görünen odun dokusu içinde küçük iğ şeklinde birbirinden ayrı boşluklar oluşturarak uzanan içerisi pamuğumsu beyaz maddelerle dolu oyuklar görülmektedir. Bu görünüşünden dolayı beyaz delikli çürüklük olarak adlandırılmaktadır. Bu görüntü lignin ve hemiselülozların seçilerek öncelikle tüketilmesini ve bu aşamada modifiye selülozun tamamına yakınının korunmasını işaret etmektedir. Çürüklüğün ileri evrelerinde ise lignince zengin birleşik orta lamelin tahrip edilmesiyle odun lifli bir dokuya dönüşmektedir (Boyce, 1948; Zabel ve Morrell, 1992; Eaton ve Hale, 1993; Schmidt, 2006; Daniel, 2014; Pournou, 2020).

Şekil 8

a) *Phellinus pini* tarafından çam odununda oluşturulan beyaz delikli çürüklük ve b) halka çatlağı oluşumunun makroskopik görünüşü (Ölçek: a,b 1 cm)



Şekil 9

Heterobasidion annosum tarafından *Pinus strobus* L. (a,b), *Abies nordmanniana* (Steven) Spach (c) odunlarında oluşturulan beyaz delikli çürüklüğün makroskopik görünüşü (Ölçek: c 1 cm)

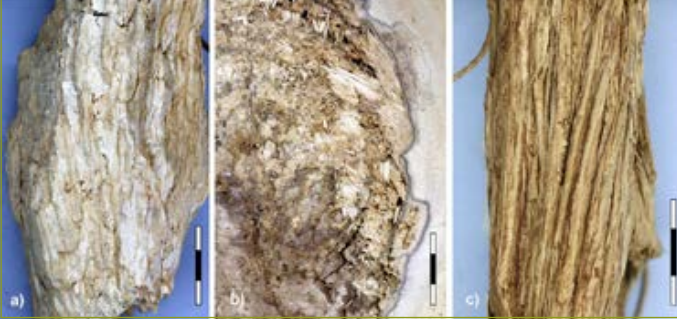


Seçici beyaz çürüklükte hücre lümeninde yer alan hüflerin temas ettiği S3 ve altındaki S2 tabakalarında ilk olarak gerçekleşen lignin tüketimi aşamalı olarak S2 ve S1 tabakalarının tüm kısımlarını kapsayacak şekilde ilerlemektedir. Lignince zengin orta lamelin ortadan kaldırılmasıyla seçici beyaz çürüklüğe has birbirinden ayrılmış, lignini tüketilmiş selülozca zengin sekonder çeperlerden ibaret dışarıya doğru yönelmiş halkalar mikroskopik incelemede

ayırt edici özellik oluşturmaktadır (Eriksson vd., 1990; Daniel 2014; Pournou, 2020).

Şekil 10

Beyaz çürüklük sonucu yumuşak ve süngerimsi bir hal almış ve boyuna yönde lif lif ayrılmış odunun makroskopik görüntüsü (Ölçek: a,b,c 3 cm)



İlerleyen çürüme ile odunun iç ve dış tabakalarının beyazımsı, sarımsı tonlardaki renkleri alması ile oluşan ağarmış görünüş beyaz çürüklüğü diğer çürüklüklerden ayırmaktadır. Diğer bir makroskopik özellik, beyaz çürüklüğe maruz kalmış odunun yumuşak ve süngerimsi bir hal alması ve boyuna yönde lif lif ayrılmış görünüşe kavuşmasıdır (Şekil 10). Beyaz çürüklüğe maruz kalmış odunda esmer çürüklükten farklı olarak çürüklüğün çok ileri aşamaları hariç daralma görülmez. *P. pini* gibi mantarlar tarafından oluşturulan beyaz delikçikli çürüklükte ise, sağlam görünen odun dokusu içinde küçük içi boşluklar içerileri beyaz dokularla dolu birbirinden ayrı boşluklar görülmektedir (Şekil 8). Bazen bu delikçikler birleşerek yıllık halkaların ayrılmasına neden olmaktadır. Bu oluşuma halka çatlağı (halka çürüklüğü) denmektedir (Eriksson vd., 1990; Zabel ve Morrell, 1992; Bozkurt vd., 1995; Daniel 2014; Pournou, 2020).

Kayın, akçaağaç, kızılgağaç, huş ve gürgen gibi bazı ağaç gövdelerinde kesimden sonra su kaybından dolayı hücre boşluklarına oksijenin girmesiyle, enine kesitlerden başlayarak içeriye doğru gövde boyunca düzensiz, dil şeklinde uzanan grimsi kahve renk değişikliği ve tül oluşumunun gerçekleştiği boğulma evresi ile son olarak bu alanlarda mantarların etkisiyle oluşan beyaz çürüklükle sonuçlanan bozunma ardaklanma (Şekil 11) olarak tanımlanmaktadır (TÜBA, 2019). *Fomes fomentarius*, *Trametes versicolor* gibi mantarlar tarafından beyaz çürüklük oluşturulan odunda siyah zon (sınır) çizgileri oluşmaktadır (Şekil 11). Bu zon çizgileri farklı mantar türlerinin veya aynı mantar türünün genetik olarak uyumsuz misellerinin karşılaştığı alanda oluşabildiği gibi, mantar tarafından henüz enfekte edilmemiş kısımlar ile çürüklüğün olduğu odun kısımları arasında da oluşabilir. Zon çizgileri odunun farklı rutubetine veya mantarlar tarafından salgılanan fenol oksidaz enzimlerinin etkisiyle mantar bileşikleri ve odunda bulunan bazı kimyasal maddelerin melanine dönüştürülmesiyle oluşan etkileşim nedeniyle gerçekleşmektedir (Zabel ve Morrell, 1992; Eaton ve Hale, 1993; Schmidt, 2006; Pournou, 2020). Ardaklanmış ahşapta çürüklüğün derecesine bağlı olarak önemli direnç kayıpları oluşmaktadır. Ancak ardaklanmış ahşap, Orta Çağ'dan beri kakmacılıkta kullanılmakta, günümüzde bazı ülkelerde yüksek talep gören katma değerli bir ürün olarak görülmektedir (Forest Products Laboratory, 2021).

Şekil 11

Ardaklanma, beyaz çürüklükte odunda siyah zon (sınır) çizgilerinin görünüşü (Ölçek: b 3 cm)



Bazı *Ganoderma* türleri, aynı anda aynı odunda seçici beyaz çürüklük ve eşzamalı beyaz çürüklüğe neden olabilmekte, ağaç türüne bağlı olarak ise huş ve meşede beyaz delikçikli çürüklük, kavakta ise eşzamalı beyaz çürüklük oluşturabilmektedir. *H. annosum*, *F. fomentarius*, *T. versicolor*, *Ganoderma* türleri gibi birçok beyaz çürüklük mantarı, çürüklük oluşturdukları odun dokusunda manganez peroksidad etkisiyle ligninin bozunmasına bağlı olduğu düşünülen manganez dioksit birikimi sonucu siyah noktalar oluşturduğu görülmektedir. Ayrıca, fosfor, kalsiyum ve potasyum gibi elementlerin de bu siyah noktalı alanlarda sağlam oduna göre daha yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu belirtilmektedir (Schmidt, 2006; Pournou, 2020).

Kuzey Yarım Küre'de yapılar da yoğun olarak iğne yapraklı ağaç odunları kullanımı beyaz çürüklük mantarlarının yapılar da daha az rastlanmasına neden olmaktadır. Tüm beyaz çürüklük tiplerinde, aynı ağırlık kayıplarında daha az selüloz tüketilmesi, enine ve boyuna çatlaklar oluşmaması nedeniyle esmer çürüklüğe göre ahşabın direnç özellikleri daha az düşüş göstermektedir. İleri derecedeki çürüklüklerde, ahşabın hacmi artmakta, ağırlığı, yoğunluğu ve direnci azalmakta sertliği kaybolmaktadır. Beyaz çürüklüğün son evresinde tüm çeper bileşenleri neredeyse tüketilmekte odunda %97'lik ağırlık kaybı meydana gelmektedir (Eaton ve Hale, 1993; Zabel ve Morrell, 1992; Erdin, 2009).

Yumuşak Çürüklük

Yumuşak çürüklük, Ascomycetes ve Deuteromycetes (Fungi imperfecti) sınıfı mantarların karasal ve sucul ortamlarda kullanılan yüksek rutubete sahip geniş yapraklı ve iğne yapraklı ağaç odunlarında neden olduğu ahşap yüzeyindeki yumuşamadan dolayı bu adı almaktadır. *Chaetomium globosum* Kunze, *Humicola* spp., *Coniochaeta* (*Lecythophora*) *hoffmannii* (J.F.H. Beyma) Z.U. Khan, Gené & Guarro, *Monodictys putredomyces* (Wallr.) S. Hughes, *Thermothielavioides* (*Thielavia*) *terrestris* (Apinis) X. Wei Wang & Houbra-ken gibi 300 tür yumuşak çürüklük etmeni olarak tespit edilmiştir. Yumuşak çürüklük mantarları bambu gibi monokotiledonlarda da gelişebilmektedir. Bazı yumuşak çürüklük mantarları ise Bongossi veya Teak gibi yüksek doğal dayanıklılığa sahip ağaç türü odunlarını da çürütebilmektedir. Yumuşak çürüklük mantarları, beyaz ve esmer çürüklük mantarları (Basidiomycetes) için uygun olmayan çok yüksek rutubet veya sık kuruma, düşük sıcaklık, yüksek tuz konsantrasyonları, yüksek sıcaklık, yüksek derecede UV'ye maruz kalma ve zehirli ekstaraktif maddeler ile emprenye maddelerinin varlığı gibi aşırı ekolojik koşullar altında ahşabı tahrip edebilmektedir. Yumuşak çürüklük esas olarak arkeolojik ahşap objelerde dikkat çekmekle birlikte tarihi değere sahip bazı eserlerde, dikili

ağaçlarda, depolardaki odunlarda ve dış koşullarda kullanılan ahşapta da tespit edilmiştir. Özellikle, su soğutma kuleleri, sürekli suyla temas eden ancak sürekli su altında kalmayan liman inşaatlarında ve gemilerde kullanılan büyük oranda suya doymuş ıslak ahşap elemanlar, toprakla temas halindeki direkler ve traverslerde yumuşak çürüklük görülmektedir. Yumuşak çürüklük ayrıca ahşap konstrüksiyonlarda kullanılan emprenye edilmiş ahşap elemanlarda ciddi hasar oluşturmaya nedeniyle de ekonomik öneme sahiptir (Eaton ve Hale, 1993; Blanchette vd., 1990; Zabel ve Morrell, 1992; Schmidt, 2006; Wada vd., 2014; Pournou, 2020).

Yumuşak çürüklük mantarları soğutma kulelerinin suya doymuş ahşap elemanlarında, suyun hareketi ile oluşan kısıtlı seviyedeki oksijen ile ihtiyaçlarını gidermekte ve çürüklük oluşturabilmektedirler. Aynı zamanda toprak altındaki ağaç malzeme de çok sınırlı seviyedeki oksijen varlığında oluşan yumuşak çürüklük iki farklı tipte meydana gelmektedir. Birinci tipte tahribat, genellikle iğne yapraklı ağaçlarda hücre çeperinin S2 tabakasında boyuna bir dizi her iki ucu konik, silindirik oyukların oluşumuyla (Tablo 4), ikinci tipte ise genellikle geniş yapraklı ağaç odunlarında lümeniden başlayarak hücre çeper tabakalarının erozyonuyla (Tablo 4) karakterize edilmektedir (Eaton ve Hale, 1993; Blanchette vd., 1990; Köse ve Taylor, 2013). Ayrıca bu iki tip dışında üçüncü bir morfolojik bozunma tipinden de bahsedilmektedir. S2 tabakasında zincir oluşturmayan ve düzensiz uçlu oyukların varlığıyla birinci tipten ayrılan bu üçüncü yumuşak çürüklük tipi bazı araştırmacılarca birinci tipin farklı bir çeşidi olarak da ifade edilmektedir (Pournou, 2020). Yumuşak çürüklüğe uğramış ahşap yüzeyi esmer çürüklüğe benzerlik göstermektedir.

Diğer çürüklük mantarlarında olduğu gibi yumuşak çürüklük mantarları da öz ışınlardan oduna girerek paranzim hücrelerinde kolonizasyon gerçekleştirir. Hüfler, mavi renk mantarı hüfleri gibi çeperi delip komşu hücrenin lümenine geçtikten sonra kendi boyutunu geri kazanarak (yaklaşık 1-2 µm çapında), S2 tabakası içerisinde L şeklinde bükülerek bir yönde veya T şeklinde dallanma yaparak aşağı ve yukarı yönde selüloz mikrofibrilleri ile aynı doğrultuda ilerlerler. Mikrohüflerin gelişmesinin durması sonrasında hüf çevresine enzimlerin salınmasıyla yumuşak çürüklüğü diğer çürüklüklerden ayıran oyuklar oluşur. Yeni oyukların oluşması ve mevcut oyukların genişlemesiyle tekrarlanan süreç S2 tabakasının tamamen yok olmasına kadar devam eder. Çürüklüğün ileri aşamasında S3 tabakası dairesel olarak ayrılmakta, yüksek lignin içeriği nedeniyle son olarak S3 ve primer çeperin de saldırıya uğramasıyla geriye primer çepere ait tahrip olmamış kısımlar içeren orta lamel iskeleti kalmaktadır (Eriksson vd., 1990; Eaton ve Hale, 1993; Schmidt, 2006; Köse ve Taylor, 2013; Daniel 2014).

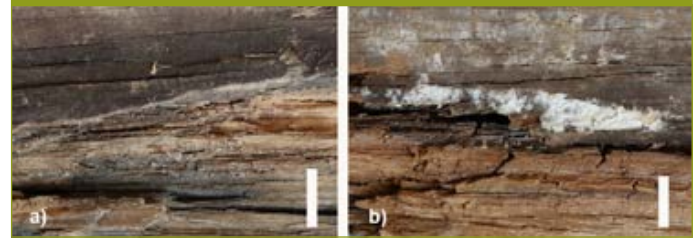
Özellikle sert ağaçta meydana gelen yumuşak çürüklük tipinde hüfler S3 tabakasından başlayarak hücre çeper tabakalarını aşındırarak birleşik orta lamele ilerler. Bu yumuşak çürüklük tipi beyaz çürüklüğe belli oranda benzemekle birlikte yumuşak çürüklük mantarlarının çürüklüğün ileri evrelerinde bile orta lameli tahrip etmemeleri temel farkı oluşturmaktadır. Yumuşak çürüklükte görülen erozyon normalde, sucul ortamlarda bulunan çok yüksek rutubete sahip odunda gerçekleşmektedir. Nadir de olsa bazı mantarların aynı ağaç türlerinde erozyon yanında sekonder çeperde düzensiz oyuklar meydana getirdiği de görülebilmektedir (Daniel, 2014; Pournou, 2020).

Farklı bir morfolojik tahribat şekli olarak yumuşak çürüklük, hüflerinin hücre çeperinin S2 tabakasına nüfuz etmeleri ve oyukların oluşumu, polisakaritlerin çözünmesi ve modifiye ligninin geriye kalması ile sonuçlanır. Bu bakımdan esmer çürüklüğe benzer bir mekanizmaya sahip olarak görülmektedir. Yumuşak çürüklük mantarları odun hücre çeperinde selüloz ve hemiselülozları tüketir. Esmer çürüklük mantarlarından farklı olarak selüloolitik ajanlar hüflerin yakın alanında kalıp hücre çeperinde derine nüfuz etmezler. Lignin, çürüklüğün ilk evrelerinde bozunmadan kalır. Beyaz çürüklükten farklı olarak yumuşak çürüklük mantarlarının ligninolitik yetenekleri daha düşüktür ve ligninden önce karbonhidratların tüketimi tercih edilmektedir (Eriksson vd., 1990; Schmidt, 2006; Daniel 2014).

Yumuşak çürüklük odun yüzeyinden başlayarak yavaş yavaş ahşabın iç kısımlarına doğru ilerler. Yumuşak çürüklüğün ileri aşamalarında ıslak haldeki ahşabın yüzeyi mat kahverengi, mavigrisi veya siyaha yakın renkte görünmektedir. Tırnakla bastırılabilir ve kolaylıkla kazınabilir haldeki bu yumuşak görünümü ve dokusu nedeniyle bu isim verilmiştir. Bozunmuş kısım genellikle yaklaşık 1-10 mm derinliğe kadar inmektedir. Ağaç malzeme kuru olduğunda ise esmer çürüklüğe göre daha ince ve sıf enine boyuna çatlaklı görünüme sahiptir (Şekil 12). Yoğun olarak gerçekleşen karbonhidrat tahribatı nedeniyle esmer çürüklükteki gibi yumuşak çürüklükte de %5 ağırlık kaybı gerçekleştiğinde basınç direncinde %50'lik azalma oluşmakta, ahşabın daralmasına bağlı olarak çatlaklar meydana gelmektedir (Schmidt, 2006; Daniel 2014; Pournou, 2020).

Şekil 12

Su soğutma kulelerinden alınan ahşap elemanlarda yumuşak çürüklüğün makroskopik görünüşü (Ölçek a,b: 1 cm)



Odunda Bakterilerin Neden Olduğu Bozunmalar

Doğada odunun bakteri kaynaklı bozunması çoğunlukla hem karasal hem sucul ortamlarda mantar çürüklükleriyle birlikte meydana gelmektedir. Bakterilerin odunda oluşturdıkları etkiler 19. yüzyılın başlarından beri bilinmesine karşın elektron mikroskobunun kullanımıyla yüksek çözünürlüğe ulaşılması, bakteri kaynaklı bozunma şekil ve mekanizmalarının mantar çürüklüklerinden farklarının anlaşılmasını sağlamıştır. Elektron mikroskobu çalışmaları, bakteri kaynaklı tüm çürüklük tiplerine, çevresel koşullar veya substrat şekline bağlı olarak boyutlarını veya şekillerini değiştirebilen (pleomorfik) Gram-negatif bakterilerin neden olduğunu doğrulamıştır. Bakterinin etkisi, odunda geçit zarları ve ligninleşmemiş odun dokularında oluşturdıkları tahribat ve ligninleşmiş odun hücrelerinde meydana getirdikleri çürüklük olmak üzere iki ana grupta ele alınmaktadır. Bakteri kaynaklı çürüklük tipleri bu organizmaların farklı taksonomik özelliklerinden kaynaklanmamaktadır. Bu sınıflandırma, bakteri etkisinde kalan odun hücrelerinin mikroskobik incelemesi ile görülen bozunma

tiplerine (erozyon, tünel ve kavite) dayanmaktadır. (Eriksson vd., 1990; Zabel ve Morrell, 1992; Eaton ve Hale, 1993; Daniel, 2014; Pournou, 2020).

Günümüzde orman ürünleri endüstrisinde, bakterilerin ekonomik olarak muhtemel en önemli etkisi yüksek miktarda tomruğun fırtına gibi nedenlerle uzun süre depolanması ihtiyacı oluştuğunda görülmektedir. Depolarda çürüme, renklenme ve böcek zararının oluşmaması için suda depolanan özellikle iğne yapraklı ağaç tomruklarında birkaç haftalık depolamadan sonra bakteri kolonizasyonu görülmektedir. İğne yapraklı ağaç tomruklarının diri odun kısımlarında ligninleşmemiş parانشim hücreleri ile kenarlı, basit ve yarı kenarlı geçit zarları bakteriler tarafından birkaç hafta içerisinde tahrip edilmektedir. Geniş yapraklı ağaç odunlarında da parانشim hücreleriyle birlikte trahe ve lif hücrelerin geçit zarlarında bakteri gelişimi ve tahribatı görülmektedir. Ligninleşmiş parانشim hücrelerine sahip ladinin aksine ligninleşmemiş parانشim hücrelerine sahip çam türleri bakteri saldırısından çok daha fazla etkilenmektedir. Tahribat margo ve torusun bozunmasıyla (aspirasyonun ortadan kaldırılması) sınırlı kalabileceği gibi geçit kenarlarının tamamen bozunması da söz konusu olabilmektedir. Bunun sonucu olarak ahşapta özellikle radyal yönde gerçekleşen ve homojen olmayan permeabilite artışı görülmektedir. Bu durum güç emprenye edilen türlerin emprenyesi için olumlu sonuç vermekle birlikte, emprenye maddelerinin, vernik ve boya gibi üst yüzey işlem maddelerinin düzensiz ve daha fazla absorbe edilmesine bağlı olarak boya kusurlarının oluşmasına, boya ve vernik tabakalarının şişerek patlamasına neden olmaktadır. Porozitenin artışına bağlı olarak kurutma sürecinde ahşap elemanlarda çatlaklar oluşmakta, ayrıca sulu depolama uygulanmış tomruklarda permeabilitenin artışı ve kötü kokuya neden olan bakteri metabolitlerinden kaynaklanan renk değişiklikleri iç mekan ahşap panelerin kullanımında sorun yatmaktadır (Eriksson vd., 1990; Zabel ve Morrell, 1992; Eaton ve Hale, 1993; Bozkurt vd., 1995; Unger vd., 2001; Schmidt, 2006; Daniel, 2014; Pournou, 2020).

Odunda geçit zarlarının, selüloz, hemiselüloz ve pektini bozan enzimlerin ortak etkisiyle tahribatı sonucu permeabiliteyi arttıran başlıca bakteriler *Bacillus subtilis* G., *B. circulans* Jordan, 1890, *B. pumilus* G., *Paenibacillus macerans* [Schardinger, 1905] Ash et al., 1994, , *P. polymyxa* D., *Cellulomonas flavigena* [Kellerman & McBeth, 1912] Bergey et al., 1923, *Flavobacterium (Cytophaga) johnsoniae* A, *F. pectinovorum* A, *Pseudomonas fluorescen* Migula, 1895 olarak sıralanmıştır (Pournou, 2020).

Bakteriler büyük su birikintilerinin sedimentlerinden, ıslak topraktan veya turbalıklardan elde edilen suya doymuş ahşaplarda tespit edilmektedir. Bu ortamlar karasal koşullarda ahşapta tahribat oluşturabilen esmer ve beyaz çürüklük mantarları için çok düşük oksijen sunmaktadır. Bu nedenle oksijensiz veya çok sınırlı oksijen bulunan ortamlarda ahşabın biyolojik bozunmasında esas etkenler bakterilerdir. Oksijen miktarının bir miktar artmasıyla, bu ıslak koşullarda, bakteri kaynaklı ahşap tahribatı genellikle yumuşak çürüklük mantarları ile birlikte ilişkilendirilmiştir. Bakteriler hem geniş yapraklı ağaç hem iğne yapraklı ağaç odunlarında ligninleşmiş lifler ve traheidlerde ciddi tahribatlara neden olmaktadır. Temel kazıkları, traversler gibi uzun süre toprakla temas halindeki veya soğutma kuleleri, liman inşaatları, tekneler gibi su içerisindeki ahşap elemanlarda da bakteri kaynaklı çürüklükler görülmektedir. CCA ile emprenye

edilmiş direklerde bakterilerin tahribat oluşturduğu belirtilmiştir. Bakterilerin toksik bileşenleri çözmeleri ve böylece yumuşak çürüklük mantarları tarafından ahşabın tahrip edilebilmesini kolaylaştırdıkları düşünülmektedir (Blanchette, 1995; Singh ve Kim, 1997; Björndal vd., 1999; Unger vd., 2001; Schmidt, 2006).

Özellikle son yıllarda arkeolojik eserlerin restorasyonuna olan ilgi nedeniyle erozyon bakterilerinin oluşturduğu çürüklük tipi üzerine çok sayıda çalışma yapılmıştır. Erozyon bakterilerinin neden olduğu tahribat 1980'lerden beri bilinmesine rağmen, ilgili bakteriler izole edilememiş olması bu organizmaların en aktif olduğu koşullar hakkında çok az şey bilinmesine neden olmaktadır. Kültüre alma denemeleri ve moleküler DNA teknikleri, suya doymuş ahşaptaki bakterilerin *Cytophaga-Flavobacterium-Bacteroides* kompleksi, *Pseudomonas*, *Cellvibrio* ve *Brevundimonas* gruplarına ait olduğunu göstermiştir. Erozyon bakterileri, küre veya çubuk şekilli pleomorfik, 1-8 µm uzunluğunda ve 0,5-1 µm çapında Gram negatif bakterilerdir. Erozyon bakterileri, hücre lümeninden S3 tabakasına nüfuz ederek çürüklüğün başlatılması bakımından hem eşzamanlı beyaz çürüklük hem yumuşak çürüklük (Tip 2) ile benzerlik göstermektedir (Tablo 4). Erozyon bakterileri hücre lümeninden S3 tabakasına yapışarak selüloz mikrofibrilleri ile aynı doğrultuda selüloz ve hemiselülozları tüketerek yerleşip karakteristik erozyon olukları (erime zonları) (Tablo 4) oluştururlar. Tahribat sonrasında geriye kalan poroz, suya doymuş, lingince zengin, çok yumuşak, kolayca hasar görebilir yapıdaki malzeme, ahşabın teşhisi ve işlenmesi sırasında sahip olduğu izlerin görülebilmeye izin verir nitelikte yapısını koruyabilmektedir (Schmidt, 2006; Daniel, 2014; Pournou, 2020).

Tünel bakterileri etkisi, tek hücreli pleomorfik bakterilerin (yaklaşık 1-2 µm uzunluğunda) çok ince dallanma yaparak yayılmasıyla oluşan odun hücre çeperinin sekonder tabakasında oluşturduğu karakteristik çürüklüğü ifade etmektedir. Tünel bakterileri kendilerine has polisakkaritleri kullanarak lümeninden S3 tabakasına tutunup sonrasında S2 ve S1 tabakalarına ve orta lamellere doğru nüfuz ederek farklı yönlerde küçük tüneller (Tablo 4) oluştururlar. Ahşapta sadece polisakkaritleri değil, aynı zamanda lignince zengin primer çeper ve orta lameli de tahrip edebilirler. Bununla birlikte, ligninin çoğu geriye bırakılır. Dallanmış tüneller asla birbiri ile kesişmemekte ancak odun ciddi şekilde bozunduğunda çöküp tüm hücre çeperi tahrip edilebilmektedir (Eaton ve Hale, 1993; Schmidt, 2006; Daniel, 2014; Pournou, 2020).

Üzerine az sayıda çalışma bulunan kaviteyasyon bakterinin oluşturduğu çürüklük, bazı kaynaklarda sınırlı koşullar altında tahribat yapan bir tür erozyon bakterisinin etkisi olarak kabul edilmektedir. Erozyon ve tünel bakterilerine benzer şekilde kaviteyasyon bakterileri de polisakkarit yapışkan madde sayesinde hücre çeperine tutunup S3 tabakasında oluşan küçük deliklerden geçerek S2 ve S1 tabakalarına doğru ilerlerler. Özellikle iğne yapraklı ağaç odunlarının sekonder çeperlerinde polisakkaritleri tüketerek lif eksenine dik karakteristik elmas şeklinde veya köşeli boşluklar (Tablo 4) oluştururlar. Erozyon ve tünel bakterilerinin aksine tahribat, S2 tabakası ile sınırlı olarak bakterilerin bulunduğu alanın uzağında gerçekleşir. Orta lamel bozunmadan kalırken S3 tabakası az miktarda modifikasyona uğrayabilmektedir (Eaton ve Hale, 1993; Unger vd., 2001; Köse ve Taylor, 2013; Daniel, 2014; Pournou, 2020).

Odunda Görülen Mikrobiyolojik Kökenli Renklenmeler

Odunda meydana gelen çürüklükler ile hücre çeperini oluşturan selüloz, hemiselüloz ve ligninin tüketilmesine bağlı olarak ahşabın mekanik özellikleri olumsuz etkilenmekte ve birçok alanda ahşap hizmet veremez hale gelmektedir. Çürüklük mantarları gibi oduna ilk arız oldukları paransim hücrelerinde bulunan şeker, nişasta, protein ve yağ içeren maddelerle beslenen, kolonileşmeleri sonrasında da istisnalar dışında hücre çeperini tahrip etmeyen (çürüklük yapmayan), odun içerisinde veya üzerinde dağınık lekeler veya birbiriyle bağlantılı kısımlar halinde renk değişikliğine neden olan mantarlar da odun kalitesini etkileyen önemli biyolojik etkenlerdir (Selik, 1988; Zabel ve Morrell, 1992; Eaton ve Hale, 1993; Bozkurt vd., 1995).

Mantarların yanı sıra bakteri etkisiyle odunda oluşan renklenmeler de bulunmaktadır. İstiflenmiş kerestelerin doğal kurutulması sürecinde birbirine değen kısımlarında *Pseudomonas fragi* (Eichholz, 1902) Gruber, 1905 bakterisinin kahverengi renk bozukluklarına neden olduğu belirtilmektedir. Kayın odununda kırmızı yürek oluşumu alanlarından bakteri izolasyonu gerçekleştirilmiştir. Suda depolanan çam tomruklarında, bakteriler tarafından üretilen flavonoidlerin kerestenin kurutulması sürecinde ahşap yüzeye yayılmasıyla kahverengi renk bozulmaları oluştuğu ifade edilmiştir (Schmidt, 2006).

Odunda renk değişikliği yapan Ascomycetes ve Deuteromycetes üyesi renk mantarları ve küfler, dikili haldeki iğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçlara arız olabildikleri gibi depolardaki yuvarlak odunlara, kerestelere, yüzey işlemi görmüş ürünler dahil kullanımındaki tüm ahşap elemanlarda gelişebilmektedirler. *Cadophora* (*Phialophora*) *fastigiata* Lagerb. & Melin, kavak odununda gri renklenmeye (Şekil 13), *Scytalidium cuboideum* (Sacc. & Ellis) Sigler & Kang birçok geniş yapraklı ve iğne yapraklı ağaç odunlarında pembe renklenmeye, *Pesotum* (*Ophiostoma*) *piceae* J.L.Crane & Schokn. kızılbaş odunlarında kesimden sonra hemen işlenmedikleri takdirde kırmızımsı mor renklenmeye, *Bispora antennata* (Pers.) E.W.Mason kayın tomruklarında siyah şeritliliğe, *Melanomma sanguinarium* Sacc. ise kayın odununda kırmızı renklenmeye, *Paecilomyces variotii* Bainier meşe kerestelerinin kurutma sırasında pH değişimine bağlı olarak sarı bir renk oluşumuna (Schmidt, 2006), *Chlorociboria aeruginascens* (Nyl.) Kanouse ex C.S. Ramamurthi, Korf & L.R. Batra ve *C. aeruginosa* (Oeder) Seaver ex C.S. Ramamurthi, Korf & L.R. Batra orman zemininde bulunan geniş yapraklı ve iğne yapraklı ağaç gövde parçaları ve dallarında yeşil renklenmeye (yeşil çürüklük olarak da anılır) neden olmaktadır (Şekil 13). Mantarın salgıladığı ışığa dayanıklı

Şekil 13

Kavak odununda a) gri renklenme b) yeşil renklenme (Ölçek: a, b 3 cm)



yeşil madde ile boyanan ahşap kısımlardan elde edilen yeşil renge sahip kaplama levhaları kakmacılıkta özel bir kullanım yerine sahiptir (Selik, 1988; Butin, 1995; Schmidt, 2006).

Mavi Renklenme

Mavi renklenme ılıman iklim kuşağının hakim olduğu bölgelerde Ascomycetes ve Deuteromycetes üyesi yaklaşık 100 ile 250 mantar tarafından oluşturulan, yaygın olarak diri odun kısmında görülen, biyolojik kökenli renk değişikliğidir. Mavi renklenme, çamlar başta olmak üzere ladin, göknar ve melez gibi iğne yapraklı ağaç odunları yanında, kayın, huş gibi geniş yapraklı ağaçlar ile bazı tropik ağaç odunlarında görülür. Mavi renk mantarları esas olarak paransim hücreleri içerisinde faaliyet gösterdiklerinden renklenme diri odunla sınırlı kalmaktadır. İğne yapraklı ağaçlarda öz ışınlarında ve kısmen traheidlerde görülen koyu renkli hüflerden mavi renk oluşumu kaynaklanmaktadır (Schmidt, 2006).

Ahşapta görülen mavimsi gri veya siyah renk oluşumuna (Şekil 14), ışığın kırınımına bağlı optik etkiden dolayı koyu kahverenkli kalın mantar hüfleri neden olmaktadır. Mavi renk mantarı hüflerinin çeperlerinde bulunan koyu rengi veren melanin polimeri renk pigmentlerinin hüflerin dışına doğru difüzyonunu engellemektedir. Hüfler, oduna enine kesitlerden veya kabukta bulunan çatlaklar nüfuz ederek kolay ulaşılabilen besinleri depolayan paransim hücrelerinin bulunduğu öz ışınlarına arız olur. Hüfler öz ışınlarından, kenarlı geçit toruslarına uyguladıkları mekanik basınçla, ince hüfler ise margodan traheid hücrelerine geçerler. Hüfler paransim hücrelerindeki besinler yanında, geçitler vasıtasıyla ulaştıkları diri odun traheid ve lifleri içerisindeki kapiler sıvıları da besin olarak kullanarak gelişirler. Mavi renk mantarları paransim hücrelerinde bulunan şeker, nişasta, protein ve yağ içeren depo maddeleri ile beslendiklerinden ve hücre çeperini oluşturan ana bileşenlerden selüloz, hemiselüloz ve lignini tahrip etme yeteneklerinin olmamasından dolayı genel olarak ağaç malzemenin mekanik özelliklerinde önemli bir değişikliğe neden olmazlar. Bu nedenle mavi renklenme veya mavileşme yerine "mavi çürüklük" teriminin kullanılması yanlıştır. Muhtemelen fiziksel basınç yanında enzimatik etkiyle, odun hücre çeperini delerek geçen özel mikrohüflere sahip olmalarına rağmen, çoğunlukla ahşabın direnç özelliklerine önemli etkileri bulunmamakta, şok dirençte belli oranda düşüşe neden olmaktadır. Ancak bu durum genel

Şekil 14

Çam odununda mavi renklenmenin makroskopik görünüşü (Ölçek c: 3 cm)



olarak ağaç malzemenin kullanımını sınırlandırıcı etki oluşturmamaktadır. Bununla birlikte mavi renk mantarlarının çeperdeki bu etkileri ile özellikle paransim hücrelerinde ve geçitlerde oluşturduğu etki sonucu permeabilite artışına neden olduğu, böylece emprenye işlemlerinde emprenye maddesi nüfuzunu artırdığı belirtilmektedir [Zabel ve Morrell, 1992; Eaton ve Hale, 1993; Bozkurt vd., 1995; Schmidt, 2006; Uzunovic ve Webber, 1998; Fleet vd., 2001; Uzunovic vd., 2008; Kumar vd., 2022].

Mavi renk mantarları için 28 ile 40 °C sıcaklık ve %30 ile %120 odun rutubetin optimum koşulları oluşturmaktadır. Ağaçların kesilmesi sonrasında %10-15 nem kaybı gerçekleşmesiyle tomruklarda mavi renk mantarları gelişmeye başlamakta, kurutma işlemi öncesi depolama ve nakliye süreçlerinde %90'ın üzerindeki bağıl nemlerde etkileri artış göstermektedir. Mavi renklenme, ekolojik farklılıklara dayanarak sınıflandırılmıştır. Depolanan tomruklarda (optimum %50-130 rutubette) *Ophiostoma* ve *Ceratocystis* cinslerinin özellikle *Ophiostoma piceae* (Munch) Syd. & P. Syd. tarafından oluşturulan primer mavileşme; odun yüzeyine ulaşmayıp iç kısımda kalan *Discula pinicola* (Naumov) Petr. tarafından oluşturulan iç mavileşme; tamamen kurumamış ve kötü istiflenmiş kerestelerde (optimum %50-100 rutubette) *Cladosporium* türleri ve *Strasseria geniculata* (Berk. & Broome) Höhn. tarafından oluşturulan sekonder mavileşme; işlenmiş, boyanmış ve hizmet sürecindeki rutubet alan dış cephe ahşap kaplamaları, pencere doğramaları, garaj kapıları ve bahçe mobilyalarında (optimum %30-80 rutubette) çoğunlukla *Aureobasidium pullulans* (de Bary) G. Arnaud ve *Sclerophoma pithyophila* (Corda) Höhn. türleri tarafından oluşturulan tersiyer mavileşme olarak ifade edilmektedir [Selik, 1988; Butin, 1995; Bozkurt vd., 1995; Schmidt, 2006].

Kırmızı Şeritlilik

Kırmızı şeritlilik Avrupa'da ladin, çam ve göknar uzun gövde odunları ile kerestelerinde çok yaygın önemli bir renklenme problemi olarak kabul edilmektedir. Sarıdan kırmızımsı kahverengine kadar renk değişikliğini içeren şerit şeklindeki bu renklenme (Şekil 21), sıcak mevsimde uzun süre yarı rutubetli kalan tomrukların boyuna yüzlerinden ve enine kesitlerinden girerek oluşmaktadır. Kabuğu soyulmamış gövdelerde daha geniş şeritler görülürken, kabuğu soyulmuş gövdelerde daha dar bir renklenme görülmektedir. Mantarların besin olarak kullandığı depo maddelerinin bulunduğu paransim hücrelerinde yoğun miselyum gelişimi sonrasında hüflerin öz ışınlarından başlayarak kenarlı geçitlerden ve mikrohüfleriyle traheid çeperlerini delerek geçmesiyle renklenme boyuna yönde yayılmaktadır. Renklenme, kabuktan başlayarak çok hızlı olarak boyuna ve radyal yönde gelişmektedir. Renklenmenin oksidatif olarak gerçekleştiği ifade edilmektedir. [Butin, 1995; Bozkurt vd., 1995]. Renklenmenin mantarlar tarafından pigment salgılanması ile oluştuğu da belirtilmektedir [Schmidt, 2006]. Tomrukların denizaşırı taşınması sırasında kırmızı şeritlilik oluşabilmektedir. Ayrıca, etken mantarların kurumaya karşı tolerans gösterebilmesi nedeniyle tekrar rutubet alan kerestelerde kırmızı şeritlilik yeniden gelişebilmektedir. *Trichaptum abietinum* (Dicks.) Ryvarden ve *Stereum sanguinolentum* (Alb. & Schwein.) Fr. (çam ve ladinde), *Amylostereum areolatum* (Chaillat ex Fr.) Boidin (ladinde) türleri başlıca kırmızı şeritlilik etkenleridir [Selik, 1988; Butin, 1995; Schmidt, 2006].

Kırmızı şeritlilik etkenleri optimum rutubet isteği %50 ile %120

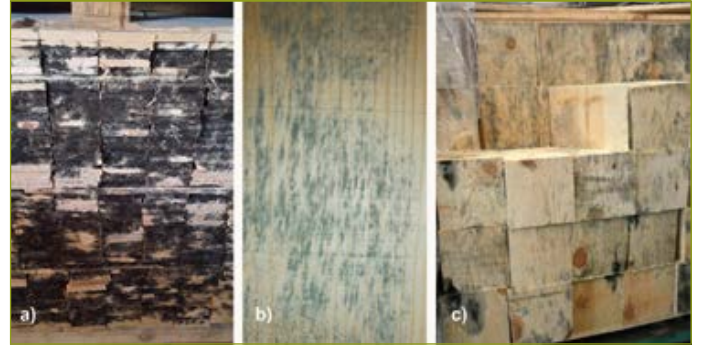
aralığında olan yavaş gelişen beyaz çürüklük mantarlarıdır. Bu nedenle başlangıçta odun renginin kırmızıya döndüğü süreçte ahşapta ciddi bir direnç kaybı gerçekleşmez. Bununla birlikte, ileri evrelerde mantar kolonizasyonunun ilerlemesiyle önemli ağırlık ve direnç kayıplarıyla birlikte yoğun bir beyaz çürüklük gelişmektedir. Bu aşamadan itibaren odun kırmızı şeritlilikten (renk bozukluğundan) çok beyaz çürüklük özellikleri göstermektedir [Schmidt, 2006].

Ahşapta Küflerin Etkisiyle Oluşan Renklenmeler

Küfler taksonomik olarak tek bir sistematik grubu temsil etmezler. Deuteromycetes (Fungi imperfecti), Hyphomycetes cinsinin 1.700 ve Coelomycetes cinsinin 700 üyesi olmak üzere çok farklı 20.000-30.000 tür barındıran yapay bir sınıftır. Küfler, fizyolojik istek (sıcaklık, rutubet, pH vb.) sınırlarının büyük farklılık göstermesi nedeniyle çok farklı malzemelere arız olabilirler. Küflenme hem organik hem de inorganik esaslı yüzeylerde meydana gelebilmekte, etkilenen yüzeyler ahşap, vinil, alüminyum gibi cansız ya da bitkiler gibi canlı olabilmektedir. Küflenme, uygun besin kaynakları sağlayan kir, yağ ve diğer endüstriyel kirlenmelerin bulunduğu yüzeyler üzerinde de gelişebilmektedir. Küfler, bu yüzeyler üzerinde çok hızlı gelişmeleri ve konidyum oluşturmalarıyla dikkat çekerler. Ahşap yüzeyinde geliştirdikleri konidyoforlardaki üretilen çok sayıdaki farklı renkli pigmentler içeren sporları nedeniyle renkli bir görüntü ortaya çıkabilir (Şekil 15). En yaygın görülenleri siyah (*Aspergillus* spp.) ve yeşil renkte (*Penicillium* spp., *Trichoderma* spp.) olmalarına karşın kırmızı ve diğer renklerde olanlarına da rastlanmaktadır. Buna karşın bazı türler çıplak gözle ahşap yüzeylerde tespit edilememektedir. Mikroskop altında incelendiğinde küflerin ahşap üzerinde sporları ya da ipliksi yapıdaki miselyumları görülmektedir [Zabel ve Morrell, 1992; Eaton ve Hale, 1993; Schmidt, 2006; Kumar vd., 2022].

Şekil 15

Ahşap palet elemanları üzerinde oluşan küflenmeler



Küfler, dikili ağaçlarda kesim sonrasında uzun gövde odunlarının özellikle rutubetli diri odunlarında, uygun olmayan koşullarda depolanmış kerestelerde, yeterince kurutulmadan polietilen malzemeyle neredeyse hava almayacak şekilde sarılmış ürünlerde (Şekil 15), tomruk, kereste ve çeşitli ahşap ürünlerin (palet gibi) deniz veya karayolu taşınması sürecinde, boyanmış ahşap yüzeylerde, kağıt endüstrisinde kullanılan yonga yığınları içerisinde gelişebilmektedir [Zabel ve Morrell, 1992; Schmidt, 2006].

Küfler odun dokusuna sadece birkaç milimetre nüfuz etmekte, paransim hücreleri içerisindeki şeker, protein ve diğer depo maddelerini besin kaynağı olarak kullanmakta, odun hücre çeperinin

bozunmasına neden olmamaktadır. Bu nedenle ahşabın direnç değerlerinin düşmesine neden olmazlar. Herhangi bir ortamda 1 m³ havada iklim koşullarına bağlı olarak 100 ila 1000 adet küf mantarı sporu bulunmaktadır. Bu sporlar uygun şartlar sağlandığında ahşabın üzerine yerleşmekte, çimlenerek hücrelere nüfuz etmekte ve depo maddelerini besin kaynağı olarak kullanarak gelişimlerini sürdürmektedirler. Bu süreçte spor üretimi için yeterli enerjiye sahip olduklarında çok sayıda spor üreterek döngünün tekrarlanmasına ve başka alanlardaki ahşap yüzeylerde küflenmenin gerçekleşmesine neden olmaktadır. Mantar türü ve iklim koşullarına göre bu döngünün tamamlanma süresi birkaç günden birkaç aya kadar değişiklik gösterebilmektedir. Yüzeydeki sporlar, fırçalanma veya silme gibi basit müdahalelerle yüzeyden uzaklaştırılabilirler. Rutubetli ağaç malzemede küfler yaşamlarını devam ettirmekte ve yeniden spor üretmektedirler (Zabel ve Morrell, 1992; Erdin ve Köse, 2004; Schmidt, 2006). Küf sporlarının yoğun olması astım riskini de artırmaktadır. *Stachybotrys chartarum* (Ehrenb.) S. Hughes, *Fusarium* spp. gibi küfler tarafından toksin üretilmesi medyanın ilgisini çekmiştir. İnsan sağlığı üzerinde çok ciddi etkilere sahip çok uçucu olmayan bu maddeler, çoğu ahşap yüzeyinde iyi gelişmeyen küfler tarafından ahşap üzerinde çok düşük düzeylerde üretilmektedir (Morrell, 2022).

Besin kaynağı dışında küf mantarlarının gelişimi için gerekli en önemli faktörler rutubet ve oksijendir. Odun rutubeti lif doygunluğu noktası (yaklaşık %28) üzerinde olduğunda odunda yaşayan tüm mantarlar için uygun ortam sağlanmış olmaktadır. Lif doygunluğu noktası üzerinde rutubet seviyelerinde ahşaba arız olan mantarlar rutubet seviyesi %20'nin altına düşene dek faaliyetlerini sürdürmektedir. Sıcaklık, mantarların gelişimi için önemli bir diğer faktördür. Küf mantarlarının iyi gelişmeleri için 22-35 °C sıcaklık ve %45-180 rutubet en uygun gelişme koşullarını sağlamaktadır (Erdin, 2009). Bu sıcaklık seviyesinin hakim olduğu mevsimlerde küflenme sorunları artmaktadır. Lif doygunluğu noktası üzerindeki rutubet, ağaç malzemenin taşınması sırasında gündüz ve gece sıcaklık farkından dolayı gündüz buharlaşan suyun gece yoğunlaşmasıyla önemli küflenme sorunlarına neden olmaktadır. Dışarıda bekletilen paletlerin ıslanması sonrasında birkaç gün içerisinde ahşap yüzeyinde küf sporları çimlenmekte, hüfler odun hücrelerine nüfuz ederek gelişmekte ve yüzeyde spor oluşturmaktadır. Bu süreçte ahşap kurumuş olsa da küflenme çoktan gerçekleşmiş olacaktır.

Odunda Çürüklük Yapan Bazı Önemli Mantarlar

***Serpula lacrymans* (Wulfen) P.Karst. (Hakiki ev mantarı, Kuru çürüklük mantarı)**

Binalarda kullanılan ağaç malzemede yoğun olarak iğne yapraklı ağaç odunlarında esmer çürüklük oluşturmaktadır. İyi havalandırılan zemin katları ya da çatı kerestelerinde az görülmekte, 25 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda faaliyet gösterememektedir. Rutubetli duvarlarla teması olan ahşaplarda gelişme başlamaktadır. Tüm duvar malzemesinde ipeksi beyaz, levhalar halinde ya da ham pamuk gibi beyaz kalın yastık şeklinde miselyumları gelişmektedir. Miselyum substrattan kolaylıkla ayrılabilen gümüşü gri renkte derimsi bir görünüme sahiptir. Havalandırılmayan odun rutubeti düşük ağaç malzemeye rizomorfları rutubetli bölgelerden su taşıyabildiklerinden kuru malzemede çürüklük oluşturabilmektedir. Beyazdan griye kadar değişen renklere sahip, bir kurşun kalem

kalınlığına kadar ulaşabilen rizomorflarının kuruyken kırılması sırasında çıkardıkları ses teşhiste önem taşımaktadır (Bozkurt vd., 1995; Schmidt, 2006; Erdin, 2009).

Sporoforun görülmesi, çürüklüğün başlangıcına işaret eden ilk belirtilerden sayılır. Genellikle ahşap elemanların duvarla bağlantıları üzerinde görülen daire veya elips şeklindeki sporoforları yatık şekilde substrat üzerine yerleşmektedir. Kösele gibi esnek, yumuşak ya da etsi yapıya sahip sporoforların kenarları beyazımsı sarı renkte, orta kısımları sarı-toprak renginden olgunlaştıkça pas kırmızısı renge dönmektedir. Yüzeyi, sıg porlarla ya da kıvrımlarla kaplanmıştır (Schmidt, 2006; Erdin, 2009).

Çürümüş odun, karakteristik esmer çürüklük özelliklerini taşımakta, mat kahverenkli, kaba dik köseli küp şeklinde parçalara ayrılan çatlaklı ve gevrek yapıdadır (Schmidt, 2006; Köse, 2006; Erdin, 2009).

***Coniophora puteana* (Shum.: Fr.) P.Karst (Kiler mantarı, Alakadife)**

Binaların yüksek rutubete maruz kalan tüm kısımlarında (çatı dahil) kullanılan ağaç malzemede iğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaç odunlarında esmer çürüklük oluşturmaktadır. Geçmişte sadece yeni binalarda çürüklük yaptığı bilinen mantarın nemli eski binalarda, depolardaki odunlarda, direk, travers gibi toprakla temas eden ağaç malzeme ve köprü ahşap elemanlarında, nadiren kütüklerde ve canlı ağaçlarda parazit olarak görüldüğü belirlenmiştir (Schmidt, 2006). Kök şeklindeki kırılğan miselyumları başlangıçta beyaz, sonrasında kahverengi-siyah, miselyum iplikçiklerinin altındaki ahşap siyah renk tonlarında görülmektedir. Ayrıca, rutubetli sıva ve tuğla duvarlar üzerinde de görülebilmektedir (Erdin, 2009).

Nadiren görünen ince, kuruyken kırılğan kabuğu andıran sporoforları substrat üzerinde ince, düz bir tabaka şeklinde uzanmakta ve üzerinde düzensiz küçük siğiller bulunmaktadır. Sporofor açık kahverengi ile zeytin kahverengisi renklerde olup, kenarları krem rengindedir (Bozkurt vd., 1995; Schmidt, 2006; Erdin, 2009).

Çürüklük kabiliyeti yüksek olan bu mantar, binalarda görülenler içerisinde en hızlı gelişen mantardır. *C. puteana* etkisinde kalan odun, liflere paralel ve dik yönde çatlaklı (*S. lacrymans*'in neden olduğu çürüklüğe göre daha sıg), koyu renkli hal almaktadır. Çürümenin başlangıç evreleri gözden kaçabilmekte, özellikle döşeme tahtalarında alt taraf tamamen çürüdüğünde bile üst kısım sağlam kalabilmektedir (Schmidt, 2006; Erdin, 2009).

***Fibroporia vaillantii* (DC.) Parmasto (Beyaz delikli mantar, Maden mantarı, Havalı dalpetek)**

Binalarda kullanılan rutubetli iğne yapraklı ağaç odunlarında, özellikle sıcaklığın yüksek olduğu ortamlarda (en fazla 36 °C) esmer çürüklük oluşturan ve sık rastlanılan mantardır. Avrupa'da iğne yapraklı ormanların hakim olduğu alanlarında kullanılan ağaç malzeme yanında İngiliz madenlerinde en sık rastlanılan ıslak çürüklük mantarıdır. İnce bir tabaka halinde eğrelti şeklini andıran beyaz veya krem renkli, demirle temas ettiğinde kahverengine dönebilen miselyum geliştirmektedir. *S. lacrymans*'dan farklı olarak miselyum ve rizomorfları beyaz buz kristali şeklinde olup, kirletilmedikleri taktirde beyaz olarak kalmakta, rizomorfları kuruduğu zaman bile esnekliğini kaybetmemektedir (Schmidt, 2006; Erdin, 2009).

Sporoforu yıllık, başlangıçta beyaz sonradan açık sarı, gri bir renk almakta, kuruduğunda şişe mantarı görünüşüne sahiptir. Çıplak gözle belirgin olarak görülebilen büyüklükte, köşeli, çoğunlukla yırtılmış ağızları ile karakteristik bir görünüş sergiler (Schmidt, 2006; Erdin, 2009).

S. lacrymans'a uğramış oduna benzer özellikler göstermekte, çürüklüğe uğramış odun enine boyuna çatlaklar içermekle (*S. lacrymans*'a göre daha sığ) birlikte, daha açık renkli hal almaktadır (Erdin, 2009).

***Gloeophyllum sepiarium* (Wulfen) P. Karst. (Battal kütüktereği)**

Amerika, Orta ve Güney Avrupa'da istif edilmiş odun ürünlerinde ve binalarda kullanılan ağaç malzemede önemli çürüklükler yapmaktadır. Çatı kerestelerinde sık rastlanmakla beraber, açık havada kullanılan yapraklı ağaç malzemeye de arız olmaktadır. *G. abietinum* (Bull.) P. Karst. gibi hem geniş yapraklı hem iğne yapraklı ağaç malzemede esmer çürüklük yapmaktadır. Sadece laboratuvar kültüründe odunda beyaz-bej ile sarı-kahverengi tonlarda miselyumu görülebilmektedir (Bozkurt vd.,1995; Schmidt, 2006).

Özellikle kuruma çatlakları ve yarıklar boyunca ağaç malzemenin yüzeyine yatay veya düşey şekilde sıralanmış, deriyi andıran sapsız sporofor, yarım daire, tabak veya şerit şekilli ince bir rozeti (Şekil 16) andırır. Alt kısımda yer alan lameller veya uzunca "trametoid" delikçikler bulunmaktadır. Tamamen substrata yapışık formda da gelişebilmektedir. Sporoforun üst yüzeyi tek yıllık olanlarda keçemsi sonraları düz, başlangıçta sarımsı kahverengi, sonraları kırmızımsı kahverengi ve yaşlandığında grimsi siyah renktedir. Lameller daedaloid formdadır (Bozkurt vd.,1995).

Gloeophyllum türleri her zaman malzemenin içinden dışarı doğru gelişen iç çürüklük oluşturmaktadır. Çürüklük odun içerisinde ilerlediğinde bile malzemenin dış kısmı sağlam kalmakta,

çürüklük dışarıdan fark edilememektedir. Çürüklüğün ilk aşamalarında ahşap sarımsı bir renk almakta, ilkbahar odunu kısımları yumuşamakta, ileri aşamalarında ise odun koyu esmer renkli enine ve boyuna çatlaklı bir hal almaktadır. Miselyumun da görülebildiği bu aşamada yıllık halkalar birbirinden ayrılarak kat kat açılmış (Şekil 16) odun tabakaları oluşur (Cartwright ve Findlay, 1946).

***Rhodonía placenta* (Fr.) Niemelä, K.H.Larss. & Schigel (Ağaç-peteği)**

Binalarda kullanılan rutubetli iğne yapraklı ağaç odunlarında esmer çürüklük oluşturan diğer bir delikçikli mantardır. Laboratuvar kültüründe odun üzerinde, beyaz, kısmen sararmış, kolayca kırılabilir yapıda miselyumu görülmektedir (Schmidt, 2006).

Sporoforu, yıllık, 2-3 mm kalınlıkta, taze halde derimsi, kuruduğunda ise oldukça gevrek yapıdadır. Üst yüzeyi, beyaz, gri kahverengi veya mor renklidir. Çevre şartlarından kolay etkilenerek tahrip olan sporofor odun üzerinden koparılmak istendiğinde, çürümüş odunun bir kısmı da mantarla birlikte gelmektedir (Schmidt, 2006).

Odunda belirsiz çizikler ve yeşilimsi kahverenkli veya pembemsi kahverengi şeritler şeklinde uzanan lekelerin oluşması sonrasında, odun kübik parçalar şeklinde çatlaklı bir hal alır ve parmaklar arasında ezildiğinde kolayca ufalanır (Schmidt, 2006; Köse, 2006).

***Neolentinus lepiseus* (Fr.) Redhead & Ginns (Gevrek tanrı-verdi)**

Gloeophyllum türleri gibi açık havaya maruz kalan yapılarda kullanılan iğne yapraklı ağaç odunlarında çürüklük yapan en tehlikeli mantarlardandır. Kreozota karşı tolerans göstermesi nedeniyle kreozotla empenye edilmiş travers ve tel direklerinde güç empenye edilen öz odunlarına arız olarak ağaç malzemeyi içten çürütebilmektedir (Bozkurt vd.,1995; Schmidt, 2006).

Derimsi, esnek, kuruduğunda setleşen sporoforunun şapkası ortadan ya da yandan çıkan bir sap ile supstrata bağlanmaktadır. Şapka ve sap üzerinde sarımsı, kahverengimsi tonlarda dışarı doğru kıvrılmış koyu pullar yer almaktadır. Şapkanın altında beyazımsı ya da sarımsı, alt uçları testere gibi dişli lamelleri bulunmaktadır. Bol ışıktan oluşan bu normal sporofor yapısı yanında ışık olmayan yerlerde geyik boynuzu formunu alan anormal sporoforlar geliştirmektedirler (Bozkurt vd.,1995; Schmidt, 2006).

Çürüklüğün ilerlemesiyle odun renginin koyulaştığı, küp şeklinde çatlaklı yapının görüldüğü tipik esmer çürüklük oluşturmaktadır. *Gloeophyllum* türleri gibi sporları ahşapta çatlaklarda çimlenerek içten dışa doğru gelişen ve ilk evrelerinde tespit edilmesi güç çürüklük oluşturmaktadır. Çürük kısımların kurumadan önce sahip oldukları keskin aromatik reçine kokusu karakteristiktir. Çoğunlukla dışta yer alan empenye edilmiş ince kısmın altında ağır çürüklüğe uğramış bir yapı bulunmaktadır (Boyce, 1948; Bozkurt vd.,1995; Köse, 2000).

***Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex Fr.) P.Kumm. (İstiridy mantarı, Kayın mantarı)**

Amerika ve Avrupa'da çok yaygın olarak kayın, kavak, söğüt, atkestanesi başta olmak üzere geniş yapraklı ağaçlar ile ender olarak göknar ve ladinde yara paraziti olarak, ağaç kütükleri ile yerde

Şekil 16

a) Emprenye edilmiş tel direğinde çatlak boyunca uzanan *Gloeophyllum sepiarium* sporoforu, b, c) *Gloeophyllum* türlerinin oluşturduğu tipik esmer çürüklük sonucu çam odununda yıllık halkaların birbirinden ayrılma görüntüsü (Ölçek: a,b,c 3 cm)



yatan uzun gövde odunlarında saprotrof olarak çürükler yapmaktadır. Binalarda kullanılan ağaç malzemedede görülebilmekte, levha ürünlerinde çürüklüğe neden olmaktadır. Beyazımsı miselyumları yünsü keçe şeklinde bulunmaktadır (Bozkurt vd.,1995; Schmidt, 2006).

Şekil 17

Pleurotus ostreatus'un yelpaze şekilli etsi sproforlarının görünüşü



Yelpaze şekilli etsi sproforlarının üst kısmı gri ya da açık sarımsı kahverengindedir. Alt kısmında beyazımsı lameller substarata bağlandığı kısma doğru uzanmaktadır (Şekil 17). Tamamen sapsız olabileceği gibi substrata bağlandığı arka kısımda kısa, eğik, şapka ile bağlantısı merkezi olmayan bir sapa sahip olabilir (Bozkurt vd.,1995).

Ahşap elemanlar ile levha ürünlerinde ince tabakalar halinde ayrılan beyaz çürüklüğe neden olmaktadır. Çürümüş kısımlar genellikle dar, koyu kahverenkli bir zon (sınır) çizgileriyle çevrilidir. Yonga levhalarda tabaka tabaka yongaların ayrılmasına neden olmaktadır (Bozkurt vd.,1995).

Trametes versicolor (L.) Lloyd (Hindikuyruğu)

Özellikle ılıman iklim kuşağında yer alan bölgelerde hemen tüm geniş yapraklı ağaçların diri odunlarına ve bazı durumlarda iğne yapraklı ağaç odunlarına arız olan saprotrof olarak görülen bir mantardır. Ormanda devrilmiş tomruklar, eski kütükler, çit direği gibi toprakla teması olan ahşaplarda çürüklük oluşturmaktadır (Bozkurt vd.,1995; Schmidt, 2006; Erdin, 2009; Güner vd., 2020).

Birbiri üzerine kiremit gibi yerleşmiş halde bir arada görülen sporoforlarının üst yüzeyi kadifemsi veya satenimsi yapıda kahverengi ve grini farklı tonlarında konsantrik zonlara sahiptir (Şekil 18). Alt yüzeyi krem renginde delikçikli bir yapıya sahiptir (Bozkurt vd.,1995).

Doğal dayanıklı türlerde diri odunu kayın gibi daha az dayanıklı

Şekil 18

Trametes versicolor'un iroko banklarda birbiri üzerine kiremit gibi yerleşmiş sproforları ve oluşturduğu beyaz çürüklük zon çizgilerinin görünüşü



türlerde ise tüm odun kısımlarını tamamen çürütebilme kapasitesine sahip beyaz çürüklüğe neden olmaktadır. Dişbudak ve kayın benzeri ağaçlardan üretilmiş az havalandırılan yerlerde depolanan kerestelerde herbiri ayrı bir çürüklük başlangıç noktası olan lekelerin oluşması çürüklüğün ilk belirtisidir. Ağırlık kaybının artışı ile birlikte tamamen beyaz renge dönen odunu, ileri çürüklük evresinde bile şekil ve hacmini korumaktadır (Bozkurt vd.,1995; Schmidt, 2006; Erdin, 2009).

Xylobolus frustulatus (Pers.) Boidin (Döşeme)

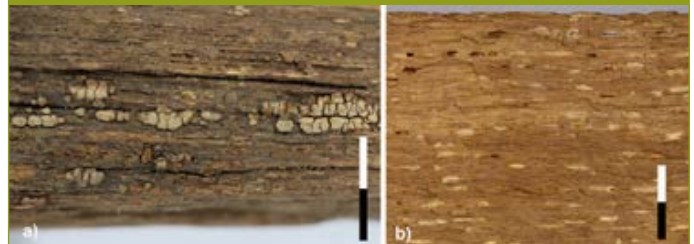
Kuzey Yarım Küre'de ılıman iklim kuşağında yer alan bölgelerde meşe öz odunlarına arız olan saprotrof olarak görülen bir mantardır (Bozkurt vd.,1995; Schmidt, 2006).

Sporoforu çatlamış balcığı andıran renk ve yapıda, birkaç mm kalınlığında bulunduğu malzemenin yüzeyine yayılmış olarak görülmektedir (Şekil 19) (Bozkurt vd.,1995; Schmidt, 2006).

Keklik çürüklüğü olarak adlandırılan beyaz delikçikçi çürüklük yapmaktadır. Çürüklüğün ilk evrelerinde koyu kahverenge dönen odunu üzerinde sonra farklı büyüklüklerde düzensiz olarak dağılmış iğ şeklinde beyaz lekeler oluşmaktadır. Beyaz miselyumla kaplı bu delikçikler yavaş yavaş büyümekte, ancak hiçbir zaman birbirleriyle birleşmemekte, aralarında sağlam odun dokusu kalmaktadır (Şekil 19) (Bozkurt vd.,1995; Schmidt, 2006).

Şekil 19

a) *Xylobolus frustulatus*'un meşe odununda çatlamış balcığı benzeyen sproforları, b) oluşturduğu keklik çürüklüğünün görünüşü (ölçek a,b: 2 cm)



chizophyllum commune Fr. (Kıruk)

Dünyada geniş bir yayılış gösteren bu matar, yeni kesilmiş geniş yapraklı ağaç gövde ve kütüklerinde ilk görülen mantarlardandır. Kuraklığa karşı dayanıklı, ışığı seven bir mantardır. Kesim alanlarında odun istiflerinde, çit kazıklarında, tropik bölgelerden ithal edilen tomruklarda (Şekil 20) yaygın olarak görülmektedir (Bozkurt vd.,1995; Schmidt, 2006).

Şekil 20

Schizophyllum commune'nin kuruduğunda uzunlamasına çatlayan kırmızımsı lamellerinin (a ve b) ve Ozigo tomruğunda sporoforunun görünüşü (c)



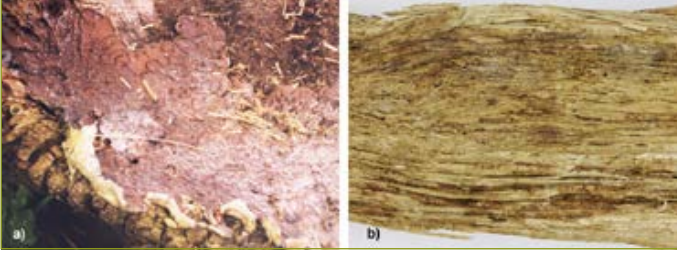
Yelpaze şeklinde, odun üzerine kiremitvari yerleşmiş, gri renkli sporoforlarının kenarları loplu ve üst yüzeyi tüylüdür. Alt yüzünde kuruduğunda uzunlamasına çatlayan mantarın ismini veren kırmızımsı lamelleri bulunmaktadır (Şekil 20). Ancak uzun süre rutubetli kalan tomruklarda ciddi kayıplara neden olan beyaz çürüklük oluşturmaktadır (Bozkurt vd.,1995).

***Stereum sanguinolentum* (Alb. & Schwein.) Fr. (Dalgalı katmantarı)**

Geniş yayılış gösteren, iğne yapraklı ağaç odunlarında, özellikle ladin ve Douglas göknarında, kırmızı öz çürüklüğü ve kırmızı şeritlilik renk değişikliğine (Şekil 21) neden olmaktadır (Bozkurt vd.,1995; Schmidt, 2006).

Şekil 21

a) *Stereum sanguinolentum*'un odun üzerine deri gibi yayılmış sporoforları, b) ladinde oluşturduğu kırmızı şeritliliğin görünüşü



Yaşayan ağaçların ölü dalları veya ölü gövde ve kütüklerde görülen sporoforu çok ince, deri gibi odun üzerine yayılmış, uçları geriye dönmüş halde iç içe giren konsollar oluşturabilir, kenarları çoğunlukla beyaz, üst yüzeyi bejden koyu kahverengine kadar değişen renkler alabilir (Şekil 21), yaralandığında kırmızımsı bir sıvı salgılar (Bozkurt vd.,1995).

Hayvansal Kaynaklı Zararlıların Neden Olduğu Bozunmalar

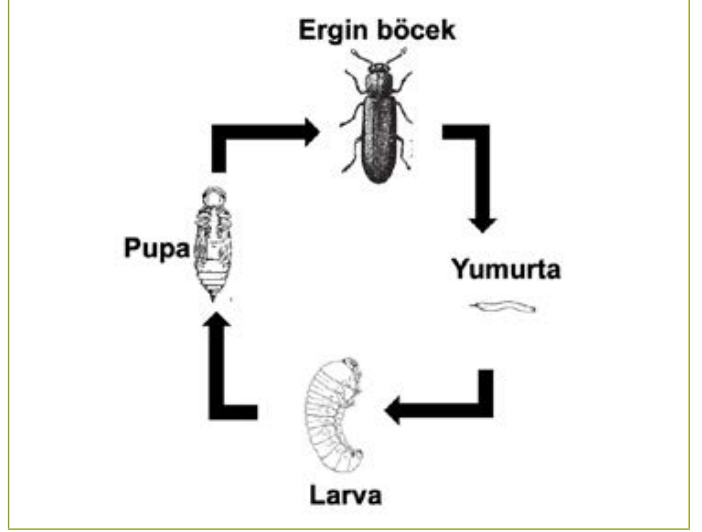
Hayvansal kaynaklı ahşap zararlıları "hayvanlar" aleminin "eklembacaklılar (Arthropoda)" şubesi ile "yumuşakçalar (Mollusca)" şubesine dahil olan organizmalardır. Eklembacaklılar şubesinde ise "böcekler (Insecta)" ile "kabuklular (Crustacea)" sınıfı ahşapta zarar yapan hayvansal kaynaklı organizmaları içermektedir. Böcekler sınıfında "kın kanatlılar (Coleoptera)", "termitler (Isoptera)", "zar kanatlılar (Hymenoptera)" ve "pul kanatlılar (Lepidoptera)" takımlarına dahil olan organizmalar ahşapta zararlar yapmaktadırlar.

Yumuşakçalar şubesine giren canlılar ile kabuklular sınıfına giren canlılar, ahşap deniz içerisinde kullanıldığında zarar yapan deniz organizmalarıdır.

Ahşap gibi lignoselülozik materyaller böcekler tarafından besin, korunak (barınak) ve üreme amaçlı olarak kullanılmaktadır. Kın kanatlılar takımına dahil olan ahşap zararlısı böceklerin benzer yapıları vardır. Kitinden yapılmış bir dış iskelet, segmentli vücutları ve üç çift bacaklara sahiptirler. Bu segmentler, baş (kaput), göğüs (toraks) ve karın (abdomen) olarak belirgin farklılıktadır. Bu takımdaki böcekler metamorfoz (başkalaşım) adı verilen bir yaşam döngüsüne sahip olup, bunlar yumurta, larva, pupa ve ergin dönemlerdir (Şekil 22).

Şekil 22

Böceklerin tam metamorfoz olarak adlandırılan başkalaşımdaki yumurta, larva, pupa ve ergin dönemleri



Larva dönemimin uzun olması ve bu dönemde larvanın beslenme ihtiyacından dolayı ahşapta en büyük zarar böceğin larva döneminde oluşmaktadır. Bu nedenle böcek zararı halk arasında ahşabın kurtlanması olarak adlandırılmaktadır. Larvalar tarafından ahşap içerisinde hem liflere dik hem de paralel düzenli veya düzensiz açılan galerilere ilave olarak, pupanın ergin böceğe dönüşümünden sonra ahşabı terk etmek için açtığı uçuş delikleri de ahşapta zararlara neden olmaktadır (Şekil 23).

Şekil 23

a) Ahşap içerisinde böcek larvaları tarafından açılan galeriler (b) ahşap yüzeyinde ergin böcek tarafından açılan uçuş delikleri



Termitler ise holometabolizma gösteren kın kanatlıların aksine hemimetabolizmaya sahip olup, pupa dönemi olmayıp larva ve erginler aynı morfolojik özellikleri taşırlar (Humar, 2017).

Ahşap Zararlısı Böcekler

Ahşapta en fazla zarar yapan kın kanatlılara ait familyalar ise *Anobiidae*, *Lyctidae*, *Cerambycidae* ve *Bostrychidae* familyalarıdır. Bu familyalardan da;

- *Anobiidae* (tos vuran böcekler) familyasından *Anobium*, *Xestobium*,
- *Lyctidae* (diri odun böcekleri) familyasından *Lyctus*,

- *Cerambycidae* (teke böcekleri) familyasından *Hylotrupes*,
- *Bostrichidae* (odun delenler) familyasından *Bostrichus*,
- Ambrosia böcekleri olarak da gruplandırılan;
- *Lymexylidae* (tersane böcekleri) familyasından *Hylecoetus*, *Lymexylon*,
- *Platypodidae* (öz odun böcekleri) familyasından *Platypus*,
- *Scolytidae* (kabuk böcekleri) familyasından *Xyloterus* ve *Xyleborus* cinsleri önemli ahşap zararlılarıdır.

Türler olarak da;

- *Anobium punctatum* (De Geer, 1774) (mobilya böceği) ve *Xestobium rufovillosum* (De Geer, 1774) (ölüm saati böceği)
- *Lyctus brunneus* (Stephens, 1830), *L. linearis* (Goeze, 1777), *L. africanus* Lesne, 1907 (diri odun / parke böceği)
- *Hylotrupes bajulus* (Linnaeus, 1758) (ev teke böceği)
- *Bostrichus capucinus* (Linnaeus, 1758) (kukuletalı odun delen)
- *Hylecoetus dermestoides* (Linnaeus, 1861), *Lymexylon navale* (Linnaeus, 1758) (tersane böcekleri)
- *Xyloterus lineatus* (A.G.Olivier, 1800), *X. domesticus* Erichson, 1836, *Trypodendron signatus* (J.C.Fabricius, 1792), *Xyleborus monographus* (J.C.Fabricius, 1792), *X. dryographus* Wood & Bright, 1992, *X. dispar* Wood & Bright, 1992, *Xyleborinus saxesennii* Ratzeburg, 1837 (kabuk böcekleri)
- *Platypus cylindrus* (J.C.Fabricius, 1792) (meşe öz odun böceği) böcekleri en önemli ahşap zararlısı böceklerdir.

***Anobium punctatum* (De Geer, 1774) – Mobilya böceği**

Avrupa'da *Anobiidae* familyasında en fazla görülen ahşap zararlısı böcektir. Hem iğne hem geniş yapraklı ağaç türü odunlarından hazırlanan mobilya, müzik aletleri, alet sapları, pencere ve kapı doğramaları, yer ve tavan döşemeleri, paneller, merdiven, çatı makas elemanları, kütük evler vb. ahşap eleman ve yapılarda çok ciddi zarar yaparlar (Şekil 24a). Özellikle diri odun tabakasını tercih ederler (Şekil 24b). Larvaların optimum gelişim sıcaklık isteği 21-24 °C olup, optimum ahşap rutubet istekleri ise lif doygunluğu noktasına yakın rutubet değerleridir. Jenerasyon süresi iklim şartlarına bağlı olarak değişmekle birlikte genellikle 2 ile 3 yıl arasındadır. Larvalar çok sayıda galeriler açarak ahşapta zarar yapmaktadır. Larva, hücre çeperindeki selüloz, hemiselüloz ve

proteinle beslenir. Karakteristik olarak oval dışkıları odun öğütleri içerisinde görülürler. Pupa öncesinde baharda larva ahşabın yüzeyine yakın bölgelerde beslenir ve pupa yüzeye yakın yerde lifler yönünde oluşturulur (Reinprecht, 2016).

***Xestobium rufovillosum* (De Geer, 1774) – Ölüm saati böceği**

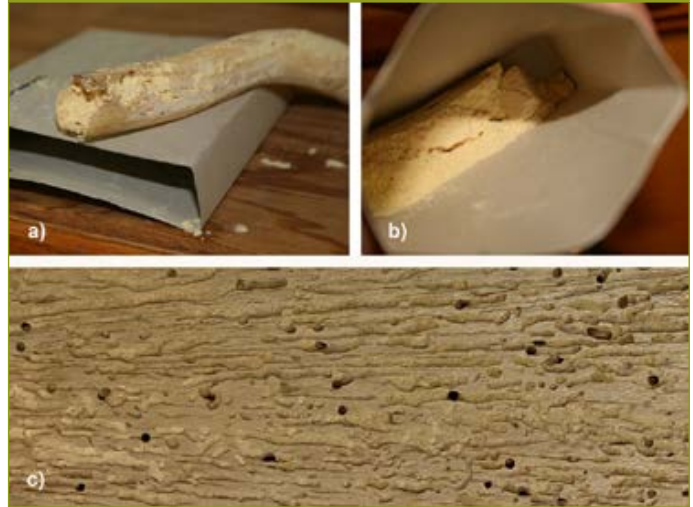
Erkek ve dişi bireylerin birbirleri ile haberleşmek üzere kafalarını galeri duvarlarına vurmaları ile çıkardıkları sestten dolayı bu ahşap zararlısına ölüm saati böceği adı verilmiştir. Ölüm saati böceği Avrupa'da özellikle rutubetli ve çürümeye yüz tutmuş ahşap elemanlarda sık görülmektedir. Meşe ve diğer geniş yapraklı ağaç odunlarında iğne yapraklı ağaç odunlarına göre daha fazla zarar yapmaktadır. Meşede ilkbahar odun tabakası tahrip olurken, yaz odunu tabakası sağlam kalır. Larvaların optimum gelişimi 22-25°C ve %80 bağıl nemde olmaktadır. Ahşabın kahverengine dönüşmesi bu böcek atağında karakteristik bir özellik olup, ahşabın eş zamanlı olarak mantarlar tarafından da çürütülmesinden kaynaklanır (Unger vd., 2001).

***Lyctus brunneus* (Stephens, 1830)– Diri odun/parke böceği**

Avrupa, Kuzey Amerika, Japonya ve Avustralya'da oldukça yaygın bir ahşap zararlısıdır. Nispeten daha düşük rutubetlerdeki (%14-16) ahşabı tercih etmekte ve genellikle de nişastaca zengin geniş yapraklı ağaç türlerinden hazırlanan ahşaba zarar vermektedirler. Larvaların optimum sıcaklık isteği ise 26-27°C'dir. Larvalar ahşapta yüzeye yakın galeriler açarlar. Bu galerilerin içleri çok ince öğütülmüş odun unu şeklinde öğütü tozlarıyla doludur. Ahşapta diri odun tamamen toz haline getirilir (Şekil 25) (Unger vd., 2001; Reinprecht, 2016). Parke, mobilya, panel, ahşap palet ve sandıklarda yaygın olarak atak yaparlar.

Şekil 25

Diri odun (parke) böceği tarafından zarar gören ve toz haline getirilen ahşap ve ahşap üzerinde uçuş delikleri



Şekil 24

a) Mobilya böcekleri tahribatı sonrası kayın ahşap mobilyada görülen uçuş delikleri, (b) ile meşe yapı elemanında oluşan galeriler



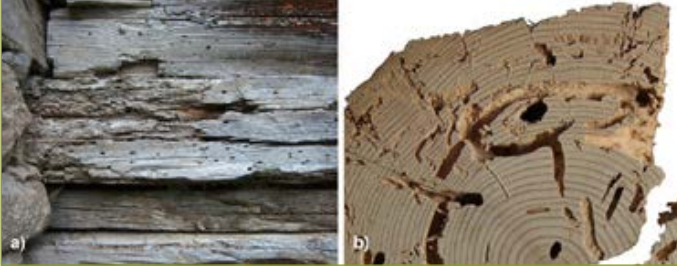
***Hylotrupes bajulus* (Linnaeus, 1758) – Ev teke böceği**

İşlenmiş iğne yapraklı ağaç odunlarından elde edilen özellikle ahşap kiriş, tavan döşemesi, kütük evler, yarı ahşap karkas binalarda, dış yapı ahşap elemanlarında (balkon, köprü vb.) çok sık görülen ve önemli zararlar veren bir böcektir. Ahşap yapılarda zarar derecesi termitler kadardır. Eski ahşap yapılardan daha ziyade yeni yapılara

zarar verirler. Larvaların optimum gelişim sıcaklık isteği 28-30°C, ahşap rutubet isteği ise %30-40'dır. Bir jenerasyon süresi uzun olup 3-7 yıl arasında değişmektedir. İlkbahar odununda oval galeriler açarlar ve galeri çeperleri larvanın yeme izlerini taşır (Şekil 26). Galeriler kaba odun öğüntüleri ile doludur. Ahşabın dış yüzeyinde çok ince sağlam bir tabaka kalana kadar zararlarını devam ettirirler (Unger vd., 2001; Reinprecht, 2016).

Şekil 26

Ahşap üzerinde ev teke böceği ergininin açmış olduğu oval uçma delikleri ve galeriler



***Bostrychus capucinus* (Linnaeus, 1758) – Kukuletalı odun delen böceği**

Avrupa'da yaygın olan bu ahşap zararlısı böcekler kargo sandıkları, kereste ve etnografik objelerde sık olarak görülmektedir. Larvaları geniş yapraklı ağaç türü odunlarının diri odununda ve kabuk altında galeriler açarlar. Galerilerin içleri ince ve açık renkli öğüntüler ile sıkıca doludur (Şekil 27). Bu türün hem larvaları hem de ergin böcekleri ahşapta zararlar vermektedir. Hem kuru hem de rutubetli ahşaba atak yapabilirler. Ahşap fıclar, parke, ahşap kaplama, ahşap ev aletleri ve hediye eşyalarda zararları görülmektedir (Unger vd., 2001).

Şekil 27

Mese ahşap yapı elemanlarının diri odununda odun delen böceğin açmış olduğu içleri sıkıca açık renkli öğüntü tozlarıyla dolu galeriler



Tablo 5'de *Anobidae* (tos vuran böcekler), *Lyctidae* (diri odun böcekleri) *Cerambycidae* (teke böcekleri) ve *Bostrychidae* (odun delenler) familyasından önemli böcek türlerinin larva, ergin böcek, odun öğüntüsü, ahşapta ergin böceklerin açtıkları uçma delikleri, larvaların ahşap içerisinde açmış oldukları galerilerin özellikleri, tahribatta ağaç ve ahşap türleri bilgileri verilmektedir (Schmidt, 2009, 2016 a,b,c, Reinprecht, 2016; Unger vd., 2001; Pournou, 2020, Erdin, 2009; Humar, 2017; Sandberg; 2021).

Ambrosia böcekleri

Lymexylonidae (tersane böcekleri), *Platypodidae* (öz odun böcekleri) ve *Scolytidae* (kabuk böcekleri) familyalarına giren çok sayıdaki ahşap zararlısı böcek Ambrosia böcekleri adı altında sınıflandırılmışlardır. Ambrosia böceklerinin ahşapta yapmış olduğu zarar için yabancı dilde "pinhole" ve "shothole" terimleri kullanılmaktadır. Bu nedenle de küçük odun deliciler olarak da tanınmaktadırlar. Hem iğne yapraklı hem de geniş yapraklı ağaç türü odunlarına zarar vermektedir. Hem öz hem de diri odun tahripçisidirler. Tahribatları daha çok ahşabın estetik görünümünü bozmakta, ağır yapısal tahribat yapmamaktadırlar. Ergin böcekler kabuk böceklerinde 0,8-4 mm, öz odun böceklerinde 4,7-5,8 mm ve tersane böceklerinde ise 6-18 mm arasında olup renkleri kırmızımsı kahverengi veya siyahımsı kahverengidir. Ahşapta açılan galerilerin içleri boş olup, düzgün ve dallanmamış veya çok kısa yan odacıklara sahip ağ şeklindedir. Galeri duvarları mavimsi siyah renktedir (Erdin, 2009).

Zar kanatlılar takımına ait *Formicidae* familyasından *Camponotus* spp. (marangoz karıncalar) da önemli ahşap zararlısı organizmalar olarak kabul edilmektedir. Bunun yanında zar kanatlılar takımından "odun arıları" da önemli zararlı böceklerdir.

***Camponotus* spp. – Marangoz karıncalar**

Marangoz karıncalar genellikle kütükler, ağaçlar ve tomruklarda görünmesine rağmen, direkler, yapısal kereste ve ahşap yapılar da zararlar yapabilmektedirler. Siyahımsı kahve renkli olup normal karıncalardan çok daha büyüktürler. Ahşapta açılan galeriler genellikle düzgün, lif yönünde ve içleri boştur (Şekil 28). Termitlerin aksine, marangoz karıncalar ahşabı koruyak olarak kullanırlar. Yumuşak veya çürümekte olan ahşabı tercih ederler. Bu yüzden rutubetli ahşapla doğrudan ilişkilidirler. Bazı ülkelerde termitler kadar tehlikelidirler. Veranda direkleri, veranda çatıları, pencere pervazları, içi boş kapılar ve kütük evlerde sık olarak görülmektedirler (Forest Products Laboratory, 2021).

Şekil 28

Marangoz karınca (*Camponotus* spp.) atağına uğramış ahşap



***Sirex juvencus* (Linnaeus, 1758) ve *Urocetus gigas* (Linnaeus, 1758) – Odun arıları**

Odun arıları genellikle sağlıklı ağaçlara atak yapmakla birlikte taze kesilmiş iğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaç tomruklarına da zarar verirler. Zararlar ahşap yapılara da uzanabilir, fakat genç dişi böcekler kuru kabuksuz keresteye arız olmazlar. Larvasının açtığı galeriler dairemsi şekilde olup nispeten uzun ve odun renginde öğüntülerle sıkıca doludur. Uçma delikleri 4-10 mm yuvarlaktır.

Tablo 5
Bazı ahşap zararlısı böcekler ve ahşapta tahribat özellikleri

Türkçe adı/Latince adı	Larva	Ergin böcek	Öğütüsü	Ucma delikleri	Galeriler	Ağac türü tercihi	Atak yaptığı ahşap	Anaşpita tahribatı
Mobilya Böceği 	Fildişi renginde, kurtçuk şeklinde kıvrık, göğsü kalınlaşmış, karnı daralmış, 3 çift 5 eklemlî bacakları mevcut, 4-6 mm uzunluğunda. 2-5 yıl odun içerisinde beslenirler.	Yuvarlak- silindirik seklinde koyu kahverenginde 3-5 mm uzunluğunda. Yandan bakıldığında kafasının üstünde kapısının gibi boğumlu boyun kalkanı mevcut.	Kumlu yapıda, toz halinde, limon şeklinde peletler (böcek diskisi) içerir.	1-2 mm çapında, yuvarlak.	Düzensiz, 1-2 mm çapında, genellikle diri odunda kısa, ve liflere paralel. Kısmen kolay ufalanan öğütü tozları ve peletler ile geşekçe doldurulmuş.	Geniş ve iğne yapraklı ağac odunları.	Mobilya, heykel, resim çerçevesi, panel resimleri, yer döşemeleri, merdiven trabzanları ve yapısal kereste, kontrplak. Optimum odun rutubet tercihi: %28-30.	
Ölüm Saati Böceği 	9-11 mm uzunluğunda, altın sarısı tüylü, kıvrık, 12-14 yıl odun içerisinde beslenirler.	4,5-9 mm uzunluğunda, koyu kahverenkli, vücutlarında düzensiz dağılmış sarımsı-gri tüylü lekeler mevcut.	Toz halinde ancak kumlu ve pütürlü, yassı merccek şeklinde peletler içerir.	2-4 mm çapında, yuvarlak.	Düzensiz, 2-3 mm çapında, uzun, bal peteği şeklinde. Galerinin içi öğütü tozları ile dolu.	Mese ve diğer geniş yapraklı ağac diri ve özodunları, ender olarak iğne yapraklı ağac odunları.	Nemli, çürümeye başlayan yapısal keresteler oyma eşyalar ve heykeller.	
Ev Teke Böceği 	Fildişi renginde ve kuwevli koyu renkli parçalayıcı ceneleleri mevcut. 15-30 mm uzunluğunda, 3-10 yıl odun içerisinde beslenirler.	Dişiler 10-25 mm, erkekler 8-16 mm uzunluğunda. Koyu esmer - kahverenkli, beyazımsı gri tüylü ve yassı vücutlu. Kanat örtüleri üzerinde V şeklinde küçük tüylerden oluşan iz mevcut.	Kaba lifli ve yongalı, sosis şeklinde peletler içerir.	Düzensiz, oval [5-10 x 3-5 mm).	Oval galeriler ahşap yüzeyine yakın seyredir ve dış yüzeyde sadece kağıt kalıngında sağlam tabaka kalır. Galerinin duvarları genellikle çok ince yvli.	İğne yapraklı ağac odunları.	Yapısal kereste, bina içi ahşap süslemeler, boyalı ahşap kaplamalar, yarı ahşap binalar, çit direkleri, elektrik direkleri, nadiren ahşap mobilyalar.	
Parke (Diri Odun) Böceği 	Beyazımsı, kurtçuk şeklinde, kıvrık, 6 mm uzunluğunda. Bacakları 3 segmentli, 1-2 yıl odun içerisinde beslenirler.	2,5-8 mm uzunluğunda, kırmızımsı kahverengi - siyahımsı kahverengi, yassı ve uzun vücutlu. .	Toz şeklinde fakat son derece ince (un, pudra gibi).	Yuvarlak, 1-1,5 mm çapında.	1-2 mm genişliğinde, düzgün, esas olarak lif yönünde seyredir, yumuşak bir dönüşle birbirine bağlıdır. Böcek zararı diri odun tamamen toz haline getirdiğinden çok asırdır. Odun yüzeyinde çok ince bir tabaka saaglam kalır.	Ilman iklim kusağında mese, dişbudak, karaağaç ve ekzotik türlerden limba, abachi ve bambularda atak yaparlar. Nisastaca zengin geniş yapraklı ağac diri odunlarına arız olur.	Parke, kaplama levhalar, mobilyalar, ahşap paneller, palet ve sandıklarda, etnografik objeler, doğramalar.	
Kukuletalı Odun Delen Böceği 	Beyazımsı, kurtçuk şeklinde, kıvrık, 8-10 mm uzunluğunda. 1 yıl odun içerisinde beslenirler.	Koyu kahverengi - siyahımsı, 3-30 mm büyüklüğünde.	İnce fakat Lyctuslardan daha kaba.	Yuvarlak, 2,5-4 mm çapında.	Larvalar diri oduna dairesel galeriler açar. Galerilerde pelet yok, açık renkli öğütü tozu ile sıkıca dolu.	Larvalar nisastaca zengin geniş yapraklı ağac odunlarını tercih eder. Hem larva hem de ergin böcek zarar yapar. Hem kuru hem de yaş odunları tercih ederler.	Ahşap fiçiler, parke, kaplamalar, ahşap ev aletleri ve hediyeelik eşyalard.	

En tehlikeli türler sarı gövdeli odun arısı, dev odun arısı (*Urocerus gigas*) ve mavi gövdeli büyük odun arısı, siricid odun arısı (*Sirex juvencus*) dır (Reinprecht, 2016).

Ahşapta Zarar Yapan Böcekleri Önleme ve Kontrol İşlemleri

Önleme işlemleri

Ahşapta böcek enfeksiyonunun önlenmesi, larvaların beslenme ve büyüme aktiviteleri nedeni ile her zaman mümkün olmayabilir. Ancak, ahşap yapılarda kurutulmuş kereste kullanımı ve ahşap elemanların sürekli kontrol edilmesi ile böcek zararı azaltılabilir. Ahşabın açıkta kalan yüzeylerine poliüretan esaslı vernik, cila veya boya uygulanması böceklerin yumurta bırakmalarını engelleyebilecektir. Bunun yanında yakacak odunların kabuklarının soyulması ve bina dışında depolanması gerekmektedir. Çatı ve bodrum katlarında iyi havalandırma ve iklimlendirmenin de ahşap rutubetinin larvaların ihtiyaç duyacağı seviyelerinin altında tutulmasında yararı olacaktır. Öte yandan ahşabın böceklerle karşı etkin koruyucu emprenye maddeleri ile emprenye edilmesi en önemli önleme işlemleridir. Bu özellikteki emprenye maddeleri ahşaba vakum-basınç metotları ile ahşaba uygulanabileceği gibi, daldırma ve yüzeye sürme gibi işlemlerle de koruma önlemleri alınabilir. İnsektisit karakterde koruyucu maddeler ve uygulamaları bu kitabın "Ahşabın Korunması" bölümünde verilecektir.

Kontrol işlemleri

Kimyasal olmayan kontrol işlemleri – Isıl işlemler ahşap zararlı böceklerin kontrol edilmesinde etkili bir uygulamadır. Özel ısı işlem fırınlarında ahşap sıcaklığının 56 °C'ye çıkartılıp 30 dakika bekletilmesi ile ahşap içerisindeki larva ve ergin böcekler öldürülebilmektedir.

Kimyasal kontrol işlemleri – Önceden koruma önlemi alınmamış ahşap eleman ve yapılarda ortaya çıkan böcek enfeksiyonları, uygun insektisit uygulamaları ile kontrol edilebilmektedir. İnsektisitler sıradan spreyler ile veya bir fırça yardımı ile ahşap yüzeylerine iki kat uygulanabilir. Ancak bu tür işlemler yüzeysel bir tabaka oluşturup ahşabın iç kısımlarına nüfuz etmeyeceğinden ergin böcekler uçuşma deliklerinden çıktıktan sonra böcekleri kontrol edebilmektedir. Ahşap yüzeylerde delik, çatlak, oyuk, açıklık varsa buralara insektisit madde bir enjektör yardımı ile tekrarlı olarak uygulanabilir. Eğer ahşap yapıda yoğun böcek enfeksiyonları var ise inorganik veya organik gazlama maddeleri ile gazlama işlemleri (fumigasyon) yapılarak böcek erginleri, yumurtaları, pupa ve larvaları öldürülebilir.

Ahşap Zararlısı Termitler

Termitler "böcekler" sınıfının "Isoptera" takımına dahil organizmalar olup, renklerinden dolayı sıklıkla ve hatalı olarak beyaz karıncalar olarak da adlandırılan ve koloniler halinde yaşamlarını sürdüren sosyal canlılardır. Esas olarak tropik ve subtropik ülkelerde yayılım göstermektedirler. Tüm dünyada 2000'den fazla termit türü bulunmakta olup, 70-80 türü ahşapta zarar yapmaktadır. Termitler sindirim sistemlerinde protoza adı verilen ve selülozun sindirilmesinde simbiyotik (ortak) bir yaşam sürdürdükleri organizmalar içerirler. Sosyal canlılar olmaları nedeni ile koloni içerisinde kral, kraliçe, nimf, askerler, işçiler ve üreyimli bireyler

bulunmaktadır. Bu bireyler termit türleri arasında farklılıklar göstermektedir. Bir termit kolonisi içerisinde 1000 ile 2 milyon arasında birey bulunabilmektedir. Termitler "dereceli metamorfoz" adı verilen bir yaşam döngüsüne sahip olup, oduna arız olan böcekler gibi larva ve pupa dönemleri yoktur. Yumurtadan çıkan ilk birey nimf olarak adlandırılır ve döngü boyunca çeşitli değişimler ile koloni içindeki diğer bireylere dönüşürler (Randall, 2015; Reinprecht, 2016).

Ahşap zararlısı termitler için 26-32 °C sıcaklık ve %70-90 arasındaki bağıl nem şartları ideal yaşam koşulları olup, ahşap gibi materyallerin dışında ahşap kompozitler, kâğıt, karton, mukavva ve tekstil ürünleri ile kauçuk, plastik ve yumuşak materyallere de zarar vermektedirler. Termitler ahşapta daha yumuşak olan ilk-bahar odun tabakasını tercih ederler ve ahşap içerisinde sıra dışı labirent formu oluşturarak tahribatlarını gerçekleştirirler. Termit aktiviteleri esas olarak ahşabın iç kısımlarında yoğunlaşır ve ahşap içerisinde büyük galeriler açar. Bu yüzden termit zararı ahşap yapı tamamen tahrip olup yıkılana kadar çoğu zaman dışarıdan görülmez (Reinprecht, 2016).

Ahşapta zarar yapan termitler aktiviteleri bakımından 2 gruba ayrılabilir:

- Toprakta veya toprak altında yaşayanlar (*Rhinotermitidae* familyası)
- Ahşapta yaşayanlar (*Hodotermitidae* ve *Kalotermitidae* familyaları)

Toprak altı termitleri kolonilerini toprakta oluşturup, toprak içerisinde oluşturdıkları galeriler ile toprak üstündeki 20-100 m uzaktaki ahşap yapılara ve malzemelere ulaşabilmektedirler. Toprak altı termitlerinin işçileri hem rutubetli hem de kuru ahşaba saldırabilmektedirler. Avrupa'da bilinen en önemli türleri *Reticulitermes lucifugus* (Rossi, 1792), *R. santonensis* Feytaud, 1924, *R. flavipes* (Kollar, 1837)'tir (Şekil 29). *R. lucifugus*'ün işçi bireyleri 4,5 mm, beyaz-pigmentsiz olup, asker bireyleri ise 5-6 mm uzunluğunda, koyu renkli pigmentli başları ile dikkat çekerler (Reinprecht, 2016).

Şekil 29

a) *Reticulitermes flavipes* (toprak altı termitleri) ve b) ahşap test örneklerinde atakları



Bunun yanında *Coptotermes formosanus* Shiraki, 1909 toprak altı termitleri Japonya, Çin, ABD ve Avustralya'da ekonomik olarak en zararlı türlerdir (Şekil 30).

Şekil 30

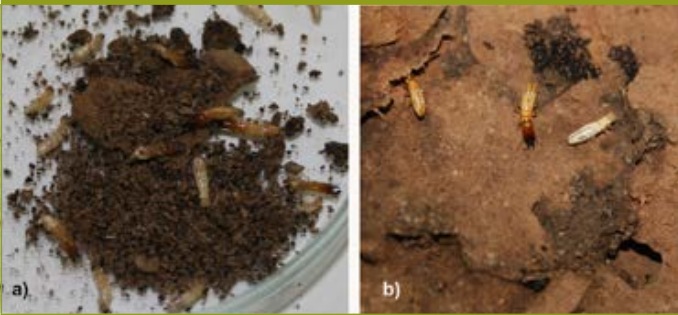
a) *Coptotermes formosanus* (toprak altı termitleri) işçi ve asker bireyleri, b) zarara uğramış ahşap



Ahşapta yaşayan ıslak odun termitleri (*Hodotermitidae*) esas olarak nemli ahşap ile toprakla temas eden rutubetli ahşaba atak yapmaktadırlar. Ahşapta yaşayan kuru odun termitleri ise (*Kalotermitidae*) hava kuru ahşaba, özellikle ahşap yapılarda, önemli derecelerde zararlar vermektedir. Ahşap yapılarda kirşlerden mobilyalara kadar çok çeşitli ahşap elemanlarda görülmektedirler. En iyi bilinen türleri sarı boyunlu kuru odun termitleri (*Kalotermitidae* *flavicollis* (Fabricius, 1793))'dir (Şekil 31). İşçileri 4-7 mm, askerleri ise 7-9 mm uzunluğunda olup, bu termitler ahşabı toprak altı termitleri gibi çok şiddetli şekilde tahribata uğratırlar. Kolonileri ise toprak altı termitlerine göre çok daha az sayıda (1000-1500) bireyden oluşmaktadır (Reinprecht, 2016).

Şekil 31

a) Kuru odun termitleri (*Kalotermitidae* *flavicollis*), b) zarar gören malzeme



Diğer önemli kuru odun termitleri *Cryptotermes brevis* (Walker, 1853) ve *Incisitermes minor* (Hagen, 1858)'dir (Şekil 32).

Şekil 32

a) Kuru odun termitleri (*Incisitermes minor*), b) zarar gören ahşap



Ahşapta Zarar Yapan Termitleri Önleme ve Kontrol İşlemleri

Esas olarak termitlere karşı alınacak önleme ve kontrol işlemleri, ahşap zararlısı böceklerle karşı alınacak önlemler ve kontrol işlemleri ile benzerlik göstermektedir. Özellikle toprak altı termitlerine karşı alınacak en önemli önlem ahşabın kuru tutulmasıdır. Bunu sağlamak için de ahşap yapıları ve onu oluşturan ahşap elemanları toprak ve su temasından uzak tutmak gerekmektedir. Ancak yapısal önlemlerin alınması ve hijyenik şartların sağlanması her zaman başarılı sonuçlar vermemekte, bu durumda termitlere karşı etkin kimyasal koruyucu maddelerle ahşabın empenye edilmesine gerek duyulmaktadır. Bunun yanında ahşap yapı ile toprak arasında fiziksel (metal levha, beton tabaka, taş ve çakıl dökme vb.) veya kimyasal bariyerlerin (toprağa termitlere karşı etkin sıvı veya toz karakterde kimyasal maddelerin dökülmesi) yerleştirilmesi toprak altında termitlerin ahşap yapıya ulaşmasını engelleyebilecektir. Ayrıca ahşap yapının yakınlara termit tuzaklarının yerleştirilmesi termitlerin gözlenmesi ve kontrol altına alınmasında da önemlidir. Ahşap zararlısı böceklerde olduğu gibi termitlerin kontrol edilmesinde ahşap yapıların fumigasyon işlemleri veya ısıtma işlemleri termitlerin kontrol edilmesinde önemli metotlardır.

Ahşap Zararlısı Deniz Organizmaları

Ahşaba zarar veren deniz organizmaları, yumuşakçalara (Mollusca) ait *Teredinidae* (deniz kurtları), *Pholadidae* (pholad) ve *Xylophagidae* familyaları ile kabuklulara (Crustacea) ait *Limnoriidae* ve *Sphaeromitidae* ile *Cheluridae* familyalarına giren canlıları içermektedir.

Yumuşakçalardan;

- *Teredinidae* familyası içerisinde *Teredo*, *Bankia* ve *Nausitoria*,
- *Pholadidae* familyası içerisinde *Martesia* ve
- *Xylophagidae* familyası içerisinde *Xylophaga*,

Kabuklulardan ise;

- *Limnoriidae* familyasından *Limnoria*, *Paralimnoria*,
- *Cheluridae* familyasından *Chelura*

önemli deniz organizmalarıdır (Pournou, 2020).

Ahşap tuzlu su veya deniz içerisinde kullanıldığında mantar ve bakterilere oranla ahşaba zarar veren deniz organizmaları, daha kısa sürede çok şiddetli tahribat yapabilmektedirler. Tahribatın derecesi su sıcaklığı ve tuzluluk derecesine bağlı olduğu kadar, ağaç türü, doğal dayanıklılık sınıfı, odun yoğunluğu ve sertliği, odun içerisindeki silika, alkaloit ve ekstraktif madde miktarına da bağlıdır. Deniz iskele direkleri, rıhtım ve iskele elemanları, ahşap bot ve gemiler ve benzeri deniz içi inşaat elemanları deniz organizmalarının ataklarına uğramaktadırlar. Bazı türler ahşabı besin maddesi olarak tüketmekte iken bazıları da korunak ve barınma yeri olarak kullanmakta ve odunu sindirememektedirler (Pournou, 2020).

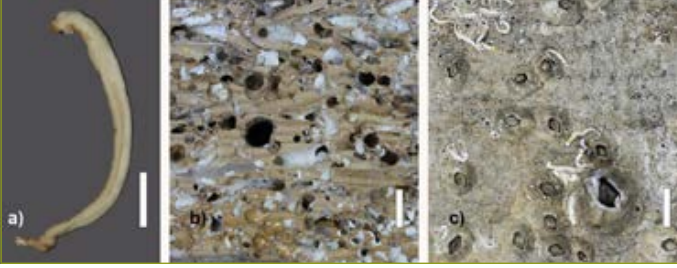
Deniz zararlısı yumuşakçalar

***Teredo navalis* Linnaeus, 1758 (deniz kurtları)** – Bu deniz zararlıları ahşap içerisinde uzunluğu 100-1200 mm'yi bulan yuvarlak 6-8 mm çapında galeriler açarlar. Bu canlılar odunu sindirmede kendi

enzimlerini kullanarak selülozu ve kısmen de hemiselülozu tüketirler. Larvalar 0,1-1,2 m uzunluğa kadar ulaşabilir. Yaklaşık %0,9 – 3,5 oranında tuzluluğa sahip sıcak deniz sularını tercih ederler. Geniş yapraklı ağaç odunlarının diri odunlarını tahrip ederler. Galeriler içindeki tüm odunu tüketirler ve geriye beyazımsı kalsiyum tabakası ile kaplı galeriler bırakırlar (Şekil 33) (Reinprecht, 2016).

Şekil 33

a) *Teredo navalis*, b) ahşapta açılan içleri kalkmış galeriler c) içerisinde galeriler açılmış ahşabın dış yüzü (Ölçek a,b,c: 1 cm).



Deniz zararlısı kabuklular

***Limnoria lignorum* (Rathke, 1799)** – Bu canlılar parçalayıcı çeneleri ile ahşabı sadece yüzeysel bozunmaya ve erozyona uğratırlar ve bozunma genellikle 6-20 mm ile sınırlıdır. Bu şekilde yüzeysel erozyon sonucu deniz içerisinde kullanılan ahşapta bölgesel daralma/incelmeler (kum saati oluşumu) belirgin olarak ortaya

Şekil 34

a) Atağa uğramış ve bölgesel incelmeye gösteren bir iskele direği ile b-c) yüzeyinde oluşan delik ve erozyon.



çıkılmaktadır. Bu canlılar 4-5 mm uzunluğunda olup, ahşap yüzeyinde 1,5-2 mm çapında delikler açarlar (Şekil 34). Hem iğne hem de geniş yapraklı ağaç odunların ilkbahar tabakalarını tahrip edebilirler. %1,5 tuzluluğa sahip soğuk suları tercih ederler.

Ahşapta Zarar Yapan Deniz Organizmalarına Karşı Alınacak Önlemler

Alınacak en önemli önlemlerden bir tanesi bu organizmalara karşı doğal dayanıklılık özelliği gösteren ağaç türü odunlarından hazırlanacak ahşabın deniz içi inşaatlarda kullanımıdır. Ak meşe ve kestane ağacının sadece öz odunları ile ardıç, sedir, karaağacın yine sadece öz odunları tercih edilebilir. Lignum vitae (Iron wood), teak, iroko, pelesenk, opepe, azobe, makore, afzelia, padouk, afrormosia, merbau, wenge, makore, mansonia, bilinga, greenheart, ironbark, jarrah, kapur, muninga, okan ve turpentine gibi egzotik ağaç türü odunları da kullanılabilir.

En iyi önlem ise deniz içinde kullanılacak ahşabın kimyasal maddeler ile emprenyesi olacaktır. Emprenye maddelerinden Tanalith C (CCA- bakır/krom/arsenik) 40-48 kg/m³ tuz retensiyonunda, ACZA (amonyaklı bakır çinko arsenik) 40-48 kg/m³ tuz retensiyonunda ve kreozot ise 320-400 kg/m³ absorpsiyon miktarında ahşap malzemeye verilerek koruma sağlanabilmektedir.

Bunların yanında su içerisinde kullanılacak ahşap direklerin etrafının galvanizli ve korozyona dayanıklı metal tabakalarla kaplanması da etkili bir yöntemdir. Ayrıca bu tür malzemelerin beton ile kaplanması veya plastik ve fiberglas kaplamalar kullanılması da bazı durumlarda başarı ile sonuçlanmaktadır (Shupe vd., 2008; Forest Products Laboratory, 2021).

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Declaration of Interests: The authors declares that there are no competing interests

Kaynaklar

Arantes, V., Goodell, B. (2014). Understanding of Brown-Rot Fungal Biodegradation Mechanisms: A Review. In Deterioration and Protection of Sustainable Biomaterials; Schultz, T., et al.; ACS Symposium Series; American Chemical Society: Washington, DC. [\[Crossref\]](#)

Björkdal, C. G., Nilsson, T., Daniel, G. (1999). Microbial decay of waterlogged archaeological wood found in Sweden. *International Biodeterioration and Biodegradation* 43, 63-73. [\[Crossref\]](#)

Blanchette, R. A. (2000). A review of microbial deterioration found in archaeological wood from different environments. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 46(3), 189-204. [\[Crossref\]](#)

Blanchette R. A. (1995). Biodeterioration of archaeological wood. *CAB Abstr* 9, 113-127.

Blanchette, R.A., Nilsson, T., Daniel, G., Abad, A. (1990). Biological degradation of wood. In: Archaeological Wood: Properties, Chemistry, and Preservation, Advances in Chemistry Series vol. 225, R. M Rowell, and R.J. Barbour. American Chemical Society, Washington, DC. [\[Crossref\]](#)

Boyce, J.S. (1948). Forest Pathology, 2nd Ed., McGraw-Hill, New York. 550 s.

- Bozkurt, A.Y., Göker, Y., Erdin, N. [1993]. Emprenye Tekniği. İÜ Yayın No: 3779, OF Yayın No: 425. ISBN: 975-404-327-2. 429 s.
- Bozkurt, A. Y., Erdin, N., Ünlügil, H. (1995). Odun Patolojisi Ders Kitabı. İÜ Yayın No: 3878, OF Yayın No: 432. ISBN: 975-404-403-1. 398 s.
- BS EN 335-1. [2013]. Durability of wood and wood-based products - Use classes: definitions, application to solid wood and wood-based products.
- BS EN 350. [2016]. Durability of wood and wood-based products. Testing and classification of the durability to biological agents of wood and wood-based materials.
- Butin, H. (1995). Tree Diseases and Disorders. Causes, Biology and Control in Forest and Amenity Tress. Oxford University Press. ISBN: 0-19-854932-6, 252 s. [Crossref]
- Cartwright, K. ST. G., Findlay, W. P. K. [1946]. Decay of Timber and Its Prevention, Her Majesty's Stationery Office. London. 294 s.
- Daniel, G. [2014]. Fungal and Bacterial Biodegradation: White Rots, Brown Rots, Soft Rots, and Bacteria. In Deterioration and Protection of Sustainable Biomaterials; Schultz, T., et al.; ACS Symposium Series; American Chemical Society: Washington, DC. [Crossref]
- Eaton, R.A., Hale, M.D.C. (1993). Wood: Decay, Pets and Protection. Chapman&Hall, London. ISBN: 0-412-53120-8, 546 s.
- Erdin, N., Köse, C. [2004]. Küf mantarlarının boyanmış ahşap yüzeylere etkileri. *İ.Ü Orman Fakültesi Dergisi*. Seri B, 54 (2):43-60.
- Erdin, N. [2009]. Ahşap Konservasyonu. İÜ Yayın No: 4840, Orman Fakültesi Yayın No: 492. ISBN: 978-975-404-842. 137 s.
- Eriksson K. L., Blanchette, R. A., Ander, P. [1990]. Microbial and Enzymatic Degradation of Wood and Wood Components. Springer, Berlin. ISBN: 978-3-642-46687-8. 407 s. [Crossref]
- Floudas, D., Held, B. W., Riley, R., Nagy, L. G., Koehler, G., Ransdell, A. S. ... & Hibbet, D. S. [2015]. Evolution of novel wood decay mechanisms in Agaricales revealed by the genome sequences of *Fistulina hepatica* and *Cylindrobasidium torrendii*. *Fungal Genetics and Biology*, 76, 78-92. [Crossref]
- Fengel, D., Wegener, G. [1989]. Wood Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Walter de Gruyter. Berlin, New York. ISBN: 3-11-012059-3. 632 s.
- Fleet, C., Breuil, C., Uzunovic, A. [2001]. Nutrient consumption and pigmentation of deep and surface colonizing sapstaining fungi in *Pinus contorta*. *Holzforschung* 55 (4):340-345. [Crossref]
- Forest Products Laboratory. [2021]. Wood handbook wood as an engineering material. General Technical Report FPL-GTR-282. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 543 s.
- Gündüz, G. [2007]. Ahşap korumada rutubet izoterm eğrileri haritası: Türkiye örneği. *ZKÜ Bartın Orman Fakültesi Dergisi* 9 (1): 26-33.
- Güner, A., Akata, I., Akgül, H., Akyüz, E., Alkayış, M.F., Allı, H. ... & Yaşarkan, O. [2020]. Türkçe Mantar Adları. Eds: E. Sesli, A. Asan, F. Selçuk. Türkiye Mantarları Listesi. Ali Nihat Gökyiğit Vakfı Yayını. İstanbul. ISBN: 978-605-70004-2-2. 1177 s.
- Humar, M. [2017]. Protection of the biobased material. Eds: D. Jones, C. Brischke. Performance of Bio-based Building Materials. Elsevier-Woodhead Publishing. 650 s.
- Kantay, R., Köse, C. [2009]. Orman işletme depoları ve depolama teknikleri. *İ.Ü Orman Fakültesi Dergisi*. Seri B, 59 (1):75-92.
- Kartal, S.N. [1992]. Effects of weathering on wood degradation. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* Seri B, 42 (1-2):169-176.
- Kartal, S.N. [2014]. Tarihi ahşap yapılarda biyotik/abiyotik bozunmalar ve koruma/bakım önlemleri. *KUDEB Restorasyon Konservasyon Çalışmaları Dergisi* 16: 51-58.
- Kavanagh, K. [2014]. Mantarlar: Biyoloji ve Uygulamalar, İkinci Baskı. (D. Ünal Özakça, Çev.) Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti. 366 s.
- Köse, C., Doğu, A. D., Kartal, S. N., Erdin, N. [2013]. Microbial decomposition of wooden marine piles from the ancient Byzantine port of Eleutherius/Theodosius in Istanbul, Turkey. Proceedings of the 12th ICOM-CC Group on wet organic archaeological material conference Istanbul 2013.
- Köse, C., Taylor, A.M. [2013]. Preliminary evaluation of degradation patterns in wood samples from the Yenikapı shipwrecks. International Research Group on Wood Preservation, IRG-WP 13-10798, Stockholm, Sweden.
- Köse, C., Taylor, A.M. [2012]. Evaluation of mold and termite resistance of included sapwood in eastern red cedar. *Wood And Fiber Science*, 44(3), 319-324.
- Köse, C., Kartal, S. N. [2010]. Tolerance of brown-rot and dry-rot fungi to CCA and ACQ wood preservatives. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 34, 181-190. [Crossref]
- Köse, C., [2008]. Evaluation of decay, oxalic acid production and strength loss in wood by the dry rot fungus, *Serpula lacrymans*. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* Seri A, 58 (2):15-28.
- Köse, C. [2006]. Esmer Çürüklükte Oksalik Asidin Önemi. Doktora Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. 210 s.
- Köse, C. [2000]. Esmer Çürüklük Mantarlarının (Basidiomycetes) Odunun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. 113 s.
- Kumar, M., Pandey A., Ezhumalai, R., Shukla, S. [2022]. Wood Decay by Fungi: Challenges and Prevention. Ed: R. Sundararaj. Science of Wood Degradation and its Protection. Springer, Singapore. ISBN: 978-981-16-8797-6. 744 s.
- Morrell, J. [2022]. Mold and pallets: an update. National Wooden Pallet & Container Association.
- Pournou, A. [2020]. Biodeterioration of Wooden Cultural Heritage - Organisms and Decay Mechanisms in Aquatic and Terrestrial Ecosystems. Springer Nature Switzerland AG. ISBN 978-3-030-46503-2. 538 s. [Crossref]
- Randall, C.J. [2015]. Management of wood-destroying pests - a guide for commercial applicators. Category 7B. Extension Bulletin E-2047, Michigan State University Extension October 27, 2015, 124 s.
- Rayner A. D. M., Boddy, L. [1988]. Fungal Decomposition of Wood. Its Biology and Ecology. Wiley, Chichester. ISBN: 978-0471103103, 602 s.
- Reinprecht, L. [2016]. Wood Deterioration, Protection and Maintenance. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, , 357 s. [Crossref]
- Rowell, R. M. [2005]. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites. Taylor & Francis, CRC Press. ISBN 0-8493-1588-3. 473 s. [Crossref]
- Sandberg, D., Kutnar, A., Karlsson, O, Jones, D. [2021]. Wood Modification Technologies Principles, Sustainability, and the Need for Innovation. Taylor & Francis, CRC Pres. ISBN: 978-1-351-02822-6. 431s. [Crossref]
- Scheffer, T.C. [1971]. A climate index for estimating potential for decay in wood structures above ground. *Forest Products Journal*, Vol.21:10.
- Scheffer, T.C., Morrell, J.J. [1998]. Natural durability of wood: A worldwide checklist of species. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Research Contribution 22. 58 s.
- Schmidt, O. [2006]. Wood and Tree Fungi, Biology, Damage, Protection, and Use. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Schmidt, U. [2009]. *Hylotrupes bajulus* (Linné, 1758) female, Familie: Cerambycidae size, 15,4 mm, Location: Mallorca Puerto De Solter. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hylotrupes_bajulus_\(Linné,_1758\)_female_3962355019.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hylotrupes_bajulus_(Linné,_1758)_female_3962355019.jpg)
- Schmidt, U. [2016a]. *Anobium punctatum* (Geer, 1774) Family: Ptinidae (Anobiidae), Size: 3,6 mm (2,5 to 5,0 mm), Location: Germany, Bavaria, Upper Franconia, Kulmbach. <https://www.flickr.com/photos/coleoptera-us/28692210695/in/photostream/>
- Schmidt, U. [2016b]. *Xestobium rufovillosum* (Geer, 1774), Family: Ptinidae (Anobiidae), Size: 6,2 mm (5,0 to 9,0 mm), Location: Germany, Bavaria, Upper Franconia, Kulmbach, Rotmain valley, in a willow tree. <https://www.flickr.com/photos/coleoptera-us/28502251946/in/album-72157625639563918/>
- Schmidt, U. [2016c]. *Bostrychus capucinus* (Linné, 1758), Family: Bostrychidae (Bostrychidae) (Lyctidae) Size: 12,7 mm (6,0 to 15,0 mm) Location: Germany, Bavaria, Upper Franconia. <https://www.flickr.com/photos/coleoptera-us/27941040505>
- Schwarze, F.W.M.R., Engels, J., Mattheck, C. [2000]. Fungal strategies

of wood decay in trees. Springer, Berlin Heidelberg GmbH. ISBN:978-3-642-57302-6. 185 s. [\[Crossref\]](#)

Selik, M. (1988). Odun Patolojisi. İ.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No:3511/392. ISBN:975-464-063-X. 136 s.

Sesli, E. (2022). Basidiomycota. Eds: A. Asan, F. Selçuk, M. Sevindik, G. Giray. Genel Mikoloji Ders Kitabı. Nobel Yayınları No:4332, 528 s.

Shupe, T., Lebow, S., Ring, D. (2008). Causes and control of wood decay, degradation and stain. Louisiana State University Agriculture Center, Baton Rouge, LA. Publication 2703. 27 s.

Singh, A. P., Kim, Y. S. (1997). Biodegradation of wood in wet environments: A Review. International Research Group on Wood Preservation, IRG-WP 97-10217, Stockholm, Sweden.

Sümer S. (2006). Genel Mikoloji. Nobel Yayınları No:962, ISBN:975-591-948-1, 373 s.

TÜBA (2019). Türkçe Bilim Terimleri Sözlüğü, Mühendislik Bilimleri, Türkiye Bilimler Akademisi, 1. Cilt. ISBN:978-605-2249-35-2. 1206 s.

Unger, A., Schniewind, A. P., Unger, W. (2001). Conservation of Wood

Artifacts: A Handbook. Springer Science & Business Media, Springer- Verlag Berlin Heidelberg, ISBN:3-540-41580-7. 578 s. [\[Crossref\]](#)

Uzun, Z., Köse, C., Köse, N. (2018). A multidisciplinary study to reveal the historical value of wooden structures and to develop a conservation approach: Dere and Karlı Mosques in Samsun, Turkey. *Journal of Cultural Heritage* 32, 60-72. [\[Crossref\]](#)

Uzunovic, A., Webber, J.F. (1998). Comparison of bluestain fungi grown in vitro and in freshly cut pine billets. *European Journal of Forest Pathology* 28 (5):323-334. [\[Crossref\]](#)

Uzunovic, A., Byrne, T., Gignac, M., Yang, D.Q. (2008). Wood Discolourations & Their Prevention With an Emphasis on Bluestain. FPIInnovations. Forintek. Special Publication SP-50. ISSN #1916-4238. 48 s.

Wada, T., Köse, C., Igarashi, K. (2014). Identification of soft-rot fungi existed in the samples from the galley excavated at Yenikapı. International Research Group on Wood Preservation, IRG-WP 14-10833, Stockholm, Sweden.

Zabel, R.A., Morrell, J.J. (1992). Wood Microbiology: Decay and Its Prevention. Academic Press, London. ISBN: 0-12-775210-2. 476 s.

BÖLÜM 9

AHŞABIN KORUNMASI

Saip Nami KARTAL
Evren TERZİ
Coşkun KÖSE

Ahşabın Korunması

Wood Protection

BÖLÜM HAKKINDA

Doğal dayanıklılığı yüksek olmayan ağaç türü odunlarından elde edilmiş ve herhangi bir koruma önlemi alınmamış ahşap biyotik (canlı) ve/veya abiyotik (cansız) etkenlere maruz kalması durumunda bozunmaya uğrayarak hizmet ömründe önemli azalmalar meydana gelmektedir. Ahşap koruma, ahşabın tüm bu etkenlere karşı onun hizmet ömrünü uzatmak için alınan her türlü önlem olarak adlandırılabilir. Ahşap koruma uygulamaları ile ahşabın hizmet süresini uzatmak, yenileme veya tamirat maliyetlerini (malzeme, iş gücü, zaman vb.) azaltmak ve görsel cazibesini korumak mümkündür. Dayanıklı ağaç türü odunlarının odun koruma işlemleri uygulanarak kullanılması, dayanıklı türlerin kullanımına göre daha ekonomik olmakta ve plantasyon ormancılık ile de yetiştirilebilen dayanıklılığı düşük ağaç türü odunlarının çok daha geniş bir kullanım alanına sahip olmasını sağlamaktadır. Ahşap koruma faaliyetlerine ekolojik açıdan bakıldığında ise, daha uzun hizmet ömrüne sahip ahşap ürünler üretilmesi ile yeni üretimler için gerekli hammadde ihtiyacı ve buna bağlı olarak orman kaynakları üzerine olan baskı azalmaktadır. Ahşabın çürümesinin ve yanmasının önlenmesi/geciktirilmesi, CO₂ ve metan gibi önemli sera gazlarının temel yapı taşı olan karbonun ahşapta daha uzun süre depolanmasını sağlamaktadır. Böylece koruma tedbirlerinin alındığı ahşap kullanımı ile şirketlerin veya bireylerin karbon ayak izi azalmaktadır.

Bu bölümde, ahşabın biyotik ve abiyotik etkenlere karşı korunmasında kullanılan yöntemler sunulmaktadır. Bu kapsamda ahşabın tasarım ile korunması, emprenye teknikleri ve maddeleri, modifikasyon yöntemleri, farklı ahşap malzemelerde kullanılan koruma yöntemleri ve ahşabın yanmaya karşı korunması ve yanmayı geciktirici emprenye maddeleri hakkında temel bilgiler verilmektedir.

Bu bölümün ahşapla çalışanlara, bilim insanlarına, orman endüstri mühendislerine, mimarlara, inşaat mühendislerine, konservatörlere ve restoratörlere yararlı olması umulmaktadır.

Anahtar kelimeler: Hizmet ömrü, emprenye metotları, odun modifikasyonu, emprenye maddeleri, yanmayı geciktiriciler

ABOUT the CHAPTER

Wood from species with low natural durability or without protective measures will deteriorate when exposed to biotic (living) and abiotic (non-living) factors, significantly shortening its service life. Wood protection involves taking precautions to extend its service life against these factors. By protecting wood through preservation activities, we can prolong its service life, reduce renovation or repair costs (materials, labor, time, etc.), and maintain its visual appeal. Treating wood from non-durable species with preservation processes is more economical than using naturally durable species and allows for a wider application of wood from low-durability species, which can also be cultivated through plantation forestry.

From an ecological standpoint, extending the service life of wooden products decreases the demand for raw materials for new productions, thereby reducing pressure on forest resources. Preventing or delaying wood decay and combustion helps store carbon, a major component of greenhouse gases like CO₂ and methane, for longer periods, thereby reducing the carbon footprint of companies and individuals.

This section presents methods to protect wood from biotic and abiotic factors, including basic information on protection by design, impregnation techniques and preservatives, modification methods, protection methods for different wooden materials, fire retardants, and fire protection. We hope this chapter will be useful to woodworkers, scientists, forest industry engineers, architects, civil engineers, conservators, and restorers.

Keywords: Service life, impregnation methods, wood modification, wood preservatives, fire retardants

Ahşap Koruma ve Önemi

Ahşap koruma, ahşabı bozan biyolojik, kimyasal, fiziksel ve mekanik faktörler ile açık hava etkilerine karşı onun hizmet ömrünü uzatmak için alınan her türlü önlem olarak adlandırılabilir. Doğal dayanıklı olmayan ağaç türü odunlarından elde edilmiş ve herhangi bir koruma önlemi alınmamış ahşap hizmet süresi boyunca çok farklı bozunma faktörleri ile karşı karşıya kaldığında, faktörlerin özelliğine göre, rutubeti yükselmekte, renk, küf ve çürüklük mantarların etkisinde kalarak bozunmakta, böcek ve deniz organizmaları



Saip Nami Kartal

Evren Terzi

Coşkun Köse

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Orman Biyolojisi ve Odun Koruma Teknolojisi Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye
E-posta: snkartal@iuc.edu.tr
evrent@iuc.edu.tr
ckose@iuc.edu.tr

Bu bölümü alıntıla / Cite this chapter as:
Kartal, S.N. Terzi, E. Köse, C. (2024). Ahşabın Korunması. T. Akbulut (Ed.), *Ahşap: Doğal ve yenilenebilir mühendislik malzemesi* içinde (s. 154-185) İstanbul: İÜC Üniversite Yayınevi



CC BY 4.0: Telif hakkı yazarlardadır. Bu kitabın içeriği Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası lisans altında lisanslanmıştır.

gibi hayvansal kaynaklı organizmaların atağına uğramakta, çatlama ve yarılmalar meydana gelmekte, renginde değişiklikler oluşmakta, boyutlarına değişim olmakta, yüzeylerinde aşınma, erozyon görülmekte ve yanabilmektedir.

Böylece ahşap koruma için geliştirilen uygulama ve teknolojiler anılan tüm bu olumsuzluk yaratan biyotik ve abiyotik faktörlere karşı ahşabı koruyarak, hizmet süresini uzatmakta ve bozulan ahşabın yenileme veya tamirat maliyetlerini (malzeme, iş gücü, zaman vb.) azaltmaktadır.

Öte yandan, doğal dayanıklılığa sahip olmayan çok sayıdaki ağaç türü odunlarının ahşap koruma uygulamaları ile hizmet ömürlerinin artmakta ve dünya genelinde yaygın kullanımı sağlanmaktadır. Doğal dayanıklı ağaç türü odunlarının yüksek maliyetleri ve erişilebilirliklerinin kısıtlı olması nedenleri ile bu türlerin yerine dayanıksız ağaç türü odunlarının odun koruma işlemleri uygulanarak kullanılması daha ekonomik olmakta ve bu yaygın ağaç türü odunlarının daha verimli olarak değerlendirilmesini sağlamaktadır.

Ekolojik açıdan bakıldığında ise artan hizmet ömrü ile yeni ahşap ürünlere olan ihtiyacın azalması sonucu ahşap korumanın, orman kaynakları üzerine olan baskıyı azaltmada da rolü bulunmaktadır. Ahşabın koruma metotlarıyla cürümesinin ve yanmasının önlenmesi ile, CO₂ ve metan gibi sera gazlarının temeli olan karbonun ahşapta daha uzun süre tutulması ve karbon ayak izinin azalması sağlanmaktadır.

Ahşap Koruma Metotları

Günümüzde ahşabı çeşitli biyotik ve abiyotik zararlara karşı korumak ve hizmet ömrünü artırmak için uygulanan metotları aşağıda belirtildiği üzere sınıflandırmak mümkündür:

- Doğal dayanıklı ağaç türlerinden elde edilen ahşap kullanımı
- Ahşabın kuru tutulması, tasarıma yönelik önlemler ile ahşabın korunması
- Fiziksel koruma metotları
- Ahşabın termal ve kimyasal modifikasyonu (biyosidal olmayan önlemler)
- Kimyasal koruma metotları (Emprenye)

Doğal Dayanıklı Ağaç Türlerinden Elde Edilen Ahşap Kullanımı

Ahşap biyotik ve abiyotik faktörlerin etkisi sonucu uygun şartlar altında bozunabilmesine rağmen, bazı ağaç türü odunları biyolojik organizmalara karşı dayanıklılık gösterebilmekte ve uzun süreler hizmet verebilmektedirler. Özellikle çok dayanıklı ve dayanıklı sınıfa dahil ağaç türlerinin öz odunlarından hazırlanan ahşabın hizmet ömürleri diğer dayanıklılık sınıfından elde edilen (daha az dayanıklı olan) ağaç türlerine göre uzun olmaktadır. Buna göre, odunun dayanıklılık sınıflarına göre ahşabın toprak temaslı kullanımlarda sahip olacağı hizmet süreleri (yıl) aşağıda verilmektedir (Tablo 1).

Ağaç türü seçimi yapılarak ahşap yapıların ve ürünlerin hizmet ömrü artırılması öncelikle kullanım yerindeki risklerin doğru tanımlanmasını ve malzemenin özelliklerinin bilinmesini gerekli kılmaktadır. Bu tür kullanım yerindeki riskler belirli derecelere kadar doğru ağaç türü seçilerek (örnek olarak mantar ve böceklerle karşı dayanıklı öz odun içeren diri odundan arındırılmış

Tablo 1

Dayanıklılık sınıflarına göre öz odundan hazırlanan ahşabın toprakla temas şartlarında hizmet süreleri

Dayanıklılık Sınıfı	Sınıf Tanımı	Hizmet Süresi (yıl)
1	Çok Dayanıklı	>25
2	Dayanıklı	15 - 25
3	Orta Derecede Dayanıklı	10 - 15
4	Az Dayanıklı	5 - 10
5	Dayanıksız	<5

Açıklama notu. Bozkurt, A.Y., Göker, Y., Erdin, N. 1993. Emprenye Tekniği, İ.Ü. Yayın No: 3779, OF Yayın No: 425. 429 s kaynağından alınmıştır.

ahşap) kontrol edilebilir. Ancak doğal dayanıklı ağaç türlerinden elde edilen ahşabın hizmet ömrü de toksik (zehirli) karakterdeki ekstraktif maddelerin zamanla odun yapısından uzaklaşması ve zehirlilik derecelerinin azalması nedeni ile emprenye edilen ahşap ile karşılaştırıldığında sınırlı olabilmektedir. Bununla birlikte doğal dayanıklılığı yüksek ağaç türü odunu bulmak gün geçtikçe zorlaşmakta, fiyatları ise diğer ağaç türü odunlarına göre yüksek olmaktadır. Öte yandan öz odunun farklı kimyasal, anatomik fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı diri oduna göre işlenmesi daha güç olup, çeşitli zorluklarla (daralma-genişleme, kurutma, çatlak oluşumu vb.) karşılaşabilmektedir. Ancak, emprenye işlemlerine erişim güçlüğü olan yerlerde doğal dayanıklı ağaç türü odunları kullanımı iyi bir uygulama olarak kabul edilmektedir (FAO, 1986).

Tablo 2’de ahşap kullanım yeri (risk) sınıfları ve dayanıklılık sınıflarına göre ahşabın hangi durumlarda doğal olarak kullanılabileceği

Tablo 2

Risk sınıfları ve dayanıklılık sınıflarına göre ahşap koruma önerileri

Kullanım Yeri (Risk) Sınıfı	1 Çok Dayanıklı	2 Dayanıklı	3 Orta Derecede Dayanıklı	4 Az Dayanıklı	5 Dayanıksız
1	✓	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	(✓)	(✓)
3	✓	✓	(✓)	(✓)-(X)	(✓)-(X)
4	✓	(✓)	(X)	X	X
5	✓	(X)	(X)	X	X

✓: Doğal dayanıklı ağaç türü odunu kullanımı yeterlidir.

(✓): Doğal dayanıklı ağaç türü odunu kullanımı yeterli olabilir, ancak bazı son kullanım yerleri için emprenye işlemi önerilebilir.

(✓)-(X): Doğal dayanıklı ağaç türü odunu kullanımı yeterli olabilir, ancak ağaç türü, geçirgenlik, son kullanım yerine göre emprenye işlemi zorunlu olabilir.

(X): Emprenye işlemi önerilebilir, ancak bazı son kullanım yerleri için doğal dayanıklılık yeterli olabilir.

X: Emprenye işlemi zorunludur.

Açıklama notu. BS EN 460. 1994. Durability of Wood and Wood-Based Products - Natural Durability of Solid Wood - Guide to The Durability Requirements for Wood to be Used in Hazard Classes kaynağından alınmıştır.

ve hangi durumlarda emprenye edilerek kullanılmasının gerektiğine ilişkin bilgiler verilmektedir. Buna göre çok dayanıklı sınıftan seçilen ağaç türlerinden hazırlanan ahşap tüm kullanım sınıflarında koruma önlemi almaksızın kullanılabilirken, dayanıksız sınıftan seçilen ağaç türlerinden hazırlanan ahşap ancak bina içinde kuru şartlarda (kullanım sınıfı 1 ve 2) doğal olarak kullanılabilir. Riskler arttıkça, su ve toprak teması söz konusu olduğunda ise emprenye işlemleri önerilmekte veya zorunlu kılınmaktadır.

BS 8417 (2011)'e göre ise çeşitli ahşap kullanım yerleri için önerilen doğal dayanıklılık sınıfları ve hizmet faktörleri verilmektedir (Tablo 3).

Tablo 3

Ahşabın çeşitli kullanım yerlerinde doğal olarak kullanımı ve kullanımla ilgili öneriler

Ahşap eleman kullanım yeri	Risk sınıfı	Hizmet faktörü	Dayanıklılık sınıfı		
			Arzu edilen hizmet süresi (yıl)		
			15	30	60
Bina içi doğrama	1	A	5	5	5
Çatı kerestesi (kuru)	1	B	5	5	5
Çatı kerestesi (ıslanma riski)	2	C	4	3	2
Dış cephe duvarları/ toprağa temas eden döşeme kirişi	2	B/C/D	4	3	3
Bina dışı doğrama (yük taşımayan)	3	C	4	3	2
Çit korkuluğu, döşeme malzemesi ve girişleri	3	B/C/D	4	3	2
Çit, yer döşemeleri ve çit direkleri	4	B/C/D	2	1	1
Tel direkleri	4	D	2	1	1
Demiryolu traversleri	4	D	2	1	1
Tatlı su içerisindeki ahşap	4	D	2	1	1
Tuzlu su içerisindeki ahşap	5	D	1	-	-
Su soğutma kulesi (tatlı su)	4	D	2	1	-
Su soğutma kulesi (tuzlu su)	5	D	1	-	-

Hizmet faktörleri tanımı:

A:Güvenlik ve ekonomik endişeler ihmal edilebilir; emprenye işlemi/doğal dayanıklılık gereksiz.

B:Yerinde bakım işlemleri veya malzeme değişiminin basit ve emprenye işleminin onarım maliyetine karşı garantili görüldüğü yerler; emprenye işlemi/doğal dayanıklılık isteğe bağlı.

C:Yerine bakım işlemi veya malzeme değişiminin güç ve maliyetli olacağı yerler; emprenye işlemi/doğal dayanıklılık arzu edilebilir.

D:Yapıların çökmesinin insanlara ve eşyalara ciddi bir tehlike yaratacağı durumlar; emprenye işlemi/doğal dayanıklılık önemlidir.

Açıklama notu. BS 8417. 2011. Preservation of wood. Code of practice kaynağından alınmıştır.

Ahşabın Kuru Tutulması ve Tasarıma Yönelik Önlemler ile Ahşabın Korunması

Ahşabın kurutulması ve kuru olarak saklanması muhtemelen bilinen eski ve önemini sürdüren ahşap koruma tekniğidir. Hava bağıl nemi, yağış, su ve toprak temasına bağlı olarak ahşabın artan rutubet miktarı en önemli bozunma nedenidir. Lif doygunluğu noktası (yaklaşık %28) altındaki odun hücre çeper polimerlerince adsorbe edilen su (bağlı su), mantarların çoğunluğu için kullanılamaz durumdadır. Pratik uygulamalar için en az ve en yüksek odun rutubet değerleri birçok araştırmacı tarafından ve birçok mantar türü için araştırılmış ve farklı sonuçlara ulaşılmıştır. Birçok mantar için en az ve en yüksek değerler %30–70 arasında bulunurken, kuru odun çürüklüğü yapan mantarlar için en az değer %20'lerin altına kadar çekilebilmektedir. Renklenme ve küflenme yapan mantarlar için ise en yüksek rutubet değerleri %130'lara kadar çıkabilmektedir. Unutulmamalıdır ki odunun rutubet miktarı arttıkça içerisindeki hava miktarı da azalmaktadır. Odunda yaşayan mantarların çoğunluğunun obligat aerobik organizmalar olmaları suyla doymun haldeki odunda etkili gelişme göstermemelerine neden olmaktadır. Mantar çürüklüğü için gereksinim duyulan en az hava miktarı odun boşluk hacminin %10 ile %20'si arasında değişmektedir. Böylece mantar atakları suda uzun süreli depolama ile engellenebilmektedir. Ancak yumuşak çürüklük mantarlarının ve bakterilerin bu şartlar altında dahi ahşaba zarar verebildikleri de göz önünde bulundurulmalıdır (Brischke vd., 2006).

Böcekler ise çoğu durumda çok düşük odun rutubetlerinde ahşaba zarar verebilmektedir. Bazı odun zararlısı böcekler %13 gibi düşük odun rutubetlerinde dahi zararlar yaratabilmektedir. Kuru odun termitleri çok kuru ahşapta dahi büyük zararlar verirken, toprak altı termitleri ve ıslak odun termitleri ise rutubeti yüksek ahşabı tercih etmektedirler (Lebow ve Anthony, 2012).

Ahşabın kullanım yerlerinde rutubetinin %20 seviyelerin altında kuru tutulması aslında pratik bir koruma önlemi olarak değerlendirilebilir. Ahşapta ve ahşap yapılarda bu rutubet dereceleri tüm kullanım süresi boyunca sağlanabilirse ahşabın hizmet ömrü uzatılabilir. Bu rutubet derecelerini uzun süre garanti edebilmek için ahşabın doğrudan veya dolaylı su ve toprak ile temasının kesilmesi, ahşap yapılarda rutubet alımını engelleyici uygun tasarımlar uygulanması, rutubet yoğunlaşmasını engellemek için binalarda ve duvarlarda uygun havalandırma sistemlerinin ve

Şekil 1

Bir pergolada ahşap ayakların betona temasının metal ayaklar ile engellenmesi (Düzce, Türkiye)



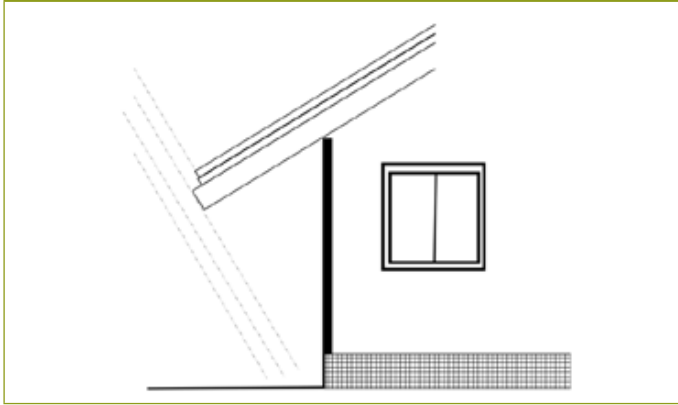
uygulamalarının temin edilmesi gerekmektedir. Özellikle ahşap enine kesitlerinin (enine kesitlerden boyuna yönde su permeabilitesi yüksek olduğundan) doğrudan su, toprak, beton vb. ile teması engellenmelidir.

Binalarda kullanılan ahşabın hizmet süresi boyunca rutubetinin artmasını engelleyici tasarımlara;

- Ahşabın toprak temasının kesilmesi için metal veya beton ayakların kullanılması (Şekil 1),
- Ahşap dış cephe elemanlarının ıslanmasının engellenmesi amacı ile çatı uzantılarının yeterince uzun yapılması (Şekil 2),

Şekil 2

Yeterince uzun tasarlanan çatı uzantılarının yağışlarda yapının cephesini ıslanmaktan koruması



- Çatılarda baca ve havalandırma boşluklarının etraflarının izole edilmesi ve sızdırmazlık sağlanması (Şekil 3) (BASC, 2022)

Şekil 3

Çatılarda baca diplerinin ve havalandırma bacalarının izole edilmesi

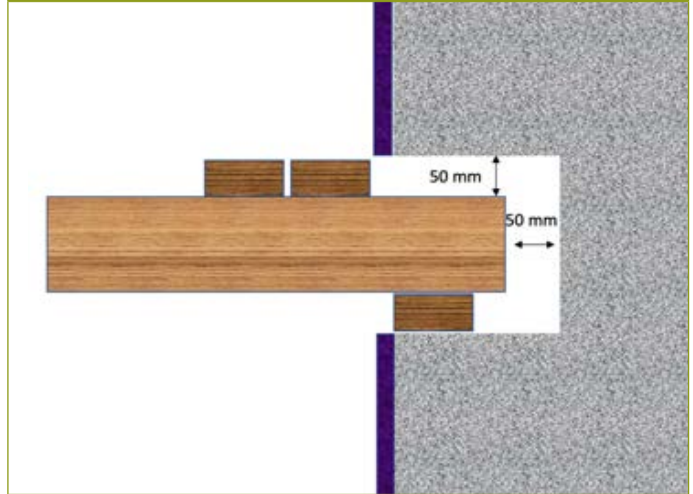


Açıklama notu. (Fotoğraflar: BASC, 2022)

- Ahşap kirişlerin beton veya tuğla vb. yapı malzemesi ile temas etmemesinin sağlanması (Şekil 4),
- Pencere doğramalarında yağmur damlalarını dışarıya damlatacak girintilerin açılması (Şekil 5);
- Tel ve çit direkleri, köprü malzemesi vb. dış ortamda kullanılan ahşap elemanların enine kesitlerinin plastik veya metal kapaklarla kapatılması (suya karşı fiziksel bariyer uygulaması) (Şekil 6),
- Çatı ve bodrum katlarının havalandırılması,
- Çatılardaki su oluklarının ve binalarda temiz ve pis su tesisatının bakımlarının yapılması,
- Bina drenajlarının uygun planlanması,
- Bina etrafında aşırı vejetasyonun ortadan kaldırılması

Şekil 4

Ahşap kirişlerin enine kesitlerinin sürekli olarak hava sirkülasyonu olacak şekilde açıkta tutulması



Açıklama notu. Reinprecht, L. 2016. Wood deterioration, protection and maintenance. John Wiley & Sons kaynağından alınmıştır.

Şekil 5

Bir ahşap pencere doğramasında pencere kanadının altında açılan kanal



Şekil 6

Ahşap köprü ve çit direğinin koruma amaçlı enine kesitlerinin metal aparatlarla kapatılması (Hiroshima ve Wakayama, Japonya)



ahşap elemanlarda birikecek rutubet miktarının azaltılması bakımından örnek uygulamalar olarak verilebilir (Lebow ve Anthony, 2012).

Fiziksel Koruma Metotları

Ahşabın gerek iç ve gerekse dış ortamlarda kullanımında özellikle rutubete karşı korunmasında etkin üst yüzey işlem uygulamaları ve yüzeylerin gerek ahşap ve gerekse yapay bazı kaplama materyalleri kaplanması fiziksel koruma metotları olarak adlandırılmaktadır. Bu metotlarda kullanılan boya, vernik, cila, su itici (hidrofobik) maddeler genellikle ahşap yüzeylerinde derine nüfuz etmeyen koruyucu bir tabaka oluşturmakta ve ahşap ile su arasındaki teması engellemekte ve ahşabın mantarlar tarafından bozunması için gerek duyulan %20 rutubet derecelerine ulaşmasını engellemektedir. Bununla birlikte bu tür maddeler yapılarında güneş ışığı kaynaklı ultraviyole (UV) (mor ötesi) etkili bozunmayı da önlemek için pigmentler içerebilmekte ve ahşabı dış ortamlara açık hava etkilerine (fotodegradasyon) karşı da koruyabilmektedirler.

Dış kullanımlarda ahşapta oluşacak fotodegradasyonun engellenmesi için birçok koruyucu sistem geliştirilmiştir. Bu amaçla kullanılan yüzey işlem maddeleri genel olarak iki gruba ayrılabilir (Kartal, 1992):

(a) Odun yüzeylerinde nispeten kalın, sürekli bir film tabakası oluşturan opak yüzey işlem maddeleri (boyalar, vernikler, cilalar vb.)

(b) Odun yüzeyindeki hücrelere nüfuz eden yüzey işlem maddeleri (su itici empenye maddeleri, su itici maddeler, renklendiriciler, yarı geçirgen (mat) vernikler vb.)

Boyalar genellikle reçine bazlı olup, solventlerle inceltilmiş yüzey işlem maddeleridir. Uygulandıkları yüzeylerde poröz olmayan sürekli bir film tabakası oluşturmakta ve rutubete karşı dirençli olmaktadır. Sentetik polimer esaslı lateks boyalar da açık hava koşullarında ahşabı koruma etkili olmaktadır (Kartal, 1992).

Su itici maddeler basit olarak içlerinde fungusit karakterde madde olmayan koruyuculardır. Yapılarında reçine, kurutucu yağ, parafin, vaks ve solventler bulunabilmektedir. Su itici maddeler, renklerini meydana getiren organizmaların gelişmesini kontrol edemediklerinden genel olarak mükemmel yüzey işlem maddeleri değildir. Su itici maddeler çoğunlukla astar boya ya da boya işlemlerinden önce stabilizasyon amacıyla kullanılmaktadır. Bununla birlikte bu maddeler toprak üstü ve bina içi kullanımlarda çürümeye karşı dayanıklılık sağlayabilmektedirler (Kartal, 1992).

Ahşap esaslı levha ve kompozitlerin de rutubete karşı korunma ihtiyacı bulunmaktadır. Açık hava etkilerinde kalan kontrplaklarda yüzey degradasyonunun yanında tutkal hattı da zarar görmektedir. Kontrplakların açık hava koşullarından etkilenmemeleri için pigment içeren yüzey koruyucu maddeler kullanılabilir. Yonga levhaların korunmasında ise yüksek kaliteli boya ve vernik gibi opak yüzey işlem maddeleri kullanılmalıdır (Kartal, 1992).

Ahşabın Modifikasyonu

Ahşabın kimyasal veya termal yöntemler ile modifikasyonu günümüzde ahşap koruma sektöründe yenilikçi proselerin başında gelmektedir. Bazı ahşap koruyucu empenye maddeleri formülasyonlarında yer alan zehirli bileşikler nedeni ile artan çevresel endişeler; çevre dostu koruma metot ve maddelerine artan talep; sınırlı dayanıklılığa sahip ağaç türü odunların daha fazla kullanım

gerekliliği ve giderek artan talep kar tasarımı kriterleri ve müşteri gereksinimleri nedenleri ile ahşap modifikasyon ürünleri son yıllarda önem kazanmaya başlamıştır (Jones vd., 2019).

Modifikasyon işlemlerinin amacı, ahşabın biyotik faktörlere karşı biyolojik performansının artırılmasının yanı sıra, ona boyutsal stabilizasyon kazandırmak, su alımını azaltmak ve açık hava etkilerine karşı dayanıklılık kazandırmaktır. Aslına koruyucu biyositler kullanılarak yapılan empenye işlemleri de bir anlamda modifikasyon işlemidir. Ancak burada sağlanan biyolojik performans artımı koruyucu empenye maddelerinin zararlı organizmalara karşı zehirlilik özelliklerinden kaynaklanır. Ancak genel anlamda modifikasyon işlemleri biyosit karakter taşımayan madde ve işlemlerle ahşabı oluşturan odun yapısının değiştirilmesi anlamına gelmektedir (Hill, 2006).

Ahşap modifikasyon işlemleri şu şekilde sınıflandırılabilir (Hill, 2006):

- Kimyasal modifikasyon – Hücre çeper polimerlerinin hidroksil grupları ile kimyasal bir grubun reaksiyona girmesi: Kimyasal bağlanmalar, çapraz bağlanmalar,
- Termal modifikasyon – Uygulanan ısı enerjisi ile odun yapısında kimyasal değişimler yaratılması,
- Yüzey modifikasyonu – Ahşap yüzeylerin kimyasal ya da biyolojik yöntemlerle değiştirilmesi: Enzimler veya plazma tekniklerinin uygulanması,
- Emprenye modifikasyonu – Hücre çeperine çeşitli kimyasal maddelerin verilmesi (monomer veya polimerler ile polimerizasyon) veya lümen modifikasyonları,
- Bunların dışında aslında uzun yıllardır bilinen ancak son yıllarda yine popüler hale gelen yüzey kömürleştirme işlemleri de ahşap koruma amaçlı modifikasyon işlemleri arasında yer almaktadır (Şekil 7).

Şekil 7

Koruma amaçlı ahşap yüzeylerin kömürleştirilmesi ve bir binanın dış cephesinde kullanımı (Kyoto, Japonya)



Kimyasal Koruma Metotları (Emprenye İşlemleri)

Bu başlık altında yer alan metotlar, biyosit ve toksik karakterdeki sıvı haldeki kimyasal koruyucu maddelerin odunun gerek hücre çeperlerine ve gerekse lümenlerine çeşitli metotlarla verilmesi işlemlerine dayandığından empenye işlemleri olarak adlandırılmaktadır.

Çürüme (mantar) ve diğer zararlı organizma saldırı riskinin olmadığı bina içi kullanımlarda genel olarak empenye maddeleri ile koruma tercih edilmemektedir. Doğal dayanıklı ağaç türlerinin kullanımı, tasarıma yönelik önlemler, yüzey kaplayıcı madde, hidrofobik madde, boya, vernik vb. madde kullanımı gibi fiziksel

önlemlerle de ahşapta yeterli koruma sağlanabilmektedir. Ancak, bina dışı, toprak ve su temaslı uygulamalarda, ıslanma riskinin bulunduğu yerlerde standartlara uygun şekilde empenye edilmiş ağaç malzeme kullanımı önerilmektedir. Koruyucu özellikteki kimyasal empenye maddelerinin içerdiği toksik karakterli maddeler sayesinde, empenye edilerek korunmuş ağaç malzemenin özellikle çürüme riski yüksek olan toprak ve su temaslı uygulamalarda kullanımı önem kazanmaktadır. Bina dışı uygulamalarda kullanılan ağaç malzemeden uzun hizmet ömrü beklendiğinde, ahşabın uygun empenye madde ve metotlarıyla empenye edilmesi gerekir. Emprenye edilmiş ağaç malzemenin ekonomik ve dayanıklı olmasının yanı sıra, estetik bir yapı malzemesi olması sayısız kullanım yerine sahip olmasını sağlamaktadır. Bu amaçlarla bugüne kadar çok sayıda ve farklı özellikte empenye maddesi geliştirilmiş ve halen de geliştirilmeye devam edilmektedir (Kartal, 2009).

Ahşabın Emprenyesi

Emprenye İşlemleri Açısından Ahşap Rutubeti Ve Önemi

Ahşap rutubeti uygulanacak empenye işlemlerinde empenye maddesi nüfuzu ve madde alım miktarını etkileyen önemli bir faktördür. Bu nedenle, empenye işlemleri öncesi odun hücrelerinin içlerinin boş olması gerektiğinden işlem metotlarına bağlı olarak belli bir rutubet derecesine kadar ağaç malzemenin kurutulması önem kazanmaktadır. Ahşabın empenye işlemleri öncesi kurutulması ile sıvı karakterdeki empenye maddesi çözeltisinin gireceği boşluk hacmi artırılabilir. Dolayısı ile taze halde olan ahşapta rutubet miktarı fazla olduğundan basınçlı işlemlerle yeterli miktarda empenye madde çözeltisi ahşabın içerisine verilememektedir. Optimum empenye madde çözeltisi nüfuzu ve alımı için optimum ahşap rutubet miktarının belirlenmesi çalışmaları, empenye maddesi tipine bağlı olarak lif doygunluğu altındaki rutubet değerlerinin iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bu nedenlerden dolayı ahşabın empenye işlemlerinden önce kurutulması gerekmektedir. Ancak taze haldeki ahşabın empenye edilmesi söz konusu ise difüzyon gibi basınç-vakum gerektirmeyen metotlar ile işlem yapılması önerilmektedir.

Ayrıca ahşap içerisindeki rutubet (su) miktarı arttıkça odunun yoğunluğu da artmaktadır. Böylece ahşabın empenye edilebilirliği üzerine ahşaptaki boşluk hacmi de etkili olmaktadır. Odunun tam kuru yoğunluk değeri bilindiğinde ahşap içerisindeki boşluk hacmi (emprenye maddesi çözeltisinin girebileceği hacim) aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir:

$$\text{Boşluk hacmi} = 1 - d_0 / 1,5 = 1 - 0.667 \times d_0$$

Bu eşitlikte;

d_0 = Odunun tam kuru yoğunluğu

1,5 = Odun hücre çeperi yoğunluğunu göstermektedir.

Böylelikle ahşabın boşluk hacmi arttıkça empenye işlemleri sırasında içerisinde alabileceği sıvı empenye madde çözeltisi de artacaktır. Emprenye metotları kısmında sözü edileceği üzere dolu hücre metotlarında ahşabın absorbe edeceği empenye maddesi miktarı ahşap boşluk hacmi ile doğru orantılı olarak artış gösterecektir (Bozkurt vd., 1993).

Odunun Permeabilitesi (Geçirgenliği) Ve Emprenye İşlemleri İlişkisi

Permeabilite ya da geçirgenlik, sıvıların poröz bir yüzeyden basınç altında geçişini tanımlamaktadır. Değişik ağaç türlerinden elde edilen odunların permeabilite (geçirgenlik) özellikleri farklılık gösterdiğinden her ahşabı aynı derecede ve kalitede empenye etmek mümkün olmamaktadır. Gerek anatomik ve gerekse kimyasal özellikleri nedeniyle permeabilite ağaç türleri arasında değişkenlik göstermektedir.

Çoğu ağaç türünde diri odun tabakaları başarılı bir şekilde empenye edilebilmekte (ladın ve göknar gibi ağaç türleri hariç), öz odun tabakaları ise geleneksel metotlarla daha güç empenye edilmekte ya da empenye edilememektedir. Odunun anatomik özelliklerine bağlı olarak öz odunun empenye edilebilirliğindeki güçlükler, öz odun tabakasındaki hücrelerin daha küçük por açıklığı, öz odundaki hücreler arası geçitlerin aspirasyona (kapanması) uğraması, geçit zarlarına biriken ekstraktif maddelerin tipi ve yoğunluğu, geniş yapraklı ağaç odunu hücrelerinde tül oluşumu vb. nedenlerden kaynaklanmaktadır (Wang ve DeGroot, 1996).

Ahşapta farklı kesiş yönlerinde farklı derecelerde sıvı akışı olmaktadır. Sıvı akış yolları genellikle ağaç dikili iken su, mineral madde ve organik madde akışını sağlayan yollar olduğundan, liflere paralel yöndeki permeabilite radyal ve teğet yönlerdeki permeabilite-den daha yüksek olmaktadır. Aynı şekilde öz ışınları radyal yönde uzadığından radyal yöndeki permeabilite teğet yöndeki permeabiliteden yüksek olmaktadır (Bozkurt vd., 1993).

Ağaç türlerinin geçirgenlik sınıfları öz odunlarının nüfuz yeteneklerine göre yapılmaktadır. Tablo 4 permeabilite sınıflandırması (EN 350-2, 1994) ve çeşitli ağaç türlerinin permeabilite sınıflarını göstermektedir.

Tablo 4*Ahşap emprenye edilebilirlik sınıfları ve bazı ağaç türü odunlarının emprenye edilebilirlik sınıflandırması*

Emprenye edilebilirlik sınıfı	Tanım	Açıklama	İğne yapraklı ağaç diri odunu	İğne yapraklı ağaç öz odunu	Geniş yapraklı ağaç diri odunu	Geniş yapraklı ağaç öz odunu
1	Kolay emprenye edilenler	Basınç altında kolayca ve tamamen nüfuz sağlanmakta	Avrupa göknarı, Sarıçam, Radiata çamı	-	Akçaağaç, Balsa, Huş, İhlamur, Kavak, Kayın, Kırmızı meşe, Söğüt	Akçaağaç, Huş, İhlamur, Kayın, Kızılağaç
2	Orta derecede güç emprenye edilenler	Emprenye işlemi oldukça güç, tam emprenye mümkün değil, fakay yine de iğne yapraklı ağaç odunlarında 2-3 saat basınç altında enine yönde 6 mm'den fazla nüfuz derinliği sağlanmakta, geniş yapraklı ağaç odunlarında trahelerin büyük miktarı emprenye edilebilir.	Douglas göknarı, Melez, Sitka ladini	Avrupa göknarı, Sarıçam	-	Dişbudak, Karaağaç, Kırmızı meşe
3	Güç emprenye edilenler	3-4 saat basınç altında enine yönde 3-6 mm nüfuz derinliği elde edilir.	Boylu mazi	Ak ladin, Avrupa ladini, Boylu mazi, Doulas göknarı, Melez, Sedir, Servi, Sitka ladini	-	Balsa, Ceviz, Karakavak, Söğüt
4	Çok güç emprenye edilenler	3-4 saat basınç altında dahi çok az nüfuz derinliği söz konusudur. Hem enine hem de boyuna yönde nüfuz derinliği yetersizdir.	-	-	-	Akmeşe, Ardic, Kestane

Açıklama notu. [EN 350, 2016]

Emprenye Maddeleri

Kimyasal koruma, ahşabın kimyasal koruyucu maddeler kullanılarak korunması olup "emprenye işlemleri" olarak adlandırılmakta ve kullanılan maddeler de genel anlamda "emprenye maddeleri" olarak tanımlanmaktadır. Emprenye maddeleri ahşaba zarar veren etkenlere karşı kullanımlarına göre;

- i) bakterisitler (bakteriler karşı)
 - ii) fungusitler (mantarlara karşı)
 - iii) insektisitler (böceklerle karşı)
 - iv) yangın geciktiriciler (yanmaya karşı)
 - v) açık hava etkileri ve korozyona karşı etkin maddeler (atmosferik etkiler ve agresif kimyasal maddelere karşı)
- gibi sınıflandırılabilirler [Reinprecht, 2016].

Zaman içerisinde çok sayıda ahşap koruyucu emprenye maddeleri geliştirilmiştir. Bazılarında yer alan aktif maddeler çevresel endişeler, insan ve diğer canlılar üzerine zararlı etkileri nedeni ile çıkarılmış, hatta zararı belirlenen emprenye maddeleri tamamen kullanımdan kaldırılmıştır. Koruyucu etkileri daha fazla ancak çevreye etkileri daha az olanlar kullanım olanağı bulmaya devam etmektedir. Emprenye maddeleri esas olarak masif ahşap, ahşap

esaslı levha ve kompozit malzemelerde "uzun süreli koruma" temin etmek ve bozunmaları "önmek" üzere (örneğin demir-yolu traversleri, tel ve çit direkleri, köprü ayakları, teras, pergola, pencere, dış cephe malzemeleri vb.) bazıları ise "kısa süreli koruma" (örneğin yuvarlak odun, taze kesilmiş kerestenin bekleme ve transportu sırasında korunması gibi) sağlamak üzere kullanılmaktadır. Bunların yanında "sterilizasyon" amaçlı kullanılan ve ahşabı bozan etkenleri karşı "kontrol" etmek için uygulanan maddeler (örneğin fumigasyon maddeleri)de mevcuttur. Emprenye maddelerinin genel olarak bina içerisinde uygulanması gerekmekte, ancak kuru odun termitleri başta olmak üzere böcekler gibi zararlıların varlığında koruma önlemleri için uygulanabilmektedir [Reinprecht, 2016].

Ahşabın kimyasal maddeler ile korunmasının kalitesi genel olarak;

- i) Emprenye maddesinin koruma etkinlik derecesine (ahşaba zarar veren biyotik ve abiyotik zararlılara karşı etkinlik)
- ii) Ahşap içerisinde yeknesak dağılımı, iyi nüfuzu ve iyi derecede bağlanıp yıkanıp uzaklaşmamasına,
- iii) Çevreye ve canlılara en az derecede zararlı olmasına bağlı olmaktadır [Reinprecht, 2016].

Ahşapta tahribat yapan mantarlara karşı kullanılan emprenye maddeleri;

- i) Suda çözünen emprenye maddeleri,
- ii) Organik çözücülü emprenye maddeleri,
- iii) Yağlı emprenye maddeleri

olmak üzere 3 ana grupta toplanabildikleri gibi kimyasal yapıları ve kaynaklarına göre de;

- i) İnorganik emprenye maddeleri
 - a) suda çözülebilir, ahşaptan yıkanabilir
 - b) suda çözülebilir, ahşaba bağlanabilir
- ii) Organik emprenye maddeleri
 - a) Kreozot
 - b) Sentezlenmiş bileşikler (organometaller, QAC (dörtlü amonyak bileşikler), karbametler, heterosiklik bileşikler, organik çözücülerde, sulu emülsiyolarda veya sulu çözelti-lerde çözünen diğer tip bileşikler
 - c) Doğal bileşikler (kitosan vb.)

şeklinde de sınıflandırılabilirler (Reinprecht, 2016).

İnorganik emprenye maddelerinin formülasyonları bakır (Cu), çin-ko (Zn), antimon (Sb), gümüş (Ag), kadmiyum (Cd), kobalt (Co), nikel (Ni) ve bor (B) gibi elementler ile krom (Cr), civa (Hg) ve arsenik (As) gibi elementleri içeren aktif maddelerden oluşabilmektedir. Günümüzde ise Cr, Hg ve As içeren formülasyonlar ya kullanımları sınırlandırılmış ya da tamamen yasaklanmıştır (Reinprecht, 2016).

Cu, ahşabı toprak temaslı uygulamalarda (risk sınıfı 4) korumak üzere geliştirilen birçok emprenye maddesinin ana biyosit karakterdeki elementidir. Cu elementi mantarlara karşı etkinliği ve düşük memeli zehirliliği nedeni ile son yıllarda geliştirilen yeni nesil emprenye maddelerinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Ancak bakıra karşı tolerans gösteren organizmalara da etkinlik sağlama veya yıkanmaya karşı direnç, böceklerle karşı etkinlik, kolay nüfuz vb. farklı özellikler kazandırılması istendiğinde formülasyonlara bakırın dışında ek biyositler veya maddeler de katılabilir (Forest Products Laboratory, 2021).

Emprenye Maddelerine Örnekler

ACZA – amonyaklı bakır çinko arsenik: Kuzey Amerika’da Douglas göknarı gibi güç emprenye edilen ağaç türlerinden elde edilen ve öz odun içeren ahşabın emprenyesinde kullanılmaktadır. Etkinliği CCA (bakır krom arsenik) emprenye maddesi ile eşdeğerdir (Forest Products Laboratory, 2021).

CCA – bakır krom arsenik: 2000’li yıllardan itibaren kullanımı endüstriyel uygulamalarla (tel direkleri, demiryolu traversleri, köprü ayakları vb.) sınırlandırılmış ve biyolojik bozunmaya karşı ahşabı son derece etkili koruyan bir emprenye maddesidir. Biyolojik etkinliğinin yanı sıra yıkanmaya karşı oldukça dirençlidir (Forest Products Laboratory, 2021).

CCB – bakır krom bor: Mantar, böcek ve deniz zararlılarına karşı kullanılabilmektedir. Tel direklerinde, çit direklerinde, soğutma

kulesi, çatı kerestesi, deniz içi iskele direkleri gibi toprak üstü, toprak teması olan ya da deniz içerisinde kullanılabilmektedir. Yaygın olarak kullanılan metaller üzerine koroziv etkisi yoktur. Genellikle vakum-basınç metotları ile kullanılmaktadır (Bozkurt vd., 1993).

ACQ – amonyaklı bakır quat: Yapısındaki amonyak nedeni ile emprenye edilmesi güç ağaç türünden hazırlanan ahşabın emprenye işlemlerinde avantaj sağlamakta ve yeknesak bir aktif madde dağılımı da temin edilebilmektedir (Forest Products Laboratory, 2021).

CA-B, CA-C, MCA, MCA-C – bakır azol bileşikler: Yapısında etanolaminli veya amonyaklı bakırın yanında triazol bileşikler bulunmaktadır. Formülasyonda son yıllarda mikronize bakır da kullanılabilmektedir (MCA, MCA-C). Genellikle döşeme malzemesi, kereste, tel ve çit direklerinin emprenye işlemlerinde kullanılmaktadır (Forest Products Laboratory, 2021).

Cu-HDO (CX-A): Günümüzde hem Avrupa hem de Kuzey Amerika’da kullanılan amin bakırlı suda çözünen bir emprenye maddesidir. Ayrıca yapısında borik asit de yer almaktadır. Esas olarak su ve toprak teması olmayan (risk sınıfı 2 veya 3) uygulamalarda tercih edilmektedir (Forest Products Laboratory, 2021).

CuN-W – Bakır naftenat (suda çözünen): Genel olarak toprak üstü uygulamalar için önerilen organometalik bir bileşiktir. Böcek ve mantarlara karşı etkin bir koruyucudur. Hem endüstriyel işlemler için hem de fırça ile sürme gibi yüzey işlemleri için kullanımı uygundur (Forest Products Laboratory, 2021).

İnorganik bor bileşikler (borik asit, boraks-sodyum tetraborat dekahidrat, DOT -disodyum oktaborat tetrahidrat, sodyum pentaborat, çinko borat, kalsiyum borat): Bu bileşikler suda kolay çözünabildikleri (çinko ve kalsiyum boratlar hariç) için ahşaptan kolay yıkanabilmekte ve bu yüzden ahşabın su veya toprakla temas ettiği dış ortam şartlarında kullanımları tercih edilmezler. Ancak toprak üstü uygulamalarda ahşabı son derece etkili olarak mantar, böcek ve yanmaya karşı koruyabilmektedirler. Ayrıca bor bileşiklerinin memeliler ve çevreye zararları son derece sınırlı olup, güvenli kullanılabilmektedirler. Bunların yanında özellikle rutubetli ahşapta kolaylıkla difüzyon yolu derine ve yeknesak yayılım göstermektedir. Fırça ile sürme, püskürtme, enjeksiyon, daldırma gibi basit uygulamalar ile ahşaba uygulandığı gibi, vakum-basınç metotları ile de emprenye işlemleri yapılabilir. Ayrıca ahşabın yerinde bakım işlemlerinde de toz, çubuk veya pasta (bulamaç) gibi formlarda da kullanılabilmektedir (%98 DOT tuzu, yoğun glikol boratlar, glikol borat çözeltileri, bor jelleri, bor çubukları, bor bulamaç formülasyonları). Suda çözünmesi güç olan çinko veya kalsiyum borat gibi inorganik bor bileşikler ise kompozit veya levha ürünlerinde özellikle yanmaya karşı performans sağlamak amacı ile değerlendirilmektedir (Kartal vd., 2004; Kartal, 2009; Köse vd., 2009; Köse vd., 2011; Terzi vd., 2017; Kartal ve Terzi, 2019; Kartal vd., 2020a, 2020b; Forest Products Laboratory, 2021; Kartal vd., 2021; Kartal vd., 2022).

Organik bor bileşikler: Bu bileşikler esas olarak inorganik bor bileşiklerinden türetilmişlerdir. Trimetil borat ve trietil boratlar en bilinen organik bor bileşikleridir (Kartal ve Terzi, 2019). Bunların dışında organik bor esterleri (triheksilen-glikol-bibor-rat, tetrametil-amonyum bis(salicil) borat, tetrametil- amonyum

bis(2-hidroksimetilfenil) borat ve amonyum borat oleat yıkanmaya karşı oldukça dirençlidirler (Reinprecht, 2016). Ayrıca didesil-dimetil-amonyum tetrafloroborat (DBF) da yıkanmaya karşı direnci ve ahşap çürüten mantarlara karşı etkinliği laboratuvar testlerinde kanıtlanmıştır (Kartal vd., 2006a, 2006b, Hwang vd., 2006). Bunların dışında etkin organik bor bileşikler olarak vinil asetat ve 4- carboksifenilboronik asitten sentezlenmiş boronik vinil ester'den de söz edilebilir (Reinprecht, 2016).

EL2: Hem mantar hem de böceklerle karşı etkin madde içeren suda çözünen bir emprenye maddesidir. Toprak üstü uygulamalar için önerilmektedir (Forest Products Laboratory, 2021).

KDS ve KDFS-B: KDS, yapısında bakır, betain ve borik asit bulunan bir emprenye maddesidir. KDS-B tipi ise bor içermez. KDS hem toprak üstü uygulamalar hem de toprak ve tatlı su teması uygulamalarda kullanılabilir (Forest Products Laboratory, 2021).

Azol bileşikler (propikonazol ve tebukonazol): Bunlar organik triazol bileşikler olup, mantarlara karşı etkin, ancak böceklerle karşı etkin olmayan emprenye maddesi bileşenleridir. Suda yıkanmaya karşı dirençlidirler. Genel amaçlı emprenye maddesi bileşeni olmasının yanında küf ve renklenme yapan mantarlara karşı da etkindir (Forest Products Laboratory, 2021).

PTI – Propikonazol-Tebukonazol-Imidakloprid: Hem mantarlar hem de böceklerle karşı etkin bir koruma maddesidir. Toprak üstü uygulamalar için önerilmektedir (Forest Products Laboratory, 2021).

Kreozot bileşikler: Kreozot bileşikler geçmişte birçok endüstriyel emprenye işlemlerinde yoğun olarak kullanılan (demiryolu traversleri, tel ve çit direkleri, ahşap köprü elemanları ve diğer dış ortamda ve deniz suyu temasında kullanılan ahşap) etkinliği oldukça yüksek, yıkanmaya karşı son derece etkin koruma maddeleridir. Günümüzde daha az miktarda sadece endüstriyel uygulamalarda (travers ve tel direkleri) vakum-basınç emprenye işlemleri ile sınırlandırılmıştır. Kreozot bileşiklerinin biyotik zararlılara etkinliği ve yıkanma direncinin yanında korozyon yaratmaması da avantaj sağlamasına karşın, emprenye edilen ahşabın koyu ve yağlı görünümü, ağır kokusu bu maddenin dezavantajlarıdır. Ayrıca insan sağlığı ve çevre üzerine de olumsuz etkileri bulunabilmektedir (Reinprecht, 2016).

Pentaklorfenol çözeltileri: 1986'da bu yana kullanımı sınırlı hale getirilen bir emprenye maddesi olup, sadece basınçlı işlemler ile önerilmektedir. Birçok zararlı organizma grubuna (odun çürüten mantarlar, küf ve renk mantarları, böcekler) karşı oldukça etkin ayrıca deniz organizmalarına karşı da etkilidir. Ancak insan ve çevreye karşı oldukça zehirli bir bileşiktir (Forest Products Laboratory, 2021).

Yağda çözünen bakır naftenat: Mantar ve böceklerle karşı etkin bir koruma maddesi olup, kullanımı sınırlandırılmamıştır. Sadece endüstriyel uygulamalar için önerilmektedir (Forest Products Laboratory, 2021).

Oksin bakır (bakır 8 kinolinolat): Organometalik bakır bileşiği olup, tek başına toprak üstü uygulamalarda renk ve küf mantarlarına karşı oldukça etkin olup, aynı zamanda basınçlı işlemlerde de kullanılabilir. Hem böcek hem de mantarlara karşı etkindir. İnsan ve hayvanlara karşı düşük zehirlilik özelliğinden dolayı ABD

Gıda ve İlaç Kurumu tarafından gıda ile doğrudan temas eden ahşabın korunmasında da kullanılabileceği belirtilen bir koruma maddesidir. Ticari soğutma üniteleri, meyve ve sebze sandıkları, su tankları, deri, dokuma, elbise, plastik, halat vb. yerlerde de kullanılmaktadır (Forest Products Laboratory, 2021).

DCOI (DCOI-A): Kereste, direkler ve çit direkleri için önerilen bir maddedir. Hemen hemen renksiz olup, ahşabın rengini çok az değiştirmektedir (Forest Products Laboratory, 2021).

IPBC (3-iodo 2 propinil bütil karbamet): Renklenme mantarlarına karşı doğrama malzemesinin korunmasında kullanılan bir maddedir. Suda ve organik çözücülerde çözünen formülasyonları mevcuttur. Kokusuz olup, işlemlerden sonra ahşap boyanabilmektedir. Diğer bazı maddelerle de (DDAC) karıştırılarak da kullanılabilir (Forest Products Laboratory, 2021).

IPBC/Permetrin: IPBC'nin böceklerle karşı etkin olan permetrin maddesi (sentetik piretroit) ile karışımıdır (IPBC/PER). Toprak üstü uygulamalarda tercih edilir (Forest Products Laboratory, 2021).

Alkil amonyum bileşikler: DDAC – didesil dimetil amonyum klorür veya didesil dimetil amonyum karbonat (DDAC)/bikarbonat (DDABC) gibi alkil amonyum bileşikler çürüklük mantarları, renk ve küf mantarları ile böceklerle karşı etkindir. Hem su hem de organik çözücülerde hazırlanabilirler. Yıkanmaya karşı dirençli olup hem toprak üstü hem de toprakla temas eden uygulamalarda kullanılabilirler (Forest Products Laboratory, 2021).

Bu emprenye maddelerinin dışında doğal organik bileşikler başlığı altında da bitkilerden elde edilen çeşitli yağlı bileşikler (tarçın ve karanfil yağları, ıtır yağı, güvey otu yağı, çay ağacı yağı, kekik yağı vb.), ağacın odun ve kabuk tabakalarından elde edilen ekstraktif maddeler (tanenler, flavanoitler, terpenoitler vb.), biber ekstraktları, propolis, kafein, kitosan/kitin, odun veya bitki piroliz ürünleri gibi maddelerin mantar, bakteri ve/veya böceklerle karşı etkin oldukları bilinmektedir. Bu tür organik bileşikler henüz tam anlamı ile ticari bir emprenye maddesi haline getirilmemiş olmasına rağmen var olan koruyucuların formülasyonlarına ilavesi ile etkinlik oranlarında artışlar beklenebilir. Bu tür bileşiklerin odun koruma alanına kullanımı ile ilgili olarak son yıllarda yapılan araştırma sayısı artmakta ve ahşabı bozan çürüklük mantarları, küf ve renk mantarları, termit-böceklerle karşı etkinlikleri incelenmektedir. Aslında bu tür bileşikler çok uzun yıllardan beri gıda, parfümeri ve ilaç endüstrisinde koruyucu, fiksatif (bağlayıcı), tatlandırıcı, koku verici ve diğer fonksiyonel özellikleri bakımından kullanılmaktadır. Bu tür bileşiklerin antimikrobiyal özellikleri bunların ahşabı renklendiren, küflendiren ve çürüten mikroorganizmalara karşı etkinliklerinin de olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte fungusit ve antioksidant özelliklerinden dolayı odunların öz odunlarından elde edilen öz odun ekstraktif maddeleri ve kabuk ve yapraklarından elde edilen çeşitli destilasyon ürünleri de ahşap koruma alanında değerlendirilme potansiyeline sahiptirler (Kartal vd., 2004; Kartal vd., 2006; Hwang vd., 2007; Nakai vd., 2007; Kartal vd., 2011; Köse ve Taylor 2012; Terzi vd., 2012; Kartal vd., 2012; Yılğör vd., 2013; Reinprecht, 2016; Morrell, 2019; Broda, 2020; Pánek vd., 2021)

Son yıllarda ise emprenye maddelerini oluşturan bileşenlerin molekül boyutları çeşitli metotlarla mikron ya da nano boyutlara dönüştürülmekte ve mikronize ya da nano koruyucu bileşikler (nano bakır, nano çinko, nano gümüş, nano bor vb.) elde

edilmektedir. Nano ve mikronize bileşikler ile laboratuvar ve arazi çalışmaları son yıllarda oldukça yoğunlaşmış, bazı mikronize formülasyonlar ise ticarileşme olanağı bulmuştur (mikronize bakır kuat veya mikronize bakır azol vb.). Nanopartiküller tek başlarına veya mevcut koruyuculara ilave edilmesi ile yeni nesil ahşap koruyucu sistemlerin geliştirilmesinde önemli rol oynayacaklardır. Nanopartiküllerin ahşap içerisinde yeknesak dağılımı, daha derine nüfuz özellikleri, yıkanma ve biyolojik performans özellikleri ile yüksek dispersiyon ve düşük vizkozite özellikleri ahşap koruma alanında gerek basınç-vakum işlemleri ve gerekse yüzey işlemleri için yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesine öncülük edecektir (Kartal vd., 2009; Clausen vd., 2010; Clausen vd., 2011; Mantanis vd., 2014; Clausen, 2014; Terzi vd., 2016; Terzi vd., 2019).

Emprenye ve Çevre İlişkisi

Ahşap biyolojik bir malzeme olarak farklı abiyotik ve biyotik etkenler tarafından bozunmaya uğratılmaktadır (Bakınız Bölüm 6). Bu etkenlere karşı ağaç malzemenin emprenye edilmesi ahşap koruma faaliyetlerinin başında gelmekte ve malzemenin hizmet ömrünü uzatmaktadır. Bu amaç çerçevesinde geçmişte olduğu gibi günümüzde de çok sayıda ve farklı özelliklerde emprenye maddesi geliştirilmeye devam edilmektedir. BS EN 335-1 (2013) standardında belirtilen kullanım yerlerinden; (1) üstü açık yerlerde ıslanma şartlarının hâkim olduğu, (2) toprak temaslı veya tatlı su teması olan ve (3) sürekli veya düzenli olarak tuzlu suyla teması olan ağaç malzemenin uygun metotlarla emprenye edilmesi gerekmektedir.

Emprenye maddeleri suda çözünen, organik çözünürlü ve yağlı emprenye maddeleri olmak üzere 3 grupta sınıflandırılmaktadır. Emprenye maddeleri kaynaklı riskler; bulunduğu, yutulduğunda veya deri ile temas olduğunda insana olan zehirliliğine bağlıdır (ILO 1991; Engür ve Kartal, 2001). Kimyasal odun koruma önlemleri ile çevre kirliliğine neden olabilecek faktörler emprenye madde ve metotları, emprenye edilmiş ve hizmete sunulmuş ağaç malzeme, hizmet ömrünü tamamlamış emprenyeli atık ağaç malzeme olmak üzere 4 ana grupta incelenmektedir (Kartal vd., 2006).

Suda çözünen emprenye maddelerinde (CCA, ACZA, CC, ACQ, CBA, CDOC vb.) yer alan etken maddelerin emprenye işlemleri sonrasında odun hücre çeperlerine fiksasyonu ile yıkanmaya karşı dirençli hale gelmesi çevresel etkileri bakımından aranılan özelliktir. CCA emprenye maddesi uzun yıllar dünyanın neredeyse her bölgesinde kullanılan aranılan bir emprenye maddesi olmasına karşın özellikle yapısındaki arseniğin toksisitesi nedeniyle birçok ülkede kullanımı sınırlanmış veya yasaklanmıştır. Yeni alternatif emprenye maddelerinde aktif madde olarak bakırın daha fazla kullanımı farklı bir çevresel sorun olarak tartışılmaktadır. Bu dönemde yoğunlaşan diğer bir etken madde borun odundan su ile kolayca uzaklaşması nedeniyle, borun oduna bağlanması ve yıkanmasının güç hale getirilmesine yönelik araştırmalar önemli bir yer tutmuştur (Kartal vd., 2006).

Emprenye işlemleri sırasında gerçekleşen uygun olmayan emprenye metoduna bağlı olarak oluşan emprenye maddesi kayıpları, hedeflenen az veya daha fazla emprenye maddesi kullanımı, emprenye işlemi sonrasında ağaç malzemenin delme kesme ve biçilmesiyle ortaya çıkan emprenyeli atıklar, sabit emprenye tesisleri yerine ihtiyaca göre orman veya inşaat alanlarında oluşturulan

tesisler ve uygun olmayan emprenye tesisi kuruluş yeri, emprenye sonrası ağaç malzemenin fiksasyon tamamlanmadan erken kullanımı veya depolanması sırasında su ve ıslak toprak üzerine konulması nedeniyle emprenye maddesinin çevreye bulaşma ve yayılması, geri dönüşüm süreçlerinde oluşabilecek tehlikeler çevre riski yaratan, odun koruma endüstrisinde insan sağlığını olumsuz etkileyen diğer konuları oluşturmaktadır (Kartal vd., 2006).

Emprenye edilmiş ahşap birçok alanda faydalanan dayanıklı bir malzeme olmasına rağmen, yerinde bakım işlemleri de uygulanmış olsa bile sonunda hizmet ömrünü tamamlamaktadır. Hizmet ömrünü tamamlayan emprenyeli ahşabın kullanım sonrasındaki durumunu uygulanan metot ve kullanılan emprenye maddesi tipi belirlemektedir. Tehlikeli atık olarak belirtilmediğinden farklı alanlarda depolanabildiğine, farklı amaçlarla kullanıldığına hatta yakıldığına çoğu zaman şahit olduğumuz bu malzemelerin hacmi ve bertaraf maliyeti arttıkça oluşturulacak yasal düzenlemeler ile yeniden kullanma, geri dönüştürme ve bertaraf etme stratejileri önem kazanacaktır.

Emprenye edilmiş odun atığı ile ilgili olarak kabul edilen atık yönetim stratejileri; atık eliminasyonu ve azaltma, atığın modifikasyonu, atığın tekrar kullanımı, atığın geri dönüşümü, atığın yakılması, atığın gömülerek yok edilmesi olarak sıralanmaktadır. (Cooper, 2003; Kartal vd., 2006).

Emprenyeli ağaç malzemenin hizmet ömrünü uzatmak için uygulanan yerinde bakım işlemleri, tasarım ve konstrüksiyona bağlı önlemlerle koruma sağlama, çürüme riskinin az olduğu alanlarda kreozot, pentaklorfenol, CCA yerine daha az toksik özelliklere sahip emprenye maddeleri kullanmak ya da kullanılacak emprenye maddesi miktarını azaltmak atık eliminasyonu ve azaltmaya, emprenyeli ahşaplardan toksik bileşiklerin kimyasal ekstraksiyona tabi tutularak veya bakteri ve mantar etkisine bırakılarak biyolojik yollarla geri kazanılması atığın modifikasyonuna, emprenyeli tel direklerinin toprak üstünde kalan kısımlarının çatı malzemesi, yapı malzemesi, çit direği vb. olarak, kullanım ömrünü tamamlamış demiryolu traverslerinin tali demiryolu hatlarında, peyzaj uygulamalarında ve çitlerde değerlendirilmesi atığın tekrar kullanımına, hizmet ömrü sona ermiş emprenyeli ağaç malzemenin yongalanarak kompozit malzeme üretiminde faydalanılması atığın geri dönüşümüne örnek olarak sayılabilir. Atığın endüstriyel fırınlarda yüksek sıcaklıklarda yakılması ile yer altı sularına emprenye maddesinin bulaşmasını önleyecek gerekli önlemlerin alınması sonrasında emprenyeli atık ahşapların gömülmesi yukarıda belirtilen atık yönetim stratejileri içerisinde en az tercih edilmesi gereken uygulamalar olarak değerlendirilmektedir (Cooper, 2003; Kartal ve Köse, 2003; Kartal vd., 2006; Kartal ve Köse, 2008).

Emprenye tesislerinde çalışan personel için kişisel koruyucu ekipmanlar kullanması dahil bir dizi koruyucu önlem alınmalı, sıkı kurallar ve düzenlemeler getirilmelidir. Emprenye kaynaklı atığın yok edilmesi büyük dikkat gerektirmekte, toksik çözümlerin su kanalları veya kaynaklarına ulaşmaması, toplanarak uygun atık işleme tesislerinde bertaraf edilmelidir (Engür ve Kartal, 2001).

Emprenye Metotları

Emprenye İşlemlerine Hazırlık

Başarılı bir emprenye işlemi için ahşapta herhangi bir çürüklük ve bozunma olmaması ve uygun bir şekilde emprenye işlemine

hazırlanmış olması gerekmektedir. Özel yöntemler dışında kabuğu soyulmamış ve/veya rutubetli malzemenin emprenye işleminde başarı sağlanamadığından emprenye işlemlerinden önce malzemenin kabuğu iyi bir şekilde soyulmalı ve kurutulmalıdır. Emprenye işlemi sonrası yapılması durumunda emprenyesiz kısımların açığa çıkma riskinden dolayı delme, kesme, boyutlandırma gibi işlemlerin önceden tamamlanması gerekmektedir. Ayrıca delik delme (incising) gibi emprenye maddesi nüfuz derinliğini artırıcı işlemlerin de emprenye işlemi öncesi tamamlanması gerekmektedir (Bozkurt vd., 1993; Forest Products Laboratory, 2021).

Kabuk Soyma

Ahşabın tomruk formundan itibaren çürüme ve böcek tahribatına karşı korunması için hızlı bir şekilde kuruması ve emprenye maddelerinin yeterli bir şekilde ahşaba nüfuz etmesini sağlamak için yuvarlak ya da kereste halindeki malzemenin kabuklarının uzaklaştırılması gerekmektedir. İnce iç kabuk şeritleri dahi emprenye maddesinin odun içerisinde nüfuzunu engelleyebilmektedir. Ayrıca, kabuklu bir şekilde emprenye edilen ağaç malzemenin kabuk kısmı zamanla uzaklaşarak emprenye maddesinin nüfuz edemediği kısımların açığa çıkabilmekte ve bu kısımlara çürüklük mantarlarının sporları kolaylıkla ulaşabilmektedir. Bu amaçla kazık, direk gibi yuvarlak odunların kabuklarının ve bir kısım diri odunun soyularak uzaklaştırılması için birçok makine tipi geliştirilmiştir (Şekil 8). Yaş halde kabuğu soyulmamış yuvarlak odunların emprenyesinde ise difüzyon yöntemi kullanılabilmektedir (Bozkurt vd., 1993; Forest Products Laboratory, 2021).

Şekil 8

Tel direklerin emprenye işlemi öncesi kabuklarının soyulması (Bolu, Türkiye)



Kurutma

Çürüme ve renklenmeyi engellemek ve yeterli bir emprenye maddesi nüfuz derinliği sağlamak amacıyla ahşabın lif doygunluğu noktasının (LDN) altında olacak şekilde kurutulması gerekmektedir. Yalnızca suda çözünen emprenye maddelerinin kullanıldığı belli difüzyon yöntemlerinde yüksek rutubet içeriğine izin verilebilmektedir. Emprenye işlemi öncesi kontrollü olarak uygulanan kurutma işlemi sonucunda oluşan kabul edilebilir nitelikteki

çatlaklar işlem esnasında emprenye maddesinin nüfuz derinliğini artırmakta ve işlem sonrası yeni çatlakların oluşması ve emprenyesiz yüzeylerin açığa çıkma riskini azaltmaktadır (Bozkurt vd., 1993; Forest Products Laboratory, 2021).

Kalın kerestelerin, tel direklerinin ve demiryolu traverslerinin açık havada kurutulması (doğal kurutma) yaygın olarak kullanılan bir şartlandırma yöntemidir. Kuruma süresinin uzun olması, işçilik ve depolama alanı ihtiyacına karşın basınç uygulanan yöntemler için açık havada kurutma en ucuz ve etkili yöntemdir. Rutubetli ve sıcak iklim koşullarında doğal kurutma sürelerinin uzun olmasından dolayı renklenme, küflenme ve çürüklük riski artmaktadır. Mantarlar tarafından enfekte olmuş ahşap ise oldukça geçirgen hale gelmekte ve yağmurlu havalarda büyük miktarda suyu emerek emprenye işleminin başarılı olmasını engelleyebilmektedir (Bozkurt vd., 1993).

Yarık Açma – Delme İşlemleri (Incising)

Emprenyesi güç ahşaplarda emprenye maddesinin daha derine ve daha yeknesak nüfuzunu sağlamak amacıyla uygulanan bir yöntemdir. Bu işlemde keresteler delici dişler ile donatılmış silindirler arasından geçirilmektedir. Genellikle bu dişler 13-19 mm derinliğe kadar ilerlemektedir. Dişler, minimum kesi sayısı ile istenen koruyucu dağılımını verecek şekilde aralıktır. Direklerde yaklaşık 64 mm derinlikte delme işlemlerinin gerçekleştirilmesi için farklı tasarımlara sahip makinelere ihtiyaç duyulmaktadır (Bozkurt vd., 1993; Forest Products Laboratory, 2021). Bu amaçla mekanik olarak yapılan delme işlemlerinin yanında lazer teknikleri de kullanılarak delme işlemleri yapılabilmektedir (Şekil 9) (Bakır, 2022).

Şekil 9

Emprenye işlemi öncesi yarık açma işlemi (AÇÜ Orman Fakültesi, Artvin, Türkiye)



Kesme, Delme ve Boyutlandırma İşlemleri

Kesme, delme ve boyutlandırma işlemlerinin tamamının emprenye işlemleri öncesi tamamlanması gerekmektedir. Emprenye işleminden sonra ahşabın kesilmesi ya da delinmesi durumunda emprenye maddesinin ulaşamadığı kısımlar açığa çıkmaktadır. Bu korumasız alanlar çürüklük mantarlarının ve böceklerin ahşaba girişine izin vermektedir (Bozkurt vd., 1993; Forest Products Laboratory, 2021).

Ahşap üzerinde emprenye işlemi sonrasında herşeye rağmen

delme ve kesme gibi işlemler yapılma zorunluluğu ortaya çıkabilmektedir. Açığa çıkan emprenyesiz yüzeylerde kullanılan emprenye maddesinin daha derişik çözeltisinin fırça ile sürme, püskürtme gibi yöntemlerle uygulanması gerekmektedir (Bozkurt vd., 1993).

Emprenye Metotlarının Sınıflandırılması

Emprenye metotları temel olarak iki sınıfa ayrılmaktadır:

- Basınç uygulayan metotlar – Kapalı bir kazan içerisinde atmosferik basınç oldukça üzerinde basınç uygulanan emprenye işlemleri
- Basınç uygulamayan (Basit) metotlar – Basınç uygulaması olmaksızın farklı ekipman ve prosedürlerle gerçekleştirilen emprenye işlemleri (Bozkurt vd., 1993; Forest Products Laboratory, 2021).

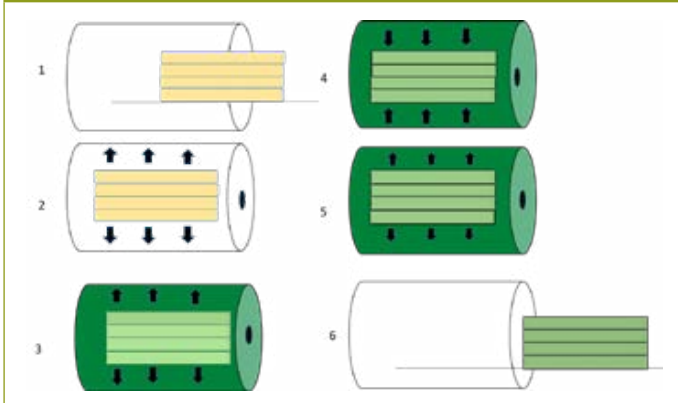
Basınç Uygulanan Metotlar

Ticari olarak ahşap genellikle yüksek basınç uygulanan bir hazne (kazan) içerisinde emprenye maddesine batırılmış halde iken basınç uygulanarak emprenye edilmektedir. Bu basınç sayesinde emprenye maddesi ahşap içerisine doğru ilerlemektedir. Basınç prosesleri küçük detaylara sahip olsa da temel prensip aynıdır. Ahşap konveyör gibi taşıyıcı bir sistemle uzun çelik silindir kazan içerisine yerleştirilmekte, kazanın kapağı kapatılmakta ve kazan emprenye maddesi ile doldurulmaktadır. Emprenye maddesi ahşap içerisinden istenen düzeyde absorbe edilene kadar basınç uygulanmaktadır. Yaygın olarak üç farklı basınç uygulama yöntemi kullanılmaktadır. Bunlar dolu hücre, modifiye dolu hücre ve boş hücre yöntemleridir.

Dolu Hücre Metodu. Dolu hücre metodu en yüksek düzeyde emprenye maddesi retensiyonu istendiğinde uygulanan bir yöntemdir. Uygulama ile ağaç malzemede hücrelerin (çeper ve lümenin) tamamen emprenye maddesi ile doldurulması ile en yüksek seviyede absorpsiyon sağlanması amaçlanmaktadır. Zararlı deniz organizmalarına karşı ahşap elemanların kreozot ile emprenyesinde standart bir yöntemdir. Suda çözünen emprenye maddeleri için yeknesak nüfuz derinliği ve retensiyonun önemli olduğu durumlarda dolu hücre metodu uygulanmaktadır. Suda çözünen emprenye maddelerinde retensiyon miktarı emprenye çözeltisinin konsantrasyonu ile ayarlanmaktadır (Forest Products Laboratory, 2021).

Şekil 10

Dolu hücre metodunun temel aşamaları.



Dolu hücre metodu temel aşamaları ve uygulanan vakum-basınç değerleri aşağıda verilmiştir (Şekil 10; Şekil 11).

Ahşabın emprenye kazanı içerisine yerleştirilmesi ve ilk vakum uygulaması ile kazan içindeki ve mümkün olan seviyede ahşap içerisindeki hava alınmaktadır. Bu aşamada yaklaşık 600 mmHg vakum uygulanmakta ve vakum süresi çamda 30 dk., kayın, meşe ve melezde 60 dk., ladinde ise 120 dk. olarak belirlenmektedir.

Emprenye maddesi çözeltisinin sisteme bağlı olarak ısıtılmış olarak ya da ortam sıcaklığında vakum kaldırılmaksızın kazana verilmektedir.

Kazan, emprenye maddesi çözeltisi ile doldurulup ahşap daha fazla emprenye maddesi alamayınca ya da istenen retensiyona ulaşınca kadar basınç uygulanmaktadır. Bu aşamada yaklaşık 7-8 atm basınç uygulanmakta ve basınç süresi çamda 60 dk., kayın, meşe ve melezde 120 dk., ladinde ise 240 dk. olarak belirlenmektedir.

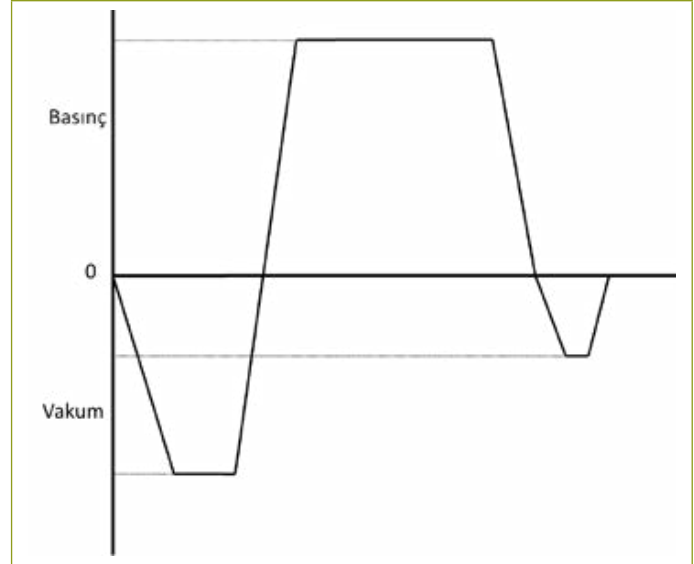
Basınç periyodunun tamamlanmasından sonra emprenye maddesi çözeltisi kazandan geri alınmaktadır.

Yaklaşık 5 dk. boyunca 400 mmHg'lık son vakum uygulanarak ahşaptan dışarı sızan fazla emprenye çözeltisi kazan içerisinde toplanmaktadır.

Emprenyeli ahşap kazandan çıkarılarak kurumaya sevk edilmektedir.

Şekil 11

Dolu hücre metodunda uygulanan vakum-basınç aşamaları



Modifiye Dolu Hücre Metodu. Modifiye dolu hücre metodu ilk vakum miktarı ve uzatılmış son vakum uygulaması dışında temelde dolu hücre metodu ile aynıdır. Bu yöntemde daha düşük başlangıç vakumu uygulanmakta ve vakum değeri ahşap türü, boyutu ve istenilen sonuç retensiyon değerine göre belirlenmektedir. Bu yöntem kerestelerin suda çözünen emprenye maddeleri ile emprenyesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Bozkurt vd., 1993; Forest Products Laboratory, 2021).

Boş Hücre Metodu. Boş hücre yönteminin amacı, nispeten düşük net emprenye maddesi retensiyon miktarı ile derin bir nüfuz

derinliği sağlamak ve masrafları daha düşük seviyede tutmaktır. Uygulama ile ağaç malzemede hücrelerin lümenlerinin boş kalması çeperlerinin ise tamamen emprenye maddesi ile doldurulması hedeflenmektedir. Yağlı emprenye maddeleri ile yapılan işlemlerde istenen retensiyon miktarı sağlandığı durumlarda her zaman boş hücre yöntemi kullanılmalıdır. Rüping (Şekil 9.12) ve Lowry metotları genellikle kullanılan boş hücre yöntemleridir. Her iki yöntemde basınç periyodu esnasında absorbe edilen emprenye maddesi çözeltisinin bir kısmını hücreden dışarı atmak için basınç kaldırıldıktan sonra sıkışan havanın genişmesini kullanmaktadır (Bozkurt vd., 1993; Forest Products Laboratory, 2021).

Rüping metodu sıklıkla ön hava basınçlı boş hücre metodu olarak adlandırılmaktadır. Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri'nde yıllardır kullanılan bir metottur. Genel uygulama prosedürü aşağıda verilmiştir (Şekil 12) (Bozkurt vd., 1993; Forest Products Laboratory, 2021).

Ahşap emprenye kazanı içerisine yerleştirilmekte ve 5 dk. boyunca 1,5-4 atm basınç uygulanmaktadır.

Emprenye maddesi çözeltisi basınç seviyesi korunarak kazana verilmektedir.

Kazan, emprenye maddesi çözeltisi ile doldurulup ahşap daha fazla emprenye maddesi alamayınca ya da istenen retensiyona ulaşınca kadar basınç uygulanmaktadır. Bu aşamada yaklaşık 7-8 atm basınç uygulanmakta ve basınç süresi çamda 60 dk., melezde 90 dk., meşede 180 dk. olarak belirlenmektedir.

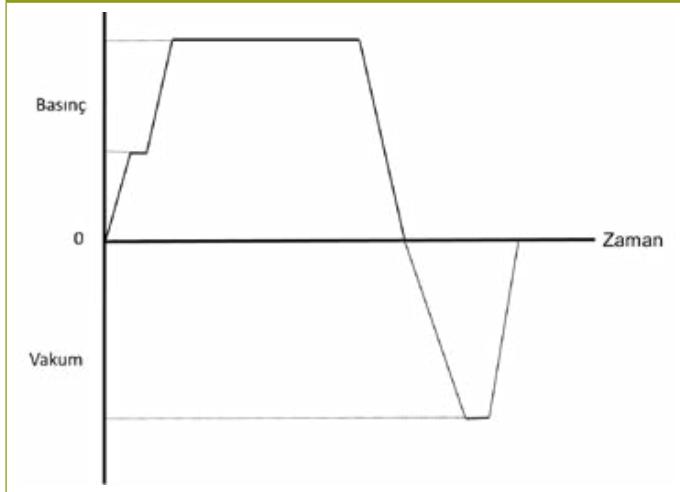
Basınç periyodunun tamamlanmasından sonra emprenye çözeltisi kazandan geri alınmaktadır.

Yaklaşık 10 dk. boyunca 600 mmHg'lık son vakum uygulaması ile ahşaptan dışarı sızan fazla emprenye çözeltisi kazan içerisinde toplanmaktadır.

Emprenyeli ahşap kazandan çıkarılarak kurumaya sevk edilmektedir.

Şekil 12

Boş hücre metotlarından Rüping metodunun uygulama aşamaları



Lowry metodu genellikle ön hava basınçsız boş hücre metodu olarak adlandırılmaktadır. Emprenye maddesi çözeltisi kazana

ön hava basıncı ya da vakum olmaksızın verilmekte ve ahşap içerisinde atmosferik basınçta bulunan hava kazanın doldurulması süresince hapsedilmektedir. Kazan emprenye maddesi çözeltisi ile doldurulduktan sonra basınç uygulanmakta ve işlemin geri kalan kısmı Rüping metodunda olduğu gibi devam ettirilmektedir (Bozkurt vd., 1993; Forest Products Laboratory, 2021).

Lowry metodu dolu hücre metodunda kullanılan ekipmanlar ile gerçekleştirilebilmektedir. Rüping metodu ise genellikle bir hava kompresörü, emprenye maddesi için ekstra bir silindir veya Rüping tankı veya hava basıncına karşı silindir içerisindeki emprenye maddesine güç uygulamak için uygun bir pompaya ihtiyaç duymaktadır. Bununla birlikte, her iki işlemin de avantajları olup, yaygın ve başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (Bozkurt vd., 1993; Forest Products Laboratory, 2021).

Direklerde ve farklı ahşap ürünlerde yağlı emprenye maddelerinin sızmasının sakıncalı olduğu durumlarda boş hücre metoduna izin verilmektedir.

Emprenye işleminde uygulanan basınç değerleri ve emprenye maddesi sıcaklıkları

Emprenye işlemlerinde kullanılan basınç değeri ahşap türüne bağlı olarak 3,5-17 atm aralığında değişmektedir. En yaygın kullanılan basınç aralığı ise 8,5-12 atm aralığındadır. Birçok ahşap türü özellikle sıcak koşullarda yüksek basınç uygulamalarına karşı hassastır. Örneğin AWP standardları sekoya, hemlock ve çam odunlarında maksimum 10 atm basınca izin vermektedir. Meşede ise bu sınır 17atm'ye çıkmaktadır (Forest Products Laboratory, 2021).

AWPA T1 [2022] standardında yağlı emprenye maddelerinden kreozot ve kreozot çözeltilerinin sıcaklığının basınç periyodu esnasında 100°C'yi geçemeyeceği vurgulanmaktadır. Krom içeren bir emprenye maddesi olarak CCA için koruyucuların erken çökmesini önlemek için maksimum çözelti sıcaklığı 50°C olarak belirlenmiştir. Diğer çoğu suda çözünen emprenye maddesi için maksimum çözelti sıcaklığı 65°C'dir. İnorganik bor çözeltilerinde ise bu sınır 93°C'dir (Forest Products Laboratory, 2021).

Basınç Uygulanmayan Metotlar

Basınç uygulanmayan yöntemlerde elde edilen nüfuz derinliği ve retensiyon miktarı bakımından dolayısıyla ahşaba sağladıkları koruyuculuk bakımından büyük farklılıklar bulunmaktadır. Ahşapta benzer retensiyon ve nüfuz derinliği değerlerinin sağlandığı basınç uygulamayan yöntemlerde de basınç uygulayan yöntemlere benzer düzeyde hizmet ömrü sağlanabilir. Bununla birlikte, basınç uygulanmayan yöntemlerde özellikle de yüzey işlemlerinde basınç uygulayan yöntemler kadar tatmin edici sonuçlar elde edilememektedir. Basınç uygulamayan yöntemler daha kapsamlı işlemlerin pratik olmadığı ya da ahşabın maruz kaldığı koşullara bağlı olarak düşük düzeyde emprenye maddesi gereksinimi bulunan durumlarda yararlıdır (Forest Products Laboratory, 2021).

Basınç uygulanmayan yöntemler genel olarak,

- Emprenye maddesi çözeltisinin kısa süreli daldırma ile yüzeye uygulanması,
- Koruyucu yağların emdirilmesi ya da suda çözünen emprenye maddesi çözeltileri içerisinde bekletme (Soğuk batırma ve uzun süreli daldırma),

- c) Suda çözünen emprenye maddelerinin difüzyon yöntemleri ile uygulanması,
- d) Vakum yöntemi ile uygulama
- e) Yüzey işlemleri (Fırça ile sürme, püskürtme)
- f) Çeşitli diğer işlemlerle uygulamayı kapsamaktadır.

Kısa Süreli Daldırma Metodu. Kısa süreli daldırma yöntemi genellikle pencere kanadı, çerçeveleri ve diğer freze işleri yapılan elemanların montaj öncesi ya da sonrası emprenye maddesi çözeltisine daldırılmasını kapsamaktadır.

Bu metot ile bazı durumlara koruyucu yağlar Ponderosa çamının diri odunu enine kesitinden 25-76 mm kadar nüfuz edebilmektedir. Fakat Douglas göknarı ve Güney Amerika çamlarının öz odununda enine kesitindeki nüfuz derinliği daha azdır. Emprenye maddelerinin kısa süreli daldırma yöntemiyle uygulanmasında enine yöndeki nüfuz derinliği çok sığ, genellikle bir milimetrenin altında kalmaktadır. Doğrama elemanlarındaki bağlantı yüzeyleri çürümeye karşı en hassas noktaları oluşturduğundan bu alanlarda iyi bir nüfuz derinliğine ulaşmak avantaj sağlamaktadır. Daldırma uygulamaları toprak ile temas durumunda ya da çok rutubetli koşullarda sınırlı bir koruma temin etmektedir. Bununla birlikte, toprak ile temasın olmadığı ve kısa süreli neme maruz kalınan koşullarda, dış cephe ahşap işlerinde ve doğramalarda uygun şekilde boyama işlemi ile daldırma uygulaması fayda sağlamaktadır (Forest Products Laboratory, 2021).

Soğuk Batırma ve Uzun Süreli Daldırma Metodu. Soğuk batırma metodu iyi kurutulmuş ahşabın birkaç saat ya da gün boyunca düşük vizkoziteli yağlar içerisinde bekletilmesini, ya da kurutulmuş ahşabın birkaç gün boyunca suda çözünen emprenye maddeleri içerisinde bekletilmesini kapsamaktadır. Bu metotlarla çit direkleri ve kerestelerde başarılı sonuçlar alınmaktadır.

Çam kazıkların soğuk batırma metodu ile 24-48 saat ya da daha fazla bir süre %5 pentaklorofenol içeren No:2 fuel oil içerisinde bekletilmesiyle 16-20 yıl ya da daha uzun bir hizmet ömrü sağlandığı bildirilmektedir. Bu kazıklardaki diri odun kısmında iyi bir nüfuz derinliği sağlanmış ve 32-96 kg/m³ aralığında retensiyon miktarı elde edilmiştir. Soğuk batırma metodunda çam dışındaki cinslerde tatmin edici sonuçlar alınmamaktadır. Örneğin bu metodun kullanıldığı huş, kavak ve siğla odunlarında uygulanan bu işlemle çok daha kısa sürede tahribat meydana gelmiştir (Forest Products Laboratory, 2021).

Soğuk batırma yönteminde elde edilen nüfuz derinliği ve retensiyon miktarı kısa süreli batırma yönteminden önemli ölçüde daha yüksektir. Fakat basınç uygulanan yöntemlere kıyasla retensiyon miktarı özel durumlar dışında (renk ve küf mantarlarının etkisi gibi) nadiren eşit olmaktadır (Forest Products Laboratory, 2021).

Suda çözünen emprenye maddeleri içerisinde uzun süre daldırma yöntemi uzun yıllardır Avrupa'da kullanılmasına rağmen ABD'de kısıtlı bir kullanıma sahiptir (Forest Products Laboratory, 2021).

Taze haldeki ahşaba bu yöntem uygulandığında emprenye maddesi suya doymuş ahşaba difüzyon yolu ile girmektedir. Çok geniş bir aralığa sahip retensiyon ve nüfuz derinliği değerlerine ulaşıldığından daha güvenli yöntemlerin uygulanabildiği durumlarda önerilmemektedir (Forest Products Laboratory, 2021).

Difüzyon Metodu. Uzun süre daldırma yöntemine ek olarak difüzyon yöntemi yaş ya da taze haldeki ahşap için kullanılmaktadır. Çözelti ya da bulamaç formundaki emprenye maddesi içerisinde bulunan bu maddeler ahşap içerisindeki suya difüzyon yolu ile geçmektedir. (Forest Products Laboratory, 2021).

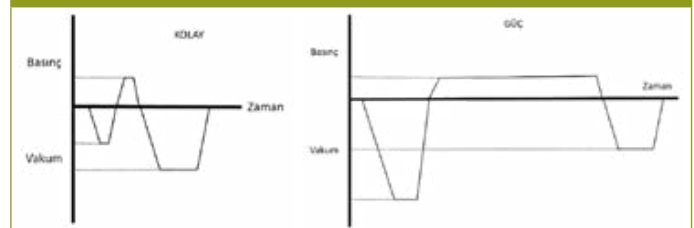
Çift Vakum Metodu. Çift vakum yöntemi ya da Avrupa'daki bilinen ismi ile VAC-VAC, doğramaların organik çözücülü emprenye maddeleri ile ya da yapısal kerestenin suda çözünen ve su itici emprenye maddeleri ile emprenyesinde kullanılmaktadır (Forest Products Laboratory, 2021).

Doğrama elemanlarının emprenyesinde VAC-VAC yönteminin kullanılmasının amacı su itici madde de içeren az veya sınırlı miktarda emprenye maddesi kullanılarak 3 dakikalık daldırma yöntemi ile elde edilen retensiyon ve nüfuz derinliği değerlerini sağlayabilmektir. Bu yöntemde hızlı düşük bir ilk vakum altında kazanın doldurulması daha sonra vakumun kaldırılması ve malzemenin çözelti içerisinde bekletilmesini (bazı durumlarda düşük bir basınç uygulanırken) takiben son bir vakum uygulaması yapılmaktadır. Bu yöntemle 3 dakikalık daldırma işlemine göre daha derin bir nüfuz derinliği ve daha yüksek retensiyon elde edilmektedir. Ahşap yüzeyi daha hızlı kurumakta böylece astar ve boya uygulama işlemleri hızlanmaktadır (Forest Products Laboratory, 2021). Genel itibarıyla işlem adımları aşağıda verilmiştir (Şekil 13) (Bozkurt vd., 1993).

1. Ahşabın emprenye kazanı içerisine yerleştirilmesi ve ilk vakum uygulaması ile kazan içindeki ve mümkün olan seviyede ahşap içerisindeki hava alınmaktadır. Bu aşamada çam gibi kolay emprenye edilebilen türlerde yaklaşık 3 dk. 250 mmHg vakum, ladin gibi güç emprenye edilen türlerde ise yaklaşık 10 dk. 625 mmHg vakum uygulanmaktadır.
2. Genellikle organik çözücülü bir emprenye maddesi vakum kaldırılmaksızın kazana verilmektedir.
3. Kazan, emprenye maddesi çözeltisi ile doldurulup ahşap daha fazla emprenye maddesi alamayınca ya da istenen retensiyona ulaşınca kadar basınç atmosferik basınca ya da 2 atm basına kadar çıkartılmaktadır. Bu periyod sarıçam gibi kolay emprenye edilen türlerde 3 dk., ladin gibi zor emprenye edilen türlerde ise 60 dk. sürdürebilmektedir.
4. Basınç periyodunun tamamlanmasından sonra emprenye maddesi çözeltisi kazandan geri alınmaktadır.
5. Yaklaşık 20 dk. boyunca 500 mmHg'lık son vakum uygulaması ile ahşaptan dışarı sızan fazla emprenye çözeltisi kazan içerisinde toplanmaktadır.
6. Emprenyeli ahşap kazandan çıkartılarak 1-2 gün bekletildikten sonra yüzey işlemlerine hazır hale gelmektedir.

Şekil 13

Kolay ve güç emprenye edilen türlerde çift vakum (Vac-Vac) yöntemi aşamaları



Çift vakum yönteminin en önemli özelliklerinden biri doğrama elemanları gibi boyut değişikliği istenmeyen bu nedenle suda çözünen emprenye maddelerinin kullanılmadığı durumlarda organik çözücülü emprenye maddeleri ile etkin olarak kullanılabilir mesidir.

Yüzey Uygulamaları. Emprenye maddelerinin uygulandığı en basit yöntemler fırça ile sürme ya da püskürtme işlemleridir. Soğuk ortam koşullarında sıvı olan emprenye maddeleri seçilmelidir. Emprenye maddesinin sadece yüzeye sürülmesi yerine imkanlar dahilinde ahşap üzerine yayılması önerilmektedir. Ahşaptaki her çatlak ve girinti koruyucu madde ile doldurulmalıdır. Çünkü emprenye maddesinin ulaşmadığı her ahşap kısım mantarlar için uygun bir ortam oluşturmaktadır. Kaba bir kerestenin her 100 m²'si için yaklaşık 40 L emprenye maddesi gerekirken zımparalanmış kerestelerde nispeten daha az emprenye maddesi uygulanabilmektedir. Enine yöndeki nüfuz derinliği kolay emprenye edilebilen türlerde dahi 2,5 mm'den daha az, boyuna yöndeki penetrasyon ise önemli ölçüde daha fazla gerçekleşmektedir. Toprak ile temas eden kullanım yerlerinde ahşap için hizmet ömrü 1-5 yıldır (Forest Products Laboratory, 2021).

Fırça ile sürme ya da püskürtme uygulamalarında, yağlı tip bakır naftenat en sık kullanılan emprenye maddesidir. Çözelti %1-2 oranında elemental bakır içermelidir. Bakır naftenat derişik halde ya da kullanıma hazır halde variller içerisinde bulunabilmektedir. Bor çözeltileri ayrıca çatlaklara ve yarıklara sürülebilir ya da püskürtülebilir. Fakat oduna bağlanmadıkları için uygulama sonrasındaki yağışlarla yıkanabilirler. Boratlar derişik çözeltiler halinde ya da su ile çözülebilecek tozlar halinde satılmaktadır (Forest Products Laboratory, 2021).

Çeşitli Diğer Metotlar. Çeşitli tiplerdeki diğer birkaç basınçsız yöntem sınırlı ölçüde kullanılmıştır. Bunların çoğu, su bazlı koruyucuların ağaçlara uygulanmasını içerir. Yaş haldeki, soyulmamış direkler için Boucherie yöntemi Avrupa'da uzun yıllardır kullanılmıştır. Bu işlemde, direklerin alt uç kısımlarına sıvı geçirmez kapaklar takılmaktadır. Daha sonra, kapağa giden bir boru hattı veya hortum aracılığıyla, su bazlı bir koruyucu hidrostatik basınç altında direk içerisine girmeye zorlanmaktadır (Bozkurt vd., 1993; Forest Products Laboratory, 2021).

Yerinde Bakım Metotları

Yerinde bakım işlemlerinin en sık uygulandığı yerler kütük evler ve benzeri yapılar; ahşap pencere ve her türlü ahşap doğramalar; ahşap konstrüksiyonlar ve bağlantı elemanları; ahşap dikme ve kolonlar; tarihi ahşap yapıların iç ve dış kısımlarında bulunan her türlü ahşap elemanlar; taş veya duvara desteklenen ahşap elemanlar; telekomünikasyon direkleri; çitler ve ahşap köprü elemanları olarak sıralanabilmektedir (Lebow ve Anthony, 2012).

Ahşap yapılarda ve ahşap elemanlarda koruma amaçlı uygulanan yerinde bakım işlemleri ise aşağıda sıralanmıştır:

- Sıvı koruma maddelerinin yüzeysel uygulamaları: Bu tür işlemlerde yüzeye uygulanan koruyucu sıvı madde sadece birkaç milimetre derinlikte koruma sağlar (Lebow ve Anthony, 2012).
- Bulamaç/macun karakterli koruma maddelerinin uygulanması: Bu tip uygulamayla ahşabın sıvı yüzey emprenye

maddelerine göre daha fazla aktif madde alması sağlanabilmektedir. Bu tür işlemler genellikle tel direklerinin toprak altı kısımlarının korunmasında uygulanmakta, işlem uygulanan yüzey su geçirmez bir membran ile kapatılmaktadır. Ayrıca su basman seviyesi veya üstünde bulunan ahşap yapı elemanlarının enine kesitlerinin kapatılması ve korunmasında da uygulanabilmektedir (Şekil 14). Günümüzde en fazla kullanılan bulamaçlar bor, bakır, bakır naftenat gibi bileşiklerin karışımlarından oluşmakta, bazı bulamaç formülasyonları azol, bifentrin, Cu-8 gibi maddeler de içerebilmektedir (Lebow ve Anthony, 2012; Kartal, 2014).

Şekil 14

Koruyucu bulamacın ahşap tel direklerine uygulanması (İUC Orman Fakültesi, İstanbul, Türkiye)



- Hazır bandajlar ile tel direklerinde koruma: İçleri koruyucu madde dolu olan disk ya da tabletlerden oluşan hazır bandajların ahşap yüzeye sarılan kısmındaki kağıtın biyolojik bozunması sonrasında aktif koruyucu maddelerin ahşap tarafından difüzyon yolu ile alınması sağlayan uygulamadır (Şekil 15). Bandaj içerisinde bor ve florür maddeleri bulunmaktadır (www.preschem.com, 2022).
- Ahşap yapı elemanların iç kısımlarının korunması: Büyük boyutlu ve kalın ahşap elemanların iç kısımlarının korunmasına yönelik uygulamadır. Kullanılan çoğu koruyucu madde katı halde olup, difüzyon prensibi ile ahşap içerisinde yayılım göstereceğinden uygulama öncesinde veya sonrasında ahşap elemanın yeterli düzeyde rutubete sahip olması gerekmektedir. Bazı durumlarda tarihi ahşap yapıların küçük boyutlu elemanlarına da uygulanabilmektedir. Çok kuru ahşap elemanlarda

Şekil 15

İçerisinde bor ve florür bulunan hazır bandaj ile tel direğinde yerinde bakım işlemi



Açıklama notu. (www.preschem.com, 2022)

se bu işlemler genellikle başarısızlıkla sonuçlanmaktadır. Difüzyon derinliği uygun rutubet şartları altında liflere dik yönde 50-100 mm, boyuna yönde ise 150-300 mm aralığında değişmektedir. İşlemleri ahşabın enine kesitine yakın bölgeler ile bağlantı yerleri vb. gibi özel kısımlara da uygulamak mümkündür (Lebow ve Anthony, 2012; Kartal, 2014)

Bu tür uygulamalarda genellikle katı çubuk formunda difüzyonla eriyen maddeler, fumigant (gazlama) maddeler ve sıvı maddeler ahşap dış yüzeyinden içeri doğru açılan deliklere yerleştirilmekte ve daha sonra çubukların yenilenmesi amacıyla bir tıpa ile kapatılarak işlem tamamlanmaktadır (Şekil 16). Ayrıca difüzyon özelliği olmayan ve aktif maddesi genellikle bakır olan sıvılar da kullanılabilir. Bunlar yıkanmaya karşı daha dayanıklı olup, geniş alanların korunmasında ve açık hava koşullarındaki ahşap elemanların korunmasında daha etkin olmaktadır. Bu uygulamalar daha önce emprenye yapılmamış ve herhangi bir koruma önlemi alınmamış ya da emprenye yapılmış olsa dahi, iyi bir uygulamanın yapılmadığı veya emprenye maddesinin etkinliğinin zamanla azaldığı durumlarda iyi sonuçlar vermektedir (Lebow ve Anthony, 2012; Kartal, 2014).

Şekil 16

Bor çubukları ve bor çubuğunun ahşap tel direğine yerleştirilmesi (İÜC Orman Fakültesi, İstanbul, Türkiye)



Bor çubukları sadece ahşap tel direklerinde değil, ahşap yer döşemeleri, ahşap temel malzemeleri, pencere ve kapı doğramaları, merdivenler, veranda malzemeleri, çatı ve cephe kaplamaları,

kütük evlerdeki ahşap elemanlarının yerinde bakım işlemlerinde kullanılabilir.

Yukarıda açıklanan ve iç uygulamalara yönelik tüm işlem ve maddeler dış maksatlarla da kullanılabilir. Yüze sürme veya püskürtme işlemleri çok büyük ahşap yüzeylerine uygulanacak ise çevre kirliliği gibi etkenler dikkate alınarak 2 ya da 3 kat sağlanacak şekilde işlemler tekrar edilmelidir. Dış uygulamalarda mutlaka formülasyona su itici madde katılmalı ya da işleminin ardından bu su itici madde yüze uygulanmalıdır. Ayrıca etkinliği artırmak amacı ile bakır veya çinko naftenat ile de işlemler yapılarak daha uzun süreli performans elde edilebilir. Yağ bazlı difüze olmayan bu tür bileşikler yapının açık alanlarındaki uygulamalarda güvenle kullanılabilir. Yukarıda belirtildiği üzere jel veya macun/bulamaç uygulamaları da burada tercih edilebilir (Lebow ve Anthony, 2012; Kartal, 2014).

Bor ahşap koruyucu olarak barındırdığı avantajları yanında LDN üzerinde rutubet miktarlarında ahşaba iyi difüze olabilmeye yeteneği ne de sahiptir. Bu nedenle bor birçok formda yerinde bakım işlemleri için en sık kullanılan bir elementtir. En popüler özelliği bor çubukları şeklinde kullanılabilmesidir. Bu çubuklar saf bor veya bor+bakır, bor+NaF (sodyum florür) şeklinde uygulanabilir. Yerinde bakım işlemlerinde ayrıca diğer bir bor bileşiği olan DOT (disodyum oktaborat tetrahidrat)'de çok sık olarak katı (toz) halde veya %25-40 konsantrasyonda sıvı formda kullanılmaktadır. Borlu bileşiklerin dışında sıvı olarak bakır naftenat, bakır hidroksit, bakır-8 ve çinko naftenatlar ile granül dazomet (fumigasyon) ve metilizosiyonat (fumigasyon) da kullanılan bileşikler arasındadır (Lebow ve Anthony, 2012).

Emprenye İşlemlerinde Kalite Kontrol

Nüfuz Derinliği ve Retensiyon

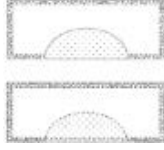
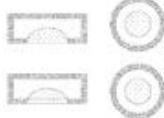
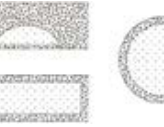
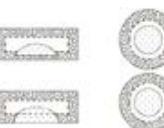
Nüfuz derinliği ve retensiyon miktarı emprenye işleminin kalitesini belirleyen eşit öneme sahip iki parametredir. Basınç uygulayan emprenye işlemlerinde bile nüfuz derinliği çok farklı düzeylerde gerçekleşebilir. Çoğu ağaç türünde emprenye maddeleri öz oduna diri odundan daha güçlü nüfuz edebilir. Ayrıca, farklı türlerin öz odunlarına emprenye maddelerinin nüfuz edebilirliğinde farklılık göstermektedir. Delik delme (Incising) işlemi birçok güç emprenye edilen türde nüfuz derinliğinin artırılmasını sağlamaktadır. Ancak çok güçlü emprenye edilen türlerde delik delme işlemi bile yeterli ve yeknesak nüfuz derinliği sağlayamamaktadır. Bu türlerin delik delme işlemi uygulanmamış öz odun yüzeylerinde 6 mm kadar derinliğe bazen ulaşabilmekte, genellikle 1,6 mm'den fazla derinlik sağlanamamaktadır (Forest Products Laboratory, 2021).

Özellikle değiştirme maliyeti yüksek ahşap elemanlarda daha derin nüfuz derinliğinin sağlanması, çatlaklarla meydana gelen emprenyesiz kısımların açığa çıkmasının önüne geçeceğinden oldukça önemlidir (Forest Products Laboratory, 2021).

Tüm basınç uygulayan yöntemlerde diri odunun tamamında emprenye maddesinin nüfuz etmesi hedeflenmelidir. Küçük boyutlu ahşap elemanlarda ve uzman denetiminde direkler, traverslerde ve yapısal kerestelerde diri odunun tamamına nüfuz sağlandığından emin olunabilir. Ancak, pratikte geniş diri odun tabakasına sahip büyük boyutlu yuvarlak malzemelerde (direkler, kazıklar vb.) her zaman tam nüfuz elde edildiğinden emin olunamaz. Bu

Tablo 5

Nüfuz derinliği (penetrasyon) sınıfları ve gösterimi

Penetrasyon Sınıfı	Penetrasyon Gereksinimleri	Analiz Bölgesi	Penetrasyon Gereksinimlerinin Gösterimi
P1	Bulunmamaktadır.	Kenardan itibaren 3 mm derinlik	
P2	Diri odunda en az 3 mm nüfuz derinliği sağlanmalıdır.	Diri odunda kenardan itibaren 3 mm derinlik	 Eğer diri odun ve öz odun ayırt edilemez ise
P3	Diri odunda en az 6 mm nüfuz derinliği sağlanmalıdır.	Diri odunda kenardan itibaren 6 mm derinlik	 Eğer diri odun ve öz odun ayırt edilemez ise
P4a	Minimum 25 mm nüfuz derinliği sağlanmalıdır.	Diri odunda kenardan itibaren 25 mm derinlik	 Diri odun genişli > 25 mm
P5	Diri odunun tamamında nüfuz derinliği sağlanmalıdır.	Diri odunun tamamı	 Eğer diri odun ve öz odun ayırt edilemez ise
P6	Diri odunun tamamı ve minimum 6 mm öz odun içerisine nüfuz derinliği sağlanmalıdır.	Diri odunun tamamı ve öz odundan 6 mm derinlik	 Eğer yalnızca öz odun mevcut ise
P7d	Diri odunda en az 12 mm, öz odunda minimum 6 mm nüfuz derinliği sağlanmalıdır.	Diri odunda 12 mm, öz odunda ise 6 mm derinlik	 Eğer diri odun ve öz odun ayırt edilemez ise

İşaretler

- Göz ile ayırt edilmesi durumunda diri odun ile öz odun arasındaki sınır
- Göz ile ayırt edilememesi durumunda diri odun ile öz odun arasındaki sınır
-  Emprenye maddesinin nüfuz ettiği kısım
-  Öz odun
-  Emprenye işlemine gerek olmayan kısım

a Yalnızca güç emprenye edilen yuvarlak odunlara uygulanır

b Bir penetrasyon sınıfının gereksinimleri karşılayabilmesi bahse konu ahşabın emprenye edilebilirliğine bağlı olacaktır. Bazı ahşap türlerinde bazı hedef penetrasyon sınıflarına ulaşmanın mümkün olmayacağı ya da özel işlemlerle (delik delme-incising, özel kurutma programları vb.) mümkün olabileceği kabul edilmelidir. Bugüne kadar ki deneyimler ladin (*Picea* spp.) cinsi ahşapta P5, P6 ve P7 sınıfı düzeyinde penetrasyon sağlanabilmesi için bu özel önlemlere ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymaktadır.

c Diri odun ve öz odun arasında ayırım yapmak mümkün değilse, penetrasyon gerekliliği ve analiz bölgesi, ilgili penetrasyon sınıfı için belirtilen diri odun derinliği olarak kabul edilmelidir.

d İlgili sınıflandırma taslak halindeki EN 351-1 [2021] standardında yer almaktadır.

Açıklama notu. EN 351. 2021 (Draft). Durability of wood and wood-based products - Preservative-treated solid wood - Part 1: Classification of preservative penetration and retention. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium kaynağından alınmıştır.

nedenle standartlar bazı toleranslar göstermektedir. Örneğin, AWP A T1 (2022) standardı güney çamı direklerinde suda çözünen empenye maddeleri için 89 mm ya da diri odun genişliğinin %90'ı kadar nüfuz derinliğini kabul etmektedir. Gereksinimler, türe, boyuta, sınıfa ve belirlenen retensiyon seviyelerine göre değişmektedir (Forest Products Laboratory, 2021). EN 351-1(2007) standart test metoduna ve yine EN 351-1(2021) standardının taslak halinde nüfuz derinliği (penetrasyon) durumu 7 sınıfa ayrılarak ayrıntılı olarak açıklanmıştır (Tablo 5):

Retensiyon miktarı, empenye edilmiş birim ahşap hacmi başına koruyucu madde kütlesi olarak (kg/m³) ifade edilir. Retensiyon miktarını belirlemek için, analiz bölgesinden bir artım kalemi çıkarılarak empenye maddesi retensiyonu için analiz edilir. AWP A Standartları ve ICC-ES (International Code Council Evaluation Service) değerlendirme raporlarında listelenen koruyucular ve retensiyon seviyeleri belirtilmiştir. Güncel öneriler ve diğer ayrıntılar için bu spesifikasyonların güncel sayılarına başvurulmalıdır. Çoğu durumda, retensiyon seviyesi türlere ve analiz bölgesine

Tablo 6

Kullanım yerine göre gerekli retensiyon miktarları

	Kullanım yerine göre retensiyon (kg/m³) değerleri					
		Dış ortam, toprak üstü		Toprak ya da tatlı su teması		
Koruyucu Madde	Bina içi, kuru ya da nemli	Üstü kapalı	Üstü açık	Genel	Şiddetli	Çok Şiddetli
Suda çözünen emprenye maddeleri						
ACZA	4,0	4,0	4,0	6,4	9,6	9,6
ACQ-A	2,4	2,4	2,4	6,4	–	–
ACQ-B	4,0	4,0	4,0	6,4	9,6	9,6
ACQ-C	4,0	4,0	4,0	6,4	9,6	9,6
ACQ-D	2,4	2,4	2,4	6,4	9,6	9,6
CA-B	1,7	1,7	1,7	3,3	5,0	5,0
CA-C	1,0	1,0	1,0	2,4	5,0	5,0
CCA	NL*	NL	4,0	6,4	9,6	9,6
CX-A	3,3	3,3	3,3	–	–	–
Cu-N	1,12	1,12	1,12	1,76	–	–
EL2	0,3	0,3	0,3	–	–	–
KDS	3,0	3,0	3,0	7,5	–	–
PTI	0,21	0,21	0,21/0,29a	–	–	–
MCA	1,0	1,0	1,0	2,4	5,0	5,0
MCA-C	0,8	0,8	1,0	2,4	5,0	5,0
SBX	2,8/4,5b	–	–	–	–	–
Yağlı emprenye maddeleri						
Kreozot	128/NRc	128,0	128,0	160,0	160,0	192,0
Penta P9 Tip A yağ	6,4/NRc	6,4	6,4	8,0	8,0	8,0
Penta P9 Tip C yağ	6,4/NRc	6,4	6,4	8,0	8,0	8,0
CuN	0,64/NRc	0,64	0,64	0,96	1,2	1,2
Cu8	0,32	0,32	0,32	–	–	–
DCOI-A	–	–	2,1	2,4	–	–

NL*, EPA (ABD, çevre koruma ajansı) tarafından kullanımına izin verilmemektedir.

^a Stabilizör kullanılmaması durumunda daha yüksek retensiyon gereklidir.

^b Formasan toprakaltı termitlerinin varlığında daha yüksek retensiyon gerekir.

^c NR, Yaşam olan yapılarda kullanılması önerilmez.

Açıklama notu. Forest Products Laboratory, 2021. "Wood handbook: wood as an engineering material. General Technical Report. FPL-GTR-282. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 543 s kaynağından alınmıştır.

bağlı olarak farklılık göstermektedir. Şiddetli iklim veya maruz kalma koşulları altında kullanılacak ürünler için daha yüksek koruyucu madde retensiyonu gerekmektedir. Ağır hizmet tipi elektrik direklerinin ve yüksek değişim maliyeti olan yapısal keresteler ve temel malzemeleri gibi ürünlerde daha yüksek retensiyon miktarlarının sağlanması gerekmektedir. Buna bağlı olarak bu tip malzemelerde sınırlı öz odun oranı ve daha fazla nüfuz derinliği istenmektedir. Özellikle diri odun çok geniş olduğunda veya emprenye işlemine karşı biraz direnç gösterdiğinde yeterli bir nüfuz derinliğine ulaşmak için retensiyon miktarını (işlem süresi, basınç miktarı artırılması vb.) artırmak gerekebilir. Emprenye maddelerinin sızmasını engellemek için öngörülen asgari seviyenin altında yağlı emprenye maddesi kullanımı istenebilir. Emprenye işlemini reddetmeye dayalı eski yönergeler yeterli nüfuz derinliğini ya da retensiyonu sağlamaz, bu durumdan kaçınılmalı ve sonuç odaklı yönergeler dikkate alınmalıdır. Kullanım yerlerine göre retensiyon değerler Tablo 6 ve Tablo 7’de verilmiştir. (Forest Products Laboratory, 2021).

Tablo 7

Deniz içi uygulamalarda grekli retensiyon miktarları

Deniz organizmaları ve koruyucu maddeler	Retensiyon (kg/m ³)	
	Yuvarlak Kazık	Biçilmiş Malzeme
<i>Limnoria tripunctata</i> varlığı (tekli işlem)		
Amonyaklı bakır çinko arsenik (ACZA)	40	40
Bakır krom arsenik (CCA)	40	
Kreozot	320	400
<i>Limnoria tripunctata</i> ve Pholadların varlığı (ikili işlem)		
<i>İlk işlem</i>		
Amonyaklı bakır çinko arsenik (ACZA)	16	24
Bakır krom arsenik (CCA)	16	24
<i>İkinci işlem</i>		
Kreozot	320	320

Açıklama notu. Forest Products Laboratory, 2021. "Wood handbook: wood as an engineering material. General Technical Report. FPL-GTR-282. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 543 s kaynağından uyarlanmıştır.

Çeşitli Kullanım Yerleri İçin Koruma Uygulamaları

Tomruk ve Kerestelerin Depolama Sürecinde Korunması

Tomrukların biçilmesi ile elde edilen kerestelerin korunmasında ki en kolay yöntem bu kerestelerin teknik olarak kurutulmasıdır. Kurutma sırasında uygulanan yüksek sıcaklık hem mevcut mantar ve böcekleri yok edecek hem de kurutma işlemi sonrası bu canlılar için uygun rutubet koşullarını ortadan kaldırmış olunacaktır (Bozkurt vd., 1993).

Uzun depolama süreçlerinde oluşan esmer ve beyaz çürüklükler, kimyasal ve biyolojik kökenli renklemeler, böcek zararları ve kurumayla meydana gelen derin çatlaklar odunda meydana gelen başlıca depolama kayıplarıdır. Yüksek değerli kaplamalık tomruklar başta olmak üzere yuvarlak odunlarda oluşan yanıl yüzey

ve baş çatlakları randımanı çok düşürmekte, çürüklük ve renk mantarlarına uygun ortam sağlamaktadır (Zabel ve Morrell, 1992; Kantay ve Köse, 2009).

Su içerisinde bekletme veya yağmurlama (Şekil 9.17) şeklinde gerçekleştirilen sulu depolama önemli bir koruma yöntemidir. Su içerisinde depolamada, kabuklu ve kabuksuz tomruklar havuzlarda su içerisinde tutulabildiği gibi doğal su birikintilerinden ve göllerden de faydalanılabilmektedir. Yağmurlama, kolay tesis edilmesi ve ekonomik olması nedeniyle su içinde depolamaya göre daha çok tercih edilmektedir. Tomruklar taze haldeyken yağmurlamaya başlanılmalı, odun yüzeylerinin suya tam doymuş olması sağlanmalı, istifte bulunan tomrukların enine kesitleri iyi ıslatılmalıdır. Mantarların gelişmesi için gerekli oksijen miktarının (odun boşluk hacminin % 20'sinden fazla) yeterli seviyenin altına çekilmesi ve oksijenin su içerisindeki düşük difüzyon hızı sulu depolamanın koruma mekanizmasını oluşturmaktadır. Yağmurlama ile tomrukların yüzeyinde gelişen maya, küf mantarları, alg ve bakteriler, odunda yaşayan mantarların sporlarının oduna bulaşmasını engelleyen fiziksel veya kimyasal bir bariyer etkisi oluşturmaktadır. Ayrıca paransim hücrelerinin suya doymuş odunda daha uzun süre canlı kalarak koruma işlevlerini sürdürdükleri kabul edilmektedir (Zabel ve Morrell, 1992; Kantay ve Köse, 2009).

Tomrukların çatlama ve çürümeye karşı korunmasında uygulanan diğer bir yöntem kuru depolamadır. Bu yöntemde tomruğun taze halini mümkün olduğu kadar uzun süre korumak amaçlanmaktadır. Tomruk ve kereste enine kesitlerine rutubet kaybını önleyen maddeler sürülerek kuruma dolayısıyla çatlamanın önlenmesi sağlanmakta, aynı zamanda çok yavaş ta olsa gerçekleşen kurumayla mantar sporlarının çimlenmesini ve dolayısıyla mantarların gelişmesi engellenmektedir (Kantay ve Köse, 2009). Ayrıca özellikle geniş yapraklı ağaç tomruklarında enine kesitlerde meydana gelen yarılmaların engellenmesi için S demiri çakılması önerilmektedir (Şekil 17).

Şekil 17

Kayın tomruklarının depolanmasında yağmurlama uygulaması (a) (Bolu, Türkiye) yarılmaların engellenmesi için S demiri uygulaması (b) (Tennessee, USA),



Tel ve Çit Direklerinin Korunması

Tel ve çit direklerinin korunması bu ürünlerin genellikle toprak teması koşullarında kullanılması nedeniyle risk sınıfı 4 koşullarına uygun şekilde emprenye edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla suda çözünen emprenye maddeleri ya da kreozot ve yağlı emprenye maddeleri kullanılabilir. Sıcak - soğuk açık tank metodu kullanılarak kreozotla emprenye edilebilirler. Eğer emprenye işlemi sonrası

boyama işlemi yapılacak ise suda çözünen emprenye maddeleri tercih edilmelidir. En iyi sonuç basınç uygulayan emprenye metodlarının kullanılmasıyla elde edilmektedir (Bozkurt vd., 1993).

Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. (TEDAŞ) Genel Müdürlüğü Malzeme Yönetimi Dairesi Başkanlığı tarafından oluşturulmuş şartnamaya göre (TEDAŞ, 1996) havai hatlar için kullanılacak direklerde dolu hücre metoduyla emprenye işlemiyle sağlanacak ortalama net kuru tuz miktarı, Bakır/Krom/Bor (CCB) tuzları için çam direklerde 14 kg/m³, Bakır/Krom/Arsenik (CCA) tuzları için çam direklerde 10,5 kg/m³, olması gerekmektedir. Kreozot ile emprenye işlemlerinin ise boş hücre (Rüping) metoduna göre yapılması ve 115 kg/m³ absorpsiyon sağlanması gerekmektedir.

Demiryolu Traverslerinin Korunması

Demiryolu traverslerinin emprenyesinde genel olarak kreozot tercih edilmektedir. Riskin yüksek olduğu yerlerde dolu hücre metodu, düşük olduğu yerlerde ise boş hücre metodu kullanılabilir. TS 4393'e göre (2005) Emprenye işlemi sonrasında kayın traverslerinin en az 145 kg/m³, meşe traverslerin en az 45 kg/m³, çam traverslerin ise en az 90 kg/m³ olmalıdır. Ayrıca diri odunun tamamı, öz odunun ise mümkün olduğunca emprenye edilmiş olması gerekmektedir. Ekolojik emprenye olarak da bilinen C sınıfı kreozotta, diğer kreozot türlerinde izin verilenden daha düşük kaynama fraksiyonunu ve düşük uçuculukta kokuda azalma sağlanmaktadır (BS EN 13991, 2003).

Deniz İçi Kullanılan Malzemenin Korunması

Deniz içi kullanım koşullarında risk sınıfı 5'e göre emprenye edilmesi gerekmektedir. Ayrıca iskele direklerinde fiziksel bariyerlerde kullanılabilir. İskele direklerinin kreozot ile emprenyesinde dolu hücre metodu kullanılmalı ve en az 320 kg/m³ absorpsiyon elde edilmelidir. Suda çözünen emprenye maddelerinden CCA kullanılması durumunda ılıman iklim bölgelerinde 32 kg/m³, tropik iklim bölgelerinde ise 48 kg/m³ retensiyon elde edilmelidir. Bundan dolayı emprenye işlemi dolu hücre metodu kullanılarak gerçekleştirilmelidir. Ayrıca bazı bölgelerde çok saldırgan ve emprenye maddelerine karşı toleranslı deniz organizmalarının bulunması durumunda ikili işlem yapılmalıdır. Bu işlemde önce suda çözünen tuzlar ile sonrasında kreozot ile emprenye işlemi yapılmaktadır. Ayrıca sonrasında iskele direkleri gibi malzemeler plastik ya da metal kaplama elemanları ile sarılarak korunabilir (Bozkurt vd., 1993). Amerika Birleşik Devletleri sahilleri dikkate alındığında CCA veya ACZA maddelerinde 40 kg/m³ retensiyon miktarı sağlanması ile koruma sağlanabilmektedir. Kreozot kullanılması durumunda ise 320 kg/m³ absorpsiyon sağlanması gerekmektedir. Ayrıca ikili işlemlerin gerekmesi durumunda önce 16 kg/m³ retensiyon sağlayacak şekilde CCA ya da ACZA ile sonrasında ise 320 kg/m³ absorpsiyon sağlayacak şekilde kreozot ile emprenye işlemi gerçekleştirilmelidir. Bu değerler kereste kullanımı durumunda biraz artmaktadır (Forest Products Laboratory, 2021).

Sera, Tarım Ve Gıda Ambalajlarında Kullanılan Ahşabın Korunması

Arı kovarı

Kovan üretiminde Kreozot, pentaklorofenol, CCA, ACA ve ACZA emprenye maddeleri kullanılmamalıdır. Çünkü bu maddeler bal ve

balmumuna bulaşarak arıların ölmesine neden olabilir. ACC, bakır naftenat, çinko naftenat, ve bakır kinolinolat ile emprenye edilmiş ahşap malzeme kovanın her yerinde kullanılabilir (Ormrod ve Van Dalfsen, 1993).

Çit korkulukları, ağiller, yapı kerestesi

Maksimum hizmet ömrü için hava koşulları ve diğer koşullar dikkate alınarak ahşap çitler ve yapı keresteleri emprenye edilmelidir. Emprenye işlemi seçilirken değerlendirme yalnızca maliyet açısından değil aynı zamanda emprenyeli ahşabın görünümü, boyanabilirliği ve hayvanlar tarafından çiğnenmeyi caydırması değerlendirilmelidir. Dış mekân ağilleri boş hücre metodu ile kreozot ile emprenye edilmiş sert ağaç türleri uzun süre hizmet verebilir. Kurşun içerdiğinden dolayı çiftlik hayvanlarının zehirlenmesine neden olabilecek kullanılmış karter yağı ahşap üzerine sürülmemeli ya da püskürtülmemelidir (Ormrod ve Van Dalfsen, 1993).

Sera, mantar üretim tesisi ve fidanlık

Bakır ve çinko naftenat, bakır kinolinolat ve CCA seralardaki yapısal kerestelerde ve tezgahlarda kullanılabilir. Kreozot ve pentaklorofenol ise kesinlikle kullanılmamalıdır. Mantar üretim tesislerinde bakır ya da çinko naftenat ve CCA yapısal kerestelerde kullanılabilir. Fakat Bitki yetiştirme tesislerinde yalnızca CCA ya da bakır kinolinolat kullanılmalıdır. Mantar üretim çiftliklerinde pentaklorofenol kullanılmamalıdır. Fidanlıklarda perakende satış amacıyla kullanılan çuvallar çinko naftenat ile emprenye edilmelidir (Ormrod ve Van Dalfsen, 1993, Ünlügil ve Alptekin, 1990).

Silo

Silo üretiminde kullanılan ahşap direkler ya da keresteler basınç metodları ile emprenye edilmelidir. Bakır naftenat ya da bakır kinolinolat siloların her kısmında kullanılabilir. Silo doldurulmadan önce emprenyeli ahşap tamamen kurutulmalıdır. CCA ile emprenye edilen kısımlar silaj ile doğrudan temas etmemelidir. Silolarda yapısal amaçlı kullanılan, silaj ile temas etmeyen ve çiftlik hayvanları tarafından ulaşılamayacak direkler kreozot ya da pentaklorofenol ile emprenye edilebilir. Daha önce kreozot ya da pentaklorofenol ile emprenye edilmiş siloların gerekli kısımları emprenyesiz ya da uygun kimyasal maddelerle emprenye edilmiş ahşap ile kaplanmalıdır (Ormrod ve Van Dalfsen, 1993).

Fidan destek çubukları (Herekler)

Fidanların yetiştirilmeleri aşamasında kullanılan destek çubukları kritik öneme sahiptir. Pentaklorofenolün bitkiler üzerine olumsuz etkisi iyi bir şekilde ortaya konulmuştur. Yağlı emprenye maddelerinin de sıcak havalarda fitotoksinler yaydığı için bitkiler hassasiyet gösterebilirler. Bu tip emprenye maddelerinin kullanıldığı destek çubukları bitki köklerinden 45 cm uzakta tutulmalıdır. Destek çubuklarının CCA ile emprenye edilmesi daha güvenlidir (Ormrod ve Van Dalfsen, 1993). Organik tarım yapılması durumunda çok dayanıklı ya da dayanıklı ağaç türlerinden elde edilen ahşap elemanlar kullanılmalıdır.

Ahşap Esaslı Levha ve Kompozit Malzemelerin Korunması

Odun esaslı levha ürünleri günümüzde masif ağaç malzemenin kullanıldığı alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. OSB,

kontrplak, lif levha, yonga levha, LVL gibi levha ürünleri iç ve dış mekanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Laks, 2002). Fakat bu kompozit levha ürünlerinin kullanımları rutubet ve çürümeye karşı hassasiyetlerinden dolayı genellikle sınırlıdır (Baileys vd., 2003).

Kompozit levha ürünlerinin üretimi son 30 yılda hızla artmıştır. İnşaatçıların ve mimarların bu ürünleri kullanmaya yönelmeleri, odun hammaddesi kaynaklarının azalması ve yeni üretim tekniklerinin geliştirilmesi bu durumu ortaya çıkarmıştır (Gardner vd., 2003). Levha ürünlerine olan talebin artması ve daha geniş kullanım alanlarına sahip ürünlerin tercih edilmesi bu ürünlerinde emprenye edilmesi gerekliliği ortaya çıkarmıştır.

Odun esaslı levha ürünlerinin emprenye edilmesi, koruyucu maddenin ürüne çok farklı yollarla uygulanabilmesinden dolayı masif ağaç malzemeye göre daha kolaydır (Gardner vd., 2003). Emprenye maddelerinin masif malzemeye uygulanmasında sıvı çözeltiler vakum-basınç yöntemleri kullanılarak ya da fırça ile sürme ve püskürtme gibi yüzey işlemleri ile ağaç malzemeye uygulanmaktadır. Bunların dışında bor çubukları gibi kimyasal madde malzemeye doğrudan yerleştirilmektedir. Uygulanan bu yöntemlerdeki temel kaygı emprenye maddesinin malzeme içerisindeki dağılımıdır. Ayrıca kullanılan bu yöntemler üretimin son aşamalarında yapılabilmektedir. Odun esaslı kompozit malzemelere ise kimyasal maddeler üretim sonrasında olabileceği gibi üretim esnasında da uygulanabilmektedir (Manning, 2002). Günümüzde çoğunlukla üretim esnasında emprenye işlemi yapılmaktadır. Kompozit levha ürünlerinin koruyucu kimyasal maddeler ile korunmasında kullanılan birkaç genel yöntem;

1. Emprenyeli odun kullanılması,
2. Üretim esnasında yonga, lif ve şeritlerin koruyucu maddeler ile muamele edilmesi
3. Sıvı çözeltilerin vakum-basınç yöntemleri kullanılarak ya da fırça ile sürme ve püskürtme gibi yüzey işlemleri ile uygulanması
4. Hizmet ömrü tamamlanmış emprenyeli atık ağaç malzemelerin ya da doğal dayanıklı ağaç türlerinin kullanılmasıdır (Gardner vd., 2003).

Odun esaslı kompozit levha ürünlerine üretim esnasında koruyucu maddelerin uygulanabilmesinin avantajları aşağıda sıralanmıştır (Laks, 1999).

- Hızlı karıştırıcı bir sistem yardımı ile koruyucu maddenin homojen olarak ürün içerisinde dağılımı sağlanabilir. Eğer istenirse levha ürünlerinin istenilen kısımlarında koruyucu madde bulunması sağlanabilir.
- Geleneksel basınç metotlarına göre işlemlerin üretim esnasında bitmesi ve ikinci bir prosesin olmaması maliyetleri düşürür.
- Üretim prosesinde ufak değişiklikler yapılarak koruyucu maddeler tutkal ve su iticilerin karıştırılması esnasında harmana katılabilir.

Fakat odun esaslı kompozit malzemeye üretim esnasında koruyucu maddelerin uygulanmasının bazı dezavantajları da bulunmaktadır (Gardner vd., 2003).

- Kimyasal etkileşim ve tutkal etkisinin azalması
- Kompozit malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerinin etkilenmesi

- Sıcak pres esnasında yüksek miktarda kimyasal madde kaybıdır.

Şerit ve ince tipteki odundan üretilen kompozit levha ürünlerinin üretimi esnasında koruyucu maddelerin uygulanmasında kullanılan metotlar Laks ve Palardy (1993) tarafından açıklanmıştır. Bu metotlar ayrıca lif ve yonga esaslı kompozitler içinde uygulanabilir. Bu metotlar;

- Odun parçalarının kurutma öncesi ya da sonrasında kimyasal maddenin spreylere başlıkları ile malzemeye püskürtülmesi ya da emprenye maddesinin karıştırıcı yardımı ile odun hammaddesine uygulanması
- Koruyucu kimyasal madde ve tutkal karışımının karıştırıcıda odun hammaddesine uygulanması
- Toz halindeki kimyasal maddenin karıştırıcı içerisinde odun hammaddesine katılmasıdır.

Suda çözünen emprenye maddeleri masif malzemelere geleneksel olarak basınç metotları kullanılarak uygulanmaktadır. Fakat aynı şekilde levha ürünlerinin emprenye edilmesi mümkün değildir. Levha ürünlerinin suda çözünen emprenye maddeleri ile emprenye edilmesi durumunda ciddi kalınlığına şişmeler meydana gelmektedir. Ayrıca diğer boyutsal stabilizasyon değerlerinde zayıflamalar görülmektedir. Organik çözücülü emprenye

Tablo 8

Bazı yaygın levha ürünleri ve kompozitler ve bu ürünlerde kullanılan koruyucu maddeler

Levha Türü	Kullanılan Koruyucu Madde
Glu-lam Kereste	Amonyaklı bakır quat (ACQ), CCA, kreozot, pentaklorafenol (PCP), 3-iyod-2-propinil butil karbamet (IPBC) – klorpyrifos (CPF), bakır azole (CA-B), bakır naftenat (CuN), bakır-8 quinolinolate (Cu8).
Kontrplak	Amonyaklı bakır arsenat (ACA), amonyaklı bakır çinko arsenat (ACZA), ACQ, CCA, CA-B, propiconazol (PPZ), tebuconazol (TEB), permetrin, deltametrin, bifentrin, imidacloprid, arsenik trioksit, glolik boratlar, DOT.
LVL	CCA, PPZ, TEB, permetrin, deltametrin, bifentrin, imidacloprid, arsenik trioksit, glolik boratlar
PSL	CCA, kreozot, penta, bakır naftenat, Cu8, bakır azole, ACQ, PPZ, TEB, permetrin, deltametrin, bifentrin, imidacloprid.
OSB	Çinko borat, bakır kompleks, bakır, cypermethrin ya da permethrin
LSL	Çinko borat, IPBC + cypermethrin ya da permetrin
Yonga Levha	Yanmayı geciktirici kimyasal maddeler ve permetrin
Lif Levha (MDF)	Yanmayı geciktirici kimyasal maddeler, çinko borat, borik asit
HDF	Yanmayı geciktirici kimyasal maddeler
Odun plastik kompozit ürünler	Çinko borat

Açıklama notu. Kirkpatrick, J.W., Barnes, H.M. 2006. Biocide treatments for wood Composites- a review. The International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 06-40323, Tromsø, Norway kaynağından uyarlanmıştır.

maddelerinin de maliyetlerinin yüksek olması ticari olarak kullanımlarını kısıtlamaktadır (Manning, 2002). Laks (1999) ve Manning (2002)'ye göre koruyucu sistemlerin levha ürünlerinde bazı kriterlere sahip olması gerekmektedir. Bunlar, üretim esnasında ısı stabilitesi olmalı, özellikle pres sırasında tutkal ile negatif bir etkileşime girmemeli, direnç özelliklerini, boyanabilirliği olumsuz etkilememeli, nispeten ekonomik olmalı, en az çevre etkisine ve düşük uçuculuğa sahip olmalıdır.

Çeşitli kimyasal bileşikler başarılı bir biçimde levha ürünlerinde kullanılmaktadır (Taşcıoğlu vd., 2020). Kuzey Amerika'da çinko borat yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanım şekli olarak toz halinde ya da çözelti halinde kullanılmaktadır (Laks, 1999). Bazı yaygın levha ürünleri ve bu ürünlerde kullanılan koruyucu maddeler Tablo 8'de verilmektedir.

Ahşapta Boyutsal Stabilizasyon Sağlayıcı Modifikasyon İşlemleri

Boyutsal Stabilizasyon ve Çalışma Kavramları

Ahşabın kullanımında karşılaşılan en önemli istenmeyen özelliği çalışmasıdır. Çalışma terimi ahşabın havanın bağıl nemine bağlı olarak daralma ve genişleme davranışını ifade etmektedir. Malzemedeki bu daralma ve genişleme her yönde aynı oranda olmadığından kullanım esnasında çarpılma, çanaklaşma, iç ve yüzey çatlaklar meydana gelmektedir (Bozkurt vd., 1993).

Ahşabın boyutsal stabilitesini sağlamak için farklı yöntemler uygulanmaktadır ve bu yöntemlerin etkinliği temel olarak anti daralma etkisinin (ADE) tespiti ile yapılmaktadır. ADE ahşabın hacmen daralma ya da genişleme yüzdesi hesaplanarak yapılmaktadır (Forest Products Laboratory, 2021).

Anti daralma etkisi aşağıdaki formüller ile hesaplanmaktadır:

$$S = \frac{V2 - V1}{V1} \times 100$$

Burada S volumetrik (hacimsel) şişme katsayısını, V2 ahşabın rutubetli bir koşul ya da su ile teması sonrası hacmi, V1 ahşabın rutubetli bir ortama maruz bırakılması ya da ıslatılmasından önceki tam kuru haldeki hacmini ifade etmektedir. Bu hesaplamanın ardından ADE değeri tespit edilmektedir.

$$ADE = \frac{S2 - S1}{S1} \times 100$$

Burada ADE değeri bir işlem sonucu şişmedeki azalma ya da anti-daralma etkisini ifade etmektedir. S2 işlem görmüş ahşabın hacimsel şişme yüzdesidir, S1 ise herhangi bir işlem görmemiş ahşabın hacimsel şişme yüzdesidir. ADE ise rutubet alımının nispi bir ifadesidir.

Boyutsal Stabilizasyon Sağlayıcı İşlemler

Levhaların Birbirine Dik Yapıştırılması

Ahşabın enine yönde genişlemesi ile boyuna yönde genişlemesinden 50 kat daha fazladır. Bu çalışma farklılığını gidermek için kontrplak üretiminde papeller lif yönleri birbirine dik gelecek

şekilde yapıştırılarak bir papelin çalışma isteği diğer papelin ters yöndeki çalışma isteği ile engellenmektedir. Bu şekilde üretilen malzeme kontrplak olarak bilinmektedir (Bozkurt vd., 1993).

Yüzeysel İşlemler

Ahşap malzemeye pratik olarak yüzeyinin uygun boya, vernik ve doğal yağlar gibi yüzey işlem maddelerinin uygulanması ile gerçekleştirilmektedir. Bu tip malzemelerin uygulanmasında özellikle nefes alabilir nitelikteki yüzey malzemelerinin kullanılması önem taşımaktadır. Bu işlemler, ahşabın su alımını engeller iken diğer taraftan da ahşap bünyesindeki rutubetin dışarı atmasına izin verir nitelikte olmalıdır. Aksi takdirde çürüklük mantarlarının gelişimi için rutubet bakımından çok uygun bir ortam oluşturulmuş olacaktır. Bu tip işlemler yüzeysel olması nedeniyle periyodik olarak yenilenmesi gerekmektedir.

Su İtici Maddelere Daldırma

Doğrama malzemeleri gibi dış hava koşullarına maruz kalan ahşap elemanlarda kullanılan bir yöntemdir. Temel amacı su absorpsiyonunun engellenmesidir. Daha önce hava kurusu hale getirilmiş ahşap elemanlar doğal reçineler, mumlu maddeler, parafin gibi hidrofobik maddeler içerisine daldırılarak üç dakika bekletilmektedir (Bozkurt vd., 1993).

Termal Modifikasyon İşlemleri

Ahşabın kimyasal katkı maddeleri olmadan ve oksidatif yanmayı önlemek için sınırlı miktarda oksijenin sağlandığı ortamda ısı ile modifikasyonu termal modifikasyon olarak adlandırılır. Bu işlemle ahşabın bazı özelliklerini iyileştirmek için genel kabul görmüş ve ticarileştirilmiş bir prosedürdür (Jones vd., 2019). Elde edilen ürün, CEN/TS 15679 (2008)'a göre termal olarak modifiye edilmiş kereste olarak tanımlanan ve masif ahşap malzemelerdeki zararlıları öldürerek bu zararlıların kıtalar ve bölgeler arasında transferlerini önlemek amacıyla daha düşük sıcaklıkta (≈55°C) gerçekleştirilen sterilizasyon işleminden (ısıtılma işlemi) ayırt edilmelidir. Termal modifikasyondaki fikir, reaktif bölgelerle etkileşime girebilen kimyasallar eklemek yerine odunun kendi yapısından yararlanarak kimyasal bileşimini değiştirmektir. Termal modifikasyon sırasında ahşaptaki değişiklikler, odun türlerine bağlı olarak değişen derecelerde meydana gelen yumuşatma ve lignin bileşenlerinin yeniden dağıtılması, asit gruplarının kaybı ve çapraz bağlanma ve repolimerizasyonu içeren işlemler oldukça iyi anlaşılmıştır. Proses koşulları, meydana gelen kimyasal olaylarda önemli rol oynamaktadır. (Sandberg vd., 2021).

Termal modifikasyon yüksek sıcaklık nedeniyle ahşap yapısında kalıcı değişikliklere neden olmaktadır. Bu fikir 100 yılı aşkın bir süre önce ortaya çıkmıştır (Tiemann, 1917; Zelinka vd., 2022). İlk ticari denemeler ABD ve Almanya'da gerçekleştirilmiştir. Endüstriyel üretim ise 1990'ların başında Finlandiya, Fransa, Almanya ve Hollanda'da başlamıştır. Günümüzde dünya çapında çoğu Avrupa'da olmak üzere yüzün üzerinde fabrikada yaklaşık 500.000 m³ termal olarak modifiye edilmiş ahşap üretilmektedir (Jones vd., 2019; Zelinka vd., 2022).

Termal modifikasyon işlemi genellikle termal dönüşümün yönetilebildiği 160-240 °C aralığında gerçekleştirilmektedir. İşlem sırasında ahşabın kendiliğinden yanmasını engellemek için

atmosferdeki oksijen alınarak ahşabın vakum altında, buhar atmosferinde, sıcak yağ içerisinde ya da azot gibi inert bir gaz ortamında ısıtılması ile sağlanmaktadır. Ahşabın termal modifikasyonunda çoğunlukla ThermoWood® süreci uygulanmaktadır (Zelinka vd., 2022). 2000 yılında kurulan ThermoWood Birliği uygulamayı Thermo-S ve Thermo-D olarak sınıflandırmıştır.

ThermoWood® 4 aşamalı bir işlemdir:

1. İlk ısıtma aşaması, burada fırın sıcaklığı ısı ve buhar kullanılarak hızlıca yaklaşık 100 °C'ye getirilir.
2. Kurutma amacıyla sıcaklık yavaşça 100°C den 130°C'ye getirilir.
3. Modifikasyon amacıyla 2-3 saat boyunca Thermo-S (stabilite amaçlı) için 192°C sıcaklığa ya da Thermo-D (dayanıklılık amaçlı) için 212°C'de ahşap tutulur.
4. Son olarak soğutma ve rutubet dengelemesi aşaması olup son rutubet içeriği yaklaşık %4 olacak şekilde işlem sonlandırılır (Sandberg vd., 2021).

Termal modifikasyon işlemi sonrası ahşabın boyutsal stabilitesi artmakta ve ASE %40-55 düzeyinde olmaktadır. Çürüklük mantarlarına karşı da daha dayanıklı hale gelmektedir. Yapılan çalışmalarda toprak üstü alan denemelerinde Basidiomycetes mantarlarına karşı etkinlik belirlenmiştir (Welzbacher vd., 2007; Metsä-Kortelainen, 2011; Metsä-Kortelainen ve Viitanen 2017). Fakat termal modifikasyon işlemi toprak teması durumunda biyolojik dayanıklılığı artırmada daha az etkilidir. Bu durum laboratuvar denemelerinde (Kamdem vd., 2002; Metsä-Kortelainen vd., 2009; Zelinka vd., 2022) ve alan denemelerinde (Welzbacher vd., 2007; Zelinka vd., 2022) ortaya konulmuştur. Sonuç olarak termal olarak modifiye edilmiş ahşabın toprak teması koşullarında kullanımını uygunsuz olarak belirtilmiş (Welzbacher vd., 2007; Zelinka vd., 2022).

Ahşap Yüzeyinin Kömürleştirilerek Modifikasyonu

Ahşap yanarak ardışık bir dizi reaksiyonla kömürleşmektedir. Düşük sıcaklıklarda bu reaksiyonlar termal modifikasyon ile benzerdirler. Kömürleştirme işlemi basitçe pirolizi ilerletmek ve ahşap bileşenlerini kısmen parçalayarak kömürleşmiş bir tabakaya indirmektedir (Zelinka vd., 2022).

Kömürleştirme işlemi odunun dayanıklılığını artırmak için uygulanan tarihi bir modifikasyon yöntemidir. Dünya genelinde biyolojik degradasyona karşı koruma amacıyla dış kısımları yakılan (özellikle toprağa gelen kısımları) çit direkleri gibi uygulamalar bulunmaktadır. Bir Japon yöntemi olan yakisugi ise iyi bilinen bir kömürleştirme yöntemidir. Bu yöntemde sugi odunu dış kaplama ya da koruma levhalarının ahşabı hava koşulları, rutubet ve çürümeye karşı korumak amacıyla yakılarak yakisugi denilen malzeme üretilmektedir. Japonya'nın batısında yakisugi işlemi gören ahşap ile kaplanmış evler görülebilmektedir. Bu yöntemde 3 levha üçgen olarak birbirine bağlanır, altından yakılarak üçgen levhanın baca etkisi görerek alevin levhalar boyunca yayılarak uç kısımdan çıkması sağlanır. Daha sonra ip kesilir ve alev su ile söndürülür. Modern yöntemlerde gaz alevi fırınları kullanılmaktadır. Yüzeyin sıcak plakalar ile kömürleştirilmesi ise levha sıcaklığının kontrol edilebilmesi nedeniyle tekrarlanabilir bir yöntemdir (Kymäläinen vd., 2017; Machová vd., 2021, Zelinka vd., 2022).

Yüzeyi kömürleştirilmiş ahşabın çürümesi ile ilgili çok az bilgi olmasına rağmen malzemenin toprak teması koşullarında kullanımını çok uygun görülmemektedir. Linyit ve kömürü dahi degrade eden organizmaların olduğu bilinirken ahşabın tamamen korunması imkânsız olabilir. Kömürleştirme işlemi sonrası pH'nın yükselmesi çürüklük mantarlarının gelişimini olumsuz yönde etkiler. Fakat 300°C üzerinde başlayan kömürleşme yüzeyden iç kısımlara doğru çatlaklar oluşturarak hüf ve sporların modifiye edilmemiş ahşap kısmına ulaşmasına neden olabilir (Fakoussa ve Hofrichter, 1999; Ebner vd., 2021; Zelinka vd., 2022).

Kimyasal Modifikasyon İşlemleri

Ahşap üzerinde uygulanan kimyasal modifikasyon işlemleri aktif ve pasif olmak üzere ikiye ayrılabilir (Şekil 18). Aktif modifikasyon işlemleri, hemiselüöz, selüloz ve lignin gibi odun bileşenlerinin kimyasal olarak değiştirilmesini, pasif modifikasyon ise lümen ve/veya hücre çeperinin hücre çeperi bileşenleri ile herhangi bir reaksiyon olmadan doldurulmasını kapsamaktadır (Sandberg vd., 2021).

Şekil 18

Pasif ve aktif kimyasal modifikasyon işlemleri



Açıklama notu. Sandberg, D., Kutnar, A., Karlsson, O., Jones, D. 2021. Wood Modification Technologies: Principles, Sustainability, and the Need for innovation. CRC Press kaynağından uyarlanmıştır.

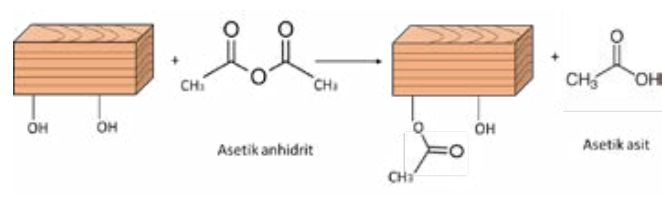
Asetilasyon. Ticari olarak asetilasyon işlemi asetik anhidrit kullanılarak yapılmaktadır. Özellikle büyük kesitli ahşap malzemelerde nüfuz derinliği önemlidir. Heterojen bir uygulama asetilasyonun farklı düzeylerde olmasına neden olur ve bu durum rutubet alımını ve boyutsal stabiliteyi etkiler. Dolayısıyla malzemenin işlenmesi ve kullanımı esnasında çarpılmasına neden olur (Sandberg vd., 2021).

Odunun asetilasyonu (Şekil 19) kimyasal bir modifikasyon sürecidir ve elektrofilik ajan (asetik anhidrit) harici bir basınç uygulaması ile odun içerisindeki geçitlerden geçmesi için zorlanır. Bu işlemin amacı odundaki ulaşılabilir nukleofilik hidroksil grupları ile reaksiyona girerek hücre çeperine difüze olarak daha ileri düzeyde reaksiyon sağlanmasıdır. Böylece hücre çeperindeki birikim ve hidrofilik hidroksil gruplarının kaybı rutubet alımını düşürür, odunun şişme direncini ve çürümeye karşı dayanıklılığını artırır (Rowel, 1983; Hill ve Jones, 1996; Hill, 2006; Sandberg vd., 2021).

Asetilasyon işleminde odun bileşenlerindeki hidroksil grupları hidrofobik asetil gruplarına dönüşerek işlem görmüş malzemenin hidrofobitesini artırmaktadır. Odundaki bir kısım asetilenmiş

Şekil 19

Asetilasyon işlem süreci



Açıklama notu. Sandberg, D., Kutnar, A., Karlsson, O., Jones, D. 2021. Wood Modification Technologies: Principles, Sustainability, and the Need for innovation. CRC Press kaynağından uyarlanmıştır.

hemiselülozun degradasyonu, asetil gruplarının hemiselülozu degrade eden birçok hidrolitik enzim üzerindeki sterik etkisiyle bloklanır (Pawar vd., 2013; Sandberg vd., 2021). Asetilasyon işlemi enzimlerin bloklanma etkisini iletir, malzemenin rutubet alımını düşürür ve böylece çürüme hızı önemli ölçüde düşer. Odun yapısının şişmeyi engellemesiyle yoğunlaşan asetil grubu rutubet alımını zorlaştırarak çürümeye karşı dayanıklı, boyutsal olarak daha stabil ve mekanik direnci iyi bir malzeme elde edilmesini sağlar. Asetilasyon işlemi sırasında ortaya çıkan yan ürün olan asetik asit suyunun uzaklaştırılması ile asetik anhidrite dönüştürülebilir. Günümüzde Accsys Tech. in Arnhem (Hollanda) şirketi endüstriyel olarak Accoya™ ticari ismi ile asetillenmiş ahşap üretmektedir. Üretiminde genellikle düşük yoğunluğu ve yüksek parmeabiliteli Radiata çamı kullanılmaktadır. Accoya™ genellikle dış ortam kapı, pencere, yer döşemesi elemanı olarak kullanılmaktadır (Sandberg vd., 2021).

Yapılan birçok çalışmada asetillenmiş odunun yüksek biyolojik dayanıklılık gösterdiği tespit edilmiştir (Larsson-Brelid vd., 2000; Papadopoulos ve Hill, 2002; Rowell vd., 2007; Hill, 2009; Mohebbi ve Militz, 2010; Larsson-Brelid, 2013; Sandberg vd., 2021). Toprak teması durumunda asetil ağırlık artışı bakımında yaklaşık eşik değer %18-19 olarak belirlenmiştir (Larsson-Brelid ve Westin, 2010; Sandberg vd., 2021). Asetilasyon işleminin odunu termitlere karşı da dayanıklılığını artırmaktadır. Asetillenmiş odunun toprak altı ve Formasan termitlerine karşı çok dayanıklı olduğu bilinmektedir (Alexander vd., 2014; Sandberg vd., 2021). Ayrıca asetillenmiş ahşabın rengi koyulaşmamaktadır, bunun yanında bazı ağaç türlerinde renk açılmaktadır (Bozkurt vd., 1993).

Compreg™ İşlemi. Fenoplastik polimerler ilk ticari sentetik polimerik ürünler arasındaydı. Birçok fenoplastik malzeme daha az kırılğan termoplastik malzemelerle yer değiştirmesine rağmen halen kontrplak, lif levha gibi panel ürünlerinde suya dirençli bağları oluşturmak için ve ayrıca modifiye edilmiş ahşap malzemelerde aktif bileşen olarak halen kullanılmaktadır. Termoset reçinelerle emprenye edilen ahşap termo, hidro ya da mekanik yöntemlerle sıkıştırılarak daha yoğun ve ileri ürün özelliklerine sahip ahşap ürünler üretilebilmektedir. Tipik olarak fenol formaldehit reçinesi ile emprenye edilen ahşaba kürleşme esnasında sıcak pres uygulanarak Compreg olarak adlandırılan modifiye ahşap ürün elde edilmektedir. Bu malzeme ileri düzeyde boyutsal stabiliteye, iyi bir sertliğe, yüksek çürüme dayanıklılığına sahiptir (Stamm ve Seborg, 1939; Stamm ve Seborg, 1955; Stamm ve Bachelor, 1960; Stamm, 1964, Sandberg vd., 2021). Spiker kabinleri, depolama tankları, endüstriyel yer döşemeleri ve kurşun geçirmez malzemeler gibi uygulamalar için üretilmiştir. Compreg

Şekil 20

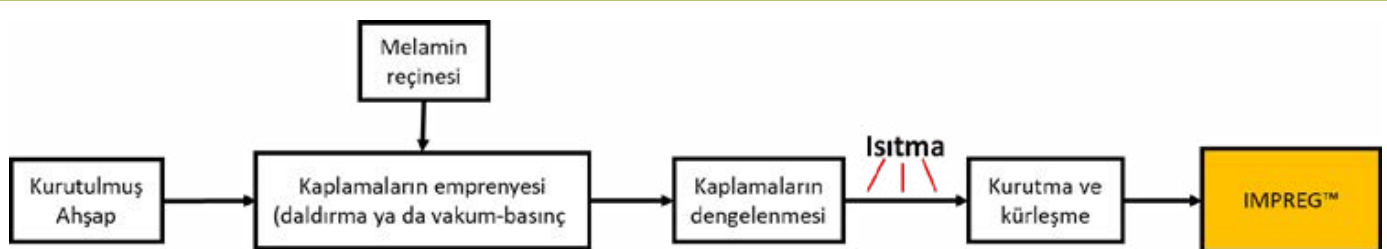
Ahşap kaplama malzemedeki Compreg işlem süreci



Açıklama notu. Sandberg, D., Kutnar, A., Karlsson, O., Jones, D. 2021. Wood Modification Technologies: Principles, Sustainability, and the Need for innovation. CRC Press kaynağından uyarlanmıştır.

Şekil 21

Ahşap kaplama malzemedeki Impreg işlem süreci



Açıklama notu. Sandberg, D., Kutnar, A., Karlsson, O., Jones, D. 2021. Wood Modification Technologies: Principles, Sustainability, and the Need for innovation. CRC Press kaynağından uyarlanmıştır.

üretiminde yalnızca kolay emprenye edilebilen ahşap türleri kullanılmalıdır. Bu amaçla Avrupa kayını uygun bir türdür. Genellikle de kaplamalar kolay emprenye edilebilmelerinden dolayı kullanılmıştır. Günümüzde Compreg malzeme yoğunlaştırılmış ahşap ürünler üretmek amacıyla birkaç üretici tarafından üretilmektedir (Şekil 20).

Diğer modifiye ahşap ürünleri ile karşılaştırıldığında Compreg ürünleri rutubet alımını düşürmede, boyutsal stabilitede, çürümeye karşı dayanıklılığı artırmada, eğilme direncinde ve sertlikte en iyi ürünler arasındadır. Fakat, yüksek yoğunluğu ve kalın malzeme üretimindeki zorluk nedeniyle kullanımı kısıtlı olabilir.

Impreg™ İşlemi. Impreg™ sürecinde ahşap reçine ile emprenye edilir, küreleştirilir ve kurutulur. Reçine fenol-melamin ya da üre esaslı olabilir. Zayıf asidik ya da bazik koşullarda metil metakrilat ya da styren gibi bir monomer kullanılarak küreleşme sağlanır. Ahşap su bazlı reçine çözeltisine batırılır, eğer hava kurusu ise çözelti ile vakum-basınç yöntemi ile kuru oduna oranla %25-30 ağırlık artışı oluncaya kadar emprenye edilir. Emprenye edilmiş ahşap 1-2 gün normal koşullarda bekletilir ve daha sonra su uzaklaşana kadar kurutulur. Son olarak da 60-150°C de ısıtılarak küreleşme sağlanır (Şekil 9.21). Farklı reçineler kullanılmış olsada son zamanlarda ahşaptaki doğal görünüm ve fiziksel iyileşmeler değerlendirilerek melamin reçinelerine odaklanılmıştır (Hagstrand, 1999; Sandberg vd., 2021).

Melamin reçinesinin hücre çeperine nüfuz etmesinden dolayı su alımı düşer (Rapp vd., 1999; Gindl vd., 2002), ve boyutsal stabilite artar (Stamm, 1964; Pittman vd., 1994; Sandberg vd., 2021). Çürüklük mantarlarına karşı dayanıklılık gösterir (Lukowsky, 1999; Rapp vd., 1999; Gsöls vd., 2003; Kielmann vd., 2016; Sandberg vd., 2021) ve yanıcılığı düşer (Pittman vd., 1994; Hagstrand, 1999; Sandberg vd., 2021). Melamin içeriğindeki azota bağlı olarak yanmaya karşı dirençlidir. Yüksek sıcaklığa bağlı olarak yayılan azot, oksijen oranını düşürerek bir alevi söndürebilir. Melamin ayrıca ısı emici olarak görev yaparak ortamdan yüksek miktarda ısı enerjisini emer. Aleve maruz kaldığında ahşap üzerinde bir tabaka oluşturarak ahşaptan daha fazla yanıcı bileşenin çıkışını engeller (Lin vd., 2020).

Furfurilasyon İşlemi. Furfuril alkol şeker kamışı gibi tarımsal atıklardan elde edilen bir sıvıdır. Furfurilasyon işleminde ahşap zayıf asit katalizi varlığında furfuril alkol ile emprenye edilir. Bu işlem sıcaklık ile küreleme aşaması ve kimyasalların geri kazanıldığı kurutma ile devam eder. Isıtma işleminin sonunda sert ve dirençli bir malzeme oluşur. Reçine koyu kahverengimsi bir renge neden olur fakat doğrudan güneş ışınlarına maruz kaldığında ahşap malzeme grileşir. Odunun furfurilasyonu amacıyla, ilk fabrika Kebony™ AS şirketi olarak 2009 yılında Oslo-Norveç'te kurulmuştur diğer bir fabrika ise Antwerp-Belçika'da kurulmuştur. Foreco Dalfsen-Hollanda şirketi tarafından ön polimerizasyon işlemi uygulanmış Furfuril alkol reçinesi uygulanmış radiata çamı kullanılarak ürettikleri furfillenmiş ahşap Nobelwood™ olarak bilinmektedir (Jones vd., 2019).

Furfurilasyon işlemi ile ahşabın çürümeye karşı dayanıklılığı önemli ölçüde artarak Sınıf 1 düzeyine çıkmaktadır (Gérardin, 2016). Sarıçam öz odunun daha güç modifiye edilmesinden dolayı toprak üstü kullanımda önerilmektedir. Tropik termit sahalarında

gerçekleştirilen çalışmalarda kontrol örneklerinin tamamına yakını tüketilirken yüksek ya da orta düzeydeki (%30-35 ağırlık artışı) yüklemelerde furfurilasyon işlemi uygulanmış örneklerde çok düşük ağırlık kayıpları tespit edilmiştir (Lande vd., 2004; Hadi vd., 2005). %29 ağırlık artışı sağlanacak şekilde furfurilasyon işlemi yapılan örneklerde İsveç deniz ortamında 4 yıl boyunca sağlam kalmıştır (Sandberg vd., 2021).

Furfurilasyon işlemi uygulanmış ahşap boyanabilir renklendirilebilir ya da kaplanabilmektedir. Ahşap yağları ve su esaslı akrilik boyalar önerilmektedir. Alkid ve akrilat kullanılabilir fakat yüksek katı madde içermeleri durumunda düşük tutunma görülebilir (van der Zee vd., 2007). Dış mekan uygulamalarında yumuşak çelik ya da çinko kaplı çelik birleştirme elemanlarında korozyona karşı hassasiyet görülmektedir. Bu tip uygulamalarda paslanmaz çelik gibi aside dayanıklı birleştiriciler kullanılmalıdır (Jermer vd., 2017).

DMDHEU İşlemi. Bir siklik N-methylol bileşiği olan 1,3-dimethylol-4,5-dihydroxyethyleneurea (DMDHEU) 2010 ve 2016 yılları arasında BASF şirketi tarafından işletilen Belmadur™ işleminin ilk versiyonunda kullanılmaktaydı. 2016 yılında Belmadur üretimi için (DMDHEU) Göttingen, Almanya üniversitesi ile DMDHEU kullanan bir teknolojinin geliştirilmesi için araştırmaları sürdürmüştür (Emmerich, 2016). Son olarak, çapraz bağlanma ajanı (glyoxal) BASF tarafından Belmadur™ işlemi kapsamında sunulmuştur (BASF,2020).

Silikatlar ve Silanlar. Su camı gibi çözülebilir silikatların ahşabın yanmaya karşı korunması amacıyla kullanımı 1825 yılından beri bilinmektedir ve birçok mineralleştirici yüzey işlemi günümüzde de kullanımdadır. İkinci en yaygın kullanım ise sodyum ve potasyum tuz formundaki suda çözülen silikatlardır. Bu silikatlar yanmaya, çürümeye ve suya karşı kullanılabilir. Yer döşemesi, çit ve bahçe mobilyası tipik kullanım alanlarıdır.

Kitosan. Kitosan karides kabuğu ve diğer deniz kabuklularından elde edilen bir polimer olan kitinin alkali işlemi ile üretilen bir polydispersdir. Larnøy vd., (2006b) kitosan ile emprenye edilmiş ahşabın özelliklerini incelemiştir. Kitosan biyobozunur olup antifungal ve antibakteriyel özelliklere sahiptir. Nispeten düşük molekül ağırlıklı kitosan hücre çeperine penetre olarak şişme ve daralmaya daha dirençli bir ahşap elde edilebilir (Sandberg vd., 2021).

Polietilen Glikol (PEG). Polietilen glikol ile emprenye işlemi genellikle ıslak arkeolojik ahşapta boyutsal stabiliteyi sağlamaya amaçla yapılmaktadır (Sandberg vd., 2021). Emprenye işlemi ahşabın ilk suya doymuş şişkin halini korumasını sağlamaktadır. Emprenye işlemi sırasında PEG molekülleri ile serbest su molekülleri yer değiştirmektedir. Dünyaca ünlü Vasa gemisinin gövdesi üzerine 17 yıl boyunca PEG çözeltisi uygulanmış ve rutubet içeriği dikkatlice denge koşullarına getirilmiştir (Sandberg, 2021). Genellikle düşük molekül ağırlıklı PEG (<1000 g/mol) emprenyeli ahşapta daha yüksek higroskopisite sağlamaktadır (Gregory vd., 2012).

Ahşabın Yanmaya Karşı Korunması

Ahşabın Yanması ve Kömürleşmesi

Ahşap sürekli olarak ısıtıldığında yapısında değişiklikler olmayı başlamakta. Bu değişiklikler sıcaklığın artmasıyla daha da artmaktadır. Ahşabın 3 temel bileşeni (hemiselüloz, selüloz ve

lignin) termal olarak bozunarak uçucu gaz karışımı, katran (levoglukozan) ve kömürleşmiş tabaka oluşturlar. Ahşabın termal bozunmasının kendi bileşenlerinin üst üste binen bozunma reaksiyonlarının bir sonucu olduğu kabul edilmektedir. Ahşab bileşenlerini termal bozunmaya uğradıkları sıcak aralıkları üst üste çakışmakta ve termal degradasyonun meydana geldiği sıcaklık ise hemiselüloz için 180-350°C, selüloz için 275-350°C, lignin için ise 250-500°C aralığında olacak şekilde sıralanmaktadır (Kim vd., 2006). Ligninin termal stabilitesinin nedeninin sağlam çapraz bağlı yapısı ve yüksek molekül ağırlığından kaynaklandığı düşünülmektedir (Yang vd., 2006; Lowden ve Hull, 2013).

Ahşabın yanması diğer yanıcı malzemelerde olduğu gibi tek bir süreçten oluşmamaktadır. Bir dizi kimyasal ve/veya fiziksel süreçle ahşap yapı içerisindeki bağlar kırılır ve uçucu ürünler açığa çıkar. Yanma süreci birkaç aşama ile açıklanabilir. İlk aşamada odunun pirolizi ya da ısınması ile kömür (katı kalıntı), katran (sıvı kalıntı) ve gazlar oluşmaktadır. Uçucuların miktarı ve içeriği yanma koşullarına ve ahşabın türüne göre değişmektedir. İkinci aşamada ise uygun uçucu yanıcı gaz-hava konsantrasyonu yeterli bir tutuşturucu varlığında oksidasyon reaksiyonuna girerek CO ve CO₂ oluşturmaktadır. Eğer bu reaksiyonu sırasında görünür spektrumda radyasyon yayılır ise olay alevli yanma olarak adlandırılır. Üçüncü aşamada ekzotermik reaksiyon sonucunda oluşan ısı enerjisi katı formdaki ahşabın ve/veya kömürleşmiş tabakanın pirolizinin devam etmesini sağlayarak daha fazla uçucu maddenin açığa çıkmasını sağlamaktadır. Oluşan gazların tekrar tutuşmasıyla oluşan ısı yine odun yüzeyine ulaşmakta ve bir döngü oluşturmaktadır (Şekil 22). Bu döngü odunun etrafının tamamen kömür ile kaplanıp bütün olası gazların çıkışına kadar devam etmektedir (LeVan, 1989; Babrauskas, 2002; Russell vd., 2004; Terzi, 2018a). Bunun aksine, geri kalan kömürleşmiş kısmın oksidasyonu kor hali yanma olarak adlandırılmaktadır.

Ahşabın pirolizi ve yanması sırasında farklı sıcaklık aralıklarında meydana gelen temel olaylar Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9

Belli sıcaklık aralıklarında gerçekleşen piroliz ve yanma olayları

Sıcaklık Aralığı	Parçalanma süreçleri
>100°C	Su çıkışı olmakta ve CO ₂ , formik asit ve asetik asit gibi yanıcı olmayan gazlar oluşur.
160-200°C	Hemiselüloz, selüloz ve lignin yavaşça parçalanmaya başlar. Bu aşamada oluşan gazlar temelde su buharı olup yanıcı değildir.
200-225°C	Ahşabın pirolizi halen çok yavaştır, oluşan gazların çoğu yanıcı değildir.
225-275°C	Temel piroliz olayı başlar ve harici bir alev kaynağı ile alevli yanma başlar.
280-500°C	CO ve metan gibi uçucu gazlar oluşur ve duman parçacıkları görülebilir. Ahşabın fiziksel yapısı bozulduğunda hızla kömürleşme olur.
> 500°C	Uçucu ürünlerin çıkışı tamamlanır. Kömür kor hali yanarak okside olur ve CO, CO ₂ ve H ₂ O oluşturur.

Açıklama notu. Russell, L., Marney, D., Humphrey, D., Hunt, A., Dowling, V., Cookson, L. 2004. Combining fire retardant and preservative systems for timber products in exposed applications – state of the art review. Forest and Wood Products Research and Development Corporation. Australian forest and wood products industry and the Australian Government kaynağından alınmıştır.

Yanmayı Geciktirici Maddeler

Ahşabın yanmaya karşı korunma ihtiyacı eski çağlardan itibaren ortaya çıkan bir ihtiyaçtır. Romalılar zamanında ahşaba yanmaya karşı dirençli olması için sirke ve şap uygulanmıştır. 1820 yılında Gay-Lussac amonyum fosfat ve boraks maddelerinin yanmayı geciktirici maddeler olarak kullanılabileceğini ortaya koymuş ve günümüzde de kullanılan inorganik kimyasal maddelerin çoğu 1800 ile 1870 yılları arasında tespit edilmiştir. Yakın dönemde ahşabın yanmaya karşı dirençli olması amacıyla öncü çalışmalar 1930-1935 yılları arasında ABD'de Orman Ürünleri Laboratuvarı'nda yürütülmüştür. Bu çalışmalarda günümüzde halen kullanılmakta olan diamonyum fosfat, amonyum sülfat ve boraks gibi maddelerin etkinliği ortaya konulmuştur (LeVan, 1984).

Ahşabın Yanmayı Geciktirici Maddeler ile Korunması

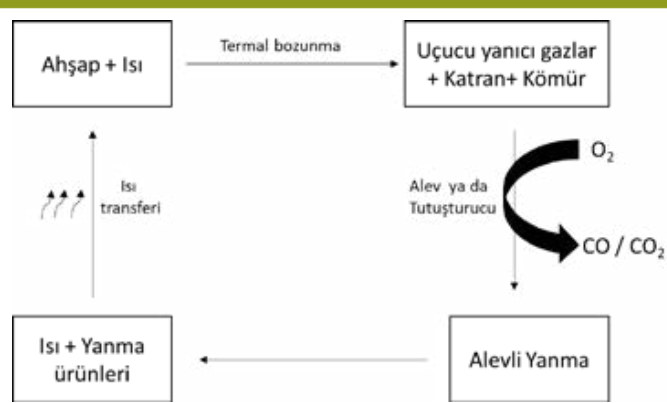
Ahşabın yanmayı geciktiriciler ile korunması diğer koruma işlemleri ile benzer şekilde kimyasal maddenin ahşap yüzeyine uygulanması ya da çözelti formunda ise vakum-basınç metodları ile empenye işlemleri ile yapılmaktadır. Aynı zamanda levha ürünlerinde ve ahşap plastik kompozitlerde yanmayı geciktirici maddeler üretim esnasında katkı maddesi olarak formülasyonlara dahil edilirler (LeVan, 1984; Terzi, 2018 a,b; Terzi vd. 2018)

Yanmaya karşı koruma amaçlı yüzey işlemlerinin bazıları ısı enerjisine maruz kalmaları durumunda ahşap üzerinde kalın gözenekli karbonlu bir köpük tabakası oluşturmaktadır. Bu tabaka ahşap yüzeyinin sıcaklığının artmasını, piroliz gazlarının oluşmasını ve yüzeye oksijenin ulaşmasını engeller. Bu tip maddelerin hacmi ısı karşısında hacmen yaklaşık 200 kat artabilmektedir. (White ve Dietersberger, 1999; Kozłowski vd., 2001).

Köpük oluşturan yüzey işlemlerinin formülasyonu dehidrasyon ajanı, kömürleştirici madde ve kabartıcı ajanlardan oluşmaktadır. Poliamonyum fosfat dehidrasyon ajanı, nişasta, glukoz ve

Şekil 22

Ahşapta yanma döngüsü



Açıklama notu. Russell, L., Marney, D., Humphrey, D., Hunt, A., Dowling, V., Cookson, L. 2004. Combining fire retardant and preservative systems for timber products in exposed applications – state of the art review. Forest and Wood Products Research and Development Corporation. Australian forest and wood products industry and the Australian Government; Terzi, E. 2018a. Yanmayı Geciktirici Madde Olarak Bor Minerallerinin Odun Ve Odun-Plastik Kompozitlerde Kullanımı, Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü kaynağından alınmıştır.

diötaeritritoldür kömürleştirici, üre, melamin ve klorinat melamin kabartıcı ajan olarak kullanılabilirler. Köpük oluşturmamanı yüzey işlem ürünlerinin formülasyonları diamonyum fosfat, amonyum sülfat ve boraks gibi suda çözünen tuz formülasyonlarıdır (White ve Diertenberger, 1999).

Yanmayı Geciktirici Maddelerin Etki Mekanizması

Yanmayı geciktirici işlemler ile ilgili teoriler aşağıda verilmiştir (LeVan, 1984).

- **Bariyer teorileri**

Ahşabın bir aleve ya da yüksek bir ısı enerjisine maruz kalması durumunda yanmayı geciktirici kimyasal maddeler cam gibi bir bariyer oluşturarak uçucu ürünlerin odun yapısından uzaklaşmasını engeller. Bu bariyer ayrıca oksijenin ahşap yüzeyine ulaşmasını engeller. Bu bariyer ahşap yüzeyini yüksek sıcaklıklara karşı koruyan bir izolasyon tabakası gibi görev yapar. Genellikle sodyum silikat ve kaplama maddeleri bariyer olarak kullanılmaktadır. Katman oluşturan sistemler aleve maruz kalmaları durumunda şişerek bir bariyer oluştururlar (LeVan, 1984).

- **Termal teoriler**

Yanmayı geciktirici maddeler odunun termal iletkenliğini artırarak ahşap yüzeyine ulaşan ısı enerjisini tutuşmaya neden olamadan odun yüzeyinden uzaklaştırabilirler. Ayrıca yanmayı geciktirici maddeler ısı enerjisini emerek odun yüzeyinin sıcaklığının yükselmesini engelleyebilir. Kristalize su içeriği fazla olan yanmayı geciktiricilerde su molekülleri ısıyı absorbe ederek buharlaşır ve ortam sıcaklığının artması engellenir. (LeVan, 1984).

- **Yanıcı olmayan gazlar ile seyreltme teorileri**

Yanmayı geciktirici kimyasal maddelerin bozunması ile oluşan su buharı ve azot gibi yanıcı olmayan gazlar odunun pirolizi sonucu oluşan yanıcı gazlar ile karışarak seyreltici etki ile bu gazların konsantrasyonunu düşürür ve tutuşmayan bir gaz karışımı oluşturur (LeVan, 1984).

- **Serbest radikal oluşturma teorileri**

Yanmayı geciktirici kimyasal maddeler pirolitik sıcaklıklarda serbest radikaller açığa çıkarmaktadır. Serbest radikaller yanma döngüsünü bozarak tamamlanmasını engellemektedir (LeVan, 1984).

- **Kömür miktarının artırılması/uçucu madde maddelerin azaltılması teorileri**

Yanmayı geciktirici kimyasal maddeler sıcaklığı pirolizin meydana geldiği seviyelere indirir ve degradasyonu daha fazla kömür ve daha az uçucu madde oluşturacak şekilde yönlendirir (LeVan, 1984).

- **Uçucu maddelerin sıcaklığını azaltma teorileri**

Yanmayı geciktirici kimyasal maddeler yanıcı uçucu maddelerin sıcaklığını düşürürler. Sıcaklıktaki bu azalma kömürleşme miktarı arttığında ve uçucu madde miktarı azaldığında meydana gelir (LeVan, 1984).

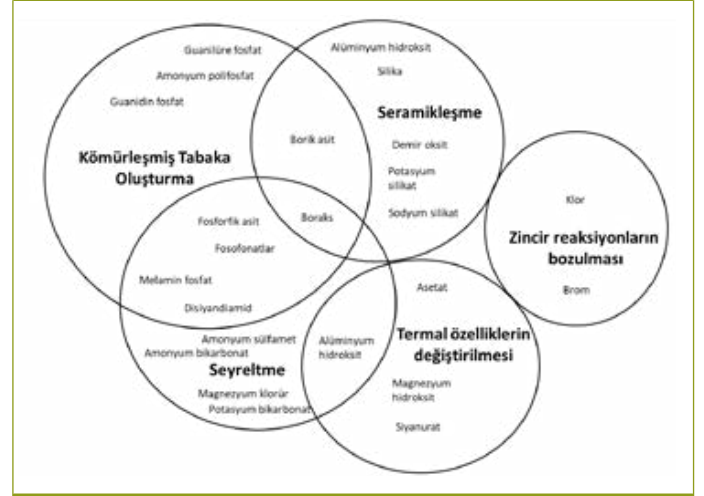
Son iki teori daha fazla kömürleşme, daha az ve daha düşük sıcaklığa sahip uçucu madde sağlamak amacı ile kullanılır.

Yanmayı Geciktirici Formülasyonlar

Ahşabın yanıcılığını azaltmak geliştirilen formülasyonlarda son yıllarda sınırlı bir ilerleme olmuştur. Kerestelerin empenyesinde kullanılan Romalıların kullandığı potasyum alüminyum sülfat (şap) gibi bazı yanmayı geciktiricilerin geçmişi 2000 yıl öncesine kadar dayanmaktadır. Fosfor, azot ve bor üzerine akademide derin araştırmalar yapılmış ve bu elementlerin bulunduğu çokça ticari ürün ortaya çıkmıştır. Çevresel problemlerden dolayı halojenlenmiş yanmayı geciktiriciler ve toksite ile ilgili yeni problemlerden dolayı ise borlu yanmayı geciktiricilerden uzaklaşmaya başlanmıştır. Farklı mekanizmalara sahip yanmayı geciktiricilere ait örnekler aşağıda verilmiştir (Şekil 23) (Lowden ve Hull, 2013).

Şekil 23

Farklı mekanizmalara sahip yanmayı geciktiricilere ait örnekler



Açıklama notu. Lowden, L.A., Hull, T.R., 2013. Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction. Fire Science Reviews, 2(4), 1-19 kaynağından alınmıştır.

Fosfor Esaslı Bileşikler. Fosfor esaslı bileşikler kerestelerin empenyesinde kullanılan en iyi bilinen yanmayı geciktiricilerdendir. Bu bileşiklerin temelde katı fazda etki ederek kömürleşmiş tabaka oluşumunu teşvik ettiği ve gaz faza daha fazla uçucu gazın geçişini engellediği kabul edilmektedir. Kullanılan fosfor esaslı kimyasına bağlı olarak serbest radikal oluşumu döngüsünü bozarak alev engelleyici olarak gaz fazda da etki edebildiği ortaya konulmuştur. Bazı organofosfor bileşiklerinin alev koşullarına dayanabildiği ve gaz fazda fiziksel etki göstererek bir battaniye gibi oksijenin alevi beslemesini engellediği düşünülmektedir (Schartel 2010; Lowden ve Hull, 2013).

Elementel kırmızı fosfor, fosfonatlar ve fosfinatlar ahşapta kullanılan tipik yanmayı geciktiricilerdir. Fosfor en yaygın kullanılan inorganik formdur. Gaz fazın engellenmesinden daha çok kömürleşmiş tabaka oluşumunu destekleyerek görev yapmaktadır. Katı fazda inorganik fosfor esaslı bileşikler termal olarak bozularak fosforik asit oluştururlar ve fosforik asitde yoğunlaşarak pirofosfor ve su meydana getirmektedir. Su çıkışı gaz fazdaki oksidasyonu azaltır, fosforik asit ve pirofosfat ahşabın bünyesindeki alkollerden su çıkışını, selüloz yapısındaki çapraz bağlanmayı ve ahşabın

doğal yeteneği olan kömürleşmeyi teşvik eder (Kandola vd., 1996). Bu kömürleşmiş tabaka oksijenin difüzyonunu sınırlandırmakla, iç kısımdaki sağlam yapının termal izolasyonundan ve yanma döngüsünü devam ettirecek yanıcı gaz oluşumunu azaltmaktadır. Fosforik asidin kondenzasyonu esnasında endotermik reaksiyonlar sonucunda oluşan su çıkışı hem ahşabı soğutmakta hem de uçucu piroliz gazlarını seyreltmektedir. Organofosfor bileşiklerini ticari ahşap uygulamalarında çok sık kullanılmamakta ve bir kısmı stabil olmamaları ile bilinmektedir. Fosfinatlar ise nadiren kullanılmaktadırlar.

Azot Esaslı Bileşikler. Azot esaslı bileşiklerin kullanımı çevresel etkilerinin düşük olması nedeniyle artmaktadır. Genellikle fosfor ve sülfür ile beraber kullanılmaktadırlar. Ahşap ve tekstil için guanidin fosfatlar, kabaran yüzey uygulamaları için melamin, melamin fosfat ve disiyandiamid, duvar kâğıdı için guanidin sülfamet, elastik poliüreten köpükler için melamin ve polyolefinler için melamin fosfonat kullanılmaktadır (Lowden ve Hull, 2013).

Bu bileşiklerin koruma yöntemi aşağıdaki gibi sıralanabilir (Horacek ve Grabner, 1996; Lowden ve Hull, 2013):

- Ahşap içerisinde uçucu gaz oluşumunu engelleyen çapraz bağlı moleküler yapılar oluşturma.
- Azotlu bileşikler yayarak yanıcı gazların seyreltilmesi.
- Fosfor içeren yangın geciktiricilerle sinerjik etki yaparak bunların etkinliği artırarak.
- Endotermik parçalanma ile amonyak çıkışı ve geriye melem, melam, melom gibi çeşitli daha büyük parçalanma ürünlerinin kalması. Bu kondenzasyon ürünleri yüzeysel bir kömürleşmiş tabaka oluşturabilir ve ısı akışını engelleyerek termal bozunmayı yavaşlatabilir.

Fosfor / Azot Sinerjizmi. Fosfor ve azot bileşiklerini ahşaplarda kullanılmak amacıyla yanmayı geciktirici sistemlerde genellikle tek başlarına kullanılmamaktadır. Bu iki bileşiğin kombinasyonu ile sinerjik etki elde edilmekte ve yanmayı geciktirme performansı bireysel etkilerine göre daha da artmaktadır (Jiang vd. 2010). Amonyum polifosfat bu tip kombinasyonlara bir örnek olarak verilebilir. Stabil ve uçucu olmayan bir bileşiktir. Isındığında yaydığı amonyak gaz fazda seyreltme etkisi yaparak tutuşmayı geciktirmektedir. Daha düşük retensiyon seviyelerinde alev yayılma direci artmaktadır (Lowden ve Hull, 2013). Yalnız bu tip bileşikler daha sonra ahşap rutubetini artırarak mikrobiyal tahribatlara zemin oluşturabilirler (Marney vd., 2008).

Diamonyum fosfat (DAF) ve monoamonyum fosfat (MAF) yanmayı geciktirici etkin ahşap koruyuculardandır (LeVan, 1984; Grexa ve Lubke 2001). Bu bileşiklerde rutubetli koşullarda ahşabın rutubetini artırarak çürüklük mantarlarına zemin oluşturabileceğinden dolayı yıkanmanın problem olmadığı iç ortamlarda kullanılacak ahşaplarda kullanıma daha uygundur (Lowden ve Hull, 2013).

Guanilüre fosfat diğer bir inorganik fosfat ürünü olup ahşap ürünlerinde yanmayı geciktirici olarak kullanılmaktadır. Bu bileşiğin yanma esnasında oluşan CO ve CO₂ üretimini önemli derecede düşürdüğü tespit edilmiştir (Fang ve Wu, 2006)

Silikon Esaslı Bileşikler. Silikon bileşiklerini ahşap endüstrisinde plastik endüstrisine nispeten yeni ürünlerdir (Gilman vd., 1999, Lowden ve Hull, 2013). Genellikle emprenye işleminden ziyade

yüzey kaplaması şeklinde uygulanmaktadır. Silikon bileşiklerini yüzeye uygulandığında kuruduğunda sert bir tabaka oluşturur, pürüzsüz tabaka ısıya, alev, çizilmeye ve korozyona karşı direçlidir. Oksijenli bir ortamda dışarıdan ısı enerjisi uygulandığında inorganik silika tabakası oluşur. Bu tabaka izolasyon battaniyesi olarak görev yapar. Bu izolator daha yüksek sıcaklıklarda bir radyasyon kalkanı ve piroliz ürünlerini buharlaşmasını engelleyici olarak görev yapmaktadır. Böylece gaz fazda yakıt niteliğindeki uçucu gazların azalması sağlanmaktadır. Gaz fazda yanma sonucu oluşan enerji miktarı düşmekte ve sonuçta yanma döngüsü yavaşlatılmaktadır. Ahşabın iç kısmı ise ısı enerjisinden korunmaktadır (Kashiwagi ve Gilman, 2000, Lowden ve Hull, 2013).

İnorganik Metal Hidratlar ve Karbonatlar. İnorganik metal hidratlar ve karbonatlar endotermik olarak parçalanarak ahşaptan çıkan piroliz gazlarını seyreltmektedirler. Alüminyum hidroksit, magnezyum hidroksit ve magnezyum karbonat bu tip kimyasallara örnek olarak verilebilir. Hidratlar kimyasal bir ısı emici olarak hareket etmektedir. Yanma sıcaklığının bir kısmını absorbe ederek malzemenin yakınındaki sıcaklığı düşürmekte, ahşabı soğutarak tutuşma süresini uzatmaktadır. Hidroksit ya da karbonat kaynaklı su buharı ve CO₂ alevdeki gaz reaktanları seyreltmektedir. Bu kimyasallar ahşap esaslı levhalar ve odun plastik kompozitlerde yanmayı geciktirici olarak kullanılabilir. (LeVan, 1984; Hull vd., 2011; Lowden ve Hull, 2013; Terzi, 2018a,b; Terzi vd. 2018).

Borlu Bileşikler. Boraks ve borik asit temel yanmayı geciktirici bor esaslı bileşiklerdir. Boraks ve borik asitin erime sıcaklıkları düşüktür. Nispeten düşük sıcaklıklarda su buharı çıkararak yanıcı gazları seyreltme ve ortam sıcaklığını düşürücü yönde hareket ederler. Ayrıca yüksek sıcaklığa maruz kalmaları durumunda bir film tabakası oluşturmaktadırlar. Boraks olarak da bilinen sodyum teteraborat dehidrat yüzeydeki alev yayılma hızını düşürmekte fakat kor hali yanmayı da destekleyebilmektedir. Borik asit ise kor hali yanmayı düşürmekle beraber alev yayılma hızını önemli ölçüde düşürmemektedir. Bu yüzden boraks ve borik asit birlikte kullanılmaktadır (Le Van, 1984). Çinko borat gibi sudaki çözünürlükleri çok düşük olan borlu bileşikler ve kolemanit gibi bor mineralleri boyutsal stabilitenin önemli olduğu ahşap esaslı levhalarda ve odun plastik kompozitlerde yanmayı geciktirici olarak kullanılabilir (Terzi, 2018 a,b; Terzi vd., 2018).

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Declaration of Interests: The authors declares that there are no competing interests

Kaynaklar

- Alexander, J., Hague, J., Bongers, F., Imamura, Y., Roberts, M. 2014. The resistance of Accoya® and Tricoya® to attack by wood-destroying fungi and termites. International Research Group On Wood Protection, IRG-WP 14/40658, St. George, Utah, USA.
- Babrauskas, V. 2002. *The cone calorimeter*. In: SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd ed., Dinunno, P.J., Drysdale, D., Beyler, C.L.,

Walton, W.D., Custer, R.L.P., Hall, J.R., Watts, J.M. (eds.); Chapter 3, National Fire Protection Association; Quincy, Massachusetts, USA.

Baileys, J.K., Marks, B.M., Ross, A.S., Crawford, D.M., Krzysik, A.M., Muehl, J.H., Youngquist, J.A. 2003. Providing moisture ve fungal protection to wood-based composites. *Forest Products Journal*, 53(1), 76-81.

BASC. 2022. <https://basc.pnnl.gov/> [Ziyaret Tarihi: 10-01-2022]

BASF. 2020. <http://www.intermediates.basf.com/chemicals/glyoxal/crosslinker-in-wood-hardening> [Ziyaret Tarihi: 03-31-2020].

Bozkurt, A.Y., Göker, Y., Erdin, N. 1993. *Emprenye Tekniği*, İ.Ü. Yayın No: 3779, OF Yayın No: 425. ISBN: 975:404:327-2. 429 s.

BS EN 335-1. 2013. Durability of wood and wood-based products - Use classes: definitions, application to solid wood and wood-based products.

BS EN 460. 1994. Durability of Wood and Wood-Based Products - Natural Durability of Solid Wood - Guide to The Durability Requirements for Wood to be Used in Hazard Classes

BS EN 13991. 2003. Derivatives from coal pyrolysis - Coal tar based oils: creosotes - Specifications and test methods.

CEN/TS 15679. 2008. Thermal modified timber - Definitions and characteristics. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

Brischke, C., Bayerbach, R., Rapp, A.O. 2006. Decay-influencing factors: A basis for service life prediction of wood and wood-based products. *Wood Material Science & Engineering*, 1:3-4, 91-107.

BS 8417. 2011. Preservation of wood. Code of practice.

Clausen, C.A. 2014. Innovations in wood protection in the age of nanotechnology. In: Proceedings of 8th Latin American Biodeterioration and Biodegradation Symposium (LABS 2013), April 7-10, 2013 Porto Alegre, RS, Brazil.

Clausen, C. A., Kartal, S.N., Muehl, J. 2001. Particleboard made from remediated CCA-treated wood: evaluation of panel properties. *Forest Products Journal*, 51(7/8), 61-64.

Clausen, C., Kartal, S.N., Arango, R., Green III, F. 2011. The role of particle size of particulate nano-zinc oxide wood preservatives on termite mortality and leach resistance. *Nanoscale Research Letters*, 6(1), 427.

Clausen, C.A., Green III, F., Kartal, S.N. 2010. Weatherability and leach resistance of wood impregnated with nano-zinc oxide. *Nanoscale Research Letters*, 5 (9), 1464-1467.

Cooper, P.A. 2003. A review of Issues and technical options for managing spent CCA treated wood. Presented at American Wood Preservation Association (AWPA) Annual Meeting, April 2003, Boston, Massachusetts, USA.

Ebner, D.H., Barbu, M.-C., Klaushofer, J., Čermák, P. 2021. Surface modification of spruce and fir sawn-timber by charring in the traditional japanese method—yakisugi. *Polymers*, 13, 1662.

Emmerich, L. 2016. Holzmodifizierung Von Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) Mit DMDHEU Und Modifizierten Dmdheuvarianten Im Vergleich [Comparative Study on Wood Modification of Scots Pine (*Pinus Sylvestris* L.) with DMDHEU and Modified DMDHEU. Thesis (M.Sc.), University of Göttingen, Germany.

EN 350. 2016. Durability of wood and wood-based products. Testing and classification of the durability to biological agents of wood and wood-based materials. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

EN 351. 2007. Durability of wood and wood-based products - Preservative-treated solid wood - Part 1: Classification of preservative penetration and retention. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

EN 351. 2021 (Draft). Durability of wood and wood-based products - Preservative-treated solid wood - Part 1: Classification of preservative penetration and retention. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

Engür, M.O., Kartal, S.N. 2001. Orman ürünleri endüstrisinde çevre kirliliği ve kontrolü. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* Seri B, 51(2), 43-52.

Engür, M.O., Kartal, S.N. 2006. 21. Yüzyılın yapı malzemesi. III. Ulusal

Yapı Malzemesi Kongresi, 15-17 Kasım 2006, İstanbul.

Fakoussa, R.M., Hofrichter, M. 1999. Biotechnology and microbiology of coal degradation. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 52, 25-40.

Fang, K., Wu, W. 2006. *Investigation on Flammability of Wood Treated with Chemicals*. In: Proceedings of the International Symposium on Safety Science and Technology; Huang, P., Wang, Y., Li, S., Zheng, C., Mao, Z. (eds.); China.

FAQ, 1986. Wood Preservation Manuel. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Forest Products Laboratory, 2021. "Wood handbook: wood as an engineering material. General Technical Report. FPL-GTR-282. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 543 s.

Gardner, D.J., Tascioglu, C., Wålinder, M. E. 2003. *Wood Composite Protection*. In: *Wood Deterioration ve Preservation: Advances in Our Changing World*; Goodell, B., Nicholas, D.D., ve Schultz, T.P eds; *American Chemical Society*, Washington D.C.

Gérardin, P. 2016. New alternatives for wood preservation based on thermal and chemical modification of wood—a review. *Annals of Forest Science*, 73, 559-570.

Gregory, D., Jensen, P., Strætkvern, K. 2012. Conservation and in situ preservation of wooden shipwrecks from marine environments. *Journal Of Cultural Heritage*, 13(3), 139-148.

Gindl, W., Dessipri, E., Wimmer, R. 2002. Using UV-microscopy to study diffusion of melamine-urea-formaldehyde resin in cell walls of spruce wood. *Holzforchung*, 56(1), 103-107.

Gilman, J.W., Kashiwagi, T., Harris, R.H., Lomakin, S., Lichtenhan, J.D., Bolf, A., Jones, P. 1999. *Char enhancing approaches to flame retarding polymers*. In: Chemistry and Technology of Polymer Additives; Malden, M.A., Malaika, S., Golovoy, A., Wilkie, C.A. (eds); Blackwell Science Inc, Malden.

Grexa, O., Lubke, H. 2001. Flammability parameters of wood tested on a cone calorimeter. *Polymer Degradation and Stability*, 74, 427-432.

Gsöls, L., Rätzsch, M., Ladner, C. 2003. *Interactions Between Wood and Melamine Resins: Effect on Dimensional Stability Properties and Fungal Attack*. In: The Proceedings of the First European Conference on Wood Modification; Van Acker, J. and Hill, C.A.S. [eds.]; Ghent, Belgium.

Hadi, Y.S., Westin, M., Rasyid, E. 2005. Resistance of furfurylated wood to termite attack. *Forest Products Journal*, 55(1), 85-88.

Hagstrand, P.O. 1999. Mechanical Analysis of Melamine-Formaldehyde Composites. Thesis (PhD), Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.

Hill, C.A.S. 2006. *Wood Modification - Chemical, Thermal and Other Processes*, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester; West Sussex PO19 8SQ, England. ISBN-13: 978-0-470-02172-9. 239 p.

Hill, C.A.S. 2009. Why does acetylation protect wood from microbiological attack? *Wood Material Science and Engineering*, 4(1-2), 37-45.

Hill, C.A.S., Jones, D. 1996. The dimensional stabilisation of corsican pine sapwood by reaction with carboxylic acid anhydrides: The effect of chain length. *Holzforchung*, 50, 457-462.

Horacek, H., Grabner, R. 1996. Advantages of flame retardants based on nitrogen compounds. *Polymer Degradation and Stability*, 54, 205-215.

Hull, T.R., Witkowski, A., Hollingbery, L. 2011. Fire retardant action of mineral fillers. *Polymer Degradation and Stability*, 96, 1462-1469.

Hwang, W.J., Kartal, S.N., Imamura, Y. 2006. Evaluation of new quaternary ammonia compound, didecyl dimethyl ammonium tetrafluoroborate (DBF) in comparison with DDAC: Leachability and termite resistance tests. *Holz als Roh und Werkstoff*, 64, 111-116.

Hwang, W.J., Kartal, S.N., Yoshimura, T., Imamura, Y. 2007. Synergistic effect of heartwood extractives and quaternary ammonium compounds on termite resistance of treated wood. *Journal of Pest Management Science*, 63, 90-95.

ILO 1991. The Forestry and Wood Industries and the Environment. International Labour Office General Report, Forestry and Wood Industries Committee, Second Sessions, ISBN 92-2- 107602-4, Geneva.

Jermer, J., Andersson, B.-L., Schalnat, J. 2017. Corrosion of fasteners

in furfurylated wood: Final report after 9 years exposure outdoors. International Research Group on Wood Protection, IRG-WP 17-40810, Ghent, Belgium.

Jiang, J., Li, J., Hu, J., Fan, D. 2010. Effect of nitrogen phosphorus flame retardants on thermal degradation of wood. *Construction and Building Materials*, 24, 2633-2637.

Jones, D., Sandberg, D., Goli, G., Todaro, L. 2019. *Wood Modification in Europe: A State-of-the-art about Processes, Products, Applications*. Firenze University Press, Florence, Italy.

Kamdem, D., Pizzi, A., Jermannaud, A. 2002. Durability of heat-treated wood. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 60, 1-6.

Kandola, B.K., Horrocks, A.R., Price, D., Coleman, G.V. 1996. Flame retardant treatments of cellulose and their influence on the mechanism of cellulose pyrolysis. *Journal of Macromolecular Science*, 36, 721-794.

Kantay, R., Köse, C. 2009. Orman işletme depoları ve depolama teknikleri. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri B, 59 (1), 75-92.

Kartal, S.N. 1992. Odunun degradasyonunda güneş ışığı ve su etkileri. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, B serisi, 42 (1-2), 169-176.

Kartal, S.N., Engür, M.O., Köse, C. 2006. Emprenye maddeleri ve emprenye edilmiş ağaç malzeme ile ilgili çevre problemleri. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri B, 56(1), 17-23.

Kartal, S.N., Yoshimura, T. 2016. ホウ酸塩:木材をシロアリから護るための天然薬剤 [Borates: A natural way to protect wood against termites]. The Japan Termite Control Association, 1. No: 165, 7-10.

Kartal, S.N., Köse, C. 2003. Remediation of CCA-c treated wood using chelating agents. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 61, 382-387.

Kartal, S.N., Köse, C. 2008. Adsorption of copper, chromium, and arsenic from chromated copper arsenate (CCA) treated wood onto various adsorbents. *The Open Waste Management Journal*, 1, 11-17.

Kartal, S.N. 2009. Neden emprenye? *Mimarlıkta Malzeme Dergisi*, yıl 4,12, 79-84.

Kartal, S.N. 1992. Günümüzde kullanımı önem kazanan emprenye maddeleri. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, B Serisi, 42 (3-4), 147-154.

Kartal, S.N. 2009. *Boron-Based Wood Preservatives and Their Use*. In: *Handbook on Borates: Chemistry, Production and Applications*; Editor: Chung, M.P ISBN: 978-1-60741-822-1 2009 Nova Science Publishers, Inc.

Kartal, S.N. 2014. Tarihi ahşap yapılarda biyotik/abiyotik bozunmalar ve koruma/bakım önlemleri. *Kudreb Restorasyon Konservasyon Çalışmaları Dergisi* 16, 51-58.

Kartal, S.N., Brischke, C., Rapp, A.O., Imamura, Y. 2006b. Biological effectiveness of didecyl dimethyl ammonium tetrafluoroborate (DBF) against Basidiomycetes following preconditioning in soil bed tests. *Wood Science and Technology*, 40, 63-71.

Kartal, S.N., Engür, M.O., Köse, C. 2006. Emprenye Maddeleri ve Emprenye Edilmiş Ağaç Malzeme ile İlgili Çevre Problemleri. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, B Serisi, 56 (1), 17-23.

Kartal, S.N., Green III, F., Clausen, C.A. 2009. Do the unique properties of nanometals affect leachability or efficacy against fungi and termites? *International Biodeterioration and Biodegradation*, 63, 490-495.

Kartal, S.N., Hwang, W.J., Shinoda, K., Imamura, Y. 2006a. Laboratory evaluation of boron-containing quaternary ammonia compound didecyl dimethyl ammonium tetrafluoroborate (DBF) for control of decay and termite attack and fungal staining of wood. *Holz als Roh und Werkstoff*, 64 (1), 62-67.

Kartal, S.N., Imamura, Y., Tsuchiya, F., Ohsato, K. 2004. Evaluation of fungicidal and termiticidal activities of hydrolysates from biomass slurry fuel production from wood. *Bioresource Technology*, 95, 41-47.

Kartal, S.N., Kantay, R. 2006. Emprenye maddelerinin piknik masaları ve çocuk oyun elemanlarında kullanımı. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, B Serisi, Cilt 56 (2), 43-51.

Kartal, S.N., Sekine, Y., Imamura, Y. 2006. Effect of essential oil compounds and plant extracts on decay and termite resistance of wood. *Holz als Roh und Werkstoff*, 64, 455-461.

Kartal, S.N., Terzi, E. 2019. Wood and Boron: A Natural Harmony. Proceedings In: International Symposium on Boron, 17-19 April 2019 Nevşehir, Turkey, pp 573-579.

Kartal, S.N., Terzi, E., Figen, A.K., Çordan, M., Aydın, S., Pişkin, S. 2021. Comparative evaluation of boron distribution from rods made of ulexite, colemanite and dot in scots pine wood. *Journal of Forestry Research*, 32(1), 419-426.

Kartal, S.N., Terzi, E., Figen, A.K., Yoshimura, T. 2020b. Movement of boron from ulexite and colemanite minerals in sapwood and heartwood of *cryptomeria japonica*. *Journal of Forestry Research*, 31(6), 2597-2603.

Kartal, S.N., Terzi, E., Köse, C., Hofmeyr, J., Imamura, Y. 2011. Efficacy of tar-oil recovered during slow pyrolysis of macadamia nut shells. *International Biodeterioration And Biodegradation*, 65, 369-373.

Kartal, S.N., Terzi, E., Yoshimura, T., Arango, R., Clausen, C.A., Green III, F. 2012. Preliminary evaluation of storax and its constituents: Fungal decay, mold and termite resistance. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 70, 47-54.

Kartal, S.N., Terzi, E., Yoshimura, T. 2020a. Performance of fluoride and boron compounds against drywood and subterranean termites and decay and mold fungi. *Journal of Forestry Research*. 31(4), 1425-1434.

Kartal, S.N., Yoshimura, T., Imamura, Y. 2004. Improvement of boron leachability from disodium octoborate tetrahydrate (DOT)-treated wood by in situ copolymerization of allyl glycidyl ether (AGE) with methyl methacrylate (MMA). *International Biodeterioration and Biodegradation*. 53(2), 111-117.

Kartal, S.N., Terzi, E., Soytürk, E. E., Bakır, D., Köse, C. 2022. Evaluation of boron distribution from preservative pastes made from ulexite, copper and fluoride in Scots pine wood, *European Journal of Wood and Wood Products*, 80 (6), 1497-1506.

Kashiwagi, T., Gilman, J.W. 2000. *Fire Retardancy of Polymeric Materials*. Grand, A. F., Wilkie, C. A. (Eds.) Marcel Dekker Inc, New York.

Kim, H.S., Kim, S., Kim, H.J., Yang, H.S. 2006. Thermal properties of bio-flour-filled polyolefin composites with different compatibilizing agent type and content. *Thermochim Acta*, 451, 181-188.

Kielmann, B.C., Adamopoulos, S., Militz, H., Mai, C. 2016. Decay resistance of ash, beech and maple wood modified with N-methylol melamine and a metal complex dye. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 89, 110-114.

Kirkpatrick, J.W., Barnes, H.M. 2006. Biocide treatments for wood Composites- a review. The International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 06-40323, Tromsø, Norway.

Kozłowski, R., Władyska, P.M. 2001. Fire retardant materials, Cambridge, England.

Köse, C., Terzi, E., Kartal, S.N. 2009. Evaluation of decay and termite resistance of wood treated with copper in combination with boron and N'-N-[1, 8-naphthalyl] hydroxylamine (NHA-Na). *International Biodeterioration and Biodegradation*, 63, 727-731.

Köse, C., Taylor, A.M. 2012. Evaluation of mold and termite resistance of included sapwood in eastern red cedar. *Wood And Fiber Science*, 44(3), 319-324.

Köse, C., Terzi, E., Kartal, S.N., Erilkun, B., Imamura, Y. 2011. Preliminary evaluation of boron release and biological resistance of wood treated with disodium octoborate tetrahydrate (DOT) and a water-repellent compound. *African Journal Of Biotechnology*, 10(10), 1833-1839.

Kymäläinen, M., Hautamäki, S., Lillqvist, K., Segerholm, K., Rautkari, L. 2017. Surface modification of solid wood by charring. *Journal of Material Science*, 52, 6111-6119.

Laks, P.E. 2002. *Biodegradation Susceptibility Of Untreated Engineered Wood Products*. In: Enhancing the durability of lumber ve engineered wood products; FPS Symposium Proceedings No. 7249. Forest Products Society: Madison, WI., pp. 125-130.

Laks, P.E. 1999. *The Past, Present, and Future of Preservative-Containing Composites*. In: 33rd International particleboard/composite materials symposium proceedings; Wolcott, M.P., Tichy, R., Bender, D.F, eds; Washington State University: Pullman, WA, pp. 151-158.

- Laks, P.E., Palardy, R.D. 1992. *Factors that Affect the Performance of Preservative-Containing Wafer-Based Composites*. In: Proceedings, Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium. Rotorua, New Zealand.
- Lande, S., Westin, M., Schneider, M. 2004. Properties of furfurylated wood. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19(5), 22–30.
- Larnøy, E., Dantz, S., Eikenes, M., Miltz, H. 2006b. Screening of properties of modified chitosan-treated wood. *Wood Material Science & Engineering* 1(2), 59–68.
- Larsson-Brelid, P., Simonson, R., Bergman, O., Nilsson, T. 2000. Resistance of acetylated wood to biological degradation. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 58(5), 331–337.
- Larsson-Brelid, P. ve Westin, M. 2010. Biological degradation of acetylated wood after 18 years in ground contact and 10 years in marine water. International Research Group on Wood Protection, IRG-WP 10-40522, Biarritz, France.
- Larsson-Brelid, P. 2013. *Benchmarking and State-of-The-Art Report for Modified Wood*. SP Report no. 54, SP Technical Research Institute of Sweden, Stockholm, Sweden, pp. 1–31
- Lebow, S., Anthony, R.W. 2012. *Guide for Use of Wood Preservatives in Historic Structures*. General Technical Report FPL-GTR-217. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Pp: 59.
- Mantanis, G., Terzi, E., Kartal, S.N., Papadopoulos, A.N. 2014. Evaluation of mold, decay and termite resistance of pine wood treated with zinc- and copper-based nanocompounds. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 90, 140–144.
- LeVan S.L. 1984. *Chemistry of Fire Retardancy*. In: The Chemistry of Solid Wood; Rowell, R. [ed] vol 207. *American Chemical Society*; Washington, DC., USA.
- LeVan, S.L. 1989. *Thermal Degradation*. In: Concise encyclopedia of wood and wood-based materials; Schniewind, A. P [ed.], Pergamon Press, New York, 271–273.
- Lin, C-F, Karlsson, O., Mantanis, G., Sandberg, D. 2020. Fire performance and leach resistance of pine wood impregnated with guanil-urea phosphate/boric acid and a melamine resin. *European Journal of Wood and Wood Products*, 78, 107–111.
- Lukowsky, D. 1999. Holzschutz mit Melaminharzen [Wood protection with Melamine Resin.] PhD. Thesis, University of Hamburg, Germany.
- Lowden, L.A., Hull, T.R., 2013. Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction. *Fire Science Reviews*, 2(4), 1–19.
- Machová, D., Oberle, A., Zárybnická, L., Dohnal, J., Šeda, V., Dömény, J., Vacenovská, V., Kloiber, M., Pěňčík, J., Tippner, J. 2021. Surface characteristics of one-sided charred beech wood. *Polymers*, 13, 1551.
- Manning, M.J. 2002. *Wood Protection Processes for Engineered Wood Products*. In: Enhancing the Durability of Lumber ve Engineered Wood Products; FPS Symposium Proceedings, Forest Products Society: Madison, WI., pp. 131–136.
- Marney, D.C.O., Russell, L.J. 2008. Combined fire retardant and wood preservative treatments for outdoor wood applications – a review of the literature. *Fire Technology*, 44, 1–14.
- Metsä-Kortelainen, S., Paajanen, L., Viitanen, H. 2011. Durability of thermally modified Norway spruce and Scots pine in above-ground conditions. *Wood Material Science and Engineering*, 6, 163–169.
- Metsä-Kortelainen, S., Viitanen, H. 2017. Durability of thermally modified sapwood and heartwood of Scots pine and Norway spruce in the modified double layer test. *Wood Material Science and Engineering*, 12, 129–139.
- Metsä-Kortelainen, S., Viitanen, H. 2009. Decay resistance of sapwood and heartwood of untreated and thermally modified Scots pine and Norway spruce compared with some other wood species. *Wood Material Science And Engineering*, 4, 105–114.
- Mohebbi, B., Miltz, H. 2010. Microbial attack of acetylated wood in field trails. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 64, 41–50.
- Morrell, J.J. 2019. Protection of wood: A global perspective on the future. *Sigma Journal of Engineering And Natural Sciences*, 10(1), 81–94.
- Nakai, T., Kartal, S.N., Hata, T., Imamura, Y. 2007. Chemical characterization of pyrolysis liquids of wood-based composites and evaluation of their bio-efficiency. *Building and Environment*, 42(3), 1236–1241.
- Ormerod, D.J., Van Dalen, B. 1993. *Wood Preservation on the Farm*. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Crop Protection [Branch].
- Pánek, M., Borůvka, V., Nábělková, J., Šimůnková, K., Zeidler, A., Novák, D., Černý, R., Kobetičová, K. 2021. Efficacy of caffeine treatment for wood protection—influence of wood and fungi species. *Polymers*, 13(21), 3758.
- Papadopoulos, A.N., Hill, C.A.S. 2002. The biological effectiveness of wood modification with linear chain carboxylic acid anhydrides against *Coniophora Puteana*. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 60, 329–332.
- Pawar, P.M.-A., S. Koutaniemi, Tenkanen, M., Mellerowicz, E.J. 2013. Acetylation of woody lignocellulose: significance and regulation. *Frontiers in Plant Science* 4: Article ID 118
- Pittman, C.U., Kim, M.G., Nicholas, D.D., Wang, L., Kabir, F.R.A., Schultz, T.P., Ingram, L.L. 1994. Wood enhancement treatments. Part I. Impregnation of southern yellow pine with melamine formaldehyde and melamine-ammeline formaldehyde resins, *Journal Of Wood Chemistry And Technology*. 14(4), 577–603.
- Rapp, A.O., Bestgen, H., Adam, W., Peek, R.D. 1999. Electron loss spectroscopy (EELS) for quantification of cell-wall penetration of a melamine resin. *Holzforchung*, 53(2), 111–117.
- Reinprecht, L. 2016. Wood deterioration, protection and maintenance. John Wiley & Sons.
- Rowell, R.M. 1983. Chemical modification of wood. *Forest Products Abstracts*, 6(12), 363–382.
- Rowell, R.M., Ibach, R.E., Nilsson, T. 2007. *Influence of Moisture on Brown-Rot Fungal Attack*. In: Proceedings 3rd Nordic Baltic Network in Wood Material Science and Engineering; Rikala, J. and Sipilä, M. [eds.], Helsinki, Finland.
- Russell, L., Marney, D., Humphrey, D., Hunt, A., Dowling, V., Cookson, L. 2004. Combining fire retardant and preservative systems for timber products in exposed applications – state of the art review. Forest and Wood Products Research and Development Corporation. Australian forest and wood products industry and the Australian Government. Project no: PN04.2007
- Sandberg, D., Kutnar, A., Karlsson, O., Jones, D. 2021. Wood Modification Technologies: Principles, Sustainability, and the Need for innovation. CRC Press. ISBN 9781138491779.
- Schartel, B. 2010. Phosphorus-based flame retardancy mechanisms – old hat or a starting point for future development. *Materials*, 3, 4710–4745.
- Stamm, A.J., Seborg, R.M. 1939. Resin-treated plywood. Industrial & Engineering Chemistry Research, 31(7), 897–902.
- Stamm, A.J., Seborg, R.M. 1955. *Resin-Treated, Laminated Compressed Wood (Compreg)*. Report No. 1977, US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison (WI), USA.
- Stamm, A.J. 1964. *Wood and Cellulose Science*. Ronald Press, New York.
- Stamm, A.J., Bachelor, R.H. 1960. Decay resistance and dimensional stability of five modified woods. *Forest Products Journal*, 10, 22–26.
- Taşcıoğlu, C., Umemura, K., Kusuma, S., Köse, C., Yalçın, M., Akçay, Ç., Yoshimura, T. 2020. Mold and larvae resistance of wood-based composites incorporating sodium fluoride. *Bioresources*, 15 (1), 20–2.
- TEDAŞ 1996. OG ve AG elektrik hava hatları için ağaç direk teknik şartnamesi.
- Terzi, E. 2018a. Yanmayı Geciktirici Madde Olarak Bor Minerallerinin Odun Ve Odun-Plastik Kompozitlerde Kullanımı, Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Terzi, E. 2018b. *Thermal degradation of particleboards incorporated with colemanite and common boron-based fire retardants*. *Bioresources*, 13 (2), 4239–4251.
- Terzi, E., Kartal, S.N., Pişkin, S., Stark, N., Figen, A.K., White, R.H., 2018. Colemanite: A fire retardant candidate for wood plastic composites. *Bioresources*, 13(1), 1491–1509.

- Terzi, E., Kartal, S.N., Gerardin, P., Ibanez, C.M., Yoshimura, T. 2017. Biological performance of particleboard incorporated with boron minerals. *Journal of Forestry Research*, 28(1), 195-203.
- Terzi, E., Kartal, S.N., Ibanez, C.M., Köse, C., Arango, R., Cluasen, C.A., Green III, F. 2012. Biological performance of *Liquidambar orientalis* Mill. Heartwood. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 104-108.
- Terzi, E., Kartal, S.N., Yilgör, N., Rautkari, L., Yoshimura, T. 2016. Role of various nano-particles in prevention of fungal decay, mold growth and termite attack in wood, and their effect on weathering properties and water repellency. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 107, 77-87.
- Terzi vd., 2019. Mold resistance of nano and micronized particles-treated wood after artificial weathering process. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 4 (4), 643-646.
- Tiemann, H.D. 1917. *Effect of Different Methods of Drying Upon the Strength and the Hygroscopicity of Wood*. In *The Kiln-Drying of Lumber—A Practical and Theoretical Treatise*; J.B. Lippincott Company: Philadelphia, PA, USA; London, UK, pp. 256-264.
- TS 4393. 2005 Ahşap koruma kuralları-demiryolu ahşap traverslerinin kreozot ile emprenyesi, Türk Standartları Enstitüsü.
- Ünlügil, H., Alptekin, C.Ü. 1990. Seracılıkta kullanılabilecek ağaç türleri ve bunların emprenyesine ait bazı düşünceler. 5. Türkiye Seracılık Sempozyumu, 17-19 Ekim, İzmir, Türkiye.
- Wang, J.Z., DeGroot, R. 1996. *Treatability and Durability of Heartwood*. In: National conference on wood transportation structures; Ritter, M.A., Duwadi, S.R., Lee, P.D.H., ed(s.); October 23-25; Madison, WI. Gen. Tech. Rep. FPL- GTR-94. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- Welzbacher, C.R., Rapp, A.O. 2007. Durability of thermally modified timber from industrial-scale processes in different use classes: Results from laboratory and field tests. *Wood Material Science and Engineering*, 2, 4-14.
- White, R. H., Dietenberger, M.A. 1999. *Fire Safety*. Wood handbook: wood as an engineering material. Madison, WI: USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999. General technical report FPL GTR-113: Pages 17.1-17.16
- Wood Protection 2006, Forest Products Society, March 21-26, 2006, New Orleans, Louisiana, USA
- Wu, Q., Simith, W.R. 2005. Durability improvement for structural wood composites through chemical treatments. *Forest Products Journal*, 55(6), 8-17.
- www.preschem.com, 2022. Ziyaret Tarihi: 10-01-2022
- Van der Zee, M.E., N.L. Schipholt, B.F. Tjeerdsma, P. Brynildsen and I. Mohoric. 2007. *Glueability and Paintability of Furfurylated Wood (Kebo-ny)*, pp. 231-234. In: Hill, C.A.S., Jones, D., Militz, H. and Ormondroyd, G.A. [eds.]. *Proceedings of the Third European Conference on Wood Modification*, Cardiff, UK.
- Verhey, S.A., Laks, P.E. 2002. *Fungal Resistance of Woodfiber-Thermoplastic Composites*. In: *Enhancing the Durability of Engineered Wood Products*. FPS Symposium Proceedings No. 7249. Forest Products Society: Madison, WI., pp. 179-189.
- Verhey, S.A., Laks, P.E., Richter, D. 2001. Laboratory decay resistance of woodfiber/thermoplastic composites. *Forest Products Journal*, 51 (9), 44-49.
- Yang, H., Yan, R., Chen, H., Zheng, C., Lee, D., Liang, D.T. 2006. In-depth investigation of biomass pyrolysis based on three major components: hemicellulose, cellulose and lignin. *Energy Fuels*, 20, 388-393.
- Yilgör, N., Dogu, D., Moore, R., Terzi, E., Kartal, S.N. 2013. Evaluation of fungal deterioration in *Liquidambar orientalis* Mill. heartwood by FT-IR and light microscopy. *Bioresources*, 8(2), 2805-2826.
- Zabel, R. A., & Morrell, J. J. (2012). *Wood microbiology: decay and its prevention*. Academic press.
- Zelinka, S.L., Altgen, M., Emmerich, L., Guigo, N., Keplinger, T., Kymäläinen, M., Kymäläinen, M., Thybring, E.E., Thygesen, L.G. 2022. Review of wood modification and wood functionalization Technologies. *Forests*, 13(7), 1004.

BÖLÜM 10

AHŞAP YAPIŞTIRMA VE YAPIŞTIRICILAR

Ramazan KURT

Ahşap Yapıştırma ve Yapıştırıcılar

Wood Bonding and Adhesives

BÖLÜM HAKKINDA

Ahşabın, ahşap esaslı kompozitlerden mobilyaya, endüstriyel yapılardan köprülere, gökdelenlerden uydulara kadar çok farklı alanlarda yapısal ve yapısal olmayan uygulamalarda kullanılması ahşap yapıştırma teknolojisine bağlıdır. Ahşap malzemenin yapıştırılabilmesi, yoğunlaştırılabilmesi ve işlenebilmesi mühendislik ürünü malzeme olmasına önemli katkı sunar. Ahşap malzemenin alternatiflerine göre heterojen, higroskopik ve anizotropik olması yapıştırıcının doğru bir şekilde seçimi ve uygulamasını önemli hale getirmektedir. Her bir uygulamanın kendine özgü şartlarından dolayı yapıştırma performansını etkileyen (ahşap, yapıştırıcı, süreç/işlem ve kullanım) faktörlerin göz önünde bulundurulması başarılı bir proje için şarttır. Bu bölümde; ahşap malzemenin sağlıklı, güvenli ve çevre dostu, farklı koşullara dayanıklı bir şekilde kullanılması ve fonksiyonel ürünlerin üretilmesi için mühendis, mimar ve ahşap malzeme kullanan tüm meslek mensuplarına ahşap yapıştırma ve yapıştırıcılar hakkında temel bilgi verilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Ahşap, mühendislik ürünü malzeme, ahşap yapıştırma, yapıştırıcılar, yapıştırma performansı.

ABOUT the CHAPTER

The use of wood in structural and non-structural applications in many different areas, from wood based composites to furniture, industrial structures to bridges, skyscrapers to satellites, depends on wood bonding technology. The ability to bond, densify, and machine wood material significantly contributes to its being an engineering product. The fact that wood material is heterogeneous, hygroscopic, and anisotropic compared to its alternatives makes the correct selection and application of the adhesive important. Due to the unique conditions of each application, considering the factors affecting bonding performance (wood, adhesive, process/operation, and use) is essential for a successful project. This chapter; aims to provide basic information about wood bonding and adhesives to engineers, architects, and all professionals who use wooden materials in a healthy, safe, and environmentally friendly way, resistant to different conditions, and to produce functional products.

Keywords: Wood, engineering material, wood bonding, adhesives, bonding performance.

Giriş

İkinci Dünya savaşına kadar doğal kaynaklardan elde edilen tutkallar yerini sentetik reçinelerden elde edilen yapıştırıcılara bırakmıştır. 20. yüzyılın ilk yarısında, ahşap ve ahşap yapıştırıcılar, zamanın en ileri teknolojisi için anahtar malzemelerdi (Brockmann vd, 2008). Günümüzde, yapıştırma hayatın her alanında kullanılan bir tekniktir. Yapıştırıcıların ve yapıştırılmış ürünlerin gelişimi, her zaman toplumun gelişimi ile yakından ilişkili olmuştur (Källander, 2002).

Türk dil kurumu tutkalın Türkçe tut- 'tutkal ile yapıştırmak' kökünden geldiğini belirtmiş ve "deri, kırıkdak vb. hayvansal maddelerden elde edilen, katılaşp sertleşme özelliğiyle tahta, kâğıt vb. yapıştırmaya yarayan madde" olarak, yapıştırıcıyı ise "yapıştırma özelliği olan, yapıştırmaya yarayan nesne, yapışkan" (Türk Dil Kurumu, 2024) olarak tanımlamıştır. Tutkal ve yapıştırıcı terimleri birbirinin yerine kullanılmaktadır. Yapıştırıcılar, bilimsel olarak malzemeleri yüzeylerinden bağlayabilen herhangi bir madde olarak tanımlanabilir (Eckelman, 1999).

Ahşap yapıştırıcı imalatında kullanılan belli başlı hammaddeler: nişastalar, dekstrinler, kazeinler, hayvansal bazlı yapıştırıcılar, selüloz eterleri ve selüloz esterleri, kauçuklar, polivinil asetatlar, etilen-vinil asetatlar, polivinil alkoller, akrilik yapıştırıcılar, polivinil eterler, poliüretanlar, blok kopolimerler, siyanoakrilatlar, silikonlar, polikloroplenler, pol-yesterler, epoksiler, yüksek sıcaklık organik yapıştırıcılar (Anonim, 2001), fenolik ve am-noplastik reçineler ve izosiyanatlardır. Bunların yanında yapıştırıcıya istenilen özellikleri



Ramazan Kurt 

Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi,
Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü,
Bursa, Türkiye
E-posta: ramazan.kurt@btu.edu.tr

Bu bölümü alıntıla / Cite this chapter as:
Kurt, R. [2024]. Ahşap Yapıştırma ve Yapıştırıcılar. T. Akbulut (Ed.), *Ahşap: Doğal ve yenilenebilir mühendislik malzemesi* içinde (s. 187-198) İstanbul: İÜC Üniversite Yayınevi



CC BY 4.0: Telif hakkı yazarlardadır. Bu kitabın içeriği Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası lisans altında lisanslanmıştır.

vermek için; yapıştırıcıyı kuvvetlendirici reçineler, yayılmayı arttırıcı viskozite ayarlayıcıları, polimerleri çözen solventler, yapıştırıcı filmine elastikiyet veren plastifiyanlar, mekanik sertlik ve dayanım veren anorganik dolgu maddeleri, kürleştirme vasıtaları (doymamış polyesterler veya iki bileşenli yapıştırıcılar için), reaksiyon hızlandırıcılar (Anonim, 2001), yangın geciktiriciler, mantar ve böcek tahribatına karşı koruyucular ilave edilebilir.

Yapıştırıcıların birincil işlevi, parçaları/bileşenleri bir araya getirmektir (Ebnesajjad ve Landrock, 2014). Birbirine benzeyen veya benzemeyen iki veya daha çok farklı malzemeler uygun işlemler yapılarak yapıştırılabilir. Ahşap esaslı ürünler de dahil olmak üzere yapıştırıcılar metalleri, plastikleri, seramikleri, mantarları, kauçukları ve malzeme kombinasyonlarını birleştirmek için kullanılabilir veya iletken olacak şekilde formüle edilebilir (Ebnesajjad ve Landrock, 2014). Yapıştırıcı, birbirine bağlanan malzemelerden çok daha zayıf olabilir veya kuvvetli olması, belirli sıcaklık ve basınç koşulları altında yapışan maddelerle etkileşime girmesine göre değişebilir (Eckelman, 1999). Yapıştırıcılar, bileşenler arasında yükleri transfer eder ve dağıtır, böylece ürünlerin direncini ve rijitliğini artırır (Frihart ve Hunt, 2021).

Yapışan ve yapıştırıcı arasındaki çeşitli etkileşimler yapışma gücünü belirler; bu etkileşimler fiziksel ve kimyasal olabilir (Hunt vd, 2019). Yüzeyleri bir arada tutan ara-yüzey kuvvetleri; Van der Waals kuvvetlerinden, kimyasal bağlardan veya elektrostatik çekimden kaynaklanabilir (Ebnesajjad ve Landrock, 2014; Frihart ve Hunt, 2021). Bağ oluşumu; yapışma (adezyon) ve iç direnç (kohezyon) sürecidir; bu, yapışan ile yapıştırıcı arasında güçlü bir adezyon veya çekimin yanı sıra yapıştırıcının yeterli kohezyonu anlamına gelir (Hunt vd, 2019). Çoğu malzeme için, yapıştırıcı ile yapışan arasında iyi bir temas geliştirmek için solventle silme, kimyasal işlem veya ablyasyon yoluyla yüzeyin hazırlanmasını içerirken, ahşap için kesme, planyalama, yongalama, liflendirme ve zımparalama en yaygın yöntemlerdir (Hunt vd, 2019).

Yapıştırmanın bazı avantajları aşağıdaki gibidir:

1. Benzer veya farklı hammaddelerden kompozit, sandviç panel (Resim 1) veya tabakalı malzemelerin dahil olduğu bir çok yenilikçi ürün, yapıştırma teknikleri sayesinde üretilebilir (Anonim, 2004; Habernicht, 2008).
2. Yapıştırılanların direncinden daha güçlü yapışma direnci elde edilebilir (Ebnesajjad ve Landrock, 2014).
3. Geniş yüzeyler, farklı ve ince malzemeler birleştirilebilir (Brockmann vd, 2008; Habernicht, 2008). Büyük boyutlu ürünler (Conner, 2001), hafif ve ağırlığı azaltılmış konstrüksiyonlar üretilebilir (hava ve uzay araçları için) (Habernicht, 2008).
4. Sıcaklığa duyarlı malzemelerin yapıştırma yolu ile birleştirilmesi mümkündür (lehim ve kaynağın uygulanan sıcaklıktan dolayı verebileceği muhtemel zararlar önlenmiş olur), yapışanlar vidalama, perçinleme ve çivilemede olduğu gibi delme nedeni ile zayıflatılmazlar ve yük iletimi diğerlerinde olduğu gibi belli bölgede değil tüm yüzey ile (Habernicht, 2008) ve daha homojen olur (Ebnesajjad ve Landrock, 2014). Stres homojen bir şekilde dağıtılabilir (Brockmann vd, 2008).
5. Toz, gaz ve sıvı geçirgenliği engellenerek (Brockmann vd, 2008) sızdırmazlık sağlanır. Sağlık ve hijyeni destekler (Anonim, 2004).
6. Çatlak ve korozyon oluşmaz (Brockmann vd, 2008).
7. Yüksek sönümlenme ve dinamik direnç özelliklerine sahip

malzemeler üretilebilir (Brockmann vd, 2008).

8. Yapıştırıcı bağı ile daha düşük maliyet ve daha hafif olmak üzere geleneksel birleşimlere mekanik olarak eşdeğer veya onlardan daha güçlü birleşimler sağlanabilir (Ebnesajjad ve Landrock, 2014). Bakım ve onarım masrafları düşüktür.
9. Farklı tasarım olanakları sunar. Prefabrikasyon mümkündür.
10. Artık, atık, farklı kalitede ve boyuttaki/şekildeki malzemelerin kullanımı mümkün olduğundan maliyet avantajları sunar. Bu sayede kaynaklar verimli ve ekonomik kullanılır (Conner, 2001; Hunt vd, 2019).
11. Hareketliliği ve malzemelerin taşınmasını kolaylaştırır (Anonim, 2004).

Resim 1

NASA'da test için kullanılan kompozit sandwich malzeme, [Foto: NASA]



Açıklama notu. Glare Honeycomb. [2024]. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Glare_honeycomb.jpg kaynağından alınmıştır

Yapıştırmanın dezavantajları aşağıdaki gibidir:

1. Yapıştırıcı türüne bağlı olarak sıcaklığa, rutubete, kimyasal maddelere ve UV ışınlarına dayanıklılığı sınırlıdır.
2. Genellikle yüzeyin yapıştırma için hazırlanması gereklidir (Habernicht, 2008; Brockmann vd, 2008) ve birçok faktör yüzeyi etkiler.
3. Yapışmanın gerçekleşmesi için zamana, sıcaklığa ve basınca ihtiyaç vardır. Yapıştırıcı uygulamada özel şartların hazırlanması gerekebilir.
4. Ürünün kullanım ömrü sona erdiğinde yapıştırıcıların geri dönüştürülmesi ile ilgili çevresel faktörler göz önüne alınmalıdır (Habernicht, 2008).
5. Yapışma kalitesini ölçmek için tahribatsız tespit metotları yeterince gelişmiş değildir (Habernicht, 2008, Brockmann vd, 2008).
6. Yapıştırmada kullanılan makine ve teçhizat için yatırım ve sürec kontrolü için uzman personel gereklidir.
7. Kullanım süresine bağlı olarak özellikleri değişebilir (Brockmann vd, 2008). Raf/kap ömrü sınırlıdır. Taşıma ve depolama için özel şartlar gerektirir.
8. Yapıştırıcıların içeriğindeki, çözmek ve yüzey temizlemek için kullanılan bazı kimyasallar uçucu bileşikler salarak çevre ve insan sağlığına zarar verebilir.
9. Hatalı yapıştırma veya kullanım ömrü sonunda yeniden değerlendirme imkanları kısıtlıdır.

10. Her bir uygulama ve yapışan için farklı yapıştırıcı ve süreç kontrolü gerektirir.

Ahşap Yapıştırma

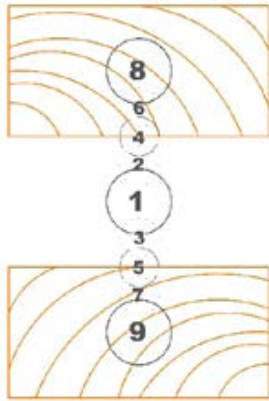
Ahşap yapıştırıcılar, ahşabın yüzeyi ile fiziksel veya kimyasal olarak veya her ikisi ile etkileşime girebilen, kopma veya ayrılma olmaksızın, gerilimlerin birleştirilen elemanlar arasında transfer edebilen polimerik malzemelerdir (Conner, 2001). Yapışma, yapıştırıcının iki ahşap yüzeyi bir arada tutma yeteneğini kontrol eden mekanik ve kimyasal faktörleri içerir (Frihart ve Hunt, 2021).

Yapıştırmanın ilk adımı, ahşap yüzeyinin, minimum yüzey kirliliğine sahip olacak ve pürüzsüz olacak şekilde hazırlanmasıdır (Hunt vd, 2019). Maksimum yapışma direnci için, yapıştırıcı ahşap yüzeyini "ıslatmalı" veya moleküler düzeyde yüzeyi tamamen kaplamalıdır (Frihart ve Hunt, 2021). Basınç ve/veya kullanılan kimyasal maddeler, sıvı yapıştırıcıyı yüzeyler üzerinden akmaya, tıkanıklıklarını ortadan kaldırmaya ve sağlam ahşaba nüfuz etmeye zorlayarak ıslanmayı artırır (Frihart ve Hunt, 2021). Yapıştırıcı bağı, yapıştırıcı katılaştıktan/sertleştikten sonra oluşur, ancak tam direncin gelişmesi saatler veya günler alabilir (Frihart ve Hunt, 2021).

Ahşap gözenekli bir malzeme olduğundan, yapışma mekanizmalarından birisi mekanik kenetlemedir. Etkili mekanik kenetleme, bir yapıştırıcının yapışanın yüzeyindeki hasarlı liflerin ve kalıntıların ötesine nüfuz ettiğinde ve iki-altı hücre derinliğindeki sağlam ahşaba absorbe edildiğinde gerçekleşir (Frihart ve Hunt, 2021). Ahşap yapıştırmada bağlar ve arayüzler Marra (1992) tarafından belirtildiği gibi Şekil 1'de verilmiştir (Hunt vd, 2019).

Şekil 1

Ahşap yapıştırmada bağlar ve arayüzler (Halka 1: Yapıştırıcı, Halka 2&3: Yapıştırıcı arayüzü, Halka 4&5: Yapıştırıcı-Ahşap arayüzü, Halka 6&7: Ahşap arayüzü, Halka 8&9: Ahşap)



Açıklama notu. Hunt, C. G., Frihart, C. R., Dunky, M., & Rohumaa, A. (2019). Understanding Wood Bonds-Going Beyond What Meets the Eye: A Critical Review. Progress in Adhesion and Adhesives, 4, 353-419 kaynağından uyarlanmıştır. Çizim Doğan Memiş'e aittir.

Yapıştırıcılar; sıvı veya katı (toz, boncuk, pelet, film ve benzeri) formda bulunabilirler. Ancak yapıştırmanın herhangi bir aşamasında sıvı hale getirilmeleri gereklidir (Marra, 1992). İyi bir kohezyon; yapıştırıcı çizgisi boyunca bağı ve transfer yükünün kalıcılığını sağlamak için gereklidir ve ahşaba yapışmadan farklı faktörler tarafından kontrol edilir. (Hunt vd, 2019)

Ahşap Yapıştırıcıların Sınıflandırılması

Yapıştırıcıları kullanım yerlerine, kimyasal yapısına, elde edildikleri kaynağa, sertleşme reaksiyonlarına, yapışma performanslarına, ısı ile geri dönüşebilir olup olmamasına, fiyatına, bileşen sayısına, vb. pek çok kritere göre sınıflandırmak mümkündür.

Frihart ve Hunt (2010), yapıştırıcıları ne kadar yük taşıyabileceklerine ve suya, ısıya veya diğer çevresel koşullara maruz kaldıklarında deforme olmadan ne kadar süre yükü taşımaya devam edebileceklerine (yapısal performanslarına) göre genel olarak sınıflandırır (Tablo 1).

Tablo 1

Farklı Derecede Çevre Koşullarına Maruz Bırakıldıklarında Beklenen Yapısal Performanslarına Göre Ahşap Yapıştırıcıların Sınıflandırılması

Yapısal Bütünlük	Kullanım Alanları	Yapıştırıcı Tipi
Yapısal	Tamamen dış mekan (Uzun süreli suya daldırma ve kurutmaya dayanıklı)	Fenol formaldehit (FF) Rezorsin formaldehit (RF) Fenol rezorsin formaldehit (FRF) Melamin formaldehit (MF) İzosiyanat (İS)
	Kısmi dış mekan (Kısa süreli suya daldırma ve kurutmaya dayanıklı)	Melamin üre formaldehit (MÜF) Epoksi (EP) Poliüretan (PÜR)
	İç mekan (Kısa süreli yüksek neme dayanıklı)	Üre formaldehit (ÜF) Kazein
Yarı yapısal	Kısmi dış mekan	Çapraz bağlı Poliviniasetat (PVA) Çapraz bağlı soya yapıştırıcı
Yapısal olmayan	İç mekan	PVA Hayvansal Elastomerik Hotmelt Nişasta

Açıklama notu. Frihart, Charles R., and Christopher G. Hunt. (2010) "Adhesives with wood materials: bond formation and performance." Wood handbook: wood as an engineering material: Chapter 10. Centennial ed. General technical report FPL; GTR-190. Madison, WI: US Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, p. 10.1-10.24" olarak değiştirilecek kaynağından uyarlanmıştır.

Marra (1992)'ye göre yapıştırıcılar sertleşme mekanizmalarına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

1. Kısmi sertleşme: Mastikler
2. Isı kaybı: Sıcak eriyik (hotmelt)
3. Solvent veya su kaybı: Polivinilasetat, alifatikler, hayvansal proteinler, polisakkaritler (nişasta ve selüloz), kauçuklar
4. Kimyasal reaksiyon
 - A. Yoğunlaşma (kondenzasyon) polimerizasyonu: Fenol formaldehitler, rezorsin formaldehitler, üre formaldehitler, melamin formaldehitler
 - B. Ekleme (adisyon) polimerizasyonu: Epoksiler, izosiyanatlar
5. Kombine sertleştirme sistemleri
 - A. Çözücü kaybı + Isı kaybı: Sıcak hayvan tutkalı
 - B. Solvent kaybı + Kimyasal Reaksiyon: Çapraz bağlı polivinil asetat, kazeinler, soya fasulyesi yapıştırıcıları

Kısmi sertleşme grubundaki mastiklerin başlıca özellikleri, çok yüksek viskoziteleri ve yapışkanlıklarıdır. Macunsu kıvamları, yüksek oranda katı madde ve düşük solvent veya taşıyıcı içeriğinden kaynaklanmaktadır (Marra, 1992). İçerisinde; çeşitli kauçuk türleri (doğal, sentetik veya geri kazanılmış) ile ya su içinde lateks olarak ya da bir çözücü içinde bir dispersiyon olarak birleştirilirler (Marra, 1992). Bunlar ayrıca yapıştırıcılar (reçineler), dolgu maddeleri (karbon siyahı, tebeşir, kil vb.), plastikleştiriciler, anti-oksidanlar, sertleştirici ajanlar ve bağ performansını artırmak için eklenen sertleştirici ajanları içerir (Marra, 1992). Uygulamaları kolaydır ve iç mekanda yapısal olmayan uygulamalar için kullanılırlar.

Isı kaybı ile sertleşen hotmeltler, termoplastik yapıştırıcılar sınıfına girer ve sıcaklık kaybı ile sertleşirler. Piyasada farklı formlarda (katı halde) genellikle poliamid ve etil vinil asetat (EVA) esaslı türleri bulunur. Hotmeltlerin viskozitesi tamamen sıcaklığına bağlıdır: sıcaklık ne kadar yüksekse, viskozite o kadar düşük olur (Marra, 1992). Direnç özellikleri düşük olup, özellikle kenar bantlama işleminde veya hızlı birleştirmelerin gerekli olduğu yapısal olmayan iç mekan uygulamalarında kullanılırlar.

Solvent veya su kaybı ile sertleşenler grubunda en çok bilinen ve kullanılan yapıştırıcı PVA'dır. PVA termoplastik yapıştırıcılar grubuna girer ve yapısal ve yarı-yapısal uygulamalarda yüksek sıcaklık, rutubet ve stres altında kullanıma uygun değildir. Ancak, kullanım kolaylığı, uzun raf ve kap ömrü ve oda sıcaklığında yapışabilmesi gibi avantajlarından dolayı tercih edilir.

Yoğunlaşma polimerizasyonu ile sertleşenler grubunda en çok bilinen ve kullanılan yapıştırıcılar; FF, RF, ÜF ve MF'dir.

FF yapıştırıcısının performansı, yapısında bulunan formaldehitin çapraz bağlanmayı sağlaması (Baldwin, 1995) nedeni ile yüksektir. Yapıştırıcının yüksek pH'ı ahşap yüzeydeki kirlenmelerin temizlenmesine ve hücre çeperlerini genişleterek penetrasyonun artmasına yardımcı olur (Marra, 1992). Resol ve novalak olmak üzere iki farklı türü vardır. Resol sertleşme için herhangi bir katalizöre ihtiyaç duymaz ve formaldehit oranı fenol oranından daha yüksektir (Marra, 1992). Direnç özellikleri yüksektir ve rutubet, sıcaklık, organik çözücüler, birçok asit ve zararlılara karşı son derece dayanıklılık özelliklerinden dolayı yapısal amaçlar için iç ve dış mekanlarda tercih edilir. Koyu kırmızımsı rengi olup, katı, sıvı ve film halinde bulunabilir (Eckelman, 1999). Maliyeti düşürme, viskozite, akma ve penetrasyonu kontrol etmek amacı ile reçine miktarının %10-15'i kadar tahıl, ceviz kabuğu, odun, odun kabuğu ve cam unları ile kil, lignin gibi katkı ve dolgu maddeleri ilave edilir (Marra, 1992).

RF yapıştırıcısı, oda sıcaklığında sertleşebilir (Marra, 1992). İç ve dış mekanlarda yapısal uygulamalar için uygundur. Yüksek sıcaklık ve rutubete karşı dayanıklıdır ve direnç özellikleri yüksektir. Fiyatının yüksekliği bir dezavantaj olup, alternatif olarak FF tutkalı ile karıştırılıp hibrit fenol rezorsin formaldehit (FRF) yapıştırıcısı olarak kullanılabilir.

ÜF yapıştırıcısı; düşük maliyeti, renksiz olması, alev almaması, ark direnci, iyi termal özellikleri (Raval vd, 2005), oda sıcaklığında da sertleşmesi (türüne göre), seyreltilmesi ve diğer reçineler ile karıştırılabilmesi (Marra, 1992) nedeni ile en yaygın kullanılan termoset yapıştırıcıdır (Eckelman, 1999). Termoset grubunda

olmasına rağmen yüksek sıcaklık (yaklaşık 50 °C), rutubet ve stres altında kullanıma uygun değildir. Ancak iç mekan uygulamalarında ve ahşap esaslı kompozit (yongalevha, MDF, HDF vb.) üretiminde tercih edilir. Formaldehit emisyonu değerlerinin standartlarda istenen değerleri sağlaması üretici ve kullanıcı açısından önemlidir.

MF yapıştırıcıların performansı, direnç ve dayanıklılık gerektiren özelliklerle dış mekan uygulamalarda FF'ye benzerdir, ancak renksiz olması nedeni ile estetik avantaj sağladığından daha pahalıdır. Sadece sıcak preslenebilir (Marra, 1992). Genellikle ÜF yapıştırıcısına melamin ilave edilerek MÜF yapıştırıcısı elde edilir. Bu yolla, ÜF yapıştırıcısının direnç ve dayanıklılık özellikleri artırılır.

Ekleme (adisyon) polimerizasyonu ile sertleşenler grubunda en çok bilinen ve kullanılan yapıştırıcılar; Epoksiler ve izosiyanatlardır.

EP reçineler polimerizasyon mekanizmaları nedeni ile fenolik reçinelerden ayrılırlar. Katı madde oranı çok yüksek olduğundan solvent içermezler, kürlendikten sonra çok düşük boyut kaybı oluşur (Marra, 1992). Özel olarak ahşap malzemelerin farklı malzemelerle birleştirilmesi ve restorasyon projelerinde kullanımı uygundur. Direnç ve dayanıklılık özellikleri yüksektir, ancak fenolik reçinelere göre daha düşüktür (Marra, 1992). Düşük sıcaklıkta sertleşebilmesi önemli avantajıdır. Maliyet dezavantajı kullanımının sadece özel alanlarda kalmasına neden olmuştur.

İS'lerin fenolik reçinelere göre daha düşük sıcaklıklarda sertleşebilmesi ahşap esaslı kompozitlerde (özellikle OSB) önünü açmıştır. Ahşap malzemelerin farklı malzemelerle yapıştırılması için EP'ye alternatiftir. Uçuculuğunun düşük olması nedeniyle ahşap için en çok kullanılan difenilmetan diizosiyanattır (MDI) (Marra, 1992).

Kombine sertleştirme mekanizmalarının amacı yapıştırıcının direnç ve dayanıklılık özelliklerinin artırılmasıdır. Çapraz bağlı PVA yapıştırıcıları buna en iyi örnektir. Bu sayede kullanım alanları genişlemiştir.

Ahşap Yapıştırıcı Seçimi

Yapıştırıcı seçmeden önce üretilecek ürünü, amaçlanan kullanım ortamını ve tüm üretim süreçlerini ve ekipman tamamen incelenmelidir (Frihart ve Hunt, 2021). Üretilecek yapıştırıcının doğru seçimi, üretim sırasındaki çalışma koşullarına ve genellikle yapıştırıcı sistem maliyetlerine bağlıdır; bu sadece yapıştırıcının net fiyatı değil, aynı zamanda yapıştırıcı sürme faktörü, hattın kapasitesi ve diğer parametreler dahil olmak üzere yapıştırma sisteminin maliyetleri anlamına gelir (Dunky, 2002).

Belirli bir uygulama/kullanım yeri için en iyi yapıştırıcıyı seçerken birçok faktörün dikkate alınması gerekir. Yapıştırıcı yüzeye düzgün sürülebilmesi, yüzeyi ıslatmalı, ahşaba nüfuz etmeli, kısa sürede kürlenmeli ve farklı yük ve çevre koşulları altında yeterli süre direncini korumalıdır (Frihart ve Hunt, 2010).

Ahşap yapıştırıcı seçiminde önemli noktalar aşağıdaki gibidir:

- 1. Direnç ve dayanıklılık (Frihart ve Hunt, 2021).
- 3. Yüzey ıslatma (Frihart ve Hunt, 2021).
- 4. Zamanlama (kap/raf ömrü, açık bekleme zamanı, kapalı

bekleme zamanı, presleme süresi, kürlenme süresi) (Frihart ve Hunt, 2021).

- 5. Belirlenen taşıma ve depolama koşullarında yeterli depolama sabitliği (Dunky, 2003).
- 6. Düşük taşıma ve uygulama riski (Dunky, 2003).
- 7. Yapıştırıcı bileşenlerini karıştırma uyumu ile (Frihart ve Hunt, 2021) yapıştırıcının katkı ve dolgu maddelerine uyumu (Dunky, 2003).
- 8. Gerekli basınç ve sıcaklık (Frihart ve Hunt, 2021).
- 9. Uygulama sırasında malzeme rutubeti (Frihart ve Hunt, 2021).
- 10. Renk, yüzey işlemi özellikleri (Frihart ve Hunt, 2021) ve koku (Dunky, 2003).
- 11. Kullanım kolaylığı ve basitlik (Frihart ve Hunt, 2021).
- 12. Maliyet (Frihart ve Hunt, 2021).
- 13. Yeterli yapıştırma kalitesi (Dunky, 2003).
- 14. Çevresel hususlar ve ulusal gereklilikler (Dunky, 2002), güvenlik ve çevre kaygıları (Frihart ve Hunt, 2021) ve ekolojik davranış (yaşam döngüsü analizi ve monomerlerin emisyonu (uçucu organik bileşikler, üretim ve kullanım sırasında formaldehit emisyonu)) (Dunky, 2003).

Ahşap Yapıştırıcıların Uygulama Alanları

Ahşap endüstrisinde yapıştırıcılar; ahşap esaslı kompozitler, mühendislik ürünü ağaç malzemeler (tabakalanmış ağaç malzeme, tabakalanmış kaplama kereste, çapraz lamine kereste, vb.), levha/ahşap yüzeylerinin çeşitli malzemeler ile kaplanması, marangozluk ve ahşap yapı işlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Masif ahşap malzemenin faydalarından yararlanmak ve boyut problemini ortadan kaldırmak için, genellikle ahşabın, uç-uca, yan-yan ve üst-üste birleştirme yoluyla yeniden yapılandırılması gerekir (Serrano ve Källander, 2005). Bu, yapıştırıcılara ve yapıştırma süreçlerine yeni talepler getirirken aynı zamanda yeni olanaklar sunmuştur (Källander, 2002). Ahşap ürünlerin en az %80'i bir şekilde yapıştırılmaktadır (Pizzi, 2005). Yapıştırma teknolojisi ahşap mühendisliğinde ağırlıklı olarak hammadde ile ilgili dezavantajların üstesinden gelmek, mekanik özellikleri yüksek ve güvenilir

ürünler elde etmek için kullanılmaktadır (Serrano ve Källander, 2005).

Modern ahşap mühendisliği büyük ölçüde yapıştırıcı teknolojisinin kullanımına dayanmaktadır (Serrano ve Källander, 2005). Son yıllarda, mühendislik ürünü ahşap malzemeler, yapısal ve diğer ahşap uygulamalar için büyük oranda masif ahşabın yerini almıştır (Frihart ve Hunt, 2021; Hunt vd, 2019). Ahşap esaslı kompozitleri geliştirmenin avantajları; küçük çaplı ağaçları kullanmak, diğer üretim süreçlerinden kalan artıkları kullanmak, kusurlardan arındırmak, daha homojen bileşenler üretmek, masif ahşaba göre daha dirençli malzemeler üretmek ve farklı formda kompozitler üretmektir (Berglund and Rowell, 2005). Yapıştırma bu kompozitlerin üretiminde temel unsurdur.

Yapıştırıcılar, köprülerde (Resim 2), farklı ticari ve endüstriyel yapılarda (Resim 3 ve 4), özellikle zemin ve duvar paneli sistemlerinde yapı malzemelerinin birleştirilmesinde, mobilya, kaplamalar, zemin kaplamaları, tezgahlar, tavan ve duvar panelleri, döşeme ve

Resim 3

Tutkalı lamine kerestenin yapıda kullanımı



Açıklama notu. Glulam.[2024]. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Glulam.JPG?uselang=en#Licensing> kaynağından alınmıştır.

Resim 2

Tioga köprüsü, Oregon, ABD, (Foto: Oregon Department of transportation).



Açıklama notu. Tioga bridge. [2024]. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:-Tioga_Bridge_48905621692.jpg kaynağından alınmıştır.

Resim 4

Metropol Parasol, Sevilla, (Foto: Arup).



Açıklama notu. Metropol Parasol. [2024]. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Metropol_Parasol.JPG kaynağından alınmıştır.

aksesuarlar gibi yapısal olmayan uygulamalarda kullanılmaktadır (Conner, 2001).

Yapıştırıcılar; yapısal, yarı yapısal ve yapısal olmayan uygulamalar için kullanılabilir. Yapısal olmayan uygulamalar için en yaygın yapıştırıcılar ÜF, PVA ve PÜR'dür. Suya karşı direncinin düşük olması modifiye edilmeleri veya hibrit tutkal üretimini beraberinde getirmiştir. İki bileşenli PVA yapıştırıcılar ve MÜF yapıştırıcılar; iyi bir su ve rutubet direnci sağlayarak EN 204 - 205 standardına göre D4 sınıfının gereksinimlerini karşılayabilir (Källander, 2002). İç mekanda kullanılan mobilyalarda kullanılan levhalarda genellikle ÜF yapıştırıcısı kullanılır. Panel mobilya üretiminde birleştirmeler için PVA veya PÜR yapıştırıcı yaygındır.

Yapısal uygulamalar için en yaygın yapıştırıcılar FF, MF, FRF, EP ve İS'dir. Bunlar mühendislik ürünü ahşap malzemeler; masif birleştirme (çatı kirişi, merdiven, başlık), yapısal paneller (I-kiriş, gerilmiş panel (stressed skin panel), sandviç panel, renovasyon vb alanlarda kullanılabilir.

Yarı yapısal uygulamalar; bileşenin tutkal hattına paralel olarak basınç altında kaldığı lamine veya parmak birleştirmeli duvar dikmeleri ve bileşen üzerindeki ana yükün tutkal hattını doğrudan etkilemediği masif duvar panelleri ve masif ahşap zeminlerdir. (Källander, 2002). Bu amaçlar için çapraz bağlı PVA yapıştırıcıları yaygın olarak kullanılır.

Yapıştırma Performansını Etkileyen Faktörler

Ahşabın yapıştırılmasının kalitesi üç ana parametre ile belirlenir: (1) ahşap, özellikle ahşap yüzey ile yapışma-hattı arasındaki arayüz dahil olmak üzere ahşap yüzey; (2) uygulanan yapıştırıcı; (3) çalışma koşulları ve süreç parametreleri (Dunky, 2003). Yapıştırıcının özellikleri dışındaki parametreler, performansın yaklaşık %50'sini oluşturur.

Yapıştırma işleminin performansı üzerine yapıştırıcı, yapıştırılan malzeme, yapıştırma süreci/işlemi ve kullanım yeri şartlarından kaynaklanan pek çok faktör etkili olmaktadır. Bu faktörler Tablo

2'de topluca verilmiştir (River vd, 1991).

Yapışma sürecinde, iki alan önemlidir: bağ oluşumu ve yapışma performansı (Scheikl vd, 2002). Bağ oluşumu yapıştırıcıların sıvı özellikleri ile ilgilenirken yapışma performansı sertleştikten sonraki davranışı ile ilgilenir. Bağ oluşumunun kalitesi yapışma performansını belirlediğinden birbirlerini etkiler (Scheikl vd, 2002). Yapıştırılmış ürünün performansı, birleştirilmesi sırasında bireysel bağlantıların (ahşap, yapıştırıcı ve ahşap ve yapıştırıcının arayüz bölgeleri) özelliklerine katkıda bulunan karmaşık faktörlerin, ne kadar iyi kontrol edildiğine bağlıdır. (Frihart ve Hunt, 2021)

Ahşabın özelliklerinin ahşabın yapıştırma performansı üzerinde önemli etkileri olur ve bu özellikler sadece türler arasında değil aynı zamanda türler içinde ve ağaç içinde değişiklik gösterir (Hunt vd, 2019). Ağaçlar fiziksel, mekanik, kimyasal, teknolojik, kurutma, emprenye edilme ve yapışma özelliklerine/kolaylığına göre farklı şekilde gruplandırılabilir.

Yoğunluğu düşük olan ağaç türlerini yapıştırmak büyük çaplı lümenleri, ince hücre çeperleri, görece ekstraktif maddelerin azlığı nedenleri ile daha kolaydır, daralma ve genişleme yüzdesi daha düşüktür ve yüksek basınç gerektirmez (Frihart ve Hunt, 2021), ancak yapışma direnci yüksek yoğunluklu türlere göre daha düşüktür. Yoğunluğa göre basınç miktarı ayarlanırken yapıştırıcı türünün ve özelliklerinin her ağaç türünün değişkenlerini göz önüne alarak ayarlanması önemlidir (Frihart ve Hunt, 2010). Ahşap yoğunluğu ve anatomisi, genellikle penetrasyon ve yapışma performansını etkileyen ahşap porozitesini kontrol eder (Frihart ve Hunt, 2021).

Ahşabın rutubet oranı; yapışmanın direncini, boyutsal sabitliğini, dayanıklılığını ve yüzey özelliklerini doğrudan etkiler (Suomi-Lindberg vd, 2002). Diğer yandan su bazlı ahşap yapıştırıcılarda; ısıtma, penetrasyon ve kürlenmeyi büyük ölçüde etkiler (Frihart ve Hunt, 2010). Ahşap aşırı miktarda rutubet içermesi halinde daha az yapıştırıcı absorbe edebilir ve sonucunda aşırı yapıştırıcı hareketliliğine ve ardından basınç uygulandığında sızmaya neden olur

Tablo 2

Yapıştırma performansı üzerine etkili olan faktörler

Yapıştırıcı	Ahşap	Süreç/İşlem	Kullanım
Tip	Tür	Yapıştırıcı miktarı	Direnç
Viskozite	Özgül ağırlık	Yapıştırıcı dağılımı	Kayma modülü
Yapışkanlık	Rutubet oranı	Bağıl nem	Elastikiyet modülü
Reaktanların mol oranı	Kesit (teğet, radyal, enine)	Sıcaklık	Sünme
Dolgu maddesi	Öz/diri odun oranı	Açık bekleme süresi	Ahşap/yapıştırıcı hasar yüzdesi
Katı madde oranı	İlkbahar/yaz odunu oranı	Kapalı bekleme süresi	Hasar tipi (kohezyon, adezyon)
Moleküler ağırlık dağılımı	Genç/ergin odun oranı	Basınç	Yapıştırıcı penetrasyonu
Solvent sistemi	Lif açısı	Gaz çıkışı	Kuru -nemli
Raf ömrü	Porozite	Basınç süresi	Sıcaklık
pH	Yüzey pürüzlülüğü	Ön işlemler	Üst yüzey işlemleri
Tamponlama	Kurutma kusuru	Son işlemler	Sıcaklık dayanımı
Kürlenme hızı	İşleme hataları	Yapışma sıcaklığı	Hidroliz dayanımı
Katalizör	Kir, kirleticiler		Daralma-genişleme dayanımı
Karıştırma	Kimyasal yüzey		UV dayanımı
	Ekstraktifler		Biyolojik dayanım (mantar, bakteri, böcek, deniz zararlıları)
	pH		
	Tamponlama kapasitesi		

Açıklama notu. River, B. H., Vick, C. B., & Gillespie, R. H. [1991]. "Wood as an adherend". In Minford, J. D. Treatise on adhesion and adhesives. Vol. 7. Marcel Dekker kaynağından uyarlanmıştır.

(Suomi-Lindberg vd, 2002) ve yüzeyde yapıştırma için yeterli yapıştırıcı kalmaz. Ayrıca, sıcak presleme sırasında yüksek buhar basıncı oluşur ve patlama ile birlikte bağ hatları boyunca tabakaları ayırır (delaminasyon) veya tam çapraz bağlanmayı önleyebilir (Suomi-Lindberg vd, 2002).

Yapıştırma sırasında ahşabın en az %6-14 arasında rutubet oranına sahip olması beklenir (Frihart ve Hunt, 2010). Ahşap, kapalı (ısıtılan) yerlerde %8-12, ısıtılmayan yerlerde %14-15, dış ortamda %18 veya ortam koşullarına göre daha yüksek denge rutubet oranına ulaşır (Suomi-Lindberg vd, 2002). Birbirine yapıştırılan ahşap malzemelerin arasındaki rutubet farklılıklarının düşük yoğunluklu türler için yaklaşık %5'ten ve daha yüksek yoğunluklu türler için ise yaklaşık %2'den fazla olmamalıdır (Suomi-Lindberg vd, 2002; Frihart ve Hunt, 2021).

Denge rutubet miktarının değişmesi ile birlikte ahşabın boyutları da değişir. Bu izin verilen sınır değerlerini aşması halinde hem ahşabı hem de birleştirmeleri ciddi şekilde zayıflatabilecek ve çarpılma, bükülme ve diğer istenmeyen etkilere neden olabilecek daralma veya genişleme gerilimi oluşur (Suomi-Lindberg vd, 2002; Frihart ve Hunt, 2021). Bu, farklı türler, öz odun / diri odun veya genç odun oranı veya kesitlerde ortaya çıkabilir (Frihart ve Hunt, 2021).

Ahşapta porozite ve permeabilite (geçirgenlik) lif yönüne göre değişir. Enine kesit porozitenin en yüksek olduğu yüzeydir. Yapıştırıcılar, liflere paralel yönde çok kolay bir şekilde nüfuz ederler (Frihart ve Hunt, 2021; Suomi-Lindberg vd, 2002).

Yapıştırıcıların ahşaba penetrasyonunu etkileyen faktörle şunlardır (Hunt vd, 2019):

1. Ağaç türleri, lümenlerin çapı ve lif kıvrıklığı, geçit sıklığı ve aspirasyonu, kesme yönü, yoğunluk ve rutubet oranı, ekstraktif maddelerden veya tüllerden kaynaklanan tikanıklıklar, budaklar, kabuk, çürüklükler, renklenmeler, öz odunun ve genç odun gibi ahşapla ilgili parametreler ile ahşabın presleme basıncına dayanma gücü, ahşap yüzeyinin ıslanabilirliği ve yüzey enerjisi.
2. Kimyasal yapı, moleküler ağırlık dağılımı, katkı maddeleri, katı içeriği, viskozite, yüzey enerjisi, tamponlama kapasitesi, sertleşme süresi ve reçine kürleme veya katılaşma hızı gibi yapıştırıcı özellikleri.
3. Yapıştırma süreci parametreleri olarak ise yayılma oranı, açık ve kapalı bekleme süresi, sıcaklık, basınç ve yüzeyin rutubet oranı (*Açık Bekleme Süresi—Yapıştırıcının malzeme yüzeyine sürülmesi ile yapıştırılacak parçaların bir araya getirilmesi arasında geçen süredir.*

Kapalı Bekleme Süresi—Yapıştırma için parçaların bir araya getirildikten sonra yapıştırıcının sertleştirilmesi için basınç veya ısı veya her ikisinin uygulanması arasındaki geçen süredir.)

Öz odun/diri odun oranı ağaç türü, ağaç yaşı ve iklim durumu ile değişir (Bozkurt ve Erdin, 2011). Özellikle, öz odundaki ekstraktif maddeler nedeni ile fiziksel, kimyasal ve teknolojik özelliklerde değişimler porozite ve yapıştırıcının hareketini engellediğinden, yapıştırma problemleri ortaya çıkar (Marra, 1992).

İlkbahar ve yaz odununun yoğunluk, renk ve yapısal özellikleri birbirinden farklıdır (Bozkurt ve Erdin, 2011). İlkbahar ve yaz odunu porozitesindeki önemli farklılıklar ve yüzeye yakınlıkları

yapıştırıcıların formülasyonlarında en büyük problemi oluşturur (Marra, 1992). Problemin çözümü için bazı üretim faktörlerinde değişiklikler yapmak gerekebilir.

Genç ve ergin odunun yapısal, kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri birbirinden farklıdır (Bozkurt ve Erdin, 2011). Hücre yapısındaki farklılıklar nedeni ile yapıştırıcı-ahşap arayüzü daha zayıf olabilir (Frihart, 2005).

Lif açısı; fiziksel, mekanik, yapıştırma özelliklerini ve yapıştırılmış ürünün performansını etkiler (Marra, 1992). Yapıştırmada temel etkisi porozite farklılığından kaynaklanır (Marra, 1992).

Yapıştırıcılar yüzeye tutunma yoluyla bağlandığından, yapıştırılan yüzeyin mekanik, fiziksel ve kimyasal koşulları, yapışma performansı için son derece önemlidir (Suomi-Lindberg vd, 2002; Frihart ve Hunt, 2010). Ahşabın yüzeyi zarar görürse, o yüzeyde yapılan yapıştırma da tehlikeye girer (Hunt vd, 2019). Ahşap yüzeyi; polimer morfolojisi, ekstraktifler ve işleme koşullarından etkilenir (Suomi-Lindberg vd, 2002). Ahşap yüzeylerin; pürüzsüz, düz olması, ezilmiş, pürüzlü, kalkık ve yongalı lifler dahil olmak üzere yanma, makine izi, atlama/sekme ve diğer yüzey düzensizliklerinden ve her türlü ekstraktif, yağ, kir ve diğer kirleticilerden arındırılmış olması, aşırı kurutulmuş olmaması (Frihart ve Hunt, 2021; Suomi-Lindberg vd, 2002), emprenyeli veya modifikasyonlu ise gerekli hazırlıkların yapılması istenir. Fiziksel bozulma ve kimyasal bulaşı yapıştırıcının yüzeyi ıslatmasına, penetrasyonuna, akışına ve sertleşmesine engel olur ve yapıştırıcının kürlenmesini ve sonuçta ortaya çıkan kohezyon gücünü de olumsuz etkileyebilir (Frihart ve Hunt, 2021). En çok 24 saat öncesinden ahşabı planya veya kalınlık makinesinden geçirmek, yapıştırmaya uygun bir yüzey sağlar (Hunt vd, 2019). Kullanılan kesicilerin (planya, kalınlık makinesi, vb.) yeterince keskin olması ideal yüzey hazırlığı açısından önemlidir.

Yukarıda sayılan faktörler nedeni ile özellikle su bazlı yapıştırıcılar yüzeyi yeteri kadar ıslatamazlar, kimyasal kürlenme süresi değişebilir veya kürlenme gerçekleşemez. Bu sorunlarla başa çıkmak için; yapıştırmadan önce yüzeyin bazı alkali çözeltilerle muamele edilmesi, yapıştırma sürecinin değiştirilmesi, yüzeyin başka kimyasallarla ön muameleye tabi tutulması veya uygun moleküler boyut dağılımına sahip reçinelerin seçilmesi önerilebilir (Frihart ve Hunt, 2021; Suomi-Lindberg vd, 2002).

Bir yapıştırıcının katı bir yüzeyi ıslatmasına, yayılmasına ve yapışmasına neden olan kuvvetler; kimyasal bağlara, mekanik kenetlenme, polar gruplar nedeniyle fiziksel ve kimyasal absorpsiyona, tüm maddelerde var olan elektrostatik çekim kuvvetlerine ve bunların bir kombinasyonuna (Marra 1992) bağlıdır.

Ahşap malzemenin pH'ı 3-6 arasındadır (Marra, 1992). Diğer yandan yapıştırıcıların pH'ı çok iyi kontrol edilmelidir. Çünkü ahşabın pH'sı yapıştırıcının çözünürlük, kürlenme hızı ve derecesi üzerinde etkilidir (Marra, 1992). Yapıştırıcıların ve ahşap malzemenin pH'ı yapıştırmayı etkilememesi için gerekli önlemlerin alınması zorunludur. Pek çok termoset yapıştırıcıda hızlı/yavaş kürlenmeyi sağlamak/kontrol etmek ve ahşabın tamponlama kapasitesini engellemek için asidik veya bazik katkı maddeleri kullanılır (Wang vd., 2010).

Yapıştırmaya Hazırlık ve Uygulama

Yapıştırma işleminden önce; viskozitenin ayarlanması (incelticiler,

katkı ve dolgu maddeleri ile), homojenizasyon (topaklanma ve hava kabarcıklarının önlenmesi için), sıcaklık ayarlanması ve karıştırma (katalizör ve sertleştiricilerin katılarak) işleminin yapılması gereklidir (Habernicht, 2008).

Yapıştırıcı viskozitesi; yapıştırıcının tipine, sıvının türüne ve miktarına, yapıştırıcı karışımının bekleme süresi ve sıcaklığa bağlıdır (Frihart ve Hunt, 2010). Viskozite, birleştirmeye basınç uygulandığında ıslatma, akma, penetrasyon ve özellikle yapıştırıcının ahşap yüzeylere transferini güçlü bir şekilde etkiler (Frihart ve Hunt, 2021). Uygulamadan sonra yapıştırıcı viskozitesi, çözücünün buharlaşması, sıcaklık değişimi, polimerizasyon veya yapıştırıcı bileşenlerinin hücre çeperlerine göçüne bağlı olarak değişecektir (Frihart ve Hunt, 2021). Yapıştırıcının viskozitesi veya yoğunlaşma derecesi çok düşükse, büyük bir kısmı ahşaba nüfuz ederek zayıf bir yapışma hattına neden olabilir dolayısıyla hiçbir bağlanma kuvveti oluşturulamaz (Dunky, 2002). Diğer yandan çok yüksek bir viskozitede, ahşap yüzeye hiç girmeden veya çok düşük bir penetrasyon oluşur ve dolayısıyla ahşap yüzeyde yeterli bir ıslanma olmayabilir. (Dunky, 2002) Gereken yapıştırıcı miktarı; ahşabın türüne, ahşabın yüzey kalitesine, rutubet oranına, yapıştırıcının türüne, havanın sıcaklığına ve bağlı nemine, montaj süresine ve yapıştırıcının bir veya her iki yüzeye uygulanmasına bağlı olacaktır (Frihart ve Hunt, 2021).

Yapıştırıcılar fırça, rulo veya el tabancası ile elle sürülebilir, ancak imalatla yapıştırıcılar merdane, ekstrüder, perde veya sprey gibi mekanik olarak uygulanır (Frihart ve Hunt, 2021).

Yapıştırıcıların yüzeye uygulama metoduna karar verilirken aşağıdaki kriterlerin göz önüne alınması gereklidir (Habernicht, 2008):

1. Yapıştırıcı türü (bir veya iki bileşenli, kap ömrü, bileşenleri karıştırma oranı, rutubet duyarlılığı, katkı ve dolgu maddeleri, ısı isteği).
2. Uygulanacak yapıştırıcı miktarı.
3. İstenen otomasyon seviyesi ve uygulama hızı.
4. Nokta, çizgi halinde veya yüzey alanına uygulama.
5. Yapıştırılacak yüzeyin formu.
6. Dozajlama miktarının doğruluğu.

Montaj, Presleme ve Şartlandırma

Ahşabın yapıştırılmasında ya sadece basınç veya sıcaklıkla birlikte basınç uygulanmakta olup, basıncın uygulamasının amaçları aşağıda verilmiş bulunmaktadır (Frihart ve Hunt, 2021)

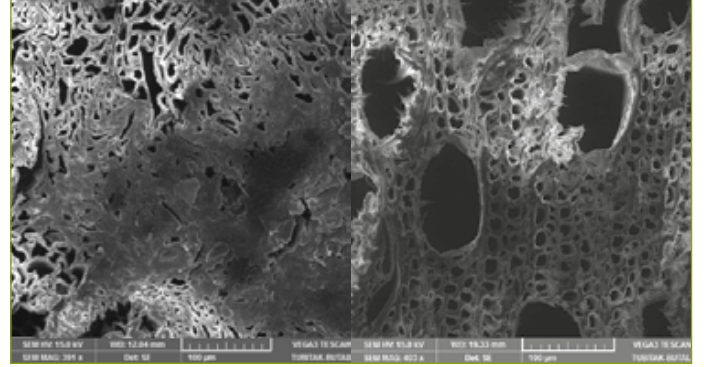
1. Birleştirmede sıkışan havayı dışarı çıkarmak.
2. Yapıştırıcıyı ahşap yüzeylerle moleküler temasa geçirmek.
3. Yapıştırıcıyı ahşap yapıda daha fazla alana ve yüzeyin altındaki zarar görmemiş hücrelerle temasa zorlamak.
4. Yapıştırıcıyı ince bir film haline getirmek.
5. Yapıştırıcı sertleşirken birleştirmeyi bir arada tutmak.

Basınç uygulanması, ahşap birleştirmenin yoğunluğunu artırır. Basınç uygulanmamış ve basınç uygulanarak yapıştırılmış melez kavak örneklerinin SEM görüntüsü Resim 5'de verilmiştir. Basıncın yüksek olması halinde düşük yoğunluklu ağaç türlerinde yapıştırıcı içeri, yüksek yoğunluklu türlerde ise dışarı hareket ederek yapışma hattında yeteri kadar yapıştırıcının bulunmamasına neden olur (Frihart ve Hunt, 2010). Sorun uygun basınç ve viskozite

kullanılarak çözülebilir. Düşük yoğunluklu ağaç türlerinde 0.7 N/mm² civarında, yüksek yoğunluklu türlerde ise 1.7 N/mm² kadar yüksek basınç kullanılabilir, ancak küçük ve iyi planyalanmış yüzeylerde daha düşük basınç uygulanabilir (Frihart ve Hunt, 2021).

Resim 5

Basınç uygulanmamış ve basınç uygulanarak yapıştırılmış melez kavak örneklerinin SEM görüntüsü



Pres süresinin hesaplanmasında yapıştırıcıların açık bekleme, kapalı bekleme süreleri de göz önüne alınmalıdır. Preslemeden önce çok fazla kuruyan veya sertleşen yapıştırıcılar, karşı yüzeye aktarılamaz veya yüzeyi ıslatmaz, bu da kalın ve zayıf yapışma hatlarına neden olur (Frihart ve Hunt, 2021)

Oda koşullarında sertleşebilen yapıştırıcılar için, yapıştırıcı sıcaklığına, kürlenme özelliklerine ve ahşabın penetrasyon özelliklerine bağlı olarak pres süresi birkaç dakika ile 24 saat arasında değişir (Frihart ve Hunt, 2021). Sıcak preslemede ise süre; pres plakalarının sıcaklığına, birleştirmenin kalınlığına, ahşap türüne ve yapıştırıcı formülasyonuna göre değişir (Frihart ve Hunt, 2010). Tutkalın sertleşme hızı; katalizörler ve/veya ısı kullanılarak artırılabilir (Suomi-Lindberg vd, 2002). Bu süreyi kısaltmak için ultraviyole ve yüksek (radyo) frekans kullanımı yaygındır.

Ahşap birleştirmelerde tutkal filmi çizgisinin yeni açılmış bir kurşun kalemin ucu ile çizilen çizgi kalınlığı (0,13 mm) kadar olması beklenir (Marra, 1992). Daha kalın veya ince yapıştırıcı çizgisi; genel olarak yapışan, basınç, yapıştırıcı, yüzey hazırlama ve sürme hatalarından dolayı oluşabilir. İnce çizgiler, rutubete bağlı boyut değişikliklerinden kaynaklanan gerilimleri etkin bir şekilde transfer edemezken kalın çizgilerin yapışma direnci daha azdır ve kolay kırılırlar (Frihart ve Hunt, 2021).

Basınç ve sıcaklık altında su bazlı yapıştırıcılarla ahşap birleştirmeden sonra rutubetin dengelenmesi için birleştirmenin 70 °C'de 24 saat, 50 °C'de 4 gün veya oda sıcaklığında en az 7 gün bekletilmesi ile şartlandırma sağlanabilir (Frihart ve Hunt, 2021). Bu işlemin zamanında yapılması daha sonra makinelerle işleme, boyutlandırma, yüzey işlemi vb. işlemlerin sorunsuz bir şekilde yapılmasını sağlar.

Sık Karşılaşılan Yapıştırma Hataları

Hazırlanan yapıştırıcı, yapıştırılacak malzeme veya uygulanan yapıştırma sürecinden kaynaklanan çeşitli yapıştırma hataları olabilmektedir. Çok sık karşılaşılan yapıştırma hataları aşağıda sıralanmıştır:

1. Ahşap kurutma kusurları nedeni ile yapıştırıcının yüzeyi ıslatmaması
2. Ahşabın ekstratif maddelerce zengin olması
3. Yapıştırımdan önce ahşap malzemelerin saklanma koşulları ve rutubetine dikkat edilmemesi
4. Ahşap malzemenin yüzeyinin uygun ve süresinde hazırlanması
5. Makinelerin hızlarının ve/veya kesicilerin yanlış seçimi ve zamanında değiştirilmemesi sonucu yapıştırılacak malzeme yüzeyindeki düzensizlikler
6. Yanlış yapıştırıcı seçimi
7. Yapıştırıcının kullanım/raf ömrünün geçmiş olması
8. Yapıştırmanın yapıldığı ortamın sıcaklığı ve bağıl neminin uygun olmaması
9. Açık/kapalı bekleme zamanına uyulmaması ve kürlenme için yeterli süre verilmemesi ve/veya şartların sağlanmaması
10. Pres süresi, sıcaklığı ve basıncın uygun ayarlanmaması
11. Süreç hataları (sıcaklık, yapıştırıcı viskozitesi, katı madde miktarının yanlış ayarlanması ve vb.)
12. Yapıştırıcı sürme ve/veya yayma alet ve makinelerindeki kusurlar

Ahşap Yapıştırıcıların Performans Testleri

Performansın tahmini, yapıştırıcıların test edilmesini, yapıştırılmış birleştirmelerin ve bağlantıların tasarımını içerir. Yapıştırıcıların testi; hizmet ömrü boyunca yapıştırıcıya ve yapıştırıcı hattının hangi tür mekanik, fiziksel, kimyasal ve biyolojik yüklerle karşılaşacağına dair tahminlere dayalı olarak yapılmaktadır (Van de Kuilen ve Cruz, 2002).

Yapıştırıcıların karakterize edilmesi için en yaygın kullanılan yöntemlerden bazıları aşağıda verilmiştir (Frihart ve Hunt, 2021).

1. Nükleer manyetik rezonans (NMR) spektroskopisi ve diğer spektroskopik teknikler; yapıştırıcı polimerlerin moleküler yapılarını karakterize edilmesi
2. Boyuta bağlı kromatografisi (SEC) olarak da bilinen jel geçirgenlik kromatografisi (GPC); moleküler boyut dağılımı
3. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) ve jel süreleri; kimyasal kürlenme reaksiyonlarının oranları
4. Dinamik mekanik analiz (DMA) ve örgü burkulma analizi (TBA); kürlenme ve kürlenmiş yapıştırıcıların reolojik özellikleri,
5. Gelişmiş kırılma mekaniği teknikleri; yapıştırıcı bağların tokluk ölçümü

Resim 6

Ahşabın mekanik özelliklerinin test edilmesi [eğilme direnci]



6. Taramalı elektron mikroskobu, transmisyon elektron mikroskobu ve atomik kuvvet mikroskobu dahil olmak üzere yüksek büyütme mikroskopları; ahşap ve yapıştırıcı yüzeyleri kırılmadan önce, sırasında ve sonrasında incelenmesi
7. Floresan ve konfokal mikroskoplar; ahşap ve yapıştırıcıyı ayırt etme yeteneklerinden dolayı yapıştırıcı dağılımı, yapıştırıcı penetrasyonu ve bağ kırılma yüzeylerinin incelenmesi

Ahşabın mekanik özelliklerinin test edilmesine örnek Resim 6'da verilmiştir. Aşağıdaki standartlar (Tablo 3) yapıştırıcıların sınıflandırılması ve performansını değerlendirmek için kullanılır.

Tablo 3

Yapıştırıcıların sınıflandırılması ve performansını değerlendirmek için kullanılan standartlar

Standard	Başlık
TS EN 204	Yapısal olmayan uygulamalar için termoplastik ahşap yapıştırıcıların sınıflandırılması
TS 3891/T1	Yapıştırıcılar- Polivinil asetat esaslı emülsiyon (ahşap malzeme için)
TSE K 409	Yapıştırıcılar - Poliüretan esaslı çift bileşenli (ahşap malzeme için)
TS EN 17619	Dış kullanım amaçlı yapısal olmayan ağaç ürünler için ahşap yapıştırıcıların sınıflandırılması
TS EN 12765	Yapısal olmayan uygulamalarda kullanılan termoset ahşap yapıştırıcıların sınıflandırılması
TS EN 205	Yapıştırıcılar - Yapısal olmayan uygulamalar için ahşap yapıştırıcılar - Bindirmeye yapıştırılmış eklerin çekmeyle kayma mukavemetinin tayini
TS EN 827	Yapıştırıcılar - Konvansiyonel katı ve sabit kütleli katı muhtevanın tayini
TS EN 16556	Yapısal olmayan uygulamalarda kullanılan termoplastik ahşap yapıştırıcılar için en uzun açık zaman tayini
TS EN 301	Yapıştırıcılar - Fenolik ve aminoplastik - Yük taşıyıcı ahşap yapılar için - Sınıflandırma ve performans özellikleri
TS EN 302-1	Yük taşıyıcı ahşap yapılar için yapıştırıcılar - Deney yöntemleri - Bölüm 1: Boyuna çekmede kayma dayanımının tayini
TS EN 302-2	Yük taşıyıcı ahşap yapılar için yapıştırıcılar - Deney yöntemleri - Bölüm 2: Katlara ayrılmaya direncin tayini
TS EN 302-3	Yük taşıyıcı ahşap yapılar için yapıştırıcılar - Deney yöntemleri - Bölüm 3: Sıcaklık ve nem çevrimiyle ahşap liflere asit tahribatının enine çekme dayanımı üzerine etkisinin tayini
TS EN 302-4	Yük taşıyıcı ahşap yapılar için yapıştırıcılar - Deney yöntemleri - Bölüm 4: Ahşap büzülmesinin kayma dayanımı üzerine etkisinin tayini
TS EN 302-5	Yük taşıyıcı ahşap yapılar için yapıştırıcılar - Deney yöntemleri - Bölüm 5: Referans şartlar altında en uzun temsil süresinin tayini
TS EN 302-6	Yük taşıyıcı yapı keresteleri için yapıştırıcılar - Deney yöntemleri - Bölüm 6: Geleneksel sıkıştırma süresinin tayini
TS EN 302-7	Yük taşıyıcı yapı keresteleri için yapıştırıcılar - Deney yöntemleri - Bölüm 7: Geleneksel işlev ömrünün tayini

TS EN 302-8	Yük taşıyıcı ahşap yapılar için yapıştırıcılar - Deney yöntemleri - Bölüm 8: Sıkıştırma kaymasında çoklu bağ numunelerinin statik yük deneyi
TS EN 15416-1	Yük taşıyan ahşap yapılar için fenolik ve aminoplastikler dışındaki yapıştırıcılar - Deney yöntemleri - Bölüm 1: Yapıştırma hattına dik olan numuneler ile değişken iklim koşullarında bağ hattına dik olan uzun dönem çekme yük deneyi
TS EN 15416-3:2017+A1	Fenolik ve aminoplastik dışındaki yük taşıyıcı ahşap yapılar için yapıştırıcılar - Test yöntemleri - Bölüm 3: Bükülme makasında yüklenen örnekler ile döngüsel iklim koşullarında sürünme deformasyon testi
TS EN 15416-4	Yük taşıyan ahşap yapılar için fenolik ve aminoplastikler dışındaki yapıştırıcılar - Deney yöntemleri - Bölüm 4: Referans koşullar altında açık birleştirme süresinin tayini
TS EN 15416-5	Yük taşıyan ahşap yapılar için fenolik ve aminoplastikler dışındaki yapıştırıcılar - Deney yöntemleri - Bölüm 5: Referans koşullar altında minimum sıkıştırma süresinin tayini
TS EN 15425	Yapıştırıcılar - Yük taşıyan ahşap yapılar için tek bileşenli poliüretan - Sınıflandırma ve performans özellikleri
TS EN 16254+A1	Yapıştırıcılar - Polimerize olmuş izosiyanat emülsiyonu (PIE) - Yüke maruz ahşap yapılar için - Sınıflandırma ve performans gerekleri
TS EN 17224	Yüksek sıcaklıklarda ahşap yapıştırıcıların basınç kesme mukavemetinin belirlenmesi
TS EN 14256	Yapısal olmayan ahşap uygulamalar için yapıştırıcılar - Durgun yüke dayanım için deney yöntemi ve gerekler
TS EN 14257	Yapıştırıcılar - Ahşap yapıştırıcıları - Bindirme bağlantılarının gerilme dayanımının yüksek sıcaklıkta tayini (WATT '91)
TS EN 14292	Yapıştırıcılar - Ahşap yapıştırıcıları - Artan sıcaklıkla statik yük direncinin tayini
TS ISO 6238	Yapıştırıcılar-Ahşap-Ahşap yapışma bağları-Basınç yüklemeye kesme mukavemetinin tayini

Uzun süreli (10-30 yıl) testler olmasına rağmen çoğu performans testi kısa sürelidir (Frihart ve Hunt, 2021). Bazı testler yapıştırılmış ürünlerin kaynar suda bekletilmesi gibi hızlandırılmış yaşlandırma testleri de içerir (Van de Kuilen ve Cruz, 2002).

Yapıştırıcıların ve yapıştırılmış ahşap ürünlerin kabulü şu anda esas olarak üç ana özelliğe, yani suya/rutubete karşı direnç, tutkal hatlarının katmanlara ayrılması ve belirli bir yükleme modunda direnç özellikleri örneğin kesme direnci, eğilme direnci veya tutkal hattına dik olan çekme direncine dayanmaktadır (Van de Kuilen ve Cruz, 2002; Frihart ve Hunt, 2010).

Yaygın olarak kullanılan ahşap yapıştırıcılarından herhangi biri ile iyi tasarlanmış ve iyi yapılmış birleştirmeler, ahşabın rutubet oranı yaklaşık %15'i geçmezse ve sıcaklık (bazı yapıştırıcılar, aralıklı veya sürekli olarak 38 °C'den yüksek sıcaklıklara uzun süre maruz kaldıklarında bozulur) normal oda koşullarında ise, direncini süresiz olarak koruyacaktır (Frihart ve Hunt, 2021).

Yapıştırılmış ahşap birleştirmelerin potansiyel performansını tahmin etmek için; direnç, ahşap hasarı ve katmanlara ayrılma (delaminasyon) yüzdesi kullanılır; burada önemli olan hususlar şunlardır (Frihart ve Hunt, 2021).

1. Yüzde ahşap hasarının yüksek olması, yapışma direncinin yüksek olduğunun göstergesidir.

2. Ayrılma yüzdesinin düşük olması denge rutubet değişimlerine karşı birleştirmenin iyi performansına işaret eder.
3. Aşırı çevresel koşullara maruz kaldıktan sonraki en yüksek performans seviyesi, iğne yapraklı ve yapraklı ahşap için; ahşap direncinden daha yüksek yapıştırma direnci veya ahşap hasar yüzdesinin %85 olmasıdır.

Aşağıdaki standartlar (Tablo 4) yapıştırılmış ahşap malzemelerin yapışma kalite kontrolleri için kullanılır.

Tablo 4

Ahşap malzemelerin yapışma kalite kontrolleri için kullanılan standartlar

Standard	Başlık
TS 3969 EN 314-1	Kontrplak kaplanmış-Yapışma kalitesi bölüm 1: Deney metotları
TS EN 314-2	Kontrplak- Yapışma kalitesi- Bölüm 2: Özellikler
TS EN 319	Yonga levhalar ve lif levhalar-Levha yüzeyine dik çekme dayanımının tayini
TS EN 15497	Kama dişli birleştirilmiş yapısal masif ahşap - Performans gerekleri ve asgari imalat gerekleri
TS EN 14080	Ahşap Yapılar -Tutkalı lamine kereste ve tutkalı masif ahşap-Özellikler
TS EN 13354	Masif ahşap levhalar (swp) - Yapışma kalitesi - Deney yöntemi

Aşağıdaki standartlar (Tablo 5) yapıştırılmış ahşap ürünlerin formaldehit salınım değerlerinin tespiti için kullanılır.

Tablo 5

Ahşap ürünlerin formaldehit salınım değerlerinin tespiti için kullanılan standartlar

TS EN 717-1	Ahşap esaslı levhalar - Formaldehit salınımının tayini - Bölüm 1: Oda metodu ile formaldehit yayılması
TS EN ISO 12460-3	Ahşap esaslı levhalar - Formaldehit salınımının belirlenmesi- Bölüm 3: Gaz analizi yöntemi
TS 4894 EN 120	Ahşap esaslı levhalar-Formaldehit miktarının tayini- Ekstraksiyon metodu ile ayırma

Yapıştırmada İş Sağlığı ve Güvenliği

Habernicht'e göre (2008) yapıştırma işleminde alınması gerekli önlemler;

1. Solvent buharlarının havadan daha ağır olduğu ve dolayısıyla çözücülerini çekmek için yerden de havalandırma yapılmalıdır.
2. Yangın söndürücüler bulundurulmalıdır. Solvent bazlı yapıştırıcılar için çözücüler su yüzeyinde "yüzdüğü" ve bu nedenle yangını daha da büyüttüğü için suyla söndürmeye çalışılmamalıdır.
3. Sadece gerektiği kadar reçine ve çözücü üretim alanında bulundurulmalıdır.
4. Çözücüler, yapıştırıcı artıkları, asitler, bazlar için etiketli kapalı kutular ve temizlik bezleri temin edilmelidir. Sertleşmemiş yapıştırıcılar tehlikeli atık olarak kabul edilir.
5. Çalışma ortamında; temizlik bezleri, koruyucu gözlükler, maskeler, cilt kremleri, göz ve vücut duşu ve emici kumlar hazır bulundurulmalıdır.
6. Acil durumda ulaşılabilir telefon numaraları görünür şekilde asılmalıdır.

7. Koruyucu giysiler giyilmeli, maske ve eldiven takılmalı ve göz-lük/siperlik kullanılmalıdır.
8. Herhangi bir kaza veya yapıştırıcının bulaşması durumunda yapılacaklar hakkında eğitim verilmelidir.
9. Atıkların geri dönüştürülmesinde gerekli önlemler alınmalıdır.
10. Yapıştırıcı ürünlerle birlikte, uygun taşıma yöntemi, koruyucu giysiler, bertaraf, sızıntı, ve yangınla mücadele prosedürleri hakkında tavsiyelerde bulunmak ve yaralanmaların ilk yardım ve yaralanmaların profesyonel tedavisi için rehberlik sağlamak için malzeme güvenlik veri sayfaları (MSDS) veya talimatları dikkate alınmalıdır.

Frihart ve Hunt (2021) ahşap yapıştırıcıların sağlık risklerini aşağıdaki gibi sıralamıştır:

1. Kirlenmiş yapıştırıcılar genellikle insan teması için güvenlidir. Kayda değer bir istisna, özellikle sıcak, rutubetli koşullar altında, yapıştırılmış ahşap ürünlerden düşük konsantrasyonlarda formaldehit gazı salabilen üre-formaldehit yapıştırıcılarıdır. Formaldehit vücudun proteinleriyle reaksiyona girerek göz, burun ve boğazda tahrişe ve iltihaplanmaya neden olabilir ve kanserojen olabilir. Daha düşük formaldehit emisyonlarını zorunlu kılan düzenlemeler tarafından yönlendirilen önemli araştırmalar, hem imalat işlemlerinde hem de yapıştırılmış ahşap ürünlerinde önemli ölçüde azaltılmış formaldehit emisyon seviyelerine sahip yeni yapıştırıcı formülasyonlarına yol açmıştır.
2. Yapıştırıcının güvenliğine ilişkin ayrıntılı bilgi mevcut değilse, kirlenmemiş yapıştırıcıların yüksek konsantrasyonlarda veya kronik maruziyette zararlı olabileceği varsayılmalıdır.
3. İzosiyanatlar mesleki astıma neden olabilen sensitizörlerdir. Ayrıca, güçlü alkali, mineral asitler ve su ile temas ettiğinde hızla polimerize olan oldukça reaktif kimyasallardır. Uygun şekilde kirlenen izosiyanat yapıştırıcılar, yapıştırılmış ahşap ürünlerde tehlikeli olarak kabul edilmez.
4. Termoplastik yapıştırıcılar genellikle düşük toksisiteye sahiptir, ancak eklenen çözücüler toksik olabilir. Konstrüksiyon ve kontak yapıştırıcıları, düşük parlama noktalarına sahip organik solventler içerir. Küçük, havalandırılmayan alanlarda kullanıldığında solvent havada birikebilir ve ateşlendiğinde patlamaya neden olabilir. Bazı yapıştırıcı üreticileri, klorlanmış solventlere dayalı daha az yanıcı formülasyonlar sunar. Bu yapıştırıcılardaki çözücüler genellikle toksiktir, ancak yeterli havalandırma sağlanarak ve üreticinin güvenlik talimatları izlenerek zararlı etkilerden kaçınılabilir.

Ahşap Yapıştırıcıların Geleceği

İç mimari, dekorasyon ve mobilya üretiminde kullanılan yapısal olmayan ürünlerle ilgili olarak, çevresel konular giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Källander, 2002). Gelecekte de, ahşabın yapıştırıcılarla yapıştırılması, yalnızca ormanların hammadde kaynağı olarak verimli kullanılması için değil, aynı zamanda ahşap ürünlerin verimli üretimi ve atık ahşabın geri dönüşümü için de önemli bir faktör olmaya devam edecektir (Conner, 2001). Yapıştırıcılar, üretim ve kullanım sırasındaki sağlık tehlikeleri ortadan kaldırılmadan kullanılırsa çevresel açıdan sağlıklı bir malzeme kabul edilen ahşap bu avantajını kaybedilebilir ve bunun yerine büyük bir dezavantaja dönüşebilir (Källander, 2002).

Ahşap yapıştırıcıların üretiminde ve geliştirilmesinde güncel/

gelecekteki konular ve ihtiyaçlar aşağıda sıralanmıştır. Bunlar ahşabın daha fazla, etkin ve farklı alanlarda kullanılmasının önünü açacak araştırma alanlarıdır.

1. Daha kısa üretim süreleri
2. Daha az veya yapıştırıcı kullanılmadan üretim yapılması
3. Özelliklerin (fiziksel, mekanik, yanma, bozunma, vb.) iyileştirilmesine katkı
4. Yenilenebilir doğal polimerlerin kullanımı (Dunky, 2021; Frihart, 2015)
5. Yaşam döngüsü değerlendirmesi, enerji ve hammadde dengeleri, geri dönüşüm ve yeniden kullanım (Frihart, 2015)
6. Zararlı (formaldehit ve diğer uçucu organik bileşikler) emisyonların azaltılması
7. Daha büyük boyutlu ve yapısal ürünlerde yapıştırıcıların yaygın olarak kullanılması
8. Farklı tür, kalite, malzeme ve modifiye /emprenye edilmiş yüzeylerin yapıştırılması
9. Formaldehit içermeyen yapıştırıcılar

2021 Yılında 6.93 milyar US\$ olan Küresel ahşap yapıştırıcı pazarının 2030 yılında 12.28 milyar US\$ geçeceği ve yıllık büyüme hızının %6.57 olacağı öngörülmektedir (Coherent Market Insights, 2023) unda en büyük payın; Asya Pasifik bölgesindeki konut sektörünün hızlı yükselişi, gelir durumunun artması ile birlikte iç mimari ve mobilya harcamalarındaki artış, hafif konstrüksiyona olan talebin artması, ahşap esaslı kompozitlerin (Coherent Market Insights, 2023) ve mühendislik ürünü ağaç malzemelerin kullanımındaki artışın olacağı ifade edilmektedir.

Ahşabın özellikleri ve yapıştırıcılar sayesinde günümüzde ahşap esaslı malzemelerin kullanıldığı gökdelenler yapılmış ve 2041 yılında Japonya'da 350 m yüksekliğinde, Dünyanın en uzun gökdeleninin yapılması planlanmaktadır (Council on Tall Buildings and Urban Habitat, 2024). Farklı bir kullanım alanında WISA firması tarafından ahşap esaslı kompozit (kontrplak) malzeme kullanılarak tasarlanan WISA Woodsat uydusunun 2024 fırlatılması planlanmaktadır (Nanosat Database, 2024).

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Declaration of Interests: The author declares that there are no competing interests

Kaynaklar

Anonim. (2001). Sekizinci beş yıllık kalkınma planı-Kimya sanayii özel ihtisas komisyonu raporu-Yapıştırıcılar alt komisyon raporu. Devlet Planlama Teşkilatı.

Anonim. (2004). Bonding/Adhesives Textbook, Educational Materials, The Association of European Adhesives Manufacturers FEICA Barmwater GmbH & Co., Düsseldorf.

Berglund, L. ve Rowell, R. M. (2005). "Wood composites." Handbook of wood chemistry and wood composites. Boca Raton, Fla.: CRC Press, pp: 279-301.

Baldwin, R. F. (1995). Plywood and Veneer Based Products: Manufac-

turing Practices, Miller Freeman, San Fransisco, pp: 387-388.

Bozkurt, A. Y., Erdin, N. (2011). Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı, 2. bs. İstanbul. İstanbul Üniversitesi Orman fakültesi. İstanbul Üniversitesi Yayınları No: 5029, Orman Fakültesi Yayınları No: 445.

Brockmann, W., Geiß, P. L., Klingen, J., & Schröder, K. B. (2008). Adhesive bonding: materials, applications and technology. John Wiley & Sons. [Crossref]

Coherent Market Insights (2023, Eylül). Wood adhesives market analysis. <https://www.coherentmarketinsights.com/market-insight/wood-adhesives-market-5016>

Conner, A. H. (2001). "Wood: adhesives." 9583-9599. Encyclopedia of materials: science and technology. Amsterdam; New York: Elsevier Science, Ltd. [Crossref]

Council on Tall Buildings and Urban Habitat. (2024, Haziran). W30 Tower. <https://www.skyscrapercenter.com/building/w350-tower/32377>

Dunky, M. (2002) "Introduction" 1.-3 In: Dunky, M., Pizzi, T., ve Van Leemput, M. (Ed.). "Wood Adhesion and Glued Products: Wood Adhesives." European Commission. [Crossref]

Dunky, M. (2003). "Adhesives in the wood industry." Handbook of adhesive technology" third edition, pp: 50. [Crossref]

Dunky, M. (2021). Wood Adhesives Based on Natural Resources: A Critical Review: Part IV. Special Topics. *Progress in Adhesion and Adhesives*, 6, 761-840. [Crossref]

Ebnesajjad, S., & Landrock, A. H. (2014). Adhesives technology handbook. William Andrew.

Eckelman, Carl A. (1999). Brief survey of wood adhesives. West Lafayette: Purdue University Cooperative Extension Service.

Frihart, C.R. (2005). Wood adhesion and adhesives. Handbook of wood chemistry and wood composites. Boca Raton, Fla. : CRC Press, pp. 215-278.

Frihart, Charles R., and Christopher G. Hunt. (2010) "Adhesives with wood materials: bond formation and performance." Wood handbook: wood as an engineering material: Chapter 10. Centennial ed. General technical report FPL; GTR-190. Madison, WI: US Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, p. 10.1-10.24.

Frihart, C., & Hunt, C. (2021). Wood adhesives: bond formation and performance. Chapter 10 in General technical report FPL-GTR-282, Madison, WI: US Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, p. 10.1-10.23.

Frihart, C. R. (2015). "Introduction to special issue: wood adhesives: past, present, and future." *Forest Products Journal* 65(1-2): 4-8. [Crossref]

Glare Honeycomb. (2024, Haziran). In Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Glare_honeycomb.jpg

Glulam. (2024, Haziran). In Wikimedia Commons. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Glulam.JPG?uselang=en#Licensing>

Habernicht, G. (2008). Applied adhesive bonding: a practical guide for flawless results. John Wiley & Sons. [Crossref]

Hunt, C. G., Frihart, C. R., Dunky, M., & Rohumaa, A. (2019). Understanding Wood Bonds-Going Beyond What Meets the Eye: A Critical Review. *Progress in Adhesion and Adhesives*, 4, 353-419. [Crossref]

Källander, B. (2002). "Introduction" 1.-6. In: Johanson, C-J., Pizzi, T., ve Van Leemput, M. (Ed.). "Wood Adhesion and Glued Products: Glued products." European Commission.

Marra, A. A. Technology of wood bonding: principles in practice. Van Nostrand Reinhold, 1992.

Metropol Parasol. (2024, Haziran). In Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Metropol_Parasol.JPG

Nanosats Database (2024, Haziran). Wisa Nanosatellite. <https://www.nanosats.eu/sat/wisa-woodsats>

Pizzi, A. 2005. "Wood adhesives-basics" 603-606. In Handbook of Adhesion, D.E. Packham (Ed.).

Raval, D. K., Narola, B. N., & Patel, A. J. (2005). Synthesis, characterization and composites from resorcinol-urea-formaldehyde-casein resin. *Iranian Polymer Journal*, 63:9, 775-784.

River, B. H., Vick, C. B., & Gillespie, R. H. (1991). "Wood as an adherend". In Minford, J. D. Treatise on adhesion and adhesives. Vol. 7. Marcel Dekker

Scheikl, M., Wälinder, M., Pichelin, F., ve Dunky, M. (2002). "Bonding process" 87-95. In: Dunky, M., Pizzi, T., ve Van Leemput, M. (Ed.). "Wood Adhesion and Glued Products: Wood Adhesives." European Commission.

Serrano, E., ve Källander, B. (2005). "Building and construction-timber" 328-356. Adams, R. D. (Ed.). Adhesive bonding: science, technology and applications. *Woodhead Publishing*. [Crossref]

Suomi-Lindberg, L., Pulkkinen, P. ve Nussbaum, R. (2002). "Influence of the Wood Component on the Bonding Process and the Properties of Wood Products" 118-140. In: Dunky, M., Pizzi, T., ve Van Leemput, M. (Ed.). "Wood Adhesion and Glued Products: Wood Adhesives." European Commission.

Tioga Bridge. (2024, Haziran). In Wikimedia Commons. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tioga_Bridge_\(48905621692\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tioga_Bridge_(48905621692).jpg)

Türk Dil Kurumu. (2024, Haziran). Türk Dil Kurumu Sözlükleri, Türk Dil Kurumu. <https://sozluk.gov.tr>

Van de Kuilen, J-W.G. ve Cruz, H. (2002). "Test Methods and Prediction of Performance" 150-155. In: Dunky, M., Pizzi, T., ve Van Leemput, M. (Ed.). "Wood Adhesion and Glued Products: Wood Adhesives." European Commission.

Wang, X., Huang, Z., Cooper, P., Wang, X. M., Zhang, Y., & Casilla, R. (2010). The ability of wood to buffer highly acidic and alkaline adhesives. *Wood and Fiber Science*, 398-405.

BÖLÜM 11

AHŞAP ESASLI KOMPOZİTLER

Turgay AKBULUT
Nadir AYRILMIŞ
Zeki CANDAN

Ahşap Esaslı Kompozitler

Wood-Based Composites

BÖLÜM HAKKINDA

Ahşap bazlı kompozitler lif, yonga, kıymık, kaplama veya kereste dahil olmak üzere çeşitli ahşap elemanlardan yapılabilir. Kompozit teknolojileri, ahşabın doğal mukavemet özelliklerini güçlü yapıştırıcılar kullanıp, modern mühendislik ve üretim teknolojileri ile birleştirerek yeni yapı malzemelerinin üretilmesini sağlamıştır. Masif ahşabın özellikleri türler arasında, aynı türden ağaçlar arasında ve aynı ağacın kısımları arasında bile değişebilmektedir. Buna karşılık, uygun hammadde seçip, uygun işlem parametreleri kullanılarak yüksek dirençli, büyük boyutlu, hafif, kolay yanmayan, kolay cürümeyen, düzgün yüzeyli, kolay işlenebilen, farklı formlarda, rutubetten az etkilenen ve homojen özelliklere sahip kompozit malzemeler elde edilebilmektedir.

Ahşap esaslı kompozitlerin geliştirilmesi son 100 yılda ahşabın kullanımında çok büyük bir devrim yapmıştır. Ahşap kompozitlerin geliştirilmesiyle mobilya-dekorasyondan bina-köprü yapımına kadar iç ve dış mekanlarda yapısal ve yapısal olmayan birçok uygulamada ahşap malzeme kullanılır hale gelmiştir.

Anahtar kelimeler: Ahşap kompozitler, yongalevha, liflevha, kontrplak, ahşap polimer kompozitleri

ABOUT the CHAPTER

Wood-based composites can be made from a variety of wood elements, including fibre, chips, splinters, veneer or timber. Composite technologies have enabled the production of new building materials by combining the natural strength properties of wood with modern engineering and manufacturing technologies using strong adhesives. The properties of solid wood can vary between species, between trees of the same species and even between parts of the same tree. On the other hand, by selecting the appropriate raw material and using the appropriate process parameters, composite materials with high resistance, large size, light weight, not easily burning, not easily rotting, smooth surface, easy processing, different forms, less affected by moisture and homogeneous properties can be obtained.

The development of wood-based composites has revolutionised the use of wood in the last 100 years. With the development of wood composites, wood materials have been used in many structural and non-structural applications in indoor and outdoor areas from furniture-decoration to building-bridge construction.

Keywords: Wood composites, particleboard, fibreboard, plywood, wood polymer composites

Giriş

Kompozit, bir matris tarafından fiziksel olarak bir arada tutulan iki veya daha fazla eleman olarak tanımlanabilir. Bu tanıma göre "masif ahşap" dediğimiz malzeme de doğal bir kompozittir. Masif ahşap, bir lignin matrisi tarafından bir arada tutulan esas itibarıyla polimerik yapıdaki selüloz ve hemiselüloz zincirleri ile amorf yapıdaki ligninden oluşan üç boyutlu bir kompozittir.

Ahşap kompozitler, odun liflerinin birbirlerine doğal veya sentetik bağlayıcılarla yapıştırılmasıyla elde edilen malzemelerden kerestelerin birbirine yapıştırılmasıyla elde edilenlere kadar çok çeşitli malzemeleri tanımlamak için kullanılmaktadır. Ahşap esaslı kompozitlerin geliştirilmesi son 100 yılda ahşabın kullanımında çok büyük bir devrim yapmıştır. Ahşap kompozitlerin geliştirilmesiyle mobilya-dekorasyondan bina-köprü yapımına kadar iç ve dış mekanlarda yapısal ve yapısal olmayan birçok uygulamada ahşap malzeme kullanılır hale gelmiştir.

Ahşap kompozitleri geliştirmenin avantajları şunlardır: (1) daha küçük çap ve boydaki nispeten düşük kalitedeki ağaç malzemeleri kullanmak, (2) diğer odun işleyen endüstrilerin atıklarını değerlendirmek, (3) odun kusurlarını ve kusurların etkisini gidermek, (4) daha üniform yapıda malzemeler üretmek, (5) masif ahşaptan daha mukavemetli/daha büyük boyutlu ve düzgün yüzeyli malzemeler üretmek ve (6) farklı biçimlerde kompozitler yapabilmek.



CC BY 4.0: Telif hakkı yazarlardadır. Bu kitabın içeriği Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası lisans altında lisanslanmıştır.



Turgay Akbulut

Nadir Ayrılmış

Zeki Candan

Istanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman
Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği,
Odun Mekaniği ve Teknolojisi Ana Bilim Dalı,
İstanbul, Türkiye
E-posta: takbulut@iuc.edu.tr
nadiray@iuc.edu.tr
zekic@iuc.edu.tr

Bu bölümü alıntıla / Cite this chapter as:
Akbulut, T. Ayrılmış, N. Candan, Z. (2024).
Ahşap Esaslı Kompozitler. T. Akbulut (Ed.),
Ahşap: Doğal ve yenilenebilir mühendislik
malzemesi içinde (s. 200-228) İstanbul: İÜC
Üniversite Yayınevi

Tarihsel olarak, ahşap yalnızca masif formda büyük boyutlu ahşap yapı malzemesi veya kereste olarak kullanılmıştır. Büyük çaplı ağaçların miktarı azaldıkça ve fiyatı arttıkça, ahşap endüstrisi büyük boyutlu masif ahşap yapı malzemesinin yerini alacak malzemeler geliştirmenin yollarını aramaya başlamıştır. Bu kapsamda, orman bakımı sırasında ortaya çıkan ince çaplı odun hammadde-sine rasyonel bir kullanım yeri arayışları, hızlı gelişen ağaç türü odunlarının *(bunlarda genelde genç odun miktarı fazla ve direnç düşüktür)* normal odunun kullanılabileceği alanlarda değerlendirilmesine yönelik çabalar da kompozitlerin geliştirilmesinde önemli rol oynamıştır.

Ahşap bazlı kompozitler lif, yonga, kıymık, kaplama veya kereste dahil olmak üzere çeşitli ahşap elemanlardan yapılabilir. Kompozit teknolojileri, ahşabın doğal mukavemet özelliklerini güçlü yapıştırıcılar kullanıp, modern mühendislik ve üretim teknolojileri ile birleştirerek yeni yapı malzemelerinin üretilmesini sağlamıştır. Masif ahşabın özellikleri türler arasında, aynı türden ağaçlar arasında ve aynı ağacın kısımları arasında bile değişebilmektedir. Buna karşılık, uygun hammadde seçip, uygun işlem parametreleri kullanılarak yüksek dirençli, büyük boyutlu, hafif, kolay yanmayan, kolay çürümeyen, düzgün yüzeyli, kolay işlenebilen, farklı formlarda, rutubetten az etkilenen ve homojen özelliklere sahip kompozit malzemeler elde edilebilmektedir.

Kompoziti oluşturan parçaların boyutları küçüldükçe, kusurları (budaklar, yarıklar, çatlaklar vb.) ortadan kaldırmak veya malzeme özellikleri üzerindeki etkilerini azaltmak mümkün olabilmektedir. Kusurlu bir odun hammaddeyi kaplama, yonga, lif gibi elemanlara dönüştürülüp, bu elemanlardan herhangi bir ahşap kompozit üretilince kusurların etkisi azaltılmış olur.

Ahşap bazlı kompozitleri farklı kriterlere göre sınıflandırmak mümkündür. Sınıflandırmada genel olarak kompoziti oluşturan ahşap elemanın boyutu ve geometrisi (lif, yonga, kaplama, kereste vb.) veya nihai ürünün kullanım yeri esas alınmaktadır. Ahşap esaslı kompozitleri sınıflandırmanın bir başka yolu da fonksiyona göre sınıflandırmadır, yani yapısal (bina bileşenleri) ve yapısal olmayan (mobilya ve dekorasyon) sınıflandırma. Bu bölümde ticari olarak üretilen ve ülkemizde yaygın olarak kullanılan başlıca ahşap bazlı kompozitler dikkate alınmıştır (Şekil 11.1). Buna ilave olarak son ürünün en az %50'sini odun lifi veya tozunun, diğer kısmını ise polimerlerin (daha çok termoplastik) oluşturduğu ahşap-polimer kompozitleri ile ahşap nano kompozitler de ayrı bir sınıf olarak değerlendirilmiştir.

Kereste ve Kaplama Esaslı Kompozitler

- Kontrplak
- Kontrtabla
- LVL (Lamine kaplama kereste)
- CLT (Çapraz lamine kereste)
- Tutkalı lamine kereste (Glulam)
- PSL, OSL, LSL
- Sandviç panel

Yonga esaslı kompozitler

- Normal (standart) yongalevha
- OSB (yönlendirilmiş yongalevha)
- Çimentolu yongalevha

- Okal tip (ekstrude) yongalevha
- Kalıplanmış yongalevha
- Etiket/şerit yongalı levha

Lif esaslı kompozitler

Yaş ve kuru yöntemle üretilen levhalar ayrı ayrı sınıflandırılmakla birlikte her ikisini kabaca aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz. Detaylı bilgi ilgili kısımda yer almaktadır.

- Düşük Yoğunlukta Liflevha (İzolasyon tipi liflevha) (LDF)
- Orta Yoğunlukta Liflevha (MDF)
- Yüksek Yoğunlukta Liflevha (Sert liflevha) (HDF)

Ahşap-polimer kompozitleri

Bu ürünler çok çeşitli nihai ürün olarak üretilbildiği gibi levha şeklinde de üretilmekte olup, burada çoğunlukla odun unu bazen de odun liflerinin polietilen (PE), polipropilen (PP) ve polivinil klorür (PVC) gibi termoplastiklerle karıştırılarak üretim yapılmaktadır.

Ahşap nanokompozitler

Ahşap nanomalzemeler oldukça yeni bir ahşap kompozit sınıfıdır. Ahşap nanokompozitler, nano ölçekte selüloz lifleri (nanokristal/nanofibril) veya ahşap parçacıkların çeşitli reçine veya termoplastik gibi maddelerle birleştirilmesinden üretilen malzemelerdir.

Şekil 1

Ahşap esaslı kompozitlerden örnekler



Açıklama notu. Wood handbook Wood as an engineering material. Forest Products Laboratory | United States Department of Agriculture, Forest Service, General Technical Report FPL-GTR-282, 2021 kaynağından alınmıştır.

Ahşap kompozitler içerisinde yongalevha, liflevha ve kontrplak gibi malzemeler *ahşap-esaslı levhalar/paneller* olarak isimlendirilmektedir. Bunlar hem yapısal amaçlarla hem de mobilya-dekorasyon vb. amaçlarla kullanılabilir. TS EN 13986:2004+A1: "Yapıda kullanım için ahşap esaslı paneller - Özellikler, uygunluğun değerlendirilmesi ve işaretleme" standardı, ahşap-esaslı tüm levhaların yapıda kullanılan tipleri ile ilgili özellikleri ve bu özellikleri belirlemek için uygun test yöntemlerini belirtmiştir.

Kereste ve Kaplama Esaslı Kompozitler

Kaplama

Kaplama; ağaçtan soyularak, kesilerek veya biçilerek elde edilen ve lif yönü yüzeye paralel olan, maksimum 7 mm kalınlığında olan ince levhadır.

1) Kesme kaplama

Tomruk veya prizmalardan kesme suretiyle elde edilen güzel görünüşlü ve pahalı kaplamalardır (Şekil 2). Bunların elde edileceği ağaç türleri doğada çok miktarda bulunmamaktadır. Yongalevha ve MDF gibi levhaların yüzeyleri kesme ve eksantrik soyma yöntemleriyle üretilen kaplamalarla kaplanarak mobilya üretiminde kullanılır. Üretimde yatay kaplama kesme makineleri ile düşey kaplama kesme makineleri kullanılır (Şekil 3 ve 4).

Şekil 2

Ahşap kaplama



Açıklama notu. <https://www.columbiaforestproducts.com/product/hardwood-veneer> kaynağından alınmıştır.

Şekil 3

Yatay kaplama kesme işlemi



a) Radyal (frize) kaplama

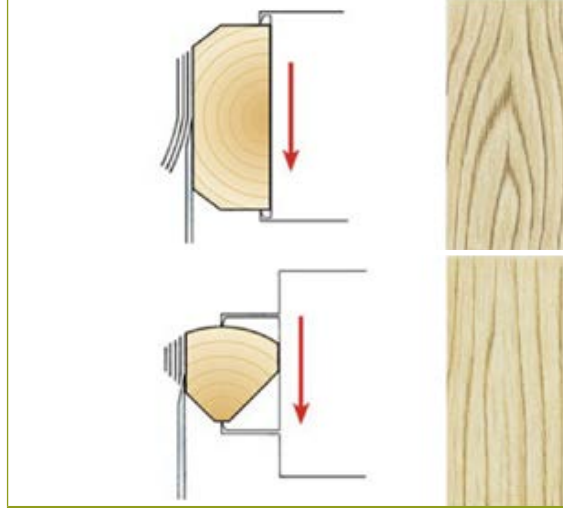
Ağaç prizmanın radyal yönde kesilmesi ile yıllık halkaları yaklaşık olarak birbirine paralel görüntüde olan kaplamaya denilmektedir.

b) Teğet (hareli) kaplama

Ağaç prizmanın yıllık halkalara teğet yönde kesilmesi veya biçilmesi ile elde edilen, yıllık halkaları iç içe geçmiş parabol şeklinde görünen kaplamaya denilmektedir.

Şekil 4

Yarım ve çeyrek tomruklardan düşey kaplama kesme işlemi



Açıklama notu. <https://shadbolt.co.uk> kaynağından alınmıştır.

Paket: Kesme kaplamalar, desenleri birbirini tamamlayacak biçimde, üretim sırasına göre, çift sayıda olmak üzere (en çok 32 adet) üst üste yerleştirilerek paketlenir.

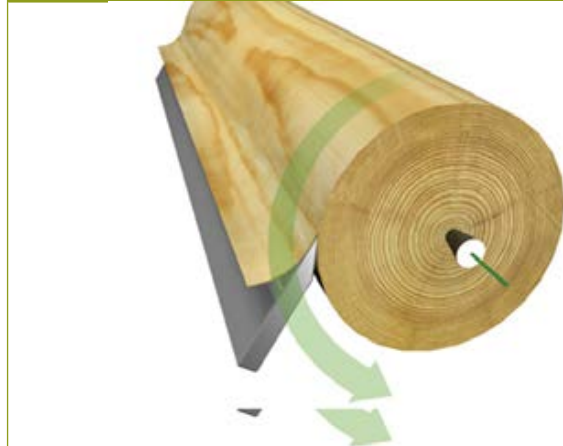
Bilya: Aynı tomruk veya prizmadan elde edilen ve bir araya getirilen kesme kaplama paketlerinin tamamına piyasada "bilya" denilmektedir.

2) Soyma kaplama

Günümüzde üretilen kaplamaların %85-95'i soyma yöntemiyle elde edilmektedir. Çoğunlukla 0.5-3.2 mm kalınlıklarda üretim yapılmaktadır. Yuvarlak soymada (Şekil 5) sonsuz bir bant halinde her iki yüzü düzgün kaplama elde edilip çoğunlukla kontrplak, LVL, kontrtabla ve ambalaj malzemelerinin üretiminde değerlendirilirken, eksantrik soymada kesme kaplamaların kullanım yerlerinde değerlendirilmek üzere tomruğun boyuna ve çapına göre farklı büyüklüklerde güzel desenler elde edilmesi hedeflenir.

Şekil 5

Yuvarlak soyma kaplama işlemi



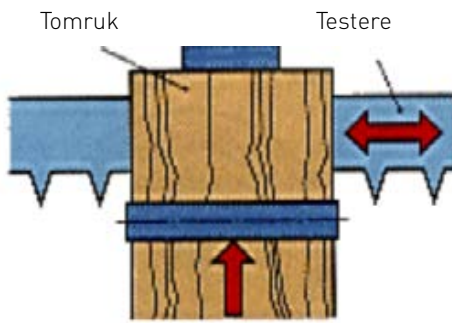
Açıklama notu. <https://puuproffa.fi/?lang=en> kaynağından alınmıştır.

3) Biçme kaplama

En eski yöntemdir. Elde edilen kaplamalar daha kalitelidir. Kaplama levhalarında çatlama yoktur. Talaş kaybı nedeniyle verim düşüktür. Daha yüksek verimle çalışan kesme ve soyma yöntemi geliştirildikten sonra bu yöntem önemini kaybetmiştir. Günümüzde çok yüksek kalitenin arandığı mobilya ve müzik aletlerinin üretiminde kullanılır. Kaplama katrağı ve kaplama daire testere makinesi kullanılır (Şekil 6). Levhalarda çatlama ve strüktür bozulması olmaz. Biçme kaplamalar doğal yöntemle kurutulmalıdır.

Şekil 6

Biçme kaplama üretimi



Açıklama notu. <http://www.metz-furniere.de/indexg.html> kaynağından alınmıştır.

4) Diğer Yöntemler

Piyasada *İtalyan kaplama* veya *Alpi kaplama* olarak bilinen kaplama, genellikle doğada bol miktarda bulunan homojen bir yapıya sahip olan ağaçlardan soyma veya kesme yöntemleriyle üretilerek, renklendirildikten sonra, arzu edilen figüre göre üst üste konarak preslenmekte ve sonra elde edilen prizmadan boy, genişlik, desen ve kalınlıkları aynı olan kaplamalar kesme yoluyla elde edilmektedir (Şekil 7). Bir diğer yöntem de *radyal soyma* yöntemidir.

Şekil 7

Alpi kaplama örnekleri



Açıklama notu. <https://www.alpikaplama.com/products/urunler.html> kaynağından alınmıştır.

Burada işlem kurşun kalemin soyulmasına benzer. Kaplamaların ortası delik olup genelde yuvarlak masa yüzey kaplanmasında ve süsleme işlerinde kullanılmaktadır.

Kontırplak

Kontırplak levhalar; tabakalarının lif doğrultuları birbirine dik ve en az 3 tabakadan oluşacak şekilde üst üste yapıştırılmış, orta tabaka veya özün her iki tarafında yer alan tabakaları birbirine simetrik olan ahşap kaplama esaslı levhalar olarak tanımlanmaktadır. TS EN 313-2 standardında kontırplak, birbiri üzerine genellikle lif yönü dik olacak şekilde yapıştırılmış katmanlardan oluşan ahşap esaslı levha olarak tanımlanmaktadır.

Tüm tabakalar ahşap kaplamalardan oluşabileceği gibi iç kısımlarda masif çıta vb. malzemeler de kullanılabilir. Özel kullanım amaçları için ahşap dışı malzemeler de katmanlarda kullanılabilir. EN 313-1 standardında kontırplaklar yapıları bakımından üç gruba ayrılmaktadır:

a) Kaplama Kontırplak (Tüm tabakaları ahşap soyma kaplamalardan yapılmış, standart/normal kontırplak (Şekil 8))

b) Ahşap özlü kontırplak (Orta tabakası ahşap çıtalardan yüzeyleri ise ahşap kaplama ile kaplanmış kontırplaklar, kontırtaba ve lamin-board (Şekil 9))

c) Karışık kontırplak (Orta tabakası veya belli tabakaları ahşap çıta veya soyma kaplama dışında kauçuk gibi başka malzemelerden yapılmış kontırplak (Şekil 10))

Şekil 8

Kaplama kontırplak



Açıklama notu. <https://www.columbiaforestproducts.com/product/hardwood-veneer> kaynağından alınmıştır.

Şekil 9

Kontırtaba



Açıklama notu. <https://homepillars.com> kaynağından alınmıştır.

Şekil 10
Karışık Kontrplak



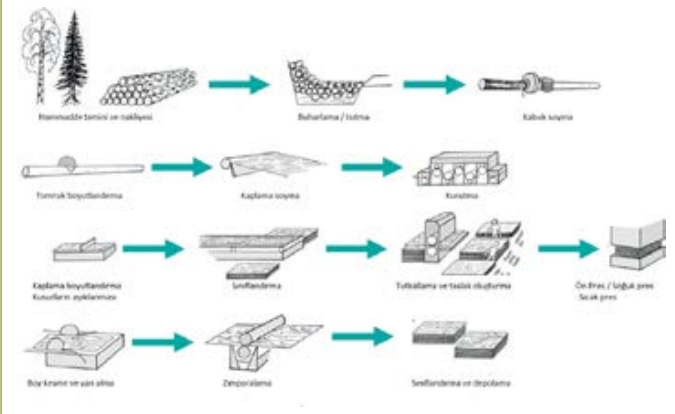
Açıklama notu. <https://www.nauticexpo.com/boat-manufacturer/plywood-panel-28739.html> kaynağından alınmıştır.

Kontrplaklar, iğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçlardan üretilebileceği gibi ikisinin birlikte kullanılmasıyla da üretilebilir. Kontrplaklar, levha boyutlarında rutubet kaynaklı değişimlere karşı yüksek boyutsal stabilite sağlamak için geliştirilmiştir. Farklı yapıştırıcılar kullanılarak çeşitli kullanım ortamlarına uygun ürünler yapılabilir. İstenirse yüzey tabakalarında dekoratif kaplamalar kullanılarak estetik amaçlarla kullanılabilen ürünler üretilebilmektedir.

Kontrplak Üretimi

Kontrplak üretiminin temel aşamaları Şekil 11’de şematik olarak verilmiş bulunmaktadır.

Şekil 11
Kontrplak levha üretiminde iş akışı



Açıklama notu. Hughes M, Ansell MP (2015). Plywood and other veneer-based products. In M. Ansell (Ed.), Wood Composites (pp. 69-89). [Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering]. Woodhead Publishing kaynağından uyarlanmıştır.

Kontrplakların Özellikleri ve Kullanım Yerleri

Kontrplaklar TS EN 635-1, 2 ve 3 standartlarına göre yüzey görünüşleri bakımından beş sınıfa ayrılırlar. En iyi sınıf “E” sınıfı olup, hemen hemen kusursuzdur. Dikkate alınan kusurlar şunlardır: budaklar, çatlaklar, böcek delikleri, kabuk ve reçine keseleri, çürüklük, kaplama birleşme yerleri, onarımlar ve kenar kusurları.

Kontrplak levhaları genel olarak 1.5 mm ile 40 mm kalınlıklarda üretilmekte olup, yaygın levha boyutları 2440mm × 1220mm, 2500mm × 1250mm’dir. Genel olarak konstrüksiyon amacıyla

kullanılan kontrplak levhaların yoğunlukları 400 kg/m³ ile 700 kg/m³ arasında değişir. Gerek boyutlar açısından gerekse yoğunluk açısından özel nitelikli levhalar üretmek mümkündür.

Kontrplak levhaların fiziksel-mekanik özellikleri, işlenme özellikleri, formaldehit emisyonu, çürüme ve yangına dayanıklılık ile yapışma dayanımı kullanılan ağaç türü, tutkal ve üretim parametrelerine bağlıdır. Levha yüzeyleri kullanım yerinin isteklerine göre istenirse çeşitli yüzey kaplama malzemeleriyle (*folye, reçine emdirilmiş kâğıt, pvc, laminat vb.*) kaplanabilmektedir. Kaplama malzemeleri hem dekoratif bir görünüm hem de koruma sağlamaktadır. Kontrplak levhalarının yüzeyleri katı yüzey kaplama malzemelerinin dışında toz boyalar ile de kaplanabilmektedir. Buna dönük hem bilimsel hem de sanayi çalışmaları bulunmaktadır (Akkuş vd. 2019; Akkuş vd. 2022). Son yıllarda kontrplak levhalar ve diğer ahşap esaslı kompozitlerin performans özelliklerinin geliştirilmesi için nanoteknoloji uygulamaları da yapılmaktadır. Çeşitli özelliklere sahip nanomalzemeler (nanoselüloz, nanolignin, nanoSiO₂, nanoZnO, nanoAl₂O₃, nanoTiO₂, nanoclay vb.) çeşitli tutkalların ve kompozit levhaların üretiminde değerlendirilmektedir (Candan 2012; Candan ve Akbulut, 2013; Candan ve Akbulut, 2014; Candan ve Akbulut, 2015; Candan vd. 2016; Yıldırım 2019; Yıldırım ve Candan, 2021; Yıldırım vd. 2021; Yıldırım vd. 2022; Yıldırım vd. 2024).

Kontrplaklarda katlar arasında lif yönlerinin birbirine dik olması sebebiyle rutubetten dolayı boyut değişimi yongalevha ve MDF’ye göre çok düşüktür. Tipik olarak, rutubet miktarında %1’lik bir değişiklik, kontrplağın uzunluğunu ve genişliğini metre başına yaklaşık 0,15 mm artırır veya azaltır, bu değişik kalınlıkta ise %0.3-0.4 kadardır. Bu rakamlar kullanılan tutkala, ağaç türüne ve kontrplağın yapısına göre değişeceğinden sadece kılavuz olarak alınmalıdır (Panelguide, 2018).

TS EN 636: 2012+A1 standardına göre kontrplaklar **kuru ortam, nemli ortam ve dış ortam** olmak üzere üç kullanım sınıfına ayrılmaktadır. Bu standartta yapışma kalitesi/direnci, dayanıklılık, eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerine atıf yapılmıştır. Mukavemet sınıflandırması ise diğer özelliklerden bağımsız olarak yüzey kaplamasının lif yönüne sırasıyla paralel ve dik yönde elde edilen *iki eğilme direnci (F)* ve *iki eğilmede elastikiyet modülü (E)* değerlerine göre yapılmaktadır. Örneğin, bu değerlere göre bir direnç sınıfı belirlenir ve şöyle ifade edilir, *F10/20 E30/40*

Eğilme direnci boyuna/enine,	Eğilmede elastikiyet modülü boyuna / enine
<i>F 10 / 20</i>	<i>E 30 / 40</i>

Bu standartlarda kontrplak levhalar formaldehit emisyonu bakımından E1 ve E2 sınıfı olmak üzere iki kısma ayrılmakta olup, TS EN 636’’ya göre kontrplakların sahip olması gereken özellikler (Tablo 1) verilmiştir.

Tüm ahşap esaslı malzemelerde olduğu gibi, kontrplağın mukavemeti ve elastikiyeti rutubet miktarına göre değişir. Yapısal tasarımlarda *TS EN 1995-1-1 [Eurocode 5]*’de verilmiş olan modifikasyon faktörleri dikkate alınarak hesaplamalar yapılır. Yapısal tasarımlarda kullanılacak karakteristik değerler ise TS EN 12369-2: “Ahşap esaslı levhalar- *Yapısal tasarım için karakteristik değerler-Kısım 2: Kontrplak*” standardında yer almaktadır.

Tablo 1

TS EN 636'ya Göre Kontrplakların Sahip Olması Gereken Özellikler

Özellik		Standart	TS EN 636'a göre kontrplak tipi		
			Kuru ortam	Nemli ortam	Dış ortam
Boyut toleransları		TS EN 315	✓	✓	✓
Yapışma kalitesi		TS EN 314-2	Yapışma sınıfı 1	Yapışma sınıfı 2	Yapışma sınıfı 3
Mekanik özellikler	Yapısal » Karakteristik değer » Eğilme direnci	TS EN 636/TS EN310/ TS EN 12369-2 veya TS EN 789/TS EN 1058	✓	✓	✓
	Yapısal olmayan Eğilme direnci	TS EN 310	✓	✓	✓
Formaldehit emisyonu	Bina	TS EN 13986	E1 - E2	E1-E2	E1-E2
	Bina harici	TS EN 636/TS EN 717-1/ TS EN 717-2	E1- E2	E1-E2	E1 -E2

Açıklama notu. Panelguide, 2018, The Wood Panel Industries Federation. Version 4.1, TRADA Technology Ltd, and the National Panel Products Division, UK kaynağından alınmıştır.

Kontrplağın Kullanım Yerleri

- Yapı – inşaat endüstrisi: Döşeme altı, merdiven basamakları, raf sistemleri, duvar/zemin kaplama, çatı, I-kirisi, mutfak tezgâhı
- Malzeme aktarımı: Palet, sıvı tankları, sandık, raf sistemleri, kablo makarası
- Ulaştırma: Kamyon, tır dorsesi, kamyonet & minibüs, vagon, karavan yapımı
- Ziraat – tarım: Konteynır, çiftlik yapıları, hayvan barınağı, çeşitli zirai ekipmanlar
- Sanayi ürünleri: Mobilya, kapı, sabit eşyalar, vitrin, dolap, uyarı tabelaları, kablo makarası, kanal & boru, çalışma tezgâhları, depolama üniteleri, kitaplık, tekne
- Beton kalıbı
- Kendin yap (DIY) (APA, 2022b)

Esnek kontrplak, hafif kontrplak, kaymaz kaplamalı kontrplak, kurşun geçirmez kontrplak gibi özel kullanım amaçlarına yönelik kontrplaklar yapılabilmektedir. Kontrtabla daha ucuz bir malzeme olup, kullanımı doğrama, kapı dolgu malzemesi, bir kısım mobilya vb. iç uygulamalarla sınırlıdır.

Marin Kontrplak

Doğal dayanıklılığa sahip ağaç türlerinden elde edilmiş soyma kaplamaların dış hava şartlarına dayanıklı bir tutkal ile yapıştırılmasıyla üretilen kontrplaktır. Deniz taşıtlarının imalatında ve diğer deniz ve su yolu uygulamalarında kullanılmak üzere üretilmektedirler. Bu tanımlama İngiltere BS 1088, Avusturalya AS/NZS 2272 ve Hindistan IS 710 standartlarında yer almaktadır. Doğal dayanıklılığa sahip ağaç türlerinden üretilmiş ve TS EN 636: 2012+A1 standardına göre "dış ortam" tipi olarak nitelendirilen kontrplaklar, marin kontrplak olarak değerlendirilebilir.

LVL (Laminated Veneer Lumber)

Lifleri birbirine paralel olacak şekilde üst üste preslenen soyma kaplamaların eğme veya bükme mobilyalarda kullanılması mümkündür. Formaldehit esaslı reçineler ilaveten PVA, poliüretan ve epoksi yapıştırıcıları da kullanılabilir. Genellikle kavis

verilerek mobilyada kullanılacağı için kalıp preslerde bükülme özelliği iyi olan kayın gibi ağaç türleri tercih edilmektedir.

Soyma kaplama levhalardan yapısal amaçlı üretilen bir diğer malzeme ise LVL'dir (Şekil 12).

TS EN 14279+A1 (2010): "Soyma tabakalı lamine kereste (LVL) - Tarifler, sınıflandırma ve özellikler" standardında LVL; lif yönleri aynı yönde olan ahşap kaplama levhalarından elde edilen kompozit bir ürün olarak tanımlanmaktadır. EN 14374 (2016): "Ahşap yapılar - Soyma tabakalı yapısal lamine kereste (LVL) - Gereklere" standardında göre LVL'nin kat sayısı en az 5 olmalı, kaplama kalınlıkları ise 6 mm'yi geçmemelidir.

Şekil 12

LVL'nin yapısı



Açıklama notu. Canadian Wood Council. (2022). Innovative applications of engineered Wood, pp. 24. Ontario, Canada; <https://www.sodra.com/en/global/kaynagindan-alinmistir>.

LVL levhalar katlı presler ile üretililebileceği gibi modern sürekli pres sistemleri ile de üretilmektedir. Aşağıdaki şekilde LVL sürekli presi (continuous press) görülmektedir (Şekil 13).

TS EN 14279+A1 (2010) standardına göre LVL paneller kullanım yerine göre üç teknik sınıfa ayrılmaktadır. Bu standartta formaldehit emisyonu ise E1 ve E2 sınıfı olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır.

LVL/1: Kuru ortamlarda kullanılan levhalar

Şekil 13

Sürekli pres ile LVL levhaların üretimi



Açıklama notu. <https://dieffenbacher.com/en> kaynağından alınmıştır.

LVL/2: Rutubetli ortamlarda kullanılan levhalar

LVL/3: Ekstrem şartlarda kullanılan levhalar (Dış hava şartları)

TS EN 14279+A1 [2010] standardına göre, kalite kontrol için genel amaçlı kullanıma uygun LVL ürünlerinin sahip olması gereken özellikler (Tablo 2)'de verilmiştir. Yapısal amaçlı uygulamalar için mekanik özelliklere ait karakteristik değerler TS EN 1058 standardına göre belirlenir.

Tablo 2

LVL Kompozitlerin Bütün Tipleri İçin Gerekli Özellikler (TS EN 14279)

Özellik	Test Metodu	Gereklilik
Boyutlardaki Toleranslar	EN 324-1	EN 315
Kenar Düzgünlüğü Toleransı	EN 324-2	≤ 1.5 mm/m
Gönyeden Sapma Toleransı	EN 324-2	≤ 2.0 mm/m
Rutubet Miktarı	EN 322	%6 – %12
LVL İçinde Ortalama Yoğunluk Toleransı	EN 323	$\pm$ %10
Eğilme Direnci	EN 310	Mevcut taslak, yoğunluk, kaplama kalınlığı ve kaplama sınıfı ile ilgili ürünün başlangıç testinde belirlenen değer 5. persentili
Eğilmede Elastikiyet Modülü	EN 310	
Yapışma Kalitesi	EN 314-1 (Ek A ile bağlantılı olarak)	EN 314-2'e uygun olarak makaslama direnci ve ahşap lif kopma oranı
Kaplama Sınıfı (Sert ahşap) (Yumuşak ahşap)	EN 635-5	EN 635-2 görünüş sınıfı EN 635-3 görünüş sınıfı

Diğer yandan EN 14374 (2016) standardı, yapısal uygulamalar için LVL' nin sahip olması gereken özellikler ile kullanılacak testler, uygunluk değerlendirmesini gerçekleştirme yöntemleri ve ürün işaretlemesi hakkında bilgi vermektedir.

Tutkallı Lamine Kereste (Glulam)

Yapıda kullanılan ve üretiminde 25.4 mm ile 50.8 mm arasındaki kalınlıklarda kereste kullanılan malzemedir. Yapıştırılmış tabakalı ahşap yapı elemanı, yapıştırılmış kereste, yapıştırılmış lamine ahşap yapı elemanı olarak da isimlendirilmektedir (Şekil 14).

Şekil 14

Tutkallı lamine kerestenin yapısı



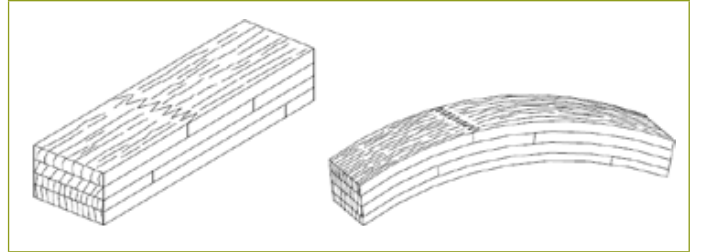
Açıklama notu. https://www.binderholz.com/fileadmin/user_upload/books/en/glulam_glt_ceiling_elements/files/assets/common/downloads/Glulam%20GLT%20ceiling%20elements.pdf kaynağından alınmıştır.

Diğer bir ifadeyle yapıştırılmış lamine ahşap yapı elemanları; iki veya daha çok kerestenin lifleri birbirine ve sonuçta elde edilecek elemanın uzunluk eksenine paralel gelecek şekilde, basınç altında yapıştırılmasıyla elde edilen bir ahşap yapı elemanıdır.

TS EN 14080 (2013) standardında tutkallı lamine kereste nihai kalınlığı 6 mm'den 45 mm'ye kadar olan, bir veya yanyana iki ahşap parçadan oluşan en az 2 tabakanın birbirleriyle paralel olacak şekilde yapıştırılarak bir araya getirilmesiyle üretilen yapısal ahşap kompozit malzeme olarak tanımlanmaktadır (Şekil 15). Karaçam, sarıçam, göknar ve ladin gibi ağaç cinsleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Düz veya kavisli üretilir.

Şekil 15

Tutkallı lamine kereste



Yapıştırılmış lamine ürünlerde kullanılan tutkallar, EN 1995-1-1 standardında belirtilen gerekli kullanım sınıfları için yapılarda hayat boyunca dayanıklı bir yapışmayı sağlamalıdır. TS EN 14080 (2013) standardına göre aşağıda belirtilen tutkallar kullanılabilir:

- Fenolik ve aminoplastik tutkallar (MF, MU, PR, UF)
- Tek komponentli poliüretan tutkallar (PUR)
- Emülsiyon polimer izosiyanat tutkalları (EPI)

Tutkallı lamine kereste veya yapıştırılmış masif ahşap ürünlerde formaldehit sınıfı E1 ve E2 olarak belirlenmiştir. E1 Sınıfı için maksimum emisyon değeri ≤ 0.124 mg HCHO/m³ hava olmalıdır.

Bundan büyük değerler ise E2 olarak sınıflandırılmaktadır. İlgili analiz EN 717-1 standardına göre yapılmaktadır. Yine aynı standardta tutkallı lamine kerestenin yanmaya karşı göstermiş olduğu dirence göre sınıflandırması yapılmaktadır.

Laminasyonun Avantajları

- Daha büyük boyutlu ürünler elde edilebilir.
- Mimaride istenilen formda çalışma imkânı sağlar.
- Üretiminde kullanılan parçalar daha kolay kurutulur.
- Yüke bağlı olarak farklı kesitlerde üretilebilir.
- Düşük dirençli ahşap kullanımına imkân sağlar.
- Çok küçük boyutlardaki ahşap (min. 20 cm) kullanılabilir, fire azalır. Kusurlar arındırılmaktadır.
- Her katta farklı kalınlık ve renkte ahşap kullanılabilir.
- Üretildiği masif ahşap malzemeye göre daha az çalışır.

Laminasyonda Dezavantajlı Hususlar

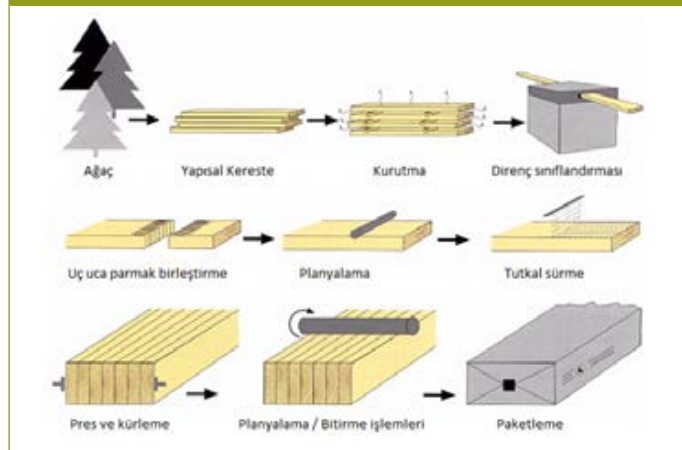
- Tutkallama, ek bir işçilik gerektirmektedir.
- Lamine malzemenin direnci en boy birleştirmede kullanılan tutkala bağlıdır. Yüksek dayanımlı tutkallar da ek bir maliyet getirmektedir.
- Özel ekipmanlar ve kalifiye işçi ihtiyacı vardır.
- Yüksek kalite için bütün aşamalarda özen gerekir.
- Büyük boyutlu kavisli taşıyıcı elemanın nakliyesinde bir takım güçlükler ortaya çıkabilmektedir.

LVL ve Tutkallı Lamine Kereste Üretim İşlemi

Tutkallı lamine kereste ve LVL üretimi birbirine çok benzemektedir. Temel farklılık LVL üretiminde yaklaşık 3 mm kalınlığında soyma kaplamalar kullanılırken, Tutkallı lamine kereste üretiminde yapısal kerestelerin kullanılmasıdır. Tutkallı lamine kereste iş akışı Şekil 16'da verilmiştir.

Şekil 16

Tutkallı lamine kereste üretiminde iş akışı



Açıklama notu. <https://glulambeams.co.uk/about-glulam/what-is-glulam> kaynağından uyarlanmıştır.

Ahşap Malzeme Seçimi

Lamine taşıyıcı elemanlarda yüksek mekanik direnç aranır. Seçilecek ahşap türünün reçine ve ekstraktif oranının fazla olması, tutkal bağ direncini azaltır. Bükülebilme özelliği, özellikle kavisli elemanlarda aranır. Yapraklı ağaçlar, İYA'a göre daha iyi bükülebilir.

Mobilya üretiminde küçük boyutlu kavisli laminasyonlarda en çok kayın değerlendirilir. Ahşap elemanın direnci, büyük oranda masif ahşap ya da kaplamaların elde edildiği odunun özelliklerine bağlıdır. Kusurlarından temizlenmiş (lif kıvrıklığı, çatlak, budak, çürük, reaksiyon odunu) masif ahşap malzeme ve kaplamaların kullanılması tavsiye edilmektedir.

Tutkallama İçin Malzemenin Hazırlanması

Kerestelerin yüzeyleri düzgün ve pürüzsüz olmalı, kusurlar kesilip atıldıktan sonra boy birleştirmeleri yapılarak tutkallanacak hale getirilmelidir. Tutkallama öncesi kereste yüzeyi temizlenmeli ve fazla beklemeden tutkallama işlemi yapılmalıdır. Yüzeyler hazırlandıktan 48 saat içinde tutkallama işlemi yapılmalıdır. Eğer ahşap malzemeye herhangi bir emprenye işlemi uygulanmış ise 12 saat içinde yapıştırma işlemi gerçekleştirilmelidir. Tutkallama yapılan yer oda sıcaklığında olmalıdır.

Ahşap Malzemenin Kurutulması ve Direnç Sınıflaması

Keresteler, tutkallama öncesi üretilecek tutkallı lamine kerestenin kullanım yerine göre aşağıda belirtilen (Tablo 3) rutubetlere kadar homojen bir şekilde kurutulmalıdır.

Tablo 3

Tutkallı Lamine Kerestenin Kullanım Yerine Göre Tutkallanacak Kerestelerin Rutubet Miktarları

Her tarafı açık yapılar	%18 ±6
Yalnız üstü kapalı yapılar	%15 ±3
Kalorifersiz kapalı yapılar	%12 ±3
Kaloriferli kapalı yapılar	%9 ±3

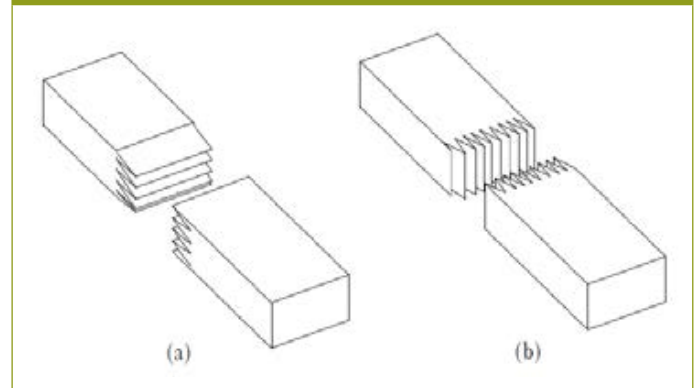
Kurutmadan sonra kerestelerin makine ile direnç sınıflandırması yapılmaktadır. Burada yoğunluk, budak, lif kıvrıklığı, çatlak vb. kusurlara göre keresteler direnç sınıfına ayrılırlar.

Parçaların Birleştirilmesi

Keresteler, yaklaşık 28 mm boyunda parmak dişli birleştirme (finger-joint) ile tutkal yardımıyla uç uca eklenir. Kullanım yerine göre yatay veya dikey parmak birleştirme yapılabilir (Şekil 17). Birleştirmeden sonra planyadan geçirilerek yüzeyleri tutkallama için hazır hale getirilir.

Şekil 17

Parmak birleştirme tipleri: a) Yatay b) Dikey



Tutkallama

Büyük yüzeylerin tutkallamasında püskürtme veya akıtma makineleri kullanılırken, küçük yüzeylere basit bir fırça veya silindir ile tutkal sürülebilmektedir. Yüzeylerinden yapıştırılan tahtaların her iki yüzünün de ayrı ayrı tutkallaması gerekmektedir. Tutkallamada yeterli tutkalın sürülmesi ve homojen bir şekilde dağılımının sağlanması son derece önemlidir.

Pres/Kürleme ve Bitirme İşlemleri

Tutkallı ve birleştirilmiş keresteler üst üste konulurken birleşim yerleri aynı hizada olmamalıdır. Çekme zonunda kullanılan kerestelerin daha iyi kalitede olması istenmektedir. Genellikle oda sıcaklığında sertleşen tutkallar kullanılır. İyi bir yapışma için basınç miktarı ve presleme süresi son derece önemlidir. Bu konuda tutkal üreticisi firmaların tavsiyesine uyulmalıdır.

Kerestelerin yoğunluğu arttıkça daha fazla basınç gerekir (0.7-1.4 N/mm²). Gerekli basınç genellikle mekanik, hidrolik veya pnömatik olarak çalışan işkenceler ile sağlanır. Oda sıcaklığında sertleşen tutkallar için sertleşme süresi tutkal türüne göre 5-24 saat arasındadır. RF ısıtma sistemiyle sıcakta sertleşen tutkallar 105-150°C'de 3-5 dakikada sertleşebilmektedir. İşkenceler açıldıktan sonra tutkalın iyice kürlenmesi için, tutkal türüne göre 3-7 gün bekletilir.

Bekleme işlemini müteakip, son kesimler yapılır, delikler delinir, bağlayıcılar monte edilir, istenirse yüzey işlemleri yapılabilir. Montaj yapıncaya kadar rutubet ve diğer zararlı etkenlerden korumak için uygun malzemeler ile ambalajlanır.

Tutkallı Lamine Kereste Uygulama Alanları

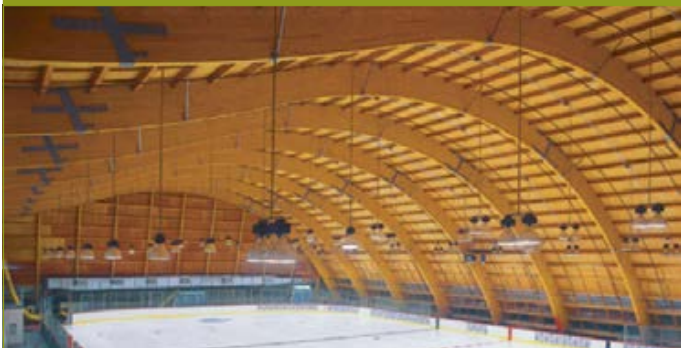
Yapıştırılmış ahşap yapı elemanları düz ya da bükülmüş tipte olabilir. Bükülmüş kemer kirişlerde dayanak açıklığı 150 m'den fazla olabilmektedir. Düz kirişlerde ise 30 m'den fazla dayanak açıklığı kullanılabilir. Kirişlerin yüksekliği 2 m'yi aşabilmektedir.

Yüzme havuzları, tenis sahaları, hipodromlar, jimnastik salonları ve buz hokeyi gibi spor tesislerinin örtülmesi ve yapımında kullanılır (Şekil 18).

Teşhir ve gösteri salonları, fabrika binaları, tarımsal ve endüstri

Şekil 18

Yapımında Tutkallı Lamine Kereste kullanılan bir buz hokeyi merkezi (ABD)



Açıklama notu. APA & The Engineered Wood Association (2017) kaynağından alınmıştır.

malzemelerinin saklandığı depo ve hangarlar, kimyasal madde üreten fabrika binaları, çeşitli amaçlar için kullanılan salonların geniş alanlarının kapatılması amacı ile kullanılmaktadır. Ayrıca köprü yapımı, yüksek voltajlı enerji taşıyan direk yapımı, gemi kısımları, okul, çocuk yuvaları, ibadethane ve konutların yapımında kullanılmaktadır (Şekil 19).

Şekil 19

Yapımında tutkallı lamine kereste kullanılan bir köprü (İsveç)



Açıklama notu. <https://www.europeanwood.org.cn/green-wood-construction/building-technology> kaynağından alınmıştır.

CLT (Cross-Laminated Timber)

CLT, en az üç tane yapıştırılmış masif ahşap malzeme (Solid-Sawn Lumber) veya Structural Composite Lumber (SCL: LVL, LSL, OSL) tabakalarının tutkallanıp birbirlerine çapraz olacak şekilde üst üste preslenmesi suretiyle elde edilen, dikdörtgen şekilli, düz formatta ve çatı/zemin/duvar uygulamalarına yönelik geliştirilen bir mühendislik ürünü ahşap kompozit malzeme olarak tanımlanmaktadır. (Şekil 20). Bu mühendislik ürünü ahşap malzemelerin Avrupa'da üretimi ve tasarımı 25 yılı aşkın bir süredir yapılırken, Kuzey Amerika'daki kullanımı nispeten yeni olup yaklaşık 10 yıldır (Karacabeyli ve Douglas, 2013).

Şekil 20

Beş tabakalı bir CLT levhanın enine kesit görüntüsü



Açıklama notu. Karacabeyli E, Douglas B, 2013, CLT Handbook: Cross-Laminated Timber. FPIInnovations, QC, Canada kaynağından alınmıştır.

Ek bir CLT levha, aşağıdaki görsellerde (Şekil 21) sunulmuştur.

CLT panellerin üretiminde belirli yoğunluğa sahip ahşap türlerinin kullanımı ve belirli şartları sağlayabilen tutkalların kullanılması gerekmektedir. Bu tutkalların dış ortam koşullarına, suya ve ısıya karşı dayanıklı olması, kritik bir husustur. Genellikle birkaç tip tutkal CLT üretiminde başarıyla kullanılmaktadır. Bunlar;

Şekil 21
CLT levha



Acıklama notu. https://www.binderholz.com/fileadmin/user_upload/books/en/glulam_glt_ceiling_elements/files/assets/common/downloads/Glulam%20GLT%20ceiling%20Elements.pdf kaynağından alınmıştır.

- Fenolik reçineler (fenol-rezorsinol formaldehit PRF)
- Emülsiyon polimer izosiyanat (EPI)
- Tek-komponentli poliüretan (PUR)

PRF tutkalı iyi bilinen bir tutkaldır ve Kuzey Amerika'da Tutkallı lamine kereste üretiminde kullanılmaktadır. EPI tutkalı ise ahşap I-kirişlerde ve laminasyonda kullanılır. PUR tutkalı genellikle Avrupa'da CLT üretiminde kullanılmaktadır. Bunlardan PRF koyu kahverengi renkte iken, EPI ve PUR açık renklidir. PUR, herhangi bir solvent veya formaldehit ilavesi yapılmadan üretilmekte olup, rutubete duyarlıdır. EPI tutkalı da formaldehit-free bir yapıştırıcıdır. Kimyasal reaksiyonlardan dolayı PUR sertleşme esnasında hafif bir şekilde köpürmektedir. Her bir tutkalın fiyatı, çalışma özelliği ve performans özelliği farklıdır. Bu bağlamda malzeme üretiminde çok sayıda kriter göz önüne alınmaktadır.

CLT panellerin üretiminde boyutsal toleranslar bulunmaktadır. ANSI standardına göre kalınlığı 20 inç/508 mm veya daha ince olmalıdır. Burada üretim ve lojistik parametreleri göz önüne alınmaktadır. CLT paneller üretildikten sonra çeşitli mukavemet ve görsel sınıflandırmalara tabi tutulmaktadır.

CLT üretimi genel olarak 9 adımdan oluşmaktadır. Bunlar:

1. Ahşap malzeme seçimi
2. Sınıflandırma
3. Planyalama
4. Boy kesme
5. Tutkallama
6. CLT panel taslak hazırlama (panel lay-up)
7. Presleme (Assembly pressing)
8. Kalite kontrol, işleme ve kesme
9. Ürün işaretleme, paketlenme ve sevkiyat

Yukarıda bahse konu her ana işlem adımı, kendi içinde alt adımları içerebilir. 1 numaralı adımda rutubet miktarının ölçülmesi, kalite kontrol ve gözlem yapılır. Üçüncü adımda malzemenin 4 tarafı da silinir. Başarılı bir CLT panel üretiminin anahtarı; ahşap malzeme

kalitesi ve tutkal kalitesine etki eden parametrelerin kontrolündeki sürekliliktir. Bazı Avrupalı CLT panel üreticileri "kompozit CLT" olarak adlandırılan bir ürün üretmektedirler. Burada ahşap kompozitler veya OSB, kontrplak, LVL gibi mühendislik ürünü ahşap kompozitler CLT panellerin yüzeylerine yapıştırılır. CLT üretiminde kullanılan çoğu tutkal, ahşap malzemelerin yüzeylerinin düzgün planyalanmasını istemektedir. Böylece kaliteli bir yapışma sağlanabilmektedir. Diğer bir yandan, CLT üretiminde kullanılan malzemelerin rutubet miktarı değerleri de önem arz etmektedir. Genellikle ahşap malzemenin rutubetinin 12 ± 3 olması önerilmektedir. CLT panel içinde kullanılan ahşap malzemelerin rutubet değerleri de birbirlerine yakın değerde olmalıdır. Aksi halde stabil bir malzemenin üretilmesi veya kullanımı zorlaşmaktadır. Bu noktada parçalar arasındaki rutubet farkı maksimum %5 olmalıdır. Ahşap malzemenin sıcaklığı da üretimi ve kaliteyi etkilemektedir. Burada CLT panellerin üretildiği yerin ortam sıcaklığı 15 °C olması tavsiye edilmektedir. CLT panel üretiminde tutkallama işleminde proses hızı genellikle 18 – 60 m/dk. olarak uygulanmaktadır. CLT üreticileri ekstra maliyet olduğu için ahşap malzemelere genellikle kenar tutkallaması yapmamaktadır. Maliyet ve iyileştirilmiş ürün performansı arasında bir tercih yapılacaktır. CLT panellerin taslak hazırlanması genel olarak kontrplak levhalarının üretimine benzemektedir. CLT üretiminde presleme aşaması kritik bir öneme haizdir. Genel olarak 2 tip pres kullanılmaktadır. Bunlar:

- Vakum presler
- Hidrolik presler

Vakum presler teorik olarak maksimum 0.1 N/mm² değerinde bir basınç üretir. Rijit hidrolik presler, vakum preslere göre daha yüksek bir dikey ve yan basınç uygularlar. Ana tabakadaki masif ahşap parçaları arasındaki oluşması muhtemel boşlukları minimize etmek için dikey basınç uygulamasıyla birlikte 0.3-0.6 N/mm² arasında bir yan basınç uygulaması önerilmektedir. Bazı dikey presler, birden fazla CLT panelinin eş zamanlı olarak preslenmesine imkân vermektedir. Bu noktada presler 6 N/mm² kadar yüksek bir basınç uygulayabilmektedir.

Presleme süresi genel olarak tutkal tipine göre 10 dakikadan birkaç saate kadar değişkenlik arz etmektedir. Genelde, ticari PRF en uzun pres zamanı gerektirmektedir. Bunu PUR ve EPI izlemektedir. Bunu kısaltmak için radyo frekans (RF) sistemine sahip pres teknolojileri kullanılmaktadır. Böylece CLT panellerin performansında bir kayba mahal vermeden pres süresi 15 dk.'ya kadar düşürülebilmektedir. Bunun yanında hedeflenen tutkal tüketim miktarında %30'un üzerinde bir azalma ortaya çıkabilmektedir. CLT levhalar üretildikten sonra çeşitli kalite testlerine tabi tutulmaktadır. Bunlar eğilme direnci, elastikiyet modülü, yapışma direnci (delaminasyon direnci). Bunun yanında görsel kalite değerlendirmeleri de yapılabilmektedir (Karacabeyli ve Douglas, 2013).

CLT ile ilgili tanımlamalar, sınıflandırmalar ve özellikler TS EN 16351:2021 "Ahşap yapılar – Çapraz tabakalanmış ahşap levha – Gereklilikler" standardından detaylı olarak verilmiştir.

PSL (Parallel Strand Lumber)

PSL; dilimlere ayrılmış ahşap kaplamaların tutkallanması sonrasında ekstrüde edilerek yaklaşık 25 metreye kadar uzunlukta elde

edilen kompozit malzemelerdir. Nihai olarak elde edilen bu malzeme arzu edilen standart uzunluklarda kesilmek suretiyle kiriş, direk (post) ve çatı makası gibi yerlerde kullanılabilir.

PSL kompozitlerin üretiminde, yüksek kalitede ahşap kaplama levhaları kullanılmaktadır (Şekil 22). Bu kaplama levhaları ise küçük çaplı ağaçlardan soyularak elde edilmektedir. Bunlar ise suya dayanıklı, termoset bir reçine (genel olarak fenol-rezorsinol formaldehit) ile tutkalanarak bir araya getirilmektedir. Tutkal oranı yaklaşık %4-6'dır. Kürlenme mikrodalga ile sağlanmaktadır. Mikrodalga enerjisi geleneksel preslerdeki kürlenmeden daha hızlı bir kürlenme elde edilmesini sağlar (Canadian Wood Council, 2022; Shi ve Walker, 2006). Şekil 22'de bir PSL kompozit görülmektedir.

Şekil 22
PSL (Parallel Strand Lumber)



Açıklama notu. [https://cwc.ca/en/how-to-build-with-wood/wood-products/structural-composite/parallel-strand-lumber/kaynağından alınmıştır](https://cwc.ca/en/how-to-build-with-wood/wood-products/structural-composite/parallel-strand-lumber/kaynağından%20alınmıştır).

Kontrplak ve LVL üretim prosesindeki ortaya çıkan soyma kaplama artıkları, PSL üretiminde hammadde olarak kullanılabilir. Kuzey Amerika'da Douglas göknarı, Güney çamları, kavak, Tsuga türleri öne çıkmaktadır. PSL üretiminde genel olarak 6 mm den ince kaplamalar kullanılmaktadır. Kaplama levhalar, kalınlığın yaklaşık 150 katı olacak şekilde uzunluklara kesilmektedir. Elde edilen kaplama şeritlerinin genişlikleri ise 18 mm'den küçüktür (Shi ve Walker, 2006).

Sürekli pres (continuous press) teknolojisinde PSL üretiminde teknik olarak uzunluk sınırı yoktur. Ama depolama/taşıma gibi nedenlerle 20 metre uzunluk, 280 x 480 mm'ye kadar enine kesit söz konusu olabilmektedir. Elde edilen malzemeler nihai ürüne göre yeniden boyutlandırılmaktadır (Shi ve Walker, 2006).

PSL ana eksen yönünde oldukça mukavemetlidir. Direnç değerleri masif ahşap malzemeden daha üstündür. İlave direnç, masif ahşaba kıyasla yoğunluktaki %10 artışla ilgilidir. PSL kompozitlerini oluşturan kaplama parçalarının üstü üste gelmesi oldukça fazladır. Bu nedenle makaslama mukavemeti çekme mukavemetine göre daha yüksektir (Shi ve Walker, 2006).

OSL (Oriented Strand Lumber)

OSL, dar-uzun ahşap parçalarından elde edilmektedir. OSL için ahşap element geometrisi, uzunluk-kalınlık oranının yaklaşık olarak 75 olması ile oluşmaktadır (Şekil 23). Elde edilen ahşap

unsurlarının tutkallanmasının ardından yönlendirilir ve büyük bir taslak halinde serilir ve preslenir. OSL, direktten mimari uygulamalara kadar çok çeşitli kullanım yerine sahip bulunmaktadır.

Şekil 23
OSL



Açıklama notu. [https://cwc.ca/en/how-to-build-with-wood/wood-products/structural-composite/oriented-strand-lumber/kaynağından alınmıştır](https://cwc.ca/en/how-to-build-with-wood/wood-products/structural-composite/oriented-strand-lumber/kaynağından%20alınmıştır).

OSL kompozitler yüksek direnç, elastikiyet ve boyutsal stabiliteye sahip bulunmaktadır. Üretiminde küçük ağaçların da kullanımına izin verdiği için orman kaynaklarının sürdürülebilir kullanımına imkân vermektedir. Konut, ticari ve endüstriyel konstrüksiyonlarda kullanılmaktadır. OSL kompozitleri ayrıca iyi bir bağlantı elemanı tutma mukavemeti sunmaktadır. OSL ve PSL üretiminde kullanılan ahşap hammadde benzer özelliklere sahiptir. OSL görünüş olarak, OSB'yi andırmaktadır. İkisinde de benzer niteliklere sahip ahşap türleri kullanılmaktadır. Buna rağmen, OSL'de ahşap elementlerin yönü, malzemenin uzun eksenine paraleldir. Masif ahşapta/kerestede bulunan doğal kusurlar (budak, lif kıvrıklığı, yarıklar vb.), OSL'de bulunmamaktadır. OSL, tescilli bir malzeme değildir, bu nedenle her bir üreticinin ürettiği ürünlerin boyutları ve spesifik mühendislik özellikleri birbirine benzemez. Bu bağlamda diğer malzemelerde olan genel üretim standartları ve genel tasarım değerleri OSL için söz konusu olmamaktadır (Canadian Wood Council, 2022).

LSL (Laminated Strand Lumber)

PSL ve OSL kompozitlere benzer şekilde LSL'ler dar-uzun ahşap parçalarından elde edilmektedir (Şekil 24). LSL için ahşap element geometrisi, uzunluk-kalınlık oranının yaklaşık olarak 150 olması ile oluşmaktadır. Hammadde tutkallanır ve yönlendirilir. Elde edilen büyük boyutlu taslak, presleme işlemine tabi tutulur. LSL, OSL'ye benzer şekilde taşıyıcı direklerden mimari/yapısal uygulamalara kadar çok çeşitli kullanım yerinde değerlendirilmektedir (APA & The Engineered Wood Association 2022a).

LSL, yapısal kompozit ürünlerin (SCL) en son geliştirilenleri arasındadır. LSL, üstün mukavemet ve rijidite ile gelişmiş boyutsal stabiliteye sahip bulunmaktadır. LSL üretiminde de ince çaplı ağaçlar kullanılabilir. Bu da hem doğal kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlamakta hem de üretimde verimliliği yüksek seviyelere çıkarmaktadır. LSL kompozitler Titrek kavak ve diğer kavak türleri gibi hızlı büyüyen ağaç türlerinden elde edilmektedir. LSL kompozitler hem mesken yapımında hem de ticari-sanayi yapıların bünyesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. LSL

Şekil 24
LSL



Açıklama notu. <https://cwc.ca/en/how-to-build-with-wood/wood-products/structural-composite/laminate-veneer-lumber/kaynağından alınmıştır>.

kompozitlerin yapısı OSB levhalara benzemektedir. OSB levhalarda ahşap elementleri her bir tabakada yönlendirilmiş olurken, LSL'de malzemenin uzun eksenine paralel yöndedir. LSL'nin yapısında masif ahşap malzemede yer alan budak vb. arzu edilmeyen yapılar yer almaz. Bunun nedeni; bunların hammadde hazırlama sırasında uzaklaştırılması veya malzeme içerisinde homojen bir şekilde dağılmasıdır. LVL ve PSL gibi diğer SCL ürünlerde olduğu gibi LSL'de öngörülebilir mukavemet, modül ve boyutsal stabilite özelliklerine sahiptir.

LSL kompozitler, her bir üretici tarafından farklı üretim süreçleri ile farklı boyutlarda üretildiği için kendine has mühendislik özelliklerine sahiptir. Bu nedenledir ki LSL'ler standart bir üretim prosesine veya standart bir boyuta sahip değildir. (Canadian Wood Council, 2022).

Sandviç Panel

Ahşap sandviç levhalar; kâğıt – alüminyum – plastik petek ve köpük gibi malzemelerin iki yüzeyine ahşap kaplama, laminat, kontrplak, yongalevha, MDF, OSB gibi ahşap levha ürünleri veya alüminyum, metal malzemeler ve fiberglas gibi malzemelerin yapıştırılması ile elde edilen bir kompozit malzemedir. Sandviç kompozit ürünler, genel olarak hafif yapıdaki bir orta katman (core) elemanının her iki yüzeyine birer yüzey elemanı (skin) yapıştırılması ile elde edilen kompozit bir malzemedir. Çeşitli yapıdaki sandviç paneller aşağıdaki Şekil 25'te sunulmuştur (Candan, 2012).

Şekil 25
Farklı yapıdaki sandviç paneller



Açıklama notu. Candan Z., 2012, Ahşap sandviç panel ve laminat parke üretiminde nanopartikül kullanımı ve teknolojik özellikler üzerine etkisi. Doktora Tezi, 309 sayfa, İstanbul Üniversitesi, İstanbul kaynağından alınmıştır.

Şekil 26
Sandviç kompozit levhaların genel yapısı



Açıklama notu. Candan Z., 2012, Ahşap sandviç panel ve laminat parke üretiminde nanopartikül kullanımı ve teknolojik özellikler üzerine etkisi. Doktora Tezi, 309 sayfa, İstanbul Üniversitesi, İstanbul; Egger endüstri kataloğu, 2024, Wood-based panels brochure, Egger company, Austria. https://www.egger.com/get_download/caa407f0-b29f-4041-bf7e-c45aa8f8c75b/Brochure_Thin_Chipboards_en.pdf kaynağından alınmıştır.

Sandviç yapıdaki bir kompozit malzemenin genel yapısı Şekil 26'da ifade edilmiştir.

Günümüzde orman kaynaklarının hızla azalmaya devam etmesi, taşıma maliyetlerinin yükselmesi, teknolojinin gelişimi, kullanım yeri performans istekleri, piyasadaki rekabetin artması ve tüketici istekleri, üreticileri yeni ürün arayışına itmiştir. Bu arayış, yukarıda isimleri belirtilen geleneksel ahşap kompozit malzemelere alternatif olarak yeni nesil ahşap kompozit bir malzeme olan ahşap sandviç levhaların da içinde olduğu yeni malzemelerin doğuşuna sebep olmuştur. Buna paralel olarak üretimleri ve kullanım alanları hızla artmaktadır. Hafif olmalarına karşın yeterli direnç özelliklerine sahip olan sandviç levhalar genellikle mobilya endüstrisinde (panel mobilya üretimi, mutfak dolabı, banyo dolabı, ofis mobilyası vb. üretiminde), mimari uygulamalarda, kapı üretiminde (Amerikan pres kapı), dekorasyonda, ulaştırma araçlarının üretiminde, tavan ve taban elemanı ve bölme sistemlerinde, prefabrik ev yapımında, fabrika binalarının yapımında, iç dekorasyon malzemesi olarak, gemi ve diğer deniz taşıtlarının yapımında, stant tasarımı gibi çok sayıda yerde kullanım imkanı bulunmaktadır (Candan, 2012).

Ahşap sandviç levhaların öne çıkan en temel özelliği, hafif olmalarına karşın mukavemet özelliklerinin yüksek olmasıdır. Diğer ahşap levha ürünleri ile kıyaslandığında oldukça düşük yoğunluk değerlerine sahiptir. Bu nedenle taşıma, depolama vb. konularda önemli bir avantaja sahip bulunmaktadır. Eğilme direnci, elastikiyet modülü, çarpma direnci, yapışma direnci ve basınç direnci gibi mukavemet özellikleri ise kullanım yerleri isteklerini sağlayacak derecededir. Ahşap sandviç levhalar yapısındaki ahşap malzeme ve özellikle boşluklu yapıdaki orta tabakası sayesinde yüksek bir ses izolasyonu özelliğine sahip bulunmaktadır. Ahşap sandviç levhalar, yapılarda duvar paneli olarak kullanılması durumunda ağırlıklarının düşük olması nedeniyle yapıların deprem vb. doğal

Şekil 27

Sandviç kompozit levhaların mobilya ve mimari uygulama örnekleri



Açıklama notu. Candan Z., 2012, Ahşap sandviç panel ve laminat parke üretiminde nanopartikül kullanımı ve teknolojik özellikler üzerine etkisi. Doktora Tezi, 309 sayfa, İstanbul Üniversitesi, İstanbul; Egger endüstri kataloğu, 2024, Wood-based panels brochure, Egger company, Austria. https://www.egger.com/get_download/caa407f0-b29f-4041-bf7e-c45aa8f8c75b/Brochure_Thin_Chipboards_en.pdf; Forest Products Laboratory, 2021, Wood handbook wood as an engineering material. General Technical Report FPL-GTR-282. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, USA, pp. 543 kaynağından alınmıştır.

afetlerde can ve mal güvenliğinin sağlanması konusunda aktif bir rol üstlenecektir. Sandviç panellerin farklı kullanım yerlerine ait örnekler Şekil 27’de verilmiştir. [Candan, 2012; Egger, 2024; Forest Products Laboratory, 2021].

Yonga Esaslı Kompozitler

Yonga esaslı levhalar, ahşap-esaslı levhalar içerisinde kontrplak ve yaş yöntemle üretilen liflevhalardan sonra 1940’lı yıllarda endüstriyel olarak üretimine başlanan bir malzeme olup, günümüzde en büyük üretim ve kullanım hacmine sahiptir.

Yongalevhanın Tanımı, Sınıflandırılması ve Özellikleri

Yongalevha; odun veya diğer lignoselülozik hammaddelerden elde edilen belirli özelliklerdeki küçük parçacıkların, belli bir rutubet derecesine kadar kurutulduktan sonra, uygun bir tutkalla karıştırılıp sıcaklık ve basınç altında yapıştırılmasıyla oluşturulan levha şeklinde bir malzemedir. Yongalevha üretiminde kullanılan çeşitli tip yongalar Şekil 11.28’de görülmektedir.

Şekil 28

Yongalevha üretiminde kullanılan çeşitli tip yongalar



Açıklama notu. Haygreen, JG. Bowyer, JL. 1996, Forest products and wood science: an introduction, Ed. 3, Iowa State University Press kaynağından

Yongalevhaları yoğunluklarına, presleme metoduna, yonga büyüklüklerine, bağlayıcı tipine, kat sayısına, yongaların yönlendirilmesine göre sınıflandırmak mümkün olmakla birlikte, yaygın kullanımları dikkate alındığında, yongalevhaları basit olarak aşağıdaki gibi sınıflandırmak da mümkündür:

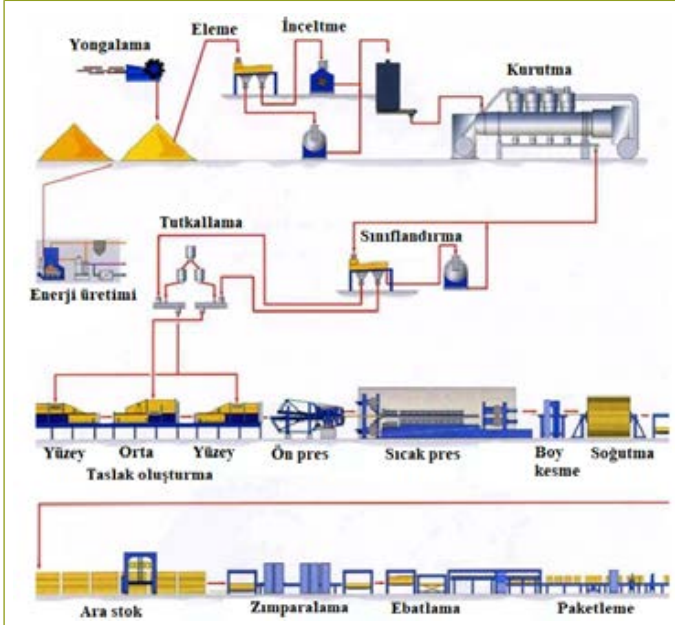
- 1. Yatay yongalı levhalar (Normal/standart)
- 2. Dikey yongalı levhalar (Okal, ekstrude)
- 3. Kalıplanmış yongalevhalar (Werzalit)
- 4. Çimentolu yongalevhalar
- 5. Yönlendirilmiş yongalevhalar (OSB)

Yatay Yongalı (Normal/Standart) Levhalar

Yatık yongalı yongalevha, üretimi en fazla yapılan yongalevha tipidir. Bu levha türünde dünyada ve ülkemizde genelde üç tabakalı ve katları belirsiz yongalevha üretilmekte olup, dökme sistemi ile üç tabakalı normal yongalevha üretim prosesi Şekil 11.29’da verilmiştir. Serme metodu olarak *dökme* yerine *havalı serme* kullanıldığında ise katları belirsiz levha elde edilmektedir.

Şekil 29

Üç tabakalı yatık yongalı yongalevha üretim iş akışı.



Açıklama notu. Thoemen H, Irle M, Sernek M. 2010. Wood-based panels: An introduction for specialists, Brunel University Press, London kaynağından alınmıştır.

Standart Yongalevhanın Yapısı

Odun yongaları, ağırlık bakımından yongalevhanın büyük bir kısmını oluşturur (%85-88) ve yongalama makinelerinde iğne yapraklı ağaçlar başta olmak tercihen orta yoğunluktaki ağaçlardan elde edilir. Ağaç işleyen endüstrilerin artıkları ile geri dönüşüm kaynaklardan da yongalar hazırlanabilmektedir. Bu yongalar genellikle üre-formaldehit (UF) veya melamin-üre-formaldehit (MUF) gibi sentetik reçine sistemleriyle birbirine yapıştırılır, az sayıda fenol-formaldehit (PF) ve polimerik metilen di-izosiyanat (PMDI) tutkalları kullanan fabrikalar bulunmaktadır. Yapıştırıcı seçimi levhanın kullanım ortamına göre belirlenir.

Standart yongalevhanın tipik bileşenleri ağırlık bakımından yaklaşık olarak şu oranlardadır:

- Yonga % 83-88
- Tutkal UF, MUF 6% - 10%, PMDI % 2-3
- Su % 5- 7
- Parafin % 1-2

Yongalevhalar 3-60 mm kalınlıklar arasında üretilebilmektedir. Levha boyutları ise çok farklı olup, piyasada genellikle 1830mmx3660 mm, 2100mmx2800mm boyutlarında üretim yapılmaktadır. 650 kg/m³ yoğunluğu olan 18mmx2100mmx2800mm boyutlarındaki bir levhanın ağırlığı yaklaşık 68 kg'dır.

Tablo 4

Bütün levha tiplerine (P1...P7) ait ortak özellikler (TS EN 312)

Özellik	Test metodu		Gerekli değer
Kalınlık toleransı	TS EN 324-1	Zımparalı	±0.3 mm
		Zımparasız	-0.3, +1.7 mm
Uzunluk ve genişlik	TS EN 324-1	± 5 mm	
Gönyeden sapma	TS EN 324-1	2 mm/m	
Kenar düzgünlüğü	TS EN 324-1	1.5 mm/m	
Rutubet miktarı	TS EN 322	%5-13	
Yoğunluk farklılığı (bir levha içinde)	TS EN 323	± % 10	
Formaldehit emisyonu	E1 sınıfı	TS EN 120	≤8 mg/100g tam kuru levha
	E2 sınıfı		>8 x ≤ 30 mg /100g tam kuru levha

Tablo 5

Kuru şartlarda iç uygulamalarda (mobilya dâhil) kullanılan levhalar (TS EN 312 Tip P2)

Özellik	Deney metodu	Birim	Gerekli değerler							
			Kalınlık aralığı (mm)							
			3 < ila ≤ 4	4 < ila ≤ 6	6 < ila ≤ 13	13 < ila ≤ 20	20 < ila ≤ 25	25 < ila ≤ 32	32 < ila ≤ 40	< 40
Eğilme direnci	EN 310	N/mm ²	13	14	13	13	11.5	10	8.5	7
Eğilmedeki elastikiyet modülü	EN 310	N/mm ²	1800	1950	1800	1600	1500	1350	1200	1050
İç yapışma	EN 319	N/mm ²	0.45	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20	0.20
Yüzey sağlamlığı	EN 311	N/mm ²	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

Standart Yongalevhanın Özellikleri ve Kullanım Yerleri

Yongalevhaların görünüş özellikleri, yüzey özellikleri, fiziksel ve mekanik özellikleri, işlenme ve yangına direnç özellikleri kullanılan hammaddeler ile üretim parametrelerine bağlıdır. Ham yongalevhalar soluk bir saman rengine sahiptir, ancak tanımlama amacıyla tüm levha veya levhanın tabakaları kullanım amacına göre boyanabilir. Yeşil renk rutubete dayanıklı levhalar için, kırmızı ise yangın geciktirici levhalar için kullanılır. Levhaların bu şekilde renkli olması veya levha üzerinde standart numarasının yazılı olması o levhaların standarda uygun olduğunu göstermez. Tüm özellikler bakımından standarda uygunluk belgesi alınmış olması gerekir.

TS EN 312 : “Yonga levhalar – Özellikler” standardına göre yonga levhalar yedi kullanım sınıfına ayrılmış olup, her bir sınıfın sahip olması gereken özellikler bu standartta yer almaktadır. Bütün levha tiplerinin sahip olması gereken ortak özellikler Tablo 11.4’te verilmiştir.

P1 Kuru şartlarda kullanım için genel amaçlı levhalar

P2 Kuru şartlarda kullanım için iç dekorasyon levhaları (mobilya dahil)

P3 Nemli şartlarda kullanım için yük taşıyıcı olmayan levhalar

P4 Kuru şartlarda kullanım için yük taşıyıcı levhalar

P5 Nemli şartlarda kullanım için yük taşıyıcı levhalar

P6 Kuru şartlarda kullanım için ağır yük taşıyıcı levhalar

P7 Nemli şartlarda kullanım için ağır yük taşıyıcı levhalar

Yedi kullanım sınıfı içerisinde en yaygın kullanılanı P2 sınıfı olup, bu sınıf yongalevhaların taşınması gerekli değerler olarak aşağıdaki Tablo 11.5’te verilmiştir.

Kuru ve nemli şartlarda yük taşıyıcı yongalevha tipleri için yapısal tasarımlarda hem yoğunluğa hem de mekanik özelliklere ait karakteristik değerler TS EN 12369-1: “Ahşap esaslı levhalar - Yapısal amaçlı tasarım için karakteristik değerler - Bölüm 1: OSB, Yongalevhalar ve Liflevhalar” standardında yer almaktadır. Ayrıca TS EN 12871: “Ahşap esaslı levhalar-Çatı, duvar ve yer döşemelerinde kullanılan yük taşıyıcı levhaların performans özelliklerinin tayini” standardı bu kullanım yerleri için gerekli özellikleri vermektedir.

Okal (Ekstrude) Tipi Yongalevha

Bu metotta her türlü odunsu atık (testere talaşı vb.) kolaylıkla kullanılabilir. Normal yongalevhaya göre daha az tutkal kullanılmaktadır. Serme ve presleme işlemi bir yerde yapılmakta olup, çok ekonomiktir. Yongalar levha yüzeyine dik yönde yönlendirilmektedir. Çeşitli kalınlıklarda, içi delikli (ET) ve deliksiz (ES) levhalar üretilmektedir (Şekil 11.30). Yatay yongalevha üretim sisteminden temel farklılığı serme ve preslemede görülmektedir. Bu sistemde serme yoktur. Dozajlanan tutkallı yongalar presin form kanalı (eksruder) içerisine sürekli olarak dökülmekte ve burada üstten preslenmektedir (Şekil 11.31).

Şekil 30

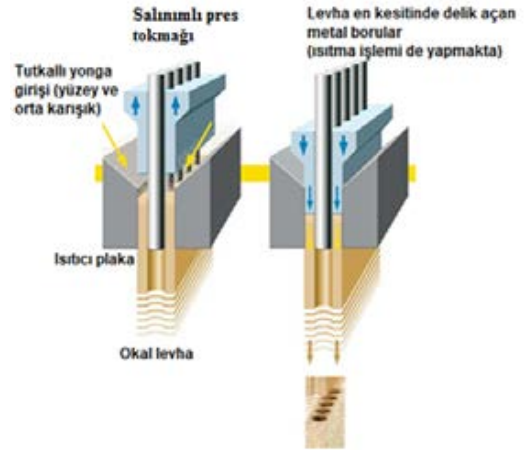
Okal levha.



Açıklama notu. Sauerland kapı iç dolguları. <https://www.okallevha.com/Urunler/1-sauerland-kapi-ic-dolgulari> kaynağından alınmıştır.

Şekil 31

Okal presleme.



Açıklama notu. Sauerland kapı iç dolguları. <https://www.okallevha.com/Urunler/1-sauerland-kapi-ic-dolgulari> kaynağından alınmıştır.

Okal levhalar, yatay yongalı (standart) levhalarla ile karşılaştırıldığında fiziksel ve mekanik özellikler bakımından görülen önemli farklılıklar aşağıda verilmiştir:

1. Eğilme direnci düşüktür.
2. Levha yüzeyi pürüzlüdür.
3. Elastikiyet modülü düşüktür.
4. Çivi ve vida tutma gücü düşüktür.
5. Rutubete maruz kaldığında uzunluk artımı fazladır.
6. Yüzeye dik çekme direnci yüksektir.
7. Kalınlığına şişme oranı azdır.

TS EN 14755 standardında göre okal yongalevhalar dört tipe ayrılmaktadır. Her bir levha tipinin sahip olması gereken özellikler bu standartta yer almaktadır (Tablo 11.6).

ES: Eksrude deliksiz levha: Yoğunluğu 550 kg/m³ veya daha fazla olan tüpsüz levha.

ET: Eksrude delikli levha: Katı yoğunluğu 550 kg/m³ veya daha fazla ve yanak kalınlığı 5 mm veya daha fazla olan delikli levha.

ESL: Eksrude deliksiz hafif levha: Deliksiz ve yoğunluğu 550 kg/m³' ten az olan levha.

ETL: Eksrude delikli hafif levha: Katı yoğunluğu 550 kg/m³'ten az veya yanak kalınlığı 5 mm'den az olan delikli levha.

Tablo 6

Okal levhaların sahip olması gereken en düşük mekanik değerleri (TS EN 14755)

Okal levha tipi	Kalınlık aralığı (mm)	Üretim yönüne dik eğilme direnci (N/mm ²)	Üretim yönüne paralel çekme direnci (N/mm ²)
ES	≤ 16	4	0,17
	> 16 ≤ 50	3	0,17
ET	≤ 30	2,5	0,17
	> 30 ≤ 45	1,7	0,17
	> 45 ≤ 70	1	0,17
ESL		1	0,10
ETL	Tüm kalınlıklar	1	0,10

Okal levhalar, çoğunlukla dolgu maddesi olmak üzere, binalarda bölme elemanı, gemi ve vagon yapımında, palet yapımında, delikli levhalar ısı ve ses izolasyonu amacıyla kullanılabilir. Deliklerin içerisi izolasyon amacıyla doldurulabilir. Bu deliklerden elektrik ve su borusu yanı sıra değişik amaçlarla kablo vb. malzemeler geçirilebilir (Şekil 32).

Şekil 32

Okal levhaların kapı içinde dolgu olarak kullanılması.



Açıklama notu. Sauerland kapı iç dolguları. <https://www.okallehva.com/Urunler/1-sauerland-kapi-ic-dolgulari> kaynağından alınmıştır.

Kalıplanmış Yongalevha

Kalıplanmış yongalevha, sentetik tutkal ile tutkallanmış odun yongalarının istenilen ürün kalıbına serilerek ve yüzeyi kaplanarak, kalıp preslerde (Şekil 11.33) sıcaklık ve basınç altında prestesiyle nihai ürün şeklinde elde edilen ürüne denmektedir. Masa tablası, okul sırası, tabure, klozet kapağı vb. ürünler son halini almış olarak presten çıkmaktadır (Şekil 11.34).

Kalıplanmış yongalevha üretiminde kullanılan odun hammaddesi yeknesak olmalıdır. Bundan dolayı ya sadece ladin veya kavak gibi bir ağaç türü veya daima aynı oranda değişik ağaç türleri karışımları kullanılması tavsiye edilmektedir. Bu amaçla ülkemizdeki fabrikalarda kayın, gürgen veya yabani fındık kullanılmaktadır.

Şekil 33

Werzalit kalıp pres



Açıklama notu. <https://www.enzalit.com/> kaynağından alınmıştır.

Şekil 34

Çeşitli kalıplanmış yongalevhalar



Açıklama notu. www.gentas.com.tr/urunlerimiz/werzalit/ kaynağından alınmıştır.

Tavsiye edilen yonga kalınlıkları 0.1-0.3 mm, uzunluklar ise 10-30 mm'dir. Kalıplanmış yongalevha üretiminde üç metot mevcut olup, bunlardan **termodin** metodunda tutkal kullanılmamakta yapıştırma lignin gibi odunun doğal kimyasal bileşikleri ile sağlanmakta, diğer metotlar olan **collipress** ve **werzalit** metotlarında ise normal yongalevha üretiminde kullanılan tutkallar kullanılmaktadır.

Yönlendirilmiş Yongalevha (OSB)

OSB konstrüksiyon ve endüstriyel amaçlarla kullanılan yapısal bir levhadır. Sentetik kontrplak olarak nitelendirilmiştir. Genelde, fenol-formaldehit, izosiyanat ve melamin/üre formaldehit gibi suya dayanıklı tutkallarla üretilmektedir.

Kontrplak endüstrisinin hammadde olarak kaliteli tomruk (çapı en az 40 cm olan, mümkün olduğunca budaksız, en az 1,5 m boyunda, çürüksüz, çatlaksız, lif kıvrıklığı olmayan, dolgun gövdeli, yıllık halka içerisinde ilkbahar ve yaz odunu kontrastı az) isteğine karşılık, OSB levhaları çok daha düşük kalitedeki ince tomruklardan üretilmektedir. Odun hammaddesinin kabuğu soyulmalıdır. Hammaddesinin kolay bulunması ve ucuz oluşu, yüksek taşıma kabiliyeti, ortam şartlarına bağlı olarak boyut ve şeklinde değişiklik olmaması nedeniyle OSB, pek çok ülkede özellikle inşaat sektöründe kontrplağın yerini almaya başlamıştır. Kavak, çam, kızılğöğ, douglas göknarı, ladin ve göknar yonga üretiminde en uygun ağaç türleridir.

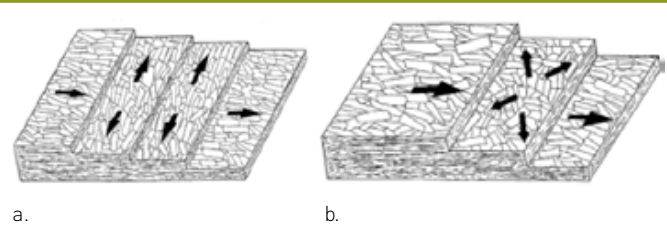
OSB üretimi geleneksel yongalevha üretimine benzemekle birlikte yonga büyüklükleri ve serme yöntemi bakımından farklılık

göstermektedir. OSB üretiminde kullanılan yongaların uzunlukları yaklaşık olarak 75-100 mm, genişlikleri 15-30 mm ve kalınlıkları ise 0.5-0.7 mm'dir. OSB yongaları, standart yongalevha üretiminde kullanılan yongalardan oldukça büyüktür. Uygun yonga boyutlarını elde etmede taze ince yuvarlak odunlar ile kaplama soyma artıkları (çekirdek) gibi biraz daha nitelikli odun hammaddesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu boyutlardaki yongaları elde etmek için diskli yongalama makineleri veya halka bıçaklı yongalayıcılar kullanılmaktadır.

OSB üretiminde taslak hazırlanırken yongaların yönlendirilmesinde mekanik veya elektrostatik olarak yongalar yönlendirilmektedir. OSB levhalarda dış tabaka yongaları levha boyuna veya genişliğine paralel yönlendirilmişlerdir. Orta tabakadaki yongalar ise rasgele ya da genellikle dış tabakalardaki yongalarla dik açı yapacak şekilde yönlendirilmektedir (Şekil 11.35).

Şekil 35

OSB levhalar a. 0-1 tip OSB levhası. b. 0-2 tip OSB levhası.



Açıklama notu. Hızıroğlu S. 2017. Oriented strand board as a building material. Teknik not ID: Id: FAPC-145. Oklahoma State University, USA kaynağından alınmıştır.

OSB Levhaların Özellikleri ve Kullanım Yerleri

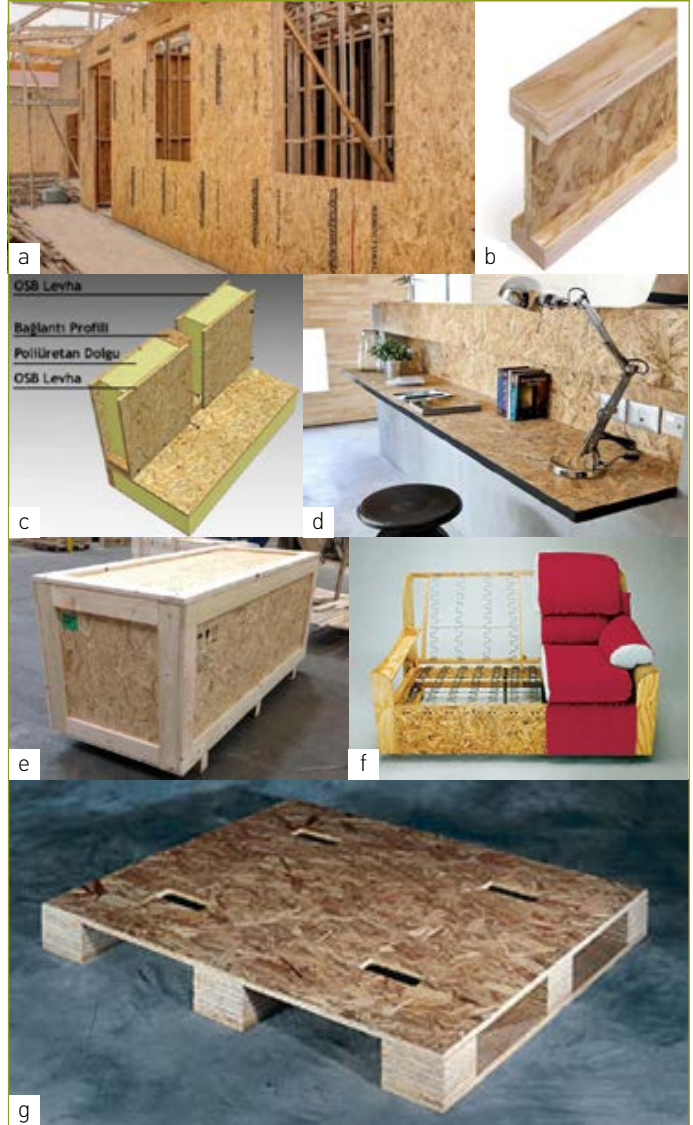
OSB levhalar 6 mm- 40 mm kalınlıklar arasında üretilebilmektedir. Levha boyutları ise çok farklı olup, piyasaya genellikle 2440mmx1220mm, olarak sunulmaktadır. Ortalama 650 kg/m³ yoğunlukta üretilmekte olup, bu yoğunlukta 2440 mmx1220 x11 mm boyutlarındaki bir levhanın ağırlığı yaklaşık 21 kg'dır.

OSB levhalar esas itibarıyla yapısal kullanım amacıyla üretilmektedir. Döşeme, çatı kaplama, tavan kaplama ve duvar bölmesi, I-kirisi, kutu kirisi, palet, ambalaj sandıkları, izolasyon malzemeleri gibi yerlerde kullanılmaktadır (Şekil 11.36).

TS EN 300 (2006)'e göre OSB levhalar kullanım yerlerine göre dört sınıfa ayrılmaktadır. Özellikle rutubetli ve dış ortamda kullanılacak

Şekil 36

OSB kullanım alanları. a) Bina Yapımı, b) I-Kirisi, c) Yalıtımlı duvar paneli, d) Karavan içi, e) Ambalaj sandığı, f) Mobilya, g) Palet.



Açıklama notu. a. <https://www.huberwood.com/advantech/sheathing>. b. Alvr, F. 2001, Yönlendirilmiş yonga levhaların üretimi özellikleri ve kullanım yerleri üzerine araştırmalar. [Yüksek Lisans tezi], Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul. c. <http://www.dfwighanaltd.com/>. c-d. <https://www.budgetcases.co.uk/products/osb-cases/>. f-g. <https://www.performancepanels.com/> kaynaklarından alınmıştır.

Tablo 7

Kuru ortamlarda kullanım için yük taşıyıcı levhalar (OSB/2) (TS EN 300)

Levha tipi (kullanım sınıfı) OSB/2	Test Metodu	Birim	Gerekli değerler				
			Levha kalınlık aralıkları (mm)				
Özellik			6 - 10	>10 <18	18 - 25	>25 - 32	>32 - 40
Eğilme direnci-ana eksen	EN 310	N/mm ²	22	20	18	16	14
Eğilme direnci-tali eksen	EN 310	N/mm ²	11	10	9	8	7
Eğilmede elastikiyet modülü- ana eksen	EN 310	N/mm ²	3500	3500	3500	3500	3500
Eğilmede elastikiyet modülü- tali eksen	EN 310	N/mm ²	1400	1400	1400	1400	1400
İç bağlanma (Yüzeye dik çekme)	EN 319	N/mm ²	0,34	0,32	0,30	0,29	0,26
Kalınlığına şişme- (24 saat daldırma)	EN 317	%	20	20	20	20	20

OSB'lerin en az OSB/3 veya OSB/4 sınıfı olması önem arz etmektedir. Her bir kullanım sınıfının sahip olması gereken özellikler bu standartta yer almaktadır. OSB/2 sınıfına ait özellikler örnek olarak Tablo 11.7'de verilmiştir.

OSB/1: Genel amaçlı, kuru şartlarda, kapalı ortamlarda kullanılan levhalar

OSB/2: Kuru ortamlarda kullanılan yük taşıyıcı levhalar

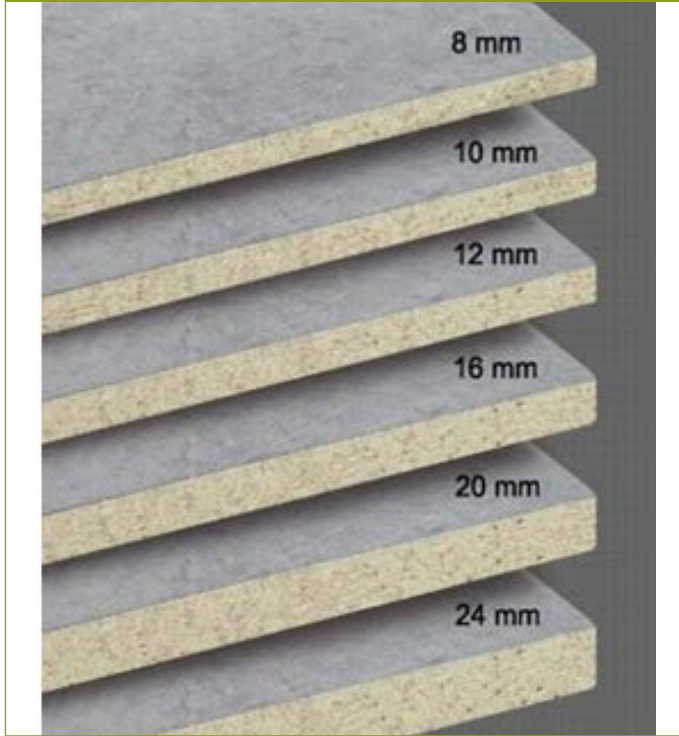
OSB/3: Rutubetli ortamlarda kullanılan yük taşıyıcı levhalar

OSB/4: Rutubetli ortamlarda kullanılan ve ağır yük taşıyıcı levhalar

Kuru ve nemli şartlarda yük taşıyıcı OSB levha tipleri için yapısal tasarımlarda hem yoğunluğa hem de mekanik özelliklere ait karakteristik değerler TS EN 12369-1: "Ahşap esaslı levhalar - Yapısal amaçlı tasarım için karakteristik değerler - Bölüm 1: OSB, Yongalevhalar ve Liflevhalar" standardında yer almaktadır.

Şekil 37

Portland çimentosu ile üretilmiş farklı kalınlıklarda yongalevhalar



Açıklama notu. <http://k-materials.ie/cement-bonded-particle-boards-technical-data-and-applications/> kaynağından alınmıştır.

Çimentolu Yongalevhalar

Çimentolu yongalevha, odun veya diğer ligno-selülozik maddelerden hazırlanan yongaların katkı maddeleri ihtiva eden hidrolik çimento ile karıştırılıp basınç altında preslenmesiyle üretilen levhadır (Şekil 11.37). Bu maksatla çoğunlukla **portland** çimentosu kullanılmakla birlikte **magnezyum çimentosu** da kullanılabilir (TS EN 633). Odunun hafifliği, elastikiyet, işlenebilirlik özellikleri ile çimentonun suya, rutubete, yanmaya ve çürümeye karşı dayanıklılık özellikleri bütünleştirilerek elde edilen bir yapı malzemesidir.

Portland çimentolu yongalevhalar ağırlıkça %20 civarında odun veya diğer lignoselülozikler, %60 civarında çimento ve %20 su ile az miktarda bazı katkı maddelerinin karışımından üretilmektedirler. Çimentolu yongalevhaların özellikleri çimento ve odunun doğal yapısı ve kullanım oranlarından önemli ölçüde etkilenmektedir. Yoğunlukları standart yongalevhalarından oldukça yüksek olup, 1000 kg/m³'ten fazladır. 6-40 mm kalınlıklarda ve çoğunlukla 2100mmx1200 mm boyutlarında üretilmektedir. 2400mmx1200mmx12mm boyutlarında ve 1100 kg/m³ yoğunlukta bir levhanın ağırlığı yaklaşık 45 kg'dır.

Çimentolu yongalevha pratik olarak yanmamaktadır. Suya karşı dirençlidir. Mantar/termit/küf/böceklerle karşı son derece dayanıklıdır. İklim değişikliklerine karşı dayanıklıdır. Ses izolasyonu yüksektir. Güneşin UV ışınlarından kaynaklı renk solmasına çok dayanıklıdır. Normal aletlerle işlenebilmektedir. İyi ve çok yönlü olarak üst yüzeyi ıslah edilebilmektedir. Çivi, vida ve tutkalla birleştirilebilmekte ve levha üst yüzeyleri zımparalanabilmektedir. Yüksek yoğunluğuna rağmen genel olarak çimentolu yongalevhaların direnç değerleri normal yongalevhaya göre daha düşüktür. Portland çimentolu yongalevhaların genel özellikleri TS EN 634-1'de diğer özellikleri ise TS EN 634-2'de verilmiş bulunmaktadır. TS EN 634-2 standardına göre portland çimentolu yongalevhaların sahip olması gereken özellikler Tablo 11.8' de verilmiştir.

Tablo 8

Portland çimentolu yongalevhaların sahip olması gereken özellikler (TS EN 634-2)

Özellik	Deney metodu	Birim	Gerekli değer (Bütün kalınlıklar için)
Yoğunluk	TS EN 323	kg/m ³	1000
Eğilme dayanımı	TS EN 310	N/mm ²	9
Eğilmede elastikiyet modülü	TS EN 310	N/mm ²	Sınıf 1 4500 Sınıf 2 4000
İç yapışma	TS EN 319	N/mm ²	0,5
Kalınlıkta şişme (24 saatte)	TS EN 317	%	1,5
Tekrarlı deney sonrası iç yapışma	TS EN 319 ve TS EN 321	N/mm ²	0,3
Tekrarlı deney sonrası kalınlıkta şişme	TS EN 317 ve TS EN 321	%	1,5

Çimentolu yongalevhalar ağırlıklı olarak yapı endüstrisinde kullanılmaktadır (Şekil 11.38). Yangına dayanıklılık ve rutubetten az etkilenme özellikleri nedeniyle prefabrik ev, okul, işletme ve yönetim binaları, kırsal alan konutları, tarım işletme binaları, danışma ve kamp binaları gibi tek ve çift katlı binalarda, özellikle dış cephe kaplamalarında yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bunun yanında büro inşaatı, hastaneler, okullar, çocuk yuvaları, endüstriyel yapılar, kantinler, ambar ve sergi holleri, geçici binalar, oto yollarda gürültü koruma duvarları, konteyner, izoleli veya izolesiz dış duvar kaplamaları olarak değerlendirilmektedir.

Desenli pres sacları kullanmak suretiyle yüzeyi ahşap veya farklı tekstürlerde çimentolu yongalevha üretimi yapılabilir (Şekil 39).

Şekil 38

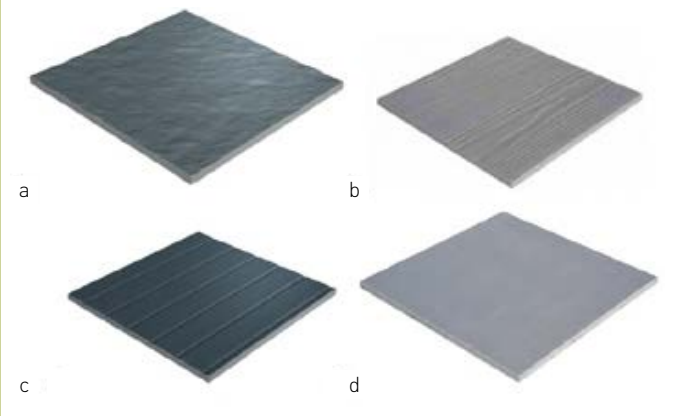
Çimentolu yongalevhaların yapıda çeşitli kullanımları: a) zemin uy-gulama. b) Çatı kaplaması.



Açıklama notu. Photo gallery of our products and their applications. Betonwo-od company, Italy. <https://www.cementbondedparticleboard.com/gallery-ce-ment-bonded-particle-boards.html> kaynağından alınmıştır.

Şekil 39

Yüzeyi düz ve desenli çimentolu yongalevha örnekleri



Açıklama notu. Betopan yongalevha, Ankara. <https://www.betopan.com.tr/tr> kaynağından alınmıştır.

Lif Esaslı Kompozitler

Liflevhanın Tanımı ve Sınıflandırması

Liflevha, TS EN 316 (2011) standardına göre; bitkisel lif ve lif de-metlerinin doğal keçeleşme özelliklerinden yararlanılarak veya ilave tutkal kullanılarak oluşturulan levha taslağının kurutulması ya da preslenmesiyle elde edilen 1.5 mm ve daha kalın olan levha olarak tanımlanmaktadır.

Dünyada liflevhanın ilk ticari üretimi 1898 yılında İngiltere’de yaş yöntemle sert liflevhayla başlamış olup, bunu 1914 yılında Alman-ya’da izolasyon liflevhası izlemiştir. Liflevhanın geniş kapsamlı ti-cari üretimi ise 1924 yılında Mason adlı araştırmacı tarafından yaş yöntemle “Masonite” adlı liflevha üretim teknolojisi patenti alma-sıyla başlamıştır (Jones ve Brischke, 2017). Masonite Corporation firması masonit yöntemiyle lif üretmekte olup, bu lifler defibratör yönteminden farklı olarak lif boylarında kısalma olmadığından ve yüzeyleri lignin ile kaplı olduğundan ince levha yapımına çok el-verişli olması nedeniyle kapı paneli üretimi üzerine dünyanın hali hazırda en büyük yaş yöntemle liflevha üreticisidir.

Yaş yöntemle liflevha üretiminde pres süresinin uzun olmasına bağlı olarak kapasitesinin düşük olması ve yüksek su ihtiyacı ne-deniyile yerini kuru sistemle liflevhaya bırakmıştır. Kuru yöntemle liflevha üretimine dünyada ilk defa 1966 yılında Amerika Birleşik

Devletlerinde (New York) başlanmış olup, 1973 yılında Avrupa’da, 1985 yılında Türkiye’de üretimine başlanmıştır. Kuru yöntem lif-levhalar her ne kadar MDF (orta yoğunlukta liflevha) olarak bilin-se de HDF (yüksek yoğunlukta liflevha) ve LDF (düşük yoğunlukta liflevha) levhalarda kuru yöntem liflevhalardır. MDF’nin yoğunlu-ğu ve kalite özellikleri bakımından mobilya endüstrisinde tercih edilen liflevha tipi olması bunda en önemli etkindir. MDF, bugün dünyanın birçok ülkesinde üretilmektedir. Türkiye, MDF üretimin-de 4.7 milyon m³ ile dünyada Çin’den sonra en fazla üretim ya-pan ikinci ülkedir. Ülkemizde toplam 14 tane kuru yöntemle MDF üretim tesisi ve 1 adet yaş yöntemle üretim yapan liflevha üretim tesisi vardır (YOMSAD, 2021).

Yaş yöntemle üretilen liflevha örnekleri Şekil 11.40’ta verilmiştir. Bu yöntemde formaldehit esaslı sentetik tutkal yerine odununun doğal yapıştırıcısı ligninden istifade edildiğinden çevre dostu bir levha ürünüdür. Türkiye’de uzun yıllar *duralit* adıyla üretilmiştir. *Duralit*, genellikle 3-5 mm kalınlığında ve 900 kg/m³ üzerinde yo-ğunlukta üretilmekte olup, yüzeyleri laminatla kaplanabilmektedir. Daha çok ambalaj ve raf çekmecesi, dolap arkılığı, kapı paneli gibi mobilya endüstrisinde, tavan ve duvar kaplaması, otobüs ve minübüs tavan kaplaması olarak kullanılmaktadır.

Şekil 40

Yaş yöntemle üretilen liflevha örnekleri.



Şekil 41

a) Yüksek yoğunlukta liflevha (HDF)’nin laminat parke uygulaması. b) Orta yoğunlukta liflevha (MDF’nin mobilya endüstrisinde kullanımı. c) İzolasyon liflevhanın (LDF) ısı ve ses izolasyonu amaçlı kullanımı



Kuru yöntemle üretilen liflevha örnekleri Şekil 11.41'de verilmiştir. İzolasyon liflevhaları ağırlıklı olarak ses ve ısı izolasyonu sağlamak için kullanılırken sert liflevhalar ise laminat parke üretiminde veya mekanik özelliklerin yüksek olmasını gerektiren yerlerde kullanılmaktadır.

Liflevhalar, TS EN 316 standardına göre çeşitli sınıflara ayrılmaktadır;

A) Üretim yöntemlerine göre

- Yaş yöntemle üretilen liflevha: TS EN 316'a göre üretim esnasında taslak rutubeti %20'den fazla olan levhalardır.
- Kuru yöntemle üretilen liflevha: TS EN 316'a göre üretim esnasında taslak rutubeti %20'den az olan levhalardır. Kuru yöntemle üretilen liflevhalar esasen sentetik bir yapıştırıcı kullanılarak preste ısı ve basınç uygulanarak üretilen levhalardır.

B) Yoğunluklarına göre liflevhalar

Yaş yöntemle üretilen liflevhalar;

- Sert liflevhalar (HB): Yoğunluk $\geq 900 \text{ kg/m}^3$
- Orta sert liflevhalar (MB): $400 \text{ kg/m}^3 \leq \text{yoğunluk} < 900 \text{ kg/m}^3$
 - Düşük yoğunluklu orta sert liflevhalar (MBL): $400 \text{ kg/m}^3 \leq \text{yoğunluk} < 560 \text{ kg/m}^3$
 - Yüksek yoğunluklu orta sert liflevhalar (MBH): $560 \text{ kg/m}^3 \leq \text{yoğunluk} < 900 \text{ kg/m}^3$
- Yumuşak liflevhalar (SB): $230 \text{ kg/m}^3 \leq \text{yoğunluk} < 400 \text{ kg/m}^3$

TS EN 316 standardında kuru yöntem liflevhalar her ne kadar yoğunluklarına göre sınıflandırılmasa da ISO 16895 (2016) standardında aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır:

Kuru yöntemle üretilen liflevhalar;

- Yüksek yoğunluklu liflevha (HDF): Yoğunluk $\geq 800 \text{ kg/m}^3$
- Orta yoğunluklu liflevha (MDF): $650 \text{ kg/m}^3 \leq \text{yoğunluk} < 800 \text{ kg/m}^3$
- Düşük yoğunluklu liflevha (LDF): $550 \text{ kg/m}^3 \leq \text{yoğunluk} < 650 \text{ kg/m}^3$
- Çok düşük yoğunluklu liflevha (UDF): yoğunluk $< 550 \text{ kg/m}^3$

C) Kullanım ortamlarına göre liflevhalar

- Kuru ortamlarda kullanılan liflevhalar: Havadaki bağıl nemin yalnızca yılın birkaç haftasında %65'i geçtiği ve sıcaklığın 20 °C olduğu ortamlar

Tablo 9

Liflevhanın kullanım ortamları ve amaçlarını gösteren harf kodları (TS EN 316)

Levha tipi	Kullanım ortamı ve amacı	Harf kodu
Kullanım ortamlarına göre	Kuru ortam	Sembol yok
	Nemli ortam	H
	Dış ortam	E
Uygulama amaçlarına göre	Genel amaçlı	Sembol yok
	Yük taşıma amaçlı	L
	Sürekli yük	A
	Kısa süreli veya anlık	S

- Nemli ortamlarda kullanılan liflevhalar: Havadaki bağıl nemin yalnızca yılın birkaç haftasında %85'i geçtiği ve sıcaklığın 20 °C olduğu ortamlar
- Dış ortamlarda kullanılan liflevhalar: Bozuk hava şartları, su, su buharı veya rutubete maruz kalan ortamlar olarak sınıflandırılmaktadır.

D) Uygulama amaçlarına göre liflevhalar

- Genel amaçlı kullanım
- Yük taşıyıcı kullanım
 - Sürekli yük taşıyıcı liflevhalar
 - Anlık veya kısa süreli yük taşıyıcı liflevhalar olarak sınıflandırılmaktadır.

Liflevhalar, kullanım ortamları ve kullanım amaçları bakımından TS EN 316 standardında Tablo 11.9'daki gibi kodlanmaktadır.

Sembolden sonra 1 veya 2 rakamları eklenerek farklı yük taşıma kategorileri belirlenir.

1 rakamı yük taşıyıcı levhalar için, 2 rakamı ise ağır yük taşıyıcı levhalar için kullanılır.

Harf kodları verilirken "Levha tipi + kullanım ortamı + kullanım amacı + yükleme süresi sınıfı + yük taşıma sınıfı" sıralaması yapılmaktadır.

Örnek 1:

HB. HLA 2: Rutubetli ortamda kullanılan sürekli ağır yük taşıyıcı sert liflevhalar

Örnek 2:

MDFHLS: Rutubetli ortamlarda kullanılan kısa süreli veya anlık yük taşıyıcı kuru sistem liflevhalar

Kullanım ortamları ve amaçlarına esasına göre TS EN 622-5 standardında tüm MDF tiplerinin harf kodları Tablo 11.10'da verilmiştir.

Tablo 10

TS EN 622-5 standardında MDF levhaların sınıflandırılması

MDF tipi	Kullanım ortamı ve amacı
MDF	Kuru ortamlarda kullanılan genel amaçlı levhalar
MDFH	Nemli ortamlarda kullanılan genel amaçlı levhalar
MDFLA	Kuru ortamlarda yük taşıma amaçlı levhalar
MDFHLS	Nemli ortamlarda yük taşıma amaçlı levhalar (kısa süreli veya anlık)
L-MDF	Kuru ortamlarda kullanılan hafif MDF levhaları
L-MDFH	Nemli ortamlarda kullanılan hafif MDF levhaları
UL1-MDF*	Kuru ortamlarda kullanılan çok hafif MDF levhaları
UL2-MDF**	Kuru ortamlarda kullanılan çok hafif MDF levhaları
MDFRHW	Çatılarda ve duvarda sert altlıklar olarak kullanılan MDF

*Tipik olarak sınırlı mekanik özelliğe sahip sadece izolasyon amaçlı kullanılan levhalar.

**Yeterli sertlikteki olan ve izolasyon amaçlı levhalardır. Bağlayıcılarla birlikte kullanılabilir.

MDF Levhalar

Günümüzde en fazla orta yoğunlukta liflevhalar (MDF) üretilmektedir. Bunun nedeni olarak, MDF'nin mobilya endüstri için en ideal yoğunluk sınıfı olmasıdır. MDF, orta yoğunlukta bir liflevha olup, termomekanik olarak odun veya diğer ligno-selülozik hammadde-lerden elde edilen liflerin belirli bir rutubet derecesine kadar kurutulduktan sonra yaklaşık %9-11 oranında sentetik bir tutkal ile tutkalanarak sıcaklık ve basınç altında preslenmesiyle elde edilen homojen yapıda düzgün ve geniş yüzeyli bir levhadır. MDF'nin kalınlığı 2.5-60 mm, yoğunluğu 0.45-0.80 g/cm³ arasında

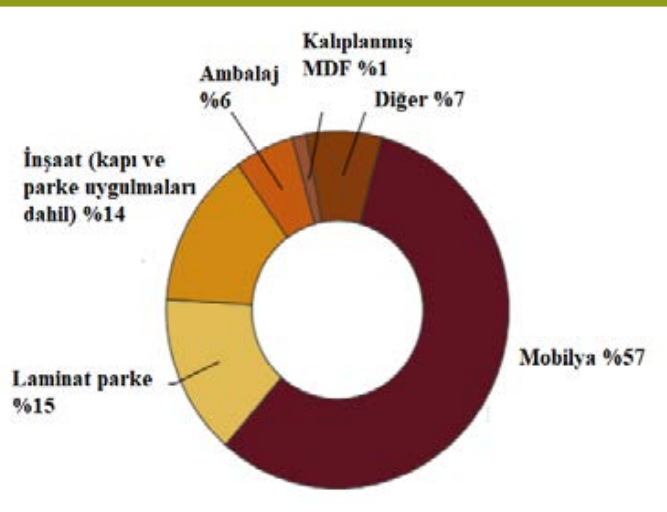
Şekil 42

Farklı kalınlıklarda MDF levhaları.



Şekil 43

Avrupa'da 2021 yılı itibarıyla MDF'nin ana tüketim yerlerine göre dağılımı



Açıklama notu. Medium density fibreboard. European Panel Federation (EPF). Brussels, Belgium. <https://europanel.org/the-wood-based-panel-industry/types-of-wood-based-panels-economic-impact/medium-density-fibreboard/> kaynağından uyarlanmıştır.

değişmekte olup, çoğunlukla 0.70-0.80 g/cm³ arasındadır (Ayrılmış 2000). MDF aslında yaş yöntemle liflevha ile yongalevhanın üstün özelliklerinin kombine edildiği bir levha ürünüdür. Zira, sert liflevhada olduğu gibi lifler, yongalevhada olduğu gibi tutkal kullanılmaktadır.

MDF'nin homojen yapıda olması ve yeterli fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olmasından dolayı kullanım alanı çok geniştir. MDF, yüzey düzgünlüğü, sıvı ve katı yüzey kaplamalarıyla başarıyla kaplanabilmesi, profil vb. açılabilmesi, gibi önemli avantajlarıyla mobilya sektöründe yongalevhadan sonra en fazla kullanılan levhadır. MDF, mobilya üretiminin yanı sıra kapı paneli olarak da yaygın kullanılmaktadır.

Türkiye'de MDF üretiminde yaygın olarak iki farklı levha ölçüsü kullanılmakta olup, bunlar 2100 mm x 2800 mm ve 1830 mm x 3660 mm'dir. Levha kalınlıkları ise 3-40 mm aralıklarında üretilmektedir (Şekil 11.42).

Avrupa'da 2021 yılında MDF'nin ana tüketim yerlerine göre dağılımı Şekil 11.43'te verilmiştir. MDF'nin en fazla kullanıldığı sektör %57 ile mobilya sektörüdür.

MDF TS EN 622-5 standardına göre yük uygulama sınıfı ve yüklenme süresi bakımından farklı sınıflara ayrılmaktadır (Tablo 11).

Tablo 11

MDF'nin yük uygulama sınıfı ve yüklenme süresi bakımından sınıflandırılması (TS EN 622-5)

Yük uygulama sınıfı	Yüklenme süresi
Sürekli	10 yıldan daha uzun
Uzun süreli	6 aydan 10 yıla kadar
Orta süreli	1 haftadan 6 aya kadar
Kısa süreli	1 haftadan daha az
Anlık	-

MDF levhalarına TS EN 622-5 standardında belirtildiği şekilde işteğe bağlı renk kodlama sistemi uygulanabilir. Her bir durumda iki renk kullanılmaktadır (Tablo 12). İlk renk levhanın genel amaçlı kullanım için mi yoksa yük taşıyıcı uygulamalar için mi olduğunu belirtmektedir. İkinci renk ise levhanın kuru, nemli veya dış ortamlarda kullanıma uygunluğunu belirtmektedir.

Tablo 12

MDF'nin kullanım amacı bakımından renk kodları (TS EN 622-1)

Renk sırası	Renk	Kullanım amacı
Birinci renk	Beyaz	Genel amaçlı
Birinci renk	Sarı	Yük taşıma amaçlı
İkinci renk	Mavi	Kuru ortamlar
İkinci renk	Yeşil	Nemli ortamlar
İkinci renk	Kahverengi	Dış ortamlar

MDF levhaları fabrikadan sevk edilmeden önce kalite kontrol aşamasında bazı özellikleri TS EN 622-5 standardında ön görülen değerleri karşılaması gerekmektedir (Tablo 13). Zira, bu özelliklerdeki eksiklik kullanım yerinde çeşitli sorunlara sebep olmaktadır.

Tablo 13

Sevke hazır MDF levhaların sahip olması gereken özellikler (TS EN 622-5)

Özellik	Test metodu	Sonuç
Kalınlık toleransı	TS EN 324-1	≤ 6 ± 0.2 mm
		$6 < x \leq 19$ ± 0.2 mm
		> 19 ± 0.3 mm
Uzunluk toleransı	TS EN 324-1	± 2 mm
Genişlik toleransı	TS EN 324-1	± 5 mm
Gönyeden sapma	TS EN 324-1	2 mm/m
Kenar düzgünlüğü	TS EN 324-1	1.5 mm/m
Rutubet miktarı	TS EN 322	%4-9
Yoğunluk farklılığı (bir levha içinde)	TS EN 323	± 7
Formaldehit emisyonu	E1 sınıf TS EN 120	≤ 8 mg/100g tam kuru levha
	E2 sınıf TS EN 717-1	≤ 0.124 mg/m ³ hava

Kuru ortamda ortamlarda kullanılan MDF levhalarının kalınlığına şişme oranı, eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü ile levha yüzeyine dik yönde çekme direncinin (iç yapışma) TS EN 622-5 standardında belirtilen değerleri karşılaması gerekmektedir (Tablo 14).

MDF levhalarının rutubetli ortamlarda kullanılması durumunda sahip olması gereken asgari özellikler Tablo 15'te verilmiştir. Özellikle banyo veya mutfak dolapları gibi rutubete maruz kalan yerlerde kullanılacak genel amaçlı MDF levhaların (MDFH) rutubete dayanıklı MDF sınıfı olduğunda sonradan rutubet kaynaklı kalınlığına şişme/şekil bozukluğu veya üzerindeki ağırlıktan kaynaklı kalıcı bükülme gibi problemlerin önüne geçilebilecektir. Tablo 15'te görüldüğü üzere levhanın fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 14'te verilen kuru ortamlarda kullanılan genel amaçlı MDF levhalardan daha iyidir.

TS EN 622-2, TS EN 622-3 ve TS EN 622-5 standartlarında kuru ve nemli şartlarda yük taşıyıcı olarak belirtilen liflevha tipleri için hem yoğunluğa hem de mekanik özelliklere ait yapısal tasarımlarda kullanılacak karakteristik değerler TS EN 12369-1: "Ahşap esaslı levhalar - Yapısal amaçlı tasarım için karakteristik değerler - Bölüm 1: OSB, Yongalevhalar ve Liflevhalar" standardında yer almaktadır.

Tablo 14

Kuru ortamlarda genel amaçlı kullanımlar için MDF tipi levhaların sahip olması gereken özellikler (Tip: MDF)

Özellik	Deney metodu	Birim	Aranan değerler							
			Kalınlık aralığı (mm)							
			1.8 < ila < 2.5	2.5<ila < 4	4<ila < 6	6<ila < 9	9<ila < 12	12<ila < 19	19<ila < 30	30<ila < 45
Kalınlığına şişme oranı	EN 317	%	45	35	30	17	15	12	10	8
İç yapışma direnci	EN 310	N/mm ²	0.65	0.65	0.65	0.65	0.60	0.55	0.55	0.50
Eğilme direnci	EN 310	N/mm ²	23	23	23	23	22	20	18	17
Eğilmedeki elastikiyet modülü	EN 319	N/mm ²	-	-	2700	2700	2500	2200	2100	1900

Not: Değerler, malzemedeki % 65'lik nispi rutubet ve 20°C sıcaklığa karşılık gelen bir rutubet muhtevası ile karakterize edilmiştir.

Tablo 15

Rutubetli ortamlarda genel amaçlı kullanımlar için MDF tipi levhaların sahip olması gereken özellikler (Tip: MDFH)

Özellik	Deney metodu	Birim	Aranan değerler							
			Kalınlık aralığı (mm)							
			1.8 < ila < 2.5	2.5<ila < 4	4<ila < 6	6<ila < 9	9<ila < 12	12<ila < 19	19<ila < 30	30<ila < 45
Kalınlığına şişme oranı	EN 317	%	35	30	18	12	10	8	7	7
İç yapışma direnci	EN 310	N/mm ²	0.70	0.70	0.70	0.80	0.80	0.75	0.75	0.70
Eğilme direnci	EN 310	N/mm ²	27	27	27	27	26	24	22	17
Eğilmedeki elastikiyet modülü	EN 319	N/mm ²	2700	2700	2700	2700	2500	2400	2300	2200
Kaynatma işleminden sonra iç yapışma direnci	EN 319 EN 1087-1	N/mm ²	0.20	0.20	0.20	0.15	0.15	0.12	0.12	0.10

Not: Değerler, malzemedeki % 65'lik nispi rutubet ve 20°C sıcaklığa karşılık gelen bir rutubet muhtevası ile karakterize edilmiştir.

MDF'nin ağırlık/kalınlık oranı fabrikadan fabrikaya değişme gösterdiğinden sabit bir oran bulunmamaktadır. Ortalama yoğunluğu 750 kg/m³ olan standart MDF'nin kalınlığına bağlı olarak tipik birim alan ağırlığı Tablo 16'da verilmiştir. 750 kg/m³ yoğunluğu olan 18mmx2100mmx2800mm boyutlarındaki bir MDF levhanın ağırlığı ortalama 80 kg'dır.

MDF'nin rutubeti %1 değiştiğinde uzunluğuna yönde %0.03-0.06 çalışırken, kalınlığına yönde ise %0.3-0.5 değişim olmaktadır. Ortam bağıl nemi %30'dan %90'a çıktığında MDF'de %0.3 civarında doğrusal uzama, kalınlıkta ise %6 civarında artış olmaktadır (Ewpaa, 2008). MDF'nin fabrika çıkış rutubeti genellikle %8±3'dür. Oda sıcaklığında ortam bağıl nemine bağlı olarak levha rutubet değişimi Tablo 11.17'de verilmiştir. Rutubet değişimlerinden kaynaklanan problemleri en aza indirmek için levha veya levha parçalarının rutubetini kullanım yeri rutubetine kondisyonlandıktan sonra (kapalı ortamlarda en az 2-3 gün) birleştirme yapılmalıdır.

Levha rutubeti, özellikle tutkal tipi ve miktarına, levha yoğunluğuna ve kalınlığına göre değişiklik göstermektedir. Rutubetli koşullarda MDF'nin uzun süre bekletilmesi, levha yüzeyin pürüzlenmesine ve levha kenarlarının hasar görmesine ve az da olsa uzamasına neden olabilmektedir. Levhalar kullanım yerinde binadaki bağıl nem ve sıcaklığa bağlı olarak rutubet alımı yaparak dengeye ulaşmaya çalışmaktadır.

Günümüzde MDF'ye yongalevha gibi panel tipi mobilyadan ayrıran formaldehit emisyonu giderek önem kazanmaktadır. Levhadan havaya gaz halinde ayrıran formaldehit levha üretiminde kullanılan yapıştırıcıdan kaynaklanmaktadır. Özellikle, mobilya sektöründe MDF levhalarından ayrıran formaldehit insan sağlığı açısından son derece zararlı bir kimyasal olduğundan levhalar formaldehit emisyonu bakımından dört sınıfa ayrılmakta olup, bunlar; Süper E0, E0, E1 ve E2'dir.

Tablo 16

Levha kalınlığına bağlı olarak MDF'nin birim alan ağırlığı

Kalınlık (mm)	Birim alan ağırlığı (kg/m ²)
6.5	5
9	6.3
12	8.4
16	11
19	14

Tablo 17

Ortam bağıl nemine bağlı olarak MDF rutubet değişimi

20 °C'de ortam bağıl nemi (%)	MDF yaklaşık rutubet miktarı (%)
30	5
65	8
85	12

Açıklama notu. Panelguide, 2018, The Wood Panel Industries Federation. Version 4.1, TRADA Technology Ltd, and the National Panel Products Division, UK kaynağından alınmıştır.

Süper E0 levhalar en az formaldehit emisyonuna sahipken E2 tip levhalar en fazla formaldehit emisyonu gerçekleşmekte olup, mobilyanın kapalı ortamda havalandırılmadan beklemesi sonucu keskin bir koku gözlerde ve burunda yanma hissi uyandırmaktadır. Türkiye'de üretilen MDF levhaların TS EN 622-5 standardının da MDF levhalar için ön gördüğü E1 emisyon sınıfındadır. Levhanın kullanım yerindeki çevresel faktörler (bağıl nem ve sıcaklık)

Tablo 18

Çeşitli ülkelerde ahşap esaslı levhaların formaldehit emisyon sınır değerleri

Ülke	Standart	Test metodu	Levha sınıfı	Limit değerler
Avrupa	EN 13986	EN 717-1 EN 120	E1-YL, MDF, OSB	≤ 0.1 ppm ≤ 8 mg/100 g tam kuru levha
		EN 717-1 EN 717-2	E1-PLW	≤ 0.1 ppm ≤ 3.5 mg/(h.m ²)
		EN 717-1 EN 120	E2-YL, MDF, OSB	> 0.1 ppm > 8 ≤ 30 mg/100 g tam kuru levha
		EN 717-1 EN 717-2	E2-PLW	> 0.1 ppm > 3.5 ≤ 8.0 mg/(h.m ²)
Avustralya ve Yeni Zelanda	AS/NZS 1859-1 & 2	AS/NZS 4266.16 (Desikatör)	E0-YL, MDF E1-YL E1-MDF E2-YL, MDF	≤ 0.5 mg/L ≤ 1.5 mg/L ≤ 1.0 mg/L ≤ 4.5 mg/L
ABD	ANSI A 208.1 & 2	ASTM E1333 (Büyük oda)	YL MDF	≤ 0.18 ya da 0.09 ppm ≤ 0.21 ya da 0.11 ppm
Japonya	JIS A 5908 & 5905	JIS A 1460 (Desikatör)	F** F*** "E0" F**** "SE0"	≤ 1.5 mg/L ≤ 0.5 mg/L ≤ 0.3 mg/L

YL: yongalevha; MDF: orta yoğunluklu liflevha; OSB: yönlendirilmiş yongalevha; PLW: kontrplak

Japonya'daki F**sınıfı, aşağı yukarı Avrupa E1 sınıfına eşittir.

F*** ve F****, E1'den çok daha düşük emisyonla sahiptir.

F**** emisyonu, işlenmemiş masif ahşabın emisyonuna yakındır.

Açıklama notu. Salem MZM, Böhm M., 2013, Understanding of formaldehyde emissions from solid wood: An overview. Bioresources 8(3):4775-4790 kaynağından alınmıştır.

formaldehit emisyonunu etkilemektedir. MDF'nin kullanım yerinde sıcaklık ve rutubet yüksek olduğunda daha fazla formaldehit çıkışı olmaktadır. Levha yüzeylerinin kaplanması bu etkiyi minimize etmektedir. Çeşitli ülkelerde ahşap esaslı levhaların formaldehit emisyon sınır değerleri Tablo 18'de verilmiştir (Salem ve Böhm 2013). Özellikle, Japonya'da ticari olarak üretilen levhalar süper E0 kategorisine kadar sınıflandırılmıştır. Ülkemizde kullanılan Türk Standartları (TS), Avrupa standartları (EN) ile uyumlu hale getirilerek EN standartlarının Türkçe tercümesi yapılarak TS EN olarak kullanılmaktadır.

MDF'nin ısı iletkenliği levha kalınlığına bağlı olarak çok az değişse de genel olarak 20 °C'de, 250 kg/m³ MDF için 0.05 W/mK iken, 800 kg/m³ MDF için ise 0.14 W/mK'dır. Su buharı direnci (μ) ise 250 kg/m³ MDF için 2 iken, 800 kg/m³ MDF için ise 20'dir (WPIF 2014). MDF de diğer ahşap malzemeler gibi odunu tahrip eden mantar ve termitler tarafından küflenme ve çürümeye maruz kalabilmektedir. Özellikle, MDF'nin bulunduğu ortamda denge rutubet miktarı %18'in üzerine çıktığında mantar enfeksiyonu olabilmektedir. Böyle ortamlarda koruyucularla (genellikle ağırlıkça %5 boraks, borik asit ve çinko borat) emprenye edilmemiş MDF levhaları kullanılmamalıdır. MDF yüzeylerine koruyucu kimyasalların fırça ile veya silindire uygulanması yüzeysel küflenmenin önüne geçilebilir. MDF'nin yanmaya karşı direnci özellikle hastane, okul gibi mekanlarda önem arz etmektedir. Standart bir MDF'nin yanmaya karşı direnci (minimum 600 kg/m³) TS EN 13986+A1 (2015) standardında "D-s2,d0" olarak belirtilmektedir. MDF'nin yanmaya karşı direncini arttırmak amacıyla her ne kadar patentli kimyasallar kullanılsa da bu kimyasallar (genellikle ağırlıkça %15 üzerinde) çoğunlukla fosfatlı (diamonyum fosfat ve monoamonyum fosfat) ile borlu bileşikler (boraks ve borik asit) içermektedir.

MDF Üretim Teknolojisi

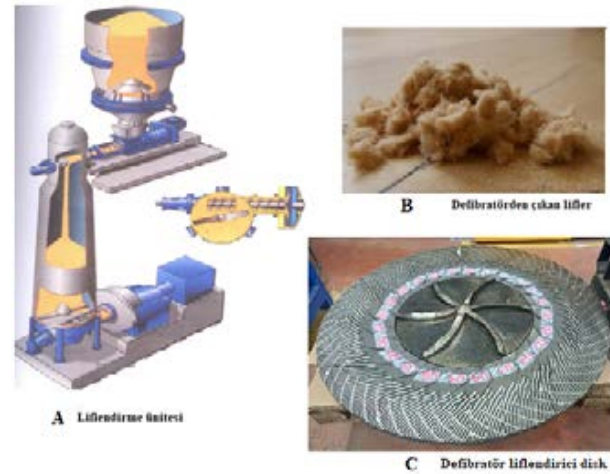
Yaş ve kuru yöntemle liflevha üretim yöntemlerinin hepsinde liflendirmenin sonuna kadar olan işlem aynıdır. Dolayısıyla, günümüzde MDF olarak bilinen liflevha kuru yöntemle üretilmekte olup, liflendirmeye kadar kısımda yaş yöntemle benzer şekilde,

liflendirmeden sonraki kısım ise yongalevha üretimine benzer şekilde havalı veya mekanik serme ile oluşturulmaktadır. Kuru yöntemle MDF üretiminde iş akışı Şekil 11.44'te verilmiştir.

Masonit ve defibratör yöntemleri ticari olarak kullanılmakta olup, defibratör yöntemi en yaygın kullanılan liflendirme tekniğidir. Kuru yöntemle üretilen liflevhayı yongalevhadan en önemli farklılık, liflevha üretiminde defibratör kullanılarak lif eldesidir. Defibratör yönteminin temel prensibi odunun yaklaşık %30'unu oluşturan ligninin 170-180 °C, 7.5-8 bar basınç altında 3-5 dakika süresince yumuşatılarak, yongaların biri sabit diğeri dönen iki disk arasında mekanik olarak liflendirilmesidir. Liflendirme ünitesinin şematik görünümü Şekil 11.45'te verilmiştir.

Şekil 45

A: Liflendirme ünitesi B: Defibratör disk C: Defibratörden çıkan odun lifleri



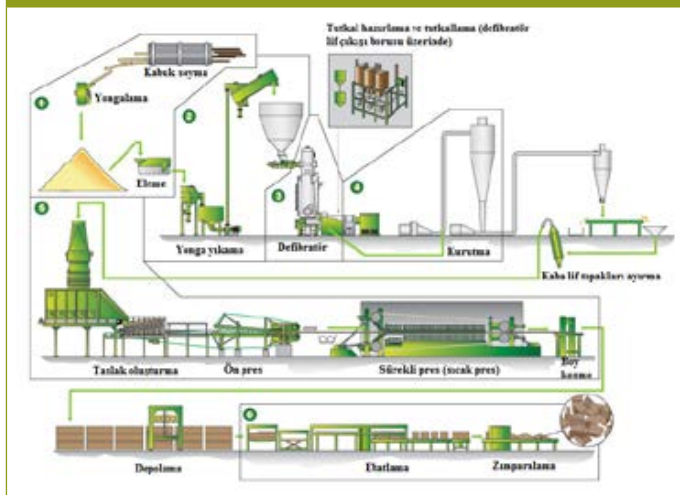
Açıklama notu. A. Barbu MC, Irle M. 2017. Chapter: Wood-based composites. In book: Materials Science and Engineering: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications. IGI global Publisher, Pennsylvania kaynağından alınmıştır.

MDF'nin İstiflenmesi ve Depolanması

Satışa hazır liflevhaların CE belgesi işaretlemesi ve diğer özelliklerinin belirtildiği etiket örneği Şekil 11.46'da verilmiştir. MDF, TS EN 622-5 standardında göre HLS tip performans özelliklerini sağlamaktadır. Üretici firma, CE işaretine sahip MDF'nin (bu örnek

Şekil 44

MDF üretimi iş akışı.



Açıklama notu. Gul W, Khan A, Shakoar A. 2017. Impact of hot pressing temperature on medium density fiberboard (MDF) performance. Advances in Materials Science and Engineering Article ID 4056360 kaynağından alınmıştır.

Şekil 46

Kuru ortamlarda iç kullanım için MDF'nin CE işaretlenmesi

CE	CE logosu
1234 - CPD - 5678	Onaylanmış kuruluş numarası, levhanın direktif kodu, levhanın sertifika numarası
Şirket adı ve adresi	Üreticinin adı ve adresi
02	CE belgesinin alındığı yıl
EN 13986	Harmonize EN standart numarası
MDF 18 mm	MDF tipi ve kalınlığı
E1	Formaldehit emisyon sınıfı
Yangına tepki sınıfı: Sınıf D, s2, d0	Yangına tepki sınıfı

için 18 mm levha) TS EN 13986+A1 (2015)'nin içinde yer alan eşik değerleri aştığını belirtmektedir. Ayrıca, bu MDF levhasının standarda göre yangına tepki sınıflandırmasında "D,s2, d0" olduğu görülmektedir.

Fabrika deposunda satışa hazır MDF istifine parti numarasını ve istifteki levhanın özelliklerini (levha boyutları, TS numarası, formaldehit emisyon sınıfı vb.) belirten barkodlu etiket yapıştırılır (Şekil 11.47). Bu barkod sayesinde, marangoz veya son kullanıcı müşterinin şikayeti olması durumunda parti numarasından levha üretim parametrelerine ulaşarak sorunun nedenleri araştırılabilir.

Şekil 47

Fabrika deposunda barkod numarası verilmiş MDF istifleri



MDF levhalarının dikey istifi yerine yatay yönde istiflenmesi, levhaların kalıcı deformasyon şekil bozukluğu vb. kusurların önüne geçilmesi bakımından önem arz etmektedir. Eğer dikey yönde istif edilmesi gerekiyorsa Şekil 11.48'de gösterildiği gibi yapılmalıdır. İnce MDF levhaları düz bir altlığın üzerine üst üste konulmak suretiyle istiflenmektedir. Farklı kalınlıktaki levhalar bir arada istif edilecekse en kalın olan en alta konmalıdır. MDF istifi toz vb. kirlere korunması için geçici branda ile örtülebilir.

Şekil 48

MDF levhaların doğru ve yanlış istiflenmesi.

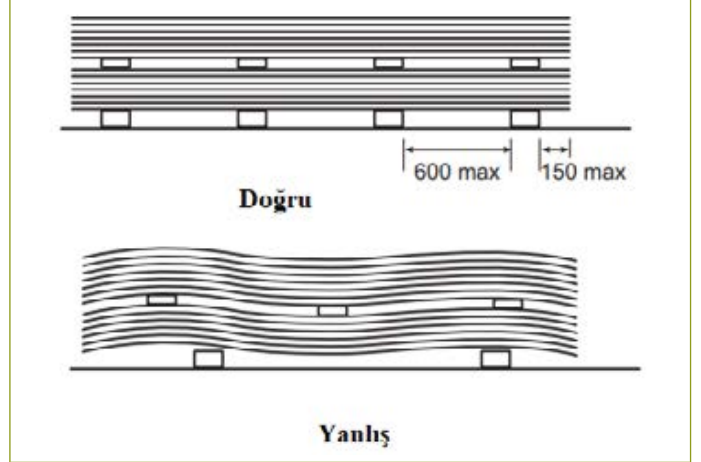


Açıklama notu. Ewpaa. 2008, Facts about particleboard and MDF Engineered Wood Products, the Australian Wood Panels Association Incorporated, Virginia, Australia kaynağından uyarlanmıştır.

İstif içerisinde takozlar hizalı bir şekilde konumlandırılmalıdır (Şekil 49). İstif yeri sıcaklığının 18-24 °C ve bağıl nemin %60-65 olması uygundur. 6 mm ve altındaki levhalar çoğunlukla yığın şeklinde üst üste istif edilmektedir. İstif takozları eşit kalınlıkta olmalı, takozlar arası açıklıklar ise 15 mm ve daha kalın levhalarda 80 cm'i geçmemelidir. İnce levhalarda takozlar arası açıklık levha kalınlığının 50 katından daha fazla olmamalıdır (Ewpaa, 2008). İstifin en üstündeki levha yüzeyinin tozlardan korunması ve

Şekil 49

İstif içerisinde takozların doğru ve yanlış yerleştirilmesi (ölçüler mm'dir)



Açıklama notu. Panelguide. 2018. The Wood Panel Industries Federation. Version 4.1, TRADA Technology Ltd, and the National Panel Products Division, UK Panelguide kaynağından uyarlanmıştır.

rutubetle kamburlaşma vb. problem olmaması için kapak levhası (genelde ikinci kalite levha) ile korunması gerekmektedir. MDF levhaları satışa sunulmadan önce levha yüzeylerine veya kenarlarına üretim bilgileri ve levha sınıfı lazer yazıcı makinesi ile otomatik olarak yazılmaktadır.

MDF istifinin nakliye esnasında su ve rutubet geçirmez bir kaplama ile korunması yararlı olacaktır. Özellikle istif kenarlarının ve köşelerinin forklift ile taşıma esnasında zarar görmemesi için azami dikkat gösterilmelidir. Bu bakımdan istifin düzgün yapılması önem arz etmektedir. İstiflerin çemberlenmesi taşıma esnasında levhaların istifte kaymasına engel olmakta ve istifin zarar görmesini engellemektedir.

Ahşap-Polimer Kompozitleri

Ahşap polimer kompozitleri, ahşap veya diğer lignoselülozik hammaddelerden hazırlanan lif veya partiküllerin yapıştırıcı görevi gören termoplastik veya termoset polimerlerle fiziksel olarak bir araya getirilerek üretilen yeni nesil mühendislik malzemeleridir. Ahşap veya diğer lignoselülozik hammaddelerin ahşap polimer kompozit üretiminde tercih edilmesinin önemli nedenleri çevre dostu, yenilenebilir bir hammadde olması, sentetik liflere kıyasla oldukça ucuz oluşu, dolayısıyla üretim maliyetini ve son ürün fiyatını düşürmesi, doğada bol miktarda bulunması, makinelerle işlenebilir olması ve inorganik dolgularla karşılaştırıldığında üretim esnasında makineleri daha az aşındırması, düşük yoğunluklarına nazaran yüksek mekanik özellikleri ve geri dönüşümünün mümkün olmasıdır. Her ne kadar polimer içerisine kalsit, talk, dolomit vb. inorganik dolgular da katılabilse de ahşabın kullanımı yukarıda bahsedilen üstün özelliklerden dolayı giderek artmaktadır. Ülkemizde ahşap polimer kompozit üreten firmaların sayısı her geçen yıl artmakta olup, tesis sayısı 10'un üzerine çıkmıştır. Ağırlıklı olarak ekstrüzyon yöntemiyle "ahşap kompozit deck" olarak bilinen yer döşemeleri üretilmektedir.

Ahşap lifi veya unu, her ne kadar takviye elemanı olarak en yaygın kullanılan lignoselülozik materyal olsa da kenevir, keten, jüt gibi

Şekil 50

Ahşap polimer kompozit üretiminde kullanılan granüller.

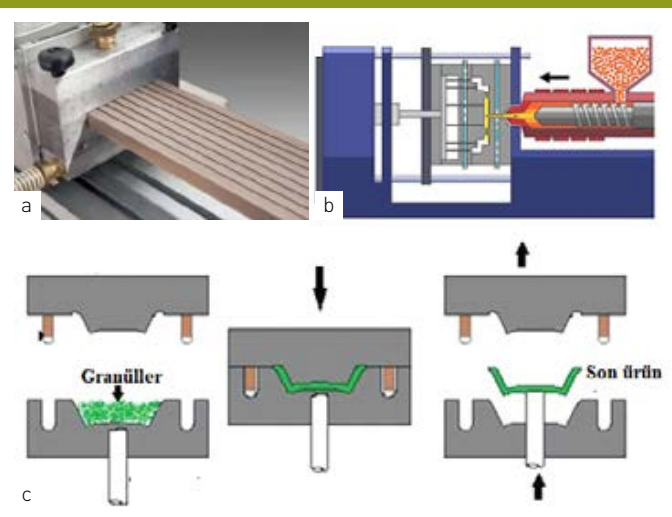


Açıklama notu. Clemons C. 2002. Wood-plastic composites in United States. Forest Product Journal, 52(6):10-18 kaynağından alınmıştır.

doğal lifler de kullanılabilir. Bunlara ilave olarak çeşitli ziraî atıklar da (pirinç çeltiği, ceviz kabuğu, zeytin pirinasi, ayçiçeği sapı vb.) takviye elemanı olarak kullanılabilir. Ahşap unu/ lifi %1 rutubetin altına kadar kurutulduktan sonra polimerler ile karıştırılmalıdır. Ahşap ununu boyutları üretilcek malzeme özellikleri ve üretim yöntemine göre değişmekle birlikte çoğunlukla 150-400 mikron aralıktadır. Ham veya geri dönüşüm termoplastikler ağırlıklı olmak üzere termoset polimerler de matris olarak görev yapmaktadır. Ayrıca, kompozitin özelliklerini iyileştirmek amacıyla çeşitli katkı maddeleri de kullanılmaktadır. Ahşap lifi/ unu ile polimerlerin homojen bir şekilde karıştırılmasında (compounding) farklı sistemler (sıcak-soğuk mikser ve çeşitli ekstruderler) olup, bir ekstrüderde elde edilen peletler Şekil 11.50'de görülmektedir.

Şekil 51

Ahşap polimer kompozit üretim yöntemleri. a. Ekstrüzyon metodu. b. Enjeksiyon metodu. c. Sıcak pres kalıplama metodu.



Açıklama notu. A. WPC Decking Board & Machine. <http://www.extrusionpanel.com/wpc-decking-board-machine/>. b. Injection molding machine. <https://www.zdcpu.com/knowledge-hub/injection-molding-shot-weight/>. c. Birat KC, Pervaiz M, Faruk O, Tjong J, Sain M. 2015. Green composite manufacturing via compression molding and thermoforming. In: Manufacturing of Natural Fibre Reinforced Polymer Composites, Springer International Publishing Switzerland, sayfa 45-63 kaynaklarından alınmıştır.

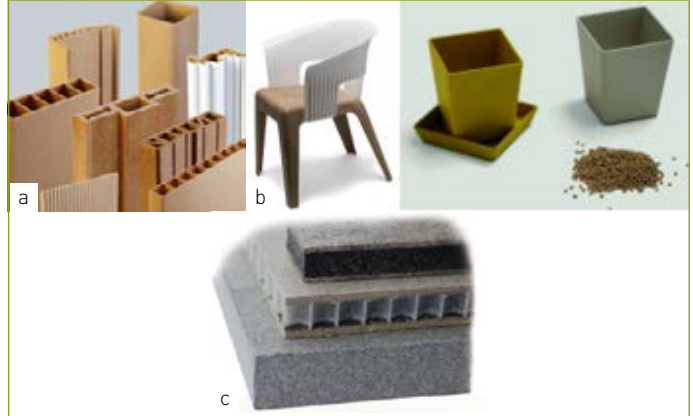
Ahşap polimer kompozit üretiminde kullanılan katkı maddeleri şunlardır: *Uyumlaştırıcı ajan, kaydırıcı (iç ve dış kaydırıcı), UV koruyucu, antioksidan, renk pigmenti, yanmayı geciktiriciler, biositler, stabilizatör, nem alıcı, yoğunluk düşürücü, ve mineral dolgu maddeleri (talk, kalsiyum karbonat, dolomite vb.).* Üretilcek malzemeden istenen özelliklere göre bu katkı maddelerinden arzu edilenler seçilebilmektedir.

Ahşap polimer kompozit üretiminde üç önemli üretim yöntemi olup, bunlar, ekstrüzyon, enjeksiyon ve sıcak presle kalıplamadır (Şekil 11.51). Ekstrüzyon ve sıcak presle kalıplama yöntemlerinde ahşap oranı %70'lere kadar çıkarken, enjeksiyon yönteminde bu oran genellikle %50'dir.

Ekstrüzyon, enjeksiyon ve sıcak pres kalıplama ile üretilen ahşap polimer kompozit örnekleri Şekil 52'de verilmiştir.

Şekil 52

Ahşap polimer kompozitleri. a. Ekstrüzyon yöntemiyle üretilen deck kompozitler. b. Enjeksiyon yöntemiyle üretilen kompozitler. c. Sıcak presle üretilen kompozitler.



Açıklama notu. a. <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/fdz/highlights/wood-plastic-composites.php>. b. Wood for moulding. <https://www.plastix-world.com/wood-for-moulding/>. c. Benthien JT, Ohlmeyer M, Fruhwald A. 2011. Wood plastic composites (WPC) flat pressed and large-dimensioned. Poster article, Department of Wood Science and Technology, Hamburg University, Germany kaynaklarından alınmıştır.

Ahşap polimer kompozit üretiminde yaygın olarak kullanılan petrol türevi veya doğal polimerlerin seçiminde erime sıcaklıklarının ahşabın termal bozunma sıcaklığından (<200 °C) daha düşük olmasına dikkat edilmelidir. Yaygın kullanılan petrol türevi ve biyo-esaslı polimer matrisler aşağıda verilmiştir:

1) Petrokimyasal-esaslı polimer matrisler

- a) Termoplastik (Polipropilen, polietilen, polivinil klorür, polistiren)
- b) Termoset (polyester, epoksi, poliüretan, vinilester, fenolikler)

2) Biyo-esaslı polimer matrisler

- a) PLA (Polilaktik asit)
- b) PHB (Poli-β-hidroksibutirat)
- c) Nişasta
- d) Diğerleri

Şekil 53

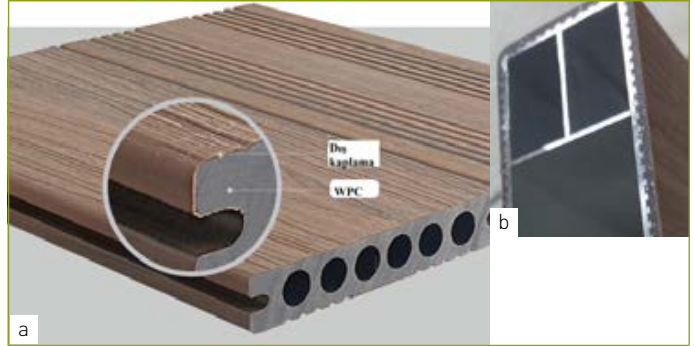
Ahşap polimer kompozit deck birleştirme işlemi.



Açıklama notu. <https://www.exportersindia.com/product-detail/wood-plastic-composite-1258019.html> kaynağından alınmıştır.

Şekil 54

A. Co-ekstrüzyon metoduyla üretilen ahşap polimer kompozit.
B. Alüminyum profile üzerine ahşap polimer kompozit kaplama



Açıklama notu. a. <http://newtechwpc.com/products/wpc-decking/sundi-co-extrusion/> / b. <https://www.therrawood.com/products.php?p=14> kaynaklarından alınmıştır.

Tablo 19

Ahşap/polipropilen kompozitlerin bazı mekanik özellikleri

Özellik	Birim	Polipropilen (PP)	PP + %40 ahşap unu	PP + %40 ahşap unu + %3 MAPP*	PP + % 40 ahşap lifi	PP + % 40 ahşap lifi + %3 MAPP*
Özgül ağırlık		0.90	1.05	1.05	1.03	1.03
Çekme direnci	MPa	28.5	25.4	32.3	28.2	52.3
Çekme modülü	GPa	1.53	3.87	4.10	4.20	4.23
Eğilme direnci	MPa	38.30	44.20	53.10	47.90	72.40
Eğilme modülü	GPa	1.19	3.03	3.08	3.25	3.22

*MAPP: Maleik anhidrit polipropilen. (Uyumlaştırıcı)

Açıklama notu. Stark NM, Rowlands RE., 2003, Effects of wood fiber characteristics on mechanical properties of wood/polypropylene composites. Wood Fiber Science, 35(2):167-174 kaynağından alınmıştır.

Ahşap polimer kompozitler, kendisini oluşturan bileşenlerden odunun yukarıda belirtilen avantajlar ile polimerlerin rutubete karşı yüksek direnci ve biyolojik dayanımları gibi üstün özelliklerin bir araya getirildiği malzemelerdir. Ahşap polimer kompozitler masif ahşap gibi bakım gerektirmemesi, farklı renklerde ve desenlerde üretilmesi kullanımını cazip kılmaktadır.

Ahşap polimer kompozitleri çok çeşitli alanlarda kullanılmakta olup, bunlar arasında otomotiv iç aksamaları, yer döşemesi, dış cephe kaplaması, çit, kapı kasası ve kapı, mobilya endüstrisi, palet üretimi sayılabilir. Ahşap polimer kompozitler, özellikle enjeksiyon yöntemiyle karmaşık şekilli plastik ürünlere alternatif olarak üretilmektedir. En yaygın kullanım yeri olan yer döşeme (deck) uygulamalarında montajın basit ve hızlı olması da avantaj sağlamaktadır (Şekil 53).

Günümüzde co-ekstrüzyon yöntemi ile üretilen ahşap polimer kompozitlerin kullanımı giderek artmaktadır (Şekil 5A). Bu yöntemde dış katmanda plastik oranı yüksek (örneğin %70 plastik+%30 ahşap) kullanılmak suretiyle temizlik ürünleriyle temizlemede deterjan ve kimyasallara karşı plastik dayanıklılık sağlarken, alt katmanda ise ahşap oranı yüksek olmaktadır (%60-70 kadar). Böylece, geleneksel ahşap polimer kompozitlerle karşılaştırıldığında ahşap oranının dış katmanda daha az olmasıyla ürünün dış tabakasının kimyasallara (asit ve bazlar) ve suya karşı

direnci artmakta, biyolojik dayanıklılığı daha iyi olmaktadır. Ayrıca, ürün yüzeyine ahşap tekstürü de verilebilmektedir. Ahşap polimer kompozitler son zamanlarda alüminyum gibi metal yüzeylere kaplanmak suretiyle binalarda ahşap görünümlü dış cephe kaplaması olarak bakım gerektirmeden kullanılabilir (Şekil 54).

Farklı formülasyonlara sahip tipik ahşap polimer kompozitlerin bazı mekanik özellikleri Tablo 11.19'da verilmiştir. Ahşap lifi ile üretilen kompozitler ahşap unu ile üretilen kompozitlerden daha iyi mekanik özellikler göstermektedir.

Ahşap polimer kompozitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan standart metotlar TS EN 15534-1 2014+A1 standardında toplanmıştır. Farklı tipteki ahşap polimer kompozitlerin sahip olması gereken özellikler ise (deck profiller ve karolar, kaplama profilleri ve karolar, çit profilleri ve elemanları) TS EN 15534-4, 5 ve 6 standart serisinde belirtilmektedir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Declaration of Interests: The authors declares that there are no competing interests

Kaynaklar

- Alpi endüstri kataloğu. *Alpi Hakkında*. <https://www.alpikaplama.com/products/urunler.html>. [02.03.2023].
- Alvur, F. (2001). *Yonlendirilmiş yonga levhaların üretimi özellikleri ve kullanım yerleri üzerine araştırmalar*. [Yüksek Lisans tezi], Fen Bilimleri, Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Akbulut T. (1998). Çeşitli üretim değişkenlerinin yongalevhanın teknolojik özellikleri üzerine etkisi. *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, 48(1):91-116.
- Akbulut T, Göker Y, Ayrılmış N. (2002). OSB levhalarının kontrplak yerine kullanılması. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 52(1):65-80
- Akbulut T, Ayrılmış N. (2001). MDF üretiminde dikkate alınması gereken hususlar. İstanbul Üniversitesi, *Orman Fakültesi Dergisi, Seri B*, 51(2):25-42.
- Akkuş M, Akbulut T, Candan Z. (2019). Application of electrostatic powder coating on wood composite panels using a cooling method. Part 1: Investigation of water intake, abrasion, scratch resistance, and adhesion strength. *BioResources* 14(4), 9557-9574. [Crossref]
- Akkuş M, Akbulut T, Candan Z. (2022). Formaldehyde emission, combustion behavior, and artificial weathering characteristics of electrostatic powder coated wood composite panels. *Wood Material Science & Engineering*, 17:6, 540-550. [Crossref]
- APA & The Engineered Wood Association. (2017). *GLULAM: Product guide*. Tacoma, WA, USA.
- APA & The Engineered Wood Association. (2022a). *Overview of Engineered Wood Products*. Tacoma, WA, USA.
- APA & The Engineered Wood Association. (2022b). *Plywood: The Original Engineered Wood Product*. Tacoma, WA, USA.
- AS/NZS 2272. (2006). *Plywood-Marine, Standards Australia/Standards*. New Zealand.
- APA OSB kataloğu (2023). *Oriented strandboard (OSB)*. APA - The Engineered Wood Association. <https://www.performancepanels.com/>.
- ASTM D907-15. (2016). *Standard Terminology of Adhesives*. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D5456. (2021) *Standard Specifications for Evaluation of Structural Composite Lumber Products*, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- Ayrılmış N. (2000). *MDF'nin teknolojik özellikleri üzerine ağaç türünün etkisi*. [Yüksek Lisans Tezi], Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Ayrılmış N. (2007). Effect of panel density on dimensional stability of medium and high density fiberboards. *Journal of Materials Science*, 42:8551-8557. [Crossref]
- Ayrılmış N, Ashori AR. (2015). Chapter 3: Alternative solutions for reinforcement of thermoplastic composites. In: *Natural Fiber Composites* (Ed: Campilho, R.), CRC Press, Boca Raton, USA, P.65-92. [Crossref]
- Guangdong Banging Company. *WPC Ürün kataloğu*, China. <http://newtechwpc.com/products/wpc-decking/sundi-co-extrusion/>. [20.06.2024]
- Ayrılmış N, Candan Z, White R. (2007). Physical, mechanical, and fire properties of oriented strandboard with fire retardant treated veneers. *Holz als Roh und Werkstoff*, 65:449-458. [Crossref]
- Barbu M.C., Irle M. (2017). Chapter: Wood-based composites. In book: *Materials Science and Engineering: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*. IGI global Publisher, Pennsylvania, USA. [Crossref]
- Benthien JT, Ohlmeyer M, and Fruhwald A. (2011). Wood plastic composites (WPC) flat pressed and large-dimensioned. Poster article, *Department of Wood Science and Technology*, Hamburg University, Germany.
- Betonwood endüstri kataloğu. *Cement bonded particleboard brochure*. Betonwood company, Fiorentino (FI) - Italy. <https://www.betonwood.com/eng/index.html>. [03.07.2022].
- Betonwood endüstri kataloğu. Photo gallery of our products and their applications. Betonwood company, Fiorentino (FI) - Italy. <https://www.cementbondedparticleboard.com/gallery-cement-bonded-particle-boards.html> [03.07.2022].
- Binderholz endüstri kataloğu. Glulam glt ceiling elements. https://www.binderholz.com/fileadmin/user_upload/books/en/glulam_glt_ceiling_elements/files/assets/common/downloads/Glulam%20GLT%20ceiling%20Elements.pdf. [02.03.2023]
- Birat KC, Pervaiz M, Faruk O, Tjong J, Sain M. 2015. Green composite manufacturing via compression molding and thermoforming. In: *Manufacturing of Natural Fibre Reinforced Polymer Composites*, Springer International Publishing Switzerland, sayfa 45-63. [Crossref]
- BS 1088. (2018). *Marine plywood - Requirements*. British Standard Institute, UK.
- Candan, Z. (2020, Ekim 10). 23. *İntermob Uluslararası Mobilya Yan Sanayi, Aksesuarları, Orman Ürünleri ve Ahşap Teknolojisi Fuarı*. Reed Tüyap.
- Canadian Wood Council. (202). *Innovative applications of engineered Wood*, pp. 24. Ontario, Canada. https://cwc.ca/en/case_study/innovative-applications-of-engineered-wood/
- Candan Z. (2012). *Ahşap sandviç panel ve laminat parke üretiminde nanopartikül kullanımı ve teknolojik özellikler üzerine etkisi*. [Doktora Tezi], 309 sayfa, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Candan Z, Akbulut T. (2013). Developing environmentally friendly wood composite panels by nanotechnology. *BioResources* 8(3): 3590 - 3598. [Crossref]
- Candan Z, Akbulut T. (2014). Nano-engineered plywood panels: Performance properties. *Composites Part B: Engineering* 64, 2014, 155 - 161. [Crossref]
- Candan Z, Akbulut T. (2015). Physical and mechanical properties of nanoreinforced particleboard composites. *Maderas. Ciencia y tecnología* 17(2): 319 - 334. [Crossref]
- Candan Z, Gardner DJ, Shaler SM. (2016). Dynamic mechanical thermal analysis (DMTA) of cellulose nanofibril/nanoclay/pMDI nanocomposites. *Composites Part B: Engineering* 90: 126 - 132. [Crossref]
- Clemons C. (2002). Wood-plastic composites in United States. *Forest Product Journal*. 2002, 52(6):10-18.
- Columbia Forest Products. Product sheet. <https://www.columbiaforestproducts.com/product/hardwood-veneer/>. [2022, November 21].
- DFWI (2023). *OSB uygulama kataloğu*. DFWI Ghana Limited Şirketi, Accra, Ghana.
- Dieffenbacher endüstri kataloğu. LVL. <https://dieffenbacher.com/en>. [02.03.2023]
- Egger endüstri kataloğu. *Wood-based panels brochure*, Egger company, Austria. https://www.egger.com/get_download/caa407f0-b29f-4041-bf7e-c45aa8f8c75b/Brochure_Thin_Chipboards_en.pdf. [02.04.2024].
- Enzalit kataloğu. *Enzalit*. Ürün kataloğu. Enzi grup, Ankara. <https://www.enzalit.com/>. [16.04.2022]
- European Panel Federation (2022, 5 Mart). *MDF Ürün kataloğu*. European Panel Federation, Brüksel, Belçika.
- Europeanwood endüstri kataloğu. <https://www.europeanwood.org/cn/green-wood-construction/building-technology>. [02.03.2023].
- Ewpaa. (2008). *Facts about particleboard and MDF*. Engineered Wood Products Association of Australasia, Avustralya.
- Fabrik der Zukunft Company Endüstri kataloğu. *Wood plastic composites*. Viyana, Avusturya. <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/fdz/highlights/wood-plastic-composites.php>. [01.06.2024].
- Forest Products Laboratory. (2021). *Wood handbook wood as an engineering material*. General Technical Report FPL-GTR-282. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, USA, pp. 543.
- Glulambeams endüstri kataloğu. <https://glulambeams.co.uk/about-glulam/what-is-glulam>. [02.03.2023].
- Gul W, Khan A, Shakoor A. (2017). Impact of hot pressing temperature on medium density fiberboard (MDF) performance. *Advances in Materials Science and Engineering* [Crossref]
- Haygreen JG, Bowyer J. (1996). *Forest products and wood science: an introduction* [No. Ed. 3]. Iowa State University press.
- Hızıroğlu SS. (2016). *Laminated veneer lumber (LVL) as a construction material*. Oklahoma State University, OK, USA.

Homepillars endüstri kataloğu. <https://homepillars.com>. [18.01.2023].

IS 710. [2010]. *Marine plywood-specifications*. Bureau of Indian Standards, New Delhi.

ISO 16895. [2016]. *Ahşap esaslı levhalar - Kuru yöntemle üretilen liflevhalar*. The International Organization for Standardization, İsviçre.

Karacabeyli E, Douglas B [2013]. *CLT Handbook: Cross-Laminated Timber*. FPInnovations, QC, Canada.

Mallo MFL [2014]. *Awareness, Perceptions And Willingness to Adopt Cross-Laminated Timber In The United States*, Master Thesis, Faculty Of The Graduate School Of The University Of Minnesota.

Metz-Furniere endüstri kataloğu. <http://www.metz-furniere.de/index.html>. [18.06.2023].

Nauticexpo endüstri kataloğu. <https://www.nauticexpo.com/boat-manufacturer/plywood-panel-28739.html>. [02.03.2023].

Panelguide [2018]. *The Wood Panel Industries Federation*. Version 4.1, TRADA Technology Ltd, and the National Panel Products Division, UK. Plastix endüstri kataloğu. Enjeksiyon kalıplama makineleri, İtalya. <https://www.plastix-world.com/wood-for-moulding/> [15.05.2024]

Popescu CM. [2017]. Wood as bio-based building material. *Performance of Bio-Based Building Materials*; Brischke C, Jones D. Eds, 21-96. [Crossref]

Pro Puu Association. <https://puuproffa.fi/?lang=en>. [18.01.2023].

Sauerland Spanplatte kataloğu (2022). *Okal levha genel bilgiler*. Ürün kataloğu. Sauerland Spanplatte.

Shadbolt endüstri kataloğu. <https://shadbolt.co.uk>. [19.06.2023].

Stark NM, Rowlands RE. [2003]. Effects of wood fiber characteristics on mechanical properties of wood/polypropylene composites. *Wood Fiber Science*, 35(2):167-174.

Tepe Betopan [2022]. *Cimentolu yongalevha kataloğu*, Tepe Betopan Yapı Malzemeleri Sanayi ve Ticaret A.Ş., Ankara.

Thoemen H, Irle M, Sernek M. 2010. *Wood-based panels: An introduction for specialists*, Brunel University Press, London.

TS EN 300. [2008]. *Yönlendirilmiş lif levhalar (OSB) - Tarifler, sınıflandırma ve özellikler*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 312. [2012]. *Yonga levhalar - Özellikler*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 316. [2011]. *Odun lifi levhalar - Tanım, sınıflandırma ve semboller*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 622-2. [2006]. *Lif levhalar - Özellikler - Bölüm 2: Sert levhaların özellikleri*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 622-3. [2006]. *Lif levhalar - Özellikler - Bölüm 3: Orta levhaların özellikleri*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 622-5. [2009]. *Liflevhalar - Özellikler - Bölüm 5: Kuru sistem liflevhalar (mdf) için gerekler*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 633. [1999]. *Çimentolu yonga levhalar- Tarif ve sınıflandırma*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 634-1. [1999]. *Çimentolu yonga levhalar- Özellikler- Bölüm 1: Genel özellikler*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 634-2. [2009]. *Çimentolu yonga levhalar - Özellikler - Bölüm 2: Kuru, nemli ve açık hava şartlarında kullanılan normal portland çimentosu (NPC) ile yapılandırılmış yonga levhaların özellikleri*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 635-1. [1995]. *Kontrplak- Yüzey görünüşüne göre sınıflandırma- Bölüm 1: Genel*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 635-2. [2000]. *Kontrplak- Yüzey görünüşüne göre sınıflandırma- Bölüm 3: Sert ağaç*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 635-3. [2000]. *Kontrplak- Yüzey görünüşüne göre sınıflandırma- Bölüm 3: Yumuşak ağaç*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 636 2012+A1. [2015]. *Kontrplak - Özellikler*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1058. [2012]. *Ahşap esaslı levhalar - Karakteristik % 5 alt sınır değerleri ve ortalama karakteristik değerlerin tayini*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1995-1-1. [2009]. *Ahşap yapıların tasarımı - Bölüm 1-1: Genel - Genel kurallar ve binalar için kurallar (Eurocode 5)*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 2128 EN 313-2. [2005]. *Kontrplak - Sınıflandırma ve Terimler - Kısım 2: Terimler*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12369-1. [2005]. *Ahşap esaslı levhalar - Yapısal amaçlı tasarım için karakteristik değerler - Bölüm 1: OSB, Yongalevhalar ve Liflevhalar*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12369-2. [2013]. *Ahşap esaslı levhalar- Yapısal tasarım için karakteristik değerler-Kısım 2: Kontrplak*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12871. [2013]. *Ahşap esaslı levhalar-Çatı, duvar ve yer döşemelerinde kullanılan yük taşıyıcı levhaların performans özelliklerinin tayini*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 13986+A1. [2015]. *Yapılarda kullanılan ahşap esaslı levhalar-Karakteristikler, uygunluğun değerlendirilmesi ve işaretleme*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 14080. [2013]. *Ahşap Yapılar - Tutkallı lamine kereste ve tutkallı masif ahşap - Gereklilikler*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 14279+A1. [2010]. *Soyma tabakalı lamine kereste (LVL) - Tarifler, sınıflandırma ve özellikler*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 14374. [2016]. *Ahşap yapılar - Soyma tabakalı yapısal lamine kereste (LVL) - Gerekler*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 14755. [2008]. *Kalıplanmış yonga levhalar - Özellikler*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 16351. [2021]. *Ahşap yapılar - Çapraz tabakalanmış ahşap levha - Gereklilikler*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 15534-1 2014+A1. [2018]. *Selüloz esaslı malzemelerden ve termoplastiklerden (genellikle ahşap-polimer kompozitler (WPC) veya doğal elyaf kompozitler (NFC) olarak adlandırılır) yapılmış kompozitler - Bölüm 1: Mamullerin ve hamurların özellikleri için deney yöntemleri*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Therra Wood endüstri kataloğu. <https://www.therrawood.com/products.php?p=14>. [04.05.2024].

Xigl şirketi endüstri kataloğu. WPC Decking Board & Machine, Wuxi Ganland Plastic Machinery Co, China. <http://www.extrusionpanel.com/wpc-decking-board-machine/>. [05.06.2024].

Walker JC, Shi S, & Walker JC. [2006]. Wood-based composites: plywood and veneer-based products. Primary wood processing: principles and practice, 391-426.

Yıldırım, M. [2019]. *Nanoselüloz ve Bor Bileşiklerinin Ahşap Kompozit Levhaların Performans Özelliklerine Etkisi*. [Yüksek Lisans Tezi], İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

Yıldırım M, Candan Z. [2021]. Performance properties of particle-board panels modified with nanocellulose/boric acid. *BioResources*, 16(1):1875-1890. [Crossref]

Yıldırım M, Candan Z, Gönültaş O. [2021]. Chemical performance analysis of nanocellulose/boron compounds reinforced hybrid UF resin. *Green Materials*, 1-8.

Yıldırım M, Candan Z, Aksoy B, Dünder T. [2022]. Physico-mechanical properties and formaldehyde emission of plywood panels by lignosulfonate-reinforced urea-formaldehyde adhesive. *Green Materials* pp. 1-10.

YOMSAD. [2021]. *Türkiye yongalevha ve liflevha sektörü raporu*. Yongalevha ve MDF Sanayicileri Derneği, İstanbul.

Zhongde endüstri kataloğu. WPC injection molding machine. China. <https://www.zdcpu.com/knowledge-hub/injection-molding-shot-weight>. [06.06.2024].

BÖLÜM 12

AHŞAP MALZEME İŞLEME TEKNİKLERİ VE ÜST YÜZEY İŞLEMLERİ

Tuncer DİLİK
Ahmet KURTOĞLU

Ahşap Malzeme İşleme Teknikleri ve Üst Yüzey İşlemleri

Woodworking Techniques and Surface Treatments

BÖLÜM HAKKINDA

Ahşap eşya üretiminin temel aşamalarından olan ahşap işleme teknikleri ve üst yüzey işlemleri önemsiz olarak görülebilir. Ancak, ahşap işleme tekniğini bilmek ve yüzey işlemi uygulamak için çok önemli nedenler vardır. Bahse konu bu işlemler, gelişen teknoloji ile birlikte ahşabın yaşam konforu için sunduğu doğallık özelliğinin sürdürülebilir kılınmasının yanı sıra insanlar için sorumlu ve rasyonel kaynak tüketimine yönelik görevlerin yerine getirilmesinde etkin ve önemli roller üstlenmektedir.

Anahtar kelimeler: Ahşap işleme teknikleri, ahşap işleme hataları, ahşap üst yüzey işlemleri, üst yüzey işlemi uygulama hataları.

ABOUT the CHAPTER

Wood processing including surface treatment are considered as basic steps of a typical production of wood products but they are often underrated. It is a known fact that the overall processing of raw material plays a significant role on utilization of the final products within the scope of sustainability. It is also important that effective and efficient use of the resources within the perspective of responsible approach.

Keywords: Woodworking techniques, woodworking failures, wood surface treatments, surface treatment application failures.

Giriş

İnsan hayatının her aşamasına eşlik etmekte olduğu bilinen ahşap malzeme, hem gündelik işlerde hem de estetik olarak hayatın her alanında kullanılırken, sunduğu doğallık ve yaşam konforu ile tercih talebini arttırmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte ahşap işleme teknikleri ve üst yüzey işlemlerinin, ahşabın yaşam konforu için sunduğu doğallık özelliği sürdürülebilir kılınırken, bu sayede insanların sorumlu kaynak tüketimine yönelik kullanım görevi de yerine getirilmiş olmaktadır. Eskiden klasik el aletleri ve makineleri ile el işçiliği ve oymacılığa dayanan ahşap işleme tekniğinin, günümüzde makineleşmenin de etkisiyle birlikte bilgisayar destekli ve otomatik makineler sayesinde kolay uygulanabilir hale gelmiş olduğu, bu nedenle, ahşabın kullanım alanındaki çeşitliliğin ve miktarının çok daha artmış olduğu görülmektedir. Ancak, endüstriyel üretim sistemlerinde ürünün üretilmesinde istenilen şeklin ve ölçünün, gerekli hassasiyette ve yüzey kalitesi yanında, verimlilik ve ekonomik kapasiteye ulaşmak, ürünün kullanım ömrünü uzatmak, çalışanların güvenliğini arttırmak ve çevre zararlarına karşı önlemler almak gibi hususların da öneminin büyük oranda arttığı görülmektedir.

Ahşap Malzeme İşleme Tekniği

Ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin işlenen ana hammadde olarak kullanıldığı orman ürünleri ve mobilya endüstrisinde, gerek yarı mamul ve gerekse son ürün üretiminde, doğrudan veya dolaylı olarak kullanılan malzemelerin işlenmesinde kullanılan, çeşitli şekillerde biçimini değiştirmek, talaşlı-talaşsız olarak ayırmak, birleştirmek, fiziksel ve mekanik özelliklerini değiştirmek, kondüsyonlamak, taşımak vb. gibi işlemlerin bir veya birkaçını, bünyesindeki bir veya daha fazla ünite yardımı ile yerine getiren el ile yarı otomatik veya tam otomatik olarak kumanda edilebilen makineler, ahşap işleme makineleri olarak tanımlanmaktadır.

Ahşap İşleme Makinaları (AİM), takım tezgahları olarak tanımlanan makinaların bir alt grubunu oluşturmakta olup, genel olarak ahşap malzeme üzerindeki etki durumuna göre



CC BY 4.0: Telif hakkı yazarlardadır. Bu kitabın içeriği Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası lisans altında lisanslanmıştır.



Tuncer Dilik¹

Ahmet Kurtoglu²

¹ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Orman Endüstri Makinaları ve İşletme Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

² Emekli Öğretim Üyesi; İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Orman Endüstri Makinaları ve İşletme Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye [2012]; Doğu Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye [2012-2022]

E-posta: tuncerd@iuc.edu.tr

ahmetkurtoglu46@gmail.com

Bu bölümü alıntıla / Cite this chapter as: Dilik, T. Kurtoglu, A. (2024). Ahşap Malzeme İşleme Teknikleri ve Üst Yüzey İşlemleri. T. Akbulut (Ed.), *Ahşap: Doğal ve yenilenebilir mühendislik malzemesi* içinde (s. 230-252) İstanbul: İÜC Üniversite Yayınevi

ashağıdaki gibi sınıflandırılmakta olduğu görülmektedir (Kurtoğlu-Dilik, 2018; Kahveci, 1991; DIN 8800).

- *Yonga çıkaran makineler: Kesme, planyalama, frezeleme, ayırma.*
- *Yonga çıkarmayan makineler: Zımparalama, Soyma, kesme kaplama.*
- *Şekil değiştirme, baskı, kabartma, bükme makineleri.*
- *Birleştirme-Sürme-Tutkallama makineleri: Çivileme, vernikleme, kaplama, yapıştırma (tutkallama).*
- *Kondüsyonlama, Buharlama, Kurutma, Emprenye etme makineleri.*
- *Yardımcı makineler: Taşıma bantları, emme siklonları, bakım aletleri.*

Bunun yanında, çeşitli literatür bilgilerinde ahşap işleme makinelerinin yeteneklerine göre, üniversal makineler, özel amaçlı makineler gibi farklı şekillerde de sınıflandırılabilen olduğu görülmektedir. Örneğin; Ahşap işleme makineleri, makinelerin yaptıkları işlemler ve bu işlemlere bağlı olarak kullanılan kesiciler göz önünde tutularak aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (Kurtoğlu-Dilik, 2018);

- *Kereste ve levha kesme ve ölçülendirme makineleri,*
- *Rendeleme makineleri,*
- *Profil ve şekillendirme makineleri,*
- *Tornalama makineleri,*
- *Delme makineleri,*
- *Köşe birleştirme makineleri,*
- *Kaplama hazırlama makineleri,*
- *Tutkallama makineleri,*
- *Presler,*
- *Kenar kaplama makineleri,*
- *Zımpara makineleri,*
- *Üst yüzey hazırlama ve yüzey işleme makineleri.*

Bu çalışmada, genel olarak ahşap malzemelerin en çok kullanım alanı bulunduğu, mobilya, yapı ve iç dekorasyon elemanları üretiminde kullanılan makineler esasında ahşap işleme tekniği incelenmektedir.

Günümüzde, bu alanda makinelerin üretim teknolojilerinin hızla gelişmekte oldukları görülmekte olup, bu gelişmede ahşap işleme makineleri sanayide önemli bir paya sahip bulunmaktadır. Zira, üretim sisteminin yapısı ve verimliliği, önemli ölçüde sistemde yer alan makinelerin teknolojik gelişmişliğine ve işleme tekniğine bağlıdır. Tüm makinelerde olduğu gibi ahşap işleme makinelerinde de aranan koşullar, işleme koşullarının kolay değiştirilebilmesi (esneklik) ile istenen kalite standartlarında kalite sürekliliğinin sağlanarak, yüksek çıktı oranı ve minimum maliyetle üretimi gerçekleştirilmesidir. Bu koşulları en iyi şekilde gerçekleştiren sistem ise otomasyondur. Birçok durumda mekanizasyon ile karıştırılan otomasyon, makinenin enerji ve bilgi girişlerine göre ayırt edilebilir. Buna göre, mekanizasyon enerji, otomasyon ise bilgi faktörüne bağlıdır (Kurtoğlu-Dilik, 2020a; Kurtoğlu-Dilik, 2018; Kurtoğlu, 2001; İlhan, R. vd., 1990).

Ahşap işlemede yüzey durumunu ve makine hassasiyetini iyileştirmek ve uygun kalitede yüzey elde etmek için değişik yöntemler uygulanmaktadır. Bu kapsamda, önceliğin ahşap işleme tekniği konusunda da bilgi sahibi olunmasından geçtiği görülmektedir.

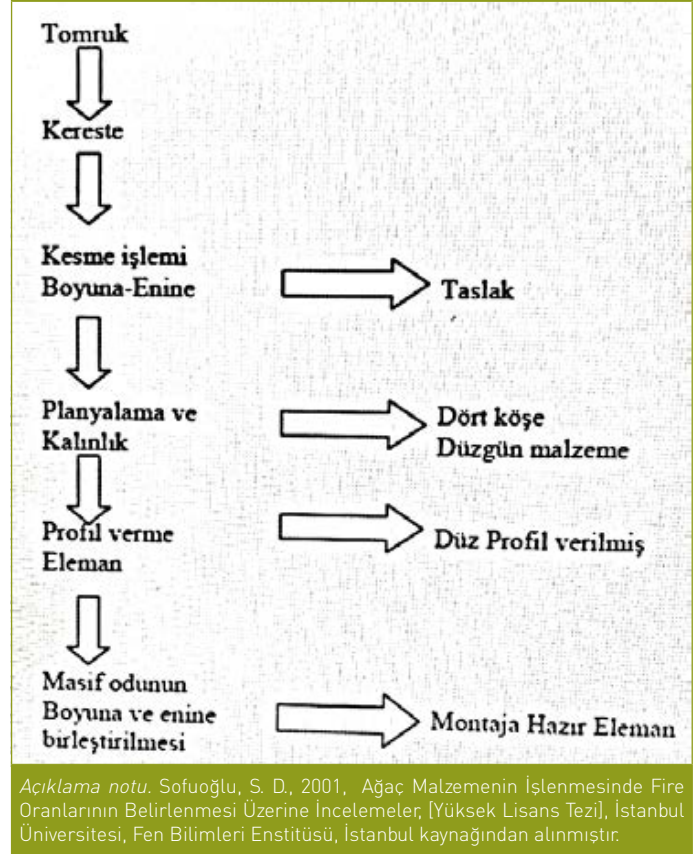
Bilindiği gibi, üretilen ürünün yüzey kalitesi geniş ölçüde işleme teknolojisine bağlıdır. Bu nedenle, bu çalışmada ahşap işleme tekniği ile birlikte, özellikle ahşap yüzeylerde uygulanan temel işleme teknikleri hakkında genel bilgiler verilmiştir.

12.1.1. Ahşap İşlemede Temel İşlemler

Genellikle masif ağaç malzemenin işlenmesinde, tomruktan son ürünün elde edilmesine kadar olan tüm üretimler Şekil 1’de gösterildiği gibi bir iş akışında gerçekleşmektedir.

Şekil 1

Masif ağaç malzemenin biçme ve işlenmesinde iş safhaları



Ahşap kökenli malzeme yüzeylerinin daha sonraki kullanım amacına uygun olarak, düzgün bir yüzey elde etmek amacıyla yüksek hızda çalışan ahşap işleme makineleri ve aletleri ile işlenmesi hususundaki bilgiler, ağaç malzeme işleme teknolojisinin konusunu oluşturmaktadır. Ahşap kökenli malzemelerin işlenmesi denilince, genellikle planyalama, frezeleme, tornalama, lamba ve zıvana açma, delme ve zımparalamayı kapsayan temel işlemler anlaşılmaktadır (Kurtoğlu-Dilik, 2020a; Kurtoğlu-Dilik, 2018; Sofuoğlu-Kurtoğlu, 2013; Kurtoğlu, 2001; Sofuoğlu, 2001). Ahşap malzeme yüzeyindeki bu temel işleme tekniklerini kısaca tanımlamak gerekirse;

Planyalama: Biçme işleminden sonra her türlü düz yüzeye sahip kullanım amaçları için ahşap malzeme yüzeyinin düzeltilmesini sağlayan işleme faaliyetleri olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2). Daha çok masif ağaç malzemede uygulanmakta olan bu işleme tekniğinde, kaba planyalama ve son planyalama olmak üzere iki çeşit planyalama söz konusudur.

Şekil 2

Planyalama işlemi ve planya makinesi örneği.



Tornalama: Masif ahşap işleme faaliyetlerinden en eski işleme tekniği olarak tanımlayabileceğimiz tornalama işlemi, kendi eksenini etrafında dönen iş parçası üzerinde kesici takım kullanımı esasına dayanmaktadır (Şekil 3). Doğrusal düzlemde hareket eden bir kesici takım ile iş parçası üzerinden talaş kaldırılmasıyla yapılan tornalama işleminde tek uçlu takım kullanılarak iş parçasına yuvarlak ve silindirik formlar kazandırılmaktadır. Tornalama ile özellikle çeşitli mobilya elemanları, araç gereç kabzaları, makara, bobin, spor eşyaları, oyuncak vs. üretimindeki işlemler yapılmaktadır.

Şekil 3

Tornalama işlemi ve torna makinesi örneği.



Delme: Bu temel işlemler ile genellikle, mobilya ve doğramacılıkta vida, kavala ve ağaç çivilerin kullanılması için gerekli olan deliklerin açılmasında faydalanılmaktadır. Bu amaçla, günümüzde tek milli, el itmeli delme makinaları kullanıldığı gibi önceden belirlenen derinlik ve açılarda, aynı zamanda çok sayıda delme işlemi yapabilen delme otomatları da kullanılmaktadır (Şekil 4).

Şekil 4

Delme işlemi ve delik delme makinesi örneği.



Frezeleme (şekil verme): Bir iş parçası üzerinde talaş kaldırma yöntemi olarak kullanılan bir işleme tekniği şeklinde tanımlanan frezeleme, kendi eksenini etrafında dönen bir kesici takımdır ve freze tezgahları üzerinde yapılır (Şekil 5). Frezeleme, kesme hareketi sebebiyle takımın kendi çevresi etrafında dönmesi ve parçaların

ileriye doğru bir hareket yapması sonucunda gerçekleşen işlem olarak tanımlanmakta olup, frezelerin takımın sabitlendiği mile göre isimlendirildikleri görülmektedir. Buna göre, milin bulunduğu konum yatay olan frezelere yatay freze, dikey olanlara ise dikey freze denilmektedir. Bununla birlikte, hem yatay olan hem de dikey olarak çalışan frezelere universal tezgah isminin verildiği görülmektedir.

Şekil 5

Frezeleme işlemi ve freze makinesi örneği.



Lamba-Zivana Açma: Geçmişten günümüze ahşap malzeme konstrüksiyonlarının birleştirilmesinde yoğun olarak kullanılmakta olan lamba ve zivanalar, önceleri sadece el aletleri ile yapılıırken günümüzde bunları çok hızlı ve hassas bir şekilde yapan makineler (lamba zivana açma makinesi) geliştirilmiş bulunmaktadır (Şekil 6).

Şekil 6

Lamba-Zivana işlemi ve zivana açma makinesi örneği.



Zımparalama: Genel olarak işlenecek pürüzlü yüzeyleri düzgün ve pürüzsüz hale getirmek için uygulanan zımparalama işlemi, mobilya ve yapı elemanlarının tamamlanmasında yüzeydeki bıçak izlerinin kaldırılması ile boyama, vernikleme vb. diğer üst yüzey işlemlerinin uygulanması için yüzeyin hazırlanmasında kullanılan bir iş kademesi olarak ta tanımlanabilmektedir. Ayrıca, mobilyaların tamamlanmış bazı parçalarındaki hafif uyumsuzlukları (kapı-kapak veya çekmecenin yüz ve kenarlarında yapıldığı gibi) gidermek için de uygulanmaktadır. Zımpara makineleri; 1/4 büyük ve dış büyük olacak şekilde farklı teknolojilerle üretilmiş özelliklere sahip olanları da mevcut olmakla birlikte, günümüzde bant zımpara makinesi, kalibre zımpara makinesi, disk zımpara makinesi, polisaj zımpara makinesi, fırça zımpara makinesi, titreşimli zımpara makinesi gibi farklı işlevlere sahip olan çok sayıda birbirinden farklı zımpara makinesi bulunmakta ve kullanılmaktadır (Şekil 7).

Ahşap işlemede temel işlemler olarak açıklanan bu işleme faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi için özellikle ağaç malzemedeki; kesiş çeşitleri, kesişin oluşumu ve bıçak açıları ile kesiş etkileyen

Şekil 6

Lamba-Zivana işlemi ve zivana açma makinesi örneği.



faktörlerin bilinmesinde yarar bulunmaktadır (Kurtoğlu-Dilik, 2018; Sofuoğlu-Kurtoğlu, 2013). Ancak, ağaç malzemenin kusursuz bir şekilde işlenebilmesinde, odunun öncelikle büyüme özelliklerinin göz önünde tutulması gerekmektedir.

Daha önce de belirtildiği gibi, ağaç malzemenin farklı yönlerde işlenmesinde değişiklikler bulunmakta olup, bunda rutubet miktarı, direnç, elastikiyet vb. ile özgül ağırlık, birim mesafedeki yıllık halka sayısı, yaz odunu katılım oranı, çapraz liflilik gibi özelliklerin etkisi büyüktür. Örneğin, liflere paralel yönde, liflere dik yöne göre %40 daha kolay işleme sağlanabilmektedir (Kurtoğlu, 2001). Masif ahşap malzemenin işlenmesinde üç esas kesiş yönü geçerli olup, bunlar Tablo 1’de gösterilmektedir. Ancak, literatürde lif yönlerine göre ağaç malzemenin işlenmesinin Şekil 8’de şematik olarak gösterildiği gibi 5 gruba ayrılarak tanımlandığı görülmektedir (Kurtoğlu-Dilik, 2020a; Kurtoğlu-Dilik, 2018; Sofuoğlu-Kurtoğlu, 2014; Sofuoğlu, 2001; Blankenstein, 1962; Refa-Mappe, 1979).

Tablo 1

Ağaç malzemenin işlenmesindeki esas kesiş yönleri.

Esas kesiş yönü (Alan)	Lif yönüne göre hareket yönünün durumu	Lif yönüne göre bıçağın durumu
A- Alın kesiş	90°	90°
B- Boyuna kesiş	0°	90°
C- Enine kesiş	90°	0°

Ahşap malzemenin işlenmesinde lif yönüne göre kesiş çeşitlerinin özelliklerini kısaca açıklamak gerekirse;

1. Liflere paralel kesiş (Boyuna yönde kesiş): Bu çeşit işlemede, kolay ve düzgün kesiş yüzeyi elde edilmektedir (Şekil8 a).

2. Liflerle aynı yönde kesiş (Yukarıya kesiş): Bu işlemede, kesiş yönü kesiş yüzeyi boyunca, fakat lifler kesiş hareketinin yönüne paralel olmayıp aşağıdan yukarı kesiş hareketi yönündedir. İşlemede, kolay ve düzgün kesiş yüzeyi elde edilmektedir (Şekil8 b).

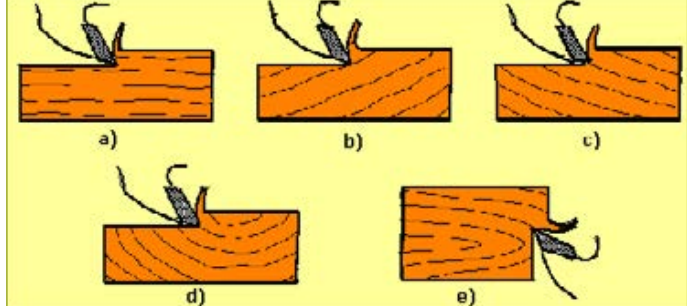
3. Liflere karşı kesiş (Aşağıya kesiş): Bu işlemede ise kesiş yönü kesiş yüzeyi boyunca, yalnız lifler kesiş hareketinin yönünde olmayıp, yukarıdan aşağıya kesiş hareketine karşı yöndedir. Kesiş direnci yüksek malzemede, yırtılma veya lif kopmaları görülmektedir (Şekil8 c).

4. Enine kesiş (liflere dik yönde kesiş): Bu kesişte lifler kesiş yönüne dik, işleme kolay fakat kolaylıkla pürüzlü yüzey oluşmaktadır (Şekil8 d).

5. Alın işlemesi: İşlem enine kesitte ve kesiş yönü liflere 90o lik bir açı ile olmaktadır. İşleme zordur. Genellikle yüzeyler düzgün, kesiş sonuna doğru köşe veya kenarlarda önlemler alınmazsa lif kopmaları ile karşılaşmaktadır (Şekil8 e).

Şekil 8

Ağaç malzemede lif yönlerine göre kesiş çeşitleri



Açıklama notu. Blankenstein, 1962, Holz Technisches Taschenbuch, Carl Hanser Verlag, München kaynağından alınmıştır.

Ahşap İşleme Kalitesinde Etkili Faktörler

Ahşap malzemenin amaca uygun bir şekilde işlenebilmesini sağlamak için gerekli koşulları ve etkili faktörleri Tablo 2’de de görüleceği gibi 3 ana grup altında toplamak mümkündür (Kurtoğlu-Dilik, 2018; Sofuoğlu-Kurtoğlu, 2014; Sofuoğlu, 2008; Kurtoğlu, 2001).

Tablo 2

Ahşap işleme kalitesinde etkili koşullar ve faktörler

Uygun işleme için gerekli koşullar	İşleme kalitesini etkileyen faktörler
1- Ağaç malzeme ile ilgili özellikler (Hammadde odunun seçimi ve özellikleri)	a- Rutubet miktarı b- Özgül ağırlığı c- Büyüme hızı, yıllık halka genişliği ve yaz odunu katılım oranı d- Odun kusurları (çapraz liflilik, reaksiyon odunu vb. gibi sahip olduğu kusur içeriği)
2- Makine ve Kesme Aletlerinin Mekanik Durumu	a- Bıçak türü b- Bıçak keskinliği c- Bıçakların bıçak başlığına yerleştirilmesi d- Makinelerin mekanik durumu ve bakımı
3- Makinelerin Ayarlanması ve Çalıştırılması	a- Kesiş açısı b- Kesiş derinliği c- Kesiş hızı (makinenin bıçak başlığı hızı) d- Malzemeyi itme hızı (besleme hızı)

İşleme kalitesinde etkili olan bu koşulları ve faktörleri kısaca açıklamak gerekirse;

1. Ağaç Malzeme İle İlgili Özellikleri

Ahşabın yüzey işleme kalitesini etkileyen hammadde odunun seçimi ve sahip oldukları özellikler aşağıdaki gibi açıklanabilir.

a. Odun rutubeti: Bilindiği gibi rutubet değişimlerinde ahşap malzemenin çalışarak boyutlarında daralma ve genişleme şeklinde değişim olmaktadır. Rutubetteki küçük değişiklikler bile yüzey geometrisinin değişmesinde etkiye sahip bulunmakta olup, sonuçta yüzey düzgünlüğünü ve yüzeydeki pürüzlülüğü etkileyerek işleme kalitesini etkilemektedir. Genellikle düşük odun rutubetinde, yüksek odun rutubetine göre daha iyi işleme ve yüzey kalitesi elde edilmektedir. Odun yüksek rutubet içerdiği zaman işlendiğinde ise genellikle çok fazla kalkık liflilik, pürüzlü liflilik ve yongalı liflilik gibi işleme kusurları oluşabilmektedir. Araştırmalarda, ortalama

olarak %6 rutubetindeki bir masifin %12'ye göre %25 daha hatasız işlenebilirken, %20 rutubetindeki masife göre ise %50'nin üstünde daha hatasız işlenebildiği belirtilmektedir.

b. Özgül ağırlık: Odunun işlenme özellikleri özgül ağırlıkla değişmektedir. Genel olarak ağır odunların hafif odunlara göre daha iyi işlenebilmekte olduğu ve daha düzgün yüzey verdiği söylenebilir. Diğer taraftan, ortalama yıllık halka genişliği ve birim mesafedeki yıllık halka sayısının yumuşak ağaçların kalitesinin belirlenmesinde bir gösterge olabileceği gibi, özgül ağırlıkla beraber mekanik ve işlenme özellikleri üzerinde önemli derecede etkili olduğu yapılan araştırma sonuçlarında belirtilmektedir.

c. Büyüme hızı, yıllık halka genişliği ve yaz odunu katılım oranı: Büyüme özellikleri, odunun enine kesitinde boyuna kesitine göre daha belirgin olup, etkisi özgül ağırlıktan daha önemli bulunmaktadır. Örneğin, yıllık halka genişliğinin işlenme özelliklerine olan etkisi dağınık traheli sert ağaçlarda (Akçaağaç ve Huş vb. gibi) daha düşük bulunduğu görülmektedir.

d. Odun kusurları: Reaksiyon odunu, eğri büyüme, lif kıvrıklığı gibi doğal kusurların ağaç malzemenin makineyle işlenme güçlüğünü artıran önemli faktörlerden birisi olduğu ve bunlardan özellikle çapraz lifliliğin ön plana çıktığı görülmektedir. Ancak, hemen her kereste (masif ahşap) parçası az veya çok çapraz liflilik içermekte olup, çapraz lifliliğin az olduğu durumlar işlemede önemli olmadığı kabul edilse de belirgin olması halinde yüzey kalitesi ile birlikte üst yüzey işlemlerinde oldukça olumsuz etkilerinin olduğu yapılan araştırmalar ile ortaya konulmuştur. Bu nedenle, odun kusurlarının işlemede göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

2. Makine ve Kesme Aletlerinin Mekanik Durumu

İyi bir işleme kalitesine ulaşmada etkili olan; Kesicilerin dengeli olarak yerleştirilmesi, bıçak seçimine özen gösterilmesi, bıçakların sürekli olarak keskin bulundurulması, kullanım ömrü biten veya tahrip olan parçalarının zamanında değiştirilmesi ve bakımlarının zamanında yapılması gibi faktörler makine ve kesme aletlerinin mekanik durumu olarak açıklanmaktadır. Bu faktörler kısaca açıklanacak olursa;

a. Bıçak türü: Uygulamada uzun süre keskin kalması nedeniyle, daha çok ucu sertleştirilmiş, sert metal bıçaklar tercih edilmekte olduğu, daha sonra sırasıyla yüksek hız çeliği ve karbon çelik bıçakların gelmekte olduğu görülmektedir. Bu nedenle, işlenecek malzemeye göre uygun kesiciler seçilmesi önemlidir.

b. Bıçak keskinliği: Keskin bıçaklar ile işlemede daha iyi yüzey kalitelerinin elde edilebildiği, keskin olmayan kesicilerin olumsuz etkisinin, özellikle hafif ve yumuşak odunlardaki kesişlerden sonra ortaya çıkan yüzey kalitesine bakarak açıkça söylenebilir.

c. Bıçakların bıçak başlığına yerleştirilmesi: Bıçaklar bilindikten sonra bıçak başlığına yerleştirilirken, bütün bıçakların kesişe katılmasını sağlamak ve aynı kesiş dairesine getirilmesinin yüzey kalitesi üzerindeki önemi yapılan araştırmalar ile ortaya çıkarılmış olduğu görülmektedir.

d. Makinelerin mekanik durumu ve bakımı: Makine ve elemanlarının mekanik durumu, onların kullanılma sürelerinden daha önemli olup, işleme kalitesini doğrudan etkilemektedir. Zira,

dikkatli kullanılmayan yeni bir makinenin veriminin düşmekte olduğu, iyi kullanılan ve bakımı yeterli olan eski makineden da en iyi şekilde yararlanılabilmekte olduğu açıkça bilinmektedir.

3. Makinelerin Ayarlanması ve Çalıştırılması

Ahşap malzemenin amaca uygun bir şekilde işlenebilmesi için gerekli ana koşullardan birisi de makinelerin ve kesicilerin uygun bir şekilde ayarlanması ve ehliyetli bir şekilde kullanılmasıdır. Bu amaçla, farklı yapıdaki ahşap malzemelerin işlenme durumlarına göre uygun makinaların konstrüksiyonu ve çalıştırılmasıyla kesiş açısı, kesiş derinliği, bıçak başlığı hızı, itme hızı ve birim mesafedeki bıçak izi sayısının düzenlenmesi gerekmektedir. İlgili hususlar kısaca açıklanacak olursa;

a. Kesiş açısı: Bıçağın üst yüzeyi ile radyal çizgi arasındaki açı olup, kesiş açısının yüzey kesiş kalitesi üzerindeki etkisi ağaç türleri arasında farklı önemde bulunmaktadır. Örneğin, Davis (1962)'ye göre meşeler farklı kesiş açılarında da iyi bir şekilde planlanabilmektedir. Bazı ağaç türlerinde ise en uygun kesiş açısının türlerin değişmesi ile kısa süre aralıklarında değiştirilmesi ekonomik olmadığından tecrübe ve gözlemlere dayanılarak yalnız bir kesiş açısı kullanılmaktadır.

Kesiş açısının yüzey kalitesine etkisi; farklı bıçak tipleri, odun türü ve rutubetine göre değişmekle birlikte kural olarak yapraklı ağaç odunları için 70-75°lik kesiş açısı kullanılmaktadır. Bazı yapraklı ağaç türlerinde ise 70° den daha küçük açılar iyi sonuç vermektedir. İğne yapraklı ağaç türü odunları için ise kesiş açısı 65° olarak uygun bulunmaktadır.

b. Kesiş derinliği: Malzeme yüzeyindeki sıg bir kesiş en iyi sonucu vermektedir. Kesiş derinliğinin artması ile sonuçlar kötüleşmektedir. Kesiş derinliği işin kalitesini genel olarak yapraklı ağaç türlerinde ibreli ağaç türlerine göre daha az etkilemektedir. Bazı odun türlerinde önce kaba, sonra bunu takip eden sıg bir kesiş yapılmalıdır. Kural olarak, iki derin olmayan kesiş bir derin kesişe göre daha iyi yüzey vermektedir. Çeşitli ülkelerin standartlarında kesiş derinlikleri sınırlandırılmış bulunmaktadır. Örneğin Avusturya standartlarında en fazla kesiş derinliği olarak 2mm'ye izin verilmektedir.

c. Kesiş hızı (Makinenin bıçak başlığı hızı), malzemeyi itme hızı ve birim mesafedeki bıçak izi sayısı: Birim mesafedeki bıçak izi sayısı sabit olmak üzere, farklı itme hızı ve bıçak başlığı hızlarının yüzey kalitesi üzerindeki etkisi genel olarak sabit bulunmaktadır. Kesiş hızı, ağaç malzemeyi işleyen makinenin (kesicisinin) işlenen malzeme üzerinde birim zamanda (saniyede) metre cinsinden kat ettiği yola denilmektedir. Kesiş hızı, aynı zamanda gerek kalite ve gerekse verim hesaplamaları için çok önemlidir. Kesici başın bağlı olduğu milin bir dakikadaki dönüş sayısına devir sayısı adı da verilmekte olup, çok düşük kesiş hızı ile kaliteli yüzey elde edilememektedir. Ahşap işleme makinelerinde kesiş hızının üst sınırı bulunmakta olup, kesiş hızı makinenin yapacağı kesiş şekli ve kesici tiplerine göre değişmektedir. Bu nedenle, ağaç türlerinin optimum kesiş hızı, ağaç türü odunlarının özgül ağırlığı ile bıçak türlerine göre de farklılıklar göstermektedir. Orman ürünleri ve mobilya endüstrisinde kullanılan makinelerde devir sayısı genelde dakikada 3500 ile 22000 arasında değişmekte olduğu görülmektedir.

d. Malzemeyi itme hızı (Besleme hızı): İtme hızı, işlenecek

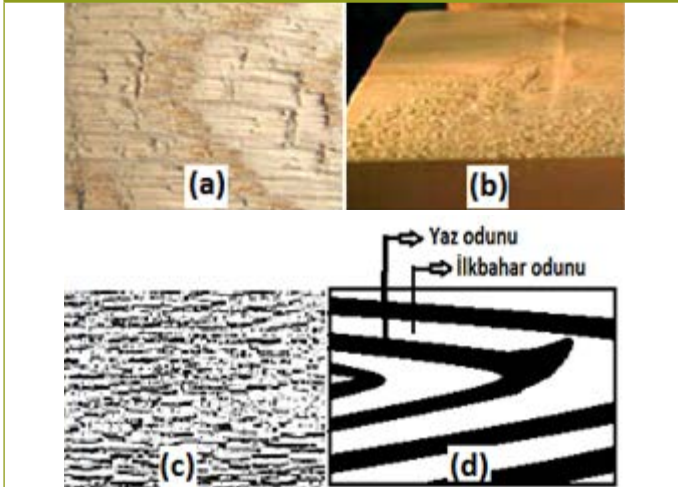
malzemenin makineye veya makinenin işlenecek malzemeye belirli zaman birimi içindeki itilme (beslenme) miktarını metre/dakika olarak ifade etmektedir. Besleme hızı, makine randımanını ve dolayısıyla işletmenin verimini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, pratikte mümkün olduğunca yüksek itme hızı kullanılmaya eğilim gösterilmektedir. Yüksek itme hızında kesiş (bıçak) izleri, uzun ve daha belirgin olmaktadır. İtme hızı özellikle dairesel kesiş yapan makinelerde yüzeyin kalitesi üzerinde oldukça büyük etki yapmaktadır. Besleme hızının artırılması ile daha kötü yüzeyler elde edilmektedir. İtme hızı; otomatik besleme ve itme donanımları olmayan makinelerde insan gücü ile sınırlıdır. Çok düşük itme hızında kaliteli kesiş işleminin engellendiği, kesicinin uç kısmının çizilmekte ve körlenmekte olduğu, böylece dayanma süresinin azalmakta olduğu ve işlenen malzemede yanma izlerinin oluştuğu görülmektedir.

Ahşap Malzemenin İşlenmesinde Görülen Başlıca Hatalar

Genellikle masif ahşabın işlenmesinde; kalkık liflilik, pürüzlü liflilik, yongalı liflilik, yonga izi ve gevşek liflilik gibi hatalar ortaya çıkmaktadır (Şekil 9.). Bu hatalar, geniş ölçüde ve belirgin olarak planyalama işleminde görülmesine rağmen diğer işleme faaliyetlerinde de rastlanmaktadır. Son yıllarda, seri mobilya üretiminde kullanılan yongalevha (sunta), mdf gibi ahşap levhaların işlenmesinde ise özellikle Tablo 12-3'de belirtilen hatalar görülmektedir (Kurtoğlu-Dilik, 2018; Sofuoğlu, 2008; Kurtoğlu, 2001; Davis, 1962).

Şekil 9

İşleme kusurlarına ait örnekler (a) Yongalı liflilik, (b) Pürüzlü liflilik (c) Kalkık liflilik (d) Gevşek liflilik.



a- Kalkık liflilik: Ahşap işlemede görülen bu kusurda, yıllık halkaların bir kısmında genel yüzeyden daha fazla bir yükselme meydana gelmektedir. Fakat yırtılma ve kopma olmamaktadır. Ağaç malzeme planya veya kalınlık makinelerinde işlenirken, çekme silindirleri tarafından önemli ölçüde basınç altında bırakılmaktadır. Yumuşak olan ilkbahar odunu kısımları yaz odununa göre daha fazla oranda sıkışmakta fakat basınç kalktığında genişlemektedir. Bu genişleme, genellikle yoğun yaz odunu yüzeyi seviyesinin altında kalmaktadır. Kalkık lifliliğe neden olan faktörler arasında; bıçakların kör olması, bıçak başlığına çok sayıda bıçağın yerleştirilerek ancak tesviyelerinin iyi yapılmaması ve odunun rutubet

oranının yüksek olması bulunmaktadır. Çok aşırı olmadıkça zımparalama işlemi ile giderilebilmektedir. Kalkık liflilik, iğne yapraklı ağaç odunlarından özellikle Göknaar, Ladin ve Çam türlerinde oldukça sık görülmekte, buna karşılık yapraklı ağaç odunlarında strüktüre bağlı olarak seyrek rastlanmaktadır. Odunun rutubeti yükseldikçe Meşe Karaağaç, Kavak ve İhlamur odunlarının kalkık lifliliğe daha fazla meylettirdiği görülmesine rağmen Dişbudak, Huş ve Akçaağaç odunlarında ise daha az karşılaşıldığı görülmektedir.

b. Pürüzlü liflilik: İşlenen ağaç malzemede reaksiyon odununun (çekme-basınç odunu) bulunması halinde geniş ölçüde pürüzlü liflilik oluşmaktadır. Kesiş esnasında kesici bıçakların liflerle değişik açılar altında kesiş işlemini gerçekleştirmesi veya kör bıçakların kullanılması nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Pürüzlü liflilik bıçakların keskin bulundurulması, kesiş hızının artırılması ve kesiş açısının küçültülmesiyle azaltılabilir. Odunun rutubet miktarı %12'nin üstünde olmamalıdır. Aşırı düzeyde olmadıkça zımparalama ile giderilebilmektedir. Ağaç türlerinin birçoğunda az veya çok görülmekle birlikte, genellikle Kavak, İhlamur, Söğüt ve Akçaağaç odununda sık, Meşe ve Dişbudak odununda önemli olmayan oranlarda rastlanmaktadır. İbreli ağaçlardan Ladin, Göknaar ve Çam türlerinde yüksek odun rutubetinde sert metal bıçaklar ile işlenmesinde pürüzlü lifliliğe oldukça sık rastlanmakta olduğu görülmektedir.

c. Yongalı liflilik: Kesiş yüzeyinin altında kırılan çok küçük kısımların, masif ağaç malzeme yüzeyinde bulunması yongalı lifliliği oluşturmaktadır. Genel olarak, yongalı liflilik ağaç malzemenin spiral lifli yapısı ile bağlantılı bulunmaktadır. Bıçağın bu dokuyu dik olarak kestiği yerlerde yongalı liflilik ortaya çıkmaktadır. Tamamen bir yöndeki yongalı liflilik zımparalama işlemi ile giderilebilmektedir. Yongalı lifliliği önlemede en basit ve en etkili yöntem birim mesafedeki bıçak izi sayısını arttırmaktır diyebiliriz. Bunun için itme hızının azaltılması veya bıçak başlığı hızının artırılması gerekmektedir. Ayrıca bileme açısının 10°'ye kadar düşürmekte de yarar bulunmaktadır. Yongalı liflilikten dolayı yüzeyde genellikle çukurlar meydana gelmektedir. Ortadan kaldırılmaları oldukça güç olup, uzun süreli zımparalama işlemini gerektirmektedir. Yongalı liflilik ibreli ağaç odunlarından Ladin de, yapraklı ağaç odunlarından Huş ve Akçaağaç ta etkili olmakta İhlamur, Söğüt ve Kavak gibi yapraklı ağaç odunlarında ise çok az görülmektedir.

d. Yonga izi: Bu kusur, emme donanımı ile kesiş esnasında oluşan toz ve yongaların uzaklaştırılamamasından kaynaklanan, malzeme yüzeyinde yongalar tarafından oluşturulan yüzeysel sığ çukurlar olarak tanımlanmaktadır. Yonga izi, yetersiz hava emme sistemi veya çok düşük hava akımından meydana gelebilmektedir. İtme hızının çok yüksek olması halinde makinede birim zamanda çok fazla hacimde yonga oluşumu ortaya çıkmaktadır. Bu hatanın önlenmesi için emme sistemi ve boru çapının amaca uygun ve yeterli miktarda olması sağlanmalıdır. Emme suretiyle yongaları dışarıya alan makinenin borusuyla havalandırma tertibatı dik olmayan bir açı ile bağlanmalıdır. Ayrıca, bıçakların keskin olmasına dikkat edilmelidir. Yongalı liflilik ve yonga izinin oluşumu birkaç damla su ile ayırt edilebilir. Yongalı liflilik bazı kırılmış parçalardan oluştuğu için sudan etkilenmemekte, yonga izinde ise çukurlar bir ölçüde basınç ile meydana geldiğinden suyu absorbe edip genişlemekte ve daha az göre batıcı olabilmektedir. Yapraklı ağaç odunlarından Huş ve Akçaağaçta, ibreli ağaç odunlarında ise Ladin de diğerlerine göre daha fazla olmaktadır.

e. Gevşek liflilik ve Lif ayrılması: Masif ağaç malzemenin planyalanması veya zımparalanması esnasında oluşmaktadır. Özellikle teğet yüzeylerde gözükmetedir. Bıçakların kör olmasıyla birlikte yeterli olmayan kurutma koşulları nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Bu kusur kesici (bıçak) lerin keskin bulundurulması, odunun rutubet miktarının düşük tutulması suretiyle önlenmektedir. Yaz odunu rutubet kaybedince daha fazla çalıştığı için, yaz odunu ile ilkbahar odunu arasında yıllık halkanın en geniş ve en uç kısmında yıllık halkanın yaz odunu kısmı bitişiğindeki yıllık halkanın ilkbahar odunu kısmından ayrılması şeklinde lif ayrılması kusurları da görülebilmektedir.

Ahşap Levha Ürünlerinin İşlenme Özellikleri ve Ortaya Çıkan Başlıca Hatalar

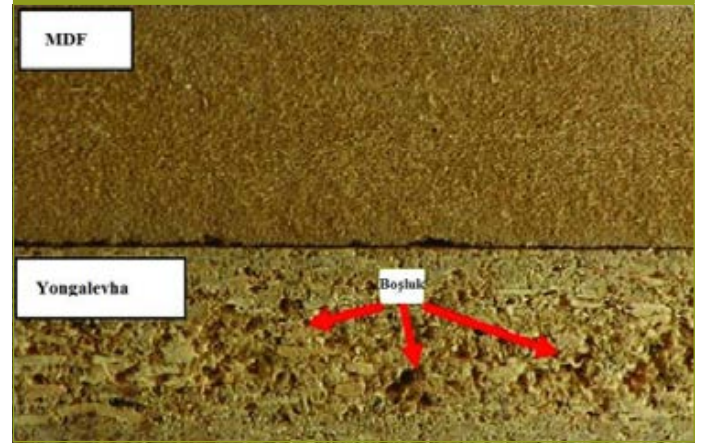
Günümüzde mobilya ve yapı elemanı üretiminde ahşap esaslı levhaların (yongalevha, mdf, osb, vb.'nin) kullanımı geniş ölçüde artmış bulunmaktadır. Bu ürünlerin işlenmesinde masif işlemekten farklı olarak, yüzey düzeltme ve düzgünleştirme amacıyla planya ve kalınlık makinaları yerine zımparalama makinalarından yararlanılmaktadır. Bu makinalar ile önce 60 veya 80 numaralı zımpara bandı ile kaba zımparalama işlemine tabi tutularak yüzeydeki ince toz tabakası alınmakta ve istenilen levha kalınlığına kadar kalibrasyon işlemi yapıldıktan sonra 100, 120 veya 150 numaralı zımpara bandı ile ince zımparalama işlemleri yapılmaktadır. Levha yüzeylerinin her türlü boya, vernik, lake, film folyo veya laminat yüzey kaplama malzemeleri ile kaplanmasından önce 120 numaralı zımpara bandı ile zımparalanması ve levha kalınlık toleransının 0,15 mm den daha az olması üst yüzey işlemlerinden iyi sonuçların alınması için gerekli görülmektedir. Levha yüzeylerinin çok ince film, doğrudan desen baskı gibi çok az pürüzlülük gerektiren

yüzey kaplama malzemeleri ile kaplanmasında ise, 150 den başlayarak 400 numaraya kadar olan daha ince taneciklere sahip zımpara bantları ile zımparalanması önerilmektedir. Levha ürünlerinin zımparalanmasında ortaya çıkan önemli zımparalama hataları ve bunların nedenleri aşağıdaki Tablo 3'de topluca gösterilmektedir (Kurtoğlu-Dilik, 2018; Kurtoğlu, 2001; Sofuoğlu, 2008).

Mobilya ve yapı elemanı üretiminde kullanımı geniş ölçüde artmış bulunan yonga ve lif levhaların (Sunta, MDF vb.) işlenmesi, daha önce de bahsedildiği gibi ahşap işleme makine ve aletleri ile kolaylıkla gerçekleştirilebilirken masife göre farklılıklar göstermektedir. Örneğin, uygulamada masiften farklı olarak yüzey düzeltme ve düzgünleştirme amacıyla planya ve kalınlık makinaları yerine zımparalama makinaları kullanılmaktadır. Bu amaçla, ahşap levhaların işlenme özellikleri, kısaca MDF ve yongalevha üzerinden açıklanacak olursa; MDF' yi yongalevhadan ayıran en önemli özellik, levha kenarlarındaki belirgin yapısal farklılıktır. MDF' nin kenarlarına bakıldığında masif ahşap gibi sıkı bir yapıya sahipken, yongalevhanın orta tabakasındaki kaba yongalar nedeniyle poröz yapıya sahiptir (Şekil 10). MDF' nin kenarlarına masif çıta yapıştırılmadan kenar bandı veya boya uygulaması yapılabilirken, yongalevhanın kenarlarının ise genellikle masif çıtayla kapatılması tavsiye edilmektedir (Kurtoğlu-Dilik, 2018; WPIF 2014).

Şekil 10

MDF ve yongalevha en kesiti.



MDF' nin diğer ahşap esaslı levhalara göre mobilya sektöründe tercih edilmesinin önemli nedenlerinin başında, klasik ahşap işleme makinalarının yanı sıra CNC gibi makinalarla kolaylıkla işlenebilmesi gelmektedir (Şekil 11). Bu özelliği yongalevhaya göre önemli bir avantaj sağlamaktadır. Zira, yongalevhanın orta tabakasında kaba yongalar kullanılması dolayısı ile profil açılması veya istenen yüzey düzgünlüğüne ulaşmak pek mümkün olmamaktadır. MDF yüzeyleri genellikle 120 numaralı zımpara bandı ile zımparalanmakta olup bu işlem, yüzeylerine birçok kaplama veya plastik folyo uygulamaları için yeterli bulunmaktadır. Yüzeye boya veya direkt desen baskı uygulamaları ile çok ince folyo uygulamaları için ise 200 numaralı silikon karbit zımpara bantları önerilmektedir. MDF' ye profil açıldığında profil yüzeylerinde kesici bıçak izleri 80-100 numaralı zımpara bandı ile temizlenirken, 120-150 numaralı zımpara bandının ise üst yüzey işlemleri öncesi yapılması gerekmektedir.

Ahşap esaslı levhalarda vidalama işlemleri, masife göre daha

Tablo 2

Ahşap levhaların zımparalanması işleminde ortaya çıkan hatalar ve nedenleri.

Hatalar	Nedenleri
1. Zımparalama izleri	Gereğinden küçük numaralı (büyük tanecikli) zımpara bandı kullanımı.
2. Yüzeyde çıkıntı oluşumu	Zımpara bandında oluklaşma ve aşınma, levha yüzeyinde metal vb. parçalar bulunması, yetersiz toz emme sistemi.
3. Yüzeyde çukur oluşumu	Zımpara bandı ile baskı silindiri arasında toz birikmesi, aşınma, yetersiz toz emme sistemi.
4. Yüzeyde çizikler	Zımparalama basıncının yüksek olması, zımpara bandında aşırı toz birikmesi, odunda fazla reçine olması ya da fazla tutkal kullanımı.
5. Yüzeylerde yanık izleri	Zımparalama basıncının yüksek olması, zımpara bandının körlenmiş olması.
6. Yüzeyi düzgün olmaması	Zımparalamada temas eden ve boş merdanelerin birbirine paralel çalışmaması, levha yoğunluğunun farklı olması.
7. Zımparalama sonrası levhada çarpılma	Levhanın her iki yüzeyine eşit miktarda zımpara işlemi yapılmaması.
8. Heterojen Kalınlık	Levhanın prestan eşit kalınlıkta çıkması, baskı silindirinde aşınma.

Şekil 11

Profil açılmış MDF numuneleri.



fazla dikkat gerektirmektedir. Bu amaçla dikkat edilecek hususlar Tablo 4' de verilmekte olup, vidalama işleminde vidanın pozisyonu, levha kalınlığı ve vida boyutuna göre işlemin yapılması en önemli husus olarak ortaya çıkmaktadır. Bunun yanında, vidalamanın köşelere yakın olmamasına dikkat edilmelidir. Genel bir kural olarak, levha yüzeyine vidaların kenardan en az 12 mm, köşelerden ise en az 70 mm içerde olacak şekilde yapılması gerekmektedir. MDF' nin vidalanmasında, masif ahşap ve yongalevhadan farklı olarak daha büyük pilot ön delikler açılması tavsiye edilmektedir (Kurtoğlu-Dilik, 2018; WPIF, 2014).

Tablo 4

Vida özelliklerine bağlı olarak pilot delik çapı

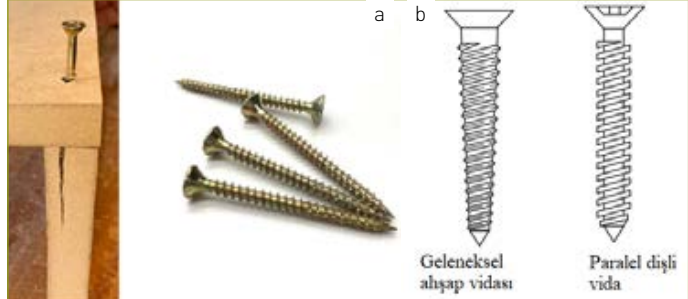
Vida no	Vida çapı (mm)	Gövde çapı (mm)	Pilot delik çapı (mm)
4	2.9	2.2	2
6	3.5	2.6	2.5
8	4.2	5.1	3
10	4.8	5.6	3.5

Vidalama işleminde, genel olarak ön delik çapı, vida gövde (dişsiz kısım) çapının %85-90' ı kadar olması öngörülmektedir. Bu durum, özellikle ince levhaların kenarlarından yapılan vidalamada önemli olup, ön delikler vidanın gireceği mesafeden en az 1 mm daha fazla olmalıdır. Özellikle, kenar işlemleri için önemli olan ön deliklerin daha küçük açılması durumunda yarılmaya ve vida tutma gücünde azalmaya neden olmaktadır (Şekil 12). Yüzeye partikül çıkışı veya yüzey yarımlarından kaçınmak için yüksek hızlı matkaplar kullanılmalıdır. Vida olarak küçük çaplı, geniş paralel yivli metal vidaların tercih edilmesi önerilmektedir. Ayrıca, vidaların tutkal çözeltisine daldırılıp vidalanması ile daha güçlü bağlantılar elde edilebilmektedir.

Ahşap işlerinde en çok tercih edilen kavelalı birleştirmelerde, kavela sadece matkapla delme ve yapıştırma işlemi ile uygulandığından kolay ve etkili sonuçlar alınmaktadır. Düzgün bir şekilde uygulandığında mengenelere ihtiyaç duyulmayan bu birleştirmelerde, kavela çapı ve derinliği kavela tutma gücünü doğrudan etkilemektedir. Levha yüzeyinde kavela delikleri, kavela çapı ile aynı boyutta ya da çok az miktarda dar olarak açılmalıdır. Yarılmayı önlemek amacıyla kenarlardaki delikler 0.13 mm daha geniş olmalıdır. Kavela derinliği ise kavela uzunluğundan 0.8-1.6 mm daha uzun olmalıdır. Kavela çapı arttıkça direnç de artış gösterse de kavela çapı levha kalınlığının %50'sini geçmemelidir. Özellikle,

Şekil 12

A. MDF' ye ön delik açılmadan yapılan hatalı vidalama ve paralel dişli MDF vidaları örneği. B: Geleneksel ahşap vidası ve paralel dişli vida örneği



Açıklama notu. WPIF, 2014), PanelGuide Version 4.1, Published in 2014 by the Wood Panel Industries Federation, TRADA Technology Ltd, and the National Panel Products Division (a division of the Timber Trades Federation). https://wpif.org.uk/uploads/PanelGuide/PanelGuide_V4_final.pdf kaynağından uyarlanmıştır.

yüksek makaslama direncine sahip kavelalar seçilmelidir. Kavela ile MDF'de açılan delik arasında havanın sıkışmadan delikten çıkması için spiral yivli veya düz yivli kavelalar, pürüzsüz yüzeyli kavelalara tercih edilmelidir. Kavela rutubeti %7'den yüksek olmamalıdır. MDF parçalarının birleştirme ve montajında tutkal katılaşınca kadar parçaları bir arada tutmak için zımba vb sabitleyiciler kullanılması tavsiye edilmektedir. MDF' nin birleştirilmesinde pnömatik birleştirme uygulanmak istendiğinde, 90-110 psi arasında değişen hava basıncı ile iyi sonuçlar alınmaktadır. Pnömatik birleştirmede levha uç bölgelerinin zorlanmaması gerekmektedir (Kurtoğlu-Dilik, 2018).

Ahşap işlemede yüzey kalitesinde birçok faktörün etkili olduğu belirtilmiş olmakla birlikte, masifte özellikle kullanılan kesici sayısının, besleme hızının ve kesiş derinliğinin yüzey kalitesi üzerindeki etkisi ön plana çıkarken, MDF' nin işlenmesinde etkili faktörler ise buna paralel olarak aşağıdaki gibi belirtilebilir.

- Testere ve levhanın aşırı ısınması.
- Kesici bıçakların diş geometrisi.
- Bıçakların bakımı (bilenmesi vb.)
- Makineye verilen levha besleme hızı
- MDF levhasının kesim esnasında desteklenmesidir (makinenin titreşim yapması vb.)

Uygulamada MDF' yi işlerken genellikle 4 tip bıçak kullanılmakta olup bunlar; yüksek hız çeliği, tungsten karbit çeliği, elmas ve seramik uçlu bıçaklardır. En fazla elmas ve karbit uçlu kesiciler tavsiye edilmektedir. MDF'nin yoğunluğu arttıkça daha fazla tutkal tüketimi de söz konusu olduğundan bu iki faktör, MDF'nin kesilmesinde yaygın kullanılan sert ağaçlardan daha fazla aşındırıcı yapmaktadır. Büyük miktarlardaki kesimlerde testere ömrünü uzun tutmak amacıyla polikristalin elmas (PCD) uçlu daire testere tavsiye edilmektedir. Karmaşık veya ince desen çalışmalarında kenarlarda kömürleşme kabul edilebilir seviyede olabiliyorsa veya zımparalama ile uzaklaştırılabilirse MDF' nin kesiminde yüksek enerjili lazer ışınları da kullanılabilir. MDF' nin kesilmesinde tavsiye edilen diş başına ilerleme genellikle 0.15-0.25 mm'dir. Yongalevha için geliştirilen testereleer, MDF' yi de başarıyla kesebilmektedir. Ancak, 15° lik alternatif üst eğimlerin ve 20-22° lik artırılmış uç boşluk açısının

uygulanmasıyla, iki bileme arasındaki çalışma süresi uzamaktadır. Bunlarda da her bir testere dişi tarafından uzaklaştıran talaş yükü 0.15-0.25 mm/diş aralığında olması tercih edilmektedir. Tablo 5' de MDF' yi kesmede kullanılan testere ve diş özelliklerine ait bir örnek verilmektedir (Kurtoğlu-Dilik, 2018; WPIF, 2014).

Tablo 5

MDF için kullanılan testere ve diş özelliklerine ait bir örnek.

Testere çapı (mm)	100	150	200	300	400	500
Testere kalınlığı (mm)	2.4	2.8	3	3.2	3.5	4
Diş sayısı	10	18	24	36	48	60
Devir sayısı (dev/dak)	6500	6500	6500	6500	6500	6500

Ahşap Malzemenin İşlenmesinde Görülen Hatalar İçin Alınabilecek Önlemler

Ahşap işlemede yüzey kalitesinde birçok faktörün etkili olduğu belirtilmiş olmakla birlikte, özellikle işlemede kullanılan kesici sayısının, besleme hızının ve kesiş derinliğinin hataların oluşmasında ve yüzey kalitesi üzerinde önemli bir etkisi bulunduğu görülmektedir. Genellikle, kesiş derinliği ve besleme hızı arttıkça yüzey kalitesinin kötüleştiği, kesici sayısındaki artışın ise yüzey kalitesini arttırdığı belirtilmektedir. Uygun işleme koşullarının optimize edilmeye çalışıldığı CNC ahşap işleme üniteleri de dahil olmak üzere, ahşap esaslı levhalar (lyongalevha-sunta, mdf, kontrplak vb.) ile masif ahşabın işlenme özelliklerinde farklılıklar bulunmaktadır. Bu maksatla, son kullanım amacına göre değişiklik gösteren yüzey kalitesine ulaşmada karşılaşılan en büyük sorunun işlenecek ahşap malzemenin rutubeti ile ahşap malzemenin türü ve özelliklerine uygun işleme koşullarının dikkate alınmamasından kaynaklandığı söylenebilir.

Bu kapsamda, masif ahşap malzemenin işlenmesinde görülen hataların önlenmesi amacıyla dikkate alınması gereken hususlar ve önlemler aşağıdaki gibi belirtebilir (Kurtoğlu-Dilik, 2018; Kurtoğlu, 2001; Sofuoğlu, 2008).

1. İyi bir işleme için bıçakların (kesicilerin) sürekli keskin olmasına dikkat edilmelidir. Bıçakların zaman kaybına neden olmasına rağmen uygun aralıklarla bilenip değiştirilmesi gerekmektedir.
2. Bıçak başlığına çok sayıda bıçak yerleştirilerek, tesviyelerinin yapılıp, bütün bıçakların kesişe katılması sağlanmalıdır. Ayrıca, bıçakların yerleştirildiği top ve millerin özenli bir şekilde makineye yerleştirilmesi ve dengelenerek makine millerinin vibrasyonunun azaltılması da sağlanmalıdır.
3. Ağaç türlerinin değişmesi ile kısa zaman aralıklarında, bileme açılarının değiştirilmesi ekonomik olmadığından, tecrübe ve gözlemlere dayanarak yapraklı ağaç odunları için 20°, ibreli ağaç odunları için 30° lik göğüs açılarının kullanılması uygun olmaktadır. Yongalı ve pürüzlü liflilik oluşumunda kesiş açısının küçültülmesi gerekmektedir.
4. Genellikle derin olmayan kesişler uygun bulunmaktadır. Kesişler yüzeysel olmalı, bazen ilk olarak kaba kesiş, daha sonra yüzeysel (sığ) son kesişin yapılması yararlı bulunmaktadır.
5. Birim mesafedeki bıçak izi sayısının artması ile yüzey kalitesi yükselmektedir. İşlemede itme hızı düşük, devir sayısı ise yüksek olmalıdır.

6. Ahşap malzeme işleme sırasında salınımsız, doğru ve lif yönünde itilmelidir.
7. İşlenen ağaç malzemenin rutubeti %12' den yüksek olmamalıdır.

Ahşap Malzemelerde Üst Yüzey İşlemleri

Üretimde kullanılan malzemenin türüne bağlı olarak uygulama yöntemleri farklılaşan üst yüzey işlemleri terimi, genel olarak ahşap, cam, mermer, plastik, metal vb. gibi taşıyıcı malzemeler kullanılarak yapılan işlere uygulanan son bitirme işlemlerini ifade etmektedir. Bu kapsamda, ağaç malzeme üst yüzey işlemlerinin literatür çalışmalarında, perdahlama adı altında incelenen ıslatma, rendeleme, zımparalama gibi ön hazırlık işlemleri ile birlikte ağaç malzeme üzerinde uygulanan strüktürel, ağartma, renk verme, koruyucu ve baskı işlemlerinin tümünü içeren işlemler olarak tanımlanmakta olduğu görülmektedir. Ancak, pratikte ahşap malzeme yüzeylerine uygulanan vernik, boya, cila vb. üst yüzey işlemleri anlaşılmaktadır. Buna göre üst yüzey işlemlerini, "ahşap malzemedan üretilen eşya ve ürünleri korumak, temizlik ve estetik değerini arttırmak amacıyla yapılan renklendirme, renk açma ve koruyucu katman oluşturma işlemleridir" şeklinde açıklayabiliriz (Dilik, 2021; Kurtoğlu-Dilik, 2020a; Kurtoğlu-Dilik, 2020b; Sönmez, 2005; Kurtoğlu, 2000).

Üst Yüzey İşlemlerinin Amaçları

Ahşap malzemenin diğer malzemelere olan tercih üstünlüğü olarak sahip olduğu doğal güzelliğini, renk ve deseninin daha belirgin

Tablo 6

Üst yüzey işlemlerinin amaçları

1. Estetik Amaçlar	• Boya, vernik cila gibi üst yüzey işlem gereçleri ile ağaç malzemenin doğal güzelliğinin, renk ve desenin daha belirgin duruma getirilmesi, • Renk değişimleri ve bozulmalarının önlenmesi, • Dengesiz ve kusurlu renk hatalarının, renklendirme ile giderilmesi, • Düşük değerli ağaç malzemedan yapılan donanımların örtücü boyalar ile kaplanarak değerinin yükseltilebilmesi, • Aynı mobilyada kullanılan farklı ağaç türü odunlarının renk farklılıklarının giderilebilmesi, • Günün moda koşullarına göre istenilen rengin ve parlaklığın ağaç malzeme yüzeyine verilebilmesi, • İç dekorasyon ve mobilyada ağaç malzeme ile iç mimari donatıları arasında uyumun sağlanabilmesi.
2. Koruyucu Amaçlar	• Ağaç malzemenin üst yüzey işlemi ile elverişsiz iklim koşullarına karşı özellikle dış kullanımda korunması, • Ağaç malzemedeki rutubet alışı verisinin, belirli ölçüde engellenerek, çalışmanın azaltılması, • Ağaç malzemenin aşınma, sürtünme ve çarpmalar ile oluşacak mekanik etkilere karşı korunması, • Ağaç malzemeyi bitkisel ve hayvansal odun zararlılarına karşı korunması, • Ağaç malzemenin doğal renklerinin rutubet ve ısığa karşı korunması, • Ağaç malzemenin doğal karakterinin mümkün olduğunca uzun süre muhafaza edilmesi,
3. Temizlik Amaçları	• Oyuncak ve gıda maddesi taşıyan kapların kirlenmesinin yüzey işlemi ile önlenmesi ve bu gerçeklerin daha hijyenik olmasının sağlanması, • Yüzey işlemi görmüş malzemenin temizlenmesinin kolaylığı, • Özellikle soğuk hava vagon ve arabaların ısınmayı önlemesi gibi amaçları ile kullanılmaktadır.

hale getirerek korumak ve devamlılığını sağlayarak malzeme ve kullanım değerinin artırılmasına yönelik yapılan üst yüzey işlemlerinin amaçlarını Tablo 6' da gösterildiği gibi 3 başlık altında gruplandırarak açıklayabiliriz (Kurtoğlu,2000; Kurtoğlu-Dilik, 2020b).

Üst Yüzey İşlemi Uygulama Alanları ve Seçimi

Üst yüzey işlemlerinin uygulama alanlarını Tablo 7' de görüldüğü gibi genelde bina içi ve dışı ile diğer kullanım yerlerinde mobilya ve yapı elemanlarının korunması ve güzelleştirilmesi için uygulanan işlemler şeklinde belirtilebilir. Bu alanlarda uygulanan ahşap malzeme üst yüzey işlemlerinde başarı sağlanabilmesi için ağaç malzeme özelliklerinin yüzey işlemi sisteminin özelliklerine uygun olması gerekmektedir. Bu nedenle, yüzey işlemlerinin uygulama alanlarına göre seçiminin önemi ortaya çıkmaktadır (Kurtoğlu, 2000; Kurtoğlu-Dilik, 2020a; Kurtoğlu-Dilik, 2020b).

Tablo 7

Üst yüzey işlemlerinin uygulama alanları.

Bina Dışı	Bina İçi	Değişen Kullanım Yerleri
A- Korunumlu Rüzgar, yağmur, güneş, kar etkilerine karşı korunumlu, sıcaklık ve bağıl neme karşı korunumsuz	A- Mobilya	A- Bahçe mobilyaları
B- Kısmen Korunumlu Pencere ve dış kapılar	B- Parke	B- Çeşitli alet, araç ve gereçler
C- Korunumsuz Balkon, dış kaplamalar ve ahşap yapılar	C- Duvar ve tavan kaplamaları	

Uygun kalitede bir yüzey işleminin, öncelikle uygun malzeme seçimi (zemin malzemesi, tutkal ve yüzey işlemi malzemesi) ile yüzey işleminin tekniğine uygun bir şekilde yapılmasından geçtiği söylenebilir. Ancak, bunun için uygulama öncesi aşağıda belirtilen hususların dikkate alınması gerekmektedir.

Yüzey işlemlerinin seçiminde genelde göz önünde tutulacak hususlar;

- Yüzey işlemi görece malzemenin kullanım amacı.
- Yüzey işlemi uygulanacak ahşap malzemenin insan ve çevre sağlığı üzerindeki etkileri.
- Yüzey işlemi uygulanmış malzeme üzerindeki yüzey işleminin beklenen etki ve zorlamalar altındaki eskime ve dayanma durumu.
- Ahşap malzeme konstrüksiyonları üzerinde yüzey işlemlerindeki olumsuz reaksiyonlar (kalın katman oluşturan yüzey işlemlerinde görülen buhar geçirgenliğinin azalması, kurumanın engellenmesi, koyu renkli yüzey işlemlerinde ise çok fazla ısınma ve boya hazırlamada kullanılan bezir yağının küf mantarlarını çekme etkisi vb. gibi reaksiyonlar).
- Yüzey işlemi görece eşyanın kullanım koşulları.
- Yüzey işlemi için sağlanabilen teçhizat ve yüzey işlemi maddelerinin sağlanabilme olanakları.
- Yüzey işlemi uygulamasının gerçekleştirileceği koşullar ve yüzey işlemi uygulayacak kişinin deneyimi.

Yüzey İşlemlerinde Ahşap Malzemede Göz Önünde Tutulacak Hususlar

Ahşap işlerindeki üst yüzey işlemlerinde göz önünde tutulacak hususlar literatür çalışmalarında çok değişik tanımlamalarla ve özellikler olarak açıklanmakla birlikte bu hususlar, genellikle Tablo 8' de açıklandığı gibi belirtilebilir (Kurtoğlu, 2000).

Tablo 8

Yüzey işlemlerinde ahşap malzemede göz önünde tutulacak hususlar.

Ahşap Malzeme Özellikleri	Yüzey İşlemi Üzerindeki Etkisi
1. Ahşap malzemenin kalitesi	<i>Yüzey işlemlerinde boyanacak ve saydam renklendirilecek ağaç malzeme sağlıklı ve düzgün yüzey verecek bir kalitede olmalıdır. Örneğin, reaksiyon odunu eğri büyüme, lif kıvrıklığı gibi kusurlara sahip ağaç malzeme yüzey işleminden sonra değişen hava koşullarında kullanıldığı zaman yüzey işlemi olumsuz etkilenmektedir. Uygun olmayan koşullarda bekletilen ağaç malzemede, önce lekelemeler daha sonra ise çürüme ve ardaklanmalar ortaya çıkar. Lekeli, çürük ve ardaklanmış kısımlar boya ve verniği dengeli bir şekilde alamamaktadır.</i>
2. Odunun anatomik yapısı	<i>Ağaç malzemenin yapısını oluşturan yıllık halkalar ilkbahar ve yaz olmak üzere iki değişik tabaka halinde bulunmaktadır. Ağaç malzemenin boya sürülecek yüzeyleri ise radyal ya da teğet biçilmiş olabilir. Radyal yüzeylerde ilkbahar ve yaz odunu tabakaları dar şeritler halinde bulunurken, teğet yüzeylerde bir yıllık halkadaki ilkbahar odunu ve yaz odunu tabakaları geniş alanlar kaplamaktadır. Bu kısımların yüzey işlemi tutma bakımından farklı özelliklere sahip bulunduklarından önem kazanmaktadır. Çünkü yüzey işleminin nüfuzu bakımdan farklılıklar yaratmakta ve yaz odunu üzerindeki yüzey işlemi tabakası yağmur ve güneşten daha fazla etkilenecek çabuk dökülmektedir.</i>
3. Özgül ağırlık	<i>Bilindiği gibi ağaç malzemede rutubetle meydana gelen daralma ve genişlemeler özgül ağırlıkla ilgilidir. Özgül ağırlığın yükselmesi ile daralma ve genişleme yüzdeleri de artmaktadır. Düşük özgül ağırlıkta ve hızlı büyüyen ağaç türleri, yüksek özgül ağırlıkta olanlara tercih edilmektedir. Çünkü düşük özgül ağırlıktaki ağaç malzeme yüzey işleme maddelerini daha iyi tutmaktadır.</i>
4. Permeabilite (Geçirgenlik)	<i>Ağaç malzemede sıvıların iç kısımlara veya dış tarafa doğru hareketini sağlayan özelliğe permeabilite denmektedir. Permeabilite sadece rutubet hareketini değil, aynı zamanda da ağaç malzemenin empenye ve yüzey işlemi maddeleri ile olan ilişkilerini de kolaylaştırmaktadır. Ağaç malzemede permeabilite trahelerin büyüklüğüne, hücre çeperindeki geçiricilerle hücreler arasında gerçekleşen iletişime ve reçine içerip içermemesine bağlıdır. Su hem hücre çeperine hem de hücre boşluklarına girebildiği halde, yağlı boya gibi karbonlu hidrojenli sıvılar, sadece hücre boşluklarına girebilmekte ve hücre çeperine nüfuz edememektedirler. Akıcılığı fazla olan sıvıların nüfuz hızı ve derinliği daha fazladır. Öz odundaki permeabilite farklıdır. Bu da yüzey işlemi katmanlarını etkilemektedir.</i>

5. Ağaç malzemenin rutubeti	<i>Lif doygunluğu noktası denilen %25-30 rutubetin altındaki ağaç malzemedeki çalışma adı verilen daralma ve genişleme meydana gelmekte, bu da çatlamlara neden olmakta ve yüzey işlemi sisteminin kısa sürede dökülmesine neden olmaktadır. Bundan dolayı yüzey işlemi uygulanacak malzemenin kullanım yeri koşullarına uygun rutubete kadar kurutulmuş olması gerekmektedir. Böylece, dış maksatlarda kullanılacak ağaç malzemenin rutubetinin %15-18, iç maksatlarda kullanılacak malzemenin ise %10-12 rutubette olması uygun düşmektedir. Fazla kurutulmuş ağaç malzeme atmosferden rutubet alacağı için ölçülerinde genişleme olur ve üzerindeki yüzey işlem tabakası çekme gerilmeleri etkisi altında kalır ve koruyucu yüzey işlemi katmanında yırtılmalara sebep olabilir.</i>
6. Yüzey özellikleri	<i>Ağaç malzemedeki dalgalı liflilik daha çok boyanarak koyulaştığı için yüzey işlemleri bakımından önemli bir kusur oluşturmaktadır. Bu nedenle, dalgalı lifli masif malzeme ve kaplamalar kullanılmamalıdır. Ağaç malzemenin kesiş şekli de önemli olup, teğet kesilmiş tahtalarda zamanla yıllık halkalar (yaz odunu) çıkıntı yaparak gevşek liflilik ortaya çıkmasına neden olur ve yüzey işleminin elverişsiz durumlarda çatlamasına neden olmaktadır. İyi bir yüzey işlemi uygulanması için ağaç malzeme yüzeyinin düzgün olması şarttır.</i>
7. İçerdiği ekstraktif maddeler	<i>Yüksek oranda reçine içeren Kızılçam, Karaçam, Melez gibi ibrelili ağaç türlerinde reçine sıcaklığın etkisi ile yüzeye çıkarak lekeli bir görünüm ortaya çıkarmaktadır. Reçine verniklemeyle olumsuz etkilemektedir. Egzotik ağaç türlerinde ekstraktif maddeler bazı reaksiyon verniklerinde (poliester vernik) yüzey işlemi katmanının sertleşmesini önlemekte, yavaşlatmakta ve zeminle bağlantısı azalmaktadır. Daha sonra, katmanın kalkmasına veya renk maddesinin difüzyonuna neden olmaktadır. Meşe, Kestane, Maun gibi ağaç türlerinin odunları tanen içermektedir. Tanenli odunlarda, metal ve rutubet ile temas ettiklerinde veya demir zımpara ile zımparalandıklarında, metaloksitin yüzeyde kalması sonucu lekeler ortaya çıkmaktadır.</i>
8. Renk	<i>Ağaç malzeme yüzeyinin doğal bir renkte saydam bir tabaka ile kaplanması halinde kullanılan masif veya kaplama levhaları renk ve desen yönünde farklılık göstermemelidir. Özellikle kaplamaların birleştirilmesinde ortaya çıkacak renk ve desen farklılıklarının giderilmesi oldukça güç olmaktadır. Renk farklılığı renk açma veya renk verme suretiyle belli ölçüde dengelenebilmektedir.</i>

Ahşap Malzeme Yüzeyinin Üst Yüzey İşlemine Hazırlanması

Üst yüzey işlemlerinde başarılı olabilmek için, ağaç malzemenin üst yüzey işleminin türüne göre uygun şekilde hazırlanması gerekmektedir. Bu hazırlık işlemleri, birbirinden farklıdır ve belirgin bir sıraya ve plana göre yapılması gerekir. Ön hazırlık işlemleri ile ağaç malzeme yüzeyinin yüzey işlemlerine kusursuz bir şekilde hazırlanması, yüzeyin hatasız bir şekilde düzeltilmesi, yüzeyin lekesiz bir temizliğe kavuşturulması ve yüzeylerin işlem kabul edecek duruma getirilmesi amaçlanmaktadır. Üst yüzey hazırlık işlemlerinde yeterli ve homojen bir yüzey düzgünlüğü oluşturulmadığı takdirde, ürün kalitesi ve işlem maliyeti olumsuz etkilenmektedir. Ayrıca, esas yüzey işlemlerine başlanmadan önce belirtilen ön hazırlık işlemlerinin dışında aşağıdaki hususlarda göz ardı edilmemelidir.

- Yapılardaki mobilya parçalarının yüzey işlemlerine hazırlık safhaları mümkünse parçalara ayrılarak atölye ve fabrikalarda yapılmalıdır. Zira, buralardaki çalışma koşulları yapılaradına göre daha elverişlidir.
- Mobilya ve ahşap malzemedeki metal ve sentetik aksesuarların, yüzey işlemlerinden önce sökülmesi veya ilk olarak yüzey işleminden sonra monte edilmesi gerekmektedir.
- Metal aksesuarların hava koşullarına karşı, koruyucu astar boya ile aksesuarın takılacağı yerin ise pasa karşı koruyucu astar ile işlem görmesi yararlıdır.

Kusursuz bir yüzey işlemine uygun hale getirmek amacıyla yapılan ön hazırlık işlemlerine ait uygulamalar, Tablo 9’ da gösterildiği gibi sınıflandırılmaktadır. Burada ilk 3 grupta yer alan ıslatma ve kabartma, rendeleme ve sistireleme ile zımparalama işlemlerine uygulamada perdahlama adı da verilmektedir. ıslatma ve kabartma ile rendeleme ve sistireleme işlemleri daha çok küçük kapasiteli üretimlerde gerçekleştirilen el işleri durumunda olup günümüzün seri üretim teknolojisinde uygulanmamaktadır denilebilir (Kurtoğlu, 2000; Kurtoğlu-Dilik, 2020a; Kurtoğlu-Dilik, 2020b).

Tablo 9
Ön hazırlık işlemlerinin uygulamaları

1. İlk ve son ıslatma ile kabartma	<i>İlk ıslatmada amaç, basınç ile ezilen lif ve traheleri kabartmak ve olabildiğince doğal boyutlarına getirmektir. Ağaç malzeme, sertliğinin az veya çok oluşuna göre basınca karşı az veya çok hassastır. Basınç ile ezilen lif ve traheler rutubet alınca kabarmaktadır. Eğer ağaç malzeme önceden rendelenmiş ise bu hacim artışı yüzeyi bozmaktadır. Bu yüzeyde rendelemeden önce ağaç malzeme yüzeyinin ıslatılmasında yarar bulunmaktadır. Diğer ıslatma yöntemi ise buharlamadır. Düşük basınçlı buhar paslanmaz metalden borular ile ağaç malzeme yüzeyine püskürtülmektedir. Ancak seri üretimde ekonomik nedenlerle ıslatma işleminden kaçınılmaktadır.</i>
2. Rendeleme ve sistireleme	<i>Rendeleme işlemi amacına ulaşılabilmesi için iyi bilenmiş, doğru ayarlanmış bakımlı bir perdah rendesi önem taşımaktadır. Ağaç malzemenin yüzeyinin temizlenmesi ve düzeltilmesinde kazıma rendesi ve raspa da kullanılmaktadır. Yüzeyin istenilen düzgünlüğe getirebilmek için sistireleme gerekmektedir. Temiz bir yüzey elde edebilmek için perdah rendesi ve sistirenin ağaç malzemenin lifleri boyunca sürülmesinde yarar bulunmaktadır.</i>
3. Zımparalama	<i>Perdahlama işleminin diğer bir safhası olan zımparalamanın amaç ise, rendeleme ve sistirelemeden sonra yüzeylerde kalabilecek girinti ve çıkıntıları düzeltmek ve yüzeyi parlatmaktır. Zımparalama, mobilya endüstrisinde yüzey işlemlerinin temel işlemi olarak nitelendirilmektedir. Yüzey kalitesi ve görünümü tamamen zımparalama işlemi vasıtasıyla ağaç malzemenin doğal yapısı ve renk özellikleri ortaya çıkarabilmektedir.</i>
4. Ağaç malzeme yüzeyindeki hatalı kısımların yok edilmesi	<i>Yüzey işlemi sırasında bazen ağaç kaplama levhalarının tutkallandığı yüzeyden ayrılarak, yer yer kabarıklıklar oluşmaktadır. Yüzey işlemi uygulanmamış kaplamalarda bu durum kolayca fark edilememektedir. Ancak bastırılırsa bu kısımlar çıtırdamaktadır. Bu gibi kısımların hemen tutkallanmasında yarar vardır.</i>

5. Yüzeylerin kir, yağ, reçine ve tutkal artıklarından temizlenmesi	<i>Bazı ağaç malzemede doğal reçine bulunmaktadır. Ağaç malzeme yüzeyinin bu tür kir, yağ, leke ve reçineden arındırılması gerekmektedir.</i>
6. Tozların uzaklaştırılması	<i>Kaliteli bir yüzey işlemi için ağaç malzeme yüzeyindeki zımpara tozu, reçine, tutkal artıkları ve kırıntılarının etkili bir şekilde uzaklaştırılması gerekmektedir. Tozların uzaklaştırılmasında ilk akla gelen fırçalama olmaktadır. Fırçalamada kullanılan fırçanın yeterli incelikte olması ve ağaç malzeme trahe ve traheitlerini hassas olarak süpürmesi şarttır.</i>
7. Kontrast artırıcı ve azaltıcı işlemler	<i>Kontrast artırıcı işlemlerde amaç, ağaç malzemenin en dış tabakasını geçirgen ve saydam duruma getirerek ışığın daha iç kısımlara nüfuz etmesini sağlamaktır. Böylece güneş ışığının ahşap malzeme yüzeyinden yansımaları azalmakta ve yüzey donuk bir görünüm almaktadır. Bu işlemler, en canlı şekilde Cevizin öz odunu ile Maunda uygulanmaktadır. Kontrast azaltıcı işlemlerde ise, ağaç malzemedeki çok çeşitli renk ve kontrast farklılıklarını azaltmaktır. Bu işlemler, yalnız kontrastça zengin ağaç türleri yüzeylerinde değil, bazende strüktür canlılığını önlemek için Wenge gibi ağaçların yüzeylerinde de uygulanmaktadır.</i>
8. Hatalı yüzeylerin onarılması	<i>Ağaç malzeme yüzeyinde sık sık onarılması gereken hatalı kısımlara rastlanmaktadır. Bu yerler, büyük ise aynı özelliklere sahip ağaç malzeme lifler ile aynı yönde yamalanmalıdır. Onarılacak kısım küçük ise macunlardan yararlanılmaktadır.</i>

Ahşap Malzemenin Rengini Değiştiren Yüzey İşlemleri

Ahşap malzemenin rengini değiştiren yüzey işlemleri, renk açma (ağartma) ve renklendirme (boyama) işlemleri olarak sınıflandırılmaktadır. Bu işlemler ve özellikleri hakkında aşağıda genel olarak bilgi verilmektedir (Kurtoğlu, 2000; Kurtoğlu-Dilik, 2020a; Kurtoğlu-Dilik, 2020b).

Renk açma (ağartma) işlemini, kısaca oduna doğal rengini veren boya maddelerinin çeşitli oksidasyon ve redüksiyon maddeleri aracılığı ile tahrip edilmesi olarak tanımlayabiliriz. Ağartma işleminde ahşap malzeme doğal ve canlı görünüşünden az veya çok kaybettiği için zorunlu kalınmadıkça başvurulmaması gereken bir işlemdir diyebiliriz. Ancak son yıllarda çok uygulandığı ve büyük önem kazandığı görülmektedir. Daha önceleri; Meşe, Akçaağaç ve Huş gibi ağaç türü odunlarında uygulanan renk açma işleminin günümüzde aşağıdaki nedenlerle birçok yerli ve yabancı ağaç türünde uygulanmakta olduğu görülmektedir. Bunlar;

- Ağaç malzemenin kendine özgü renginin değiştirilmek istenmesi,
- Ağaç malzemedeki koyu çizgi ve lekelerin yok edilmesi,
- Seri üretimde yeknesak (homojen) bir renk tonunun garantilenmesi,
- İstenen tonda boyanamayan ağaç malzemenin renginin açılması.

Bilindiği gibi, uzun süre doğal iklim koşulları etkisi altında kalan ağaç malzemenin rengi değişmektedir. Örneğin, Meşe, Ceviz, Maun koyulaşmakta, Akçaağaç, Dişbudak vb. ise sararmaktadır.

İşte bu renk değişimlerinin istenmediği durumlarda renk açma işlemi yapılmaktadır. Çünkü rengi açılan ağaç malzeme daha ya-
vaş sararmaktadır.

Renklendirme işlemi ise, ahşap malzemenin doğal renginin bazı boya ve kimyasal maddeler ile değiştirilmesi olarak tanımlanmaktadır. Ahşap malzemenin renklendirilmesi, genellikle ya renkli toz boyaların (pigmentlerin) uygun sıvılar ile karıştırılması sureti ile yüzeyde üst üste yığılan boya taneciklerinden oluşan ve ahşap malzemenin doğal görünüşünü örten, örtücü boya katmanını oluşturmak suretiyle boyama şeklinde ya da ağaç malzemede renkli kimyasal bileşikler oluşturan, ancak kimyasal maddeler vasıtasıyla örtücü olmayan renklendirme şeklinde gerçekleştirilmektedir.

Günümüzde kullanım durumlarına göre renklendirme maddelerinin; Jest-Stain renklendiriciler, Lake boyamada kullanılan Son Kat Renklendiriciler, Fon Boyaları ve Desen baskıda kullanılan Baskı Mürekkepleri olarak 4 grupta sınıflandırılmakta olduğu görülmektedir.

- Seri üretimde daha çok Jest-Stain renklendiriciler uygulama alanı bulmakta olup, bu tür renklendiricileri ise aşağıdaki gibi gruplandırabiliriz (Tablo 10).

Tablo 10

Seri üretimde kullanılan Jest-Stain renklendiriciler ve özellikleri

Jest-Stain Renklendiriciler	Özellikleri
Su boyaları (Water Stain)	<i>Sıvılarda eriyen asit etkili renklendiricilerdendir. Renk pigmentleri anilin esaslıdır. Bazı türleri alkolde de erimekte. Anilin esaslı renk pigmentlerinin, su da veya alkolde eritilen eriyikleri plastiktik kaplarda piyasaya sürülmektedir. Bazı pigmentlerin suda ve alkolde eriyenleri karıştırılarak, daha üstün özellikte renklendirme eriyiği hazırlanabilmektedir. Ucuzluğu, nüfuz derinliğinin iyi olması, dengeli dağılması ve güneşin soldurucu etkilerine dayanıklılığı gibi olumlu özellikleri yanında, suda eritildiği için ağaç malzemenin liflerini kabartması, geç kuruması sakıncalı özelliklerini oluşturmaktadır.</i>
Solvent boyalar (Solvent Stain)	<i>Metal komplekslerinin organik çözücülerle eritilmesi sonucu elde edilen renklendiricilerdir. Bu amaçla; Butil asetat, Aseton, Metil, Etil, Keton Etil, Glikol gibi organik çözücüler kullanılmaktadır. Bu tür renklendiriciler ağaç malzemenin liflerini kabartmamakta, çok derine nüfuz etmekte, canlı bir görünüş arz etmekte ve çabuk kurumaktadır. Işığın soldurucu etkisine dayanıklı olup, vernik içine katılarak renkli vernikte hazırlanabilmektedir. Ancak daha pahalı olup, selülozik vernik uygulamasında da zamanla yüzeye toz halinde çıkabilmektedir.</i>
Pigment boyalar (Pigment Stain)	<i>Organik veya ince öğütülmüş anorganik toz pigmentlerin, suda veya organik çözücülerdeki eriyikleridir. Ucuzluğu ve ışığın soldurucu etkilerine dayanıklılığı gibi üstün özellikleri yanında ağaç malzeme liflerini kabartması ve yarı örtücü özellik göstermeleri nedeniyle cansız görünüşleri ise bu boyaların sakıncalarını oluşturmaktadır.</i>

Açıklama notu. Kurtoğlu, A., 2000, Ağaç Malzeme Yüzey İşlemleri 1. Cilt: Genel Bilgiler, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, Üniversite Yayın No: 463, İstanbul kaynağından alınmıştır.

- **Seri üretimde lake boyama (renklendirme) uygulamasında son kat renklendiriciler olarak;** genellikle, asit sertleştiricili, selülozik, poliüretan veya polyester esaslı renklendiriciler kullanılmaktadır. Bu tür renklendiriciler, genel olarak verniklerin pigmentler ile renklendirilmiş şekli olup özel olarak üretilmektedirler. Bu tür renklendirme işleminden, sonra ayrıca son kat bir vernikleme işlemine gerek bulunmamaktadır. Son kat lake renklendirme işlemindeki macunlama işleminde, ultraviyole kurumalı macun yerine selülozik esaslı macun kullanılmış ise son kat renklendirmeden önce bir kat astar boya ve verniğe gerek bulunmaktadır. Çünkü selülozik esaslı renklendirici ve macunlar da kullanılan dolgu gereçleri, daha sonra uygulanacak son kat boya ve vernikleri emme özelliğine sahiptir. Bu nedenle, son kat vernik işleminden önce astar boya veya verniklerle dolgun hale getirilirler. Son yıllarda geliştirilen ultraviyole macunlarda ise bu işleme gerek bulunmamaktadır.
- **Fon Boyaları ise** asit sertleştiricili veya selülozik esaslı renklendiricilerdir. Mobilya fabrikalarının isteği üzerine, ahşap malzeme deseni dışındaki fon renklerinde özel olarak üretilmektedir. Sarı-Mavi-Kırmızı gibi ana renklerle Ceviz, Meşe ve Karaağaç fon renginde üretilmektedirler. Mobilya üreticileri, ana renklerden görüntü verilmek istenen ahşap rengine göre daha sonra belirtilecek çeşitli reçete ve karışımlara dayanarak farklı renkler elde edebilmektedir.
- **Seri üretimde desen baskılı yüzey işlemlerinde ise baskı mürekkeplerinden yararlanılmaktadır.** Baskı mürekkepleri renk pigmentleri ile bağlayıcı madde (reçine)'den oluşmakta ve yapılarında yağ bulunmamaktadır. Eritici-inceltici olarak kullanılan tiner (transilin) karışımında yağ bulunmayan diğer incelticilere göre daha yavaş buharlaşmaktadır. Baskı mürekkeplerinin kuruma süresi ısı ile düşürülebilmektedir. Baskı mürekkeplerinin bakımı çok önemlidir. Dış etkilere karşı çok hassas olduğu için, çok az bir ısı değişikliğinde bile iyi sonuç alınmayabilmektedir. Kullanılmadan önce depolanmasına çok dikkat etmelidir. Soğuk bir depodan getirilen mürekkep hemen kullanılmamalıdır. Depo ve kullanılacağı atölyenin serin ve güneşsiz olmasında yarar bulunmaktadır. Atölye dışında bulunan depodan getirilen mürekkebin bir süre atölyede tutularak atölye ısısına getirilmelidir. Ayrıca, baskı mürekkepleri soğuğa olduğu kadar, güneş ısı ve ışığına karşıda çok hassastır. Gerek depolanmasında, gerekse atölyede bulundukları zaman yüksek ısı farklarına maruz bırakılmamalıdır. İyi bir parlaklık, kuruma ve yüksek bir bağlayıcı özellik elde edilebilmesi için bu hususlara uyulması zorunludur.

Koruyucu Yüzey İşlemleri ve Emprenye - Yüzey İşlemi İlişkisi

Bilindiği gibi koruyucu üst yüzey işlemleri, yapısal bakımdan saydam ve örtücü işlemleri olarak ayırt edilmekte olup koruyucu yüzey işlemi sıvısı, genelde ahşabın yapısını az miktarda örtmekte fakat yine de yüzey tekstürü görünmektedir. Uygulamada koruyucu üst yüzey işlemi sistemleri, mobilya yapımında ve iç mimaride genellikle saydam vernikleri kapsamakta olup, çok az miktarda pigment veya çok az örtücü ve koruyucu madde içeren, bu nedenle de ahşap malzemenin tekstürünü hala görüldüğü pigmentli veya az renkli vernik sistemlerini de içermektedir. Eğer, koruyucu üst yüzey işlemleri (saydam veya örtücü) gerek bina dışında gerekse bina içinde (iç mekanda) kullanılacak olsun, saydam veya pigmentli (koruyucu) madde içeren yüzey işlemlerinin

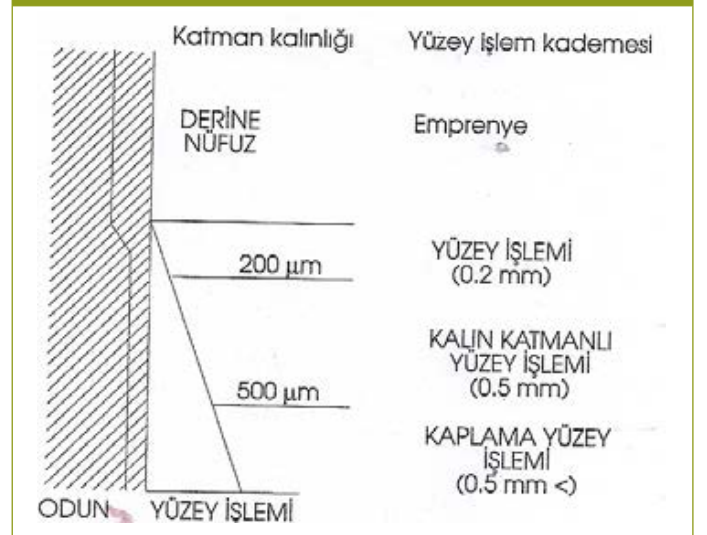
uygulanmasında dikkat edilecek hususlara uyulması ve emprenye-yüzey işlemi ilişkisinin bilinmesi gerekmektedir. Emprenye denilince, anisotrop katı bir malzeme olan ahşap malzemenin iç ve dış kısımlarının belirli koruma etkisi olan çeşitli sıvılar ile içirilmesi, yüzey işlemi maddeleri denilince ise malzemenin yüzeyinde tutulan ve malzeme içine çok az ya da hiç nüfuz etmeyen, film veya tabaka oluşturan materyal anlaşılmaktadır ([Kurtuluş, 2000; Kurtuluş-Dilik, 2020b]).

Emprenye ile ahşap malzemenin direnci, dış hava koşulları etkilerine, mantar veya böcek yıkımına ve yangına karşı artırılabilir. Bu kapsamda, çoğu zaman emprenye edilmiş ahşap malzemenin üst yüzeyi de katman ya da film oluşturan yüzey işlemi maddeleri ile işlem görmektedir.

Uygulama özelliklerinin şematik olarak gösterildiği Şekil 13 ve Şekil 14' den de anlaşılabileceği üzere emprenye-yüzey işlemi ilişkisi, ahşap malzeme yüzey işlemlerinin kademelendirilmesini gösteren Tablo 11' de de belirtildiği gibi ahşap yüzey işlemlerinde uygulanan ilk kademe olarak açıklanabilmektedir.

Şekil 13

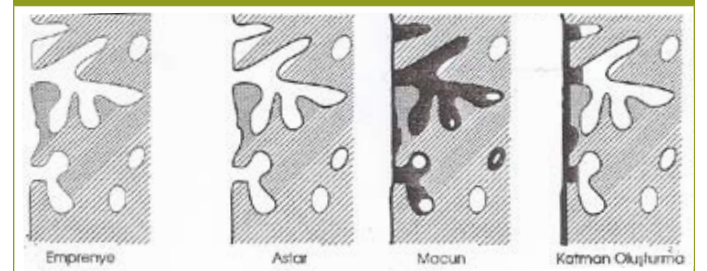
Ahşap malzeme yüzeyinde emprenye-yüzey işlemi ilişkisi



Açıklama notu. Kurtuluş, A., 2000, Ağaç Malzeme Yüzey İşlemleri 1. Cilt: Genel Bilgiler, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, Üniversite Yayın No: 463, İstanbul kaynağından alınmıştır.

Şekil 14

Ahşap yüzeyindeki; a) Emprenye, b) Astar-Dolgu, c) Macun, d) Katman (film) oluşturma işlemlerinin şematik görünüşü



Açıklama notu. Kurtuluş, A., 2000, Ağaç Malzeme Yüzey İşlemleri 1. Cilt: Genel Bilgiler, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, Üniversite Yayın No: 463, İstanbul kaynağından alınmıştır.

Tablo 11

Ahşap malzeme yüzey işlemlerinin kademelendirilmesi

Yüzey İşlemi Türü	Yüzey İşlemi Film Kalınlığı (µm)	Boyut Değiştirmeyen Yapı Elemanı İçin Uygunluğu	Özellikleri	Bakım Onarım Süresi
Emprenye	-	Hayır	Katman oluşturmaz, derine nüfuz, Fungucid içerir, yüzey mat veya desenli	1,5 yıl
Saydam Yüzey İşlemi	0 - 30	Hayır	Geçirgen katman, derine nüfuz, fungucid içerir. Yüzey yarı mat ve strüktür belirgin	2,5 yıl
a) Emprenye	20 - 80	Belirli Koşullar Altında	Katman oluşturur. Derine nüfuz az, fungucid içerir, yüzey yarı mat	4 yıl
b) Vernik				
Vernik	80 - 120	Evet	Film oluşturur, nüfuz yok, nadiren fungucid içerir, yüzey genellikle parlak ve düz	10 yıl
Dispersiyon Boyalar	50 - 200	Hayır	Film oluşturur, nüfuz yok, nadiren fungucid içerir, yüzey mat, düşük kalınlıkta strüktür görünür	4 yıl

Açıklama notu. Kurtoğlu, A., 2000, Ağaç Malzeme Yüzey İşlemleri 1. Cilt: Genel Bilgiler, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, Üniversite Yayın No: 463, İstanbul kaynağından alınmıştır.

Bu kapsamda, amaca uygun bir üst yüzey işleminde, poröz bir yapıya sahip masif ahşap malzemede sıvı yüzey işlemi maddesinin bir taraftan mümkün olduğu kadar derine nüfuz etmesi (emprenye), diğer taraftan ise yüzeyde de katman oluşturmaya (yüzey işlemi) sureti ile her iki işlem birlikte yürütülmektedir. Bunun yanı sıra, kaplama (kalın katmanlı) yüzey işlemleri denilince ise, genellikle ahşap malzeme yüzeyi üzerine getirilen geniş yüzeyli sentetik reçine içeren kağıt veya sentetik levhalar anlaşılmaktadır diyebiliriz (Kurtoğlu, 2000; Kurtoğlu-Dilik, 2020b).

Üst Yüzey İşlemlerinde Koruyucu Katmanlarının Oluşumu ve Yapısı

Genellikle yüzeyde koruyucu katman oluşturmak amacıyla uygulanan üst yüzey işlemlerinden çok değişik beklentiler bulunmaktadır. Bu bakımdan, belirli bir kullanım amacı için uygun yüzey işlemi sisteminin geliştirilmesinde öncelikle aşağıdaki hususların göz önünde tutulması gerekmektedir (Dilik, 2021; Kurtoğlu, 2000; Kurtoğlu-Dilik, 2020a; Kurtoğlu-Dilik, 2020b).

- Ürün yüzeyinden beklenen özelliklerin kesin olarak tanımlanması,
- Teknik ve ekonomik bakımdan işleme özelliklerinin göz önünde tutulması,
- Standart, yönerge ve çevre koruma hususları.

Bu kapsamda, amaca uygun bir yüzey işlemi için dikkate alınması gereken faktörler aşağıdaki gibi 3 başlık altında açıklanabilir.

1. Kullanıcı istekleri: Ürünün kullanımında yüzeyin teknik bakımdan, kimyasal, mekanik ve iklim etkilerine karşı dirençli olması. Ürünün kullanımında estetik bakımdan; renk, parlaklık, geçirgenlik ve strüktürünün uygun bulunması, çevre etkisi bakımından da tüketici için tehlike oluşturmamasıdır.

2. Malzeme Özellikleri: Masif kaplama levha, levha ürünleri, metal ve sentetik ürünlerin özellikleri, düz veya profilli kabin tipi veya iskelet mobilya olarak üretim şekli, miktar olarak; tek tek elemanlar halinde veya seri üretime uygun olmasıdır.

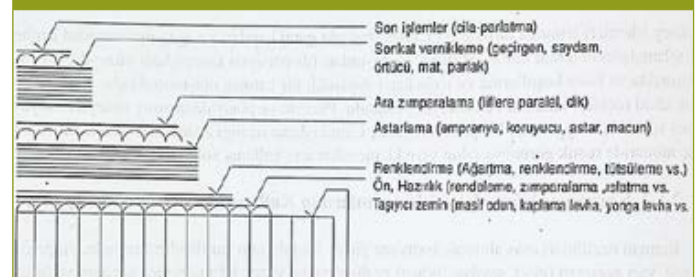
3. Uygulama Koşulları: Yüzey işlemi malzemesinin sürülme kabiliyeti, kuruma ve sertleşme durumu, fiziksel özellikleri, depo

edilme kabiliyeti, iş güvenliği göz önünde tutulmalıdır. Son zamanlarda çok geniş kullanım alanı bulan biovernik (biolack) kavramı tüketicilerde genelde yanıltıcı anlamalara sebep olabilmektedir. Doğal ve sentetik maddelerin yüzey işlemlerinde kullanım sınırı çevre koruma istekleri ile bağlantılı olarak değişebilmektedir.

Katman özellikleri esas alınarak koruyucu yüzey işlemlerinin tanımlanmasında saydam ve örtücü olanları kullanım alanları itibarıyla farklılıklar gösterdiği için kullanım yeri ve yapısı hakkında bilgi sahibi olmanın önemi amaçlanan koruyuculuk özellikleri açısından büyüktür. Bu nedenle, öncelikle Şekil 15 'de şematik olarak gösterilen üst yüzey işlemlerinde katmanların oluşumuna azami dikkatin gösterilmesi gerekmektedir. Diğer taraftan, yüzey işlemlerinde yüzeyde katman oluşturmaya amaçlanmayan koruyucu yüzey işleme uygulamalarının da son zamanlarda arttığı görülmektedir. Bunları, genel olarak mumlar, yağlar ve gözenek macunları ile yapılan yüzey işlemleri oluşturmaktadır. Örneğin, Tik odunu gibi oldukça fazla miktarda yağ içeren egzotik ağaç malzemelerde genellikle astarlama işleminden sonra mumla veya yağla işlem çok sık uygulanmaktadır. Mumlu ve yağlı yüzey işlemlerinin genellikle ibreli ağaç odunlarında mat görüntü istenildiğinde uygulanmakta olduğu görülmektedir (Hazır vd., 2021; Kurtoğlu-Dilik, 2020b; Erdinler vd., 2019; Dilik vd., 2015; Kurtoğlu, 2000).

Şekil 15

Üst yüzey işlemlerinde yüzey katmanları oluşturma olanaklarının şematik görünüşü



Açıklama notu. Kurtoğlu, A., 2000, Ağaç Malzeme Yüzey İşlemleri 1. Cilt: Genel Bilgiler, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, Üniversite Yayın No: 463, İstanbul kaynağından alınmıştır.

Saydam ve Örtücü Yüzey İşlemlerinin Kullanım Olanakları ve Yapısı

Saydam yüzey işlemi uygulamasından önce yapılması gerekli yüzey işlemlerine hazırlık safhasındaki bütün ön hazırlık işlemlerinin gerçekleştirilmesi koşulu ile burada, astarlama öncesi bütün yüzeylerin zımpara tozundan arınmış olmasını tekrar belirtmekte yarar bulunmaktadır. Fazla miktarda reçine içeren ibrelili odunlar ve bazı egzotik ağaç türleri, içerdikleri hücre içindeki depo edilmiş maddeler yüzünden yüzey işlemleri olumsuz yönde etkilenmektedir. Bu nedenle, uzaklaştırılmaları gerekmektedir. Saydam (transparant) yüzey işlemlerinde ahşabın tekstürü görülmekte, bununla beraber rengi kimyasal renklendirme yolu ile değiştirilebilmektedir. Yüzeyin kaplanması ise saydam vernikler ile gerçekleştirilmektedir. Saydam yüzey işlemleri önceleri gomalak verniği (cila) ile mat veya parlak olarak yapılmıyordu. Bu şekilde işlem görmüş yüzey, kullanılan gomalak verniği ile aynı özellikleri göstermektedir. Sürülme genellikle cila topları ile olmaktadır. Bugün çok farklı özelliklere sahip çeşitli yüzey işlemi maddeleri bulunmaktadır. Genellikle vernik sistemleri çeşitli şekillerde yüzeye sürülmekte ve mat veya parlak olarak kuruyabilmektedir.

Renkli (örtücü) koruyucu yüzey işlemleri de, yapı elemanlarında en alışılmış koruma önlemlerindendir. Bu işlemler, genellikle bina içinde uygun olup bina dışında kullanılan ahşap malzemeyi de güvenilir olarak korumaktadır. Renkli koruyucu yüzey işlemlerinin de çeşitli katmanları ve fonksiyonlarına geçmeden önce, ön hazırlık işlemleri ve ön astarlamanın yapılması gerekmektedir. Her ne kadar özel durumlarda kalın tek tabakalı veya gerektiğinde 2 kat halinde sürme yeterli ise de kural olarak çok tabakalı

sürmek esastır. Bunun içinde, astarlama ve macunlama işlemlerinden sonra, ara ve son kat koruyucu işlemler yapılmaktadır. Bu durum, özellikle dış etkilere açık yüzeyler için geçerlidir. İki katlı uygulamasında ahşap malzemenin yapısı (görüntüsü) hala kısmen görülebilmektedir. Son kat yüzey işlemi ile yüzey işleminin yapısı tamamlanmaktadır ve arzu edilen optik etkiye ulaşılmaktadır. Diğer çok katlı yapılardaki gibi burada esas husus, sonraki katmanın önceki katmana göre çok daha sert ve katı olmamasıdır. Yani geçiş mutedil olmalıdır. Bu husus, aynı fabrikanın ürünlerinin kullanımı suretiyle veya tecrübe ile gerçekleştirilebilir. Yapılan araştırmalarda, bir ahşap yüzeyin yeterli miktarda korunması için film tabakasının saydam yüzey işlemi sisteminde en az 60 mikron, örtücü yüzey işlemi sisteminde ise 100-120 mikron olması gerektiği belirtilmektedir (Kurtoğlu, 2000; Kurtoğlu-Dilik, 2020; Dilik, 2021).

Zorlama (Yükleme) Kademelerine Göre Saydam ve Örtücü Yüzey İşlemlerinin Kullanım Yerleri

Literatür bilgilerine göre, tek tek saydam ve örtücü (pigmentli) yüzey işlemlerinin kullanım olanaklarını sınırlamak için, zorlama sınıflarının ayırımının yapılmasının gerekliliği ileri sürülmektedir. Bu kapsamda, Tablo 12’de görüleceği gibi yüzey işlemlerinin kullanım yerlerinin belirlenmesinde zorlama sınıfı kademelendirilmesine göre saydam yüzey işlemlerinin 1.- 6. Kademelerde, örtücü yüzey işlemlerinin ise 7.-15. Kademeler arasında bulunduğu ortaya çıkmaktadır (Kurtoğlu, 2000; Kurtoğlu-Dilik, 2020b).

Üst Yüzey İşlemi Uygulama Teknikleri

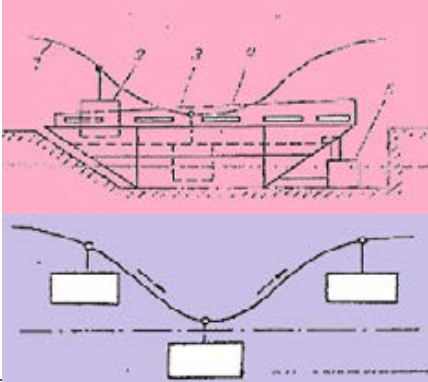
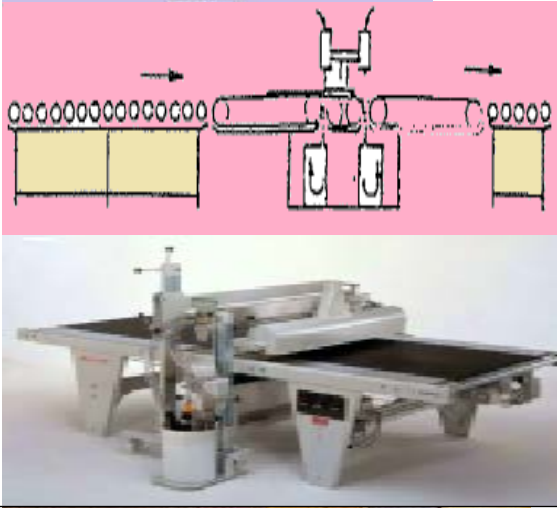
Üst yüzey işlemlerinde ahşap malzemenin yüzeyine; koruma, estetik, hijyen (temizlik) vb. amaçlarla vernik, boya, cila vb. gibi sıvı

Tablo 12

Yüzey işlemlerinin yükleme (zorlama) kademelerine göre kullanım olanaklarının sınıflandırılması ve kullanım yerleri.

Saydam Yüzey İşlemleri			Örtücü Yüzey İşlemleri	
Bina İçindeki Kullanımlar	Bina Dışındaki Kullanımlar		Bina İçindeki Kullanımlar	Bina Dışındaki Kullanımlar
1. Kademe: Düşük zorlamalar için, örneğin tavan veya az zorlanan dikey yüzeyler için.	6. Kademe: Çatıların altındaki yağmur ve güneş yansımasına karşı korunmuş yüzeyler için		Kademe 7: Düşük estetik istekler için	Kademe 12: Yağmur ve güneş ışınından korunumlu yüzeyler (çat altı) için,
2. Kademe: Oturma odaları gibi konutlardaki normal zorlamalı yapı elemanları için.	Kademe 15’e göre zorlanan dış yapı elemanlarına saydam yüzey işlemleri uygulanmamalıdır. Etki yönüne göre az veya çok korunumlu olan dış yapı kısımlarında 13. ve 14. Zorlama kademelerine uygun zorlamalar için saydam vernikler genellikle önerilmemektedir. Buna rağmen saydam vernik sistemleri kullanılırsa aşağıdaki hususlar göz önünde tutulmalıdır.		Kademe 8: Normal bina içi yüzey işlemleri için	Kademe 13: Doğu veya Kuzeye yönelmiş üstü örtülü yüzeyler için,
3. Kademe: Kuvvetli zorlamalı lokanta, satış salonları gibi mekanlardaki masa tablaları hariç diğer kuvvetli zorlamaya maruz yüzeyler için.	1. Mantara karşı koruyucu işlemler veya mantar tasallutunu engelleyici maddeler ile astarlama,		Kademe 9: Düzgünlük, parlaklık veya mat etki bakımından yüksek istekler için.	Kademe 14: Üstü örtülü güney ve batıya bakan yüzeyler için,
4. Kademe: Okul mobilyası, lokantalarındaki masa tablaları, laboratuvar masaları, pencereler gibi özellikle fazla zorlamalı yüzeyler için,	2. Trahe (poren) ler kusursuz olarak örtülmeli,		Kademe 10: Strüktürel yüzey işlemi için	Kademe 15: Örtüsüz veya az örtülü güney ve batıya bakan yüzeyler için
5. Kademe: Parke ve taban döşemesi yüzeyleri için,	3. Keskin köşeler olmamalı, yani kenarlar mutlaka pahlandırılmalıdır.		Kademe 11: Kimyasal maddelere dayanıklılık gibi özel yüklemeler için.	
	4. Ezilmiş veya çıkıntılı (kalkık) lifli yüzeylerde odun lifleri zımpara ile uzaklaştırılmalıdır,			
	5. Enine kesite özellikle daha yoğun yüzey işlemi maddesi sürülmeli ve katman kalınlığı her yerde en az 100 mikron olmalıdır.			
	6. Katmanların oluşturulmasında aynı türde ürünler ve aynı yüzey işlem sistemi seçilmeli,			
	7. Parlak verniklerin matlara göre mekanik etkilere daha dayanıklı olduğu göz önünde tutulmalı.			
	8. İtinalı çalışmaya rağmen kural olarak bu tür (saydam) verniklerin kısa ömürlü olduğu göz önünde tutulmalıdır.			

Tablo 13*Üst yüzey işlemi uygulama tekniklerinin sınıflandırılması.*

Uygulama Sınıfı	Uygulama Tekniği	Uygulama şekli ve özellikleri
A. Yüzeye temas etmeden uygulanan yüzey işlemleri	1. Püskürtme yöntemi ile	
	2. Batırma (Daldırma) yöntemi ile	
	3. Dökme (perde makinesi) yöntemi ile	
B. Yüzeye temas ederek uygulanan yüzey işlemleri	1. Cila topu ile sürme	
	2. Fırça ile sürme	
	3. Silindirli makineler ile sürme	

yüzey işleme maddelerinin uygulanması (sürülmesi) çok çeşitli araç, gereç ve teknikler ile yapılmaktadır. Ancak üst yüzey işlemi uygulama tekniklerinin, Tablo 13' den de anlaşılabileceği gibi uygulanma şekli ve özelliğine göre, ya yüzeye temas etmeden (püskürtme, dökme ve batırma) ya da yüzeye temas ederek (fırça ve silindirli makineler ile sürme veya baskı suretiyle) uygulanan teknikler olarak iki grupta sınıflandırılmakta olduğu görülmektedir (Kurtoğlu, 2000; Kurtoğlu-Dilik, 2020a; Kurtoğlu-Dilik, 2020b; MEB Öğrenim Modülleri, 2012 ve 2011; Kurtoğlu-Kahveci, 1989).

Tablo 14

Üst yüzey işlemlerinde uygulanan püskürtme tekniği ve özellikleri.

Püskürtme Yöntemi	Kullanım Özellikleri
1- Alçak basınçla püskürtme (1 bar' a kadar)	<i>Bu püskürtmede, basınç genellikle yüzey işleme maddeleri için çok düşük olduğundan ekonomik bakımından önemi bulunmamaktadır. Yalnız renklendirme ve viskozitesi çok düşük verniklerin püskürtülmesinde kullanılmaktadır.</i>
2- Normal basınçla (klasik) püskürtme (1-4 bar)	<i>En çok kullanım ve uygulama alanı bulan püskürtme yöntemidir. Püskürtme tabancası ile vernik ve boya sürme tekniği, ancak çabuk kuruyabilen verniklerde uygulanabilmektedir. Bu yöntemin gelişmesi selülozik verniğin kuruma hızı ile yakından ilgili olup, önceleri yalnız selülozik vernik ve boya sürmede kullanılmasına rağmen, günümüzde bütün vernik ve boyaların püskürtülmesinde uygulanmaktadır. Eskiden yalnız dairesel veya yalnız oval püskürtme yapan tabancalar kullanılmasına rağmen günümüzde geliştirilen püskürtme tabancalarında kullanım amacına uygun şekilde ayarlamalar yapılarak çok değişik şekillerde püskürtme yapılabilir.</i>
3- Yüksek basınçlı (Airmix) püskürtme (20-60 bar)	<i>Bu püskürtme yönteminde ise normal ve çok yüksek basınçlı püskürtmenin kombinasyonu söz konusudur. Hidrolik olarak üretilen vernik basıncı çok yüksek basınçlı püskürtmedeki 100-200 bara göre daha düşük olup, 20-60 bar arasında değişmektedir. Bu basınçla tabanca ucundan çıkan vernik dalgası 0,2-2 bar arasında değişen basınçlı hava ile ek olarak desteklenerek toz halinde püskürtülmektedir.</i>
4- Çok yüksek basınçlı (Airless) püskürtme (100-200 bar)	<i>Orta ve büyük işletmelerde kullanılan havasız püskürtme (Airless spraying) adı verilen püskürtme metodudur. Normal basınçlı (havalı) püskürtmede, verniğin küçük parçalara ayrılması ve verniklenecek yüzeye iletilmesi daha önce belirtildiği gibi basınçlı hava ile sağlanmasına rağmen bu püskürtme yönteminde, vernik veya boya sıvısı hidrolik bir sistem yardımı ile sıkıştırılmakta ve basınç altındaki vernik sıvısı püskürtme konisi ucunda parçalanarak fışkırmaktadır. Basıncı sağlayan özel pompalar, havayı sıkıştırmakla veya doğrudan verniğin sıkıştırılması prensibi ile çalışmaktadır.</i>
5- Elektrostatik püskürtme	<i>Elektrostatik püskürtmede zıt elektrik yüklenmiş cisimlerin birbirini çekmesi prensibinden yararlanılmaktadır. Bu püskürtme yöntemi, metallerin verniklenmesinde uzun zamandır kullanılmaktadır. Kısa zamanda, çok az fire vererek işin her tarafını eşit kalınlıkta vernikleme olanağını veren bir yöntemdir. Diğer püskürtme yöntemlerine göre %45-50 vernik ve işgücü tasarrufu sağlama gibi büyük avantajları bulunan bu yöntemde, ahşap malzeme %8-10 rutubete sahip olmalıdır. Küçük ve girintili çıkıntılı mobilya parçaları vernikleme düzeni karşısında döndürülmeden tamamen verniklenebilmektedir. Ancak, büyük elemanların kusursuz verniklenmesi için elektrostatik alan içinde döndürülmesi gerekmektedir.</i>

Yüzeye Temas Etmeden Uygulanan Üst Yüzey İşlemi Teknikleri

Bu uygulama tekniğinde, yüzey işlemi maddeleri ahşap malzeme yüzeyine; püskürtme, dökme ve batırma teknikleri olarak 3 farklı şekilde uygulanmaktadır. Aşağıda bu yöntemler hakkında genel bilgiler verilmektedir.

1- Püskürtme Suretiyle Vernik Sürülmesi

Uygulamada en çok kullanım bulan püskürtme tekniğinde; Vernik, pnömatik veya hidrolik olarak yüzeye püskürtülmektedir. Püskürtme tekniğine göre püskürtme yöntemleri aşağıdaki Tablo 14' de de görüleceği gibi uygulama özelliklerine göre çeşitli gruplara ayrılmakta ve tanımlanmaktadır (Kurtoğlu-Dilik, 2020a; Kurtoğlu-Dilik, 2020b; MEB Öğrenim Modülleri, 2012 ve 2011; Kurtoğlu-Kahveci, 1989).

Püskürtme Yöntemlerinin Uygulanmasında Dikkat Edilecek Hususlar

Bilindiği gibi yüzey işlemlerinde asıl amaç eşit kalınlıkta vernik tabakasının yüzeye püskürtülmesidir. Tablo 15' den de anlaşılabileceği gibi burada istenen amaca ulaşmak için yüzey işlem maddesinin türüne göre, püskürtme başlığının uygun basınçla ayarlanması, verniğin akıcılığının ayarlanması ile püskürtme hareketlerinin temposu gibi birçok husus önemli bulunmaktadır (Kurtoğlu-Dilik, 2020a; Kurtoğlu-Dilik, 2020b; Kurtoğlu-Kahveci, 1989; MEB Öğrenim Modülleri, 2012 ve 2011; Böhme, 1980).

Tablo 15

Çeşitli vernik türlerine göre püskürtme uygulamasının teknolojik koşulları.

Yüzey İşlemi Uygulaması	Selülozik Vernik	Sentetik Vernik	Poliüretan Vernik	Poliyester Vernik
Uygulama				
Özellikleri				
Püskürtme basıncı (MP)	0,22-0,40	0,25-0,40	0,35-0,40	0,15-0,20
Püskürtme çapı (mm)	1,5-1,8	1,5-1,8	1,2-1,8	1,8-1,2
Yüzey İşlemi maddesi				
Sıcaklığı (°C)	20-24 20-24 20-24	22-26		
Viskozite (4 mm)	8-28	25-45	14-18	26-36

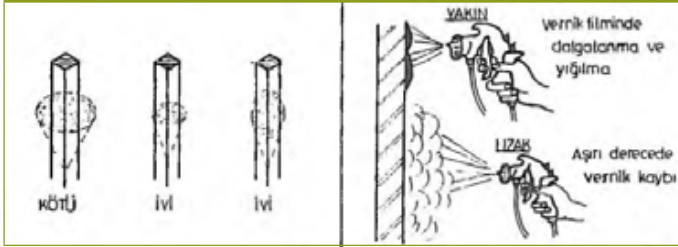
- Uygulamalarda püskürtme şekillerinin formu yuvarlak, yassı (dikey veya yatay) iki şekilde ayarlanabilmektedir. Püskürtme konisindeki hava boşluklarından ayar havası verilmeksizin püskürtme konisi etrafında püskürtülen hava vasıtasıyla elde edilen yuvarlak püskürtme şekli mobilya iskeletleri gibi dar yüzeylerde tercih edilmektedir. Tabanca ucundan fışkıran sıvı-hava püskürtme konisinin taban çapı 30 cm' ye kadar ayarlanabilir. Küçük ve dar yüzeylerde, koni daraltılmakta, büyük yüzeylerde ise genişletilmektedir. Tabancaya değişik amaçlarla kullanılabilecek farklı uçlar takılabilmektedir. Dekorasyon

işlerinde 0,3-0,8 mm normal işlerde 1,5-2,5 mm, koyu vernik ve macunlarda ise 3-6 mm delikli uçlar kullanılmaktadır.

- Vernik sıvısının yüzeyde yığılma oluşturmamasını önlemek, tabancanın kullanımına ve hareket tarzına bağlıdır. Yüzeyde oluşturulacak filmin düzgünlüğü tabancanın birbirini çapraz kesen izler halinde kullanılmasını gerektirmektedir. Püskürtme işlemine başlamadan önce, yukarıda belirtilen hususların bir örnek parça üzerinde denenmesinde yarar bulunmaktadır. Hangi akıcılıkta, püskürtme basıncında ve püskürtme yoluyla en iyi sonucu alındığı belirlenmelidir. Böylece deneylerin sonunda, püskürtme tabancasının en verimli kullanış biçimi belirlenebilmektedir.
- Püskürtme de, mümkünse ahşap malzeme yatay durumda verniklemeli, tabancanın, yüzeye eğik durumda kullanılması kaçınılmalıdır. Vernik filmi, yüzeyin ortasından kalın oluşur. Kenarlara gidildikçe incilir. Tabanca püskürtme anında yüzeye dik konumda tutulmalıdır (Şekil 16).

Şekil 16

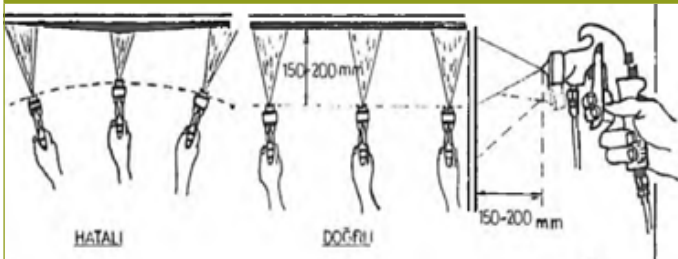
Püskürtme tabancasının yüzeye göre durumu



- Vernikleme tabancasının malzemeye olan uzaklığı ile ortaya çıkan değişik kalınlıktaki vernik filmi gösterilmektedir. Püskürtme sırasında elin hareketinin dairesel değil, doğrusal bir yol izlemesi gerektiği ve doğru çalışma uzaklığı 150-200 mm olması gerektiği belirtilmektedir (Şekil 17). Düzgün ve kusursuz bir film katmanı oluşturmak için, bir iz, kendinden önceki izin yarısını örtmelidir.

Şekil 17

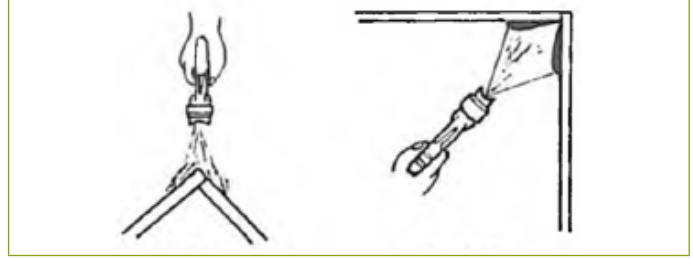
Püskürtme anında elin hareketi ve malzemeye uzaklığı



- Kabin tipi mobilyaların dış ve iç köşelerinin püskürtme tabancası ile köşeye dik tutularak verniklenmesinden kaçınılmalıdır. Ayrıca, kabin tipi mobilyaların mümkünse montajından önce yüzey işleminin yapılması daha uygundur. Çünkü mobilyanın iç kısmındaki püskürtmede vernik sisleri (dumanları) emme düzeni ile uzaklaştırılamamakta ve yüzeyde gereksiz düzensizlikler oluşmaktadır. Böylece, kabin tipi mobilyanın iç köşelerinin püskürtme ile verniklenmesinde eşit kalınlıkta olmayan vernik katmanı nedeniyle fazla vernik yığılması oluşmaktadır (Şekil 18).

Şekil 18

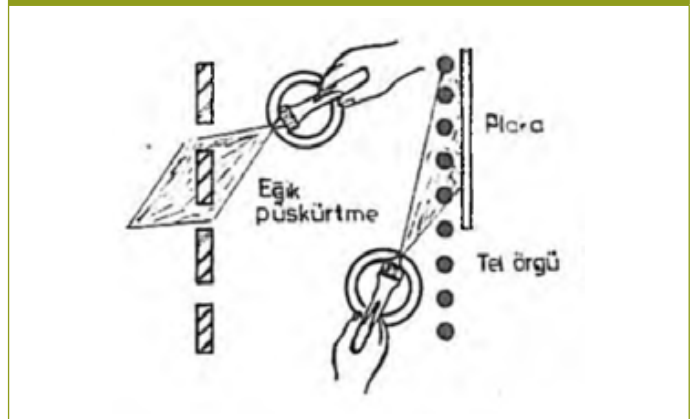
Dış köşe [a] ve iç köşe [b] püskürtme uygulamaları



- Kafes, radyatör örtüsü gibi dar ve kesintili kısımlarda püskürtme tabancasının işe eğik tutularak çalışılmasıyla çitanın bir geniş, bir dar kenarı aynı anda verniklenmesi sağlanmalıdır. Bu yöntem ile dar işlerin verniklenmesinde en ekonomik yöntem uygulanmış olur. Ayrıca, Kafes, hasır örgü gibi çok küçük aralıklı işlere vernik veya boy püskürtülürken, arkalarına bir plaka koymak yararlıdır. Plakaya çarpan ve anaför yapan sıvı, işin arka yüzünü tam olmasa da verniklenmesine yardımcı olmaktadır (Şekil 19).

Şekil 19

Kafes, hasır örgü gibi çok küçük aralıklı işlere püskürtme uygulaması



- Uzun tablaların verniklenmesinde enine yönde de çalışılabilir. Ancak, uzun tablolarda boyuna yönde çalışılmak isteniyorsa, en doğru yöntem tablayı 60-100 cm'lik bölümlere ayırarak boyuna yönde verniklemedir. Bölmelerin birbiri üzerine yaklaşık 10 cm bindirilmesi gereklidir (Şekil 20). Geniş yatay yüzeyler verniklenirken tabanca daima dik durumda tutulmalı ve çalışmaya yakın kenardan başlanmalıdır.

Şekil 20

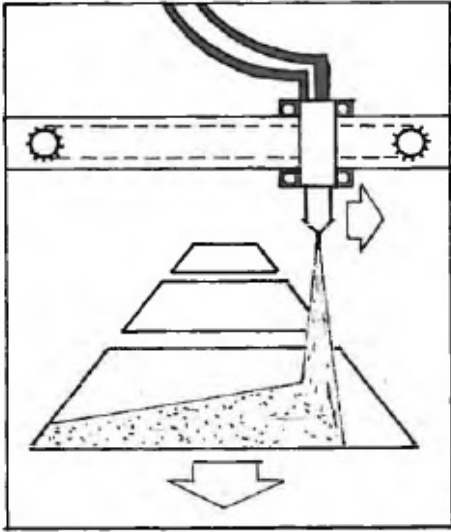
Uzun tablolara püskürtme uygulamaları örneği.



- Seri üretim yapan fabrikalarda verniklenecek malzemelerin püskürtme kabini veya duvarına üstten raylı, makaralı, kancalı veya yerden sonsuz bant veya arabalı sistemlerden yararlanılarak taşınmakta olduğu görülmektedir. Mobilya endüstrisinde mobilya elamanlarının geometrisi gereği otomatik vernikleme hatlarına gereksinim duyulmaktadır. Parlak ve düz geniş yüzeylerin silindirik vernikleme veya dökme makinaları ile verniklenmesi hali hazırda en rasyonel vernikleme metodudur. Ancak girintili çıkıntılı, eğmeçli parçaların verniklenmesinde en uygun metot püskürtme metodu olmaktadır. Bu amaçla, püskürtme tabancaları düz-yuvarlak veya oval taşıyıcı donanımlara tespit edilerek aşağı yukarı ve dairesel hareketlerle ileriye doğru bant üzerinde hareket eden mobilya elemanını verniklenmesi en çok tercih edilen yöntemdir. Bu yöntemlerde, verniklenecek mobilya parçasının yeri, büyüklüğü, şekli püskürtme kabinine girmen önce fotosel yardımı ile belirlenmektedir. Bu verilere dayanılarak püskürtme tabancası verniği emniyetle malzeme üzerine püskürtmektedir. Aşağıdaki şekilde otomatik vernik püskürtme tesisinde püskürtme tabancasının işlevi şematik olarak gösterilmektedir (Şekil 21).

Şekil 21

Otomatik bir püskürtme tabancasının hareket düzeninin şematik görünüşü.



2- Daldırma (Batırma) Yöntemiyle Vernikleme

Bu yöntemde kullanılan vernikler diğer yöntemlere nazaran farklıdır. Malzemeler daldırma yöntemi için üretilmiş özel vernik yerine fırça verniğine daldırılırsa, verniğin yüzeyde dağılımı düzgün olmamakta ve parçanın alt kenarında damla biçiminde vernik toplanması görülmektedir. Akışkanlığı ayarlanmış daldırma verniğine batırılan parçada akıntı ve damla biçimindeki birikintiler oluşmamaktadır. Seri üretim yapan işletmelerde daldırma işlemi özel daldırma aparatları veya havuzları yardımı ile gerçekleştirilmektedir. Verniklenecek parçanın tutulması, vernik sıvısına giriş ve çıkışı otomatik olarak özel aparatlarla yapılmaktadır. Parçanın (işin) ilerleme hızı verniğin özelliğine ve elde edilmek istenen vernik katmanı kalınlığına bağlıdır. Tablo 16' da Nitroselülozik vernik (N.S) ile daldırma metodundaki bazı teknik özellikler gösterilmektedir [Kurtoğlu-Dilik, 2020a; Kurtoğlu-Dilik, 2020b;

Kurtoğlu-Kahveci, 1989; MEB Öğrenim Modülleri, 2012 ve 2011; Böhme, 1980].

Tablo 16

Daldırma yöntemi için kullanılacak Nitroselülozik (N.S.) verniğin özellikleri.

Uygulama Özellikleri	N.S. (Saydam)	N.S. Pigmentli (Örtücü)
İşleme sıcaklığı (°C)	20-24	20-26
Viskozite (4 mm)	400-450	230-250
Batırma hızı (m/dak.)	0,15-0,03	0,015-0,02
Vernik katman kalınlığı (mik.)	30-150	60-150
Kurutma süresi (dak.)	300	360
Kurutma sıcaklığı (°C)	50	0

Daldırma yönteminde önemli diğer bir husus ise verniklenecek ahşap malzemeden parçanın sıvıya daldırılma ve sıvıdan çıkarılma hızıdır. Birden verniğe daldırılan parça üzerinde hava kabarcıkları oluşmaktadır. Uygun hızla dışarı alınmayan parçada ise vernik sıvısı istenmeyen akıntılar yapmaktadır. Otomatik aparatlarda yapılan bu işlemde başarı oranı belirli ölçüde artar.

3- Dökme (Perde) Yöntemi ile Vernikleme

Bu yöntem uzun bir kabin dibindeki aralıktan verniğin akması ve bir perde oluşturması kuralına dayanmaktadır. Düzgün malzeme yüzeyi vernik perdesinin altından geçerken, arzulanan kalınlıkta verniklenebilmektedir.

Selülozik, asit sertleştiricili, polyester ve poliüretan vernikler dökme makinası ile yüzeye sürülebilmektedir. Ancak, düz ve hafif eğmeçli yüzeylere sahip ahşap malzemeden yapılmış işlerin (parçaların) verniklenmesinde olumlu sonuç vermektedir. Seri üretim yapan işletmelerde geniş kullanım alanı bulan dökme makinası fazla girintili çıkıntılı parçaların verniklenmesinde ekonomik bulunmamaktadır.

Vernik perdesinin kalınlığı ve akma yüksekliği ayarlanabilmekte, normal parçalarda 0,8 mm kalınlığındaki vernik perdesi ile çalışılmaktadır. Vernik perdesinin bozuk ve kesikli çıkması için dökme kanalının kenarında bozukluklar ve kuruyan vernik birikintileri olmamalıdır. Vernik perdesi değişik kalınlıkta ise, katmanın düzgünlüğü bozulmaktadır. Verniklenecek iş perdeye dik doğrultuda vernik ve eritici sıvılara dayanıklı bantlar üzerinde iletilir. Parçanın ilerleme hızı, dökülmek istenilen verniğin viskozitesi ile doğrudan ilgilidir. Bu nedenle, uygulamada sık sık verniğin akışkanlığının kontrol edilmesini gerektirmektedir.

İş verimi yüksek olan dökme makinaları seri üretim yapan büyük işletmeler yanında, son zamanlarda teknik gelişmeler ile orta büyüklükteki işletmelerde de ekonomik kullanım olanağı bulunmaktadır. Yapılan araştırmalarda dökme makinasının verimli olabilmesinin, en az 60 tane aynı veya benzeri parçaların arkaya makinaya verilmesinin gerektiği belirtilmektedir. Dökme makinasında verniklenecek parçanın ilerleme hızı 40-180 m/dakika arasında değişmektedir. Vernik perdesinin kalınlığı istenilen ölçüde ayarlanabilmekte ve parçaya dökülen vernik miktarı kontrol edilebilmektedir [Kurtoğlu-Dilik, 2020a; Kurtoğlu-Dilik, 2020b;

Kurtoğlu-Kahveci, 1989; MEB Öğrenim Modülleri, 2012 ve 2011; Böhme, 1980).

Yüzeye Temas Ederek Uygulanan Üst Yüzey İşlemi Teknikleri

Bu uygulama tekniklerinde, yüzey işlemi maddeleri ahşap malzeme üzerine cila topu, fırça ve silindirli sürme makinalar yardımı ile sürülmektedir.

1- Cila Topu İle Vernik Sürülmesi

Gomlak (cila) sistemi; doğal gomlak reçinesi yardımı ile ağaç malzeme yüzeyinde oluşturulan koruyucu parlak yüzey işlemi katmanına gomlak cilası denmektedir. Daha çok gomlak verniğinin (cilasının) sürülmesinde kullanılmakta olan cila topu ile verniklemedeolumlu sonucun alınması, çoğunlukla cila topunun niteliğine bağlıdır. Pratikte cila topunun içi, pamuktan hazırlanır. Fakat birçok defa yıkanmış, temiz, emme yeteneği olan, boya vermeyen, seyrek dokulu, pamuk ve yün dokumalarında kullanılmakta olduğu görülmektedir.

Bilindiği gibi ham gomlak, reçine, mum, yağ ve renk veren maddelerden oluşur ve vernik çeşitlerinden farklı olarak herhangi bir vernik sürme aracı ile değil cila topu ile yüzeye uygulanır. Uygulanması diğer verniklere göre uzun zaman aldığı ve uzmanlık gerektirdiği için vernik çeşitlerinin gelişimi ile ahşap işlerinde uygulama alanı daralmıştır. Ancak, müzik aletleri yapımında hâlen en çok tercih edilen bir üst yüzey işlemi olarak kullanım bulmaktadır (Kurtoğlu-Dilik, 2020a; Kurtoğlu-Dilik, 2020b; MEB Öğrenim Modülleri, 2012 ve 2011; Kurtoğlu-Kahveci, 1989).

2- Fırça İle Vernik Sürülmesi

Bu yöntemle vernik sürme işleminde özellikle bu amaca göre hazırlanmış fırça vernikleri kullanılmaktadır. İşlem için, tozlu ortamlardan kaçınılması ve vernik türüne göre fırçanın seçilmesi ön koşul olarak ileri sürülmektedir. Aynı zamanda vernik sürülecek ahşap malzemenin zımparalanmış ve tozu alınmış olması gerekmektedir. Örneğin, selülozik vernik sürmede yumuşak, yağlı vernik sürmede ise sert kıl fırça kullanılmalıdır.

Fırça ile vernik sürmede, fırçanın bakımı ve saklanması çok önemlidir. Uzun süre bir kutuda dikine vaziyette duran fırça ile düzgün vernik sürülemez. Vernikleme işlemine başlamadan önce kullanılacak verniğin eritici ile fırçanın temizlenmesi gereklidir. Kuralına uygun kullanılmış ve iyi saklanmış eski bir fırça ile yeni fırçadan daha düzgün vernik sürülebilmektedir. Fırça ile yüzey işlemi uygulamasında fırça kılları yarısına kadar ıslanacak şekilde verniğe daldırılmalıdır. Boya veya verniğe daldırılan fırça, kutunun kenarına sürülerek sıvının fazlası alınmalı ve damlaması önlenmelidir. Fırça ile ağaç malzeme üzerinde rahat ve doğru çalışmak çok deneyimli olmayı gerektirmektedir. Eşit kalınlıkta ve ince bir katman oluşturmak için yağlı vernik özenle yayılmalıdır. Aksi takdirde iyi yayılmamış yağlı vernik dalgalı, pütürlü bir yüzey oluşturmaktadır. Vernik fırçanın yüzeye sürülmesi sırasında başlangıç noktası malzemenin kenarı olmamalıdır. Kenardan başlanan sürülmeye akıntılar oluşmaktadır. Verniklenecek yüzeyler elden geldiğince yatay durumda bulundurulmalı, vernikleme işlemine çalışana en uzak kenardan başlanmalıdır. Oluşan akıntılar kurumadan silinmelidir.

Günümüzde fırça verniği adı ile üretilen vernikler sürülürken zorluk çıkarmamakta, ince katmanlar halinde ve kolayca sürülebilmektedir. Fırça ile çalışırken vernik ve boyanın açık zamanına dikkat edilmelidir. Sürülen vernik ve boyanın kalınlığı arttıkça, kuruma süresi değişmekte, ancak katmanın kalınlaşması ile kuruma süresinin uzaması orantılı olmayıp sürülen verniğin kalınlığı iki defa artarsa kuruma süresi ise dört defa artmaktadır denilebilir. Dikey yüzeyler için fırçalamanın aşağıdan yukarıya doğru yapılmasına ve tüm parçanın aynı zamanda verniklenmesine özen gösterilmelidir. Düzgün sürülen ve kurutulan vernikte bazen hava kabarcıkları veya pütürlemeler görülebilmektedir. Bu belirtileri içeren vernik katmanı iyice kuruduktan sonra zımparalanmalıdır. Birkaç kat vernik sürülmesi gereken ahşap malzemede her kat arasında kurutma, zımparalama ve tozu alma işlemleri yapılarak daha sonra vernik sürülmelidir. Ara katlarda normal koyuluktaki vernik, son kat için ise inceltilmiş vernik ile çalışılmasına dikkat edilmelidir. Fırça ile vernik sürme, zaman alıcı ve deneyim gerektiren bir işlem olmasına rağmen uygulamada fire azaltmakta, püskürtme tekniğine göre çevre kirliliğine daha az neden olmaktadır. Bunun yanında, fırça ile vernik ve boya sıvısı ahşap malzemenin gözeneklerine itildiği için daha derine nüfuz etmektedir. Bu nedenle yüzey işleme sıvısının ahşap malzeme ile bağlantısı daha kuvvetlidir (Kurtoğlu-Dilik, 2020a; Kurtoğlu-Dilik, 2020b; MEB Öğrenim Modülleri, 2012 ve 2011; Kurtoğlu-Kahveci, 1989).

3- Silindirli Sürme Makinaları İle Vernikleme

Bu yöntemde, verniklenecek ahşap malzeme döner silindirler arasından geçerken verniklenmektedir. Her türlü vernik ve boya uygulamalarına olanak sağlayan bu yöntemde ahşap malzemeye sürülecek boya veya verniğin kalınlığını silindirler arasındaki açıklık belirlemekte ve istenilen ölçülere göre ayarlanabilmektedir.

Amaca uygun işlem için en önemli husus silindirler arasındaki açıklığın paralel olması koşuludur. Verniklenecek malzemenin ilerlemesi ise makine tablası altındaki itme silindirleri vasıtası ile sağlanmaktadır. Kalın boya ve vernik katmanı oluşturacağı zaman sıvı taşıma silindiri kaldırılabilir, sürme silindiri ise doğrudan vernik kabına yanaştırılarak, sıvının fazlası, silindir boyunca ayarlanabilen sıyrıcı bir eklenti ile alınabilmektedir. Tek kat sürülmesi gereken vernik ve boyalarda bu yöntem uygulanabilir.

Akıcılığı iyi ayarlanmış boya ve vernikler, silindirli sürme makinaları ile püskürtme tekniğine göre daha dengeli sürülebilmektedir. Sürme silindiri ile bastırılan boya ve vernik ahşap malzemenin gözeneklerine daha iyi nüfuz etmektedir. Bu makinalar ile vernik sürme işlemi, daha çok seri üretim yapan fabrikalar için ekonomik bulunmaktadır (Kurtoğlu-Dilik, 2020a; Kurtoğlu-Dilik, 2020b; MEB Öğrenim Modülleri, 2012 ve 2011; Kurtoğlu-Kahveci, 1989).

Üst Yüzey İşlemlerinde Ortaya Çıkan Hata Kaynakları ve Kusurlar

Üst yüzey işlemi tamamlanmış yüzeylerde sık görülen bazı hataların ve kusurların çeşitli nedenleri bulunmaktadır. Ancak, bu hataların genellikle yalnız tek nedenden değil birçok nedenin birlikte etkilemesi ile ortaya çıkmakta olduğu görülmektedir.

Yüzey işlemi hataları (kusurları) genellikle aşağıda belirtilen 5 gruba ayrılmaktadır:

1. Hatalı hazırlık işlemleri ile oluşan kusurlar:
2. Yüzey işlemi uygulanacak ahşap malzeme ile ilgili kusurlar:
3. Yüzey işlemi maddelerinde (vernük, boya, cila vb.) görülen kusurlar:
4. Yüzey işlemi uygulamasından doğan kusurlar:

5. Yüzey işlemi uygulamasından sonra ortaya çıkan kusurlar:

Yüzey işleminde ortaya çıkan hatalar; Tablo 17' de her bir grup için neden-sonuç ilişkisi içinde topluca açıklanmaktadır (Kurtoğlu-Dilik, 2020a; Kurtoğlu-Dilik, 2020b; MEB Öğrenim Modülleri. 2012 ve 2011; Kurtoğlu-Kahveci, 1989).

Tablo 17

Üst yüzey işlemlerinde ortaya çıkan hatalar ve kusurlar:

Hatalar (Kusurlar)	Hataların Nedenleri	Ortaya Çıkan Kusurlar ve Özellikleri
1- Hatalı hazırlık işlemleri ile oluşan kusurlar	a) Hatalı perdahlama işlemi uygulamasıyla oluşanlar	*İslatma hazırlık işlemi uygulanmadan ve zımparalamadan hemen sonra yüzey işlemi uygulanırsa basınç gören lifler kabarak daha fazla boya veya vernük emerek daha koyu bir renk oluşmakta ve lekeli bir görünüş almaktadır. *Zımparalamadan sonra zımpara tozunun malzeme üzerinden uzaklaştırılamaması halinde ise yüzeyde gri lekeler oluşmaktadır.
	b) Reçine, yağ ve tozların temizlenmesi ile ilgili hatalar	*Ahşap malzeme yüzeyine varsa reçine, yağ ve tozlardan temizlenmeden yüzey işlemi uygulanması halinde; Terleme, Yağ lekeleri, Balıkgözü oluşumu gibi kusurlar ortaya çıkmaktadır
	c) Ahşabın ekstraktif içeriğiyle oluşan kusurlar	*Reçine içeren ahşap malzemede vernük tabakasının sık sık yapışkan bir hal aldığı, yumuşadığı, buruşuklaştığı veya fil derisi şeklini aldığı ve trahelerden reçine akışı nedeniyle kanama oluştuğu belirlenmektedir. *Tanen içeren ahşap malzemede renklenmeler demir, alkalik ağartıcılar ve alkali bağlayıcı maddeler nedeni ile olmaktadır. Bunlar, genellikle küçük ve koyu noktacıklar şeklinde görülmektedir.
	d) Ağartma (renk açma) işlemi ile ilgili kusurlar	*Ağartma kusurları çok konsantre veya uygun olmayan ağartma maddeleri ile çalışma nedeniyle oluşmaktadır. Örneğin, çok renkli ahşaplar hidrojen peroksit veya amonyak ile ağartılır ise yüzeyde yeşil çizgiler ortaya çıkabilmektedir.
	e) Yapıştırma bantları izleri ile ilgili kusurlar	*Kaplama bantları eklerken kullanılan bantların yapıştırıldığı kısımlardaki kaplamanın rengi değişmekte ve koyulaşmaktadır. Zımparalanarak düzeltilen bu kısımlar yüzey işleminden sonra koyulaşmaktadır.
	f) Ahşap malzemenin kenarı ile ilgili kusurlar	*Keskin (pahlandırılmamış) kenarlarda yüzey işlemi maddesi yeterli miktarda katman kalınlığı oluşturamamaktadır. Bu nedenle, erkenden aşınma ve ayrılmalar görülebilmektedir.
2- Yüzey işlemi uygulanacak ahşap malzeme ile ilgili kusurlar	a) Bu konu ile ilgili en önemli husus yüzey işlemi uygulanacak ahşap malzemenin rutubeti olmaktadır.	*Bütün yüzey işlemi katmanının pul pul dökülmesi, çatlaması, ince çiziklerin oluşması, kabarcıkların oluşumu veya bunlara benzer görünüşler genellikle rutubet etkisiyle ortaya çıkmaktadır. *Ahşap malzemede bağlanma (tutunma) eksikliği daha çok yüksek rutubetten kaynaklanmaktadır. Amaca uygun ahşap rutubet miktarı ülkemiz koşullarında, bina içi kullanımda %8-12, bina dışında ise %12-18 arasında bulunmaktadır. Pencereelerde yüzey işlemi sırasındaki rutubet miktarının ise %12±3 olması gerekmektedir.
3- Yüzey işlemi maddelerinde (vernük, boya, cila vb.) görülen kusurlar	a) Koyulaşma	*Koyulaşma, birçok nedeni olmakla birlikte genellikle çözücü ve inceltici içeren yüzey işlem maddelerinde (fiziksel kuruyan vernüklerde) çözücünün uçmasıdır. Uygun incelticinin ilavesi ile tekrar kullanılabilir duruma gelebilmektedir.
	b) Kabuk Oluşumu	*Oksidasyon yoluyla kuruyan yüzey işlem maddelerinde olmaktadır. İnceltici ve örtü kağıdı vasıtasıyla hava girişi önlenerek kabuk oluşumuna engel olunabilir.
	c) Kumlanma ve Salçamsı görünüş	*Depolarda yüzey işlem maddesinin ırmık gibi küçük topakçıklar haline gelmesi anlaşılmaktadır. Bunda malzeme hatası söz konusudur. Eğer kirli vernüklerde bağlayıcı maddenin jelatinimsi kısmında ezilmiş kabuğumsu kısımlar varsa sık sık salçamsı görünüme rastlanabilir.
	d) Vernüğün iyi karışmaması	*Daha çok yağlı ve mat vernüklerde görülmekte olup, iyi karışmamış yüzey işlem maddesi iyice çalkalanmalı fakat karıştırılmamalıdır.
4- Yüzey işlemi uygulamasından doğan kusurlar	a) Yüzey işlemi uygulama tekniğinin yanlış seçiminde görülen kusurlar	*Uygun olmayan bir yöntemle yapılan yüzey işlemlerinde görülen kusurlar; Billurlaşma, Çökme, Yüzeyin kabarması-ayrılması, Yapışkan yüzey katmanı, Homojen olmayan yüzey yapısı, Hava kabarcığı, Akıntı, Kanama, Gri lekeler, Krater oluşumu, Büzülme-buruşma, Tebeşirlenme, İğne delikçikleri, Pütürlenme, Gözenekler, Çatlaklar, Köpüklenme, Bulanıklılık, Yapışkanlık, Hatalı kuruma, Parlaklık kaybı ve Toz kirlilikleri.
	b) Reaksiyon Vernikleri (iki elemanlı vernükler) ile uygulamada görülen kusurlar	*Bu vernüklerde yüzeyde renklenmeler şeklinde kusurlar ortaya çıkmaktadır. Örneğin Kayın odunu bu bakımdan hassastır. Bunun için uygun astar ile yüzey işlemleri yapılmalıdır. Asitle sertleşen vernükler, metal mobilya aksamı ve diğer metallerde korozyona neden olmaktadır.
	c) Püskürtme hataları	*Vernük katmanında püskürtme hataları olarak; Kurumayan vernük katmanı, Çatlama, Pütürlenme, Hava kabarcıkları, Beyazlaşma-grileşme ve dumanlanma ile vernük filminde oluşan yağ kusma gibi haller sayılabilir.

5- Yüzey işlemi uygulamasından sonra ortaya çıkan kusurlar	a) Renklenmeler	*Ahşap malzeme ve yüzey işlemi doğal olarak ışık, hava ve rutubet etkisi ile renk değiştirmektedir. Örneğin beyaz renkli yüzey işlemlerinde bağlayıcı maddenin özelliklerine göre az veya çok belirgin sararmalar ortaya çıkmaktadır. Şeffaf verniklerde, sararma ve ışığa karşı koruyucu maddeler ile azaltılabilir fakat tamamen yok edilemez.
	b) Aşınma	*Mobilya ve iç mimaride yüzey katmanının erkenden aşınması alkalik etkili temizleme maddelerinin sık kullanımı nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Özellikle mutfak mobilyalarında sık görülmektedir.
	c) Eski görünüş	*Genellikle bütün ahşap türlerinin rengi ışık ve hava etkisiyle zamanla koyulaşmakta, açık renkli olan ahşaplar sararmakta ve çeşitli renkli odunların canlı görünüşleri ise solmaktadır. Bunlar koruyucu vernikler ile yavaşlatılabilmekte fakat tamamen önlenememektedir.
	d) Alkol lekeleri	*Alkol oranı yüksek içkiler, kolonya, temizleme maddeleri vs. verniklenmiş ve cilalanmış yüzeylerde yüzey katmanının kabarmasına neden olmakta ve sütümsü beyaz lekeler geride bırakmaktadır.

Global Trendlerin Üst Yüzey İşlemlerindeki Etkileri

İkinci dünya savaşı sonrası geliştirilen, polimer yapılı vernik hazırlama düşüncesi ve bu konudaki çalışmaların önemli bir sonucu olan organik polimerler (poliüretan reçineler) ve epoksit reçineler üst yüzey işlemlerindeki gelişimi ve dönüşümü hızlandıran faktörlerin başında geldiği görülmektedir. Bunu takip eden yıllardaki araştırmalar özelliği geliştirilmiş yeni polimerler hazırlama ve bunların vernik üretiminde kullanılmasına yönelik olmuştur. Bunun sonucu olarak, akrilik reçine ile hazırlanan akrilik vernik o zamana kadar kullanılan verniklerde en büyük sakınca olarak görülen katman sararmasını ortadan kaldırmıştır. 20. yüzyılın sonlarına doğru özellikle, çevre koruma bilincine ve insan sağlığına verilen önemin artması ile birlikte sağlığa zararlı unsurların üretim dışında tutulması gündeme gelmiştir. Günümüzde hali hazırda yaygın olarak kullanılan bazı çözücülerin (solvent) çevreye ve insan sağlığına verdiği zararlardan dolayı bunların kullanım alanlarının daraltılması hatta tamamen kaldırılmasına çalışılmaktadır. Bu nedenle, yavaş yavaş solvent ile çözünen bağlayıcıların yerini su ile çözünen bağlayıcılar almaktadır. 1960' lı yıllarda üretilen ve "Hydropol" olarak bilinen ancak fazla ilgi görmeyen su bazlı poliüretanlardan sonra günümüzde "Akripol" olarak anılan "akrilik-poliüretan reçineli ve su bazlı vernik ve boyaların" kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır. Bunda, akripol reçine bağlayıcılı vernik ve boyaların katman özelliklerinin mükemmel oluşunun katkısı büyüktür. Ayrıca hydropol verniklerde önemli bir sakınca olarak görülen su-ahşap uyumsuzluğu akripol reçine kullanımı ile büyük ölçüde giderilmiştir (Dilik, 2021; Kurtoğlu-Dilik, 2020a; Kurtoğlu-Dilik, 2020b; Dilik vd., 2015; Sönmez, 2004).

Aynı zamanda, birçok alanda olduğu gibi üst yüzey işlemleri sektöründe de (boya ve vernik endüstrisi) global trendlerin etkisi ile önemli inovatif ürünlerin geliştirilmiş olduğu görülmektedir. Özellikle, bu yüzyılın teknolojisi olarak nitelendirilen ve birçok alanda yenilik yaratan nanoteknoloji üst yüzey işlemlerinde de etkisini göstermektedir. Özellikle çevre koruma bilinci ve insan sağlığı faktörleri, boya ve vernik endüstrisinde üreticilerin araştırma geliştirme faaliyetlerinde çıkış noktası olmuştur. Bu kapsamda, global trendlerin üst yüzey işlemlerindeki etkisinin gelişimi, aşağıda örnekler üzerinden karşılaştırmalı olarak açıklandığı gibi kolaylıkla anlaşılabilecektir (Şahin, 2022; Hazır vd., 2021; Khanna, 2008; Kaygın-Aytekin, 2008).

1. Kurşunlu boyalar ➡ Kurşun içermeyen boyalar

Yakın geçmişte çok fazla kullanım alanına sahip olan insan sağlığına son derece zararlı ve kanserojen etkiye sahip olan kurşunlu

boyalar, zaman içerisinde yerlerini kurşun içermeyen boyalara terk etmek zorunda kalmıştır.

2. Uzun süreli boya kokusu ➡ Kokusuz boyalar

Boyama işlemlerinden sonra, özellikle evlerin iç mekânlarında uzun süre hissedilen ve rahatsızlık hissi veren boya kokusunun önlenmesine yönelik yapılan çalışmalar sonucunda, nanoteknoloji kullanılarak geliştirilmiş inavosyon ürünü yeni iç cephe boyaları sayesinde, artık ortamdaki havanın temizlenmesini sağlayan, daha ferah ve sağlıklı ortamlara geçiş sağlanmıştır. Bu boyalar evler, hastaneler, okullar, lokantalar ve iş yerleri için çok uygundur.

3. Geleneksel boya ve vernikler ➡ Nanoteknoloji ürünü boya ve vernikler

Nano teknoloji, hemen tüm sektörlerde olduğu gibi boya sektörüne de yeni açılımlar getirmektedir. Boya ve kaplama sektöründe günümüzde gelinecek nokta da, nanomalzemeler ile boya ve verniklere yangın geciktirici özellik, antimikrobiyel ve antibakteriyel yapı, çizilmezlik, aşınmazlık, korozyon direnci, ses izolasyonu, güneş ışığına dayanım, ışıkla kendi kendini temizleme, kolay temizlenebilme, kirlenme, küf, yosun ve mantara karşı bariyer özellik gibi pek çok fonksiyon bir arada ya da ayrı ayrı sağlanabilmektedir. Geleneksel boya ve verniklerin yerini yakın gelecekte, bu üstün özelliklerinden ötürü nano teknoloji ürünü boya ve verniklerin alacağı söylenebilir.

4. Geleneksel renkler ➡ Temalı kartelalar

İnsanların tercihlerini sınırlayan ve artık monotonlaşmış geleneksel renklere mahkûm olmayı ortadan kaldıran bir yenilik olarak temalı kartelalar geliştirilmiştir. Bu renk kartelaları sayesinde tüketiciler çok fazla bulunan renk ve ton içerisinde istedikleri rengi tercih edebilmektedirler.

5. Konvansiyonel teknolojiler ➡ Yeni teknolojiler ve dekorasyon

Üst yüzey işlemlerinde inovasyon sadece boya ve vernik üretiminde değil, uygulama teknikleri ve dekorasyonda da kendini hissettirmiştir. Öyle ki, CNC makineleri sayesinde elde karıştırarak renk elde etme yerine, modern renk elde etme makineleri kullanılmaya başlanılmış, dekorasyonda tüm mekânda monokrom etki yerini çok renkliliğe bırakmıştır.

Sonuç olarak, ahşap işleri üst yüzey işlemlerinde global trendlerin etkisinin, özellikle inovasyon çalışması ürünlerin üretilmesi ve bunda da insan sağlığı ve çevre bilinci konuları üzerinden

nanoteknolojinin yön veren bir konumda olması şeklinde ortaya çıktığı görülmektedir. Bu kapsamda, nano teknoloji ile üretilen ve birçok açıdan daha dayanıklı olan foto katalitik özellikli boya ve vernikler üretilmektedir ve bunlar özellikle kimyasal olarak daha dirençlidirler. Fotokatalitik boyaların kullanım amaçları ise, bakteri önlemek (antimikrobiyal özellik), suların temizlenmesi, hava temizlenmesi, kendi kendini temizleme ve kokunun giderilmesidir. Buna göre global trendlerinde etkisiyle yakın zamanda fotokatalitik boya ve kaplamaların binaların cephelerine yerleşeceğini söyleyebiliriz.

Diğer taraftan, nanoteknolojinin en önemli yararlarını; malzeme ömürlerinin uzatılması, iç mekan konfor koşullarının pasif yöntemler ile dengede tutulması, yapılarda enerji ve kaynak tüketiminin azaltılması, çevre ve insan sağlığı üzerindeki yapı kaynaklı olumsuzlukların azaltılmasına katkı sağlanması şeklinde sıralayabileceğimize göre; İklim krizi ve azalan kaynaklar sebebiyle çok önemli hale gelen sürdürülebilirlik konusunda da özellikle nanoteknoloji ile malzemelere kazandırılan bu özelliklerin daha önemli hale geleceğini öngörebiliriz. Bu nedenle de nanoteknoloji ile üretilen sürdürülebilir boya ve kaplamalara talebin arttığı görülmektedir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Declaration of Interests: The author declares that there are no competing interests

Kaynaklar

- Blankenstein (1962). Holz Technisches Taschenbuch, Carl Hanser Verlag, München.
- Böhme, P.(1980). Industrielle Oberflächenbehandlung von plattenförmigen Werkstoffen aus Holz, VEB Fachbuchverlag, Leipzig.
- Davis, E. M. (1962). Machining and Related Characteristics of United States Hardwoods, U.S. Department of Agriculture - Forest Service Technical Bulletin No.1267,Washington D.C.
- DIN 8800, (1971). Edition, September 1971 - Woodworking machines, classification.
- Dilik, T. (2021). Endüstriyel Yüzey İşlemleri Ders Notu (Basılmamıştır), İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Dilik, T., Erdinler, S., Hazir, E., Koc H., Hizirolu, S. (2015). Adhesion Strength of Wood Based Composites Coated with Cellulosic and Polyurethane Paints, *Advances in Materials Science and Engineering*, Volume 2015, Article ID 745675, 5 pages, [Crossref]
- Erdinler, S., Koc H., Dilik, T., Hazir, E. (2019). Layer Thickness Performances of Coatings on Mdf: Polyurethane and Cellulosic Paints, *Maderas-Ciencia Y Tecnologia*, Cilt.21, Ss.317-326 [Crossref]
- Hazir, E., Seker, S., Koc, H., Dilik, T., Erdinler, S., Ozturk, E. (2021). Optimization of plasma treatment parameters to improve the wood-coating

- adhesion strength using Taguchi integrated desirability function approach, *Journal of Adhesion Science and Technology* 35 (5), 451-467 [Crossref]
- İlhan, R., Burdurlu, E., Baykan, İ. (1990). *Ağaç işlerinde Kesme Teorisi ve Mobilya Endüstrisi Makineleri*, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Kahveci, M. (1991). *Türkiye’de Orman Endüstrisi Makinaları Üretimi Üzerine İncelemeler*, [Yüksek Lisans Tezi], İstanbul Üniversitesi Fen Enstitüsü, Haziran 1991, İstanbul.
- Kaygın B., Aytekin, A. (2008). *Ahşap malzeme üst yüzey işlemleri ve inovasyon*, <https://acikerisim.bartın.edu.tr/handle/11772/2638?show=full>
- Khanna, A.S., (2008). Nanotechnology in High Performance Paint Coatings, *Asian J. Exp. Sci.*, Vol. 21, No. 2, 2008; 25-32
- Kurtoğlu, A. (2000). Ağaç Malzeme Yüzey İşlemleri 1. Cilt: Genel Bilgiler, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, Üniversite Yayın No: 463, ISBN 975-590-9, İstanbul.
- Kurtoğlu, A. (2001). Odunun İşlenme Özellikleri, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri B, Cilt 31, Sayı:2, 179-199.
- Kurtoğlu, A., Dilik, T. (2018). *Ahşap İşleme Tekniği ve Makinaları Ders Notu (Basılmamıştır)*, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bahçeköy-İstanbul.
- Kurtoğlu, A., Dilik T. (2020a). *Mobilya Endüstrisi Ders Notu (Basılmamıştır)*, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bahçeköy-İstanbul.
- Kurtoğlu A., Dilik T. (2020b). *Yüzey İşlemi Uygulama Teknikleri Ders Notu (Basılmamıştır)*, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bahçeköy-İstanbul.
- Kurtoğlu A., Kahveci M. (1989). Yüzey işlemi uygulama teknikleri, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, seri B, cilt 39, sayı 4, İstanbul.
- MEB Öğrenim Modülleri. (2012). *Mobilya ve İç Mekân Tasarımı - Seri Üretimde Vernikleme*, 543M00100, T.C. Millî Eğitim Bakanlığı 2012, Ankara.
- MEB Öğrenim Modülleri. (2011). *Müzik Aletleri Yapımı - Bağlama Ailesi Üst Yüzey İşlemleri*, 215ESB316, T.C. Millî Eğitim Bakanlığı 2011, Ankara.
- Refa-Mappe (1979). Holz-und Kunststoffverarbeitung, Refa- Fachausshuss, Darmstadt.
- Sofuoğlu, S. D. (2008). *Bazı yerli ağaç türü odunlarının işlenme özelliklerinin yüzey kalitesi üzerine etkileri*, [Doktora Tezi], İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Sofuoğlu, S. D. (2001). *Ağaç Malzemenin İşlenmesinde Fire Oranlarının Belirlenmesi Üzerine İncelemeler*, [Yüksek Lisans Tezi], İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Sofuoğlu, S.D., Kurtoğlu, A. (2013). The Wastage Rates At Massive Wood Material Processing, Dumlupınar Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Sayı:11, 189-204
- Sofuoğlu, S.D., Kurtoglu, A. (2014). Some machining properties of 4 wood species grown in Turkey, *Türk J Agric For* (2014) 38: 420-427 © TÜBİTAK doi:10.3906/tar-1304-124 [Crossref]
- Sönmez A. (2005). *Ağaç işlerinde üst yüzey işlemleri I*, Hazırlık ve Renklendirme, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara
- Sönmez A. (2004). *Ağaç işlerinde üst yüzey işlemleri II*, Koruyucu Katman ve Vernik Sistemleri, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara.
- Şahin, H.T. (2022). Ağaç Malzeme Üst Yüzey İşlemlerinde Bazı Önemli Etmenler; <https://www.turkchem.net/agac-malzeme-ust-yuzey-islemlerinde-bazi-onemli-etmenler.html>
- WPIF (2014). PanelGuide Version 4.1 Published in 2014 by the Wood Panel Industries Federation, TRADA Technology Ltd, and the National Panel Products Division (a division of the Timber Trades Federation). https://wpif.org.uk/uploads/PanelGuide/PanelGuide_V4_final.pdf

BÖLÜM 13

AHŞABIN YAPISAL KULLANIMI

Nusret As
Türker Dünder
Fatih Kurul

Ahşabın Yapısal Kullanımı

Structural Use of Wood

BÖLÜM HAKKINDA

Ahşap, yapıda tavan ve taban elemanı ve döşemesi olarak, duvar elemanı ve duvarların iç ve dış kaplama elemanı olarak, bölme elemanı, çatı konstrüksiyonunda ve çatı kaplamasında, doğrama (kapı, pencere) elemanı olarak, kolon ve kiriş gibi taşıyıcı eleman olarak, yapının temelinde geniş oranda kullanılabilir. Ahşabın yapıda kullanım oranı yapı tipine bağlı olarak değişmektedir. Masif ya da ahşap esaslı malzeme olarak kullanılabilir. Ancak Türkiye’de yapıda ahşap kullanımı, Avrupa, ABD gibi birçok ülkenin çok gerisindedir. Ahşap yapıların tasarımı ülkemizde de geçerli olan TS EN 1995-1 (Ahşap Yapılar) ve TS EN 1995-2 (Köprüler) standartlarına göre yapılmaktadır.

Anahtar kelimeler: Ahşap yapılar, ahşap yapı bileşenleri, mühendislik ürünü ahşap, yapısal ahşap sınıflandırma

ABOUT the CHAPTER

Wood can be used widely in the building as a ceiling flooring, as a wall element and interior and exterior covering element of walls, as a separation element, in roof construction and roof covering, as a joinery (door, window) element, as load-bearing structures such as columns and beams and in the foundation of the building. The usage rate of wood in construction varies depending on the building type. It can be used as solid or wood-based material. However, the use of wood in construction in Turkey is far behind many countries such as Europe and the USA. The design of wooden structures is made according to TS EN 1995-1 (Wooden Structures) and TS EN 1995-2 (Bridges) standards, which are also valid in our country.

Keywords: Wooden buildings, wooden building components, engineering wood products, grading

Giriş

Ahşap, insanoğlunun barınma amaçlı olarak kullandığı ilk malzemelerden biridir. Zaman içerisinde gelişen teknolojiye bağlı olarak ortaya çıkan Beton, Çelik, Alüminyum, PVC gibi yapı malzemeleri yapısal alanda ahşabın yerini almıştır. ABD, Avrupa, İskandinav ve uzak doğu ülkelerinde yapısal alanda ahşap önemini büyük oranda korurken, Türkiye’de özellikle beton kullanımı %90’ın üzerindedir. Halbuki birinci dereceden deprem bölgesinde bulunan Kaliforniya’da nüfusun %99’luk kısmı ahşap yapılarda oturmaktadır (Mcree vd., 2001).

Anadolu’da 16. yüzyılda yapılarda büyük oranda ahşap kullanıldığı görülmektedir. Türkiye’de 16.-18. yüzyıl arasında yapılan ahşap yapıların, aynı dönemdeki Avrupa örneklerinden daha ileri teknik ve anlayış düzeyinde olduğu söylenebilir. Cumhuriyet döneminde ise, ahşap yapılar çeşitli nedenlerden dolayı yerini diğer yapı sistemlerine bırakmıştır. Eski dönemlerden bu yana yapı üretiminde kullanılan ahşap, üstün fiziksel, mekanik ve teknolojik özelliklerine rağmen günümüz yapı malzemeleri arasında fazla yer bulamamaktadır. Son dönemlerde, deprem olgusu ile iç içe olan Türkiye’de, depreme dayanıklı olması ve uygulamadaki büyük avantajları nedeniyle ahşabın, yapı uygulamalarında daha çok yer alması büyük önem arz etmektedir.

Ahşap, yapıda tavan ve taban elemanı ve döşemesi olarak, duvar elemanı ve duvarların iç ve dış kaplama elemanı olarak, bölme elemanı, çatı konstrüksiyonunda ve çatı kaplamasında, doğrama (kapı, pencere) elemanı olarak, yapının temelinde geniş oranda kullanılabilir. Kullanış yerlerine bakıldığında ahşabın gerek taşıyıcı ve gerekse kaplama elemanı olarak hem ahşap yapılarda ve hem de beton, vd. malzemeden üretilmiş yapılarda kullanıldığı görülmektedir.



Nusret As

Türker Dündar

Fatih Kurul

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Odun Mekaniği Ve Teknolojisi Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye
E-posta: nusretas@iuc.edu.tr
dundar@iuc.edu.tr
fatihkurul@iuc.edu.tr

Bu bölümü alıntıla / Cite this chapter as:
As, N. Dündar, T. Kurul, F. (2024). Ahşabın Yapısal Kullanımı. T. Akbulut (Ed.), *Ahşap: Doğal ve yenilenebilir mühendislik malzemesi* içinde (s. 254-268) İstanbul: İÜC Üniversite Yayınevi



CC BY 4.0: Telif hakkı yazarlardadır. Bu kitabın içeriği Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası lisans altında lisanslanmıştır.

Türkiye’de Ahşap Yapılar

TÜİK verilerinden yapılan hesaplamalar ile 2002-2018 yılları arasında yapı izin belgesi alan konutlar içerisinde ahşap yapı oranı ortalama %0,93 olarak bulunmuştur. Belirtilen bu 17 yıllık süreçteki üretilen ahşap ev sayısı ve toplam ev sayısına oranı Tablo 1’de verilmiştir

Tablo 1

Yapı izin belgelerine göre 2002-2018 arasındaki ahşap yapı oranı

2002-2018 Yılları Arasında Yapılan Ahşap Ev Sayısı	2002-2018 Yılları Arasında Yapılan Toplam Ev Sayısı	ORAN(%)
13988	1497420	0,93

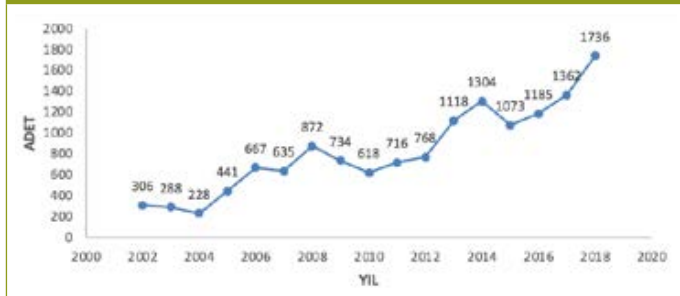
Açıklama notu. Kurul, F, 2019, Türkiye’de Ahşap Yapı Endüstrisi, İ.Ü.C. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul kaynağından alınmıştır.

Belirtilen yıllar içinde ahşap yapı üretim sistemlerine göre ortalama yapıldığında, en fazla kullanılan sistemin ortalama %68,7 (9608 adet) ile panel bileşen sistemler olduğu görülmektedir. Panel bileşen sistemini sırasıyla %16,8 (2362 adet) ile karma sistemler, %14 (1948 adet) ile ahşap karkas ve %0,5 (70 adet) ile de ahşap yığma sistemler takip etmiştir (Kurul 2019).

Türkiye’de 2002-2018 arasında üretilen ahşap ev sayıları, TÜİK (2019) Biruni sistemi üzerinden ahşap yapı izinleri sekmesindeki yapı kullanma izin belgeleri üzerinden irdelenerek ortaya konulmuş ve Şekil 1’de grafik olarak gösterilmiştir (Kurul, 2019).

Şekil 1

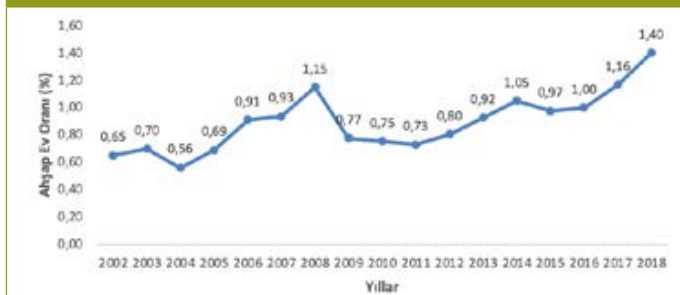
Ahşap Ev Sayılarının Yıllara Göre Değişimi



1990-2000 yılları arasındaki ahşap yapı oranı ortalama %0,47 iken (Toğay, 2002), 2002-2018 yılları arasında bu oran yaklaşık 2 kat artış göstererek %0,93’e çıkmıştır. 1990-2018 yılları arasında toplam 28 yıllık süre içinde ahşap yapı oranı ise ortalama %0,65

Şekil 2

Türkiye’de Ahşap Ev Oranlarının yıllara göre değişimi



tir. 2018 yılı için ise ahşap yapı oranı %1,40 tır. Avrupa, İskandinavya ülkeleri ile Amerika ve Kanada’da ise ahşap yapı oranları bu değerin kıyaslanmayacak kadar çok üzerindedir. Türkiye’de 2002-2018 yılları arasındaki ahşap yapı oranlarının değişimi Şekil 2’de gösterilmiştir.

Ahşap evlerin yıllara göre değişimi, inşa edilen toplam evlerin yıllık değişimi ile benzer bir gelişme göstermiştir.

Ahşabın Yapıda Kullanıldığı Yerler

Bu kullanım yerleri şu şekilde gruplandırılabilir. Çatıda (çatı örtüsü ve makası), duvarlarda (taşıyıcı ve kaplama elemanı), zeminde-tavanda (taşıyıcı ve kaplama elemanı), kolon ve giriş (taşıyıcı), doğrama elemanları (kapı, pencere), temel, kalıp ve iskele malzemesi.

Çatıda Ahşap Kullanımı

Yapının en üst kısmını oluşturan ve yapıyı dış etkilere koruyan çatı elemanlarının oluşturulmasında ahşap bütün yapı tiplerinde kullanılmaktadır. Burada yatay ya da eğimli aşık ve mertek olarak taşıyıcı maksatla, ayrıca bu elemanların naklettiği yükleri kolonlara iletmek üzere çatı makaslarında dikme, payanda (göğüsleme) ve kuşak olarak kullanılmaktadır (Şekil 3). Bunun dışında kiremit altı çatı örtü malzemesi olarak ta geniş ölçüde ahşaptan yararlanılmaktadır. Kiremit altı örtü malzemesi olarak daha çok kontrplak kullanılmaktadır ve üzerindeki yükleri iyi taşımaktadır. Son zamanlarda ise bu maksatla OSB’de kullanılabilmektedir.

Çatı makasları ise farklı konstrüksiyonlarda ve çatının tipine göre farklı özelliklerde olabilmektedir. Çatılar Asma ya da Oturtma çatı şeklinde çeşitlendirilmekte ve çatı makasları ona göre tasarlanmaktadır. Oturtma çatılarda çatı makasını oluşturan dikmeler yükleri bulundukları yerdeki kolonlara (duvarlara) nakleder. Bu dikmeler, liflere paralel basınç gerilmeleri etkisi altındadır. Dolayısı ile çatı yükünün dağıtılması söz konusudur.

Asma çatılarda ise yapının ara kesitlerinde çatı yüklerini nakledecek bir kolonun veya girişin bulunmaması (veya duvarın) durumunda bu yüklerin dış duvar veya kolonlara taşınması gerekecektir. Bu durumda oluşturulan özel çatı makası konstrüksiyonu ile çatı yüklerinin dış kısımlara verilmesi ve orta kısımların askıda kalması ile asma çatı oluşturulur. Bu durumda alt çatı girişi ve orta dikme liflere paralel çekme gerilmeleri etkisi altında iken mertekler basınç gerilmeleri etkisi altındadır. Halbuki oturtma

Şekil 3

Ahşap Çatı Elemanları



çatılarda mertek ve aşıklar eğilme, dikmeler basınç gerilmeleri etkisi altında bulunmaktadır. Bazı hallerde oturtma ve asma çatılar bir arada kullanılabilir.

Aşıklar

Aşıklar, merteklere mesnet teşkil eden taşıyıcı kirişlerdir. Çatı makasına oturarak merteklerden aldığı çatı yüklerini taşıyan dikdörtgen kesitli ahşap malzemedir (Şekil 3). Aşıklar genelde bina eksenine paraleldir. Makaslara düşey doğrultuda oturur. Aşıklar, çatıda bulundukları yere göre damlalık (saçak) aşığı, ara aşık ve mahya aşığı adını alırlar. Çatının en tepesindeki aşığa mahya aşığı, en alttaki aşığa ise damlalık aşığı adı verilir. Aşıkların eksenden eksene olan mesafesi 2-3 m arasındadır. Çatıda mertek kullanılmaması durumunda aşık aralıklarının 0.75-1.5 m arasında olması gerekir. Dikmelerin yanı sıra kuşak ve göğüsleme ile desteklenirler.

Mertekler

Çatı örtü malzemesini, alt dösemeyi, çıtaları vb. yükleri taşıyan ve aşıklara oturan elemanlardır (Şekil 3). Mertekler, üzerine ahşap kaplamanın veya kadranların çivilendiği kirişlerdir. Bu kirişlerin mesnetleri aşıklar olup aşıklar arası açıklığı ve taşıyacakları yüklere göre kesitleri hesap edilir. Mertek arası mesafe genelde 50-90 cm arasında oluşur. En uygunu 60 cm'dir. Kesitleri genelde dikdörtgen şeklindedir. Bazı çatılarda mertek kullanılmadan söz konusu olan bu yükler direkt olarak aşıklara verilebilir. En kesitleri aşıklardan daha küçüktür. Mertek aralıkları çatı kaplama ve örtü malzemelerinin türüne, mertek boyutlarına ve etki eden dış yüklerin büyüklüğüne göre değişirler. Piyasada kullanılan mertek boyutu genel olarak 5cm x 10 cm'dir.

Duvar Elemanlarında Ahşap Kullanımı

Duvarlarda ahşap kullanımı yığma, karkas ahşap yapılarda taşıyıcı ve kaplama elemanı olarak, ayrıca betonarme, çelik yapılarda kaplama elemanı olarak değerlendirilmesi şeklinde olmaktadır. Diğer bir ifade ile duvarlarda ahşap yapı tipine bağlı olarak hem taşıyıcı hem de kaplama elemanı olarak kullanılabilir. Doğal ahşap kaplamalar geçmeli, bindirmeli, yalı baskısı, lambri (Resim 1) isimlerini almaktadırlar. İç ve dış kaplama amaçlı olarak ahşap kullanılmakta olup bunun için genelde çam, ladin, göknar, kestane, kayın, meşe, ceviz, karaağaç, dişbudak gibi yerli türler değerlendirilmektedir. Yabancı türlerden iroko, sapelli,

sipo, doussie vb. de kullanılabilir. Ayrıca ince kaplamalar, kontrplak, yonga ve lif levhalar kaplama amaçlı olarak tercih edilebilir. Taşıma ve kaplama görevini bir arada gören ahşap duvarlar da mevcuttur. Çapraz lamine kereste (CLT) ile üretilen duvarlar böyledir ve CLT kullanımı gittikçe artış göstermektedir. Ayrıca iç kısmı dikme ve payandalardan oluşan (iskelet yapı) üzerleri ise içten ve dıştan lamba zıvanalı tahta, kontrplak, yongalevha, OSB ve benzeri ağaç malzeme kaplaması ile oluşturulan konstrüksiyonlar karkas yapılarda daha yaygındır. Aralara ise ses ve ısı izolasyonu sağlayan cam yünü, strafor gibi maddeler konulmakta, aynı zamanda su izolasyonu sağlamak için bitümlü kağıt vb. maddeler de kullanılabilir.

İçten yapılan kaplamalarda yangına karşı dayanım sağlamak için ahşap olmayan (Alçıpan, betopan vb.) malzemelerin de kullanımı yaygındır. Dış kaplamalarda ise genelde korunmuş (emprenye edilmiş) ahşap malzeme kullanılmaktadır. Bunun dışında özellikle yalı baskısı lambri olarak PVC'den de faydalanılabilir. Duvar elemanlarında masif ahşap ya da ahşap kökenli malzeme kullanılabilir.

Zeminde Ahşap Kullanımı

Ahşap Döşemeler

Tavan ve döşeme konstrüksiyonunda ahşap taşıyıcı kiriş ya da üstten (Döşeme) ya da alttan (tavan) kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Yapılarda iç ve dış kısımlarda, köprülerde, çatılarda, iskelelerde ahşap döşeme tahtaları kullanılmaktadır.

Döşemenin taşıyıcı elemanı ahşap ise o zaman ahşap döşemeden bahsedilir. Bir ahşap döşeme şu kısımlardan oluşur: 1) Döşeme kaplaması, 2) Kirişler, 3) Tavan kaplaması. Bunlardan Döşeme kaplaması ve ahşap taşıyıcı kirişler, döşemenin oluşması için gereklidir. Tavan kaplaması olmayabilir. Bu durumda alttan bakıldığında taşıyıcı kirişler görünür. Bu döşemelere "bakkal tavanlı döşemeler" denilir (Resim 2).

Resim 2

Bakkal tavanlı döşeme örneği



Bina içinde masif yapılarda (ara kat döşemenin ahşaptan oluştuğu) büyük oranda kullanılır. Ayrıca diğer yapı tiplerinde de (ahşap karkas) değerlendirilebilir. Bina dışında balkonlarda ve dışa doğru olan diğer çıkıntılı kısımlarda yer alabilmektedir. Döşeme olarak CLT kullanımı gittikçe artış göstermektedir.

Döşeme tahtası amacı ile kullanılan türler genelde çam, ladin,

Resim 1

Lambri örneği



göknardır. Bu ağaç malzemede yıllık halkaların dar, budaksız ya da az budaklı (düşen budak istenmez) olması gerekir. Döşemede sedir, melez, meşe gibi türler de kullanılabilir. Teak, iroko gibi yabancı türler de değerlendirilir.

Basit bir döşeme kaplaması döşeme tahtaları ile oluşturulabilir. Bu tahtaların yanlarında lamba ve zıvana da bulunmayabilir. Ancak bu durumda kaplamanın tespitinde kullanılan çivilerin üstten görünmesi söz konusudur. Bu tip döşeme basit bir yapıdır. Ayrıca bu döşeme konstrüksiyonunda her bir döşeme tahtasına gelen yükler (noktasal veya değil) diğer döşeme tahtalarına ve kirişlere nakledilmez ve bu durumda stabilite daha düşüktür.

Gelişmiş sistemlerde lamba-zıvanalı döşeme tahtaları kullanılmakta ve böylece çiviler dıştan görünmemekte ve her döşemeye gelen yükler lamba zıvana vasıtasıyla diğer döşemelere de nakledilerek daha dirençli bir konstrüksiyon oluşturulmaktadır.

Ahşap döşeme kirişlerin döşenmesi kısa açıklıklar boyunca yapılmalıdır. Diğer bir ifade ile 4x6 m boyutlarındaki bir açıklığın geçilmesinde ahşap kirişlerin 4 m mesafe doğrultusunda döşenmesi gerekir.

Ahşap döşeme kirişlerin en kesit ölçüleri, döşemenin açıklığına ve ölü ve hareketli yükün miktarına bağlı olarak belirlenebilir. Kiriş yüksekliğinin (h) genişliğinden (b) fazla olması durumunda kirişin eğilme direnci daha yüksek olur. Ancak burada yanallı flambajı dikkate almak gerekir. Döşeme kirişinin 10x20 cm ebatlarda olması durumunda yanallı flambaj olasılığı azalacağından fazla önemli değilken, 5x20, 5x25 cm ebatlarındaki kirişlerde bu etkiye dikkat etmek gerekmektedir. Flambajı önlemek için kiriş aralarına konulan latalar kullanılmaktadır.

Döşeme kirişleri yığma binalarda direkt duvar elemanlarına ankre edilir. Ahşap karkas yapılarda ise kolonlara mesnetlendirilmiş kirişlere birleştirilir. Duvarları kâğır, döşemeleri ahşap yapılar ile masif yapılarda ise döşeme kirişlerinin duvara iyi bir şekilde oturabilmesi için duvar kalınlığı önemlidir. Bu gibi durumlarda duvar kalınlığının en az 30-35 cm olması ve kirişin duvara en az 20 cm geçmesi gerekir. Kirişler belli aralıklarla yardımcı aparat (Lama) kullanılarak duvara (dıştan veya içten) bağlanmalıdır. Bu şekilde karşılıklı olarak bağlanmış olan kirişler, aynı zamanda duvar stabilitesini de arttırmış olur.

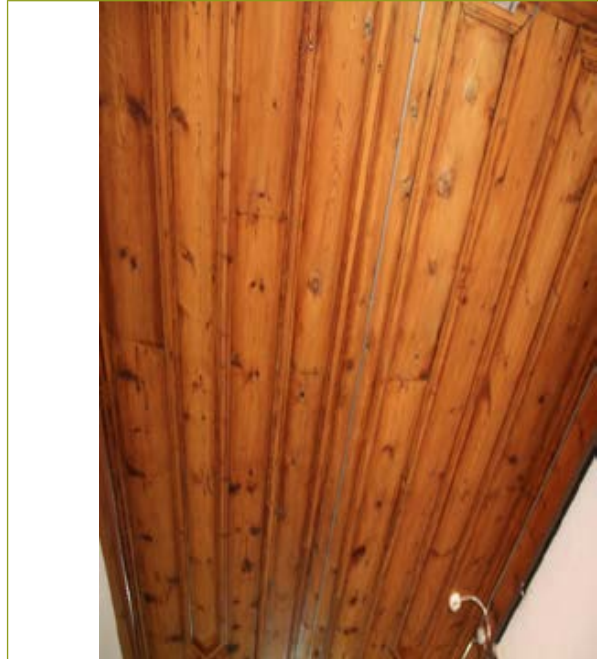
Ahşap döşemelerin fiziksel performansını arttırmak için bazı ilave tedbirler alınabilir. Altan kaplanacak (tavan) döşemelerde kirişler arasına izolasyon maddeleri (cam yünü, kızdırılmış kum, strafor vb.) konularak ses ve ısı izolasyonu artırılabilir. Döşemenin, alt kısımdan kaplanması söz konusu değilse, bu durumda kirişlerin yanlarına kiriş boyunca ince çitalar çakılabilir. Bu çitalara mesnetlendirilen kapak tahtaları üzerine söz konusu izolasyon maddeleri konulabilir. Daha sonra üstten döşeme kaplaması uygulanır. Bu durumda döşemenin ağırlığı (ölü yükleri) artırılmış olacağından döşeme kiriş en kesit ölçüleri ona göre ayarlanmalıdır.

Döşeme kirişleri aynı zamanda duvar dışına çıkarak konsol oluşturabilir. Bu durumda tek bir kiriş (eklemesiz) kullanılabileceği gibi ekleme yapılarak konsol oluşturulabilir. Ancak konsol açıklığının en az 1.5 misli bir bindirme (şaplama) yapmak suretiyle çıkma (konsol) kirişleri oluşturulmalıdır. Son olarak tavan elemanı olarak döşemeler alt kısımdan da kaplanabilirler. Böylece

döşemenin alttan estetik görünümü iyileştirilmiş ve tavan oluşturulmuş olur (Resim 3).

Resim 3

Tavanda Ahşap Kullanımı



Açıklama notu. Fotoğraf H. Akkılıç'a aittir.

Ahşap Parkeler

Yapılarda taban döşemesinde kullanılan önemli bir malzeme de ahşap parkelerdir. Önceden bahsedilen her yapı tipinde kullanılabilir. Ahşabın nispeten daha az oranda kullanıldığı betonarme yapılarda, çatı ve doğrama elemanlarından sonra ahşap malzeme en çok parke olarak değerlendirilmektedir. Parke, masif ağaçtan ya da ahşap kökenli malzemeden (Lif levha, yonga levha, lamine) üretilen ve değişik boyut ve biçimlerde olabilen bir yer kaplama malzemesidir.

Ahşap parkelerin çeşitli tipleri mevcuttur.

Masif Parke. Yüzeyleri düzgün, kalınlığı homojen, yan ve baş yüzeylerde genelde lamba ve zıvana açılmış (ya da açılmamış) olan dikdörtgen prizma şeklinde olan bir kaplama elemanıdır (Resim 4). Dekoratif parkeler farklı boyut ve şekillerde olabilir. Uzunluklar 200

Resim 4

Masif parke örneği



Açıklama notu. Fotoğraf H. Akkılıç'a aittir.

mm ya da daha fazla olabilir. Genişlikler genellikle 30-100 mm arasında, kalınlıklar ise 12-14-16-19-22 mm arasında değişmektedir.

Bu amaçla kullanılan yerli ağaç türlerimiz çoğunlukla Meşe ve Kayın'dır. Ayrıca Kestane, Akçaağaç, Karaağaç, Dişbudak ve Huş cinsleri kullanılabilir. Yabancı menşeli türlerden Merbau, Dousse, Afrormosia, Iroka, Maun, Sapelli, Okoume, Meranti, Teak, Ozigo ve Yalancı Akasya da bu alanda değerlendirilmektedir.

Kayında renk yeknesaklığını sağlamak ve kırmızimsı bir renk kazandırmak için buharlama işlemi yapılmakta ve sonra taslaklar yaklaşık % 8 rutubete kadar kurutulmaktadır. Meşede ise diri odun kısmı çıkarıldıktan sonra parke taslakları kurutulmaktadır. Meşede buharlama yapılmaz. Parkelik tomrukların düzgün lifli, kusursuz ve düzgün olması gerekmektedir. Fazla çaplı tomruklar bu amaç için kullanılmaz. Ancak kapak tahtaları parke üretiminde değerlendirilebilir. Ayrıca soyma kaplama eldesi esnasında artan takoz silindirler de parke üretimi için kullanılabilir. Tomruklardan biçilerek parke üretilmesi durumunda 25-35 cm çaplarındaki tomruklar uygundur. Yapraklı ağaçlar, bu amaçla daha çok kullanılmaktadır. Bunlarda yıllık halkaların geniş olması durumunda daha yoğun bir malzeme söz konusu olacağından daha fazla çalışma (rutubet değişimi sonucu boyutsal değişim) beklenmelidir. Bu nedenle yıllık halkaların dar olması arzu edilir.

Kayın ağacında kırmızı yürek te denilen öz odun kısmı istenmez. Bu türde diri odun kısmı (meşenin aksine) bu amaç için kullanılır.

Masif parkede yüzeylerde öz ışınları ne çok geniş ne de dar olmalıdır. Dar şerit ve çizgi halinde öz ışınlarının parke yüzeyinde görünmesi en iyisidir.

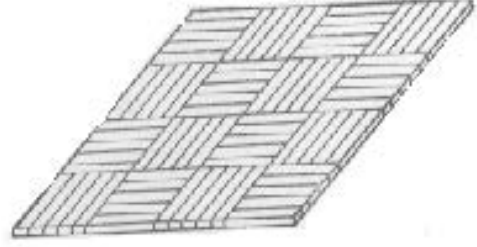
Teğet parkeler radyal parkelere nazaran daha fazla çalışmaktadır. Masif parkede en önemli sakınca çalışma riskidir. Bunun sonucu parkeler şişerek kabarmabilmekte, kuruma sonucu eğilme ve çanaklaşma gibi kusurlar meydana gelebilmektedir. Su alma sonucu meydana gelen genişlemeye bağlı olarak kabarmalar oluşur. Bu kusurlar masif parkelerde diğer ahşap kökenli parkelere nazaran daha çok meydana gelmektedir. Masif parkelerin en önemli faydalı özelliklerinden biri sistire (zımpara) yapılabilir olmasıdır. Böylece eskimiş, yıpranmış parkeler yenilenebilir ve kullanım süresi arttırılabilir. Sistire işlemi parke kalınlığına ve sistire işlemine bağlı olarak 5-10 kez yapılabilir. Parkeler zemine yapıştırılır ya da çakılır. Masif parke, doğal bir malzeme olduğundan estetik ve sıcak bir görüntü vermektedir.

Mozaik Parke. Aynı boyutta lamellerin yan yana getirilerek oluşturulan ve genişliği lamel boyuna eşit olan kare şeklindeki elemanlar, daha sonra dama biçiminde bir araya getirilmekte ve bir yüzüne kağıt yapıştırılarak esnek bir malzeme üzerine tespit edilmektedir. Bu ahşap döşeme kaplama elemanına, mozaik parke denilmektedir (Şekil 4).

Lamel boyutları en çok 165 mm uzunlukta, 25 mm genişlikte ve 10 mm kalınlıkta olabilir. Tercih edilen uzunluklar ise 100-120 ve 125 mm dir. Genişlikler ise 20-24-25 mm dir. Kalınlıklar 6-8 mm olabilir. Görünüş özelliklerine göre I. (Ekstra), II. (Ekonomik), III. (Endüstriyel) olmak üzere üç kalite sınıfı vardır. Her lamel 5 parça içerir. Lamel boyutlarından anlaşılacağı üzere ufak odun parçaları kullanılmaktadır. Bu nedenle, artık ahşabın parke sektöründe değerlendirilmesi, mozaik parkede daha fazla olmaktadır.

Şekil 4

Mozaik Parke Paneli.



Dekoratif (Desenli) Parke. Değişik uzunluklarda ve şekillerde biçilerek hazırlanan ve aynı kalınlıktaki masif ahşap malzemenin oluşturduğu yer kaplama malzemesidir. Parçalar birleştirilerek değişik şekil ve motifler üretilir. Kalınlıklar 12-22 mm arasında değişir. Değişik doğal renklere sahip parçaların bir araya getirilmesi ile estetik görünüm daha da zenginleştirilebilir (Şekil 5).

Şekil 5

Dekoratif Parke Örneği



Desenli parkede renk ve boyut farklılığı olan ahşap parçaların birleştirilmesi ile kare, altıgen, dikdörtgen ve farklı geometrik şekillere sahip malzemeler üretilir. Ahşap parçaların değişik kompozisyonlarda ve farklı yönlerde kullanılması ile çalışma değerlerinde bir azalma olur. Dolayısı ile bir ölçüde stabilite sağlanır. Genelde parçalarda lamba zıvana yoktur. Masif ahşap kullanıldığı için zaman içerisinde sistire yapma imkânı vardır. Yüzeyler yine cilalanmaktadır. Zeminde bir halının verdiği desen ve zengin estetik görünüm, bu tür parkelerde ahşap ile sağlanabilir. Ancak fazla miktarda işçilik gerektirir ve maliyeti daha yüksektir.

Lamine Parke. Kalınlıkları 3-7 mm arasında değişen masif üç tabakadan oluşan ahşap malzemedir. Tabakaların lifleri birbirine dik olacak şekilde bir araya getirilerek sentetik tutkallarla yapıştırılarak preslenir (Resim 5). Üst tabaka üst görünüme açık yüzdür. Dolayısı ile iyi kalite ahşaptan yapılır. Son olarak cilalanır.

Alt ve üst katlardaki ağaç malzemenin lif yönü parke uzun kenarına paralel, orta tabakadakinin lif yönü parke uzun kenarına dik olmaktadır. Parkelere lamba ve zıvana açılmaktadır.

Parkenin tüm kalınlığı 10-13-15-18-22-23 mm, genişlikleri 70-80-90 mm veya daha fazla, uzunlukları ise 500-1200 mm ya da daha uzun olabilmektedir.

Resim 5

Lamine Parke (Kontrparke) Örneği



Açıklama notu. Fotoğraf H. Akkılıç'a aittir.

Tabakaların lif yönü birbirine dik olduğu için lamine parkenin stabilitesi daha iyidir. Üst tabaka kalınlığına bağlı olarak bu parkelerin sistre (zımpara) yapılarak yenilenmesi, aynı masif parkelerde olduğu gibi mümkündür. Hatta bu işlem üst tabaka kalınlığına bağlı olarak 3-5 kez yapılabilir. Sistre işleminden sonra cilalanmak suretiyle parke yenilenmesi yapılmış olur. Görünüm olarak masif parkenin sahip olduğu estetik güzellik elde edilebilir. Genelde alt kısma polietilen şilte konularak yüzer sistem olarak kaplanır. Tutkallama lamba kısımlarından yapılır. Uzun ömürlü, stabil ve estetik olan ve bu nedenlerle tercih edilen bir yer döşeme malzemesidir.

Lamine parkelerde üst tabakada kullanılan ağaç malzeme kaliteli ve estetik olmaktadır. Ara ve alt tabakada kalanlar ise daha düşük kalitede olabilmektedir. Bu katların fazla bir estetik değeri de bulunmamaktadır. Dolayısı ile iyi özelliklere sahip ahşap kullanım oranı, lamine parkelerde masif parkelere nazaran daha düşük seviyededir ve değeri yüksek, pahalı malzemeden daha fazla miktarda yararlanmak söz konusudur. Özellikle ara ve alt tabakalarda, artık malzemenin değerlendirilmesi mümkündür.

Lamine parke, masif parkenin olumlu özelliklerini üzerinde taşıyan ancak, sakıncalı özelliklerinin ise büyük oranda giderildiği bir ahşap yer döşeme malzemesidir. Masifin doğallığı, sıcaklığı, estetikliği ve kolay işlenebilirliği lamine parkede söz konusu iken, rutubete bağlı olarak boyutsal değişim (çalışma) kontra yapısı gereği büyük ölçüde önlenmiş bulunmaktadır. Aynı zamanda çalışma sonucu ortaya çıkabilecek açma, şişme, şekil değişimleri gibi kusurların oluşması belli bir oranda engellenmiş olmaktadır.

Sadece üst tabaka masif ağaçtan, alt tabakası kontrplaktan üretilmiş lamine parkeler de mevcuttur. Genelde fabrikada cilalama işlemi yapılarak satışa sunulan lamine parkeler uygulama kolaylığı sağlamakta ve zamandan tasarruf edilmektedir. Aynı zamanda sistre sonucu ortaya çıkan toz ve çevre kirlenmesinin de önüne geçilmiştir. Parkelerin üst tabakasının yüzeyinde, 5-8 kat arası ultraviyole (UV) ile sertleştirilmiş akrilik cila bulunmaktadır.

Lamine parke üretiminde Kayın, Kestane, Meşe, Kiraz, Dişbudak, Ceviz, Akçaağaç, Armut gibi yerli Afrormosia, Azobe, Bubinga, Doussie, Wenge, Kempas, Teak, Iroko, Jatoba, Merbau, Movingui, Ovenkol, Sapelli, Mersawa gibi yabancı ağaç türleri kullanılabilir (As, N., 2002).

Laminant Parke. Dolgu materyali olarak yüksek yoğunluklu lif levha (HDF) ya da orta yoğunluktaki lif levha (MDF) ile yoğunluğu

yüksek yonga levhanın kullanıldığı parkelerdir. Alt kısımda kraft kâğıdı üst kısımda ise genelde kraft, dekor kâğıdı ve overlay denilen alüminyum karpit parçaları ile güçlendirilmiş şeffaf bir koruyucu tabakanın yer aldığı bir yer döşeme malzemesidir (Resim 6). Bu tip parkelerdeki overlay tabakası parkenin kimyasallara, sigara ateşine, güneş ışınlarına, aşınmasına, çizilmesine karşı dayanıklılığını arttırmaktadır.

Resim 6

Laminant Parke Örneği



Açıklama notu. Fotoğraf H. Akkılıç'a aittir.

Kullanıma bağlı olarak laminant parkenin yüzeyinde meydana gelen çizilme ve yıpranmaları gidermek, bu parkelerde mümkün değildir. Diğer bir ifade ile sistire yapmak söz konusu değildir. Dolayısı ile masif ve lamine parke için söz konusu olan bu avantaj laminant parkelerde bulunmamaktadır. Eskiyen parkelerin değiştirilmesi gerekmektedir.

Laminant parkelerin orta kısmı (dolgu) genelde HDF ve bazen de MDF veya yonga levha olduğundan bu tip parkelerde boyuna ve genişliğine doğrultuda rutubet alımından oluşacak boyut artımı % 0.2-0.3 dolayında olmaktadır. Ancak alan büyüklüğüne bağlı olarak bu yönlerdeki çalışma önem kazanabilir ve su alımı ile parkeler şişebilir. Ancak bu parkelerde kalınlığına şişme daha önemlidir. Çünkü levha ürünü olan dolgu malzemesi bu yönde fazla genişlemekte ve bu değer %8-10'a kadar çıkabilmektedir. Bu durumda tamir edilmez kusurlar oluşabilmektedir. Birleşim yerlerinden su alma durumunda sadece buralarda şişme olmakta ve kaşıklanma ya da çanaklaşma gibi kusurlar meydana gelmektedir. Bu kusurlar zımpara ile de giderilememektedir. Masif parkede kuruma ile söz konusu olabilen çanaklaşma, lif yonga esaslı laminant parkelerde birleşim yerlerinden rutubet almaya bağlı olarak meydana gelmektedir.

Bu parkeler de polietilen şilte üzerine yüzer sistem olarak döşenmektedir. Lamba kısımlarına tutkal sürülmekte ve yapıştırılmaktadır. Bu işlem esnasında yapılacak hatalar sonucunda parkeler açma yapılabilmektedir. Ayrıca bu parkelerin esasını oluşturan levha malzemenin formaldehid emisyonu fazla olmamalıdır. Diğer bir ifade ile E1 kalitede olması gerekir. Bu durum canlı sağlığı bakımından önemli bulunmaktadır.

Ahşap Doğramalar

Yapı içindeki bölümlerin dış ortamla ışık ve hava ilişkisini sağlayan boşluklarda kullanılan yapı elemanlarına "Pencere", bu bölümlerde aynı zamanda giriş ve çıkışları da sağlayan boşluklarda

kullanılan yapı elemanlarına da "Kapı" denilmektedir. Doğrama olarak çam, ladin, göknar, sedir, meşe, karaağaç, kestane gibi yerli türler dışında iroko, meranti, acajou, sapelli, afzelia, teak ve maun grubu diğer yabancı türler de kullanılabilir. Masif ahşap dışında lamine ahşap kullanımı da söz konusu olmaktadır.

Ahşap Pencereleler

Ahşap, pencerelerde kasa, kanat, kayıt, damlalık gibi isimlerle kullanılmaktadır. Öncesinde genelde ahşap malzemenin kullanıldığı pencere doğramalarında (Resim 7), metal ve özellikle polimer (PVC) malzemenin kullanıma girmesi ile ahşap bu alandaki eski önemine sahip bulunmamaktadır. Ancak PVC'nin kendine has olumsuz özelliklerin çevre kirliliği ile ön plana çıkması, insan ve canlı sağlığına olan olumsuz etkileri dikkate alınması ile ahşap yine ön plana çıkmaya başlamıştır.

Resim 7

Ahşap Pencere Örneği



Açıklama notu. Fotoğraf H. Akkılıç'a aittir.

Ahşap pencerelerin iyi tasarlanabilmesi için bazı temel ilkelerin bilinmesi gerekmektedir. Gerektiğinde açılan ve kapanan kanadın sabit olan (telaro) kısım ile ilişkisi, tasarımda ilk hareket noktası olmaktadır.

Pencere kanadı ve telaronun birbiri ile teması esnasında tam bir sızdırmazlık sağlamalıdır. Bunun için bu iki eleman birbirine göre 15 mm kaydırılır. Telaro ile kanat arasında tam bir sızdırmazlık için temas (bini, öpüşme) yüzeylerinde herhangi bir boşluk oluşmamalıdır. Bunun için ölçülendirme ve işçilik iyi olmalıdır.

Tasarımda ikinci önemli nokta duvar ve telaro birleşimidir. Burada da yeterli sızdırmazlığın sağlanması gerekir. Günümüzde genellikle poliüretan köpük kullanılarak yeterli sızdırmazlık sağlanmaktadır.

Üçüncü önemli nokta cam ve doğrama birleşimidir. Cam ahşaba macun (ve çivi) ya da çıta ile tespit edilebilir. Macun kullanılması durumunda ahşap doğramada bir lamba oluşturulmakta ve cam buraya oturtulduktan sonra macunlama yapılmaktadır. Bu uygulamalar eskidir. Günümüzde genellikle fitiller ile cam yerine sabitlenmektedir.

Ülkemizde standart ölçülere göre pencere kalınlıkları 45 mm'dir. Pencere alanının büyümesine bağlı olarak telaro kalınlığı 55-60 mm'ye, kanat kalınlıkları ise 65-80 mm'ye kadar artabilir. Çift cam kullanılması durumunda gerek ısı ve gerekse ses izolasyonu daha çok sağlanmaktadır. Özellikle soğuk bölgelerde hem pencere alanının küçültülmesi ve çift cam kullanılması iyi bir ses ve ısı izolasyonu için gereklidir. Ancak bu durumda doğramanın taşıdığı cam ağırlığı (cam kalınlığına da bağlı olarak) artacağından kesit ölçüsünün de artırılması gerekecektir. Örneğin tek cam için verilen 45 mm'lik doğrama kalınlığı 55 mm'ye, 65-75 mm olan kanat kalınlığının ise 75-85 mm'ye çıkarılması gerekmektedir. Aksi takdirde pencere kanadının sarkma riski artacaktır. Bu nedenle eski tek camlı pencere doğramalarında çift cam takılması sakıncalıdır. Sabit olan telaro kısımlarında sonradan çift cam takmanın fazla bir sakıncası yoktur. Ancak ahşap malzemenin eğilmede elastiklik modülüne ve cam ağırlığına bağlı olarak yatay telaro elemanlarında sehim miktarı artabilir. Bu da sorunlar oluşturabilir. Kanatlar çift cam yapılmak isteniyorsa eski kanadın çıkarılıp uygun kesit ölçülerle üretilmiş çift camlı yeni kanada takılması daha doğrudur.

Pencerelere profil vermede suyun dışarı doğru akıtılmasını sağlayacak şeklin verilmesi iyi olacaktır. Hem yatay hem düşey kesit için aynı husus düşünülmelidir.

Özellikle pencere doğramalarında son zamanlarda lamine ahşap malzeme büyük oranda kullanılmaya başlamıştır.

Ahşap Kapılar

Ahşap kapılarda başlık, seren, kayıt, tabla gibi isimlerle kullanılmaktadır. Kapı, taşıyıcı kısım ile kaplama ve dolgu malzemelerinden oluşmaktadır. Taşıyıcı olan parçalar "Seren" denilen ve kapının uzun iki kenarını oluşturan düşey elemanlar ile kapının alt ve üst kısmını oluşturan yatay elemanlardan (Başlık) meydana gelmektedir. Üstteki parça üst başlık, alttaki ise alt başlık olarak isimlendirilmektedir. Bazı hallerde iki başlık arasında orta başlık yer alır. Böylece taşıyıcı konstrüksiyon oluşturulur. Arası ahşap kökenli malzeme ile doldurulmakta ve bazen de üzerleri kaplama elemanları ile kaplanmaktadır. Cam da kullanılmak suretiyle camlı ya da aynalı kapılar oluşturulur. Son zamanlarda dolgu malzemesi olarak kâğıttan oluşturulmuş petek biçimindeki materyalden de faydalanılmaktadır (Resim 8). Dolgu malzemesi olarak kâğıt ya da odun kökenli ahşap malzeme (Lif-Yonga levha

vb.) kullanılması ile kapı hafif olarak üretilebilmektedir. Kapının fazla ağır olmaması sarkma olmaması için istenen bir durumdur. Ayrıca MDF levha yüzeylerine profil vererek, sonrasında lake ve diğer bazı kaplama malzemesi ile kaplanarak üretilen kapılar vardır. Kontrplak da kullanılır.

Değişik tipte kapılar mevcut olup iç kapılar ve dış kapılar şeklinde iki ana gruba ayrılabilir. Ayrıca masif, camlı kapılar, çarpma kapılar

Resim 8

Dolgusu kâğıt petek olan kapı taslağı



Açıklama notu. Fotoğraf H. Akkılıç'a aittir.

Resim 9

Eski bir kapı örneği



gibi çeşitleri de mevcuttur. Çarpma kapılar aynalı olmaz, camlı yapılır. Çünkü aksi taraflardan gelen kişilerin birbirini görmesi ile istenmeyen kazalar bu şekilde önlenmiş olur. Bu nedenle bu tip kapılar sadece seren ve başlıklardan oluşur.

Kapılar ayrıca kasaya oturtulmaları bakımından da Pomel (Fransız) ve Germen (Alman) menteşe ile kasaya bağlanan kapılar olmak üzere iki türlüdür.

Pomel menteşe ile kapının kasaya oturtulmasında tek bir bini (öpüşme) yüzeyi ile temas ettirilmektedir. Bu durumda kapıda kuruma ile meydana gelebilecek bir küçülme aralığının artmasına, sızdırmazlığın (ses, ısı) azalmasına neden olmaktadır. Ancak kapının oturtulması bu sistemde daha kolaydır.

Germen menteşedeki kapılarda ise bini sayısı 2'ye çıkmaktadır. Bu durumda sızdırmazlık artarken kasaya kapının oturtulmasında güçlük çekilmektedir.

Ahşap kapılarda eskiden beri kullanılmış olup (Resim 9) günümüzde de önemini korumaya devam etmektedir.

Ahşabın Kullanıldığı Yapı Tipleri

Ahşabın kısmen ya da tamamen kullanıldığı farklı yapı tipleri; masif yapılar, betonarme yapılar, çelik yapılar, prefabrik yapılar ve ahşap yapılar şeklinde sıralanabilir. Yapı tipini, kullanılan taşıyıcıların malzemesi belirlemektedir. Taşıyıcıları betonarme, çelik, ahşap olması durumunda sırasıyla betonarme, çelik, ahşap yapılardan bahsedilir. Bunlarda farklı kaplama malzemeleri kullanılsa bile yapı tipi değişmez. Ahşap ve ahşap kökenli malzemeler yapı tipine bağlı olarak farklı oranlarda ve farklı yerlerde kullanılabilir. Ahşap yapılar ise üretim tekniğine bağlı olarak kendi içinde karkas, yığma, panel birleşen ve karma yapılar şeklinde gruplandırılabilir. Masif ya da lamine olarak ahşabın büyük oranda kullanıldığı yapı üretim tekniği ise yığma yapılarıdır. Ahşap yapılar masif ve ahşap kökenli malzemelerin çok büyük oranda kullanıldığı yapılar olmaktadır.

Masif Yapılar

Masif yapılarda ahşap, çatılarda, kapı, pencere ve katların bölme (Döşeme) elemanlarında kullanılmaktadır. Duvarlar taş, tuğla ya

Resim 10

Masif yapı örneği



da kerpiçten oluşmaktadır. Katları birbirinden ahşap döşemeler ayırmaktadır. Döşeme kirişleri (taşıyıcı), taban ve tavan elemanları (kaplama) ahşaptan yapılır. Daha çok kırsal kesimde görülen yapı tipidir (Resim 10).

Betonarme Yapılar

Çok yaygın olan bu tip yapılarda ahşap, çatıda taşıyıcı ve kaplama elemanı olarak, kapılarda ve zemin kaplamada kullanılmaktadır. Ayrıca yaygın olmasa da pencerelerde yine ahşap kullanımı söz konusu olabilmektedir. Bir diğer kullanım yeri ise duvar kaplamalarıdır. Ahşap zemin kaplama çok daha yaygındır. Kullanılan ahşap zemin kaplama malzemesi genelde parkelerdir. Parke olarak genelde laminant parkeler kullanılırken, masif ve lamine parkeler de değerlendirilmektedir. Bu kullanım yerlerinde ahşap masif olarak kullanıldığı gibi lamine, kontrplak, yonga ve lif levha olarak da değerlendirilebilmektedir. Ayrıca beton yapıların inşasında kullanılan kalıplık malzeme olarak ahşap ve ahşap kökenli malzeme kullanımı devam etmektedir (Resim 11). Özellikle film kaplı ahşap kontrplak bu amaç için çokça değerlendirilir. İskele malzemesi olarak önceleri ahşap büyük oranda kullanılırken günümüzde önemini kaybetmiştir.

Resim 11

Betonarme yapılarda ahşabın kalıplık olarak kullanılması



Genelde yüksek yapıların üretildiği çelik yapılarda da ahşabın kullanıldığı yerler betonarme yapılarda olduğu gibidir. Ayrıca önceleri iskele amaçlı olarak ahşap kullanılmış olmakla birlikte günümüzde bu kullanım yerinde önemini yitirmiştir.

Prefabrike Yapılar

Yapı elemanlarının projeye göre kısmen (duvar, döşeme, çatı makası) ya da tamamen bir fabrikada önceden hazırlanarak daha sonra inşa edilecek yerde monte edilmesi suretiyle kısa sürede oluşturulan yapılardır. Ahşap dışında çeşitli malzemeler kullanılarak üretilebildiği gibi, ahşap ile karışık halde ya da tamamen ahşap malzeme kullanılarak da üretilebilir. Bu tip yapılarda masif ahşaptan ziyade ahşap kökenli diğer malzemeden faydalanılmaktadır. Yongalevha (özellikle OSB), liflevha (özellikle MDF), kontrplak, kontratla kullanılan ahşap kökenli bu malzemelere örnek olarak verilebilir. Taşıyıcı eleman olarak masif, tutkallı lamine kereste (İglulam), dirençli levhalar (kontrplak, OSB) ya da çelik, beton malzeme kullanılabilir. Ahşap yapılar içinde gruplandırılan panel birleşen sistemde de paneller prefabrik olarak üretilmektedir. Ufak boyutlu yapılar tamamen bitmiş halde fabrikadan çıkabilir (örneğin kabinler). Plastik kökenli (PVC) malzemeler de genelde

bu amaçla değerlendirilmektedir. Toplam iki günde böyle bir prefabrik yapıyı monte etmek mümkündür.

Ahşap Yapılar

Ahşabın en büyük oranda kullanıldığı yapı tipidir. Burada ahşap taşıyıcı ve kaplama elemanı olarak kullanılmaktadır. Masif halde kullanım eski yapılarda söz konusu iken günümüzde masifin yanı sıra mühendislik ürünü ahşap malzeme kullanımı (Tutkallı Lamine Kereste, CLT, LVL, Kontrplak, OSB vb.) da söz konusudur.

Üretim tekniklerine göre ahşap yapılar kendi içinde Yığma, Panel Birleşen, Karma ve Karkas (Çerçeve) yapılar olarak 4 grupta toplanabilir.

Ahşap Yığma (Blok-Çantı, Kütük, Şale) Yapılar

Ağaç malzemenin işlenmiş (biçilmiş, profil verilmiş) olarak ya da doğal haliyle, yatay olarak birbirinin üzerine konması ve köşelerin birbirine birleştirilmesi suretiyle oluşturulan sisteme, ahşap yığma sistem denir (Çobanoğlu, 1988). Duvarlar bu şekilde oluşturulmaktadır. Duvarların taşıyıcı görev üstlendiği yapılar hangi malzeme ile üretilirse üretilsin yığma adını almaktadır. Masif ya da lamine Ahşap ile duvarlar oluşturulur. Döşemelerde ise genelde yine ahşap kütükler kullanılır. Ya da ahşap kiriş ve kaplama elemanları ile döşemeler oluşturulabilir.

Yığma sistemle üretilmiş bir kütük ev Resim 12 de gösterilmiştir.

Resim 12

Ahşap Yığma Sistem örneği



Bu sistemin temel prensibi bina ağırlığının duvarlar tarafından temele aktarılmasıdır. Temel genelde betondur. Farklı köşe birleşimleri ile konstrüksiyon oluşturulabilmektedir. Yine farklı köşe kilitleme sistemleri ile yapının rijitliği sağlanmaktadır. Duvar kütüklerinin birbiri ile bağlantısı için, uzun çivi ya da vidalar kullanılmaktadır.

Tamamen isteğe bağlı olarak kütüklere farklı şekiller verilebilir. Bu şekillerde kütükler yuvarlak kesitli olabileceği gibi dikdörtgen, kare ve belirli bir profile sahip olabilir. Malzeme hazırlanırken evin kurulacağı yerde gerekli hafriyat çalışması yapılır ve beton temel atılır. Kapı ve pencerelerin üzerinde "oturma boşlukları" bırakılır. Bu boşluklar cam yünü gibi izolasyon maddesi ile kapatılır. Bu oturma boşluklarının bırakılması gereklidir. Çünkü enine yönde

dizilmiş kütükler liflere dik yönde fazla çalışma gösterdiklerinden ve de ağırlığın etkisi ile bir miktar esnemekte ve oturmaktadır. Bunun sonucunda kapı ve pencere kasa ve telorosundaki dikey elemanlar ile kolonlarda basınç gerilmeleri oluşur ve deformasyona uğrarlar. Bu nedenle kapı, pencere üstlerinde oturma boşlukları bırakılır. Kolonlar üzerine ayar vidaları konulur (Resim 13). Çatı, duvar, zemin ve doğramalarda ahşap kullanılır. Masif ahşabın büyük oranda kullanıldığı bir yapı tipidir.

Resim 13

Kolon üzerindeki ayar vidası



Panel Bileşen Yapılar

Panel bileşen sistemler, hafif prefabrik teknoloji ya da levhalarla kaplanmış karkas sistem olarak tanımlanabilir. Bu sistemde kaplama elemanı olarak genellikle OSB (yönlendirilmiş yongalevha) kullanılır (Resim 14). Ahşap karkas sistemden farklı olarak duvarlar, sadece bölme elemanı değil aynı zamanda taşıyıcıdır. Bu sistem, ilk olarak 1931 yılında kullanılmış ve günümüze kadar gelmiştir. Özellikle diğer sistemlerle kıyaslandığında hızlı bir üretim sistemidir (Avlar, 2008).

Panel bileşen üretim sistemi ile üretimde CLT (Çapraz Lamine Kereste) kullanımı gittikçe artış göstermektedir. Bu malzemenin kullanımı yüksek (çok katlı) ahşap yapıların inşasını mümkün kılmıştır. CLT duvar ve döşemelerin kendisi taşıyıcı durumdadır.

Resim 14

Panel Bileşen Sistem örnekleri



Açıklama notu. Ediz, İ., 2018, Prefabrik Ahşap Yapı Paneli Tasarımına Yönelik Mühendislik Yazılımının Geliştirilmesi, Gazi Üniv. Fen Bil.Ens., Doktora Tezi, Ankara kaynağından alınmıştır.

Bugün için 18 katlı ahşap bina üretilmiş olup daha fazlası için çalışmalar devam etmektedir. Avrupa, Amerika ve Kanada'da bu tip yüksek katlı ahşap binaların örnekleri artmaktadır.

Ahşap panel sistem ile üretilen yapılarda, ahşabın yüksek dayanımı, düşük ısı iletkenliği, kolay işlenebilirlik gibi doğal ve yapay ahşap malzemeye ilişkin özellikleri de bir sistem bütünü içinde değerlendirme olanağı sunmaktadır. Amerika, Kanada gibi ahşap yapıların yaygın olduğu bölgelerde geniş kullanım alanı bulunmaktadır (Parlar, 2000).

Karma (Hibrit) Yapılar

Birden fazla ahşap yapı üretim tekniği kullanılarak oluşturulan üretim sistemine, karma sistem denir. Burada aynı anda iki ya da daha fazla üretim sistemi birlikte kullanılır. Endüstriyel veya yarı endüstriyel prefabrikasyon teknikleri kullanılabilir (Toğay, 2002). Burada yağma, karkas, panel birleşen ahşap sistemlerin ikisi ya da hepsi bir yapıda kullanılabileceği gibi ahşap; beton, çelik vb. diğer malzemelerle de bir yapıda kullanılabilir.

Ahşap Karkas Yapılar

Ahşap karkas yapılar, dünyada ve ülkemizde sistem yönünden değerlendirildiğinde, yapı sektöründe en çok kabul gören ve uygulanan yapı çeşidi olarak dikkat çekmektedir. Ahşap karkas yapılarda temel prensip; yüklerin belirli noktalarda toplanarak, kolonlar vasıtasıyla temele aktarılmasıdır. Bu yapılarda duvarlar taşıyıcı değil bölme elemanı olarak kullanılırlar (Kaya, 1997). Taşıyıcılık görevini "karkas" adı verilen bir "iskelet" yapar. Karkas, kolon ve kirişlerden oluşan çerçevedir (Resim 15). Ahşap çerçeve yapılar da denir.

Resim 15

Ahşap Karkas Yapı Örneği



Kolon, kiriş ve çaprazlama gibi biçilmiş ahşap malzeme kullanılarak yapının iskeleti oluşturulur. Temel, diğer yapılarda olduğu gibi betondur. Bunun üzerine döşenen, mantar ve böceklerle karşı

korunmuş olan ahşap tabanlar üzerine iskelet oturur. Eski karkas yapılar, oluşturulan iskeletin araları (kolon, kiriş ve çapraz araları) genellikle tuğla, taş veya kerpiçe doldurulmuştur (Resim 16). Günümüzde de benzer uygulamalar vardır. Daha sonra yapı bu hali ile kullanılabilir. Yapının ahşap kısımları içten ve dıştan görülebilir. Bazen de ahşap kısımların üzerine sıva teli çakılır ve sıva yapılır. Bu durumda yapı betonarme görüntüsü kazanır. Bu tür yapıların dış kısmı başka ahşap malzeme ile yalı baskısı türünde kaplanabilir. Bu, ısı ve nem izolasyonu bakımından iyi netice verir. Bina içi kısımlar sıva ya da ahşap ile kaplanabilir.

Resim 16

Tuğla Dolgulu Ahşap Karkas Yapı Örneği



Genelde çam, göknar, kestane gibi türlerin kullanıldığı bu tür yapılarda, iç duvar dikmeleri ve kirişleri 12x12, 12x14 cm, kirişler 12x16, 12x18 cm, göğüslemeler 12x12 ebatlarında hazırlanır. Dış duvarlarda ise dikme, kiriş ve göğüslemeler 12x16, 12x18 cm ebatlarında, ana taşıyıcı kirişler 12x18, 14x20 boyutlarında hazırlanır. Çoğunlukla kırsal kesimde karşılaşılan bu yapılar günümüzde de gittikçe tercih edilmeye başlanmıştır. Bu yapılarda ahşap ayrıca kapı, pencere doğramasında ve çatıda kullanılmaktadır.

Yatay ve düşey taşıyıcı elemanların ahşaptan üretildiği, dış ve iç kaplama elemanı olarak genelde ahşabın kullanıldığı günümüz karkas yapılarda, masif ahşabın yanı sıra lamine, yongalevha (OSB

Resim 17

Kolon kiriş aralarına konulan izolasyon malzemesi



ve diğerleri), liflevha (özellikle MDF) ve kontrplak malzeme kullanılmaktadır. Kapı, pencere ve çatıda yine çoğunlukla ahşap kullanımı söz konusu olmaktadır. Ara boşluklarda genelde cam yünü, strofor gibi izolasyon maddeleri kullanılmaktadır (Resim 17).

Günümüzde yapı üretiminde ahşap çok kullanılmasa da tarihsel süreç içinde ülkemiz milli kültür ve malzeme ilişkisinde önemli bir yere sahip olmuştur. Eski ahşap yapıların bazı örnekleri halen restore edilerek kullanılmaya devam edilmektedir (Resim 18).

Resim 18

Restore edilmiş ahşap yapılardan oluşan bir sokak



Karkas (Ahşap çerçeve) yapılar değişik şekillerde üretilebilir. Bunlar, Avrupa ve Amerikan sistemidir.

Avrupa Sistemi. Kolonlar, duvar köşelerine, kapı ve pencere kenarlarına, duvar kesişme noktalarına ve açıklığın 1.5 m'yi geçtiği yerlere konulmakta ve kirişlerle bağlantıları yapılmaktadır. Kolon kesitleri taşıyacakları yüklere göre belirlenir. Ana kolonlar daha büyük kesitli olurken iç duvarlardaki ilave kolonlar daha küçük kesitli olabilir.

Kolonların konulacağı yerler öncelikle plânda belirlenir. Düşey doğrultudaki yükler temele kolonlarla iletilirken bu kolonlara gelen yükler genelde kirişlerle intikal ettirilmektedir. Ancak yatay doğrultudaki yüklemelere (rüzgar, deprem) karşı stabilite diyagonallerle sağlanır. Amerikan sisteminden olan en önemli farkı budur. Duvar sisteminin tamamlanması kolon ve diyagonallerin alt ve üst kısımlarından yatay konsül başlıklarla bağlanması ile sağlanır. Diyagonaller, sadece dış duvarlarda değil iç duvarlarda da gerekli görüldüğü takdirde kullanılır. Kapı ve pencerelerin oluşturduğu boşluklarda da yatay başlıklar kolonlara tespit edilir. Kapı boşluklarında sadece üst kısmında, pencerelerde ise boşlukları sınırlayan alt ve üst kısımlarda bu yatay elemanlar kullanılır. Duvar ve döşemelerin içinde kalan boşluklar ses ve ısı izolasyonu sağlayan malzemelerle (Strafor, cam yünü vb.) doldurulur. Birleşimlerde çivi, vida blom kullanıldığı gibi metal konektörler de kullanılmaktadır.

Amerikan Sistemi. Bu sistemlerde kolonlar daha sık aralıklarla dikilir. Araları yaklaşık 40 cm'dir. Dikme kesitleri taşıyacakları yüke bağlı olarak değişmekle birlikte genelde 15x10 cm ölçülerindedir. Stabilitenin sağlanması bu kolon ve kirişlere içten ve dıştan tespit edilen ve taşıyıcı özelliği olan ahşap kökenli levha malzeme ile olur. Kullanılan malzeme genelde kontrplaktır. Ancak OSB'de kullanılabilir. Avrupa sisteminden bu özelliği ile ayrılır. Kolonlar yine Avrupa sisteminde olduğu gibi belirlenen kısımlara konulur.

Stabiliteyi daha da artırmak için dıştan diyagonaller de çakılabilir. Bu parçalar, yaklaşık 45°'lik açı ile bir kiriş ve kolonu tespit edecek şekilde çakılabilirler. Bunların üzerine ahşap levhalar konabilir. Aynı husus içerden yapılan diyagonaller için de geçerlidir. Kolonlar genelde beton temel üzerine yatay olarak tespit edilmiş taban tahtaları üzerine konulur. Duvar ve döşemelerin içinde kalan boşluklar ses ve ısı izolasyonu sağlayan malzemelerle (strafor, cam yünü vb.) doldurulur. Birleşimlerde çivi, vida blom kullanıldığı gibi metal konektörler de kullanılmaktadır.

Her iki yapı sisteminde özellikle iç kaplamalarda ahşabın yanı sıra alçıpan gibi mineral esaslı, yangına dayanıklı levhalar da kullanılabilir.

Ahşap çerçeve konstrüksiyonlar, ev için kullanılan önde gelen sistemlerdir. Ayrıca çok katlı yapılar da üretilebilmektedir. Bu konstrüksiyon, ticari ve endüstriyel yapılarda da kullanılabilir. İnşa ve yalıtım bakımından ekonomiktir. Ahşap konstrüksiyon, kolayca geleneksel, çağdaş ve gelişmiş ileri yapı sistemlerine adapte edilebilir. Bilindiği gibi herhangi bir yapı malzemesi ya da ürünü, sağlam konstrüksiyon, uygulama pratiği, dayanıklılık ve iyi performans gibi özellikler göstermelidir. Bu da yeterli miktarda ve iyi kalitede malzeme kullanımı ile sağlanabilir. Dolayısı ile malzeme seçiminde dikkatli olunmalı ve iyi kalitede yeterli miktarda malzeme kullanılmalıdır. Taşıyıcı ahşap malzemenin kesit ölçüleri statik hesaplar ile ortaya konmalıdır. Ekonomik, sağlam ve dayanıklı yapının üretimini başarmak için öncelikle iyi bir tasarım, plân ve bu plânın uygulanması gereklidir.

Amerikan Ahşap Çerçeve (karkas) Sistemi evler, kendi içinde de iki gruba ayrılmaktadır. Bunlar şu şekilde ifade edilebilir:

- Platform sistem
- Balon sistem

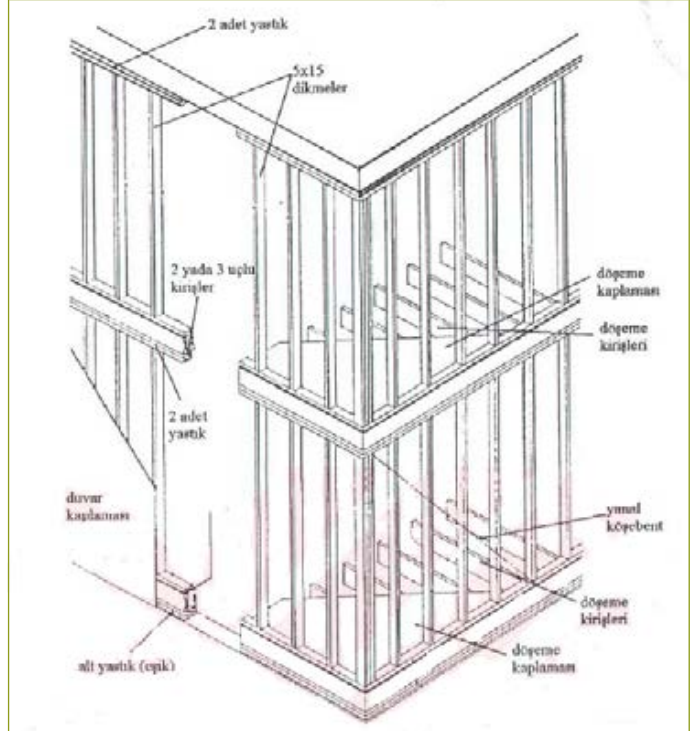
Balon yöntemi günümüzde yapı sektöründe yaygın olarak kullanılmayan bir sistemdir. Bu sistemin yerine daha çok "platform karkas sistemi" tercih edilmektedir.

Platform Sistemi. Platform çerçeve konstrüksiyonda ilk katın kolonlarının üzeri tamamen üst katın platformu şeklindeki döşeme malzemesi ile örtülmekte ve bunun üzerine ikinci katın kolonları alt kolonların hizasında olmak üzere çıkılmaktadır (Şekil 6).

Beton temel üzerine yine yatay olarak taban tahtaları konulmakta ve bunun üzerine yine yatay doğrultuda taban kirişleri konulmaktadır. Kirişin üzerine yine yatay yönde döşeme eşik tahtalar kullanılmakta bunların üzerinden kolonlar çıkılmaktadır. Bu kolonlar çatıya kadar çıkmadığı için nispeten kısa parçalar kullanılabilir. Tabanda kullanılan kirişlerin üzerine genelde suya dayanıklı kontrplak kullanılmaktadır. Ayrıca özellikle bu bölümde kullanılan ahşap malzemenin mantar ve böceklerle karşı korunmuş olması çok önemlidir.

İlk katın kolonlarının üzerine yatay yönde uzanan kiriş altı destek tahtaları (2 adet) konulmakta ve bunun da üzerinde kiriş yer almaktadır. Kirişlerin üstüne ikinci katın döşemesini oluşturacak olan kontrplak vb. malzeme konulduktan sonra yine döşeme eşik tahtaları yatay olarak konulduktan sonra alt kolonların hizasında olacak şekilde ikinci katın kolonları çıkılmaktadır.

Şekil 6
Platform karkas iskeleti



Acıklama notu. Ching, F.D.K., Adams C., 1991, Building Construction Illustrated, Second Edition, Van Nostrand Reinhold, New York kaynağından alınmıştır.

Yapının stabilitesi Amerikan sisteminde olduğu gibi dıştan ve içten diyagonaller, dirençli levha malzemeler veya her ikisi ile birlikte sağlanmaktadır.

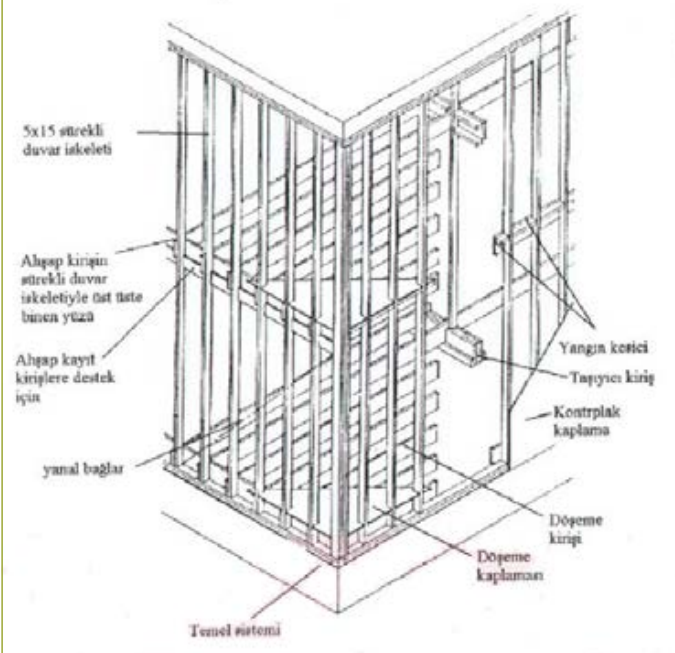
Bu yapı tipi genelde ev üretiminde kullanılmaktadır. Platform konstrüksiyonu kolay inşa edilir. Her katta bir yüzey üzerinde çalışma imkânı verir. İstenirse prefabrikasyon kolayca uygulanabilir. Genelde uygulanan yöntem, duvar ve döşemelerin inşaat yerinde yapılmasıdır.

Balon Sistemi. Balon çerçeve konstrüksiyonda ahşap dış duvar kolonları birinci ve ikinci kat boyunca devam eder. Bu nedenle daha uzun ahşap elemanlara gerek vardır. İlk kat kirişleri ve dış duvar kolonları birbirine sıkıca tespit edilir. Beton temel üzerine en az 5x10-15 cm ebatlarında taban tahtası konulur. Bunun üzerinden kolonlar genelde çatıya kadar çıkartılır (Şekil 7). Dış duvar kolonlarının içe bakan kenarlarına minimum 2.5x10 cm boyutlarındaki tahtalar bağlanır. Bunların üzerine ise ikinci katın kirişleri yerleştirilir. İç duvarlarda ise kolonların çatıya kadar çıkması gerekmez. İlk kat seviyesine kadar çıkan bu kolonların üzerine yatay doğrultuda eşik tahtaları konulmakta ve bunun üzerinden ve alt kolonların hizasında ikinci katın kolonları çıkar. Ancak bu kısımlardan aynı zamanda dış duvarla bağlantılı kirişler de geçmektedir. Bu nedenle ara duvarları oluşturan alt kolonların üst bitim noktasına bu kirişler oturtulmakta ve hemen yanından ikinci katın kolonları çıkılmaktadır. İkinci katta döşenen kirişler üzerine yine taşıyıcı özelliği olan dirençli levha malzemesi (kontrplak) konulmaktadır. Alt katta bu malzeme, kolonların üzerine bastığı taban tahtasına ve kolonlara tespit edilmiş bulunan kirişlere konulmaktadır. Stabilite

aynı şekilde 45°'lik açıyla ve dıştan ve içten kolonlara tespit edilmiş bulunan diyagonallerle ya da levha malzemelerle sağlanır. Her ikisinin kullanılması da mümkündür.

Şekil 7

Balon karkas iskeleti



Acıklama notu. Ching, F.D.K., Adams C., 1991, Building Construction Illustrated, Second Edition, Van Nostrand Reinhold, New York kaynağından alınmıştır.

Her iki sistemde de kapı, pencere boşlukları önceden bırakılır ve bu kısımlarda çoğunlukla ahşap doğramalar kullanılır.

Çatı konstrüksiyonu önceden ifade edildiği gibi oluşturulur. Bağlama elemanı olarak çivi, vida, blom ya da konektörler kullanılır.

Dıştan ve içten kaplamalarda ahşap kökenli levha malzemesi kullanılır. İç kaplamalarda alçıpan da tercih edilebilir. Ayrıca kullanılan ahşap malzemenin korunmuş olması, yapının uzun süreli kullanımı için önemlidir. Balon sistemi, platform sisteme nazaran daha az kullanılır.

Her iki sistemde dıştan kaplamada sıvada kullanılabilir. Bunun için öncelikle dış kaplamada kullanılan ahşap kökenli levhanın üzerine rutubete karşı koruyucu özelliği olan bir malzeme (bitümlü kağıt vb.) kaplanır. Bunun üzerine sıva teli gerilir ve sonra da sıva yapılır. Bu tür bir uygulama yapıya dıştan ahşaptan üretilmediği gibi bir izlenim verir. Sıva yapılmış olsun olmasın dıştan boyama imkânı vardır. Çatı yine bir çatı örtü malzemesi (shingle) ile kaplanarak işlem bitirilir.

Yapısal Maksatlı Kullanılan Ağaç Türleri

Yapı malzemesi amaçlı kullanılabilen ağaç türleri şunlardır; Çam (özellikle sarıçam), ladin, göknar, sedir, ardıç, meşe, kayın, kestane, akçaağaç, kavak, karaağaç, dişbudak, yalancı akasya ve çınar. Doğrama amaçlı olarak çam, ladin, göknar, meşe, dişbudak, kestane, servi kullanılmaktadır. Lambri ve parke olarak çam, ladin, göknar, kayın, meşe, akçaağaç, çınar, kiraz, porsuk, okaliptüs, yalancı akasya kullanılmaktadır.

Yabancı türlerden yapısal maksatlı olarak kullanılan türlerden bazıları şunlardır; Acajou, avodire, Dibetou, eyong, iroko, kosipo, limba, mansonie, sapelli, sipo, tiama, wenge, zingana, doussie, makore, padouk, bilinga, tali, kotibe, maun, teak.

Yapıda Kullanılan Mühendislik Ürünü Ağaç Malzemeler

Gelişen teknolojiye bağlı olarak yapıda kullanılan ahşap ürün çeşitliliğinde artış olmuştur. Yeni ürün araştırmaları devam etmektedir. Bu şekilde masif ahşaba göre malzemenin birçok özelliği iyileştirilmekte ve geliştirilmektedir. Mühendislik ürünü yapısal ahşap malzemeler şu şekilde sıralanabilir. Kontrplak, OSB (Yönlendirilmiş Yonga Levha), tutkalı lamine kereste, CLT (Çapraz Lamine Kereste), NLT (Çivi ile Lamine edilmiş Kereste), DLT (Kavala ile Lamine edilmiş Kereste), LVL (Lamine Kaplama Kereste), Holz, Hibrid I Kirişler, PSL (Paralel Yonga Kereste), LSL (Lamine Yonga Kereste), OSL (Yönlendirilmiş Yonga Kereste). Bunlardan Tutkalı lamine kereste, CLT, OSB ve I kirişler yapısal kullanımda ön plana çıkmaktadır.

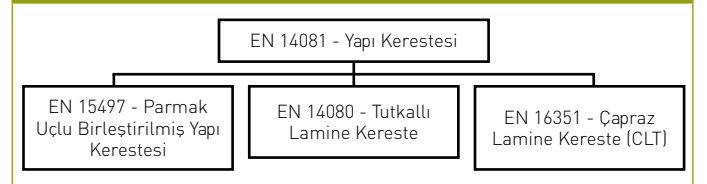
Yapısal Ahşap Standartları ve Sınıflandırma

Yapısal ahşaplar yük taşımak maksadı ile kullanılacakları için bunların ahşap yapı tasarımına esas olan karakteristik mukavemet değerleri ve bu değerlere bağlı olarak belirlenen mukavemet sınıfları (direnc sınıfları) büyük önem taşımaktadır. Günümüzde ahşap yapıların tasarımı ülkemizde de geçerli olan TS EN 1995-1 (Ahşap Yapılar) ve TS EN 1995-2 (Köprüler) standartlarına göre yapılmaktadır. Bu standartlar kısaca Eurocode 5 ismi ile anılmaktadır. Bu standartlara göre yapısal maksatla kullanılacak ahşapların direnc sınıflandırmaları yapılmış olmalıdır. Örneğin bir masif yapı kerestesinin TS EN 338 standardında zikredilen mukavemet sınıflarından (örneğin C24) ya da tutkalı lamine kereste söz konusu olduğunda TS EN 14080 standardında belirtilen mukavemet sınıflarından (örneğin GL24) birine haiz olması ve bunun belgelenmiş olması gerekmektedir.

Her türlü masif ahşap esaslı yapısal malzemelerin mukavemet sınıflandırmasının ilk adımı masif yapı kerestesinin sınıflandırılması ile başlar. Bununla ilgili diyagram Şekil 8'de verilmiştir (TS EN 14080).

Şekil 8

Yapısal masif kereste ürünlerinin birbiri ile ilişkileri



Yapı kerestelerinde direnc sınıfını belirleyen 3 temel özellik bulunmaktadır:

- Eğilme Direnci ya da liflere paralel çekme direnci
- Eğilmede elastikiyet modülü ya da çekme de elastikiyet modülü
- Yoğunluk

Bu üç temel özelliğe ait karakteristik değerler bilindiği takdirde mukavemet sınıfı belirlenebilmektedir.

Yapı kerestelerinin mukavemet sınıflandırması kuralları TS EN 14081 serisi standartlarda belirtilmiştir. Bu seriye ait standartlar aşağıda verilmiştir:

- TS EN 14081-1; "Ahşap yapılar- Dikdörtgen kesilmiş yapı kerestelerinin mukavemet sınıflandırması- Bölüm 1:Genel özellikler"
- TS EN 14081-2; "Ahşap yapılar- Dikdörtgen kesilmiş yapı kerestelerinin mukavemet sınıflandırması- Bölüm 2: Makine ile sınıflandırma; Tip testi için ilave gereklilikler"
- TS EN 14081-3; "Ahşap yapılar- Dikdörtgen kesilmiş yapı kerestelerinin mukavemet sınıflandırması- Bölüm 3: Makine ile sınıflandırma; Fabrika üretim kontrolü için ilave gereklilikler"

TS EN 14081-1 standardına göre yapı kerestelerinin mukavemet sınıflandırması görsel sınıflandırma ve makine ile sınıflandırma olmak üzere iki şekilde yapılabilmektedir.

Görsel Direnç Sınıflandırması

Görsel direnç sınıflandırmasının temeli yapı kerestelerinde özellikle başta budaklar olmak üzere lif kıvrıklığı, çatlaklar, büyüme hızı-yıllık halka genişliği, çürüklük, böcek zararları vb. direnç azaltan kusurlar ile sulama, eğrilik, reçine kesesi vb. diğer görünüş özellikleri için belli limit değerlerin tanımlanması ve bunların ölçülmesine dayanmaktadır. Yapı kerestelerinin görsel direnç sınıflandırması için farklı ülkelerin farklı kuralları içeren kendi standartları bulunmaktadır. Ulusal standartlardaki bu çeşitlilik nedeniyle sınıflandırma kurallarını bütün ülkelerde geçerli olabilecek tek bir standart içerisinde toplamak mümkün değildir.

Ülkemiz Avrupa Standardizasyon Komitesi (CEN) üyesi bir ülke olduğu için Avrupa Birliği standartlarını kabul etmiş bulunmaktadır. CEN üyesi ülkelerdeki ulusal görsel direnç sınıflandırması kurallarının sahip olması gereken asgari koşulları belirlemek amacı ile TS EN 14081-1 standardında rutubet, budaklar, lif kıvrıklığı, çatlaklar, büyüme hızı gibi bazı temel özellikler için sınır değerler verilmiş bulunmaktadır. Bu ülkelerin ulusal standartlarında bu limitlerden daha fazlasına izin veremeyeceği anlamına gelmektedir.

Ülkemizde iğne yapraklı ağaçlardan üretilmiş olan yapı kerestelerinin görünüş özelliklerine göre sınıflandırılması kuralları TS 1265 standardında verilmektedir. TS 1265 iğne yapraklı yapı kerestelerini görünüş özelliklerine göre en iyiden başlayarak; 1. Sınıf, 2. Sınıf ve 3. Sınıf olmak üzere üç sınıfa ayırmaktadır. TS 1265, TS EN 14081-1 standardında görünüş özellikleri için verilen asgari gereklilikleri karşılamaktadır. Böylece eğer bir ağaç türü ya da tür kombinasyonu için TS 1265 standardına göre belirlenen kalite sınıflarına karşılık gelen mukavemet sınıfları TS EN 1912 standardında işaretlenmişse TS EN 338 standardında bu mukavemet sınıfına karşılık gelen karakteristik direnç değerleri yapısal tasarım için kullanılabilir.

Görsel kalite sınıflarının hangi mukavemet sınıfına karşılık geldiğinin tespit edilmesi için bir ağaç türü ya da tür kombinasyonu için yapı kerestelerinin temin edildiği yetiştirme bölgelerine göre alt örnek grupları oluşturularak çok sayıda kereste üzerinde laboratuvar da eğilme direnci ya da liflere paralel çekme direnci testleri yapılmalıdır. Bu testler ile direnç değerlerinin yanı sıra eğilme ya da çekmede elastikiyet modülü değerleri ve aynı zamanda yoğunluk değerleri tespit edilmektedir. Daha sonra elde edilen test değerleri TS EN 384'e göre analiz edilerek karakteristik değerler

ve mukavemet sınıfları belirlenmektedir. Elde edilen sonuçları içeren rapor CEN/TC 124 komisyonu tarafından kabul edilip onaylandıktan sonra test edilen ağaç türü için görsel kalite sınıflarına karşılık gelen mukavemet sınıfları TS EN 1912 standardına işlenmekte ve böylece TS 1265 standardına göre görsel sınıflandırması yapılan keresteler ilgili mukavemet sınıfına göre ahşap yapı tasarımı da kullanılabilir.

Makine ile Direnç Sınıflandırması

Makine ile direnç sınıflandırması birçok ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla "çıkış kontrolü" ve "makine kontrolü" olarak adlandırılan iki farklı sistem kullanılabilir. Her iki sistemde de makine tarafından otomatik olarak algılanamayan direnç azaltıcı özellikleri elemine etmek için bir görsel inceleme yapılması gereklidir.

Çıkış kontrolü, sınıflandırma makinesinin tekrarlanan üretim süreçlerinde sınırlı sayıda türler, boyutlar ve direnç sınıflarını tasnif eden üretim birimlerinde bulunduğu durumlarda kullanım için uygun bulunmaktadır. Bu sistem, günlük üretimden alınan kereste numunelerinin test edilerek kontrol edilmesini mümkün kılar. Bu testler, istatistiksel prosedürlerle birlikte, her bir mukavemet sınıfı için gerekli direnç özelliklerinin sürekliliğini sağlamak üzere makine ayarlarını izlemek ve ayarlamak için kullanılır.

Makine kontrolü Avrupa'da geliştirilmiştir. Üretimde kullanılan çok sayıda boyut, tür ve mukavemet sınıfları nedeniyle, üretimden alınan kereste numuneleri üzerinde kalite kontrol testleri yapmak pratik bakımdan mümkün olmamaktadır. Böylece makine kontrolü, her durumda doğru bir değerlendirme yapabilmek için, makinelerin sıkı bir şekilde değerlendirilmesine ve kontrol edilmesine ve aynı tipteki tüm makineler için sabit kalacak makine ayarlarının türetilmesi için kapsamlı araştırma çabalarına güvenmektedir. Bu sistemde, bir makine kontrol sistemi tarafından sınıflandırılan bir tür ya da tür kombinasyonlarının her bir mukavemet sınıfı için, yapı kerestelerinin temin edileceği bütün yetiştirme ortamlarını kapsayan makine ayarları türetilmelidir. Sınıflandırma makineleri, TS EN 14081-2 standardına göre belirlenen ayarları kullanmalıdır. Makine kontrolü sisteminde kullanılan makineler ve makine ayarları CEN/TC 124 komisyonu tarafından onaylanmış olmalı ve komisyonun düzenlediği "Onaylanmış Sınıflandırma Raporu" ile belgelendirilmelidir. Makine ile sınıflandırılmış yapı kerestelerinin her birinin görsel karakteristikleri (çatlaklar, çarpılmalar, sulama, çürüklük, böcek zararı vb.) TS EN 14081-1 standardında verilen asgari gereklilikleri karşılamak durumundadır.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Declaration of Interests: The author declares that there are no competing interests

Kaynaklar

As, N., [2002]. *Ahşabın Yapısal Kullanımı*, Basılmamış Ders Notları, İstanbul.

- Avlar, E., (2008). *Türkiye’de Ahşap Yapı Üretimine Yönelik Durum Tespiti. Mimarlıkta Malzeme*, (8), 71-77.
- Ching, F.D.K., Adams C., (1991). *Building Construction Illustrated*, Second Edition, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Çobanoğlu, T., (1998). *Ahşap Ev Yapı Sistemleri*, Mimar Sinan Üniversitesi, İstanbul.
- Ediz, İ., (2018). *Prefabrik Ahşap Yapı Paneli Tasarımına Yönelik Mühendislik Yazılımının Geliştirilmesi*, Gazi Üniv. Fen Bil.Ens., Doktora Tezi, Ankara.
- Kaya, G., (1997). *Yapı Üretim Sisteminde Denetim Mekanizması*, Gazi Üniv. Fen Bil. Ens. Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Kurul, F., (2019). *Türkiye’de Ahşap Yapı Endüstrisi*, İ.Ü.C. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Mcrae, P. vd., (2001). *ABD Konut İnşaat Sektörü-Sektör Profili*, Amerikan Ahşap Yapı Ürünleri Sempozyum Notları, İstanbul.
- Parlar, Y.E., (2000). *Ahşap Prefabrike Sistemler ve Uygulama Olanakları*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniv. Fen Bil. Ens., Ankara
- Toğay, A., (2002). *Ahşap yapılar, Türkiye’de Ahşap Yapı Endüstrisinin Durumu, Sorunları ve Çözüm Önerileri*, Gazi Üniv. Fen Bil.Ens., Doktora Tezi, Ankara.
- TÜİK, (2019). *Türkiye İstatistik Kurumu Biruni Sistemi*. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr>

BÖLÜM 14

AHŞAP BÜKME

Nusret AS

Ahşap Bükme

Wood Bending

BÖLÜM HAKKINDA

Masif, lamine veya lif-yonga levha malzeme, mekanik bir kuvvet uygulaması ile bükülmektedir. Düz halde üretilmiş olan Lif-yonga levhalar, lamine malzemeler sonradan bükmeye konu olabilir. Bu malzemelerin hepsine eğri form verme, 'Bükme' işlemi ile yapılmaktadır. Lamine bükmede tutkal sertleşmeden önce bükme yapılabilirdiği gibi tutkal sertleştikten sonra da bükme yapılabilir. Genelde bükme öncesi bir yumuşatma işlemi yapılmaktadır. Bükme aparatları yardımıyla, farklı bükme teknikleri kullanılarak işlem yapılmaktadır. Sonrasında set etme işlemi uygulanmaktadır.

Anahtar kelimeler: Ahşap bükme, bükme aparatları, yumuşatma, bükme teknikleri, set etme

ABOUT the CHAPTER

Solid, laminated or fiber-particleboard material is bent by the application of a mechanical force. Fiber-particleboards and laminated materials produced in flat form may be subject to bending later. Giving curved forms to all of these materials is done by the 'Bending' process. In laminate bending, bending can be done before the glue hardens, or after the glue hardens. Generally, a softening process is performed before bending. The process is carried out using different bending techniques with the help of bending apparatus. Afterwards, the setting process is applied.

Keywords: Wood bending, bending apparatus, softening, bending techniques, setting

Giriş

Tarihsel süre içinde insanoğlu kullandığı malzemeye bir şekil verme ihtiyacını hep duymuştur. Bu ihtiyaç, malzemeyi kullanım amacına daha uygun hale getirme çabalarını doğurmuş ve bu çabalar gelişen teknolojiye bağlı olarak halen de devam etmektedir. Taş, ahşap, metal vb. gibi materyallerin çeşitliliği artarken bunların beklentilere cevap verecek yapı ve şekillere sokulması işlemi de gelişme göstermiş ve bu süreç yeni malzemeler, ürünler ve prosesleri de kapsayarak günümüze kadar gelmiştir.

Ahşap, gelişen bu süreç içinde kullanım amacına uygun olarak gerek düz halde ve gerekse eğri formda üretime konu olmaktadır. Eğri formda kullanımda örneğin gemi yapımında (Omurga, Posta vb.) önceleri doğal olarak eğri halde büyümüş gövde ve dal kısımları hatta dallarla gövdenin birleştiği kısımlar kullanılırken sonraları ise şerit testere ya da frezelerle işlenerek istenilen kavislerin verildiği ahşap kullanılmıştır (BERKEL A., 1963). Günümüzde ise genelde bükme ya da kısmen başka bir form verme yöntemiyle şekil verilmiş ahşap kullanılmaktadır. Çünkü doğal eğriliğe sahip gövde ve dal kısımları reaksiyon odunu içermekte ve bu da ahşabın işlenmesi, kurutulması ve mukavemetinde sorunlara neden olmaktadır.

Bükülerek şekil verilmiş ahşabın kullanım yeri çeşitliliği artmakta ve spor aletlerinden süs eşyalarına, mobilyadan yapı elemanlarına kadar çok farklı alanlarda ahşabın değerlendirilebilmesi mümkün olmaktadır. Eğri form verilmiş ahşap, sepet, fıçı gibi depolama ve taşıma araçları, raket, hokey sopası, kayak, yay gibi spor aletleri, sandal, yat, gemi gibi deniz araçları, sandalye, koltuk, masa, dolap, çekmece, yatak gibi mobilya elemanları, kapı, pencere, kolon, kiriş gibi yapı elemanları üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca süs eşyaları, mutfak araç ve gereçleri, baston ve şemsiye gibi ürünlerin üretiminde form verilmiş ahşap değerlendirilmektedir.

Ahşaba Form Verme Yöntemleri ve Sınıflandırılması

Masif, lamine veya lif-yonga levha malzeme, mekanik bir kuvvet uygulaması ile bükülmektedir. Düz halde üretilmiş olan Lif-yonga levhalar, lamine malzemeler sonradan bükmeye konu olabilir. Bu malzemelerin hepsine eğri form verme, 'Bükme' işlemi ile



CC BY 4.0: Telif hakkı yazarlardadır. Bu kitabın içeriği Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası lisans altında lisanslanmıştır.



Nusret As

Istanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Odun Mekanik ve Teknolojisi Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye
E-posta: nusretas@iuc.edu.tr

Bu bölümü alıntıla / Cite this chapter as:
As, N. (2024). Ahşap bükme. T. Akbulut (Ed.), *Ahşap: Doğal ve yenilenebilir mühendislik malzemesi* içinde (s. 270-285) İstanbul: İÜC Üniversite Yayınevi

yapılmaktadır. Benzer şekilde laminasyon sonrası tutkal sertleşmeden de bükme yapılabilir. Bu çerçevede ahşaba form verme için genel olarak 3 ana yöntemin kullanıldığı ifade edilebilir.

- Eğri kesme
- Kertme
- Bükme

Bükülen malzemenin masif ve ahşap kökenli olmasına göre bükme, şu şekilde sınıflandırılabilir.

- Masif bükme
- Lamine bükme (Lamine kaplama-LVL, Lamine kereste-GLU-LAM)
- Ahşap levha bükme (Lamine kaplama levha, Liflevha, yonga levha, OSB vb.)

Lamine bükme, üretim sırasında, lamine kaplama levha bükme ve lif-yonga levha bükme üretim sonrasında yapılmaktadır.

Eğri Kesme

Ağaç malzemeye form vermek için masif ve ahşap kökenli malzemeye uygulanmakta olan bir yöntemdir. Ahşap, istenen şekil ve form elde edilecek şekilde ve biçimde kesilmektedir. Bu yöntem özellikle mobilya elemanlarının üretiminde çok kullanılır. Masif eğri kesmede elde edilecek şekle ve kavis derecesine bağlı olarak ahşap liflerinin diyagonal kesim miktarı artmakta, bu da direncin olumsuz yönde etkilenmesine neden olmaktadır. Bu yöntem yüksek direnç gerektirmeyen eğri formların eldesinde kullanılabilir. Eğri kesilen masif ahşap tek başına kullanılabileceği gibi lamine kaplama levhaların bükülecek kısımlarına monte edilerek eğri form eldesinde değerlendirilebilir. Kesimde kavis derecesi arttıkça zayıat oranı da artmaktadır. Direnç azalması ve zayıatın fazla olması bu yöntemin sakıncalı özellikleridir. Ancak istenen şeklin kısa zamanda az işçilikle elde edilmesini mümkün kılar.

Kertme (Çürütme)

Ahşaba bükülecek tarafa doğru istenen kavisi verecek sayıda biçilerek kertik (kanal) açma ve bükme esasına dayanır. Masif, lamine kaplama levha ve lif-yonga levhalara uygulanabilir. Açılan kertikler; masif ve lif-yonga levhalarda daha çok kalınlık (enine) yönünde iken lamine kaplama levhalarda enine ve boyuna yönde olabilir. Bükme yönüne göre konkav yüzeyden masif ahşapta kalınlığın 2/3, lif-yonga levhada kalınlığın 1/4 derinliğine kadar kertikler açılır. Lamine kaplama levhada ise konveks (dış bükey) yüzeyde 1-3 kaplama kalacak şekilde enine kanal açılabilir.

Enine (kalınlık yönünde) kanal açmadan önce elde edilecek eğri formun dış ve iç yay uzunlukları bulunur ve aradaki fark hesaplanır. Elde edilen değer, kanal açmada kullanılan testerenin dış ucu genişliğine bölünür ve böylece açılması gereken minimum kanal sayısı bulunmuş olur. Bu şekilde hesaplanan kanal sayısına 1-3 ilave edilerek açılması gerekli kanal sayısı elde edilir. Kanallar birbirine çok yakın açılacak olursa o bölgede zayıflık oluşur ve kırılma riski vardır (Taylor Z., 2001). Malzeme hangi tarafa bükülecekse o tarafta kanallar açılır. İki taraflı eğim olacaksa ahşabın her iki tarafında sadece bükülecek bölgelere kanallar açılır. Böylece ahşap, kanalların açıldığı tarafa doğru kolayca bükülebilir hale gelir (Şekil 1). Eğri formun kalıcı hale gelmesi için ahşap yüzeyi, kaplama,

ince kontrplak ya da ince MDF vb. malzemelerle tutkallanarak kaplanır ve preslenir. Tutkal sertleştikten sonra verilen şekil kalıcı hale gelir. Ayrıca açılan kanalların içine de tutkal sıkılabilir. Böylece bükme sonrası malzeme daha rijit hale gelir.

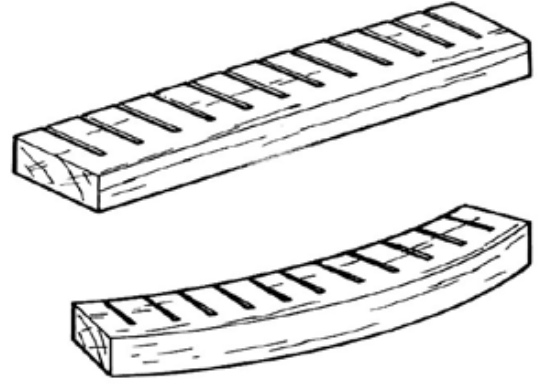
Dış yay yarıçapı (R_1) ve iç yay yarıçapı (R_2) bilinen bir bükmede açılacak kanal sayısı şu eşitlikle de bulunabilir (Hortaç, 1988).

$$\text{Kanal sayısı} = \frac{\frac{2\pi R_1}{4} - \frac{2\pi R_2}{4}}{\text{Kanal genişliği}}$$

Kanal genişliği= Testere dış ucu genişliği

Şekil 1

Kertme ile Bükme



Açıklama notu. Taylor Zachary, 2001, Wood Bender's Handbook, Sterling Publishing, New York kaynağından alınmıştır.

Bükme

Mekanik bir etki ile ahşaba belirli bir kavis ve/veya form verme işlemidir. Özellikle kullanıldığı yerde direncin önemli olması durumunda eğri kesme ya da kertme tercih edilmeyip bükme suretiyle ahşaba form verilmesi daha uygundur (As N., Şenay A., 1997). Bükme işlemi, masif ahşap, üretilmiş lamine (LVL, Kontrplak vb.) ve lif-yongalevha malzemeye uygulanabilir. Yapısal lamine keresteler, sadece laminasyon esnasında bükülebilmektedir.

Ağaç Türleri ve Minimum Bükme Yarıçapları

Bükme amaçlı olarak kullanılan türler, genelde geniş yapraklı ağaçlara aittir. Yerli ağaç cinslerinden kayın ve meşe, bükme amaçlı olarak çok kullanılmaktadır. Ayrıca dişbudak ve karaağaç ta bükmeye uygundur. Kayın, Meşe ve Dişbudak cinslerinin bükülme özellikleri arasında önemli bir fark yoktur. İyi bükülebilen (bükmeye uygun) diğer yerli ağaç cinslerine kestane, fındık, huş, akasya, akçaağaç, ceviz, gürgen, kiraz da eklenebilir. Türkiye'ye sonradan getirilen yalancı akasya da iyi bükülme özelliklerine sahiptir.

Türkiye'de yetişen önemli bazı ağaç türlerine ait minimum Bükme yarıçapları tablo 1 de verilmiştir (As, Büyüksarı, 2012).

As ve Şenay (1997), Amerikan Orman Ürünleri Laboratuvarının (Forest Products Laboratory) bükme kalitesine göre ağaç türlerini şu şekilde sıraladığı belirtmektedir. Amerikan Çitlenbiği, Beyaz Meşe, Kırmızı Meşe, Kestane, Manolya, Carya Alba, Kara Ceviz,

Tablo 1*Bazı yerli ağaç türlerinin minimum bükme yarıçapları*

Ağaç Türü	Destek Şeritsiz Minimum Bükme Yarıçapı (mm)	Destek Şeritli Minimum Bükme Yarıçapı (mm)
Meşe	373	35
Gürgen	321	35
Kayın	389	38
Sarıçam	483	400
Dişbudak	381	40
Kestane	520	180

Hickory, Kayın, Amerikan Karaağacı, Söğüt, Huş, Akasya, Dişbudak, Sığla, Yumuşak Akçaağaç, Kavak, Sert Akçaağaç, Maun, Amerikan Çınar Yapraklı Akçaağacı, Ihlamur, Kiraz ve Fındık.

Yabancı menşeli benzer ağaç türleri için literatürde verilen destek şeritli ve destek şeritsiz minimum bükme yarıçapları Tablo 2'de verilmiştir (Stevens ve Turner, 1970).

Tablo 2*Bazı ağaç türlerinin minimum bükme yarıçapları*

Ağaç Türü	Botanik Adı	Destek Şeritsiz Minimum Bükme Yarıçapı (mm)	Destek Şeritli Minimum Bükme Yarıçapı (mm)
Meşe, Amerikan White	Quercus spp.	330	13
Meşe, Avrupa	Quercus robur	330	51
Meşe, Japon	Quercus spp.	320	38
Meşe, Kırmızı	Quercus rubra	290	25
Meşe, Türkiye	Quercus cerris	280	89
Gürgen	Carpinus betulus	420	100
Kayın, Avrupa (Danimarka)	Fagus sylvatica	370	43
Kayın, Avrupa (Romanya)	Fagus sylvatica	410	41
Kayın, Avrupa	Fagus sylvatica	330	38
Çam	Pinus caribaea	710	360
Çam	Pinus nigra var. calabrica	740	860
Dişbudak, Amerikan	Fraxinus sp.	330	110
Dişbudak, Avrupa	Fraxinus excelsior	300	64
Dişbudak, Avrupa (Fransız)	Fraxinus sp.	340	51
Kestane, Sweet	Castanea sativa	380	150

Açıklama notu. Stevens W.C. and Turner N., 1970, Wood Bending Handbook, Ministry of Technology, London kaynağından uyarlanmıştır.

Bükmede Oluşan Gerilmeler

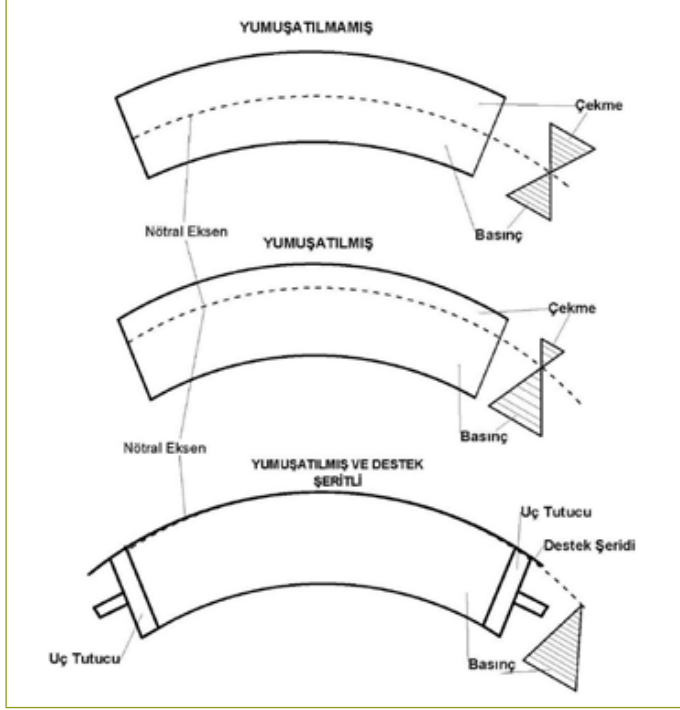
Bükme esnasında ahşapta konveks ve konkav taraflar meydana gelmektedir. Konveks kısımda çekme ve konkav kısımda ise basınç gerilmeleri söz konusu olmakta ve bu gerilmeler iç ve dış yüzeylerde maksimuma ulaşmaktadır. Ayrıca bu iki yüzeyin arasında kalan boyuna eksen üzerinde (ortaya yakın) makaslama gerilmesi oluşmaktadır. Makaslama gerilmeleri de ahşap uç kısımlarına doğru maksimuma ulaşmaktadır. Bükme yarıçapı küçüldükçe (fazla büküldükçe) oluşan bu iç gerilmeler de artma gösterir. Bükülen ahşapta konveks ve konkav kısımlar, bükmeden önce olduğu gibi aynı uzunluklarda değildir. Basınç etkisi ile konkav taraftaki hücrelerde kısalma, çekme etkisi ile konveks taraftaki hücrelerde uzama deformasyonları olmaktadır. Uygulanan bükme kuvvetlerine bağlı olarak ahşap, önce belirli bir oranda elastik özellik göstermektedir (Yük- deformasyon grafiğinde elastik bölge, I. bölge). Bu aşamada oluşan deformasyon, uygulanan kuvvetle doğru orantılı olmaktadır. Başlangıçta uygulanan bükme kuvveti nispeten düşük olmakta ve kuvvet kaldırıldığında oluşan deformasyon tamamen geri kazanılabilmektedir. Bu şekilde ahşap, ilk boyut ve şeklini tekrar almaktadır. Bükme kuvveti belli bir değeri (elastik sınır) aşacak olursa ahşapta kalıcı deformasyonlar meydana gelmeye başlamakta ve bu deformasyonun miktarı, uygulanan kuvvetin büyüklüğü ve süresi ile doğru orantılı olmaktadır. Bükme kuvveti arttırılmaya devam edecek olursa, bir süre sonra ahşap, genelde çekme gerilmelerinin olduğu konveks taraftan kırılmaktadır. Ahşabın mümkün olan en küçük bükme yarıçapına kadar bükülebilmesi, kırılma olmaksızın konkav ve konveks yüzeylerde ve ikisi arasında sırasıyla oluşan basınç, çekme ve makaslama gerilmelerinin aynı zamanda maksimum değerlere ulaşabilmesine bağlı bulunmaktadır. Ancak uygulamada üç gerilmenin aynı zamanda maksimum ulaşması genelde mümkün olamamaktadır ve kırılma, hangi gerilme önce maksimuma ulaşır o bölgeden meydana gelmektedir.

Genel olarak ahşabın bükülmesinde, elastik yük ve elastik deformasyon sınır değerleri aşılmaktadır. Doğal halde her bir ağaç türünün bükülebileceği yarıçaplar bellidir ve daha fazla bükülemez. Yumuşatma işlemi ile ahşap plastikleştirilmekte ve bükülme kabiliyeti önemli ölçüde arttırılabilmektedir. Bu şekilde basınç ve çekme taraflarındaki liflerin (hücrelerin) yük etkisi ile sırasıyla kısalma ve uzama miktarları artmaktadır. Ancak ahşabın çekme etkisi ile göstermiş olduğu uzama deformasyonu (%0,3), basınç etkisi ile göstermiş olduğu kısalma deformasyonundan (%30) çok daha azdır ve bu nedenle bükülen ahşapta kırılmalar, genelde çekme gerilmesinin olduğu konveks taraftan olmaktadır. Bu nedenle çekmeye çalışan ahşap zonunun azaltılması, basınca çalışan kısmın arttırılması, daha küçük yarıçaplara kadar bükülebilmek bakımından önem arz etmektedir. Basınca çalışan tarafta kalan ahşap, kırılma olmaksızın daha fazla kısalma gösterebilmekte ve bu nedenle daha küçük yarıçaplara kadar bükülebilmektedir. Bükülen ahşapta, orta eksen boyunca (nötr eksen) makaslama, yükleme yönüne bağlı olarak basınç ve çekme gerilmeleri meydana gelir. Yükleme arttıkça (ahşap büküldükçe) nötr eksen çok az miktarda çekme tarafına doğru kayar ama çekmeye ve basınca çalışan odun zonu miktarı birbirine yakındır. Bu durumda bükmeye devam edilecek olursa basınç ve çekme taraflarında kalan

ahşap zonu miktarı arasında fazla bir fark olmadığından kırılma riski yükselir. Bükülen ahşabın kalınlığı arttıkça gerilmeler daha da artacağından kırılma riski daha fazla olur. Ancak ahşaba bükmeden önce bir yumuşatma işlemi uygulanacak olursa, nötral eksen bükülen ahşapta çekme gerilmelerinin olduğu konveks yüzeye doğru çok daha fazla kayma göstermekte ve böylece çekmeye çalışan ahşap zonu miktarı azalırken basınca çalışan miktar artmaktadır (şekil 2).

Şekil 2

Farklı uygulamalarda nötral eksenin değişimi



Bükme Sınıf Değerleri

Ahşabın bükülme kabiliyetini, sahip olduğu ve yukarıda açıklanan kriterlere göre elde edilmiş minimum bükme yarıçaplarına göre sınıflandırmak mümkündür. Bükme sınıf değerleri tablo 3 de, literatürdeki değerler (FPRL, 1969) sadeleştirilerek verilmiştir.

Tablo 3

Masif Ağaç Malzemenin Bükme Sınıf Değerleri

Bükme Yarıçapı [cm]	Bükme Sınıf Değeri
<15	Çok İyi
15-25	İyi
25-50	Orta
50-75	Kötü
75>	Çok Kötü

Açıklama notu. Forest Products Research Laboratory (FPRL), 1969, The steam bending properties of various timber. Technical note. 11, Princes Risborough, 16 p.

Bükme Aparatları

Ana bükme aparatları aşağıda açıklanmıştır.

Destek Şeridi. Bükülen ahşabın her zaman dış bükey yüzeyine temas eden alettir. Michael Thonet (1796-1871) tarafından bulunmuş destek şeritleri, yumuşak, esnek ve paslanmaz çelikten yapılır. Genelde su çeliği kullanılmaktadır (Resim 1). Sert ve kırılma riski yüksek bir çelik, bükme işlemini yapan operatör için tehlikelidir. Ani kırılma ile yaralanmalara neden olabilir. Yüksek çekme direncine sahip çelik kullanılır. Bükme yönüne göre daima ahşabın konveks (dış bükey) yüzeyine uygulanır. Şerit boyutları bükülen ahşap malzeme boyutlarına göre değişir. Şerit genişliği bükülen ahşap genişliğinden biraz fazla olmalı ve tüm ahşap yüzeyine temas etmelidir. Aksi takdirde ahşabın kırılma riski artar. Benzer şekilde şerit boyu da ahşap boyundan fazla olmalıdır. Şerit kalınlığı ise ahşap kalınlığına göre 0,2-2,5 mm arasında değişir. Ahşap kalınlığı arttıkça bükmede çeliğe uygulanan yük arttığı için daha kalın şerit kullanılması gerekir. Örneğin kalınlığı 40 mm olan ağaç malzeme için 1,2 mm, 40 mm ve daha kalın malzeme için ise en az 2 mm kalınlığında şerit kullanılır. Meşe, kestane veya diğer tanen oranı yüksek ahşaplar bükülecekse, o anda sıcak ve nispeten rutubetli olan ahşabın metal şerit ile temasından dolayı lekelenmeler olabilir. Bunu önlemek için şeridin ahşapla temas eden yüzeyi ince bir alüminyum veya başka bir uygun malzeme ile kaplanmalıdır. Lekelenmeyi önleyen bu kaplama malzemesi, çelik şerit ile birlikte kolayca bükülebilmeli ve kırılıp dökülmemelidir.

Resim 1

Destek şeritleri



Uç Tutucular. Genelde metal malzemeden yapılan uç tutucular sabit ya da ayarlanabilir özellikte olabilir. Bükülen ahşabın her iki uçtan tüm en kesit yüzeyine bükme öncesi tam olarak temas ettirilirler. Aksi takdirde ahşabın kırılma riski artar. Çelik şeritler uç tutuculara vida-somun ile tespit edilir. Bu durumda farklı boy, kalınlık ve genişlikteki şeritler uç tutuculara tespit edilerek kullanılabilirler. Bazen şeritler, pençe ile uç tutucuya sabitlenir. O zaman uç tutucu sadece belli boy ve genişlikteki o şerit ile kullanılabilir. Her şerit için genelde iki uç tutucu kullanılır. Ancak bir ucu bir desteğe dayandırılmış ahşap, tek uç tutucu ile bükülebilir. Sabit uç tutucular kullanılması durumunda, bükülecek ahşabın tam olarak boyutlandırılması gerekir. Sabit uç tutucu ile ahşap uç kesiti arasında az da olsa kalabilecek boşluğun mutlaka küçük metal plakalarla doldurulması gerekir. Bükmenin başarısı için bu işlem

Resim 2

Ayarlanabilir uç tutucu (Foto. Murat Bıyıklı)



gereklidir. Ayarlanabilir uç tutucular (Resim 2), bu boşlukların kapatılmasını mümkün kıldığından daha avantajlıdır.

Bükme Kalıbı. Bükme işleminin üzerinde yapıldığı aparatır. Bükülen ahşabın her zaman konkav (iç bükü) yüzüne temas eder. Bükmenin yarıçapını belirlediği gibi bükülen parçanın formunu da belirler. Bükülen ahşaba verilmek istenen form ya da bükme yarıçapına uygun kalıplar kullanılır (Resim 3). Yarım daire şeklinde ve farklı yarıçaplarda, farklı formlarda olabilir. Kalıplar metal ya da ahşap malzeme ile üretilebilir. Ahşap olması durumunda sürekli kullanım nedeniyle yüzeysel aşınmalar ve uygulanan bükme baskılarından dolayı kırılmalar meydana gelebilir. Bu nedenle ahşap kalıpların mukavemetinin yüksek olması ve aşınma direncini arttırmak için eğri olan yüzeyinin metal plaka ile kaplı olması arzu edilir. Yüzeyi metal kaplı ahşap kalıplar ile metal kalıpların, bükme esnasında ahşap ile temas eden yüzeylerde renklenmenin önüne geçmek için alüminyum veya başka uygun bir malzeme ile kaplanması gerekir. Bu amaçla genelde kalıp yüzeyleri 0,56 mm kalınlığında alüminyum tabaka ile kaplanır.

Resim 3

Ahşap bükme kalıbı (Foto. Murat Bıyıklı)



Bükme Masası. Bükme işleminin diğer bükme aparatları ile birlikte üzerinde gerçekleştirildiği masadır. Ahşap masalar kullanılabildiği gibi metal (demir, çelik) masalarda kullanılmaktadır. Üzerinde kalıbın sabitlenebilmesi için uzun cıvataların geçtiği delikler

vardır. Farklı büyüklüklerde olabilir. Bükme esnasında uygulanan kuvvetlerden dolayı hareket etmemesi için zemine sabitlenmesi iyi olur. Bükme kalıplarının yanı sıra pnömatik ya da hidrolik basınç silindirlere de masa üstüne sabitlenmektedir. Bükme operatörüne çalışma kolaylığı sağlayacak yüksekliktedir.

Bükme Öncesi İşlemler

Bükülecek masif ahşap, biçilmek suretiyle hazırlanmaktadır. Bu aşamada diyagonal lifliliğe neden olmamak için ahşap, liflere paralel olacak şekilde biçilmelidir.

Yarma suretiyle ahşabın kabaca belli boyutlara getirilmesi ve sonra yüzeylerinin düzeltilmesi suretiyle bükme işlemine hazırlanması daha doğru olur. Böylece ahşapta lif kıvrıklığı yoksa, biçme hatasından kaynaklanan lif sapmasının önüne geçilmiş olur. Yarma işlemi, ahşap uçlarından itibaren diğer uca doğru çekme suretiyle veya kalın bir kama ile yapılabilir. Bir diğer yöntem de nispeten ince çaplı malzemede, ahşap uç orta kısmından belli bir derinliğe kadar boyuna yönde kertik açılır. Sonra bu kısımdan itibaren kertik düzlemine dik yönde eğme kuvveti uygulayarak ahşap içinde oluşan makaslama gerilmesi düzlemi ile kertik düzlemi çakıştırılmaya çalışılır. Böylece kertikten itibaren ahşap, makaslama düzlemi boyunca lif doğrultusunda ayrılmaya başlar. Eğme kuvveti, yarılmayı takip eden kısımlardan her defasında uygulanmaya devam edilir ve ahşap diğer uca kadar bu şekilde yarılarak ayrılır. Böylece lif doğrultusunda yarılarak ayrılmış ahşap elde edilir. Bu işlem, istenen en kesit ölçülerine sahip, istenen sayıda ahşap parçaları elde edilene kadar uygulanabilir. Yüzeyler düzeltilir. Sonraki işlem bükme olabilir. Ya da genelde olduğu gibi yumuşatma (plastikleştirme) işlemine geçilir.

Yumuşatma, ahşabın mekanik etkilere karşı mukavemetini azaltan, elastiklik modülü değerini düşüren, plastikliğini arttıran bir işlem olup özellikle sert, bükmede güç gerektiren ve daha küçük yarıçaplara kadar bükülmesi planlanan ahşap için gereklidir. Aynı zamanda bükme sonrası bekleme esnasında kusur oluşumunu ve muhtemel kırılmaları önlemek için de uygulanan bir işlemdir. Ahşabın bükme kabiliyetini artırır ve kolay bükülmesini sağlar. Ahşapta yük- deformasyon grafiğindeki II. Bölge uzunluğu, yumuşatma ile önemli ölçüde artar. Dolayısı ile ahşap, aynı zamanda daha küçük yarıçaplara kadar bükülebilir hale gelir.

Yumuşatma işlemi esnasında esas olarak ahşaba ısı verilerek sıcaklığı yükseltmekte olup ayrıca bir miktar rutubet verilmesi de söz konusudur. Ancak çok kuru olan ahşabın ısı iletkenliği de daha düşük olacağından sıcaklığı yeterince arttırılamayabilir ve rutubeti de ideal değerler olan %25-30 arasına gelmeyebilir. Dolayısı ile rutubeti bükme için istenen değerlerde olan ahşapta yumuşatma işleminin yapılması önem arz eder. Sıcaklık ve nem, ahşabın plastiklik özelliğini normal sıcaklıktaki kuru ahşaba göre yaklaşık 10 kat artırır (Peck 1957). Ahşabın bükmeye uygun hale getirilmesi için yapılan yumuşatmada birinci derece önemli olan faktör sıcaklığın arttırılmasıdır. Yumuşatma ile, ahşabın eğilmede elastiklik modülünün azaltılması ve böylece daha fazla deforme olması sağlanarak kırılmadan bükülebilmesi amaçlanmaktadır. Sonuç olarak yaş ahşap kuru ahşaba göre, sıcak ahşap soğuk ahşaba göre daha iyi bükülebilmektedir. Rutubet ve sıcaklık artışları, ayrı ayrı ya da birlikte, ahşabın eğilmede elastiklik modülü değerini düşürmektedir. Yumuşatma, ahşabın tümüne ya da bükülecek

kısmına uygulanabilir.

Ahşabı az ya da fazla yumuşatma bükme başarısını düşürmektedir. Hatta aşırı yumuşatılmış ahşapta bükme başarısı az yumuşatılmış olana göre daha düşük olabilir. Ayrıca aşırı yumuşatma maliyetleri de arttırmaktadır. Ahşap, farklı yöntemlerle bükme öncesinde yumuşatılmaktadır. Bu yumuşatma yöntemleri aşağıda açıklanmıştır.

Buharlama. Kapalı bir ortamda doymuş su buharı ile ahşabın muamele edilmesi işlemidir. Bükme için plastikleştirme amacı dışında ahşapta renk yeknesaklığını sağlamak, sterilize etmek, iç gerilmeleri azaltmak, stabiliteyi attırmak için de uygulanabilir. Kapalı bir ortam olarak oda, mahzen, fırın, dolap, kazan, kutu vb. kullanılabilir. Çeşitli atmosferik buhar basınçları seçilebilir. Resim 4 'de bir buharlama silindiri ve jeneratörü gösterilmiştir. Buharlama öncesi ahşap rutubetinin %25-30 civarında olması arzu edilir. Malzemenin başlangıç rutubeti %13 den az, %30 dan fazla olmamalıdır. Çok kuru ve/veya yaş olmasının bazı sakıncaları vardır.

Buharlama çok kuru ahşap kullanılması durumunda, ısının iç kısımlara transferi güç olacak ve ahşapta rutubet yüzeysel olarak bir miktar artsa dahi istenen değerlere gelme ihtimali düşük olacaktır. Çok yaş malzeme kullanılması durumunda, buharlama esnasında ahşapta bir miktar kuruma meydana gelecek, ancak istenen değerlere düşme ihtimali düşük olacaktır.

Bükme amaçlı yapılan buharlama esnasında genelde bağıl nemin % 100 ün altına düşmemesi ve sıcaklığın da 100°C'yi çok fazla geçmemesi istenir. Bükmedeki başarı sayısı, düşük doymuş buhar basıncı (0.2-0.5 atm.) ve 102-105 °C sıcaklıklarda buharlama ile en yüksek bulunmuştur. LDN rutubette 70-80° C sıcaklıklarda da yüksek bükme başarısı elde edilmiştir (Vlasov et al 1968).

Resim 4

Buharlama silindiri ve jeneratörü



Basıncın 2 atm. ve daha yüksek olması risklidir. Yüksek basıncın bükme başarısına olumlu etkisi de yoktur.

Ahşabın bükülme özellikleri, buharlamada yüksek basınçlı buhar kullanımıyla iyileşmemektedir. Yüksek basınçlı buhar kullanımının riski yüksektir.

Buharlama süresi, istenen plastikleşmenin sağlanması için uygun seçilmelidir. Uzun ve kısa süre ile buharlama, bükmede başarıyı olumsuz olarak etkileyecektir. Stevens ve Turner (1970)'e göre buharlama süresi, her bir mm kalınlık için 1,8 dakika olarak seçilebilir. %25-30 rutubet aralığındaki ahşapta 1mm kalınlık için buharlama süresi olarak 1,8 ya da 2 dakika kullanılabilir. Bükmede buharlama süreleri, uygulamacılar arasında değişiklik göstermesine rağmen en yaygın olarak yaş malzemede her inç (25,4mm) kalınlık için 30 dakika ve kuru ağaç malzeme için her inç kalınlık için 60 dakikadır (Peck, 1957; Wangaard, 1952). Lemoine ve Koch (1971), 1 inç kalınlığındaki masif ağaç malzemeyi bükmek için 20 dakika buharlamanın yeterli olduğunu belirtmektedir.

Yeterli süre buharlanmayan ahşap, istenen bükme yarıçapına kadar başarılı bir şekilde bükülemeyecektir. Buharlama süresinin gerekenden fazla olması, bükülme özelliklerini iyileştirmemektedir.

Buharlama süresi üzerine etkili olan faktörler, ağaç türü, ahşabın enine kesiti, başlangıç nemi, sıcaklık, buhar basıncı olarak ifade edilmektedir (Hortaç H.,K.,1988).

Buharlama ile bükme arasında geçen zaman önemlidir. Soğuyan malzemenin bükülme özelliği azalmaktadır. Bu nedenle buharlamadan sonra ahşap kısa süre içinde bükülmelidir. Stevens and Turner (1970) e göre 40x40 mm en kesit boyutlarındaki malzeme için bu süre 10-15 sn, 80x80 mm kesitteki ahşap için 20-30 sn. dir.

Diğer Yumuşatma Yöntemleri. Bu yöntemler şu şekilde sıralanabilir.

- Kuru ateşe tutma
- Sıcak suda bekletme
- Sıcak ıslak kumda bekletme
- Radyo-frekans ile ısıtma
- Kimyasal işlemler

Örneğin fıçı tahtaları kuru ateşe tutularak, baston ve şemsiye sapları sıcak ıslak kumda ya da suda bekletilerek yumuşatılabilir.

Kalın ahşap malzemenin yumuşatılmasında radyo-frekans (Yüksek frekans) kullanımı zamandan büyük tasarruf sağlar. Ahşap rutubeti %14 den fazla olması durumunda radyo frekans elektrik alanında ahşap sıcaklığı kısa sürede 100 ° C derecenin üzerine çıkar ve ahşapta yumuşama sağlanır. Bu esnada ahşapta kuruma da meydana gelir. Kuruma içten dışa doğru olur ve ahşabın iç ve dış kısımlarındaki rutubet farkı çok azdır. Sanding (1968), enine kesit ölçüleri 65x30 cm olan, rutubetleri %15- 35 arasında değişen ağaç malzemelerin 0,2-0,3 W/cm³ enerji yoğunluğunda, 27,12 MHz frekansta, 70-100 °C sıcaklığa 5 dakikada ulaşılabilirdiğini ifade etmektedir.

Kimyasal işlem ile yumuşatma işleminde ahşap, doymun haldeki üre çözeltisinde bekletilmekte ve daha sonra 100°C sıcaklıkta bir fırında ısıtılmaktadır. Bu şekilde işlem görmüş ahşap bükülebilir hale gelmektedir. FPL (Forest Products Laboratory) de yapılan testler sonucunda, kimyasal maddelerle muamele edilerek yumuşatılmış (plastikleştirilmiş) ahşap bükme özelliklerinin, buharlanarak yumuşatılmış ahşap bükme özelliklerinden farklı olmadığı belirlenmiştir. Ancak bükülen bu ahşap, rutubeti yüksek bir yerde kullanılacak olursa, bünyesine hızla rutubet almakta ve

çalışarak geriye esnemeler meydana gelmektedir. Üre ahşabın rengini soldurmakta ve daha higroskopik olmasına neden olmak-tadır (Peck, 1957). Diğer bir kimyasal yöntemde ahşap, -33 °C deki anhidrid amonyak sıvısı içersine daldırılmakta ve yumuşatılmaktadır. Birkaç dakika süreyle soğuk amonyak sıvısı içersin-de tutulan ahşap, bükülebilir hale gelmektedir. İçindeki amonyak buharlaşır buharlaşmaz ahşap hemen sertleşmektedir (Stevens ve Turner, 1970). Ahşabın sertleşmesi set olması anlamına gel-mektedir.

Bükme

Masif bükme, ekonomik olup bükülen ahşabın mukavemet de-ğerleri daha yüksektir. Ahşap, farklı bükme teknikleri ile bükü-lebilir. Bükme işlemi, insan gücü ya da makine gücü yardımı ile yapılabilir. Bükme öncesi ahşap, soğuk ya da sıcak halde bulunabilir. Yumuşatılmış ya da yumuşatılmamış olabilir. Ayrıca bükme esnasında destek şerit ve uç tutucu gibi bükme aparatla-rı kullanılabilir ya da kullanılmayabilir. Hepsinin farklı avantaj ve dezavantajları vardır. Bükmede başarı için en önemli kriter, kali-teli, düzgün lifli ve kusursuz ahşap kullanımıdır. Ağaç malzemede budak, çatlak, lif kıvrıklığı, iç kabuk, çürük vb. kusurlardan kaçın-mak gerekir. Ayrıca genç odun, reaksiyon odunu içeren ahşapta, bükme öncesi, esnası ve sonrası önemli sorunlar yaşanır. Açıkla-nan bu nedenlerden dolayı bükme için ahşap rutubetinin LDN ci-varı olması idealdir. Fazla olması durumunda kurutma, az olması durumunda su içine daldırma ya da su püskürtme ile ahşabın ru-tubetlendirilmesi ve rutubet miktarının mümkün olduğunca LDN civarına getirilmesi, bükmede başarı şansını arttıracaktır. Genel olarak bükülecek ağaç malzeme rutubetinin % 25-30 rutubet de-ğerleri arasında bulunması yeterlidir (Stevens, Turner 1970).

Ahşabın kalınlığına (S) bağlı olarak bükülebildiği bir yarıçap (R) vardır. Mevcut durumunda ahşap kalınlığının belli bir katına ka-dar bükülebilmektedir. Bükme yarıçapının (Radyus) ahşap kalınlığına bölünmesi ile bulunan bu değer ağaç türüne, rutubetine, sıcaklığına, bükülme kabiliyetine, kusur durumuna, yumuşatma tekniğine, bükme tekniğine, uç tutucu ve destek şeridi kullanılıp kullanılmadığına göre değişir. Örneğin yumuşatılmış, uç tutucu ve destek şeridi kullanılmamış ahşapta $R/S = 30$ civarındadır.

Düzgün ve kusuru bulunmayan birçok ağaç türü, kuru ve yumuşatılmamış halde kalınlığının 120 katı, LDN civarı rutubette ve yumuşatılmamış halde kalınlığının 60 katı bükme yarıçapına kadar bükülebilmektedir. Sıcak su ve ya su buharı ile yumuşatma sonucu bu değer genelde 30 civarına düşmektedir. İyi bükülebilen ağaç malzeme 15 in altına dahi inebilmektedir. Uç tutucu ve des-tek şeridi kullanımı ile bu oran ahşabın bükülme özelliğine bağlı olarak 5 hatta daha aşağıya düşebilmektedir. Örneğin 20 mm ka-lınlıktaki ahşap 100 mm yarıçapa kadar bükülebiliyorsa bu oran $20/100=1/5$ olur.

Isıtılarak yumuşatılmış ahşap, soğuk hale göre daha küçük yarı-çaplara kadar başarılı bir şekilde bükülebilmektedir. Yumuşatılmış ahşap, destek şeridi ve uç tutucu kullanılırsa daha küçük, hepsi ile birlikte kalıp ta kullanılırsa çok daha küçük bükme yarıçapla-rına kadar bükülebilir. Destek şeridi ve uç tutucu genelde birlikte kullanılmaktadır. Yumuşatmada ahşabın sıcaklığı arttığı gibi rutu-beti de bir miktar artabilir. Isıtma rutubete göre daha önemlidir ve sadece ısıtma ile ahşap soğuk haline göre daha küçük çaplara

bükülebilmektedir. Rutubet te belli bir değere kadar olumlu etki göstermektedir. Sadece bu faktörler bile R/S oranını düşürmek-tedir.

Bir ağaç türünde soğuk halde (yumuşatmadan) ve bükme aparatı kullanmadan ulaşılabilecek bükme yarıçapı bellidir ve daha bü-yüktür. Diğer bir ifade ile ahşap daha az bükülebilir. Ancak fazla bükmenin istenmediği kullanım yerleri için soğuk halde bükme uygundur. Bükme sonrası ahşap tespit edilerek formunu muhafa-za etmesi sağlanır. Zamanla ahşapta oluşan iç gerilmeler azalır ve ortadan kalkar. Böylece verilen form kalıcı hale gelir.

Elle Bükme. Elle bükme, az da olsa iki destek arasında yapılabil-diği gibi genelde bazı basit bükme aparatları kullanılarak yapı-lmaktadır. Bükmede kullanılan ana aparatlar (Bükme aparatları) destek şeridi, uç tutucu, bükme masası ve kalıptır. Ayrıca büküle-cek ahşap malzemeyi kalıp ve destek şeridi üzerinde sabitleyecek kıskacı, sıkıştırma aparatı (mengene vb.) ile bükülen malzemeyi set etme için birbirine bağlayacak ip, tel, zincir gibi yardımcı aparatlar da kullanılır.

Makine ile Bükme. Makine ile bükmede de şerit, uç tutucu, kalıp gibi bükme aparatları bükme makinesine monte edilmiştir. Bük-me kuvveti makine tarafından uygulanmaktadır. Bükmede uygu-lanan prensipler aynıdır. Bükmede basit makineler kullanıldığı gibi daha çok gelişmiş makineler kullanılmaktadır.

Makine ile bükmede de destek şeridi, uç tutucu ve bükme ka-lıbı kullanılmaktadır. Uç tutucular arasında şerit üzerine konulan ahşabın bükülmesinde ya kalıp ahşaba doğru ya da ahşap kalı-ba doğru hareket eder. Her iki hareket sonucunda da ahşap, kalıp üzerinde bükülür (Resim 5). Pnömatik makineler olduğu gibi ge-nelde hidrolik olarak çalışan makineler kullanılmaktadır.

Resim 5

Kalıp Baskı Bükme Makinasında ahşap bükme



Bükme Yönleri

Ahşap, liflerinin uzanış ve bükme yönü dikkate alınarak liflere pa-ralel (boyuna) ve liflere dik (enine) yönlerde bükülebilir.

Enine Bükme. Ağaç malzemede liflere dik yönde yapılan bükme-dir. Bu şekilde ahşap, daha kolay bir şekilde bükülebilmektedir. Enine yönde bükmede, boyuna bükmeye nazaran daha az güç sar-fiyatı söz konusu olurken ahşapta özellikle konveks tarafta kırılma, çatlama ve yarılma riskleri daha fazladır. Enine bükmede konveks

tarafı liflere dik yönde çekme, konkav tarafı liflere dik basınç gerilmeleri meydana gelir. Özellikle liflere dik çekme gerilmelerinin oluştuğu konveks tarafı yarılmaya, çatlamaya riski yüksektir. Çünkü ahşabın enine (liflere dik) yöndeki direnç değerleri, boyuna (liflere paralel) yöndeki değerlerinden genelde daha düşüktür. Diğer bir ifade ile liflere dik çekme ve basınç direnç değerleri liflere paralel çekme ve basınç direnç değerlerinden oldukça düşüktür. Bu nedenle enine bükme kolaydır ancak kırılma riski yüksektir. Boyuna bükmeye göre ahşap daha düşük bükülme özelliklerine sahiptir. Eğer küçük yarıçaplı bir bükme yapılacaksa konveks yüzeyin muhakkak desteklenmesi gerekir. Ayrıca bükme esnasında uygulanan ısıtma işlemi de enine bükmeyi kolaylaştırır. Bunun için buhar ile içten ısıtılan boru ya da silindirik şeklindeki kalıplar kullanılır. Bükülecek ahşabın bir kenarı sıkıştırma aparatı (mengene) ile kalıba sıkıştırılır ve sonra kalıp üzerine sarmak suretiyle ağaç malzeme bükülür. Buharlanmış ahşap, kalıp yüzeyindeki sıcaklığın da etkisiyle daha kolay bükülmektedir. Bükmeden sonra konveks yüzeyden destek için sağlam kumaş veya çadır bezi kullanılır ve ahşap dış yüzüne sıkıca sarılır (Stevens ve Turner, 1970). Malzeme bu şekilde bekletilerek set edilir.

Boyuna Bükme. Ahşap, genelde boyuna yönde bükülmektedir. Bükme yönü ahşabın liflerine paraleldir. Bükme için harcanan güç enine bükmeye göre daha fazladır. Boyuna bükmede konveks tarafı liflere paralel çekme, konkav tarafı liflere paralel basınç gerilmeleri oluşmaktadır. Enine bükmeye göre kırılma riski daha düşüktür. Aşağıda açıklanan bükme teknik ve şekilleri genelde boyuna yönde yapılan bükmelerdir.

Bükme Teknikleri

Ahşap, kalınlığına ve bükme amacına bağlı olarak farklı destekler veya kalıplar kullanılarak bükülebilmektedir.

Destekler Arası Bükme. Daha çok hobi amaçlı, küçük ölçekli bükmelerde kullanılan bir tekniktir. Genelde ince malzeme kullanılır. Bükme için uygulanan pratik bir yöntemdir. İki ya da daha çok destek kullanılarak bükme yapılır. Destek araları değiştirilebilir. Bu desteklere dayandırılan ahşap bükülerek diğer desteklere sabitlenir. Ahşaba buhar, ütü veya sıcak hava uygulaması ile ısı

verilerek şekil kalıcı hale getirilir. Ya da bu şekilde bükülen ahşap, iç gerilmeler ortadan kalkana kadar bekletilir. Küçük boyutlu ve ince ahşap için kolayca uygulanabilecek bir yöntemdir.

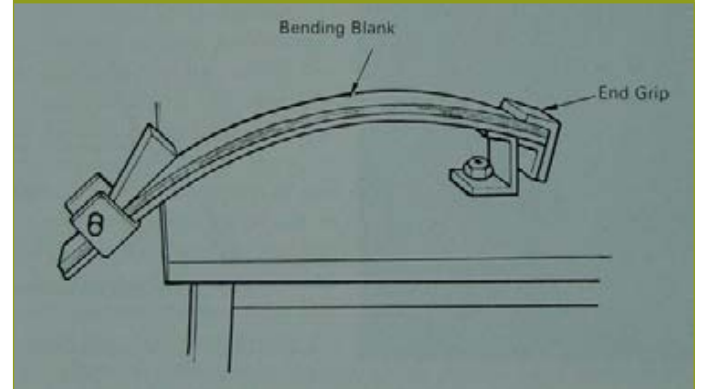
Kalıp Arası Bükme. Ahşabın bükülmesinde erkek ve dişi kalıplar (Şekil 3) kullanılır. Az bükmelerde ahşap soğuk halde olabildiği gibi, nispeten fazla bükmelerde genelde yumuşatılmış (sıcak) ahşap kullanılır. İki kalıp arasında sıkıştırma tekniği, genelde destek şeridi ve uç tutucu kullanılmadan tam boyutlu ya da kısmen ahşabın bükülmesinde kullanılan bir tekniktir. Ancak destek şeridi ve uç tutucu da kullanılabilir. Ahşabın tümü ya da belli bir kısmı bükülebilir. Ahşap istenen forma sahip iki kalıp arasına konularak sıkıştırılır ve bu şekilde set olana kadar bekletilir. Ahşabın kalıba temas eden yüzeyleri kapalı olduğundan kurumaya geç olur ve set etme süresi uzar.

Kalıp Üzeri Bükme

Ahşabın kalıp üzerine konulup şeritli ya da şeritsiz (Şekil 4) halde kalıba doğru bastırılması ve uç kısmından kalıba ya da bir birine sabitlenmesi ile yapılan bükmedir. Az bükmelerde ahşap, soğuk halde olabildiği gibi, nispeten fazla bükmelerde genelde yumuşatılmış (sıcak) ahşap kullanılır. Çelik şerit ve uç tutucu kullanılarak ya da kullanılmadan yapılabilen bir bükmedir. Malzeme kalıp üzerinde, uç tutucu ve şerit ile ya da sadece uçlardan bağlı halde set edilebilir. Örneğin baston ve şemsiye saplarının U şeklinde bükülmüş uçları ip, tel, zincir vb. ile birbirine bağlanarak set etme yapılabilir.

Şekil 4

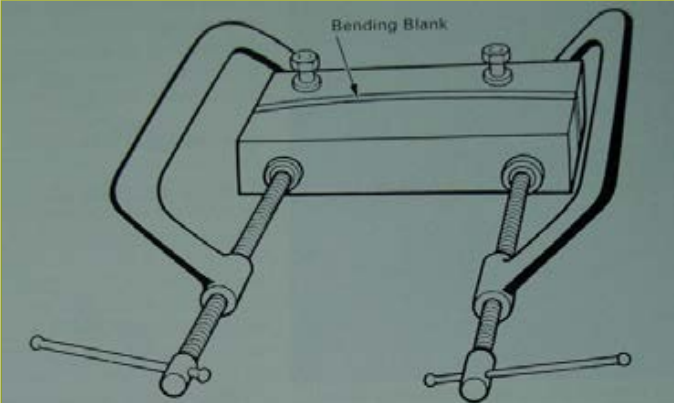
Kalıp üzerinde bükme



Açıklama notu. Stevens W.C. and Turner N., 1970, Wood Bending Handbook, Ministry of Technology, London kaynağından uyarlanmıştır.

Şekil 3

Erkek ve dişi kalıplar arasında bükme



Açıklama notu. Stevens W.C. and Turner N., 1970, Wood Bending Handbook, Ministry of Technology, London kaynağından uyarlanmıştır.

Daha ince ve geniş yüzeyli ahşap malzemenin destek şeridi ve uç tutucu kullanılmadan sıcak halde bükme işlemi, silindirik ya da disk şeklindeki kalıp üzerinde yapılabilir. Malzeme ucundan tutturularak eğri kalıp yüzeyine sarılmak suretiyle bükülebilir. Kalıp üzerinde bekletilerek, tespit edilerek veya bağlanarak set edilir. İnce ve geniş yüzeyli ahşap malzeme bir tarafı açık olduğu için set etme esnasında daha hızlı kurur ve soğur, böylece verilen şekil kalıcı hale gelir.

Destek şeridi ve uç tutucu kullanarak sıcak halde bükme ile daha küçük yarıçaplara kadar ahşap bükülebilmektedir. Destek şeridi daima dış bükey (konveks) yüzeyde kullanılmaktadır ve tüm yüzeye temas etmektedir. Destek (çelik) şeridin kullanılma amacı,

bükme esnasında maksimum çekme gerilmelerinin meydana geldiği dış bükey yüzeye baskı uygulayarak çekmeye çalışan ahşap zonunun miktarını azaltmak, mümkün olduğunca sıfırlamaktır. Böylece çekme tarafından ahşabın kırılmasını engelleyerek ahşabın daha küçük yarıçaplara kadar bükülebilmesini sağlamaktır. Uç tutucular ise ahşap malzemenin en kesitlerinin tüm yüzeyine temas ettirilen aparatlardır. Genelde metal uç tutucular kullanılır. Ahşap en kesitlerinden bükme esnasında baskı uygulayarak en kesitleri bükme öncesi formunda tutar. Uç tutucular genelde destek şeridine monte edilir ve birlikte kullanılır. Bükülen ahşabın iç bükey (konkav) tarafında meydana gelen basınç gerilmeleri etkisi ile liflerde sıkışma meydana gelir. Ahşabın uç kısımları serbest bırakılırsa bu sıkışmanın etkisi ile en kesitlerin basınç tarafında çıkıntı oluşur. Çekme gerilmelerinin oluştuğu tarafta ise boyuna yönde uzama şeklindeki deformasyonları oluşur. Uç tutucular basınç tarafındaki bu çıkıntılarının oluşmasını engeller ve aynı zamanda çekme tarafında oluşan çekme gerilmelerinin de azaltılmasına yardımcı olur. Konveks taraftaki uzamanın kesinlikle parçanın toplam uzunluğun ortalama % 0,3'nü aşmayacak şekilde olmasına dikkat edilmelidir. Ahşabın çekme tarafındaki bu uzamayı kontrol etmek için uç tutucular ahşap en kesitine, destek şeridi konveks yüzeye baskı uygulamalıdır. Bunun için ayarlanabilir uç tutucuların kullanılması avantaj sağlayacaktır. Ahşabın bükme esnasında şerit, uç tutucu ve kalıptan kayarak çıkmaması esastır. Aksi takdirde bükme, başarısız olacağı gibi operatörün yaralanması söz konusu olabilir. Gerektiğinde yatay- dikey kısaç (mandal) gibi yardımcı aparatlar kullanılmalıdır.

Bükme Şekilleri

Ahşap, farklı şekil ve çaplarda bükülebilir. İyi bükülebilen ahşapların bile ağaç türüne, kusur durumuna, yumuşatma işlemine ve bükme aparatları kullanılıp kullanılmamasına vb. bağlı olarak bükülebileceği (min. Bükme yarıçapı) yarıçap bellidir. Yapılacak bükmeler, bu limit ile sınırlıdır. Bükme, tek köşeli, iki köşeli ve çok köşeli olabilir. Bükülen ahşabın bükme köşeleri aynı bükme yarıçapında olabileceği gibi farklı bükme yarıçaplarına sahip olabilirler. Aynı yönlerde olabildiği gibi farklı yönlerde de bükme yapılabilir. Bazı bükmeler aynı düzlemde yapılıp diğerleri farklı düzlemlerde olabilir. Aynı düzlemde yapılan bükmelere 'iki boyutlu', farklı düzlemlerde yapılan bükmelere 'üç boyutlu bükme' denilir. Farklı şekillerde bükme yapılabilir. Tek kalıp kullanılabildiği gibi iki ya da daha çok kalıp, aynı malzemenin bükülmesi için kullanılabilir. Bükme ile hangi şekil elde edilmek istenirse edilsin burada dikkat edilmesi gereken ana kriter, destek şeridinin daima ahşabın çekme gerilmelerinin oluştuğu dış bükey (konveks) yüzeyde, bükme kalıbının basınç gerilmelerinin meydana geldiği iç bükey (konkav) yüzeyde kullanılmasıdır. Farklı yönlerde ve düzlemlerde bükülürken uç tutucuya tespit edilmiş bulunan destek şeridi ahşabın dış bükey yüzeyine, bükme kalıbı iç bükey yüzeyine temas ettirilmelidir. Daha önce belirtildiği gibi bükmede sınırlayıcı faktör, ahşabın sahip olduğu minimum bükme yarıçapı değeridir.

Aynı Düzlemde (İki Boyutlu) Yapılan Bükmeler. Burada yapılan bükmeler iki boyutludur. Tek, iki veya çok köşeli olabilir. Kalıp üzerinde ve/veya kalıplar arasında yapılabilir.

Tek Köşeli Bükme. Bir bükme kalıbı ile tek düzlemde ve aynı yönde yapılan bükmelerdir. Tek konveks ve tek konkav yüzey vardır. Bükme ile ahşaba U, V, L ve O gibi şekiller verilebilir. Bu bükme

şekilleri tek bir bükme işlemi ile elde edilebilir. U tipi bükmede tam ya da yarım daire şeklinde bükme kalıbı kullanılmaktadır. Ahşaba U şekli verilmeye çalışılmaktadır. Bükme için önce ahşap, çelik şerit üzerine ve uç tutucular arasına yerleştirilir (Resim 6). Uç tutucular ahşap en kesitlerine temas edecek şekilde ayarlanır. Bükme masası üzerine sabitlenmiş olan bükme kalıbına ahşap, bükülecek kısmın orta noktasından temas ettirilir ve bu noktadan pnömatik ya da hidrolik basınç silindiri (Resim 7) veya işkence

Resim 6

Ahşabın bükme aparatına yerleştirilmesi



Resim 7

Pnömatik basınç silindiri ve kalıp



Resim 8

Ortadan yeterince desteklenmemiş örneklerde basınç kırılmaları



Resim 9

Bükülen ahşabın uçlardan bağlanması



Resim 10

U şeklinde bükülmüş bir ahşap



Açıklama notu. Fotoğraf M. Bıyıklı'ya aittir.

ile ahşaba, destek şeridi üzerinden kalıba doğru baskı uygulanır. Bu işlem bükme esnasında ahşabın orta kısmının kalıptan ayrılması bakımından önemlidir. Aksi takdirde U şeklinden ziyade V şekli elde edilmiş olur. İstenen yarıçaptan daha küçük bükme yarıçapı elde edilir ve kırılma ihtimali artar (Resim 8). Daha sonra iki taraftaki uç tutuculardan (ya da destek kollarından) aynı anda kalıba doğru simultane olarak bastırılmak suretiyle ahşap bükülür. Uç tutuculardan tutarak bükmede, ahşabın bu kısımlardan geriye doğru dönme riski vardır. Bunu önlemek için ahşap uç kısmını ve uç tutucuları dıştan destekleyen kollar takılır ve bu kollardan tutarak bükme yapılır. Tüm bu hususlar dikkate alındığında tam olarak U şeklinde bükme yapılabilir. Kalıbın eğri yüzeyi üzerinde ahşap her noktadan tam temas etmelidir. Bükülen ahşap şeritten alınacaksa iki uç kısımdan, alınmayacak ise iki uç tutucudan birbirine tel, ip, zincir vb. gibi yardımcı aparat ile bağlanır (Resim 9) ve set edilir. Resim 10 da U şeklinde bükülmüş bir ahşap örneği görülmektedir.

Benzer şekilde V ve L tipi bükmeler de yapılabilir. O şekline benzer bükme, daire formundaki tek bir bükme kalıbı kullanılarak yapılmaktadır (Resim 11). Aynı düzlemde ve aynı yönde yapılan bükmedir. Farklı bükme yarıçaplarına sahip olabilir. Destek şeridine uç tutucular takılı iken ahşap bükme aparatına yerleştirilir. Ahşap yüzeyi kalıba bakacak şekilde bir ucundan sıkıştırma aparatı ile

Resim 11

O şekline benzer bükme



Açıklama notu. Foto E. Solak'a aittir.

Resim 12

Bükülmüş örnek



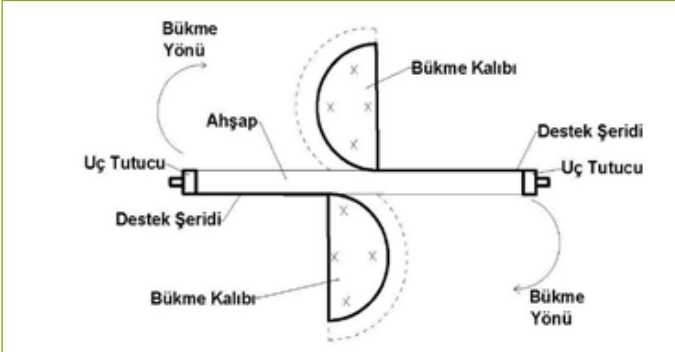
Açıklama notu. Foto E. Solak'a aittir.

tespit edilir. Daha sonra kalıp üzerine sarılmak suretiyle bükme işlemi yapılır. Kalıp üzerinden ayrılması için ara sıkıştırma aparatları kullanılır. İki uç üst üste getirilir (Resim 12) ve diğer uç ta kalıba bağlanır. Bu şekilde set edilir. Bükme sonrası set işlemi için ahşabın uçları birbirine bağlanarak kalıptan çıkarılması mümkündür ancak risklidir. Çarpılma, burulma gibi deformasyonlar meydana gelebilir ya da kırılabilir. Benzer durum ahşabın şeritten ve uç tutuculardan çıkarılması için de geçerlidir. Bu risklerden kaçınmak için bükülen ahşabın bahsedilen bükme aparatları ile birlikte set edilmesi uygun olur. Ancak o zaman her bükme için ayrı şerit ve kalıp kullanılacaktır. Bu durumda bükme aparatlarının yeterli sayıda olması gerekir.

İki Köşeli Bükme. S ve Z (veya N) tipi bükmeler iki köşelidir. İki bükme kalıbı ile tek düzlemde ancak farklı yönlerde (birbirine ters) yapılan bükmelerdir. Bunun anlamı konveks ve konkav

yüzeylerin değişim göstermesidir. Bu durumda bir bükme köşesinde konveks olan ahşap yüzeyi diğer bükme köşesinde konkav yüzey olmakta, öncesinde konkav olan yüzey konveks olmaktadır. Destek şeridinin ona göre ayarlanması gerekir. S şeklindeki bükmelerde ahşap, konveks yüzeylerinden desteklenerek aynı anda bükülmektedir. Bu bükme yönteminde, yarım ya da tam daire şeklindeki bükme kalıpları bükme masası üzerine sabitlenmekte ve çelik şeritler her bir kalıba ayrı ayrı monte edilmektedir. S tipi bükmede iki kalıp arasındaki mesafe ahşabın kalınlığı kadardır. Her bir destek şeridinin ucunda uç tutucular vardır. İki kalıp arasında konan ahşap, kalıpların eğri yüzeyleri üzerinde farklı yönlerde aynı anda bükülmektedir (Şekil 5). Z tipi bükmede kalıplar arasında istenen miktarda mesafe olabilir. Bükülen ahşap bu şekilde set edilir. S tipi bükmede ahşabın tamamı bükülürken Z tipi bükmede sadece köşelerde bükme yapılır. Ahşabın diğer kısımları düz bırakılır.

Şekil 5
S tipi bükme

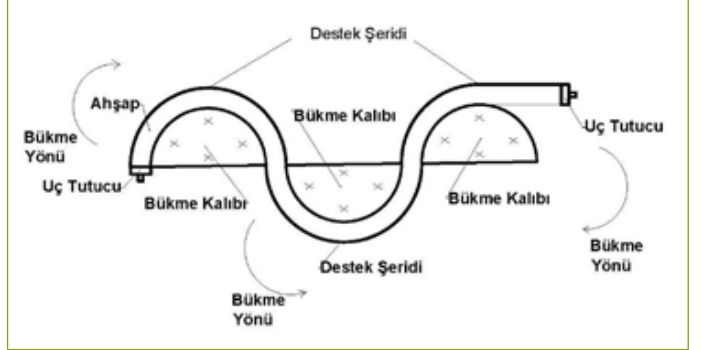


Açıklama notu. Stevens W.C. and Turner N., 1970, Wood Bending Handbook, Ministry of Technology, London kaynağından uyarlanmıştır.

Ayrıca iki köşeli bükmelerde destek şeritler kalıba monte edilmeden de kullanılabilir. Bu durumda ahşabın iki tarafında kullanılan uzun çelik şeritlerin hangisi konveks tarafta kalırsa ona uç tutucu sabitlenir ve belirtildiği şekilde bükme yapılır. Bükmeden sonra set etme işlemine geçilir.

Çok Köşeli Bükme. Daire ya da yarım daire şeklindeki ikiden fazla kalıp, istenen bükme varyasyonlarına uygun şekilde sıra ile bükme masasına tespit edilerek, kalıpların eğri yüzeyleri üzerinde ardışık olarak yapılan bükmelerdir. İki köşeli bükme köşesi vardır. Her bükmeden sonra diğer kalıp bükme masasına tespit edilir. Bükmeler aynı düzlemedir. Bir kalıpta belli bir yönde yapılan bükmeden sonra, aynı ya da farklı yönde bükme yapılır. Ardışık olarak ve bir öncekine ters yönde yapılan bükmeye sinüzoidal bükme denir ve farklı uzunluklarda yapılabilir (Şekil 6). Her bir bükmede konveks tarafta kalan şeritler, uç tutuculara sırası ile monte edilir. Yapılacak bükme sayısına destek şeridi kullanılması durumunda her bir şerit ayrı ayrı kalıplara konveks tarafta kalacak şekilde monte edilebilir. Ya da tek parça iki adet uzun şerit, ahşabın her iki yüzüne konumlandırılır ve bükme yönüne bağlı olarak konveks tarafta kalan şeride, uç tutucular sırası ile bağlanarak bükmeler yapılır. Her iki yöntem de kullanılabilir. Bükmeler tamamlandıktan sonra set etme işlemine geçilir. Malzemeyi kalıptan ve şeritten çıkarmak risklidir. Burulma ve deformasyonlar meydana gelebilir.

Şekil 6
Sinüzoidal Bükme

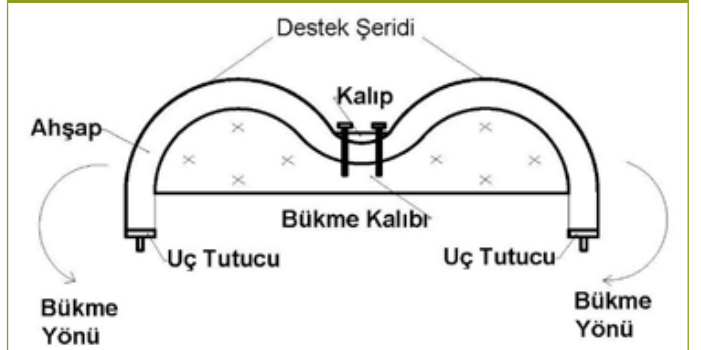


Açıklama notu. Stevens W.C. and Turner N., 1970, Wood Bending Handbook, Ministry of Technology, London kaynağından uyarlanmıştır.

Aynı düzlemde çok köşeli bükmeler ile ahşaba, üçgen, dörtgen, yay tipi vb. geometrik şekiller de verilebilir. İstenen şekli elde etmek için yapılan her bükme, bir bükme köşesini oluşturur. Bükme kombinasyonuna göre kalıp üzerinde ve/veya kalıplar arasında sıkılaştırmak suretiyle bükme yapılabilir. Farklı şekillerde bükmeler de benzer yöntemle yapılır.

Yay tipi bükmede Şekil 7'de görüldüğü gibi bükme aparatındaki ahşap önce orta kısmından kalıplar arasında destek şeridi üzerinden kalıba doğru şeritle birlikte sıkıştırılarak bükülmekte daha sonra diğer iki ucu, uç tutuculardan kalıp eğri yüzeyleri üzerinde aynı anda ters yönde bükülmektedir. Bükme düzlemi aynıdır. Farklı yönlerde bükme yapılmıştır. Kalıp üzerinde bükme ve kalıplar arasında bükme uygulanmıştır. Bükme işlemleri sonucu ahşaba yay formu verilmiştir. Ahşap uç tutuculardan kalıba tespit edilir. Daha sonra ahşap bu şekilde set edilir. Set etmeden sonra ahşap, kalıptan çıkarılır.

Şekil 7
Yay Tipi Bükme



Açıklama notu. Stevens W.C. and Turner N., 1970, Wood Bending Handbook, Ministry of Technology, London kaynağından uyarlanmıştır.

Dörtgen şekilde bükmeler farklı yöntemlerle yapılabilir. Bir destek şeridi ve 2 uç tutucu dan oluşan bükme aparatına yerleştirilmiş olan ahşabın uç kısmı masaya tespit edilir. Daha sonra bükme masasına tespit edilmiş bulunan kalıp eğri yüzeyi üzerinde konkav tarafa doğru bükülerek, bükülen kenar önceki kenara dik pozisyona getirilir. Belli mesafe aralıkları ile masaya tespit edilmiş olan ikinci, üçüncü ve dördüncü kalıplarda bükmeler yapılarak,

köşeleri belli bir yarıçapta bükülmüş dörtgen şekil elde edilir. Her bükmede bükülen kenar önceki kenara dik olana dek bükmeye devam edilir. Düz kısma denk getirilen uç kısımlar birbirine bağlanır ve bu şekilde set edilir. Bu durumda dört adet kalıp kullanılmış olur. Tek kalıp kullanılarak da dörtgen şeklinde bükme yapılabilir. Kalıp köşeleri, istenen bükme yarıçapına sahiptir. Bükme aparatına yerleştirilen ahşap bir ucundan kalıba bağlanır ve köşelerde bükmeler yapılarak son şekil elde edilir. Düz olması gereken kısımlarda ahşap kısaç ya da sıkıştırma aparatları kullanılarak kalıba doğru bastırılır. Bükme köşelerinin orta noktalarından da benzer şekilde ahşap kalıba doğru sıkıştırılması, boşluk oluşumalıdır. Daha sonra set etme işlemine geçilir.

Farklı Düzlemlerde (Üç Boyutlu) Yapılan Bükmeler: Ahşap, birden fazla bükme köşesine sahiptir. Farklı bükme düzlemlerine sahip iki ya da daha çok bükme köşesi olabilir. Kalıp üzerinde ve/veya kalıplar arasında bükme yapılabilir. Aynı ya da farklı bükme yarıçapları kullanılabilir. Farklı bükme düzlemleri kullanılarak önceden tek düzlemden bükülen ahşap tekrar (ya da tekrar) bükülmektedir. Böylece 3 boyutlu olarak bükülmüş ahşap elde edilir. Hangi yönde bükme yapılırsa yapılsın daima daima konveks yüzeyler çelik şeritle desteklenmelidir.

Bükme Sonrası İşlemler

Bükmede istenen, ahşaba verilmiş olan formun kalıcı hale gelmesi, geri kazanılan deformasyon olmaması ve bükme esnası ve sonrasında kırılma ve deformasyonların oluşmamasıdır. Ahşabın relaksasyon ve visko-elastik özelliklerinden faydalanarak, verilen şekil kalıcı hale getirilebilir. Ahşapta sıcaklık ve rutubet yüksekliği, direnci düşürmektedir. Başlangıçta rutubeti %25-30 aralığında olan bükülmüş ahşabın, sıcaklığı yüksek tutularak iç gerilmelerin daha kısa sürede azalması ve bu esnada kısmen kuruması sağlanır. Bu şekilde yüklü halde yeteri süre bekletilen ahşapta, iç gerilmeler ortadan kalkar ve son olarak soğutulur. Bu şekilde ahşaba verilen formun kalıcı hale gelmesine 'Set olma', kısaca ısıtma, kurutma ve soğutma işlemlerini uygulayarak ahşap şeklinin kalıcı hale getirilmesi işlemine 'Set etme' denir. Ahşap bükme işlemine hazırlanırken rutubetlendirilir ya da rutubeti istenen değerlerde olan ahşap seçilir. Yine bükme öncesi ahşap, yumuşatma için genelde ısıtılır. Buharlama ve sıcak su ile muamele ile ahşabın rutubeti bir miktar daha artırılabilir. Bükme öncesi uygulanan bu işlemlerin tersi, set etmede yapılmaktadır. Bükme öncesi ısıtılan, rutubetlendirilen ahşap, bükme sonrası kurutulmakta ve soğutulmaktadır.

Bükülen ahşap, uzun bir sürede kuruyacak ve/veya soğuyacak durumda olsa bile, sadece bağlı (yüklü) halde bekletilirse iç gerilmeler zamanla ortadan kalkar ve malzeme yine de set olur. Ancak set olma süresi uzar. Sonuç olarak ahşabın, oda sıcaklığı ve neminde dahi set olması mümkündür. Set olma sürecini hızlandırmak için, set etme yapılmaktadır. Bu nedenle set olma ile set etmeyi ayrı değerlendirmek gerekir. Set olmada, bükme sonrasında ahşap bağlı halde iken ortam şartlarına (rutubet, sıcaklık) müdahale edilmemektedir. Set etmede ise ahşap, daha hızlı set olması için uygun ortam şartlarında bekletilmektedir. Ortam şartları ona göre ayarlanmaktadır. Bu aşamada bekleme süresi, ahşaptaki iç gerilmelerin tamamen ortadan kalkıncaya kadar geçen süredir ve set olma ya da set etme süresi olarak da adlandırılır. Bu işlem sonunda ahşaba verilmiş olan form (bükülü hal) kalıcı (rijit) hale

gelir. Ahşabın işlenmesi genelde, set olma sonrası ve kullanım öncesinde yapılır.

Kullanım yerinde eğri bir yüzey üzerine tespit edilerek (monte) bükülmüş olan ahşap, zamanla set olmaktadır. Burada genelde bükme yarıçapları sınırlıdır. Yani daha büyük bükme yarıçapları söz konusudur. Bu şekilde set olma, taslak bir eğri yüzey üzerinde (kullanım öncesi) veya kullanım esnasında gerçekleştirilebilir.

Set etme işlemi, bükülmüş malzemeyi sıcak ve kuru ortamda bekletilerek önemli oranda hızlandırılabilir. Ortam sıcaklığı 66°C civarındadır. Bazen sıcaklık 88°C'ye kadar yükseltilebilir. Set etme için bükülü haldeki ahşabın boyutlarına ve sayısına göre oda ya da fırın kullanılabilir (Resim 13). Ortam rutubeti ve sıcaklığı ayarlanabilir olmalıdır. Ahşap formu sabit olmalıdır. Bunun için bağlama-tespit elemanları (çivi, vida, tel, zincir vb.) kullanılabilir. Ahşap, kırılma ve deformasyon risklerinin yüksek olması durumunda destek şeridi ve uç tutucularla birlikte set edilebilir. Hatta riskin fazla olması durumunda kalıpla birlikte de set edilebilir.

Resim 13

Kurutma fırınında set etme



Açıklama notu. Fotoğraf Büyüksarı'ya aittir.

Set etme öncesi ahşap malzemede lif kıvrıklığı (veya diyoganal liflilik), reaksiyon odunu varsa, şeritten çıkardıktan sonra kırılma olabilir. Şeritsiz bağlı halde set edilen malzemede kuruma daha hızlı olur. Ancak relaksasyonun ilk dönemlerinde iç gerilmeler fazla iken meydana gelen kuruma ile ahşabın rutubeti Lif Doygunluğu Noktası altına indiğinde, malzemede boyutsal daralmalar başlar ve kuruma gerilmeleri mevcut iç gerilmelere ilave olmaya başlar. Bu aşamada azalan iç gerilmelerle artan kuruma gerilmeleri söz konusu olur. Bükme esnasında olmayan kırılma ve deformasyonlar, set etme esnasında yaşanabilir.

Kolapsa hassas türlerin ya da geçirgenliği (permeabilitesi) düşük olan türlerin set edilmesinde yüksek oda sıcaklıkları seçilmemelidir. Genelde lif kıvrıklığı, reaksiyon odunu ve kusur içeren ahşabın, özellikle küçük bükme yarıçapı seçilmişse, bükme esnasında kırılma ihtimali yüksektir. Ancak bu tip kusurların nispeten az olduğu ahşap, bükülebilse bile bu sefer set etme esnasında kırılma ihtimali vardır. Set etmede meydana gelen kırılma

ve deformasyonların nedenini iyi analiz etmek ve ona göre tedbir almak gerekir.

Set etme süresi oda sıcaklığı, malzeme boyutları (özellikle kalınlık), bükme yarıçapı, rutubet, ağaç türü gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterir. Genellikle ahşabın ne zaman set olacağını kestirmek güçtür. İlk büküldüğünde ahşap bağlama elemanları (ip, tel, zincir, çubuk vb.) ile bağlanır. Bu esnada iç gerilmeler çok yüksek olduğu için bağlama elemanı gergin durumdadır. Ancak zamanla iç gerilmeler azalır ve ortadan kalkar. Bu durumda bağlama elemanları da gevşer. Gevşeme kontrolü ile ahşabın set olup olmadığı kolayca anlaşılır. Set etme esnasında kontroller belirli aralıklarla yapılarak set etmenin bitip bitmediği anlaşılır. Bir fikir verme açısından 32x32 mm en kesite sahip, hava kurusu bir ahşapta şu set etme süreleri ifade edilebilir (Steven and Turner 1970).

- 66 °C'lik oda sıcaklığında 9 saat (+soğutma 1 saat, depolama 2 gün)
- Ahşap, sıcaklığı daha yüksek olan metal kalıplar arasında set ediliyorsa 3 saat
- Kalıp yüzeyleri elektrik ile ısıtılıp sıcaklığı 149 °C'ye ulaşıyorsa 15 dakika (+15 dak. Soğutma)
- Yüksek frekansla ısıtmada 3 dakika

Görüldüğü gibi set etme esnasında ahşap sıcaklığı arttırıldıkça, set etme süresi kısalmakta ve dakikalara inmektedir. Ancak ani olarak yükselen sıcaklık ahşap direncini düşürmekte ve oluşan su buharı hücre çeperlerine içten basınç uygulayarak mikroskobik ve/veya makroskopik kırılmalara neden olmaktadır. Ahşap geçirgen yapıda olsa bile bir anda sıcaklığın çok yükselmesi ile oluşan buhar çok fazla olabileceğinden bu durum yaşanabilir. Ahşap geçirgen yapıda değilse oluşan su buharı basıncı daha yüksek olmakta ve çatlak, yarık oluşma riski daha yüksek olmaktadır. Burada ahşabın başlangıç rutubeti önemlidir ve yüksek olması arzu edilmez.

Yüksek frekans ile set etmede elektrik enerjisi yüksek frekans jeneratörü ile sağlanmaktadır. Bu jeneratörlerin güçleri 10-50

Resim 14
Metal levhalar



Açıklama notu. Fotoğraf E. Solak'a aittir.

Resim 15

Altta çelik şerit, ortada metal levha, üstte bükme kalıbı



Açıklama notu. Fotoğraf E. Solak'a aittir.

KW arasında değişir. Bu enerjinin bükülen ahşaba iletilmesinde metal levhalar kullanılmaktadır (Resim 14). Elde edilen radyofrekans dalgaları, iletken metal levhalar aracılığı ile bükülen ahşap malzemenin alt ve üst yüzeyini örten metal levhalara ayrı ayrı iletilmektedir (Resim 15). Böylece alt yüzeydeki çelik şeritte (-) kutup, bükme kalıbı ile ahşap arasında bulunan metal levhada (+) kutup oluşturularak iki levha arasında bir gerilim elde edilmektedir. Ahşap kalıpların dış büküye yüzeyleri alüminyum plaka ile kaplı ise bu plaka (+) kutup olarak kullanılabilir. Topraklama da yapılır. Yüksek frekans uygulaması ile ahşap sıcaklığı yükselmekte ve ahşaptan ani bir buhar çıkışı meydana gelmektedir. Bu şekilde yüksek frekans ile set etmede ahşap, büküldüğü kalıp üzerinde iken ısıtılmakta ve belli bir süre sonra verilen form kalıcı hale gelmektedir. Ahşap, daha sonra kalıptan çıkarılarak soğutma işlemi yapılmaktadır. Yüksek frekans, ahşabın plastikleştirilmesinde, kurutulmasında, tutkallı kalın ahşapta tutkalın sertleştirilmesinde ve bükülen ahşabın set edilmesinde kullanılmaktadır.

Lamine Bükme

Lamine bükme, tutkallanmış ahşap parçaların tutkal sertleşmeden ve/veya sertleştikten sonra bükülmesini kapsar. Genelde farklı sayıdaki ahşap parçalarının tutkallanarak, lif yönleri birbirine paralel (suyuna) ya da dik (sokrasına) olacak şekilde üst üste konulup (lamine edilip) tutkal sertleşmeden bir kalıp yardımı ile bükülmesi şeklinde uygulanır. Ahşap elemanlar, ince (kaplama) halinde olabileceği gibi nispeten kalın (kereste) halinde de olabilir.

İnce kaplamaları tutkallayıp, lifleri birbirine paralel olacak şekilde bir araya getirip (lamine edip) bükme işlemine 'lamine bükme' denilir. Çok yaygın olmasa da ince ahşap kaplamaları tutkallayıp, lifleri birbirine dik olacak şekilde bir araya getirip, bükülmesi de bir lamine bükmedir ve 'kontr bükme' olarak adlandırılabilir. Kaplamalar, lamine edildikten sonra bükülebileceği gibi her biri önceden bükülmüş kaplamaların üzerine bükülerek sonradan lamine edilebilir. Kereste ahşap elemanların tutkallanıp, lifleri birbirine paralel olacak şekilde bir araya getirilip (Tutkallı lamine kereste), bükülmesi ise 'Yapısal lamine bükme' olarak adlandırılır. Burada

tutkallanmış ahşap parçalar, laminasyon yapıp tutkal kuruma-
dan önce bükme işlemi yapılmaktadır. Lamine ahşap, bükülmüş
halde tutularak tutkalın sertleşmesi sağlanmakta ve set edil-
mektedir. Böylece bükülmüş lamine ahşaba nihai formu verilmiş
olmaktadır. Lif yönü ve tabaka kalınlığına göre farklılık gösteren bu
bükme şekilleri 'lamine bükme ' olarak adlandırılmıştır. Lamine
bükmeler elle ya da makine ile yapılabilir.

Lamine bükmenin diğer bir uygulaması da üretilmiş olan düz haldeki lamine malzemenin sonradan bükülmesi şeklindedir. LVL (Laminated veneer lumber) ya da kontrplak, lamine ahşap kompozit levha malzemelerin tam ya da küçük boyutlu parçalarının bükülmesi işlemidir. LVL de kaplamaların lif yönü bir birine paralel iken kontrplakta diktir. Bükme işlemi laminasyon esnasındaki değil, laminasyon sonrasında yapılmaktadır. Lamine ahşap malzemenin sonradan bükülmesi işlemi 'Düz Lamine Ahşap bükme' olarak adlandırılmıştır Düz haldeki lamine keresteye (Tutkalı lamine kereste) uygulanan bir işlem değildir.

Bükülen lamine malzemenin set olması, tutkalın sertleşmesi ile gerçekleşmektedir. Laminasyonun ince kaplamalardan oluşması, bükmede uç tutucu kullanılmaması nedenleri ile malzeme içinde iç gerilmeler pek oluşmamaktadır. Bundan dolayı set etmede iç gerilmeler dikkate alınmazken tutkalın sertleşme süresi önem kazanmaktadır. Tutkal sertleştikten sonra lamine malzemeye verilen şekil kalıcı olmaktadır. Tutkalın sertleşme süresi ve şekli, kullanılan tutkal tipine bağlıdır. Daha önce ifade edildiği gibi tutkal seçimi, büyük oranda bükme laminenin kullanım yerinde maruz kalacağı ortam şartlarına göre yapılır. Bilindiği gibi tutkallar, ısıtma, soğuma, kuruma ve kimyasal reaksiyonla sertleşmektedir. Laminasyonda genelde sentetik tutkallar kullanılmakta ve bunlar da ısı etkisi ile sertleşmektedir. Oda sıcaklığında uzun sürede sertleşen tutkalın, sıcaklığının artırılması ile çok daha kısa sürede sertleşmesi mümkündür. Tutkalın sertleşme sıcaklığı ve buna bağlı süresi, set etme süresini belirleyeceğinden ve bu da üretimi ve maliyeti etkileyeceğinden dikkate alınmalıdır. Laminasyonun sıcaklığının artırılması, ortam ısıtma veya kalıp ısıtma ile olabilir. Bu amaç için yüksek frekans kullanımı artış göstermektedir.

Lamine Kaplama Bükme

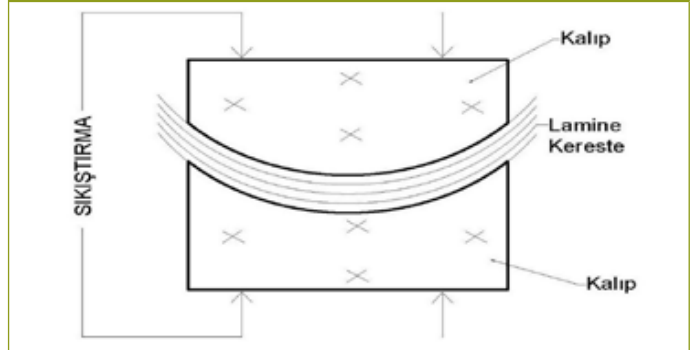
Belli bir kalınlığa kadar olan (3.2 mm) olan ve soyma, kesme ve biçme ile elde edilmiş kaplamaların tutkalanması, genelde lif yönleri bir birine paralel olarak lamine edilmesi ve bükülmesi işlemdir (Şekil 8).

Lamine kaplama bükme, genelde malzeme lamine edildikten sonra tutkal kurumadan yapılan bir bükmedir. İnce ya da kalın kaplama kullanılabilir. Bu amaçla kullanılacak ahşap kaplamalar soyma, kesme veya biçme suretiyle üretilir. Soyma ya da kesme suretiyle elde edilen kaplamaların üretilmeleri esnasında basınç laması tarafındaki yüzleri küçük çatlakları içerir ve bu nedenle bükme şekline göre basınç tarafında kalmaları iyi olur. Uç tutucu kullanılmamaktadır. Ahşap kaplamalar, kurutulmakta, tutkalanmakta, lif yönleri birbirine genelde paralel bazen dik olacak şekilde lamine edilmekte ve bükme işlemi gerçekleştirilmektedir. Daha sonra bükülü halde tutkalın sertleşmesi beklenerek set edilir.

Lamine kaplama bükmede kullanılacak ahşap kaplamaların sahip olması gereken özellikler şu şekilde sıralanabilir (Stevens and Turner 1970):

Şekil 8

Lamine kaplama bükme



- Her bir kaplama kalınlığı aynı olmalı,
- Her bir tabaka kalınlığı 3,2 mm yi geçmemelidir.
- Kaplamalar, % 8-12 rutubet değerinin altında kadar kurutulmalı, kaplamalar arası rutubet farklılığı %2 den fazla olmamalıdır.
- Lifleri düzgün olmalı ve budak, çatlak, reaksiyon odunu gibi kusurlar bulunmamalıdır.

Ahşap kaplamalar, düz haldeki lamine kaplama kereste (LVL) veya kontrplak için kullanılan kaplamaların üretildiği şekilde elde edilir. Kullanılan tutkallar da aynıdır. Ancak Düz ve eğri lamine kaplama üretimi arasında bazı farklılıklar da vardır. Bunlar;

- Lamine edilen kaplamalar, LVL veya kontrplak üretiminde düz halde prese edilirken lamine bükmede eğri yüzeylere sahip kalıplar arasında ya da kalıp üzerinde preslenerek bükülmektedir.
- LVL ve kontrplaklarda üst tabaka kaplama kalınlıkları orta tabakadakilere göre daha düşükken lamine bükme kaplamalarının kalınlıkları aynıdır.
- Kontrplaktaki kaplama sayısı 3,5,7,... gibi genelde tek sayıda iken lamine bükmede kullanılan kaplamalar aynı düz LVL de olduğu gibi çift sayıda olabilir.
- Kontrplak, LVL üretimi için kullanılacak kaplamalar, %6-8 rutubete kadar kurutulurken lamine bükme için kaplama rutubetlerinin %20 nin altında olması yeterlidir.
- Düz halde preslenecek lamine malzemede ara tabakalarda daha düşük kalitede kaplama kullanılabilirken, lamine bükme için bu uygulama daha sakıncalıdır.
- Lamine bükme için presleme esnasında uygulanan basınçlar daha düşüktür.
- Düşük basınçlar kullanıldığı için lamine bükmede 'akışkan basınç' veya 'vakum pres' uygulamaları düşünülebilir.

Lamine Kereste Bükme (Yapısal Bükme)

Yapı ve gemi üretimlerinde ahşap kullanımı uzun yıllardır devam etmektedir. Bu amaçla önceleri masif ahşap kullanımı ağırlıktayken, sonraları yapıştırılmış lamine kereste (Tutkalı lamine kereste) önem kazanmıştır. Ahşap yapısal uygulamalarda düz olarak kullanılabildiği gibi eğri ya da belli bir formda da değerlendirilebilir. Kalın kesitli masif ahşabı bükme zorluklarından dolayı genelde lamine kereste, bükme konusu olmaktadır. Masif ahşabın boyutları ağaç ya da tomruk boyutları ile sınırlıdır. Bükme zorluğu nedeniyle yapısal uygulamalar için ahşap eğri kesme ile belli bir forma

getirilse, hem zayıf çok fazla olacak ve hem de direnç değerlerinde büyük azalmalar meydana gelecektir. Masif ahşaptaki boyut sınırlaması da düşünüldüğünde, yapıda kullanılacak eğri formdaki büyük boyutlu ahşap üretimi için, lamine kereste bükmenin tek seçenek olduğu söylenebilir.

Kereste laminasyonunda her bir parçanın lif yönleri bir birine paraleldir. Kalınlık azaldıkça ahşabın bükülebilirliği de artmaktadır. Farklı bir uygulama olarak her bir parça önceden ayrı ayrı bükülüp, tutkalanıp sonra bükülebilir. Ancak genelde lamine bükmede ahşap parçalar önce tutkalanıp sonra bükülmektedir. Bükme esnasında her zaman tutkal hattına dik yönde basınç uygulanmaktadır.

Kereste kalınlıkları önemlidir. İnce kerestelerden oluşan belli bir kalınlıktaki laminasyon, kalın kerestelerden oluşana göre daha iyi bükülür. Lamine kereste bükmede kalınlıklar 3,2 mm nin üstündedir. Genelde 25-50 mm arasındadır ve maksimum 50 mm ile sınırlandırılmıştır.

Bükmede oluşacak eğri formu, uçtan uca tek uzunluktaki keresteler değil, çok daha kısa olan aynı ya da farklı uzunluklardaki keresteler oluşturmaktadır. Bu da bükmeyi kolaylaştırmaktadır. Laminasyonda genel kural olarak ahşap uç kısımlarının aynı bölgeye denk gelmesidir. Bu husus bükülecek laminasyon için de geçerlidir.

İyi bir yapışma için kerestelerin rutubet içeriklerinin %7-15 aralığında olması gerekir (Stevens and Turner 1970). Lamine kereste bükmede kerestelerin bükme yarıçapları nispeten büyük olduğu için iyi yapışmanın sağlandığı bu rutubet değerleri kullanılabilir. Ancak yapıştırırmada fenol, fenol- resorsinol, resorsinol gibi rutubete dayanıklı tutkallar kullanılıyorsa %25 e kadar rutubet içeriği kabul edilebilir. Tutkallama ile kuru haldeki ahşap bünyesine bir miktar rutubet almakta ve aynı zamanda yüzeyel de olsa tutkal nüfuz etmektedir. Böylece daha iyi bir yapışma elde edilebilmektedir. Ahşap rutubetinin tutkal ile ilişkisi olduğu gibi aynı zamanda kullanım yeri ile de ilişkisi vardır. Masif bükmede bükme sonrasında ahşap set etme sürecinde kurutulmaktadır. Ancak laminasyon büyük kesitlerde olduğu, iç kısımlarda çok sayıda kereste bulunduğu düşünüldüğünde başlangıçta yüksek olan rutubetin alınması güçlük arz eder. Kuruma kusurları ve şekil değişimleri meydana gelebilir. Bu bağlamda laminasyonu oluşturan kerestelerin birbiri ile olan rutubet farklılıkları da önemlidir. %4-6 aralığında olması gerekir.

Resim 16 da görüldüğü gibi bükme yatağı metal ızgaradan oluşmuştur. Destek ve yük kolları metal ızgara içindeki kanal şeklindeki boşluklarda ileri geri hareket edebilmektedir. Kollar, vidalı, hidrolik ya da pnömatik tahrik sistemleri ile çalışabilir. Büyük boyutlu yapısal bükmelerde fazla bükme kuvveti gerekir. Destek kolları bir tahrik sistemine bağlı değilse yatak içinde bükme pozisyonuna göre vidalama ya da sürgüleme ile önceden sabitlenebilir. Benzer şekilde yük kolları da bükme işleminden sonra bulunduğu yere sabitlenebilir. Bükme sonrası destek ve yük (basınç) kolları vidalarla birbirine bağlanarak laminasyon sabit bir basınç altında set oluncaya kadar tutulabilir. Metal kalıplar ahşap kalıplara nazaran daha mukavimdir. Kalıp vazifesini destek kolları ve yük uygulama vazifesini yük kolları görebilir. En iyisi bu kolların hem destek olarak ve hem de yük uygulama amaçlı olabilmesidir. Böylece bükme şekline göre metal kollar destek ve yük uygulama amaçlı düzenlenebilir. Lamine bükme işlemi yatay ya da dikey

düzlemde yapılabilir. Metal yük ve destek kolları, metal altlıklar (yatak) üzerine dikey olarak monte edilir. Kolların yüksekliği bükülecek laminasyonun yüksekliğinden fazladır. Kollar, farklı açılarda dönebilir özelliktedir ve bükme esnasında ahşaba zarar vermemek için basınç plakası ya da levhası üzerinden destek ya da yük vazifesi görmektedir. Bükme sonrası iç gerilmelerin kalkması ve tutkalın sertleşmesi ile lamine malzeme set edilir.

Resim 16
Lamine Kereste Bükme



Açıklama notu. Stevens W.C. and Turner N., 1970, Wood Bending Handbook, Ministry of Technology, London kaynağından uyarlanmıştır.

Lif-Yonga Levha Bükme

Farklı kullanım alanları için ahşaba form verme, masif ve lamine ahşap malzemelere yapılabildiği gibi lif-yonga levhalara da uygulanabilir. Ahşap kökenli bu levhaların ince olanları, küçük bir bükme radyusu istenmiyorsa belli bir derecede herhangi bir ön işlem gerektirmeden bükülebilir. Ancak kalın levhalarda bükme esnasında oluşan iç gerilmeler artacağından kırılma riski büyüyecektir. Masif ve lamine ahşaba göre mukavemet değerleri daha düşük olan lif-yonga levhaların, oluşan bu iç gerilmeler neticesinde kırılma ihtimali daha büyüktür.

Masif ahşabın liflere paralel çekme mukavemeti en yüksek değerdedir. Ancak lif-yonga levhalarda, malzeme içindeki lif ve/veya yongalar farklı yönlerde dağılım göstermekte ve tutkal ile birbirlerine bağlı bulunmaktadır. Bu nedenle özellikle çekme etkisinde ortaya koyduğu dirence, yapışma mukavemeti de katkı sağlamaktadır. Bükme esnasında özellikle çekme gerilmelerinin olduğu konveks tarafta bulunan lif ve yongalar, hem kendi ve hem de yapışma mukavemetleri ölçüsünde bir çekme direnci göstermektedir. Yapışma mukavemetini olumsuz etkileyecek ön işlemler, gerilme altında lif-yongalardan kırılma olmasa bile tutkal hatlarından kırılmaya neden olabilir. Benzer şekilde yapışma mukavemeti iyi olsa bile lif-yongalar farklı yönlerde dağılım gösterdiğinden bir direnç kaybı olur. Bu faktörler lif-yonga bükmede bükme yarıçapını sınırlandırmakta

ve küçük yarıçaplara kadar bükmeyi güçleştirmektedir.

Lif-yonga levhalara, kullanılan tutkalın neme ve sıcaklığa dayanıklı olması durumunda yumuşatma düşünülebilir. Ancak su içinde kaynatma gibi bir uygulama yapılacak olursa, levha nem alacak ve bir kalınlığına şişme meydana gelecektir. Kalınlığına şişme miktarı lif-yonga levhalarda diğer yönlerden çok daha fazladır. Kalınlık artımı bükme esnasında oluşacak iç gerilme artımı demektir. Nispeten direnç te azaldığı için bükmede başarısızlık riski büyür. Bu nedenle yumuşatma için buharlama düşünülebilir. Bu şekilde malzemede daha az rutubetlenme olur. Malzemeyi bükme öncesi sadece ısıtmak istenen bükme yarıçapı için yeterli gelebilir. Böylece sıcaklık artışı ile malzeme daha küçük yarıçaplara kadar bükülebilir. Ancak masif ve laminedeki değerlere ulaşmak zordur. Ayrıca lif ve yonga levhalara, amonyak ile yumuşatma sonucunda şekil verilebildiği ifade edilmektedir (Davidson and Boumgardt, 1970).

Set olana kadar kalıpta ya da tespit edildiği yerde malzeme bekletilir. Önemli olan malzemenin rijit hale gelmesidir. Kalıplara ya da ahşaba ısı uygulaması ile oluşan iç gerilmelerin daha kısa sürede ortadan kalkması sağlanabilir. İnce olan levhanın, kullanım yerinde bükülerek tespit edilmesi durumunda ilave bir işleme gerek yoktur.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Declaration of Interests: The author declares that there are no competing interests

Kaynaklar

- As N., Büyüksarı Ü., (2012). Bazı Yerli Ağaç Türlerimizin Minimum Bükme Yarıçaplarının Belirlenmesi, İ.Ü. BAP Projesi, Proje no 3330, İstanbul
- As N., Şenay A., (1997). Ağaç Malzemeye Form Verme Yöntemleri, I.Ulusal Mobilya Kongresi, Bildiri Kitabı, S. 305-317, Ankara.
- Berkel A., (1963). Ağaç Malzeme Bükme Tekniği ve Kullanış Yerleri, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, B 13 (1): 27-43
- Davidson R.W., Boumgardt W.G., (1970). Plasticizing Wood with Ammonia, a progress Report, *Forest Products Journal*, p. 19-25.
- Forest Products Research Laboratory, (FPRL) (1969). The steam bending properties of various timber. Technical note. 11, Princes Risborough, 16 p.
- Hortaç H., K., (1988). Bükme Mobilya Üretim Teknikleri Üzerine Araştırmalar, Yüksek Lisans Tezi, H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
- Lemoine, T.J., P. Koch, (1971). Steam-bending properties of southern pine, *Forest Prod. J.* 21(4): 34-42.
- Peck, E.C., (1957). Bending solid wood to form, *Agri. Handbook*, 125, USDA Forest Serv., U.S. Gov. Printing Office, Washington DC, 37 pp.
- Sanding G., (1968). Entwicklung eines Verfachsens zum Biegen von Holz nach vorbehandlung mit HF-Energie Unveröffentlichter Abschlussbericht des ZH Dresden
- Stevens W.C. and Turner N., (1970). Wood Bending Handbook, Ministry of Technology, London.
- Taylor Zachary (2001). Wood Bender's Handbook, Sterling Publishing, New York.
- Vlasov G.D., Kulikov V.A., Rodionov S.V., (1968). Technology of Woodworking, 1. Kessel (Eds.). Higher School Publishing House, Moscow, 496 p.
- Wangaard, FF,(1952). The Steam Bending of Beech, *Journal of FPRS*, 35-41, November

