



**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**BATARYA TAŞIYICI YAN DUVARININ ALÜMİNYUM VE KOMPOZİTTEN
OLUŞAN HİBRİT MALZEME İLE ÜRETİMİ
ÇARPIŞMA PERFORMANSI AÇISINDAN OPTİMİZASYONU**

DOKTORA TEZİ

Ahmet Abdullah KARACA

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Programı

TEMMUZ 2023

T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

BATARYA TAŞIYICI YAN DUVARININ ALÜMİNYUM VE KOMPOZİTTEN
OLUŞAN HİBRİT MALZEME İLE ÜRETİMİ
ÇARPIŞMA PERFORMANSI AÇISINDAN OPTİMİZASYONU

DOKTORA TEZİ

Ahmet Abdullah KARACA
(161080204)
ORCID: -

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin LEKESİZ
ORCID: 0000-0003-3350-1509

TEMMUZ 2023



20.04.2016 tarihli Resmî Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Bursa Teknik Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.



tutkuyla sevdiğim, yalnız ve güzel ÷lkeme,

ÖNSÖZ

Bu çalışma sürecinde, bilgi birikimi ve hayat tecrübesiyle olaylara farklı açılardan bakmamı sağlayan, pozitif tavırlarıyla beni umutsuzluğa kapıldığım zamanlarda gerçeklerle yüzleşmemi sağlayan, cesaretlendiren, yüksek lisans ve doktora eğitimim boyunca öğrencisi olmaktan gurur duyduğum hocam Prof. Dr. Hüseyin LEKESİZ'e teşekkür ederim.

Ayrıca bu tez çalışmamdaki alüminyum profiller üretimini ve çalışmadaki bütün testleri yapmama olanak sağlayan Yeşilova Holding ailesine ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ederim.

Son olarak hayatım boyunca aldığım tüm kararlarda her zaman beni destekleyen anneme babama, kardeşlerime, babaanneme, anneanneme ve dedeme şükranlarımı sunar teşekkür ederim.

Temmuz 2023

Ahmet Abdullah Karaca
Yük. Makine Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	x
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	1
SUMMARY	2
1. GİRİŞ	3
1.1 Tezin Amacı	4
1.1.1 Elektrikli araçların yaygınlaşması ve batarya taşıyıcıların önemi	5
1.1.2 Hibrit yapıların önemi	8
1.2 Batarya Taşıyıcılarda Kullanılan Malzemeler.....	9
1.2.1 Alüminyum	11
1.2.2 Çelik	12
1.2.3 Kompozit malzemeler	13
1.2.4 Önceden Emdirilmiş (Prepreg) Üretim Prosesi ile Karbon Fiber Malzeme	14
1.2.5 Hibrit malzemeler	15
1.3 Hibrit Malzemeler İçin Birleştirme Teknolojileri	16
1.4 Hipotez	18
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	19
2.1 Batarya Yan Taşıyıcı Profilinin Belirlenmesi	19
2.2 Sonlu Elemanlar Metodu.....	21
2.2.1 Uygun ağ yapısının oluşturulması.....	23
2.2.2 Sonlu elemanlar metodu yöntemlerinin sınıflandırılması.....	24
2.3 Ekstrüzyon Profilinden Çekme Testlerinde Kullanılacak Numunelerin Hazırlanması	25
2.4 Kompozit Malzemelerin Elde Edilmesi, Çekme Testinde Kullanılacak Numunelerin Hazırlanması	28
2.5 Hibrit Yapı İçin Yapıştırma Karakterizasyon Testlerinde Kullanılacak Numunelerin Hazırlanması	30
2.6 Üç Nokta Eğme Testi İçin Yöntemin Belirlenmesi	34
2.7 Üç Nokta Eğme Testi İçin Ekstrüzyon ve Karbon Fiber Plakadan Oluşan Hibrit Yapının Oluşturulması.....	35
2.8 Sonlu Elemanlarda Kullanılacak Modellerin Oluşturulması.....	39
2.8.1 Alüminyum ve kompozit çekme analizlerinin modelleri.....	39
2.8.2 Yapıştırma performansı için yapılan çekme testinin sonlu elemanlar modeli	41
2.8.3 Profilin optimizasyonu için yapılan ezme analizlerinin modellenmesi	41

2.8.4 Hibrit yapının ve alüminyum profilin üç nokta eğilme analizinin modeli	43
3. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI	45
3.1 Ekstrüzyon Profil Üzerinden Çıkarılan 6082T6 Çekme Testleri	45
3.2 Yapıştırma Karakterizasyon Testleri	46
3.2.1 Sikaflex 268 Powercure hızlı kürlenmiş yapıştırıcı	46
3.2.2 Plexus MA300 yapıştırıcı	48
3.2.3 Birleştirme elemanı olarak perçin kullanımı (kompozit üstte)	49
3.2.4 Birleştirme elemanı olarak perçin kullanımı (kompozit altta)	50
3.3 Kompozit Çekme Testleri	52
3.3.1 Karbon fiber çekme testleri	52
3.3.2 Cam elyaf çekme testleri	54
3.4 Üç Nokta Eğilme Testi	56
3.4.1 Pozitif yönde alüminyum profilin üç nokta eğilme testi	56
3.4.2 Pozitif yönde kompozitin üstte olduğu hibrit profilin üç nokta eğilme testi	57
3.4.3 Negatif yönde alüminyum profilin üç nokta eğilme testi	58
3.4.4 Negatif yönde kompozitin altta olduğu hibrit profilin üç nokta eğilme testi	59
4. SONLU ELEMANLAR ANALİZİ ÇALIŞMALARI	60
4.1 Profilin Optimizasyonu İçin Yapılan Ezme Analizleri	60
4.2 Alüminyum Çekme Çubuğunun Analiz Modelinin Doğrulanması	64
4.3 Kompozit Çekme Çubuğunun Analiz Modelinin Doğrulanması	65
4.4 Yapıştırma Performans Testleri Analiz Modelinin Doğrulanması	67
4.5 Hibrit Yapının Üç Nokta Eğilme Testleri Analiz Modelinin Doğrulanması	69
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	72
5.1 Sonuçlar	72
5.2 Öneriler	77
KAYNAKLAR	79
ÖZGEÇMİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

KISALTMALAR

BP	: Backpropagation
CAE	: Computer Aided Engineering
DIC	: Digital Image Correlation
St	: Station



SEMBOLLER

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_{xy}$: x, y, z eksenlerindeki gerilme
S_{ty}	: Akma gerilmesi
S_{tu}	: Çekme gerilmesi
ε	: Uzama
M_x, M_y, M_{xy}	: Moment Bileşenleri
N_x, N_y, N_{xy}	: Normal Kuvvet Bileşenleri
H	: Isı miktarı
M_x, M_y, M_{xy}	: Moment Bileşenleri
N_x, N_y, N_{xy}	: Normal Kuvvet Bileşenleri
q	: Faz yükü
t	: Zaman
u, v	: Yer değiştirme vektörü bileşenleri
w	: Açısal hız
L_0	: İlk boy
S_0	: Kesit alanı

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 : Araç üreticilerinin taahhütleri [6].....	6
Çizelge 1.2 : Isıl işlem seri numaralarının anlamı. [13]	11
Çizelge 2.1 : Malzeme mekanik özellikleri.	25
Çizelge 3.1 : Sikaflex ile yapıştırılmış karbon fiber ve alüminyumun yapıştırma performans testi maksimum kuvvet değerleri	47
Çizelge 3.2 : Plexus M300 ile yapıştırılmış karbon fiber ve alüminyumun yapıştırma performans testi maksimum kuvvet değerleri.	49
Çizelge 3.3 : Perçinle birleştirme uygulanarak karbon fiberin üstte olduğu durumdaki yapıştırma performans testi maksimum kuvvet değerleri.	50
Çizelge 3.4 : Perçinle birleştirme uygulanarak karbon fiberin altta olduğu durumdaki yapıştırma performans testi maksimum kuvvet değerleri.	51
Çizelge 3.5 : 90° yönünde karbon fiber plakaların çekme test sonuçları.	52
Çizelge 3.6 : 0° yönünde karbon fiber plakaların çekme test sonuçları.	54
Çizelge 3.7 : 90° yönünde karbon fiber plakaların çekme test sonuçları.	55
Çizelge 3.8 : 0° yönünde karbon fiber plakaların çekme test sonuçları	55
Çizelge 3.9 : Pozitif yönde alüminyum profillerin üç nokta eğilme testinde elde edilen maksimum kuvveler.	56
Çizelge 3.10 : Kompozitin üstte olduğu hibrit profillerin üç nokta eğilme testinde elde edilen maksimum kuvveler.....	57
Çizelge 3.11 : Negatif yönde alüminyum profillerin üç nokta eğilme testinde elde edilen maksimum kuvveler.	58
Çizelge 3.12 : Kompozitin altta olduğu hibrit profillerin üç nokta eğilme testinde elde edilen maksimum kuvveler.....	59
Çizelge 4.1 : Feder I, Radyus 5/90, Radyus 5/45 kesit tasarımlarının karşılaştırılması.	62
Çizelge 4.2 : a)Feder I referans b) Feder III c)Hibrit d)Asimetrik radyus 5/90 kesit tasarımlarının karşılaştırılması.....	63

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Konsept tasarım ve tasarımda yan duvar profillerinin konumu.	3
Şekil 1.2 : Batarya hücre tipleri. [8]	8
Şekil 1.3 : Bazı malzemelerin enerji kırılımı. [1]	9
Şekil 1.4 : Farklı modellerin batarya sistemleri. [11]	10
Şekil 1.5 : Tesla Model 3, BMW i3 ve Chevy Bolt bataryalarının malzeme dağılımı. [12]	10
Şekil 1.6 : Batarya taşıyıcılarda kullanılan minerallerin dağılımı. [16]	14
Şekil 1.7 : Dokuma prepreg görünümü. [18]	15
Şekil 2.1 : Seçilen batarya paketi.....	20
Şekil 2.2 : Batarya taşıyıcısına uygulanacak yükün çenesi.	20
Şekil 2.3 : Ekstrüzyon presinin şematik gösterimi.....	21
Şekil 2.4 : Sonlu elemanlar modeli örneği. [20].....	21
Şekil 2.5 : Bir boyutlu, iki boyutlu ve üç boyutlu sonlu eleman örnekleri. [23]	22
Şekil 2.6 : Bir daireyi temsil eden farklı sayıdaki çizgiler. [23].....	23
Şekil 2.7 : Çizgi sayısına bağlı olarak hesaplanan daire alanının değişimi. [23]	23
Şekil 2.8 : Katı cisimler mekaniği mühendislik problemleri.....	24
Şekil 2.9 : 6082 T6 Ekstrüzyon profilin TS EN 755-2 standardındaki mukavemet değerleri.....	26
Şekil 2.10 : Profilden çıkarılan çekme çubukları.....	27
Şekil 2.11 : Çekme çubuğu boyutları.	27
Şekil 2.12 : Çekme testlerinde kullanılacak numunelerin standart ölçüleri.	28
Şekil 2.13 : ASTM D3039 spesifikasyonuna göre hazırlanacak numune ölçüleri. [24]	29
Şekil 2.14 : ASTM D3039 göre 90° yönünde hazırlanan numuneler.....	29
Şekil 2.15 : Adhesiv karakterizasyonu için dikkat edilmesi gereken ölçüler. [25] ...	30
Şekil 2.16 : Yapıştırma karakterizasyonu için üretilen numuneler.....	31
Şekil 2.17 : Yapıştırma karakterizasyonu için üretilen numunelerine Plexus M300 yapıştırıcısı sürülürken ki görüntüsü.....	32
Şekil 2.18 : Yapıştırma karakterizasyonu için üretilen numunelere Sikaflex 268 PowerCure yapıştırıcısı sürülürken ki görüntüsü.....	32
Şekil 2.19 : Perçin ve perçin yuvası açılmış kompozit malzeme.	32
Şekil 2.20 : Perçinle birleştirilmiş kompozit ve alüminyumun perçinin yönüne göre iki farklı birleştirme durumu.	33
Şekil 2.21 : Yapıştırma performans testleri için uygulanan dört yöntemin çekme testi.....	34
Şekil 2.22 : Üç nokta eğme testinin alt dayama plakaları için yararlanılan ölçü.....	34
Şekil 2.23: Üç nokta eğme testinden bir görüntü.	35
Şekil 2.24 : Yan duvarın en zayıf kısmı ve iç profillerle olan uzaklık.	36
Şekil 2.25 : Üç nokta eğilme testi ve analizi yapılacak profil.	36
Şekil 2.26 : Zımparalanan yüzey.	37

Şekil 2.27 : Yapıştırıcının yüzeyde kalması için yükselti oluşturan bantların kullanılması.	37
Şekil 2.28 : Üçgen biçiminde kesilmiş yapıştırıcı uç.	37
Şekil 2.29 : Sikaflex 268 yapıştırıcısını uygulama esnasında bir görüntüsü.	38
Şekil 2.30 : Hibrit yapının görünümü.	38
Şekil 2.31 : Üç nokta eğilme testi için pozitif ve negatif yön.	39
Şekil 2.32 : Sonlu elemanlar için kullanılan kompozit malzeme modeli.	40
Şekil 2.33 : Malzeme modelini doğrulamak için alüminyum ve kompozit çekme testi çubuğunun sonlu elemanlar modeli.	41
Şekil 2.34 : Yapıştırma karakterizasyon testinin sonlu elemanlar ile modellenmesi.	41
Şekil 2.35 : Üç nokta eğme ve yarım model için oluşturulan geometriler.	42
Şekil 2.36 : Optimum kesit tasarımı için sonlu elemanlar modeli.	42
Şekil 2.37 : Batarya taşıyıcı yan duvar ve modüller arasındaki mesafe.	43
Şekil 2.38 : Üç nokta eğilme analizi için kontakt bağlantıları.	43
Şekil 2.39 : Üç nokta eğilme analizi için hexahedral ağ yapısı ile alüminyum, kompozit ve yapıştırıcının modellenmesi.	44
Şekil 2.40 : Sonlu elemanlar için kompozitin temsil edildiği malzeme kartı.	44
Şekil 3.1 : 6082 T6 malzemeden hazırlanan numunelerin çekme testi sonundaki görünümü.	45
Şekil 3.2 : 6082 T6 malzemeden hazırlanan numunelerin çekme testi sonuçları.	45
Şekil 3.3 : Yapıştırma performans testleri için testin kabul kopma şekilleri. [26]	46
Şekil 3.4 : Yapıştırma performans testleri için testin red olduğu kopma şekilleri. [26]	46
Şekil 3.5 : Sikaflex ile yapıştırılmış karbon fiber ve alüminyumun yapıştırma performans testi kuvvet deplasman grafiği.	47
Şekil 3.6 : Sikaflex ile yapıştırılmış yüzeylerin kırılma deseni.	48
Şekil 3.7 : Plexus M300 ile yapıştırılmış karbon fiber ve alüminyumun yapıştırma performans testi kuvvet deplasman grafiği.	48
Şekil 3.8 : Plexus ile yapıştırılmış yüzeylerin kırılma deseni.	49
Şekil 3.9 : Birleştirme elemanı olarak karbon fiber üstte alüminyumun altta olduğu perçinle birleştirme testi kuvvet deplasman grafiği.	50
Şekil 3.10 : Perçinle birleştirme uygulanarak karbon fiberin üstte olduğu durumdaki birleştirme alanı kırılma deseni.	50
Şekil 3.11 : Birleştirme elemanı olarak karbon fiber altta alüminyumun üstte olduğu perçinle birleştirme testi kuvvet deplasman grafiği.	51
Şekil 3.12 : Perçinle birleştirme uygulanarak karbon fiberin altta olduğu durumdaki birleştirme alanı kırılma deseni.	51
Şekil 3.13 : Karbon fiber ve cam elyaf kompozitlerin 0° ve 90° yönlerinde numuneler çıkarılıp çekme testi sonrasındaki örnek görüntüleri.	52
Şekil 3.14 : 90° yönünde karbon fiber numunelerin çekme testi kuvvet deplasman eğrileri.	53
Şekil 3.15 : 0° yönünde karbon fiber numunelerin çekme testi kuvvet deplasman eğrileri.	54
Şekil 3.16 : Pozitif yönde üç nokta eğilme testinden bir görüntü.	56
Şekil 3.17 : Pozitif yönde alüminyum profillerin üç nokta eğilme testi kuvvet deplasman grafiği.	56
Şekil 3.18 : Kompozitin üstte olduğu hibrit profilin üç nokta eğilme testinden bir görüntü.	57

Şekil 3.19 : Kompozitin üstte olduğu hibrit profilin üç nokta eğilme testi kuvvet deplasman grafiği.	57
Şekil 3.20 : Negatif yönde üç nokta eğilme testinden bir görüntü.	58
Şekil 3.21 : Negatif yönde üç nokta eğilme testinden bir görüntü.	58
Şekil 3.22 : Kompozitin altta olduğu hibrit profilin üç nokta eğilme testinden bir görüntü.	59
Şekil 3.23 : Kompozitin altta olduğu hibrit profilin üç nokta eğilme testi kuvvet deplasman grafiği.	59
Şekil 4.1 : Profilin optimum kesiti için yapılan ezme analizi sınır şartları.....	60
Şekil 4.2 : a) Referans geometri Feder I b) Radyus 5/90 c) Radyus 5/45.	61
Şekil 4.3 : a) Feder I b) Radyus 5/90 c) Radyus 5/45 kesit tasarımlarının 100kN yük sırasındaki deformasyon şekilleri.	61
Şekil 4.4 : a)Feder I referans b) Feder III c)Hibrit d)Asimetrik radyus 5/90.	62
Şekil 4.5 : a)Feder I referans b) Feder III c)Hibrit d)Asimetrik radyus 5/90 kesit tasarımlarının 100kN yük sırasındaki deformasyon şekilleri.....	63
Şekil 4.6 : EN AW 6082 Test ve Analiz Gerilme Gerinim Eğrisi.....	64
Şekil 4.7 : EN AW 6082 Test çubuğunun analizi ve akma gerilmesine ulaştığı an. .	65
Şekil 4.8 : EN AW 6082 Test çubuğunun analizi ve akma gerilmesine ulaştığı andaki plastik gerinim	65
Şekil 4.9 : Karbon fiber takviyeli kompozitin test ve analiz kuvvet deplasman eğrisi.	66
Şekil 4.10 : Karbon fiber takviyeli kompozitin hasara uğradığı andaki deplasman değeri.	67
Şekil 4.11 : Kohesiv bölge koordinat sistemi.	68
Şekil 4.12 : Yapıştırıcı karakterizasyon analizlerindeki gözlemlenen maksimum kuvvet değeri.	68
Şekil 4.13 : Sikaflex 268 PowerCure yapıştırıcı karakterizasyon testi ve analizi sonuçlarının kuvvet deplasman eğrisi.	69
Şekil 4.14 : Hibrit yapının 13,7 mm deplasman anındaki deformasyon şekli.	70
Şekil 4.15 : Hibrit yapının 13,7 mm deplasmana karşılık gelen kuvvet değeri.....	70
Şekil 4.16 : Hibrit yapının 13,7 mm deplasmanda yapıştırıcı üzerinde oluşan kohesiv açılma oranı.....	71
Şekil 4.17 : Hibrit yapının 13,7 mm deplasman anında kompozit üzerinde oluşan hasar tahmini.	71
Şekil 4.18 : Hibrit yapının 13,7 mm deplasman anında alüminyum profil üzerinde oluşan gerilme dağılımı.	71
Şekil 5.1 : Nihai Tasarım ve referans tasarım karşılaştırılması.	72
Şekil 5.2 : Birleştirme teknolojilerinin performans değerlendirilmesi için karşılaştırılması.	73
Şekil 5.3 : Birleştirme teknolojilerinin kuvvet deplasman grafiğinde karşılaştırılması.....	74
Şekil 5.4 : Alüminyum profil üzerinde oluşan plastik şekil değiştirme.	75
Şekil 5.5 : Kompozitli Ters ve Düz numunelerin deformasyon şekli.....	75
Şekil 5.6 : Kompozitli ve kompozitsiz düz numunelerin kuvvet deplasman eğrileri.	76
Şekil 5.7 : Kompozitin üstte olduğu düz üç nokta eğilme testinde tarafsız eksenin kayması.....	76
Şekil 5.8 : Kompozitli ve kompozitsiz ters numunelerin kuvvet deplasman eğrileri.	77

Şekil 5.9 : 3 nokta eğilme testlerinden elde edilen rijitlik değerlerinin karşılaştırılmasıHata! Yer işareti tanımlanmamış.



BATARYA TAŞIYICI YAN DUVARININ ALÜMİNYUM VE KOMPOZİTTEN OLUŞAN HİBRİT MALZEME İLE ÜRETİMİ ÇARPIŞMA PERFORMANSI AÇISINDAN OPTİMİZASYONU

ÖZET

Dünyadaki petrol rezervlerinin azalması, egzoz gazı salınımının artması ve bunun sonucu olarak küresel ısınmaya sebep olması özellikle otomotiv sektöründe alternatif enerji kaynağı çalışmalarının yoğunlaşmasına sebep olmuştur. Bu yüzden son yıllarda elektrikli araç çalışmalarına yoğunluk verilmiştir. Elektrikli araç çalışmalarında ana güç kaynağı olarak bataryalar kullanılırken mesafe, ağırlık gibi parametrelerin yanında bataryaların güvenlik tedbirleriyle ilgili çoğu unsur da gündeme gelmiştir. Darbe anında özellikle batarya taşıyıcılarının yan duvarları darbeyi sönümleyici olmalıdırlar.

Bu çalışmada hafifliğinden dolayı batarya taşıyıcılarında çok tercih edilen alüminyum ekstrüzyon parçalar üzerine termoplastik matrisli karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme yapıştırılmış, hibrit bir yapı oluşturulmuştur. Özellikle, güvenlik gerektiren durumlarda kompozit malzemelerin düşük ya da yüksek hızlı darbe yüklerine maruz kaldıklarında, nasıl bir davranış sergileyeceği son yılların önemli araştırma konuları arasındadır. Alüminyum ve kompozit malzemelerin birleştirilmesi ile oluşan bu hibrit malzemenin mekanik özellikleri bakımından karşılaştırılması yapılmıştır. Darbeye olan direnci, batarya taşıyıcı içerisindeki pillerden oluşan modüle çarpışmadan sonra ne kadar yaklaştığı güvenlik açısından en önemli kriterlerdendir. Bu elde edilen bilgiler sayesinde en hafif, en güvenilir ve çevre dostu bir batarya taşıyıcı tasarlamak ana hedef olmuştur. Araç parçaları güvenlik ile ilgili şartnamelerde geçen bazı değerleri karşılamak zorundadır. Bunlardan biri de batarya taşıyıcı sistemler için oluşturulmuş ISO 6469-1 şartnamesi ve ECE R100 şartnamesidir. Bu şartnamelere göre batarya taşıyıcısı yan profili, testlerde pillerden oluşan modüle güvenlik açısından belli oranda yaklaşabilir. Optimum tasarım için bu izin verilen deplasman değeri içinde kalırken ağırlığı da optimize ederek bir hibrit yapı oluşturulmuştur. Bunun için HyperWorks analiz paket programı kullanılmıştır. Bilgisayar ortamında nihai üründen beklenen performans simüle edilmiş ürünler sonrasında üretilmiştir. Üretim kısıtları da göz önünde bulundurularak en hafif ekstrüzyon profili üretilmiştir. 6082 T6 alüminyum ekstrüzyon ve kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini tespit etmek için çekme testleri yapılmıştır. Alüminyum yan duvarın ve hibrit yapının mekanik özelliklerini tespit etmek için ise üç noktadan eğilme testi yapılmıştır. Ayrıca yapıştırıcı karakterizasyonu için de çekme testleri yapılmıştır. Aynı ayrı mekanik özellikler tespit edildikten sonra iki malzemeyi birbirine bağlayan özel bir yapıştırıcı malzeme ile alüminyum ve termoplastik matrisli karbon elyaf takviyeli kompozitten oluşan hibrit yapı oluşturulmuştur ve bu yapının da testleri gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları simülasyonlar ile doğrulanıp, kritik parametreler belirlenmiş, kritik parametreler dizayn değişkeni olarak alınıp optimum tasarım oluşturulmuştur.

Anahtar kelimeler: Batarya taşıyıcı, Ezme testi, Alüminyum, kompozit, Hibrit malzeme

OPTIMIZATION OF THE BATTERY CARRIER SIDE WALL IN TERMS OF CRASH PERFORMANCE WITH THE PRODUCTION OF HYBRID MATERIAL CONSISTING OF ALUMINUM AND COMPOSITE

SUMMARY

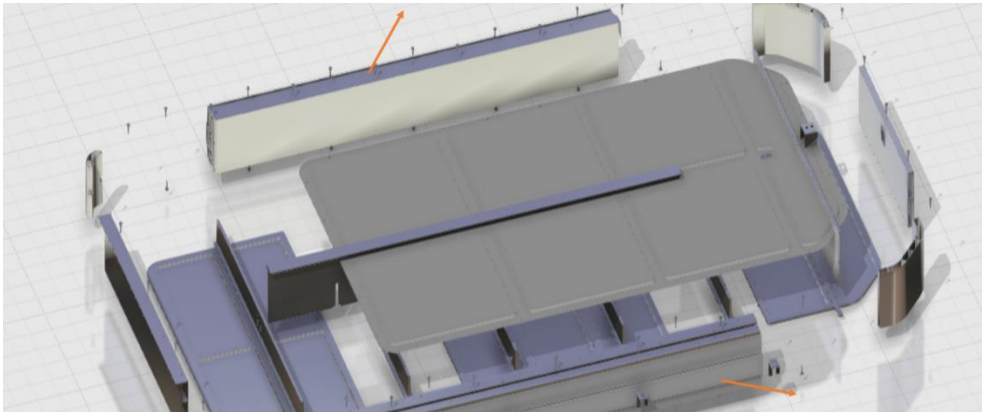
The decrease in oil reserves in the world, the increase in exhaust gas emissions and the resulting global warming have led to the intensification of alternative energy sources, especially in the automotive sector. Therefore, in recent years, electric vehicle studies have been intensified. While batteries are used as the main power source in electric vehicle studies, besides the parameters such as distance and weight, many factors related to the safety measures of batteries have also come to the fore. In the event of an impact, especially the side walls of the battery carriers should be shock absorber.

In this study, a hybrid structure was formed by bonding thermoplastic matrix carbon fiber reinforced composite materials on aluminum extrusion parts, which are very preferred in battery carriers due to their lightness. In particular, the behavior of composite materials when exposed to low or high-speed impact loads in situations requiring safety is among the important research topics of recent years. This hybrid material, which is formed by combining aluminum and composite materials, will be optimized in terms of mechanical properties. Its resistance to impact and how close it gets to the module consisting of the batteries in the battery carrier after the collision are the most important criteria in terms of safety. Thanks to this information, it has been the main goal to design the lightest, most reliable and environmentally friendly battery carrier. Vehicle parts must meet certain values in safety-related specifications. One of them is the ISO 6469-1 specification and ECE R100 specification created for battery carrier systems. According to these specifications, the side profile of the battery carrier may approach the module consisting of batteries to a certain extent in the tests. For optimum design, a hybrid structure has been created by optimizing the weight while remaining within this allowable displacement value. HyperWorks analysis package program was used for this. The expected performance from the final product in the computer environment is produced after simulated products. Tensile, three-point bending and crushing tests were performed to determine the mechanical properties of the extrusion sidewall made of 6082 T6 aluminum material. The same tests were carried out for the plates formed with carbon fiber reinforced composite material with thermoplastic matrix. After determining the individual mechanical properties, a hybrid structure consisting of a special adhesive material that connects the two structures and an aluminum and carbon fiber reinforced composite with thermoplastic matrix was created and the tests of this structure were carried out. Test servers were verified with simulations, critical parameters were determined, and optimum design was created by taking critical parameters as design variables.

Keywords: Battery carrier, Crush test, Aluminum, composite, hybrid material, Auxetic Aluminum

1. GİRİŞ

Elektrikli araçlar, artan nüfus ve enerji kriziyle birlikte yetersiz kalan fosil yakıtların kullanıldığı, içten yanmalı motorlu araçlara alternatif olarak tekrardan gündeme gelmiştir. Elektrikli araçların yaygınlaşması sayesinde fosil yakıtların kullanımı ile oluşan karbondioksit salınımının azaltılması amaçlanmaktadır. Birçok araç üreticisi önümüzdeki yıllarda sadece elektrikli ve hidrojen yakıtlı araçlar kullanacağını açıklamıştır. [1] Bu sayede çevreye olan zarar azaltılmış olacaktır. Hatta sadece yakıt sistemleriyle değil karbon ayak izi hesaplamaları yaparak beraberinde çalıştığı araç parçası üreticilerine de zorunlu olarak karbon ayak izi hesaplamalarını deklere etmektedir. Tedarikçi firmalara gönderilen talep dokümanlarından bu bilgiye ulaşılmıştır. Bu sebeplerden ötürü elektrikli araçlara hızlı bir dönüşüm vardır. Fakat bataryalardan kaynaklı menzillerin kısa olması, batarya şarj süresinin uzun olması ve satış fiyatlarının görece yüksek olması elektrikli araçların yaygınlaşmasının önündeki engellerdendir. Maliyeti büyük ölçüde bataryalardan kaynaklanan bu araçların menzilini artırmak, kullanım sürelerini arttırmak ve şarj hızını arttırmak için daha verimli batarya kullanmak gerekmektedir. Ancak ağır bir aracın hareket ettirilmesi için daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulacağından menzil sorunu oluşmaktadır. Menzili artırmak için batarya teknolojisini geliştirmek dışında elimizdeki teknolojiyi en verimli kullanmak için daha düşük yoğunluğa sahip alternatif malzemeler kullanarak araç hafifletme çalışmaları yapılmaktadır. Böylece aynı batarya kapasitesi ile daha uzun yol kat edilebilmektedir [1].



Şekil 1.1 : Konsept tasarım ve tasarımda yan duvar profillerinin konumu.

Aracın bütününe bakıldığında en çok ağırlık kaplayan kısımların başında batarya gelmektedir. Bataryayı da modüllerin ve bu pil hücrelerinin koyulduğu taşıyıcısı

olmak üzere iki bölüme ayırarak olursak, modüllerde hafifletmenin pek de mümkün olmadığını söyleyebiliriz. Batarya taşıyıcının yani bataryayı çepeçevre kapatan kutunun aracı hafifletmek için ne denli önemli olduğunu söyleyebiliriz.

Şekil 1.1’de konsept olarak bir batarya taşıyıcının parçaları görülmektedir. Bütüne bakıldığında kapak kompozit malzemelerden, onun dışındaki kısımlar ise genellikle alüminyum malzemeler kullanılarak üretilmektedir. Şekil 1.1’de görüldüğü üzere alüminyum malzemeler arasında da en çok ağırlığa sahip parçalar ise boyutları sebebiyle yan duvar profilleridir.

1.1 Tezin Amacı

Batarya taşıyıcıların hafif olması menzil mesafesi için çok önemli olmasına rağmen hafifletme çalışmaları yapılırken güvenlik şartlarından da ödün vermemek gerekir. Çünkü olası bir yangında bu pillerin patlama riski ve sızıntı yapması durumunda yangın çıkarma riski yüksektir. Malzeme seçimi çok kritik bir rol oynamaktadır. Araçların imalatında kullanılan bu malzemelerin seçiminde hafifliğin yanı sıra bulunabilirlik; dolayısıyla maliyet, yanmazlık, karbon ayak izi ve dayanım gibi unsurlar dikkate alınmalıdır. Bu tez kapsamında, kullanım ömrünün sonuna kadar ekolojik ve dögüsel bir tasarım konseptini benimseyerek, elektrikli araçlar için hafif bir batarya taşıyıcısı yan duvarı geliştirilmiştir ve yapılan testlerle doğrulanmıştır. Batarya taşıyıcıdan dayanım performansı olarak, ISO 6469-1 ve ECE R100 standartlarında bulunan ezme testinin karşılaması beklenmiştir. Bu testte en kritik rol oynayan parça olan yan duvar profillerinin, optimum çözümlerle geliştirilmesi bu tez çalışmasının en büyük amacıdır.

Bu optimum çözümleri bulmak için literatürde çok az çalışılmış olan alüminyum ve termoplastik matrisli karbon elyaf takviyeli kompozitten oluşan hibrit yapı kullanılarak yan duvarları üretmek ve ezilme testlerinde enerjiyi yutan bir profil elde edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca diğer bir önemli konu da kompozit ve alüminyumun seri üretime uygun yöntemlerle birleştirilmesidir. Bu çalışmada farklı birleştirme teknolojileri denenmiş ve optimum olanı seçilmiştir.

Tez çalışmasının bir başka önemli amacı da halihazırda batarya taşıyıcılar için direkt kullanılan bir standart bulunmadığından bu standartların geliştirilmesi için belirleyici

sonuçlar elde etmektir. Bazı araç üreticilerinin istekleri doğrultusunda spesifikasyonlar geliştirilmeye başlanmıştır fakat her geçen gün yeni maddeler eklenmektedir [1].

Diğer bir açıdan literatürde batarya taşıyıcılarında daha önce hiç alüminyum ve termoplastik matrisli karbon elyaf takviyeli kompozitten oluşan hibrit yapı denenmemiştir. Benzer çalışmalarda fiber takviyeli kompozit ve alüminyum hibrit parçaların burulama, eğilme davranışları incelenmiştir. [2] Benzer bir hibrit yapı olan elik karbon fiber hibrit yapılarla ilgili araçların b sütunlarında kullanımı için yapılan çalışmalar olsa da batarya taşıyıcı üzerinde denenmiş bir makale ya da tez çalışması bulunmamaktadır. [3] Bu tez çalışması sayesinde batarya taşıyıcıların hafif üretilmesine, aracın en çok maruz kaldığı eğilme moduna karşı daha dirençli üretilmesine katkı sağlayacak yan duvar profili geliştirilecektir. Geliştirilen profil dayanımı açısından standartlardaki ve taşıt üreticilerinin spesifikasyonlarındaki şartları sağlayan bir profil olarak elde edilmiştir.

1.1.1 Elektrikli araçların yaygınlaşması ve batarya taşıyıcıların nemi

Elektrikli araçların asıl gelişimi, 1990'larla birlikte yeni geliştirilen batarya teknolojileri ile olmuştur. 1997 yılında Toyota firması, PRIUS isimli hibrit aracını piyasaya sürmüştür. Bu araç tüketicilerin beklentilerine büyük oranda cevap vermiş ve böylece ilk büyük ölçekli seri üretim elektrikli araba olma unvanını kazanmıştır [4]. Tesla Motors şirketi tarafından 2008 yılında piyasaya sunulan gerçek manada ilk elektrikli otomobil olan Roadster modeli tahminlerin üzerinde bir satış başarisına ulaşmıştır. Tesla, 2008'den bu yana 140 bin araç satmıştır ve 2020'de 1 milyon aracı yakalamayı hedeflemiştir. Dünyada 2020 yılında elektrikli araç satışı önceki yıla göre %43 düzeyinde artış göstererek 3,2 milyon adede ulaşmış durumdadır. Otomobil üreticilerinin öngörülerine göre; 2030 yılında ise dünya taşıt imalatının %40'ı elektrikli, %46'sı ise hibrit taşıtlardan oluşacaktır. [4]

Hlihazırda birçok otomobil üreticisi elektrikli araçlar için araştırma-geliştirme faaliyetleri sürdürmektedir. Günümüzde elektrikli araçların yaygınlaşmasının önündeki temel sorunlar bir önceki bölümde belirtildiği üzere pazar fiyatlarının yüksek olması, tam dolum ile tek seferde gidebileceği mesafe yani menzilin az olması ve batarya dolum (şarj) sürelerinin yüksek olmasıdır [4]. Bu açıdan bakıldığında çalışmalar, menzil artırma yani pil performansını arttırma, dolum sürelerinin azaltılması hızlı şarj teknolojileri ve araç hareket halinde otobanlarda sağ şeritlere

dolumu sağlayacak şarj yolları geliştirilmesi teknolojileri gibi alternatif dolum yöntemlerinin geliştirilmesi ve maliyetlerin asgariye çekilmesi yönünde ilerlemektedir.

Elektrikli araçlar bataryaları aynı zamanda önemli bir maliyet unsurudur. Maliyet düşünülerek batarya kapasitesinin azaltılması menzil sorununa yol açmaktadır. Bu durumda ise ara istasyonlarda hızlı dolum veya tam dolu batarya ile bitmiş bataryanın hızlı bir şekilde değiştirerek aracın zaman kaybı olmadan yoluna devam etmesinin sağlanması planlanmaktadır. Ancak bu durumda da alt yapının son derece sistematik olması gerekmektedir.

Hafif araçlar emsallerine göre daha az yakıt tüketimi ile eşit mesafede yol gidebilmektedir. Başka bir deyişle, tam dolu yakıt deposu ile (fosil veya elektrik) daha fazla yol kat edebilmektedir. Genel olarak binek araçlarının kendi ağırlıklarını ve yolcuları taşımak için tükettikleri enerji, üretimden geri dönüşüme kadar olan ömürleri boyunca kullandıkları enerjinin yaklaşık %86'sıdır. Bir başka çalışmaya göre ise araç ağırlığındaki ortalama 1 kg artış için tek şarjda 4 km daha az mesafe kat edilmektedir [5]. Bütün bilgiler göz önünde bulundurulduğunda araçtaki bir kilogram azalmanın bile batarya performansı açısından önemi büyüktür.

Net sıfır hedefine ulaşılması için sıfır emisyonlu araç temini kritik öneme sahiptir. Araç üreticileri, daha temiz mobiliteye giden yolda öncülük etmektedir. Bir dizi şirketin artık içten yanmalı araçlarını aşamalı olarak kullanımdan kaldırma konusunda iddialı taahhütleri bulunmaktadır (Çizelge 1.1)




Çizelge 1.1 : Araç üreticilerinin taahhütleri [6]

Araç Üreticileri	Taahhüt
Aston Martin	Aston Martin, 2024'ten itibaren tüm ürünler için tamamen elektrikli veya hibrit bir model piyasaya sürecek.
Audi	Audi, 2026'dan itibaren yalnızca yeni saf elektrikli modelleri piyasaya sürecek ve 2033'ten itibaren içten yanmalı motorlu araçları aşamalı olarak kaldırarak.
Bentley	Tüm Bentley modelleri 2030 yılına kadar tamamen elektrikli olacak.
Ford	Avrupa'da, otomobil satışlarının %100'ünün tamamen elektrikli olması ve ticari araçların üçte ikisinin 2030 yılına kadar tamamen elektrikli veya plug-in hibrit olması bekleniyor.
Honda	Honda satışları 2040 yılına kadar küresel olarak %100 sıfır emisyon olacak.

JLR	Jaguar araçları 2025'ten itibaren tamamen elektrikli olacak. Jaguar satışlarının 2030 yılına kadar %100 sıfır emisyon ve Land Rover satışlarının %60'ı sıfır emisyon olması bekleniyor.
MINI	2025'ten itibaren MINI, küresel satışlarının yarısının sıfır emisyonlu araçlar olmasını hedefliyor. 2030'lardan itibaren tamamen elektrikli bir marka olacak.
Nissan	2030 yılına kadar hibrit ve tamamen elektrikli araçlar da dahil olmak üzere tüm yeni Nissan modelleri elektrikli olacak.
Renault	2025 yılına kadar, Avrupa modellerinin yarısı tamamen elektrikli olacak ve tüm satışların %30'unu elektrikli araçlar oluşturacağını taahhüt etmekte.
Stellantis	Avrupa'da mevcut olan tüm modeller, 2025 yılına kadar hibrit veya tamamen elektrikli olacak.
Toyota	2025 yılına kadar 15 BEV modelini piyasaya sürmeyi planlıyor ve bir milyondan fazla sıfır emisyonlu araç dahil olmak üzere 5,5 milyondan fazla elektrikli araç satışı hedefliyor.
Vauxhall/Opel	2028'den itibaren satılan otomobillerin ve kamyonetlerin %100'ü tamamen elektrikli olacak.
Volvo	Volvo satışları 2030 yılına kadar %100 tamamen elektrikli olacak.
VW	VW, 2030 yılına kadar Avrupa'daki satışlarının %70'inin tamamen elektrikli olmasını bekliyor ve 2033 ile 2035 arasında Avrupa'da içten yanmalı araçlarını aşamalı olarak kaldırarak.

Tüm bu hedefler ve kısıtlamalarla birlikte çevreci oluşları ve avantajları sebebiyle elektrikli araçlara geçiş hızlanmakta ve tüm dünyada elektrikli araç satışları hızlı bir artış göstermektedir.

Bataryalar, kimyasal enerjiyi depolayarak elektrik enerjisine dönüştürerek otomobile güç sağlamak amacıyla kullanılır. Geleneksel lityum iyon bataryalarda, zamanla maliyet, enerji yoğunluğu ve ömür konularında iyileştirmeler yapılmaktadır. Bu iyileştirmeler, farklı hücre kimyasallarının kullanılmasıyla birlikte maliyet, elektriksel davranış ve ömür açısından farklılık gösteren çeşitli hücre biçimlerini içermektedir. [7] Batarya hücre biçimleri arasında kese, silindirik ve prizmatik hücreler gibi çeşitli seçenekler bulunmaktadır. Bu hücre biçimleri, birbirlerine göre avantaj ve dezavantajlara sahiptir (Şekil 1.2).

	Silindirik Hücre	Prizmatik Hücre	Kese Hücre
			
Enerji yoğunluğu	Orta	Yüksek	En yüksek
Mekanik stabilite	Yüksek	Orta	Düşük
Termal performans	Yüksek	En yüksek	Orta
Kapladığı alan	Düşük	Yüksek	En yüksek
Üretim maliyeti	Yüksek	Orta	Düşük
Basınç dayanımı	Yüksek	Orta	Düşük

Şekil 1.2 : Batarya hücre tipleri. [8]

1.1.2 Hibrit yapıların önemi

Alüminyum alaşımlarının, kompozitler ve plastiklerin alternatifi olarak havacılık sektöründe kullanıldığı bilinmektedir. Bu malzemelerin araçlar için maliyet/dayanım oranında optimize edilerek elektrikli araçlarda kullanılması ile güvenlikten ödün vermeden hafif araçlar üretilmektedir. Elektrikli araçlarda kullanılacak malzemelerin emsallerine göre hafif, seri üretime uygun, uzun ömürlü ve çevreci olması gerekir. Ayrıca hafif malzemelerin araçlarda kullanımı aracın hızlanma ve sürüş performansına, titreşim ve ses gibi özelliklerinin iyileştirilmesine de katkı sağlamaktadır [9]. Kompozit malzemeler ise hafiflik yönünden alüminyuma göre daha iyi olsalar da seri üretime uygun ve çevreci olması bakımından teknolojik gelişmelere açıktır.

Bu çalışmada alüminyum ve kompozitlerin birleştirilerek kullanım yolu denenecektir. Buna benzer çalışmalar olsa da direkt batarya taşıyıcı üzerinde denenmiş bir çalışma yoktur. Bu hibrit yapının çarpışma durumunda nasıl bir deformasyon sergileyeceği çalışmanın kritik olan kısmıdır.

Araçların güvenli bir şekilde kullanılabilmesi için çarpışma testlerinden geçmesi gerekir. Çarpışma esnasında, çarpışmanın şekline göre aracın farklı parçalarında farklı zorlanmalar meydana gelir. Araç dolayısıyla da yolcu ve sürücü güvenliği açısından zorlamaya maruz kalan parçanın sadece malzemesi değil, aynı zamanda geometrisi de önemlidir [1]. Otomobillerde ataletleri göz önünde bulundurulduğunda daha çok içi boş profiller tercih edilir. Çarpışma açısından seçilen malzemenin profil olarak kullanmaya uygun ve enerji sönmüleme özelliğinin iyi olması beklenir. Şekil 1.3'te, enerji sönmüleme özelliği açısından bazı malzemeler kıyaslanmıştır. Genel olarak, alüminyum köpükleri alüminyum alaşımlarına ve ultra yüksek dayanımlı çeliklere

göre daha iyi performans sağlarken, kompozitler ve magnezyum diğer malzemelere göre çok daha iyi sönümlene özelliğine sahiptir [9].

	Malzeme*		Yoğunluk	Enerji Kırılımı/ Birim Hacim [MJ/m ³]	Enerji Kırılımı/ Birim Kütle [MJ/kg]
Al Köpük	Cymat Köpük	(0,2)	560	6,3	0,01
	Alulight Köpük	(0,35)	1000	11,2	0,011
	Alporas Köpük	(0,1)	250	1,394	0,006
	ERG Köpük	(0,1)	250	2,7	0,011
	Duracore Köpük	(0,35)	1000	17	0,017
UYDS	DP500		7800	70	0,009
	DP600		7800	66,5	0,009
	TRIP800		7800	132,3	0,016
	CP-W800		7800	64	0,008
	MS-W1200		7800	52	0,007
Al	AA5454-H2		2680	26,5	0,01
	AA5454-H4		2680	23,8	0,009
	CFRP		1570	188,4	0,120
	Magnezyum		1945	55,35	0,028
Al: Alüminyum, UYDS: Ultra Yüksek Dayanımlı Çelikler, CFRP: Karbon Fiber Takviyeli Kompozit * Köpükler için parantez içindeki değerler bağıl yoğunluklardır.					

Şekil 1.3 : Bazı malzemelerin enerji kırılımı. [1]

Malzemelerin tek başlarına sağladıkları avantajları eklektik bir yaklaşımla hibrit yapılarda bir araya getirmek mümkün olabilmektedir. Bu sayede çarpışma performansı iyileştirilmiş aynı zamanda daha da hafif bir batarya taşıyıcı yan duvarı geliştirmek son derece ilgi çekici görünmektedir.

1.2 Batarya Taşıyıcılarda Kullanılan Malzemeler

Otomotivde malzeme seçimi için maliyet/dayanım oranı en önemli kriterlerden biridir. Batarya taşıyıcılarında da güvenlikten ve maliyetten ödün vermeden en hafif malzemeyi kullanacak şekilde optimizasyon yapılmaktadır. Elektrikli araçlarda kullanılacak malzemelerin doğası gereği konvansiyonel araçlara göre hafif, uzun ömürlü, seri üretime uygun ve çevreci olması gerekir. Ayrıca hafif malzemelerin araçlarda kullanımı aracın hızlanma ve sürüş performansına, titreşim ve ses gibi özelliklerinin iyileştirilmesine de katkı sağlamaktadır [10].

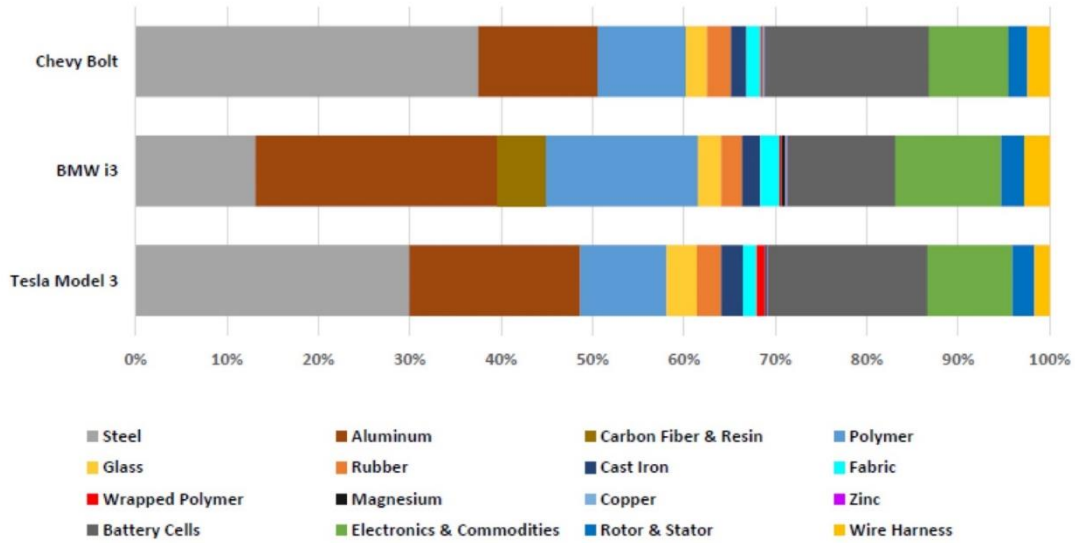
Bu çalışmada alüminyum ve kompozitlerin birleştirilerek kullanım yolu denenecektir. Buna benzer çalışmalar olsa da direkt batarya taşıyıcı üzerinde denenmiş bir çalışma yoktur. Bu hibrit yapının çarpışma durumunda nasıl bir deformasyon sergileyeceği çalışmanın kritik olan kısmıdır.

Çeşitli markaların batarya sistemleri Şekil 1.4'te gösterilmiştir. Genellikle aracın alt kısmında bulunan bataryalar dikdörtgen şekillidir.



Şekil 1.4 : Farklı modellerin batarya sistemleri. [11]

Bu batarya sistemlerinden özellikle Tesla Model 3, BMW i3 ve Chevy Bolt modeli ile ilgili literatürde birçok detaylı bilgiye ulaşılmıştır. Bu bilgiler sayesinde tez çalışması ile ilgili olarak birçok batarya sistemi komponentinde karbon fiber alüminyum ve plastik gibi birçok malzeme kullanılmasına rağmen hibrit malzeme grubu kullanılmadığı görülmüştür. Bu üç batarya sisteminin malzeme dağılımı Şekil 1.5'te gösterilmiştir.



Şekil 1.5 : Tesla Model 3, BMW i3 ve Chevy Bolt bataryalarının malzeme dağılımı. [12]

1.2.1 Alüminyum

Alüminyum otomotiv sektöründe çok kullanılan hem mekanik özellikleri hem de fiyatı nedeniyle tercih edilen bir malzemedir. Ayrıca farklı alaşımlarının olmasıyla istenen mukavim değerde kullanılabilme ve yumuşaklık açısından çeşidinin olması, korozyon dayanımı, özgül dayanım, koku ve kimyasallara karşı dayanıklı olması, ısı ve elektrik iletkenliğinin iyi olması, işlenebilme ve şekillendirilebilme özelliğinin olması, değişik metotlarla yüzey işlemi yapılmaya uygun olması, tekrar tekrar kullanılabilir olması, parlama yanmazlık özelliğinin olması ve manyetik nötrallite özelliklerinden dolayı kullanımını tercih edilmektedir.

Alüminyum alaşımlarının farklı üretim metotları vardır. Bunlar dövme esaslı ve döküm esaslıdır. Bu iki yöntemle de üretilen alaşımlar sonrasında ısı işleme maruz bırakılır. Batarya taşıyıcılarda yüksek basınçlı döküm ve ekstrüzyon proseslerinden üretilen alüminyum alaşımları kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılacak olan yan duvar ekstrüzyon profilinden üretilmiş olup sonrasında ısı işlem uygulanmıştır. Uygulanan ısı işlem çeşitleri aşağıdaki Çizelge 1.2’de verilmiştir.

Çizelge 1.2 : Isıl işlem seri numaralarının anlamı. [13]

Isıl İşlem	Anlamı
T1	İmalat sıcaklığından soğutulmuş ve doğal olarak yaşlandırılmış
T2	İmalat sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve doğal yaşlandırılmış
T3	Çözelti ısı işlemi uygulanmış, soğuk işlenmiş ve esas olarak kararlı bir duruma doğal yaşlandırılmış.
T4	Çözelti ısı işlemi uygulanmış ve esas olarak kararlı bir duruma doğal yaşlandırılmış
T5	Yüksek sıcaklıktaki şekillendirme işleminden ve soğuduktan sonra yapay yaşlandırılmış
T6	Çözelti ısı işlemi görmüş ve yapay yaşlandırılmış
T7	Çözelti ısı işlemi görmüş ve kararlılaştırılmış
T8	Çözelti ısı işlemi uygulanmış, soğuk işlenmiş ve yapay yaşlandırılmış
T9	Çözelti ısı işlemi uygulanmış, yapay yaşlandırılmış ve soğuk işlenmiş
T10	İmalat sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve yapay yaşlandırılmış

Alüminyum ekstrüzyon profillerin otomotivde kullanımına bakıldığında ise fiyat ve dayanım açısından 6XXX serisi ve 7XXX serisi kullanıldığı görülmektedir. Özellikle

6XXX serisi alaşımların fiyat olarak rekabetçi olmasından dolayı daha çok tercih edilmektedir. 6XXX serisi alaşımlarının alaşım elementi magnezyum ve silisyum olan Al-Mg-Si alaşımlarıdır. Şekillendirilebilme kabiliyetleri iyi olduğu için ekstrüzyon prosesinde çok sık tercih edilmektedir. Genellikle yüksek hızlı ekstrüzyon alaşımları olarak bilinen bu tip alaşımlar yüksek özgül dayanımlarından dolayı sadece otomotiv değil birçok endüstride giderek yaygın olarak kullanılmaktadır [14]. EN AW 6082 T6 alüminyum alaşımı 6000 serisi alaşımların en yüksek mukavemetine sahip alaşımlarındandır. Korozyon dayanımı yüksektir ve iyi kaynak edilebilme kabiliyetine sahiptir. Ayrıca uygulanan ısıl işlemlerden sonra soğuk Şekillendirilebilme kabiliyeti iyi olup yorulma dayanımları orta seviyelerdedir. Akma gerilmeleri karşılaştırıldığında TS EN 755-2 standardına göre ekstrüzyon yöntemiyle üretilmiş EN AW 6082 T6 profilinin ekstrüzyon edilmiş profiller için kalınlığı 5mm'den az olan profiller için akma gerilmesi 290 MPa kalınlığı 5mm ile 15mm arasında olanlar için akma gerilmesi 310 MPa olarak verilmiştir. Batarya taşıyıcı yan duvarı için herhangi bir plastik Şekil değiştirmede sızıntı oluşma ihtimali oluşacağı için 6XXX serisi malzemeler içerisinden EN AW 6082 T6 malzeme kullanılmaya karar verilmiştir.

1.2.2 Çelik

Çelikler yüksek akma ve çekme dayanımları ve rijitliği sayesinde hem batarya taşıyıcılarında hem de araçlarda çokça kullanılan bir malzemedir. Batarya taşıyıcılar modeline göre değişiklik gösterse de birçok pil hücrelerini korumakla sorumludur. Araç hareket halindeyken taşıyıcıya birçok yük gelmektedir. Çelik malzeme gelen bu mekanik yüklere karşı dayanıklı bir malzemedir. Aynı zamanda uzun yıllardır otomotivde çelik kullanıldığı için çeliğe karşı bir pozitif ön yargı mevcuttur. Statik ve dinamik yüklere karşı dayanımı ve yorulmaya karşı davranışı üzerine çok fazla çalışılma yapılmıştır. [15]

Konvansiyonel araçlarda olduğu gibi elektrikli araç tasarımında da en zorlayıcı Őeylerden biri, yapısal olarak dayanıklılığı garanti altına alırken ağırlığı minimize etmektir. Özellikle yüksek mukavemetli çelikler bu alanda çok rekabetçidir. Güvenlik veya performanstan ödün vermeden hafif tasarımlar yapılmasını sağlar.

Batarya taşıyıcının potansiyel darbelere karşı koruma beklentisinden dolayı optimum tasarım yapmak için çelik malzemenin gelen yükü karşılayacak Şekilde tasarlanması gerekmektedir. Darbe sönümlenme beklentisi olan yerlerde çelik sacın Şekil verme

kabiliyeti içerisinde darbe sönümleyici olarak kullanıldığı örnekleri vardır. Bu şekil verme süreci için ilk yatırım maliyetleri yüksek olsa da malzeme fiyatları uygun olduğu için tercih edilmektedir.

Çeliğin bulunabilirliği, batarya taşıyıcılarının büyük ölçekli üretimi için cazip bir seçenektir. Ayrıca kolay şekillendirilebilir ve kaynaklanabilir bir malzemedir. Önündeki en büyük engel ise özgül ağırlığıdır. Özgül ağırlığının dışında bir diğer engel de korozyona uğrayabilme ihtimalidir. Korozyonun önüne geçmek için kaplama yapılması gerekmektedir fakat ekstra maliyete sebep olmaktadır.

1.2.3 Kompozit malzemeler

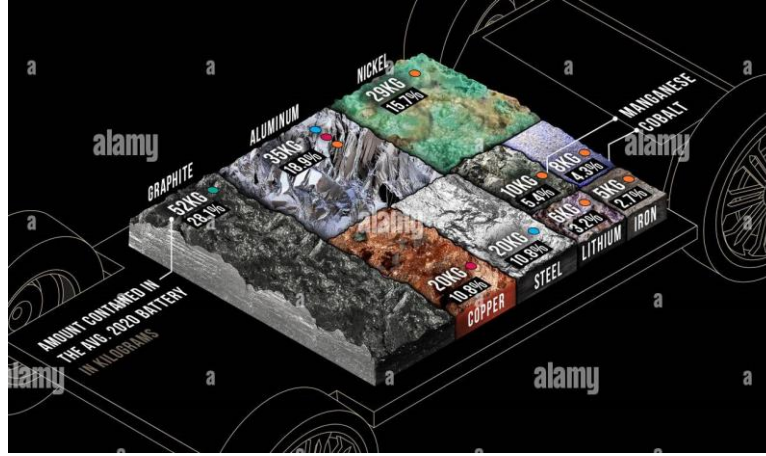
Otomotiv kompozitlerinin başlıca uygulamaları, kullanılan elyaf türüne göre cam, karbon fiber veya doğal elyaf olarak sınıflandırılabilir. Ayrıca reçine türüne göre termoset veya termoplastik olarak da sınıflandırılabilir.

Kullanılan elyaf türüne göre incelendiğinde, pazardaki payı açısından cam elyaf takviyeli kompozitler, en büyük hacime sahiptir. Dayanıklılık, esneklik, hafiflik, termal iletkenlik, kimyasala ve neme karşı direnç gibi özellikleri sebebiyle cam elyaf çok tercih edilmektedir. Ayrıca cam elyaf, karbon ve doğal elyaftan fiyat olarak da daha uygundur. Aynı zamanda cam elyaf bulunabilir ve işlenebilirliği, ucuz fiyatı nedeniyle otomotivde çok kullanılmaktadır. Karbon fiber ise lüks araç sınıfında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Sürdürülebilirlik kavramının çok fazla gündeme geldiği bu dönemde geri dönüştürülebilir, doğal lifler artık Formula takımlarının araçları için gövde panellerinde ve çarpışma yapılarında yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Önündeki en büyük engel suyla teması olan otomotiv parçalarında bu liflerin nemden etkilenmesi ve şişmesidir. Bunun önüne geçmek için çalışmalar devam etmekte fakat iç trim parçalarında kullanımı hızla artmaktadır (Şekil 1.6).

Porsche Motorsport Formula takımı, Eylül 2020'de doğal elyaf takviyeli kompozit gövdesi olan modeli Cayman 718 GT4 CS MR spor otomobilini dünyaya tanıtmıştır. 2019 yılında da seri üretimde olan karbon fiber yerine doğal fiberlerle ürettiği otomobili olan Porsche Cayman 718 GT4 CS modelini piyasaya sürmüştür. Doğal

fiberli kompozitlerden oluşan kapıları ve arka kanatı olan bu modeli karbon fiberi doğal fiber ile değiştirerek bu alanda bir ilk olmuştur.



Şekil 1.6 : Batarya taşıyıcılarda kullanılan minerallerin dağılımı. [16]

Karbon fiber çok hafif ve çok mukavim bir malzemedir. Karbon lifi çelikten beş kat daha güçlü, iki kat sert aynı zamanda da hafiftir. Birçok parça için ideal üretim malzemesidir. Karbon lifi, kompozit yapıyı güçlendirmek için kullanılan ince, güçlü kristalin karbon liflerinden yapılır. Karbon fiber, ince bir yapıdır ve iplik gibi bir araya getirilir. Sonrasında kumaş oluşturmak için dokunabilir ve kalıcı bir şekil alması için, önceden hazırlanan şeklinin alması istenilen bir kalıbın içine karbon fiber yatırılır ve reçine veya plastikle kaplanır. Karbon fiber, kısmen kimyasal ve kısmen mekanik bir işleme elde edilir.

Polimer kompozit paketlerin dezavantajı ise daha yüksek maliyetli olmalarıdır. Bu sebeple çoğunlukla yarış arabalarında tercih edilmektedirler. Günümüzde karbon fiber yapıları yama şeklinde kullanmak bazı çalışmalarda görülmektedir. Araçların pillar olarak adlandırılan direklerinde veya koltukların emniyet kemeri bağlantı yerlerinde prepreg yöntemiyle üretilmiş karbon fiber yamalar kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında hibrit yapıyı oluşturan kompozit olarak prepreg yöntemiyle elde edilmiş karbon fiber ile güçlendirilmiş polimer kompozit kullanılmıştır.

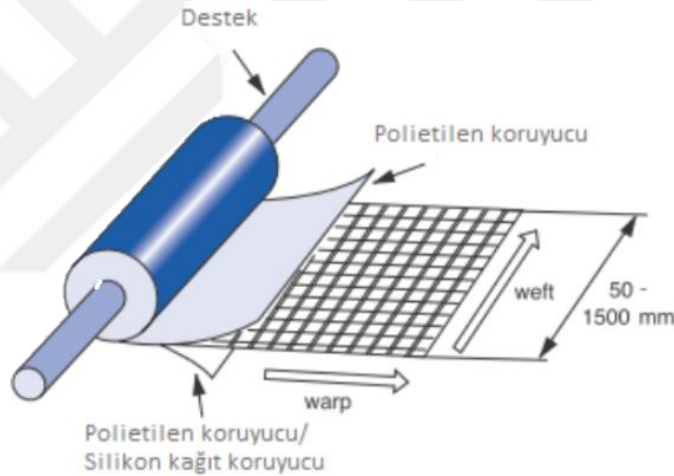
1.2.4 Önceden Emdirilmiş (Prepreg) Üretim Prosesi ile Karbon Fiber Malzeme

Prepreg, üretim prosesi olarak değerlendirilebilir. Karbon, cam veya aramid elyaflarından herhangi biriyle önceden emdirilmiş bir lifli polimer takviyesidir. Prepregler, belirli bir basınç ve sıcaklık altında kürleşerek, reçinenin sertleşmesini

sağlar. Sonuç olarak, yüksek ısı ve kimyasal dirence sahip, ağır olmayan ve yüksek mukavemetli bir kompozit yapı elde edilir.

Prepreg tabakalar rulodan alınarak bir kalıp yardımıyla kesilir ve uygun fiber açıları ve oryantasyonlarda üst üste yerleştirilir. Bu şekilde, reçinenin son işlemlerinin tamamlanabilmesi için kurlaşmaya bırakılır. Daha sonra kesme, delme, birleştirme ve montaj işlemleri yapılır.

İki tür prepreg imalatı vardır: tek yönlü ve örgü yapılı. Tek yönlü prepregler, tüm açı dağılımlarına uygulanabilmesi ve yüksek mukavemetli kompozit üretimine elverişli olması gibi avantajlar nedeniyle tercih edilir. Ancak, işçilik maliyeti ve süresi örgü prepreglere göre daha yüksektir. Örgü yapılı prepregler ise tek seferde iki tabakanın yerleştirilebilmesi gibi çalışma kolaylığı, düşük işçilik maliyeti ve süresi gibi avantajlara sahiptir. Ancak, sadece 0/90 ve 0/0 açıları için kullanılabilirler. [17]



Şekil 1.7 : Dokuma prepreg görünümü. [18]

1.2.5 Hibrit malzemeler

Teknolojinin gelişmesiyle proses teknolojilerinin de gelişmesi hızla ilerlemektedir. Malzeme ve proses seçiminde alternatifler gün geçtikçe artmaktadır. Konvansiyonel malzeme ve üretim teknolojisiyle üretim zorluğu yaşanan istenilen performansı karşılamayan pek çok araç komponenti, şu anki son teknoloji sayesinde hem kolay hem de kendinden istenen performansı sağlayabilecek şekilde üretilebilir hale gelmiştir. Kompozit malzeme ile otomotiv komponenti üretimi artmış ve özellikle de hafifletme potansiyeli ile aynı zamanda, dayanıklı, yorulma ve korozyon dayanımı yüksek hibrit yapılar kullanılmaya da başlamıştır.

Özellikle cam fiber takviyeli kompozitlerde, darbe yükü altında matris çatlaması ve fiber kırılması olduğu gözlenmektedir. Hasarlar incelendiğinde, darbe enerjisi için fiber-matris ara yüzeyindeki kayma gerilmesinin temel parametre olduğu görülmektedir. Yani kompozit malzemelerdeki hasar, darbenin ilk aşamasında oluşmaktadır. Sonrasında oluşan çatlak ilerlemesinin yavaş olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışmanın da konusu olan karbon fiber takviyeli plakalı alüminyum kompozitten oluşan batarya yan taşıyıcı profili üzerinde optimum tasarım çalışmaları ilerisi için hibrit malzemelerin yaygınlaşacağını göstergelerinden biridir.

1.3 Hibrit Malzemeler İçin Birleştirme Teknolojileri

CFRP ve sac metalin birleştirilmesinde tercih edilen yöntem, hibrit malzemelerin işlevselliği ve dayanıklılığı açısından belirleyici bir faktördür. En çok kullanılan birleştirme teknolojileri;

- a. Epoksi reçine matrisi olarak yapıştırıcı
- b. Poliüretan bazlı yapıştırıcılar ve metakrilat bazlı yapıştırıcılar
- c. Perçinle birleştirme

Birleştirme özelliklerini karakterize etmek için ise DIN EN 1465 startı yaygın olarak kullanılmaktadır.

Epoksi reçineler, genellikle yapıştırıcı veya malzeme bağlama amacıyla kullanılan polimerik malzemelerdir. Epoksi reçineler, sertleştiriciler ile karşılaştırıldığında kimyasal reaksiyona girerler ve dayanıklı bir bağ oluştururlar. Yüksek yapışma mukavemeti sağlarlar. Epoksi reçineler, birçok alanda yaygın olarak kullanılır. Özellikle metal, cam elyaf, karbon elyaf, seramik ve diğer kompozit malzemelerin birleştirilmesi ve güçlendirilmesinde yaygın olarak tercih edilirler. Aynı zamanda iki farklı malzemelerin yapıştırılmasında da tercih edilmektedir. Ayrıca, epoksi reçineler kaplama ve laminasyon gibi çeşitli uygulamalarda da kullanılır.

Epoksi reçine kullanırken uygulama yöntemine yüzeyin iyi hazırlanması ve doğru sertleştirici seçimi çok önemlidir.

Poliüretan yapıştırıcı, çözücü içermeyen, yüksek yapıştırma gücüne sahip, neme ve hava koşullarına dayanıklı bir yapıştırıcıdır. Ayrıca, döşeme altı ısıtma sistemlerine uygun olarak kullanılabilir. Yapıştırıcı, uygulandıktan 5 ila 8 saat sonra sertleşmeye

başlar. Poliüretan yapıştırıcıyı ilk kez kullanacaksa, öncelikle bir test yapılması önemlidir. Zeminin yapıştırma işleminden önce hazırlanması gerekmektedir. Metal, cam ve bazı parlak malzemelerde yüzeylerin pürüzlendirilmesi gerekmektedir, bu da yapıştırıcının tutunmasını sağlayacaktır. Yapıştırıcı kurduktan sonra, mekanik olarak çıkarılabilir. Zımparalama, kazıma veya keski kullanma gibi yöntemler uygulanabilir. Poliüretan yapıştırıcılar diğer yapıştırıcıların yapıştıramadığı birçok malzemeyi başarılı bir şekilde yapıştırabilir.

Metakrilat bazlı yapıştırıcılar, metakrilat monomerleri ve sertleştiricilerden oluşan bir yapıştırıcı ailesidir. Bu yapıştırıcılar, çeşitli endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. Metakrilat monomeri ve sertleştirici karıştırıldığında, kimyasal bir reaksiyon gerçekleşir ve polimerizasyon süreci başlar. Bu reaksiyon sonucunda, sert, dayanıklı ve yüksek yapışma mukavemetine sahip bir polimer tabaka oluşur.

Metakrilat yapıştırıcılar, birçok farklı malzeme üzerinde etkili bir şekilde yapışma sağlar ve plastik, metal, seramik, cam, taş ve kompozit malzemeler gibi çeşitli yüzeylere uygulanabilirler. Ayrıca, düşük yüzey hazırlığı gerektirirler ve genellikle pürüzsüz ve temiz yüzeylerde iyi performans gösterirler.

Darbe direnci, titreşime karşı dayanıklılık, termal stabilite ve kimyasal direnç gibi özellikleri vardır. Bu nedenle, zorlu ortamlarda ve yüksek mukavemet gerektiren uygulamalarda tercih edilirler.

Metakrilat yapıştırıcılar, hızlı kürlene özelliklerine sahiptir. Genellikle kısa bir zaman diliminde sertleşirler ve kullanıma hazır hale gelirler. Bu, üretim süreçlerinde verimliliği artırır. Metakrilat bazlı yapıştırıcılar, otomotiv, havacılık, denizcilik, inşaat ve genel montaj gibi birçok endüstride kullanılan çok yönlü yapıştırıcılardır. Yüksek yapışma mukavemeti, dayanıklılık, esneklik ve hızlı kürlene gibi avantajlarıyla tanınırlar.

Perçinle birleştirme iki veya daha fazla parçanın birleştirilmesi için kullanılan bir diğer yöntemdir. Perçin, iki parça arasında yerleştirilir ve uygulanan kuvvetle genişler, böylece parçaları birbirine sıkıca tutar. Bu işlem çelik, alüminyum, plastik, ahşap ve diğer birçok malzeme için kullanılan bir yöntemdir.

Perçinlerin farklı tasarım ve uygulamalar için çeşitli tipleri bulunmaktadır. Çekme çubuğu olan standart perçinlerden olan pop perçinler; metal veya plastik malzemelerin birleştirilmesinde çokça kullanılır. Oyuk perçinler; düz yüzeylere uygulanan ve daha

düşük bir profil oluşturan perçinlerdir. Yanan perçinler, plastik ve ahşap gibi yanıcı malzemelerin birleştirilmesinde kullanılır.

Perçinle birleştirmenin en avantajlı yönü hızlı ve kolay kurulumunun olmasıdır. Yüzey hazırlığı gerektirmez, yapıştırıcı ve kaynak gibi ek malzemeye ihtiyaç duymaz. Fakat birleşecek malzemenin kalınlığı fazla ise uygulama kullanılamaz. En dezavantajlı yönü ise yapısal bütünlüğü bozduğu için çentik etkisi oluşturabilir ve istenilen mukavemet sağlanamayabilir.

1.4 Hipotez

Bu tez çalışmasında elektrikli araçlarda kullanılan batarya taşıyıcılarda daha önce denenmemiş alüminyum ve karbon elyaf takviyeli kompozitten oluşan hibrit yapı kullanılacak ve çarpışma performansı açısından optimum tasarım elde edilmeye çalışılacaktır. Bu tarz hibrit yapıların farklı uygulamaları olsa dahi batarya kutusunda ilk defa kullanılacaktır. Batarya taşıyıcılara özel standartların henüz oluşturulmamasından dolayı da standardın oluşturulmasında yol gösterecek bir çalışma olacaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Tez çalışmasına referans olarak kullanılacak batarya taşıyıcının belirlenmesi ile başlanmıştır. Yeşilova Holding'in paydaş olarak dahil olduğu Avrupa projesi olan Horizon 2020 Levis Projesi kapsamında kullanılan batarya taşıyıcısı ve burada geliştirilen profiller kullanılmıştır. Geliştirme süreci profillerin üretilmesiyle başlanmıştır.

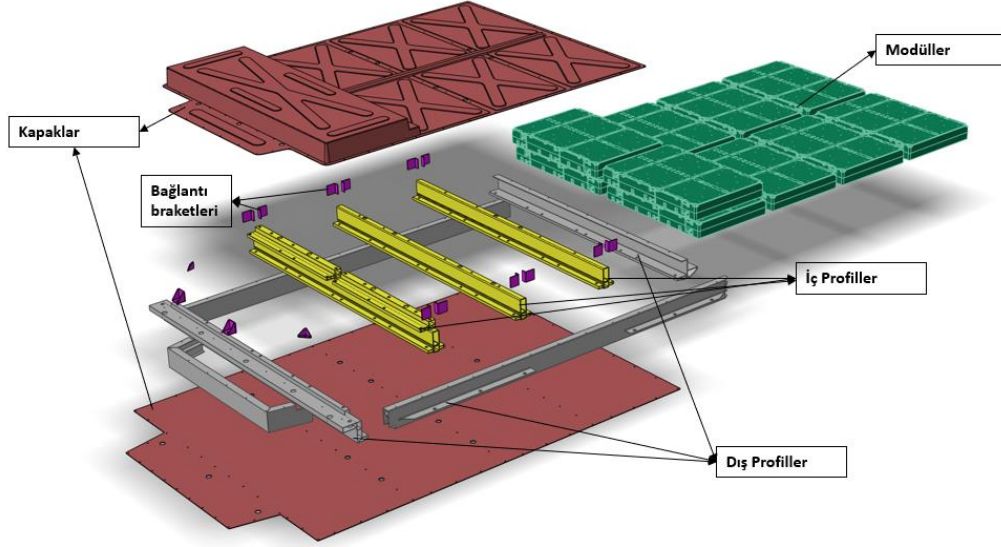
Profiller Cansan Alüminyum da üretildikten sonra malzemelerin karakteristik özelliklerini belirlenmiştir. Hibrit yapıyı oluşturan alüminyum ekstrüzyon profilleri ve termoplastik matrisli karbon elyaf takviyeli kompozitin üzerinden numuneler hazırlanmıştır. Bu numunelerin çekme deneyleri yapılarak mekanik özellikleri belirlenmiştir. Sonrasında malzeme özellikleriyle Sonlu elemanlar yazılım programı olan HyperWorks programında kesit optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

2.1 Batarya Yan Taşıyıcı Profilinin Belirlenmesi

Batarya taşıyıcılarda seri üretime uygun olduğu için, maliyet düşük ve geri dönüşümü %99 oranlarında olduğu için alüminyum ekstrüzyon parçalar tercih edilmektedir. Bu çalışmada gerçekçi bir tasarım üzerinden karşılaştırmalı bir çalışma yapmak adına ilk referans bir batarya taşıyıcı belirlenmiştir. Bu taşıyıcıyı alüminyum ekstrüzyon olarak tasarlanmaya karar verilmiştir. Ekstrüzyona uygun kesit en dayanıklı olacak şekilde tasarlanmıştır. En dayanıklı olanı bulmak için üzerine gelen yükler ISO 6469_1 standartından elde edilmiştir. Kesitle ilgili en dayanıklı tasarımı belirlerken öncelikle tecrübi, sezgisel modeller oluşturularak bu kesit tasarımlarındaki profiller standarda uygun yük şartlarında sonlu elemanlar programı ile analiz edilmiştir.

Birçok batarya taşıyıcının gizlilikten dolayı üç boyutlu geometrik datasına ulaşamadığımız ya da tez için kullanamadığımız için Avrupa Birliği Levis projesi kapsamında kullanılan data üzerinden batarya taşıyıcı analizler yapılmıştır. Bu proje kapsamında geliştirilen ve sonrasında üretilen datalar kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Proje kapsamında bir referans tasarım belirlenmiş ve bu çelikten üretilmiş

referans batarya taşıyıcısının geliştirilmesi yapılmıştır. Böylece karşılaştırılmalı bir çalışma yapılması sağlanmıştır.



Şekil 2.1 : Seçilen batarya paketi.

Bu data üzerinden referans geometrinin analizleri ve sonrasında nihai tasarım ISO 6469_1 standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Standardın yan duvarla ilgili direkt ilgili olarak ezme ve PSD verisinin kullanıldığı titreşim analizi vardır. PSD analizi için de datanın bütününe ihtiyaç vardır. Ezme analizi için ise datanın bir kısmını kullanarak dayanıklılığını analiz etmek mümkündür. Çünkü bu standart batarya sistemine uygulanacak testler olarak tasarlanmıştır. Bu sebeple içerisindeki tüm komponentlerin de modellenmesi gerekmektedir. Sonlu elemanlar analiz çalışmaları bölümünde sistem bazında analizlere ve yan duvara gelen yüklerin sonuçlarına yer verilmiştir.

Çarpışma performansını ölçmek için optimum tasarımın, ISO 6469-1 standartlarına uygun olacak şekilde kontrolü sağlanmıştır. Bunun için Şekil 2.2'deki gibi bir parça bataryanın ilgili kısmına yandan ezdirilmiştir.



Şekil 2.2 : Batarya taşıyıcısına uygulanacak yükün çenesi.

Optimum tasarım belirlendikten sonra üretimi ekstrüzyon prosesi ile gerçekleştirilmiştir. Ekstrüzyon prosesi, alüminyum alaşımından oluşan biyetin, Şekil 2.3'te gösterildiği

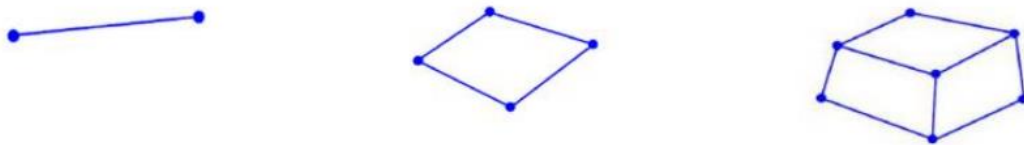
Sonlu elemanlar yönteminde modellenecek tasarım temel olarak aşağıdaki matris formuna dönüştürülür.

$$[K]. [D] = [R] \quad (2.1)$$

Burada $[D]$ büyüklük alanının düğüm noktalarındaki bilinmeyen değerleri temsil eden vektör, $[R]$ bilinen yük vektörü ve $[K]$ ise bilinen sabitler matrisidir. Daha basite indirgersek R sınır şartlarını (dışarıdan etkiyen yükler vs.), K sistemin yapısını temsil eder (katı, akışkan, gaz vs. özellikleri), D ise düğüm noktaları üzerinde elde edilmeye çalışılan değerlerdir. (gerilme, kuvvet vs) Buradan anlaşılacağı üzere D matrisinin bulunabilmesi için sistemi temsil eden büyüklüklerin verilmesi (K matrisi) ayrıca dışarıdan etkiyen sınır şartlarının da bilinmesi gereklidir. (R matrisi) [21]

Sonlu elemanlar metodunda modelleme analizini gerçekleştirmek istediğiniz problemlerin sayısal çözümlerinin yapılabilmesi için ayrıklaştırılmalıdır. Örneğin, detaylı bir montaj modelinde, yapısal bir problem ile ilgilendiğimizi düşünelim. Fiziksel modelleri bütünüyle sonlu elemanlar analizine taşımamız çok zor ve karmaşık olacağından öncelikle geometrik model üzerinden, incelenmek istenmeyen veya sonuçlara daha az etkisi olduğu düşünülen parçalar modelden çıkartılarak sadeleştirme yapılmalıdır. Ardından parçalara ait ağ yapısı oluşturulmalıdır. Aynı zamanda, modeldeki civata, kaynak, perçin gibi bağlantı elemanlarının yerine bir boyutlu modeller, ağırlıklar yerine de noktasal kütleler tanımlanarak problem daha sade bir hale getirilebilir. Model ayrıklaştırılmasının temeli ise parçalar üzerinde ağ yapılarının oluşturulmasıdır. Ağ yapısı eleman ve düğüm noktalarından oluşmaktadır. Düğüm noktaları arasındaki boşluklar da elemanlar olarak tanımlanmaktadır. [22]

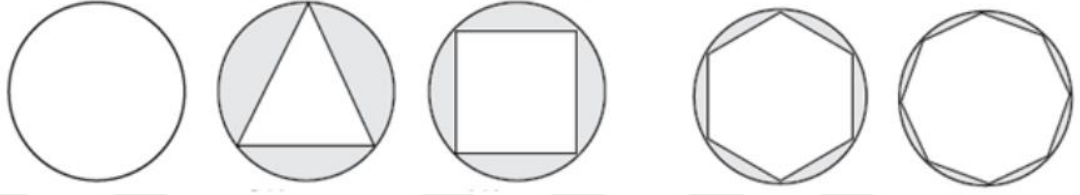
Genel bir ifade ile, sonlu elemanlar analizinde, problem çözümleri düğüm noktalarında gerçekleştirilmekte ve interpolasyon yardımıyla elemanlar üzerindeki sonuçlar elde edilmektedir. Sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan elemanlar, bir boyutlu çizgisel elemanlar, 2 boyutlu kabuk elemanlar ve 3 boyutlu katı elemanlar olarak tanımlanabilir.



Şekil 2.5 : Bir boyutlu, iki boyutlu ve üç boyutlu sonlu eleman örnekleri. [23]

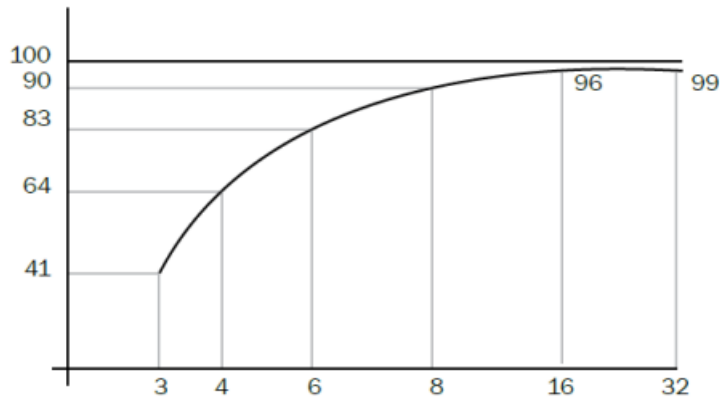
2.2.1 Uygun ağ yapısının oluşturulması

Sonlu elemanlar analizinde oluşturulan ağ yapısı, analiz sonuçlarını doğrudan etkilemektedir. Temel amaç, geometriyi olabildiğince iyi bir şekilde temsil edebilecek bir ağ yapısının oluşturulmasıdır. Şekil 2.6’da bir daire ve bu yapıyı temsil edecek farklı sayılardaki çizgiler ele alınmıştır. Burada çizgiler sonlu elemanlar olarak düşünülebilir. Resimlerden görüldüğü gibi çizgi sayısı arttıkça daire gerçeğe daha yakın olarak modellenebilmekte ve hata oranı düşmektedir.



Şekil 2.6 : Bir daireyi temsil eden farklı sayıdaki çizgiler. [23]

Verilen örnekte daire alanı 100 birimdir. 3 çizgi kullanıldığında bu alan 41, 4 çizgi kullanıldığında ise 64 birim olarak hesaplanmaktadır. Çizgi sayısı arttıkça gerçek değere yakınlık artacaktır. Bu durumda daire şeklinin mümkün olan en fazla sayıda çizgi ile temsil edilmesinin doğru bir yaklaşım olduğu düşünülebilir, ancak artan eleman sayısının çözüm süresini doğrudan etkilediği düşünülürse bu yaklaşım çok da uygun değildir. Şekil 2.7’de yer alan grafikte artan çizgi sayısına bağlı olarak hesaplanan alan değerleri görülmektedir. Örneğin; dairenin 8 çizgi ile temsil edildiği durumda gerçek sonuca %90 oranında bir yakınsama olduğu belirlenmiştir.



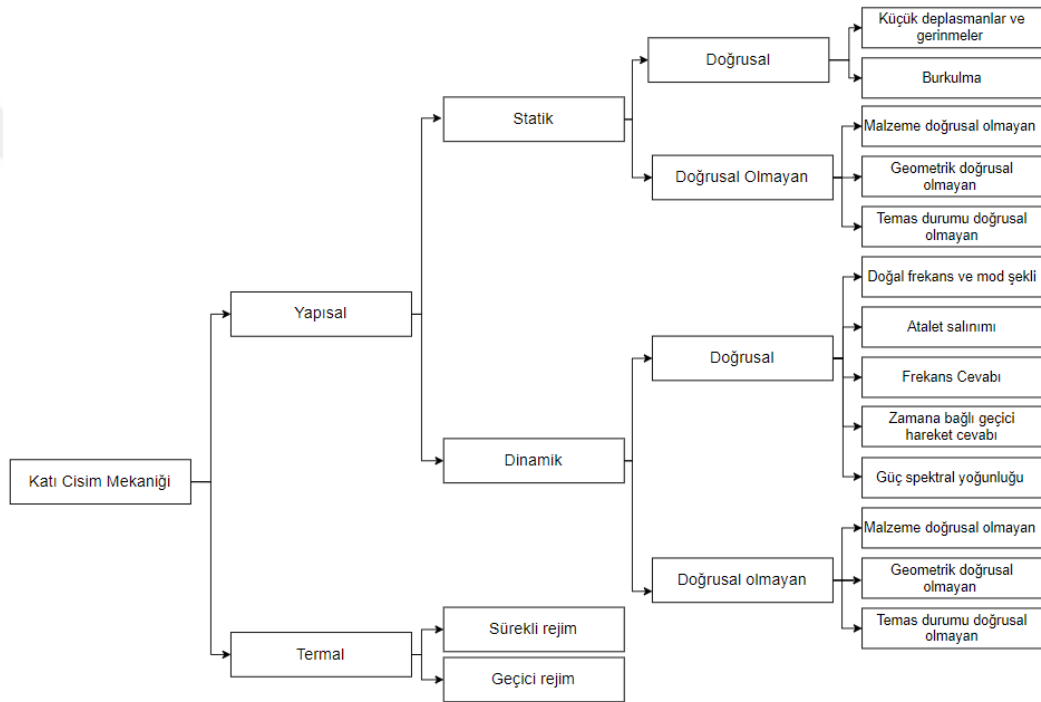
Şekil 2.7 : Çizgi sayısına bağlı olarak hesaplanan daire alanının değişimi. [23]

Sonlu elemanlar metodunun bir yaklaşım olduğu düşünülürse, gerçekleştirilen analizin hassasiyeti ve çözüm için harcanacak ekstra zaman da dikkate alınarak bu oranın uygun bir yaklaşım olduğuna kanaat getirilebilir. Eleman sayısı ile kabul edilebilecek

doğruluk arasında bir denge kurulmalı, buna uygun olarak optimum bir ağ yapısı seçilmelidir. [22]

2.2.2 Sonlu elemanlar metodu yöntemlerinin sınıflandırılması

Hareket halindeki bir sistemi temsil eden adi diferansiyel denklemler lineer ise bu problemler analitik olarak çözülebilmektedir. Ancak gerçek fiziksel olaylar daima lineer olmayan durumlardır. Lineer olmayan denklem sistemlerinin çözümü için nümerik yöntemler kullanılmaktadır. Bir analize başlamadan önce hangi yöntemin kullanılacağı belirlenmelidir. Bunun için Şekil 2.8’de verilen şemadan yararlanılabilir.



Şekil 2.8 : Katı cisimler mekaniği mühendislik problemleri.

Doğrusal dinamik analizleri gerçekleştirirken malzemenin sadece elastik bölgesi kullanılır. Doğrusal olmayan statik analizler yapılırken malzemenin plastik bölgesi de kullanılmaktadır. ISO 6469_1 de belirtilen ezme testinin analizi yapılırken batarya taşıyıcı yan duvarı üzerinde plastik gerinme oluşabileceği öngörülmektedir. Bu demek oluyor ki plastik bölgeyi temsil edecek bir grafik ya da bazı ampirik ifadeler elde edilen bir grafik kullanılmalıdır. Bu sebeple akma gerilmesi, çekme gerilmesi ve uzama değerlerine göre Ramberg Osgood ampirik denklemi (Denklem 2.2) kullanılarak grafiğin plastik bölgesi elde edilmiştir.

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + 0.002 \left(\frac{\sigma}{S_{ty}} \right)^{1/n} \quad (2.2)$$

Malzemenin gerinme sertleşmesi katsayısı “n” Denklem 2.3’ten hesaplanmaktadır. Denklemde yer alan “ S_{tu} ” çekme gerilmesini “ ε_f ” kopma uzamasını, σ gerilmeyi, ε uzamayı ve S_{ty} akma gerilesini temsil etmektedir.

$$n = \frac{\log (S_{tu}/S_{ty})}{\log (\varepsilon_f/0.002)} \quad (2.3)$$

Bu formülleri kullanarak hesaplama araçları oluşturulmuştur ve internetten erişimi kolaydır. Çalışma kapsamında mechanicalc hesaplama aracı kullanılarak plastik bölgenin grafiği çizdirilmiş ve türetilen değerler malzeme kartına tablo halinde işlenmiştir. [33]

Alüminyum ekstrüzyon malzemesi için TS 755-2 standartlarında yer alan minimum gerilme değerleri kullanılmıştır. Malzemelere ait mekanik özellikler Çizelge 2.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 2.1 : Malzeme mekanik özellikleri.

Malzeme	Yoğunluk [kg/m ³]	Elastisite Modülü [MPa]	Akma Gerilmesi [MPa]	Çekme Gerilmesi [MPa]	Uzama [%]
AA6063- T6	2700	70000	170	215	8
AA6082- T6	2700	70000	250	290	8

Bu değerler standarttaki değerlerdir. Çalışma kapsamında üretilen profiller üzerinden çekme testleri yapılmıştır. Bu testler en az standarttaki değerleri karşılamak zorundadır. Ramberg Osgood ampirik denkleminde çekme testinden elde edilen değerler kullanılmıştır.

2.3 Ekstrüzyon Profilinden Çekme Testlerinde Kullanılacak Numunelerin

Hazırlanması

Ekstrüzyon işlemi sonrasında elde edilen profiller üzerinden çekme çubuğu numuneleri çıkarılarak test edilmiştir. Bu test, profilin ısıtılma süreci tamamlandıktan sonra yapılan bir testtir. Ayrıca her biyet değiştiğinde yine çekme çubukları hazırlanır

ve profilin ilk çıktığı ve son çıktığı alan üzerinden bu çekme çubukları tekrar çıkarılır kontrolleri sağlanır.

Bu sayede hem ekstrüzyon prosesini kontrol edilmiş hem de malzeme tanınmıştır. Alüminyum 6082 T6 malzemedan üretilmiş profiller üzerinden çıkarılan çekme çubuğu numunelerine 250kN AG-IS Shimatzu çekme cihazında TS EN ISO 6892-1 standartına göre çekme testi yapılmıştır. Test 12,6 mm/dk çene hızıyla çekilerek ve dokunmatik ekstansometre kullanılarak yapılmıştır. TS EN 755-2 standardı alüminyum ve alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri ile ilgili minimum olması gereken dayanımlarının kabul edildiği standarttır. Şekil 2.9 da bu standarta göre 3mm kalınlığındaki kapalı (hollow) olan bir profilin akma dayanımı en az 250 MPa, çekme dayanımı 290 MPa olarak belirlenmiştir.

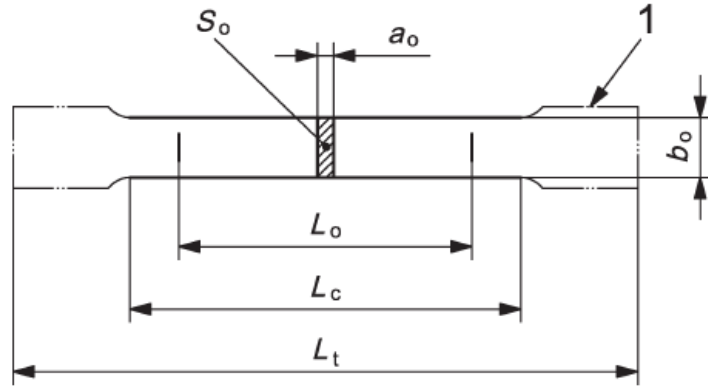
Extruded profile ^d								
Temper	Wall thickness <i>t</i> mm	R_m MPa		$R_{p0.2}$ MPa		A	$A_{50\text{ mm}}$	Hardness Typical value HBW
		min.	max.	min.	max.	%	%	
		min.	min.	min.	min.			
O, H111	all	-	160	-	110	14	12	35
T4 ^c	≤ 25	205	-	110	-	14	12	70
<i>Open profile</i> T5	≤ 5	270	-	230	-	8	6	90
<i>Open profile</i> T6 ^c	≤ 5	290	-	250	-	8	6	95
	$5 < t \leq 25$	310	-	260	-	10	8	95
<i>Hollow profile</i> T5	≤ 5	270	-	230	-	8	6	90
<i>Hollow profile</i> T6 ^c	≤ 5	290	-	250	-	8	6	95
	$5 < t \leq 15$	310	-	260	-	10	8	95

Şekil 2.9 : 6082 T6 Ekstrüzyon profilin TS EN 755-2 standardındaki mukavemet değerleri

Bu çalışma için tasarlanan profil Cansan Alüminyum tarafından üretilmiştir. Ekstrüzyon prosesindeki yetkinlikleri sayesinde testler sonucunda minimum değerlerin üstünde dayanım değerleri elde edilmiştir.



Şekil 2.10 : Profilden çıkarılan çekme çubukları.



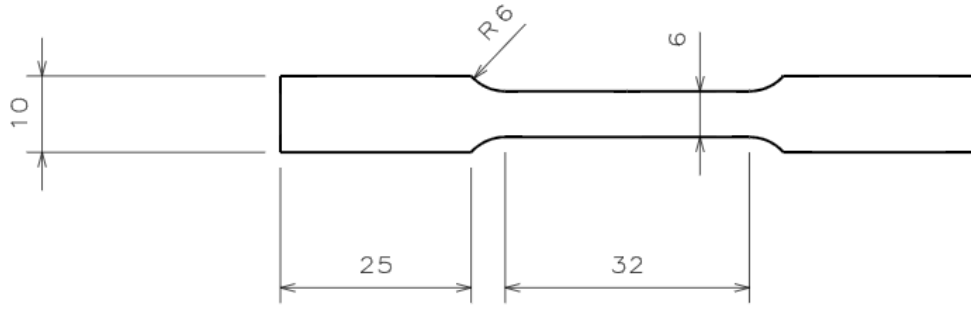
Şekil 2.11 : Çekme çubuğu boyutları.

Çekme çubukları şekil 2.10 da görüldüğü gibi profillerin üzerinden cnc tezgahlarda standartta uygun çıkarılmıştır. Doğru uzama değerini test sonuçlarından elde etmek amacıyla boyutlarının denklem 2.4 ile kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada da bu kontroller yapılarak çekme çubuğu hazırlanmıştır. Burada L_o ilk boy, k ampirik ifade, S_o kesit alanını temsil etmektedir. Şekil 2.11 de standarttaki boyların gösterimi bulunmaktadır. Bu değerlerle şekil 2.12 deki ölçülere sahip çekme çubukları çıkartılmıştır.

$$L_o = k S_o$$

$$k_{maksimum} = 5,65 \text{ m}$$

(2.4)



Şekil 2.12 : Çekme testlerinde kullanılacak numunelerin standart ölçüleri.

Özetle numuneler 250kN AG-IS Shimatzu çekme cihazında TS EN ISO 6892-1 standartına uygun şekilde test edilmiştir.

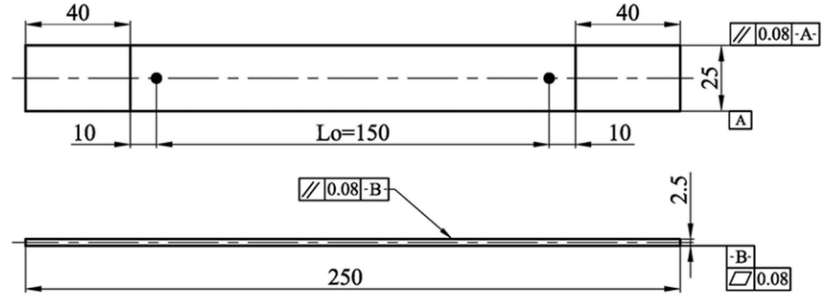
2.4 Kompozit Malzemelerin Elde Edilmesi, Çekme Testinde Kullanılacak Numunelerin Hazırlanması

Karbon fiber ve cam elyaf dokuma malzemeleri elde edilmiştir. Bu malzemelerin mekanik özelliklerini test edebilmek için numuneler hazırlanmış ve çekme testi yapılmıştır.

Karbon fiber kompozit plakalar 500 mm x 500 mm boyutlarında 2 mm kalınlığında fiber epoksi prepreg yüksek sıcaklık ve basınç altında preslenerek kürlenmiştir. İki yüzeyi de aynı olup 12 katmandan ve 0°, 90° yönlerinde serilmiştir. Ağırlığına göre lif içeriği, %60, hacimce lif içeriği %50 oranındadır.

Cam elyaf dokuması ise e-glass filament elyaflardan dokunmuş özellikle ileri kompozit imalatlarında kullanılan, epoksi uyumlu, çok kolay emprenye olan, yüksek nitelikli dokuma kumaştır. Metrekaredeki ağırlığı 390 gr ve dokuma tipi twill 2/2 olacak şekilde üretilmiştir.

ASTM D3039 spesifikasyonu polimer matris kompozit çekme testi için uygun bir tercihtir. D 3039, çekme dayanımı, modül ve Poisson oranı için tasarıma izin verilen değerlerin belirlenmesi için kullanılan bir standarttır. Aynı zamanda kalite kontrol aracı olarak kullanılır. Bu standartta uygun olacak şekilde 250 x 25 mm boyutlarında Şekil 2.13'te gösterildiği gibi hem karbon fiber hem de cam elyaf plakalardan numuneler hazırlanmıştır.



Şekil 2.13 : ASTM D3039 spesifikasyonuna göre hazırlanacak numune ölçüleri. [24]

Bu numuneler çekme test cihazında çekilecek şekilde aşağıdaki görüldüğü üzere hazır hale getirilmiştir. Her bir kompozit malzemeden 0°, 90° yönlerinde 10'ar adet olmak üzere toplamda 40 adet numune hazırlanmıştır. Hem prosesi kontrol etmek hem de malzemeyi tanımak için bu testler önem arz etmektedir.

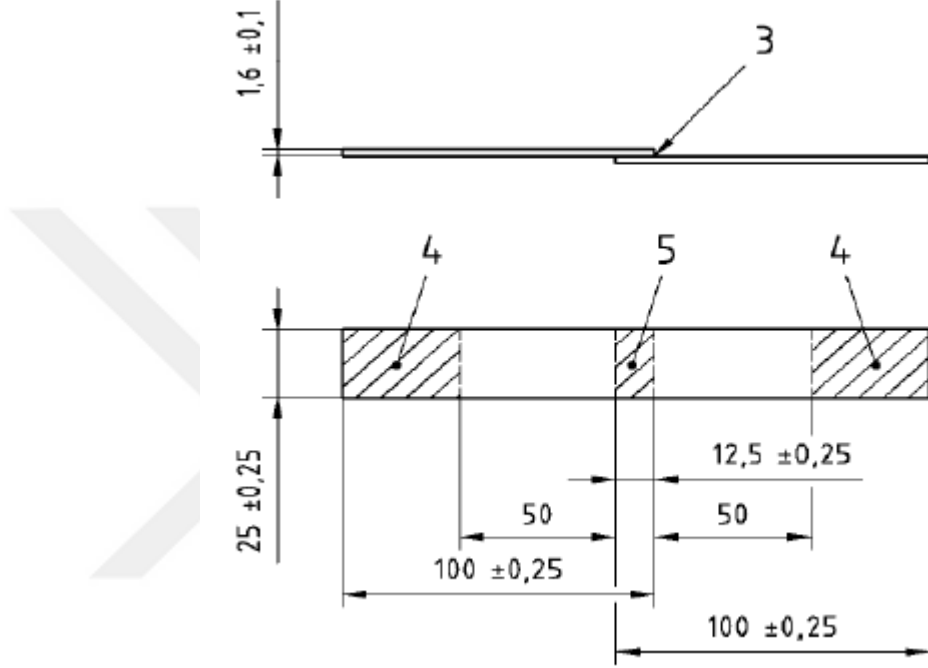
Çekme testleri ASTM D3039'a göre 2mm/dakika hızda gerçekleştirilmiştir. Görüntülü ekstansometre kullanılmıştır. Numunelerin çenelerle temas ettiği yüzeyin en az 40 mm olmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 2.14 : ASTM D3039 göre 90° yönünde hazırlanan numuneler.

2.5 Hibrit Yapı İçin Yapıştırma Karakterizasyon Testlerinde Kullanılacak Numunelerin Hazırlanması

EN 1465, ISO 9142 ve ISO 10365 standartlarına göre, yapıştırma kesme testi ile yapıştırma işlem kalitesi ve uygulanan yapıştırıcının performans değerlendirilmesi yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında alüminyum profil ve karbon fiber plakadan standarttaki boyutlarda numuneler çıkarılmış ve yapıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.15 : Adhesiv karakterizasyonu için dikkat edilmesi gereken ölçüler. [25]

Bu ölçülere uygun olacak şekilde Şekil 2.16'daki gibi 12 adet alüminyum ve 12 adet kompozit numuneler hazırlanmıştır. 4 farklı yapıştırma metodu inceleneceği için her bir metot için üçer numune hazırlanmıştır.

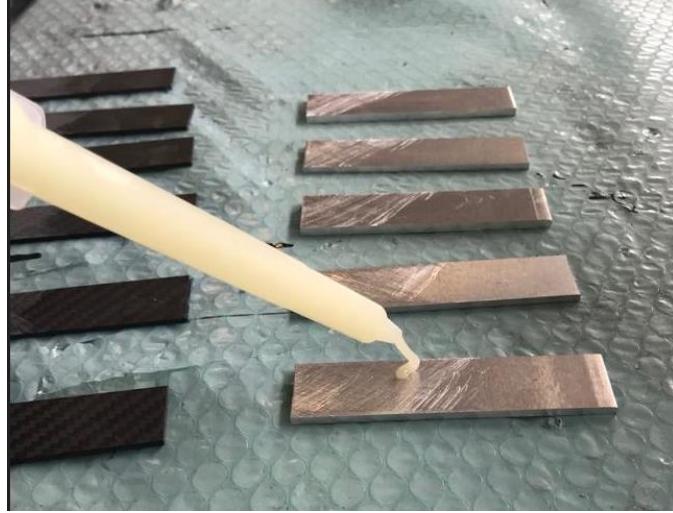


Şekil 2.16 : Yapıştırma karakterizasyonu için üretilen numuneler.

Sikaflex 268 PowerCure yapıştırıcısı, Plexus MA300 yapıştırıcısı ve perçin ile yapıştırma metodunu alüminyum plaka üstte ve aşağıda olmak üzere iki farklı birleştirme deneyerek toplanda dört yöntem karşılaştırılmıştır.

Sikaflex 268 PowerCure ve Plexus MA300 yapıştırıcısı için yapıştırma yüzeylerinden toz, kir ve yağı arındırmak için temiz bir bezle bir temizleyici kullanarak yüzeyleri tek yönde temizlenmiştir. Temizlenen yüzeyin kuruması için beş dakika beklenmiştir. Sonrasında yapıştırma yüzeyleri p60 zımpara ile çapraz ve tek yönlü aşındırılmıştır. Sonrasında tekrar temizlenmiştir. Sikaflex kullanılacak numunelerde yapışacak yüzeyi yapıştırıcıya hazırlamak için "sika primer- 206g+p" kullanılmıştır. Bu primerin uygulaması emdirilmiş bir sünger ile yapılmıştır.

Şekil 2.17'de görüldüğü üzere en az 12,5mm olan kısmına yapıştırıcılar yeteri miktarda sıkılıp kürlenmeye bırakılmıştır.



Şekil 2.17 : Yapıştırma karakterizasyonu için üretilen numunelerine Plexus M300 yapıştırıcısı sürülürken ki görüntüsü.



Şekil 2.18 : Yapıştırma karakterizasyonu için üretilen numunelere Sikaflex 268 PowerCure yapıştırıcısı sürülürken ki görüntüsü.

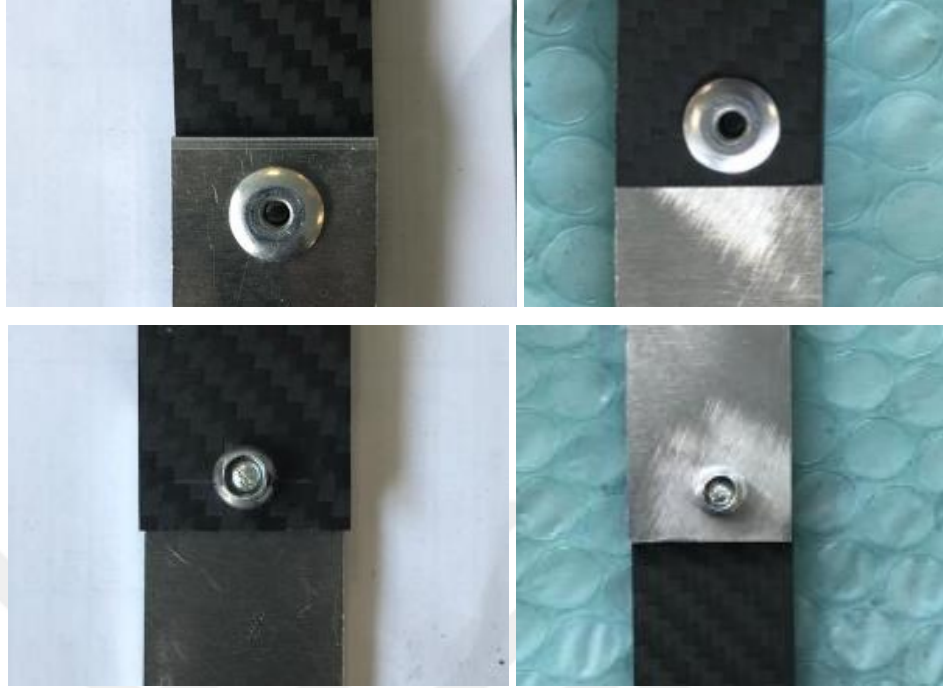
Yapıştırma metotları dışında perçinle birleştirme metodu için Şekil 2.19'daki 5,9 mm çapa sahip perçin ve delinmiş perçin yuvası kullanılmıştır. Aynı delme işlemi alüminyum kısım içinde uygulanmıştır. Sonrasında perçin çakma makinası yardımıyla iki parça birbirine kilitlenmıştır.



Şekil 2.19 : Perçin ve perçin yuvası açılmış kompozit malzeme.

Perçin yapısı gereği Şekil 2.20'de görüldüğü gibi iki farklı bağlantı yapılmaya müsaittir. Kompozit malzemenin yukarıda olduğu çalışmalarda perçinin yerleştirme

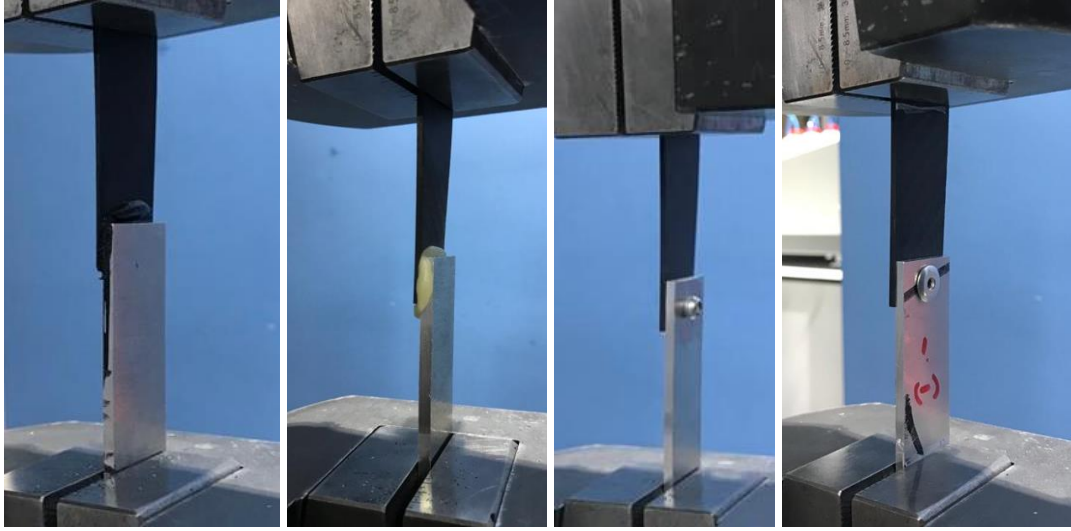
çekline göre kompozite uygulanan çentik etkisini incelemek amacıyla iki farklı yöntemde uygun numuneler hazırlanmıştır.



Şekil 2.20 : Perçinle birleştirilmiş kompozit ve alüminyumun perçinin yönüne göre iki farklı birleştirme durumu.

Özetle yapıştırma karakterizasyon testleri için üç farklı yöntem denenmiştir. İki tanesi yapıştırma yöntemi diğeri de mekanik birleştirme denemeleridir. Mekanik birleştirme denemeleri için perçinin iki tarafı da denenmiştir. Her bir yöntem için üç adet numune hazırlanmıştır.

Test için numuneler test cihazına Şekil 2.21’de gösterildiği gibi yerleştirilmiş ve sabitlenmiştir. Çekme testi EN 1465 standartına uygun olacak şekilde yapılmıştır. Çekme hızı için aynı standart takip edilmiştir. Test (65 ± 20) saniye içerisinde kırılma gerçekleşecek şekilde yapılmıştır. Sonucu değerlendirmek için kırılma yüzeyinden görsel incelenmiştir.

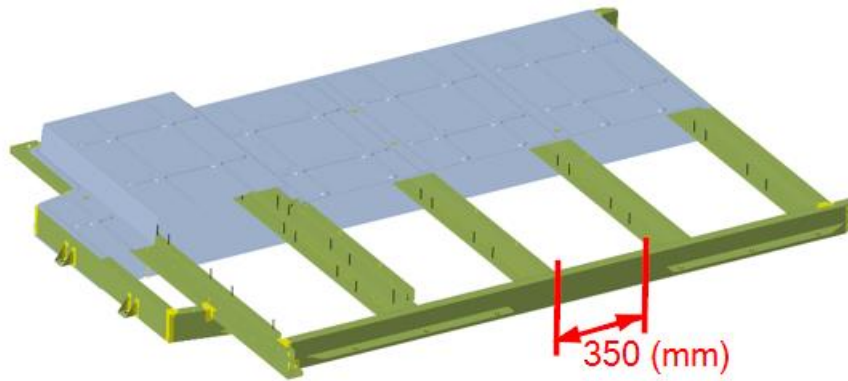


Şekil 2.21 : Yapıştırma performans testleri için uygulanan dört yöntemin çekme testi.

Yapıştırma testleri hem yapıştırıcının doğru uygulanıp uygulanmadığını hem de bu dört farklı yöntemden hangisinin bu çalışma için en uygun olduğunu belirlemek için yapılmıştır.

2.6 Üç Nokta Eğme Testi İçin Yöntemin Belirlenmesi

Test edilecek profilin, üç nokta eğme testini yaparken batarya taşıyıcının ISO 6469_1'deki test halindeki gerçek sınır şartı temsil edilmeye çalışılmıştır. Test 250 kN kapasiteli AG-IS Shimadzu marka çekme test cihazında gerçekleştirilmiştir. Aparatlar, standarta ve sınır şartlarına uygun olacak şekilde kurulmuştur. Üstteki ezme plakası 75mm yarı çaplı olacak şekilde ürettirilmiştir. Alt kısımdaki dayama uzunluğu ise 350 mm olacak şekilde ayarlanmıştır. 350 mm olan değer iki iç profilin arasındaki mesafe olarak kabul edilmiştir. Şekil 2.22'de bu mesafe gösterilmektedir.



Şekil 2.22 : Üç nokta eğme testinin alt dayama plakaları için yararlanılan ölçü.

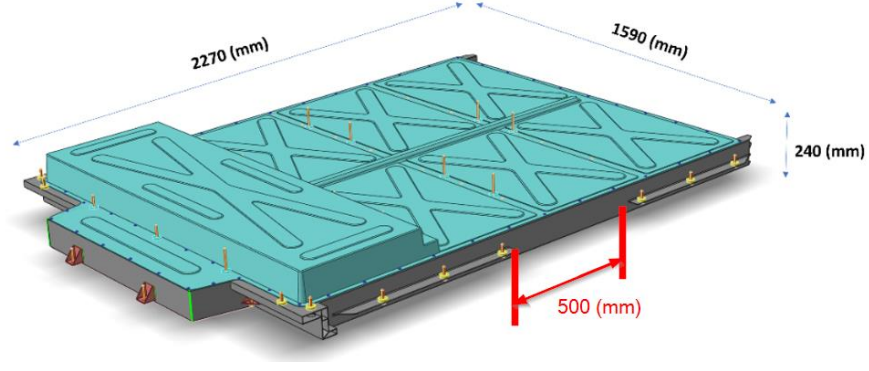
Test için ISO 6469 standardı uygulanacak yük olarak 100 -0/+5 kN yüküyle ve 3 dakikadan kısa olmak suretiyle bu yüke çıkılması gerektiğini söylemektedir. Bu yükteyken de en az 100ms en fazla da 10 s yük uygulanmaktadır. Standart 100 kN yükü belirlerken hem üst kapak hem de alt kapak takılı olarak bütün bataryaya uygulanacak yük olarak 100 kN değerini belirlemiştir. Bu çalışma kapsamında yapılacak üç nokta eğme testi için aynı sınır şartlarında simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Sanal ortamda sadece profilin kaç kN yüke kadar plastik deformasyon oluşmadan yüklendiği hesaplanmış bu değer ortalama 50 kN deplasmanı da 15 mm olarak hesaplanmıştır. Bu bilgiler ışığında üst çenenin ilerleme hızı dakikada 5 mm olarak belirlenmiştir. Test elle durdurulana kadar devam etmiş canlı olarak oluşan kuvvet takip edilmiş ve elde edilen veriler anlamsız hale geldiğinde durdurulmuştur.



Şekil 2.23: Üç nokta eğme testinden bir görüntü.

2.7 Üç Nokta Eğme Testi İçin Ekstrüzyon ve Karbon Fiber Plakadan Oluşan Hibrit Yapının Oluşturulması

Batarya taşıyıcısını tüm komponentlerle test etmek çok maliyetli olmaktadır. Bu çalışmada kullanılan batarya taşıyıcısının uzunlukları Şekil 2.24'deki gibidir. Bu bataryanın yan taşıyıcı duvarının en zayıf kısmı ise kırmızı olarak ölçülendirilen 500 mm olan kısmıdır.



Şekil 2.24 : Yan duvarın en zayıf kısmı ve iç profillerle olan uzaklık.

Üç nokta eğilme testi ve analizi yapılacak geometri şekil 2.25'te görüldüğü gibi kesilmiştir. Bu profil bütün olarak üretilen yan profiller üzerinden kesilerek elde edilmiştir.



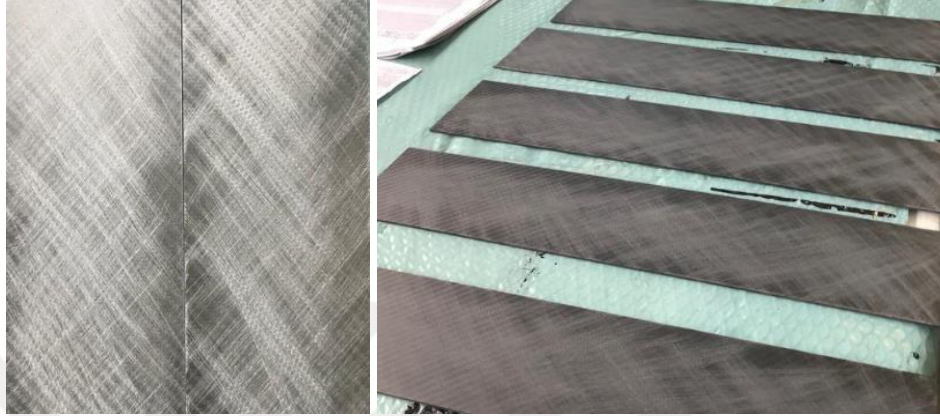
Şekil 2.25 : Üç nokta eğilme testi ve analizi yapılacak profil.

Test numuneleri sadece alüminyumdan oluşan profiller ve karbon fiber epoksi plakadan oluşan hibrit yapı ile gerçekleştirilmiştir. Bu hibrit yapının bir araya getirilmesi için Sikaflex 268 yapıştırıcısı kullanılmıştır.

Sikaflex 268 PowerCure yapıştırıcısı için her bir numune için yapıştırma yüzeylerinde temizleyici kullanarak temizlenmiştir. Yapıştırma yüzeyleri p60 zımpara ile çapraz ve tek yönlü aşındırılmıştır. Şekil 2.20'de zımparalanan yüzey gösterilmiştir. Sikaflex yapıştırıcısı kalın olacağı için yapıştırıcının arada tutunabileceği alan oluşturulmuştur. Bunun için belli aralıklarda 3M VHB TAPE GPH 160 15 x 10 mm durdurucu bantlar Şekil 2.27'deki gibi profilin üzerine yapıştırılmıştır. Numunelerin yapışacak yüzeyini hazırlamak için "sika primer – 206g+p" kullanılmıştır. Bu primerin uygulaması emdirilmiş bir sünger ile yapılmıştır. Uygulama için kullanılan yapıştırıcı uç üçgen biçiminde kesilmiştir. Şekil 2.28'de gösterildiği gibi bu üçgenin kesit ölçülerini genişlik 6 mm, yükseklik 8 mm aralığındadır. Sonrasında uygulanan yapıştırıcı 6 ile 8 mm arasında yükseklik ve genişliğe sahip olacak şekilde 3 farklı şerit halinde yüzeye

uygulanmıştır. Şekil 2.29’da uygulanan yapıştırıcının görüntüsü bulunmaktadır. Sonrasında pistonlar yardımıyla karbon fiber plaka ve alüminyum eşit miktarda basınca maruz bırakılmış ve kûrlenme sürecine bırakılmıştır.

İşlem sonrasında 1mm kalınlığında sikaflex yapıştırıcı 2mm kalınlığında karbon fiber olmak üzere toplamda 3mm alüminyum profilin kalınlığı artmıştır.



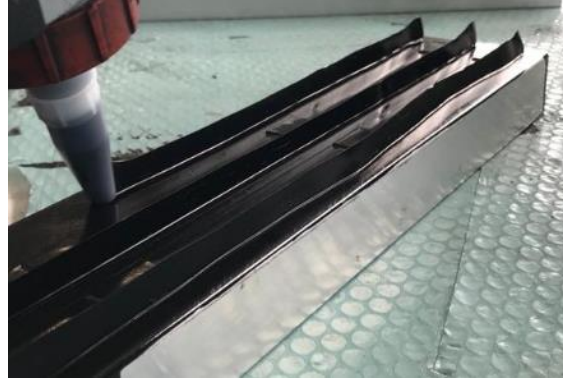
Şekil 2.26 : Zımparalanan yüzey.



Şekil 2.27 : Yapıştırıcının yüzeyde kalması için yükselti oluşturan bantların kullanılması.

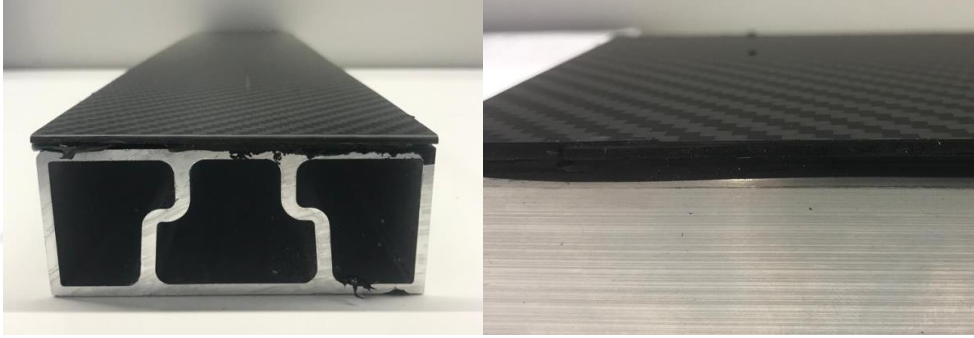


Şekil 2.28 : Üçgen biçiminde kesilmiş yapıştırıcı uç.



Şekil 2.29 : Sikaflex 268 yapıştırıcısını uygulama esnasında bir görüntüsü.

İşlemler bittikten sonra minimum kürlenme süreci altı saat olarak yazsa da numuneler test için bir hafta bekletilmiş ve yapıştırıcının stabilizasyonundan emin olunmuştur. Elde edilen son durumda Şekil 2.30'da görüldüğü gibi 1 mm kalınlığında yapıştırıcı oluşmuştur.

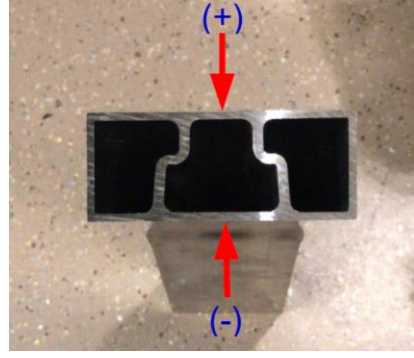


Şekil 2.30 : Hibrit yapının görünümü

Bu çalışmalar sonrasında üç nokta eğilme testi için 5 tane 500mm uzunluğunda alüminyum profil 5 tane de alüminyum profil üzerine karbon fiber yapıştırılmış hibrit profil hazırlanmıştır. Shimatzu AG-IS 250 kN çekme cihazında 5mm/dakika hızında basma uygulanarak testler gerçekleştirilmiştir.

Alüminyum profil iki farklı yönde ezme uygulayarak test edilmiştir. Profilin üst kısmı kompozitin yapıştırıldığı yöne bakacak şekilde ve tam tersi yönde testler gerçekleştirilmiştir. Kompozitin yapıştırıldığı yönden yapılan test pozitif yüzey testi olarak isimlendirilmiştir. Pozitif ve negatif yüzey testinin karıştırılmaması için Şekil 2.31'de detaylı gösterimi vardır.

Kompozitin yükün uygulandığı ezme plakasına temas ettiği yani kompozitin üstte olduğu ve profilin diğer yüzeyinde kaldığı yani kompozitin altta olduğu durum olmak üzere iki farklı şekilde hibrit yapının testleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.31 : Üç nokta eğilme testi için pozitif ve negatif yön.

2.8 Sonlu Elemanlarda Kullanılacak Modellerin Oluşturulması

Sonlu elemanlar programlarında ancak doğru bilgilerin girilmesiyle doğru sonuçlar elde edilebilir. Bir başka deyişle çöp giren çöp çıkar. Bu süreçte de ilk önce geometri temizliği ile başlar. Devamında ağ yapısını oluşturmak ve sınır şartlarını girerek analizi koşturmak ile sonuçlanır. Bu çalışma kapsamında alüminyum ve kompozit çekme çubukları, batarya taşıyıcı yan duvarının iç profillerle bağlı olduğu bir kısmı ve üç nokta eğme testinin sanal testleri için sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Modeller Altair Simsolid yazılımında ön değerlendirme için Optistruct çözücüsünde de detaylı inceleme yapılmak için iki farklı platformda oluşturulmuştur. HyperWorks 22.3 versiyonu kullanılarak analiz edilmiş ve analiz sonuçları görüntülenmiştir.

2.8.1 Alüminyum ve kompozit çekme analizlerinin modelleri

Lineer statik bölgede değil de plastik bölgede analiz yapacağımız için bazı kavramların iyi bilinmesi gerekmektedir. Plastik bölgeye geçtiğimiz zaman pekleşme eğrisi, deformasyon sertleşmesi denilen bir fenomen ortaya çıkmaktadır. Malzeme plastik deformasyona uğradığı için akma noktası değişir. Yükleme devam ediyor veya tekrardan yükleme oluyorsa akma noktası değiştiği için şekil değişimi farklı olur. Yan duvar profilinde tekrarlı yükleme olmasa da pekleşme eğrisinin doğru temsil edilmesi testteki deformasyonları doğru okumamız adına direkt etki edecektir. Eğer sanal testlerde bu deformasyonu doğru okuyamazsak ve yan duvar profilini iç yüzeyi batarya modülleri ile temas ederse yapılan çalışmalar tekrarlanmak zorunda olacaktır ve büyük bir maliyete sebep verecektir.

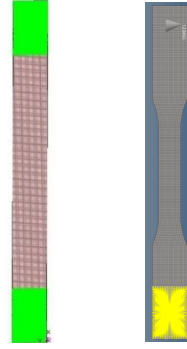
6082 T6 Ekstrüzyon profil için Ramberg Osgood denklemlerinden elde edilen eğri ve direkt çekme testinden elde edilen eğri kullanılmıştır. Bu eğriyle yapılan analizler gerçek çekme testi verileriyle karşılaştırılmıştır.

CFRP kompozit için OptiStruct çözücüsünde olan MAT 8 malzeme kartı ve PCOMPP property kartı kullanılmış ve 12 düzlem ayrı ayrı olarak yönelimlerine uygun bir şekilde modellenmiştir. Katmanların kalınlıkları ve özellikleri Şekil 2.32'deki gibi programa girilmiştir.

Name	Value
Solver Keyword:	MAT8
Name:	Composite_Abdullah
ID:	519
Color:	■
Include:	[Main Model]
Defined:	<input checked="" type="checkbox"/>
Card Image:	MAT8
User Comments:	Hide in Menu/Export
E1:	90000.0
E2:	7420.0
NU12:	0.35
G12:	4200.0
G1Z:	4200.0
G2Z:	2320.0
RHO:	1.44e-09
A1:	
A2:	
TREF:	
Xt:	1500.0
Xc:	750.0
Yt:	250.0
Yc:	500.0
S:	300.0
--	

Şekil 2.32 : Sonlu elemanlar için kullanılan kompozit malzeme modeli.

HyperMesh de testi yapılan EN AW 6082 alüminyumun çekme çubuğu ve CFRP kompozitin çekme çubuğu modellenmiş ve sınır şartları çekme test standartlarında olduğu gibi analizi yapılmıştır. Şekil 2.33'te görüldüğü üzere iki boyutlu kare (quad) ağ yapılarından oluşan modeller oluşturulmuştur.

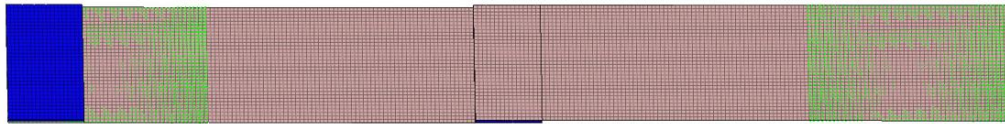


Şekil 2.33 : Malzeme modelini doğrulamak için alüminyum ve kompozit çekme testi çubuğunun sonlu elemanlar modeli.

2.8.2 Yapıştırma performansı için yapılan çekme testinin sonlu elemanlar modeli

Hibrit bir yapıyı modellemek için yola çıktığımızda yapıştırma elemanının nasıl davranış sergileyeceğini bilmek ve sonlu elemanlar metodu analiz yazılımlarında da doğru bir şekilde temsil etmek son derece kritik bir konudur.

Yapıştırma karakterizasyonu için yapılan çekme testinin simülasyonunu yapmak ve korelasyonunu sağlamak için aynı sınır şartlarında Şekil 2.34'te sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur.

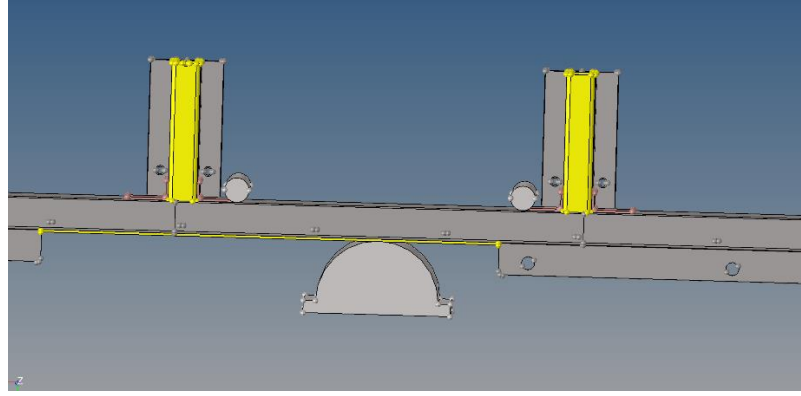


Şekil 2.34 : Yapıştırma karakterizasyon testinin sonlu elemanlar ile modellenmesi.

Ağ yapısı iki yapışkan hariç iki boyutlu dörtgen (quad) elemanlardan oluşmaktadır. Yapıştırıcı ise üç boyutlu hegz elemanlarla modellenmiştir. Yapıştırıcı Cohesive Zone Model (CZM) metodu kullanılarak oluşturulmuştur. HyperMesh'de malzeme kartı MCOHE ile oluşturulmuş. Özelliği ise PCOHE olarak tanımlanmıştır.

2.8.3 Profilin optimizasyonu için yapılan ezme analizlerinin modellenmesi

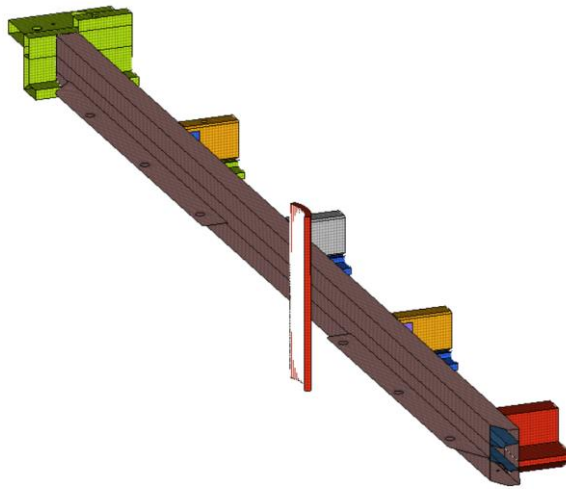
Geometri datası analiz yapılacak sınır şartlarına göre hazırlanmış ve mesh atılacak duruma getirilmiştir. Şekil 2.35'de sarı olarak görünenler iç profillerdir. Seçilen bölgedeki geometri kesilmiş mesh yapısı için hazır hale gelmiştir.



Şekil 2.35 : Üç nokta eğme ve yarım model için oluşturulan geometriler.

Alüminyum profilin kesit tasarımını optimum tasarlayabilmek için kurulan analiz, iki boyutlu ağ yapılardan oluşan ve OptiStruct çözücüsünde gerçekleştirilen lineer olmayan statik analizdir. Bu analiz için batarya taşıyıcının iç duvarları da dahil edilmiş ve en gerçekçi model kurulmaya çalışılmıştır. Şekil 2.36'da sınır şartları görülmektedir. Üst kapak ve alt taban modellenmemiş buna karşılık istenen 100kN maksimum yükteki beklenen performansı daha uygun değerlerde sınırlandırılmıştır. Yarı çapı 75 mm olan ezme plakası ve profil arasına kontakt tanımlanmış, iç profillerin sanal olarak kesildiği noktalardan altı serbestlik derecesinde sabitlenmiştir.

Ezme plakasına zorlanmış deplasman verilmiştir. Burada zorlanmış deplasmanın kaç mm olduğunu belirlemek için batarya taşıyıcının komponent yerleşimine bakılmıştır. Şekil 2.37'de arasındaki mesafe gösterilmektedir. Bu mesafe alt kapak ve üst kapağında bağlı olduğunda ezme plakasının maksimum hareket edeceği mesafedir. Bu çalışma kapsamında alt taban ve üst kapak olmadığı için 22 mm'den daha fazla deplasman yapması beklenmektedir.



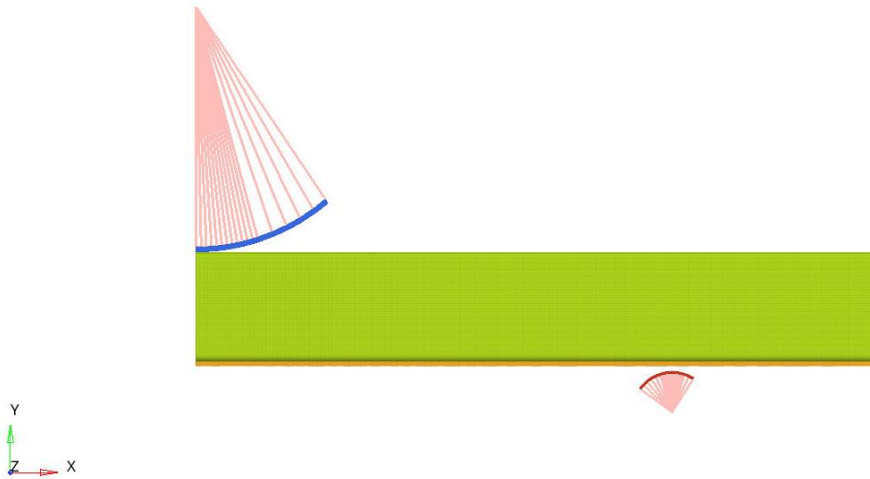
Şekil 2.36 : Optimum kesit tasarımı için sonlu elemanlar modeli.



Şekil 2.37 : Batarya taşıyıcı yan duvar ve modüller arasındaki mesafe.

2.8.4 Hibrit yapının ve alüminyum profilin üç nokta eğilme analizinin modeli

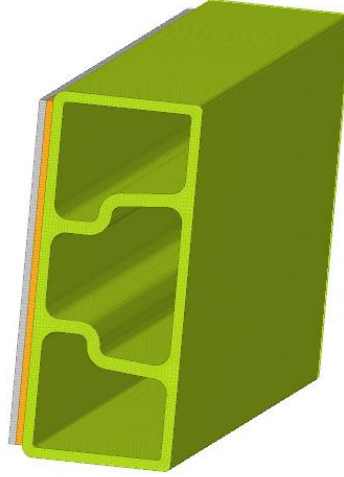
Üç nokta eğilme testinin simülasyonu için modellenen üç boyutlu ağ yapılarından oluşan lineer olmayan analiz gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.23'te üç nokta eğme testinden bir görüntü vardır. Bu test sınır şartlarıyla aynı olacak şekilde alt dayama silindirlere yarı çapını 15 mm arasını 350 mm olacak şekilde, üst ezme plakasını da yarı çapını 75 mm, profile yakınlığını da 1 mm olacak şekilde modelleme yapılmıştır. Bütün parçalar arasında kayar (slide) kontakt kullanılmıştır. Şekil 2.38'de simetrik olarak hazırlanan sonlu elemanlar modeli görülmektedir. Bu analiz iki farklı çözücüde gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar öncesinde bilgi vermesi adına ise Altair Simsolid yazılımında sonrasında Altair HyperMesh de modellenerek OptiStuct çözücüsünde gerçekleştirilmiştir. Üst çeneye zorlanmış deplasman uygulanmış ve reaksiyon kuvveti üzerinden yorumlar yapılmıştır.



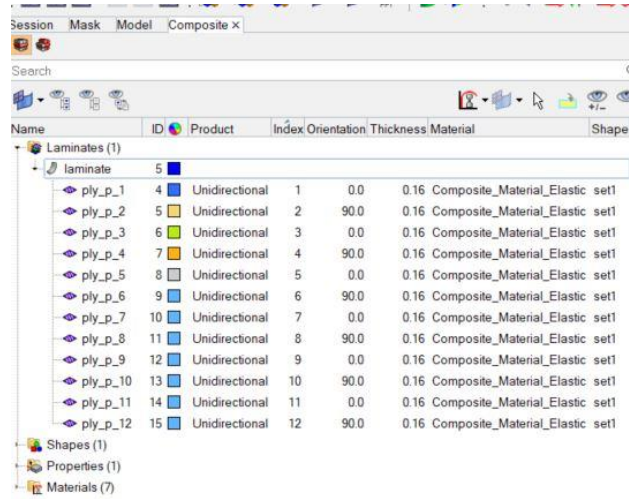
Şekil 2.38 : Üç nokta eğilme analizi için kontakt bağlantıları.

HyperMesh de oluşturulan model için üç boyutlu hexahedral ağ yapısı kullanılmıştır. Bu sayede geometri en iyi şekilde temsil edilmiştir. Şekil 2.39'da profilin kesit

görüntüsü görülmektedir. Kompozit için testlerden elde edilen değerlerle OptiStuct için MAT8 malzeme kartı oluşturulmuştur. 12 katmanında özellikleri yönelimi PLY kartı ile modellenmiştir. Şekil 3.40'ta kompozit modelleme için kullanılan ara pencerenin görüntüsü bulunmaktadır. Yapıştırıcı için 1 mm kalınlığa sahip üç boyutlu hexahedral ağ yapısı ile modelleme yapılmış ve malzeme özellikleri OptiStuct için olan MCOHE malzeme kartı ile modellenmiştir.



Şekil 2.39 : Üç nokta eğilme analizi için hexahedral ağ yapısı ile alüminyum, kompozit ve yapıştırıcının modellenmesi.

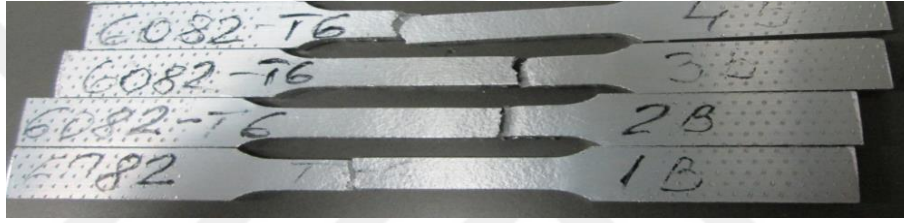


Şekil 2.40 : Sonlu elemanlar için kompozitin temsil edildiği malzeme kartı.

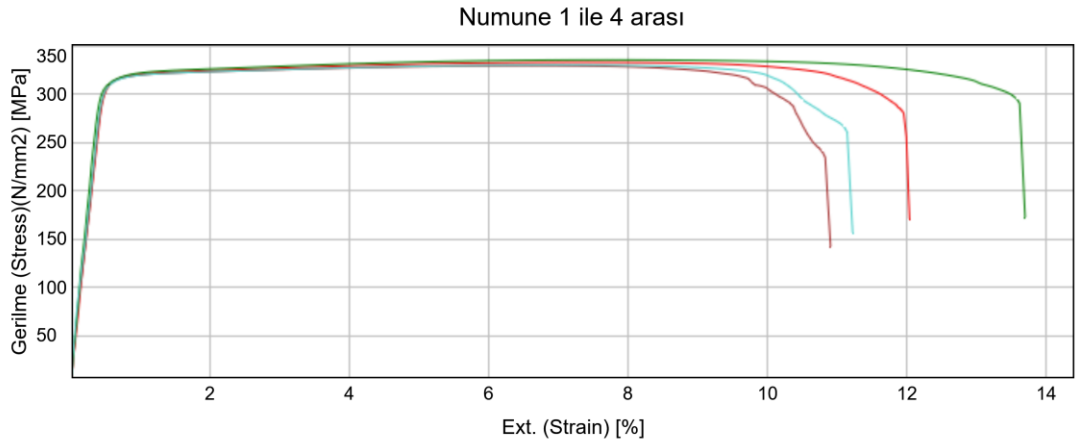
3. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

3.1 Ekstrüzyon Profil Üzerinden Çıkarılan 6082T6 Çekme Testleri

Çekme testi için hazırlanan numuneler test edilmiş ve Şekil 3.2’de görüldüğü gibi ortalama 310 MPa akma dayanımı 330 MPa da çekme dayanımı elde edilmiştir. Uzama değerleri ise standartta en az %8 beklenirken üretilmiş profilde %10 değeri yakalanmıştır. Çekme testi sonrası test çubuklarının koptuğu yerler şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1 : 6082 T6 malzemedan hazırlanan numunelerin çekme testi sonundaki görünümü.

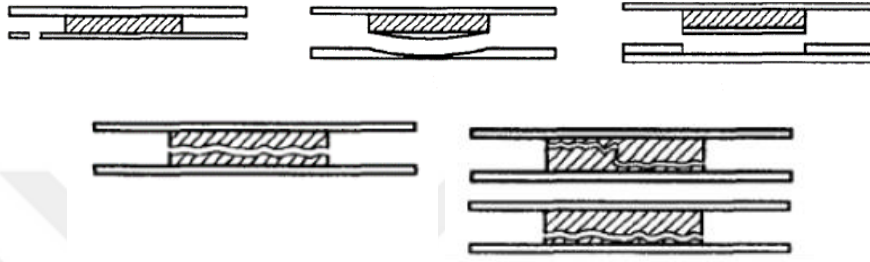


	Numune Adı (Sample Name)	Kalınlık (Thickness) [mm]	Genişlik (Width) [mm]	Maksimum Kuvvet (Max Force) [kN]	Akma Mukavemeti (Yield Strength) (0.2 %) [N/mm ²]	Çekme Mukavemeti (UTS) [MPa]	Uzama (Break Strain) [%]	Kopma Yeri Uygunluğu (Gauge Length In/Out)
1	2.BILLET	3,08	6,10	6,25	314,19	332,755	12,04	
2	ÖN 2.BILLET	3,06	6,09	6,14	311,92	329,366	10,91	
3	3.BILLET	3,08	6,09	6,29	312,16	335,358	13,70	
4	ÖN 3.BILLET	3,07	6,09	6,17	307,45	330,134	11,23	

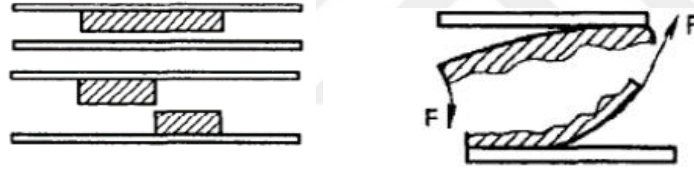
Şekil 3.2 : 6082 T6 malzemedan hazırlanan numunelerin çekme testi sonuçları.

3.2 Yapıştırma Karakterizasyon Testleri

Yapıştırıcıların testten geçip geçmediği yapıştırıcı uygulanan yüzeylerdeki kopma şekillerinden anlaşılmaktadır. Bu değerlendirme Şekil 3.3'teki gösterildiği gibi bir kopma meydana geldiyse yapıştırıcının testten geçtiği anlamına gelmektedir. Kırılma deseni kohesiv kopma olarak da adlandırılan şekillerdir. Eğer Şekil 3.4'teki gibi bir kopma gerçekleşirse yapıştırıcının testten kaldığı anlamına gelmektedir. Bu kırılma desenlerine de adhesiv kopma denmektedir.



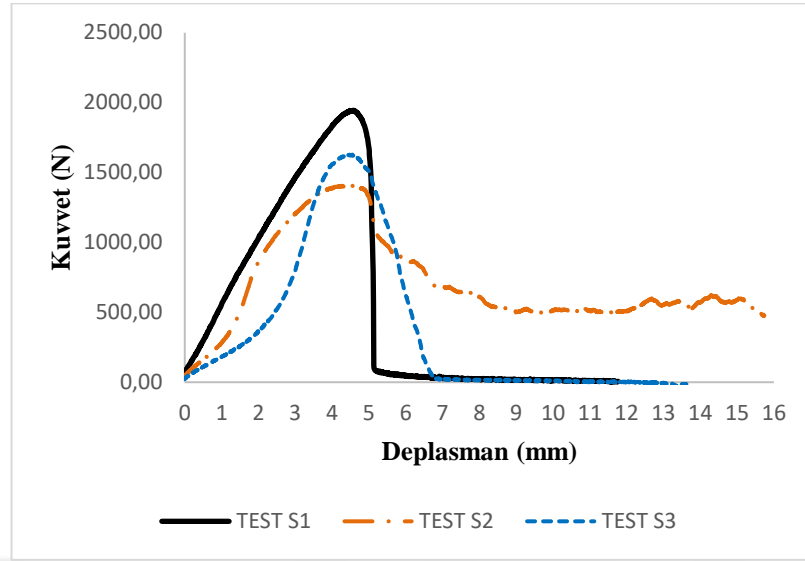
Şekil 3.3 : Yapıştırma performans testleri için testin kabul kopma şekilleri. [26]



Şekil 3.4 : Yapıştırma performans testleri için testin red olduğu kopma şekilleri. [26]

3.2.1 Sikaflex 268 Powercure hızlı kürlenen yapıştırıcı

Hazırlanan numuneler çekme test cihazına bağlanarak 10 mm/dakika hızda çekme testi yapılmıştır. Kuvvet, deplasman sonuçları incelenmiştir. Bu test gerçekleştirilirken 3 değil 4 numune test edilmiştir. Çekme kuvvetinin ulaştığı maksimum kuvvet değeri Çizelge 3.1'de gösterilmektedir. Maksimum 1944 N, minimum da 1410 N kuvvetten sonra yapıştırıcıda ayrılmalar görülmeye başlanmıştır. Maksimum kuvvete ulaştığındaki uzama ise 5 mm olarak gözlemlenmiştir.

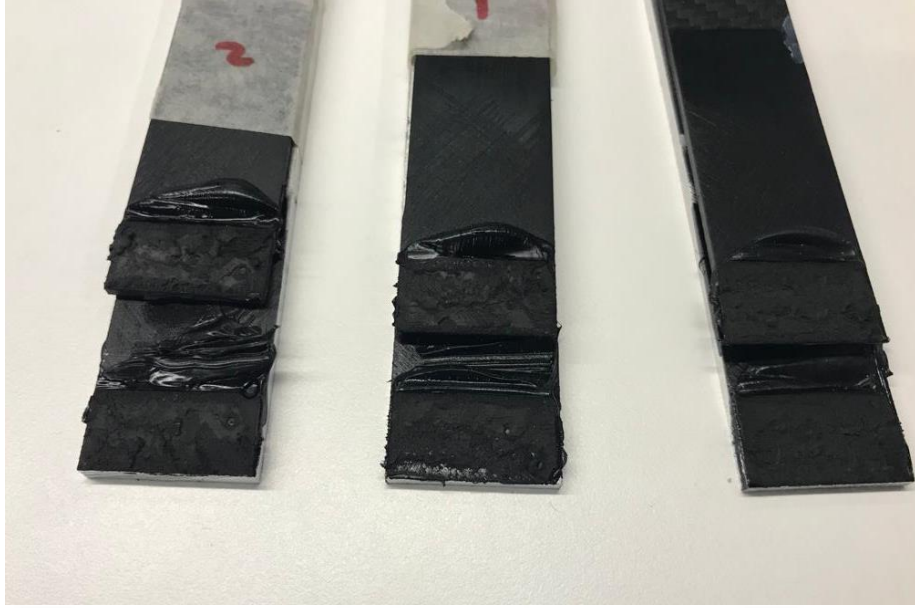


Şekil 3.5 : Sikaflex ile yapıştırılmış karbon fiber ve alüminyumun yapıştırma performans testi kuvvet deplasman grafiği.

Çizelge 3.1 : Sikaflex ile yapıştırılmış karbon fiber ve alüminyumun yapıştırma performans testi maksimum kuvvet değerleri

Numune No:	Maks. Kuvvet (N)
1	1432,81
2	1944,53
3	1410,94
4	1628,13

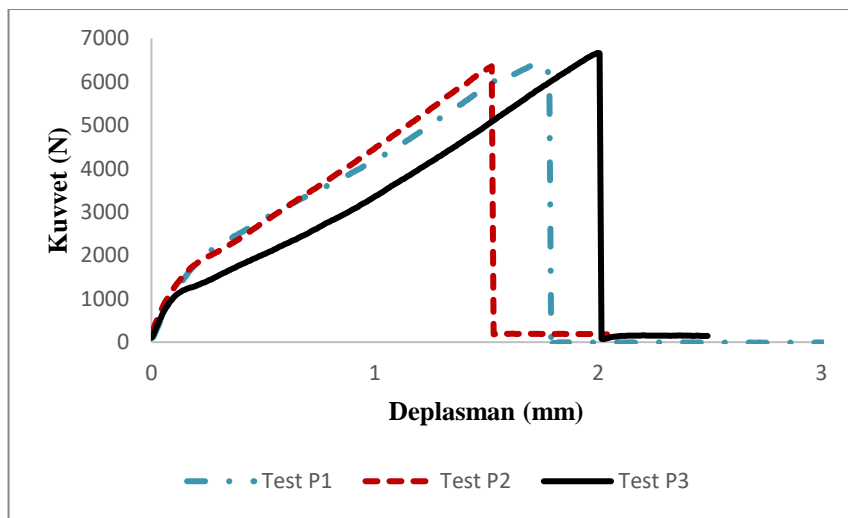
Test edilen 4 numuneden 3 numune testi problem olmadan sonlanmış biri (3 nolu numune) iptal edilmiştir. Şekil 3.6'da testi tamamlanan üç numunenin yırtılma düzeyleri görülmektedir. İncelendiğinde yırtılmanın kabul edilebilir kohesiv kopma olarak oluştuğu görülmektedir.



Şekil 3.6 : Sikaflex ile yapıştırılmış yüzeylerin kırılma deseni.

3.2.2 Plexus MA300 yapıştırıcı

Hazırlanan numunelerin 10 mm/dakika hızda çekme testi yapılmıştır. Kuvvet, deplasman sonuçları incelenmiştir. Üç numune test edilmiştir. Çekme kuvvetinin ulaştığı maksimum kuvvet değeri Çizelge 3.2’de gösterilmektedir. Maksimum 6666 N, minimum da 6357 N kuvvetten sonra yapıştırıcıda ayrılmalar görülmeye başlanmıştır. Maksimum kuvvete ulaştığındaki uzama ise 1,5 mm olarak gözlemlenmiştir.

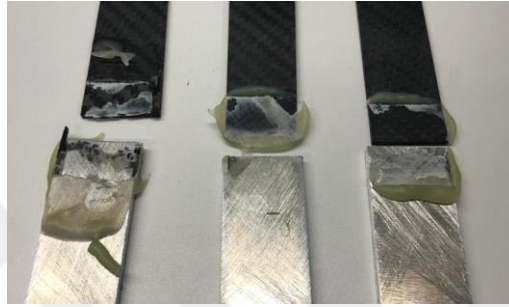


Şekil 3.7 : Plexus M300 ile yapıştırılmış karbon fiber ve alüminyumun yapıştırma performans testi kuvvet deplasman grafiği.

Çizelge 3.2 : Plexus M300 ile yapıştırılmış karbon fiber ve alüminyumun yapıştırma performans testi maksimum kuvvet değerleri.

Numune No:	Maks. Kuvvet (N)
1	6417,19
2	6357,81
3	6666,41

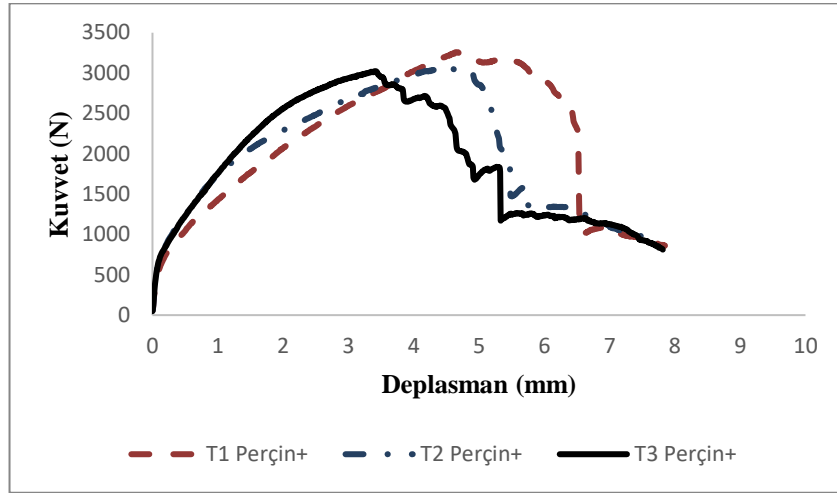
Şekil 3.18’de testi tamamlanan üç numunenin yırtılma düzeyleri görülmektedir. İncelendiğinde yırtılmanın kabul edilebilir kohesiv kopma olarak oluştuğu görülmektedir.



Şekil 3.8 : Plexus ile yapıştırılmış yüzeylerin kırılma deseni.

3.2.3 Birleştirme elemanı olarak perçin kullanımı (kompozit üstte)

Hazırlanan numunelerin 10 mm/dakika hızda çekme testi yapılmıştır. Kuvvet, deplasman sonuçları incelenmiştir. Üç numune test edilmiştir. Çekme kuvvetinin ulaştığı maksimum kuvvet değeri Çizelge 3.3’te gösterilmektedir. Maksimum 3258 N, minimum da 3023 N kuvvetten sonra birleşme noktalarında ayrılmalar görülmeye başlanmıştır. Maksimum kuvvete ulaştığındaki uzama ise ortalama 4,2 mm olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 3.9 : Birleştirme elemanı olarak karbon fiber üstte alüminyumun altta olduğu perçinle birleştirme testi kuvvet deplasman grafiği.

Çizelge 3.3 : Perçinle birleştirme uygulanarak karbon fiberin üstte olduğu durumdaki yapıştırma performans testi maksimum kuvvet değerleri.

Numune No:	Maks. Kuvvet (N)
1	3258,59
2	3053,91
3	3023,44

Şekil 3.10'da testi tamamlanan üç numunenin yırtılma düzeyleri görülmektedir.

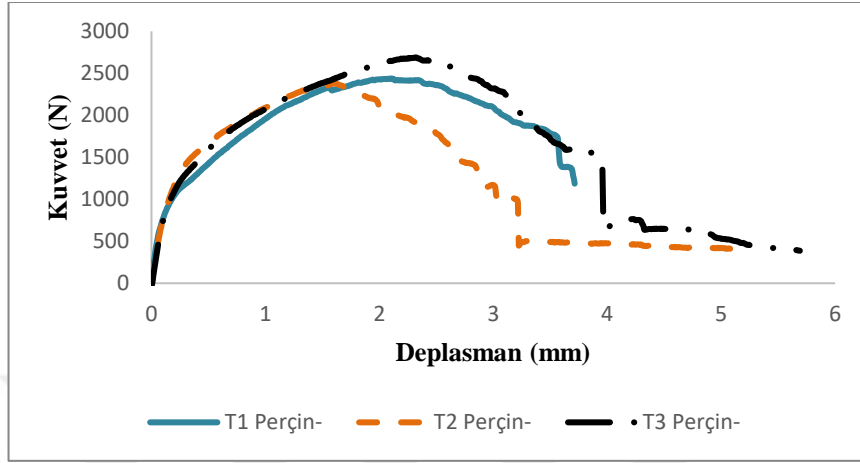


Şekil 3.10 : Perçinle birleştirme uygulanarak karbon fiberin üstte olduğu durumdaki birleştirme alanı kırılma deseni.

3.2.4 Birleştirme elemanı olarak perçin kullanımı (kompozit altta)

Hazırlanan numunelerin 10 mm/dakika hızda çekme testi yapılmıştır. Kuvvet, deplasman sonuçları incelenmiştir. Üç numune test edilmiştir. Çekme kuvvetinin ulaştığı maksimum kuvvet değeri Çizelge 3.4'te gösterilmektedir. Maksimum 2689,84

N, minimum da 2391,41 N kuvvetten sonra birleşme yüzeylerinde ayrılmalar görülmeye başlanmıştır. Maksimum kuvvete ulaştığındaki uzama ise ortalama 2 mm olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 3.11 : Birleştirme elemanı olarak karbon fiber altta alüminyumun üstte olduğu perçinle birleştirme testi kuvvet deplasman grafiği.

Çizelge 3.4 : Perçinle birleştirme uygulanarak karbon fiberin altta olduğu durumdaki yapıştırma performans testi maksimum kuvvet değerleri.

Numune No:	Maks. Kuvvet (N)
1	2439,06
2	2391,41
3	2689,84

Şekil 3.12’de testi tamamlanan üç numunenin yırtılma düzeyleri görülmektedir.



Şekil 3.12 : Perçinle birleştirme uygulanarak karbon fiberin altta olduğu durumdaki birleştirme alanı kırılma deseni.

3.3 Kompozit Çekme Testleri

İki çeşit kompozit için testler gerçekleştirilmiştir. Bu testler için kompozitler 0° ve 90° olmak üzere iki yönde serildiği için 10'ar adetten toplamda 40 adet numune çıkarılmış ve test edilmiştir. Şekil 3.13'te çekme testi sonrasında numunelerin hasar aldığı bölgeler görülmektedir.



Şekil 3.13 : Karbon fiber ve cam elyaf kompozitlerin 0° ve 90° yönlerinde numuneler çıkarılıp çekme testi sonrasındaki örnek görüntüleri.

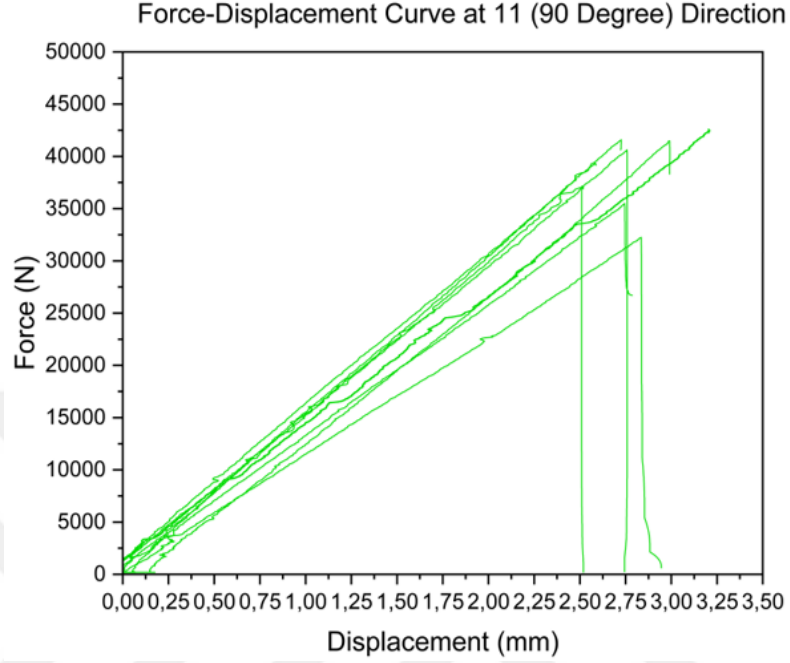
3.3.1 Karbon fiber çekme testleri

10 farklı numune 90° yönelimde kesilmiş hazırlanmıştır. Bu testler sonucunda çekme gerilmesi ortalama 745 MPa, Elastik modülü 66 GPa olarak gözlemlenmiştir. Yüzde uzama değeri ise 1,11 olarak görülmüştür.

Çizelge 3.5 : 90° yönünde karbon fiber plakaların çekme test sonuçları.

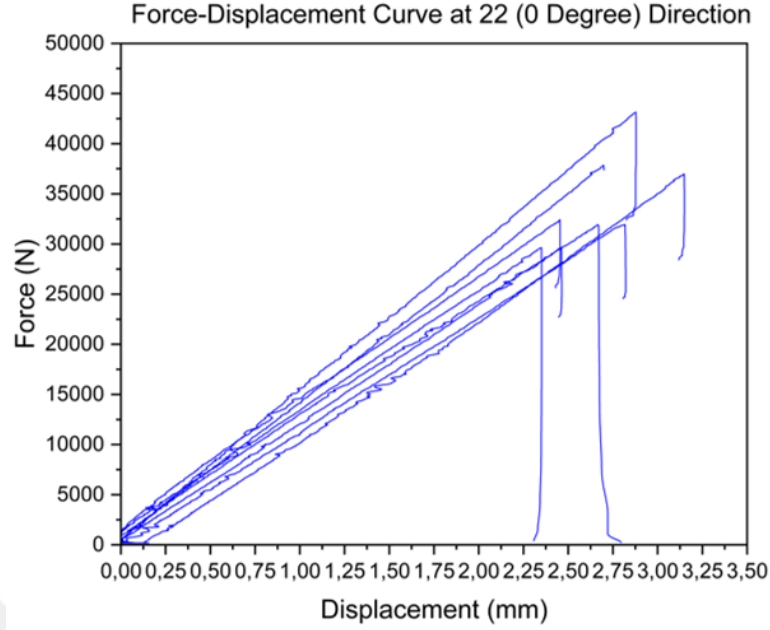
Yön	Maksimum Gerilme (MPa)	Elastik Modül (GPa)	Poisson	Kayma Modülü (GPa)	Uzama (%)
11 (90°)	795,22	59,90			1,26
	719,19	73,23	0,10	33,40	0,99
	777,34	74,78	0,12	33,49	1,03
	765,87	66,51			1,09
	676,74	61,51	0,08	28,45	1,10
	635,08	56,09	0,17	23,88	1,12
	824,10	76,83	0,15	33,51	1,09
	771,86	62,57	0,05	29,78	1,19

Ortalama	745,67	66,43	0,11	30,42	1,11
Std. Sap.	59,57	7,19	0,04	3,53	0,08
CV	0,08	0,11	0,37	0,12	0,07



Şekil 3.14 : 90° yönünde karbon fiber numunelerin çekme testi kuvvet deplasman eğrileri.

10 farklı numune de 0° yönelimde kesilmiş hazırlanmıştır. Bu testler sonucunda çekme gerilmesi ortalama 745 MPa, Elastik modülü 66 GPa olarak gözlemlenmiştir. Yüzde uzama değeri ise 1,07 olarak görülmüştür.



Şekil 3.15 : 0° yönünde karbon fiber numunelerin çekme testi kuvvet deplasman eğrileri.

Çizelge 3.6 : 0° yönünde karbon fiber plakaların çekme test sonuçları.

Yön	Maksimum Gerilme (MPa)	Elastik Modül (GPa)	Poisson	Kayma Modülü (GPa)	Uzama (%)
22 (0)	771,93	70,47	0,03	34,08	1,06
	920,68	81,72	0,04	39,39	1,15
	654,06	61,49			1,06
	609,36	61,61			0,94
	747,30	59,60	0,03	28,80	1,25
	626,77	61,06	0,05	28,96	0,98
	660,97	66,16	0,07	30,86	0,97
	679,65	60,83	0,09	27,88	1,12
	Ortalama	708,84	65,37	0,05	31,18
Std. Sap.	95,60	7,03	0,02	4,22	0,10
CV	0,13	0,11	0,40	0,14	0,09

3.3.2 Cam elyaf çekme testleri

10 farklı cam elyaf kompozit numune 90° yönelimde kesilmiş hazırlanmıştır. Bu testler sonucunda çekme gerilmesi ortalama 384 MPa, Elastik modülü 20,7 GPa olarak gözlemlenmiştir. Yüzde uzama değeri ise 2,1 olarak görülmüştür.

Çizelge 3.7 : 90° yönünde karbon fiber plakaların çekme test sonuçları.

Yön Numune No	Elastik Modül (GPa)	Poisson	Maksimum Gerilme (MPa)	Uzama (%)
90 _ 1	22,9858	0,25204	422,809	2,33099
90 _ 2	21,6538	-5,75236	404,534	2,41180
90 _ 3	21,0785	-8,18673	359,939	2,18046
90 _ 4	15,8118	-.-	372,480	2,42583
90 _ 5	17,9696	0,26701	361,928	2,31658
90 _ 6	20,6468	0,07161	370,460	2,18833
90 _ 7	21,6412	0,06222	391,209	2,30107
90 _ 8	21,4913	0,08283	378,714	2,1569
90 _ 9	20,8228	0,71792	383,015	2,09435
90 _ 10	22,8829	0,17184	395,851	2,18593
Average	20,6985	-1,36818	384,094	2,25922
Maximum	22,9858	0,71792	422,809	2,42583
Minimum	15,8118	-8,18673	359,939	2,09435

10 farklı cam elyaf kompozit numune 0° yönelimde kesilmiş hazırlanmıştır. Bu testler sonucunda çekme gerilmesi ortalama 414,42 MPa, Elastik modülü 24,35 GPa olarak gözlemlenmiştir. Yüzde uzama değeri ise 2,2 olarak görülmüştür.

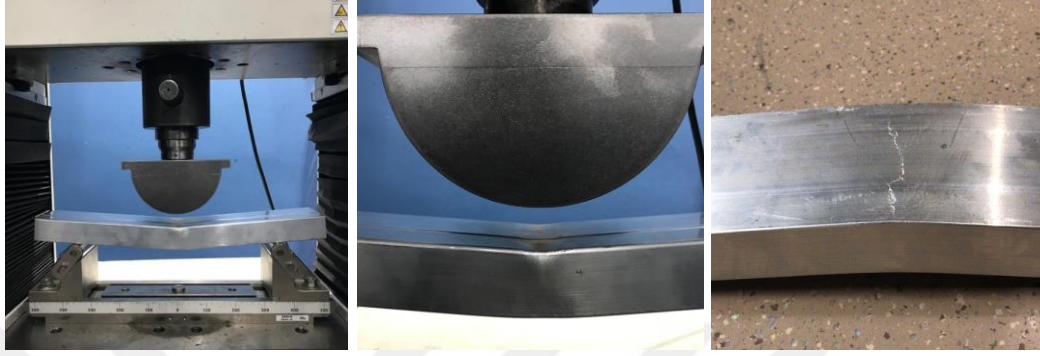
Çizelge 3.8 : 0° yönünde karbon fiber plakaların çekme test sonuçları

Yön Numune No	Elastik Modül (GPa)	Poisson	Maksimum Gerilme (MPa)	Uzama (%)
0 _ 1	26,3940	0,21739	455,787	2,07199
0 _ 2	24,5933	0,19038	419,329	2,12507
0 _ 3	24,5547	0,20054	418,849	2,11076
0 _ 4	25,9604	0,13172	432,667	2,09392
0 _ 5	22,0856	0,22719	389,376	2,08767
0 _ 6	24,4476	0,20001	408,386	1,94015
0 _ 7	26,4739	0,27249	444,723	2,08948
0 _ 8	22,6451	0,23720	376,230	2,01167
0 _ 9	25,6869	0,17004	397,554	1,96942
0 _ 10	24,3539	0,15069	434,308	2,21585
Average	24,6515	0,19573	414,417	2,06176
Maximum	26,4739	0,27249	455,787	2,21585
Minimum	22,0856	0,13172	376,230	1,94015

3.4 Üç Nokta Eğme Testi

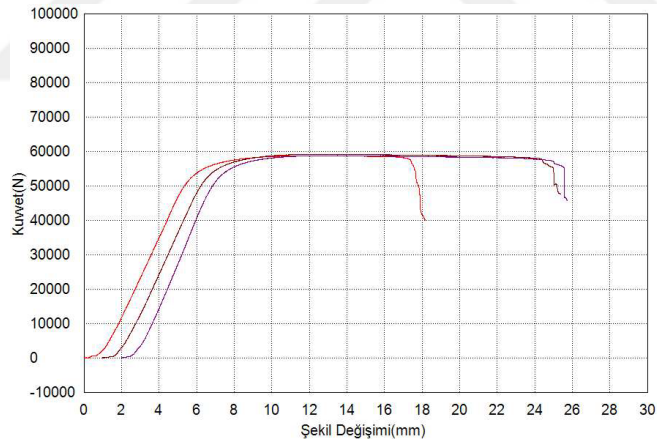
3.4.1 Pozitif yönde alüminyum profilin üç nokta eğilme testi

Üç adet test yapılmış ve en uçtaki yüzeyden çatlak başladığı gözlemlenmiştir. Bu testten bir görüntü Şekil 3.16’da görülmektedir.



Şekil 3.16 : Pozitif yönde üç nokta eğilme testinden bir görüntü.

Test sonucu olarak maksimum kuvvet bilgisi ve kuvvet deplasman grafiği istenmiştir. Ortalama maksimum 58,8 kN yüke kadar dayanmıştır. (Şekil 3.17 ve Çizelge 3.9)



Şekil 3.17 : Pozitif yönde alüminyum profillerin üç nokta eğilme testi kuvvet deplasman grafiği.

Çizelge 3.9 : Pozitif yönde alüminyum profillerin üç nokta eğilme testinde elde edilen maksimum kuvveler.

Numune No:	Maks. Kuvvet (N)
1	58718,8
2	59148,4
3	58726,6
Ortalama	58864,6

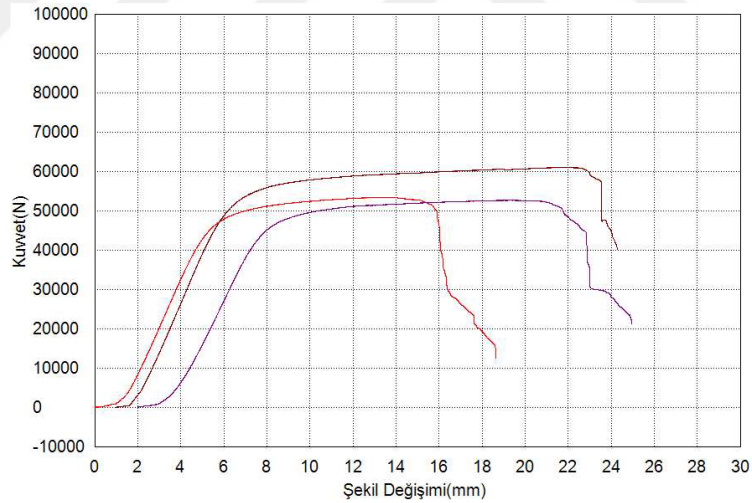
3.4.2 Pozitif yönde kompozitin üstte olduğu hibrit profilin üç nokta eğilme testi

Üç adet test yapılmış ve en uçtaki yüzeyden çatlak başladığı gözlemlenmiştir. Bu testten bir görüntü Şekil 3.18’de görülmektedir.



Şekil 3.18 : Kompozitin üstte olduğu hibrit profilin üç nokta eğilme testinden bir görüntü.

Test sonucu olarak maksimum kuvvet bilgisi ve kuvvet deplasman grafiği istenmiştir. Ortalama maksimum 55,6 kN yüke kadar dayanmıştır. (Şekil 3.19 ve Çizelge 3.10)



Şekil 3.19 : Kompozitin üstte olduğu hibrit profilin üç nokta eğilme testi kuvvet deplasman grafiği.

Çizelge 3.10 : Kompozitin üstte olduğu hibrit profillerin üç nokta eğilme testinde elde edilen maksimum kuvveler.

Numune No:	Maks. Kuvvet (N)
1	53375,0
2	60953,1
3	52617,2
Ortalama	55648,4

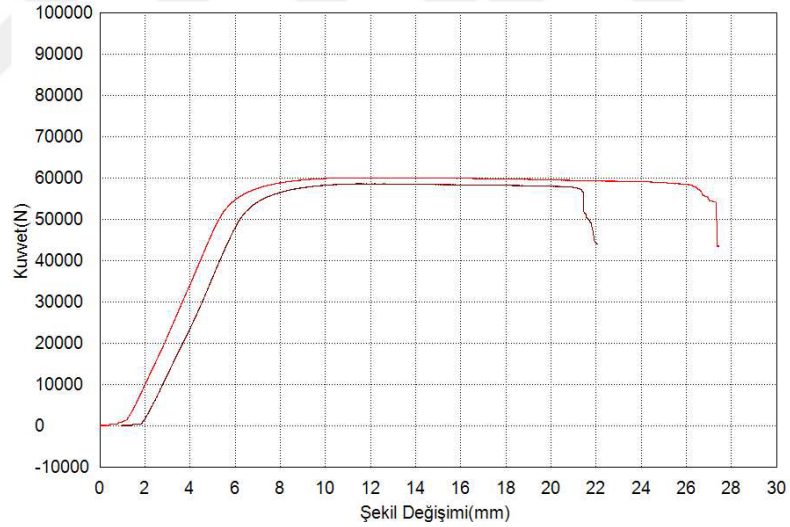
3.4.3 Negatif yönde alüminyum profilin üç nokta eğilme testi

İki adet test yapılmış ve en uçtaki yüzeyden çatlak başladığı gözlemlenmiştir. Testten bir görüntü Şekil 3.20’de görülmektedir.



Şekil 3.20 : Negatif yönde üç nokta eğilme testinden bir görüntü.

Test sonucu olarak maksimum kuvvet bilgisi ve kuvvet deplasman grafiği istenmiştir. Ortalama maksimum 59,2 kN yüke kadar dayanmıştır. (Şekil 3.21 ve Çizelge 3.11)



Şekil 3.21 : Negatif yönde üç nokta eğilme testinden bir görüntü.

Çizelge 3.11 : Negatif yönde alüminyum profillerin üç nokta eğilme testinde elde edilen maksimum kuvveler.

Numune No:	Maks. Kuvvet (N)
1	59984,4
2	58531,3
Ortalama	59257,9

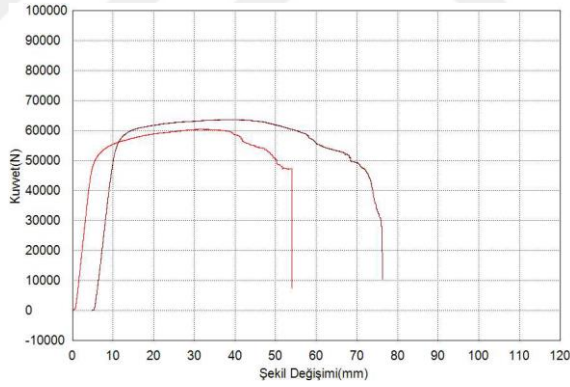
3.4.4 Negatif yönde kompozitin altta olduğu hibrit profilin üç nokta eğilme testi

İki adet test yapılmış ve en uçtaki yüzeyden kompozitten değil, alüminyumdan çatlak başladığı gözlemlenmiştir sonrasında karbon fiber hasar görmüştür. Bu testten görüntüler Şekil 3.22’de görülmektedir.



Şekil 3.22 : Kompozitin altta olduğu hibrit profilin üç nokta eğilme testinden bir görüntü.

Test sonucu olarak maksimum kuvvet bilgisi ve kuvvet deplasman grafiği istenmiştir. Ortalama maksimum 61,9 kN yüke kadar dayanmıştır. (Şekil 3.23 ve Çizelge 3.12)



Şekil 3.23 : Kompozitin altta olduğu hibrit profilin üç nokta eğilme testi kuvvet deplasman grafiği.

Çizelge 3.12 : Kompozitin altta olduğu hibrit profillerin üç nokta eğilme testinde elde edilen maksimum kuvveler.

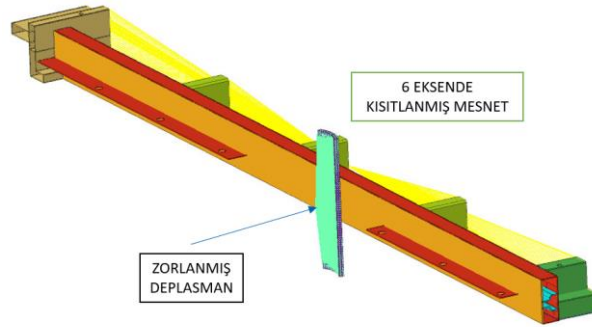
Numune No:	Maks. Kuvvet (N)
1	60320,3
2	63531,3
Ortalama	61925,8

4. SONLU ELEMANLAR ANALİZİ ÇALIŞMALARI

4.1 Profilin Optimizasyonu İçin Yapılan Ezme Analizleri

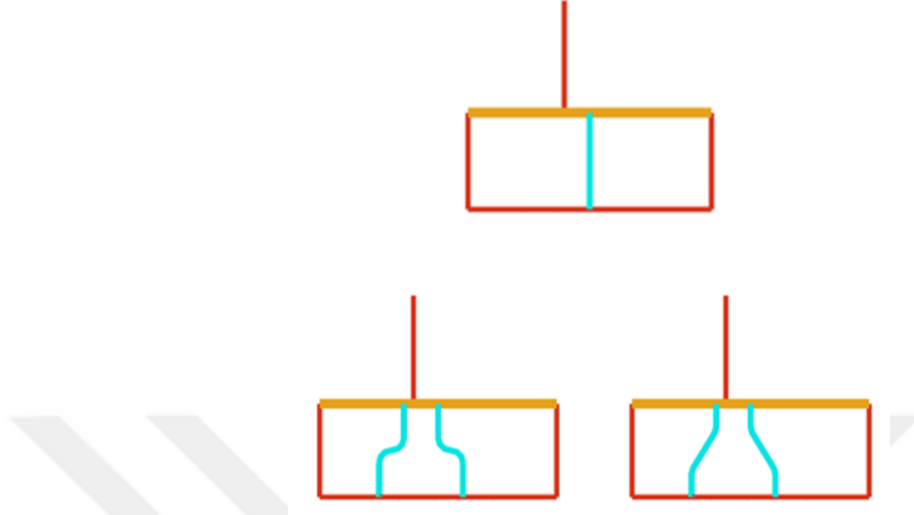
Karşılaştırmalı olarak gitmek için ISO 6469_1 standartının ezme testindeki sınır şartlarını koruyarak analizler gerçekleştirilmiştir. Tek federli bir profil analiz edilmiş referans geometri olarak adlandırılmıştır. Yapılan iyileştirmeler tek federli referans profile göre kıyaslanmıştır. Tek federli profili iyileştirmek için ikinci feder farklı yönlerde atılmış ve hepsi aynı şartlarda analiz edilmiştir. Bütün bu kesit geometrilerinde yan ve alt duvarların et kalınlığı 2 mm üst duvarın et kalınlığı 4mm ve federlerin kalınlığı 2,5mm olarak denemeler yapılmıştır.

Batarya taşıyıcının bütünü analiz etmek yerine ezme testiyle ilgili olan kısmının sonlu elemanlar ağ modeli oluşturulmuş ve ISO 6469_1'deki standartlara uygun olacak şekilde analiz edilmiştir. Kurulan yarım model tasarlanan her bir profil için tekrarlanmış bu sayede farklı kesit yapısına sahip profillerin direngenliği hakkında bilgi sahibi olunmuştur. 6082 T6 malzeme kullanılarak profiller analiz edilmiştir. Sınır şartlarının detaylı görseli Şekil 4.1'de verilmiştir.



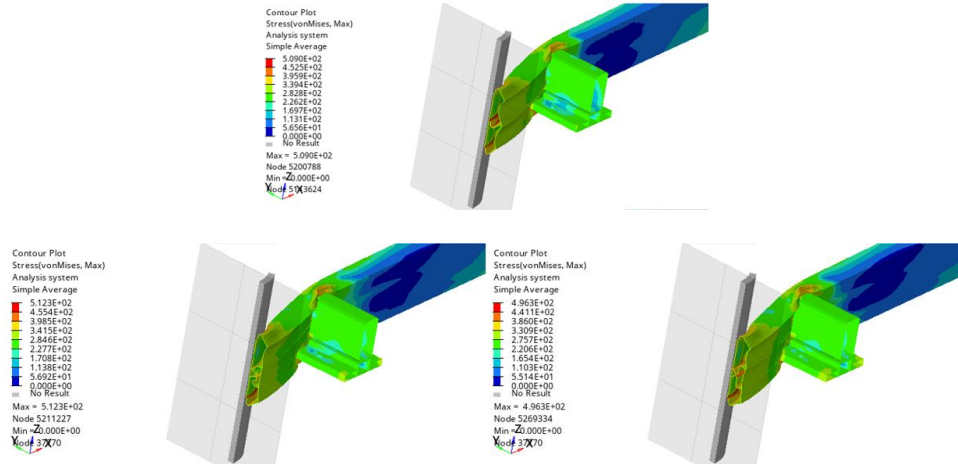
Şekil 4.1 : Profilin optimum kesiti için yapılan ezme analizi sınır şartları.

Kesitte çift feder kullanımının çarpışma performansına etkisi incelenmiştir. Çift federli yapı için iki farklı kesit tasarımı yapılmıştır. İkisi de yarı çapı 5 mm olan dönüştürmelerle çizilmiştir. Şekil 4.2’de ikili feder için oluşturulan alternatif tasarımlar görülmektedir.



Şekil 4.2 : a) Referans geometri Feder I b) Radyus 5/90 c) Radyus 5/45.

100 kN’a ulaştığında profilin iç yüzeyindeki en uç noktanın maksimum deplasmanı, yan profilin toplam kütlesi, referans geometriye göre kütle artışı, referans geometriye göre deplasman kazancı ve deplasman kazancının kütle artışına oranı (performans) kıyaslanmıştır.



Şekil 4.3 : a) Feder I b) Radyus 5/90 c) Radyus 5/45 kesit tasarımlarının 100kN yük sırasındaki deformasyon şekilleri.

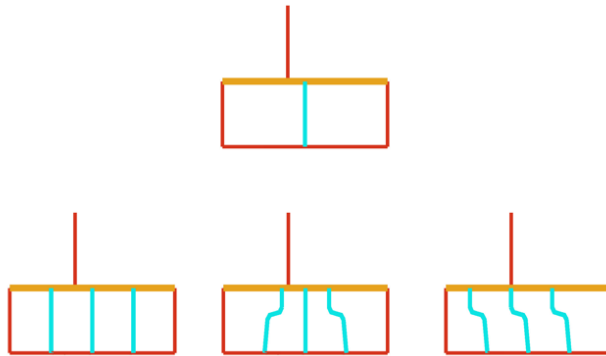
Kesitlerin 100kN yük uygulandığında deformasyon şekilleri Şekil 4.3’te gösterilmektedir. Bu yükteki deplasman ve kütlelerinin detaylı incelenmesi ise çizelge 4.1’de gösterilmektedir. Tablo incelendiğinde iki feder yapısının tek federe göre daha

iyi performans sağladığı görülmektedir. Bir diğer önemli çıkarım ise bu federlerin 90 derece kırılma açısına sahip olması 45 derecelik açığa göre daha iyi performans sağlamıştır. Performansı değerlendirirken sadece deplasman değerindeki iyileştirme değil aynı zamanda kütleyi de göz önünde bulundurduğumuz için Rad 5 90 olarak adlandırılan federin daha iyi performans sergilediği görülmektedir.

Çizelge 4.1 : Feder I, Radyus 5/90, Radyus 5/45 kesit tasarımlarının karşılaştırılması.

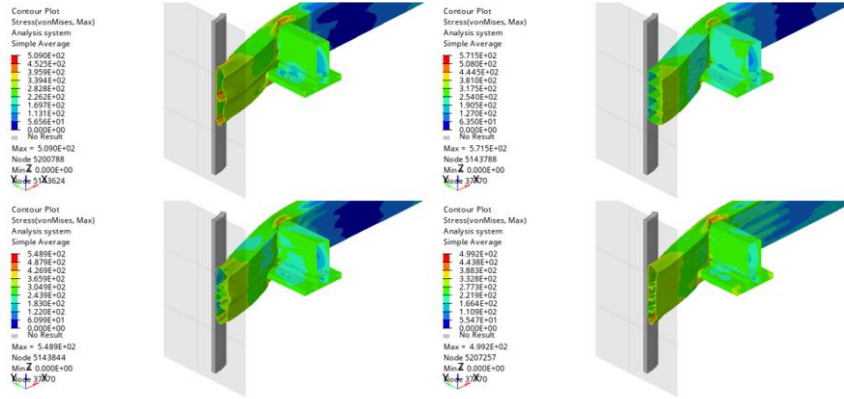
Yan Duvar Kesit Geometrisi Performans Çizelgesi						
No	Kesit	Kütle [kg]	Deplasman 100 kN [mm]	Kütle Artışı [kg]	Deplasman Kazancı [mm]	Performans [mm/kg]
1	Referans	4.640	52.19			
2	Rad 5 45	5.251	46.00	0.61	6.19	47.01
3	Rad 5 90	5.329	43.45	0.69	8.74	58.86

Kesitte üç feder kullanımının çarpışma performansına etkisi incelenmiştir. Tek federli yapıdan çift federli yapıya geçildiğinde deplasmanda iyileşme olduğu görülmüştür. Üç feder kullanacak olursak ve bu federlerin içe veya dışa büküm yapması durumunda performansı nasıl değiştirdiği incelenmeye karar verilmiştir. Bu sebeple yine referans geometri baz alınarak şekil 4.4'teki kesit tasarımları çizilmiştir. Yine yan ve alt duvarların et kalınlığı 2 mm üst duvarın et kalınlığı 4 mm ve federlerin kalınlığı 2,5 mm olarak seçilmiştir. Bu sayede bir önceki grup ile kıyaslamak kolay olmuştur.



Şekil 4.4 : a) Feder I referans b) Feder III c) Hibrit d) Asimetrik radyus 5/90.

Analizlerde aynı sınır şartları kullanılmıştır. 100 kN yüke ulaştığında profillerin deformasyon şekilleri şekil 4.5 de gösterilmektedir. Ortadaki dik federin diğerlerinden daha fazla deformasyona sebep olduğu ve profilin homojen bir şekilde deformasyon yapamadığı görülmektedir.



Şekil 4.5 : a)Feder I referans b) Feder III c)Hibrit d)Asimetrik radyus 5/90 kesit tasarımlarının 100kN yük sırasındaki deformasyon şekilleri.

Kesit tasarımlarının analiz sonuçları için çizelge 2 incelendiğinde deformasyondaki en iyi iyileşme asimetrik yapıda görülmüştür. Ama feder III tasarımının asimetrik yapıya göre daha az kütleye sahip olması sebebiyle üç federli düz yapının çarpışma performansı olarak daha iyi olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.2 : a)Feder I referans b) Feder III c)Hibrit d)Asimetrik radyus 5/90 kesit tasarımlarının karşılaştırılması.

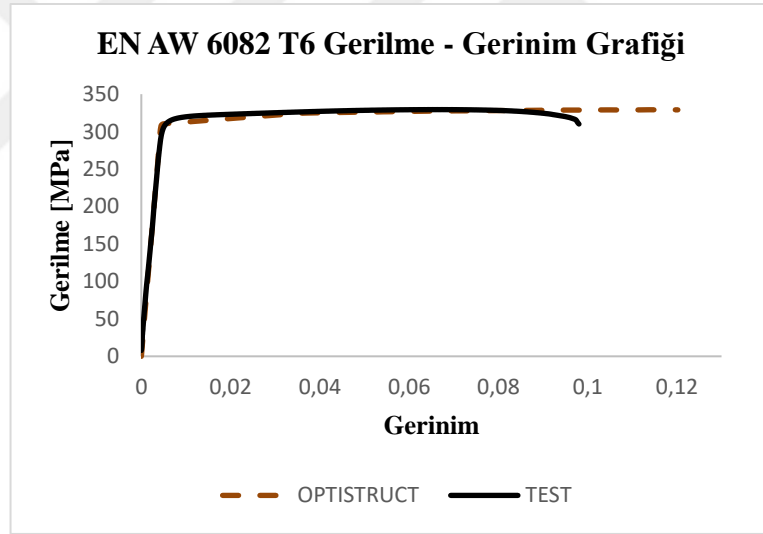
YAN DUVAR KESİT GEOMETRİSİ PERFORMANS TABLOSU 2						
NO	KESİT	KÜTLE [kg]	DEPLASMAN 100 KN [mm]	KÜTLE ARTIŞI [kg]	DEPLASMAN KAZANCI [mm]	PERFORMANS [mm/kg]
1	REFERANS	4.640	52.19			
2	FEDER III	5.686	36.76	1.05	15.43	14.75
3	HİBRİT	5.819	38.34	1.18	13.85	11.75
4	ASİMETRİK	5.876	35.39	1.24	16.80	13.59

Farklı odacıklardaki tasarımlar değerlendirildiğinde üç odacıklı yapının 100kN yüke ulaştığında deplasmanı iki odacıklı yapılara göre daha az yaptığı görülmektedir. Bu da daha rijit bir yapı olduğunu göstermektedir. Fakat profile ekstra kattığı ağırlık nedeniyle üç odacıklı yapının performansına bakıldığında yani kilogram başına kazandırdığı deplasmana bakıldığında iki odacıklı yapının tercih edilmiştir. Bu uygulamada profile gelen maksimum yük düşünüldüğünde iki odacıklı yapının yeterli olduğuna karar verilmiştir.

4.2 Alüminyum Çekme Çubuğunun Analiz Modelinin Doğrulanması

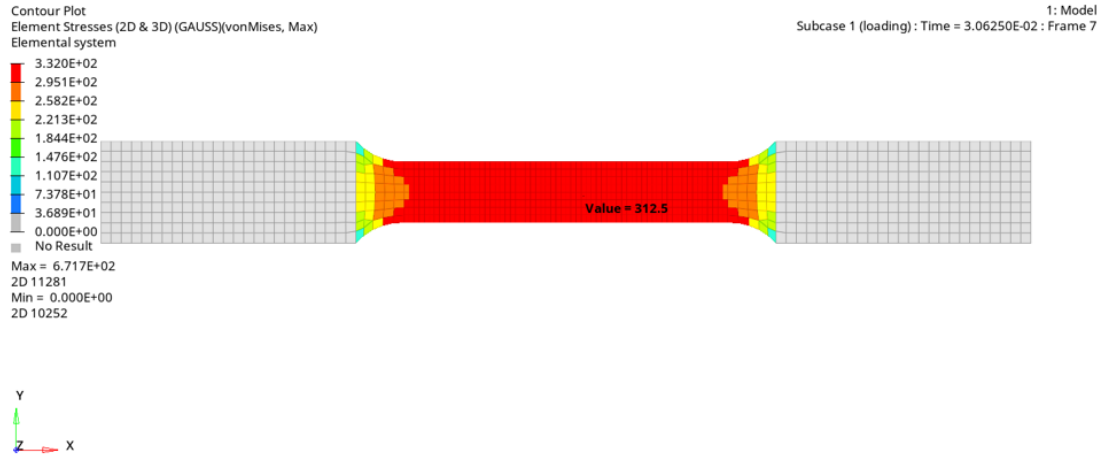
Çekme testine ait sonuçlar sonlu elemanlar yazılımlarına tablo halinde girilebilmektedir. Fakat şekil 4.6'da görüldüğü gibi bu test sonuçları çekme yönünde belli bir uzamadan sonra hasar oluştuğu için sınırlıdır. Sonlu elemanlarda oluşturulan modellerin sadece çekme yönünde değil diğer yükleme şartlarında da gerilemelere maruz kalacağını düşünürsek bu test sonuçları tek başına modelleri çözdürmeye yeterli değildir.

Test verilerinden elde edilen çekme sonuçları datanın hepsi olmasa da sadece akma çekme değerleri gibi kısıtlı bilgilerle Ramberg-Osgood hesaplamaları gibi denklemlerle türetilmektedir. Buradan türetilen veriler modelleri çözdürmeye yeterli uzama değerlerine sahiptir. Şekil 4.6'da kesikli çizgi, türetilen Ramberg-Osgood eğrisi ile OptiStruct çözücüsünde elde edilen çekme testinin gerilme gerinim eğrisini göstermektedir.

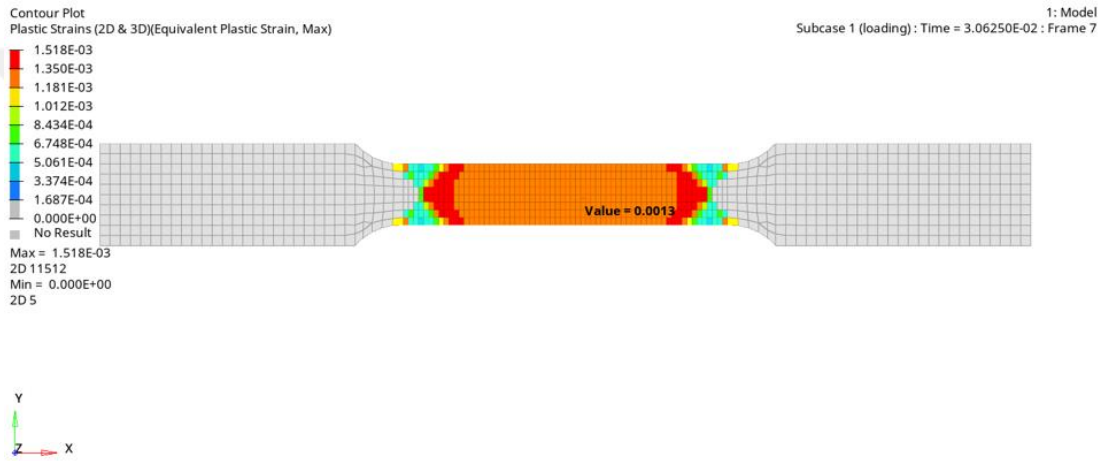


Şekil 4.6 : EN AW 6082 Test ve Analiz Gerilme Gerinim Eğrisi.

Test verileri analiz verisiyle karşılaştırılmıştır. Non-linear (doğrusal olmayan) analizler Altair Hyperworks Optistruct 2022.3 çözücüsü kullanılarak çözülmüştür. Analiz sonucunda kuvvet ve yer değiştirme değerleri elde edilmiştir. Bu sonuçlardan gerilme- gerinim değerlerine geçilerek test sonuçlarıyla karşılaştırma yapılmıştır.



Şekil 4.7 : EN AW 6082 Test çubuğunun analizi ve akma gerilmesine ulaştığı an.



Şekil 4.8 : EN AW 6082 Test çubuğunun analizi ve akma gerilmesine ulaştığı andaki plastik gerinim

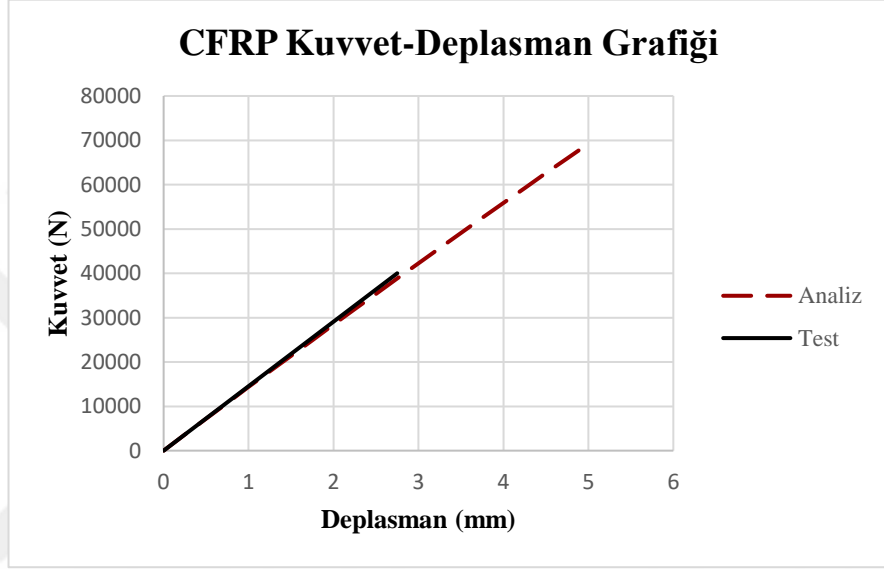
Karşılaştırma aynı zamanda gerilme ve gerinimin doğrulanması ile de yapılmıştır. Şekil 4.7’de çekme çubuğunun akma gerilmesine ulaştığı andaki gerilme dağılımı görülmektedir. Bu an analizdeki 0,0306 zaman adımına denk gelmektedir. Aynı zaman adımındaki uzama değeri ise Şekil 4.8’de gösterilmektedir. 0,0013 gerinim değeri ise test datasıyla da kıyaslandığında analizin, modelin doğru kurulduğu yorumu yapılmaktadır.

4.3 Kompozit Çekme Çubuğunun Analiz Modelinin Doğrulanması

HyperMesh yazılımı içinde Mat 8 malzeme kartını kullanarak tabaka tabanlı kompozit modelleme yapılmıştır. Deneysel çalışmalardaki aynı sınır şartlar kullanılarak çekme analizi yapılmış ve kuvvet deplasman grafikleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen

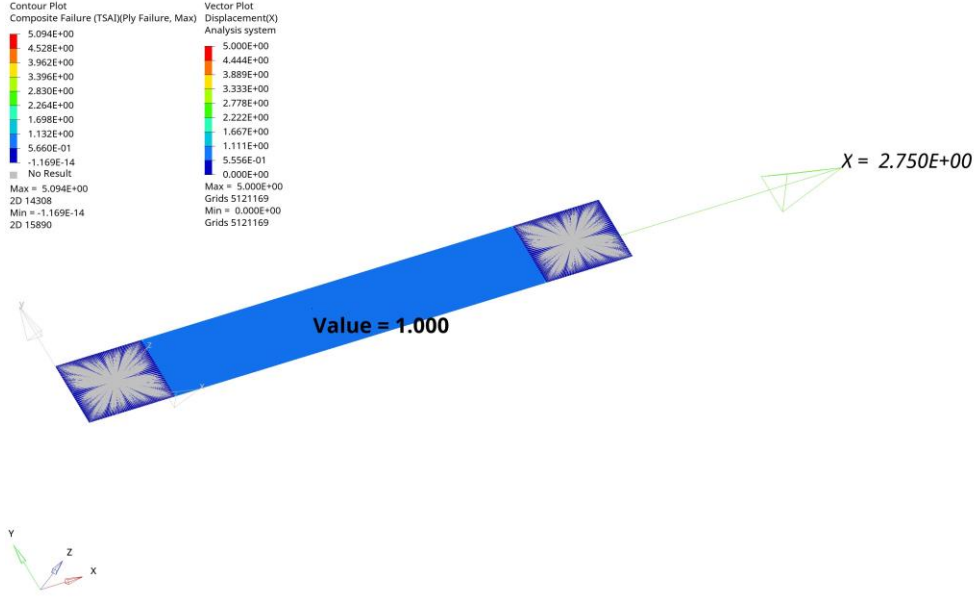
grafiklerden kompozit malzemeyi doğru bir şekilde sonlu elemanlarda temsil ettiğimiz yorumu yapılmıştır.

Gerçekleştirilen 10 adet kompozit çekme testinin kuvvet deplasman grafiği ortalaması ile aşağıdaki şekilde sürekli çizgi ile gösterilen eğri elde edilmiştir. Sonlu elemanlar analizlerinde ise tanımlanan malzeme kartıyla çekme analizi gerçekleştirilmiş ve bu sonuçlar üzerinden aşağıdaki kesikli çizgiler ile gösterilmiş kuvvet deplasman grafiği elde edilmiştir.



Şekil 4.9 : Karbon fiber takviyeli kompozitin test ve analiz kuvvet deplasman eğrisi.

Karşılaştırma aynı zamanda kuvvet ve deplasman dağılımları üzerinden de yapılmıştır. Sonlu elemanlarda kompozit hatasının (TSAI) değeri 1 olduğunda kompozit malzemenin hasara uğradığı an görülür. Bu anda deplasman değerine bakıldığında ise 2,75 mm olarak analiz sonuçlarında görülmüştür. Bu değer de kompozitin test datalarında da görüleceği gibi tam kırıldığı deplasman değeridir.

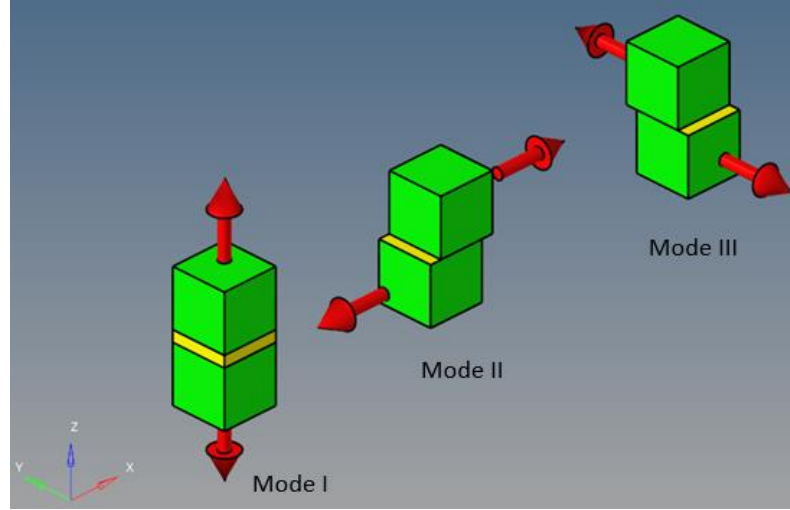


Şekil 4.10 : Karbon fiber takviyeli kompozitin hasara uğradığı andaki deplasman değeri.

4.4 Yapıştırma Performans Testleri Analiz Modelinin Doğrulanması

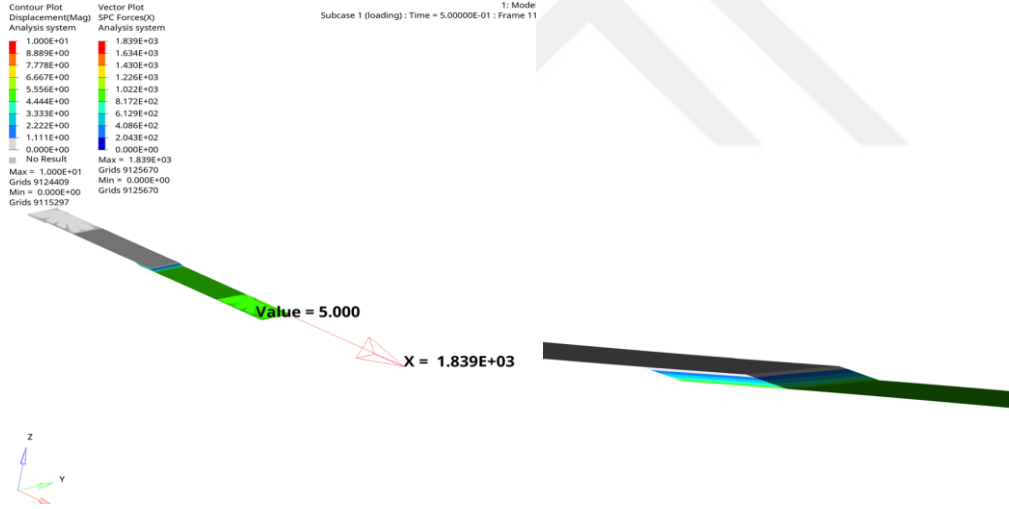
Yapıştırma performans ve karakterizasyon testlerinin arasında en uygun seçilen birleştirme teknolojisi Sikaflex 268 yapıştırıcısıdır. Bu yapıştırıcının sonlu elemanlarda doğru bir şekilde temsil edilmesi için doğrulama analizleri yapılmıştır. Yapıştırıcıyı doğrulamak için ikinci bölüm olan malzeme metodoloji bölümünde açıklanan sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur.

Korelasyonu sağlamak için Şekil 4.11’de mode ikiye karşılık gelen çekme testlerinin kuvvet deplasman grafiği ve analiz sonrasında elde edilen kuvvet deplasman grafiği karşılaştırılmıştır.

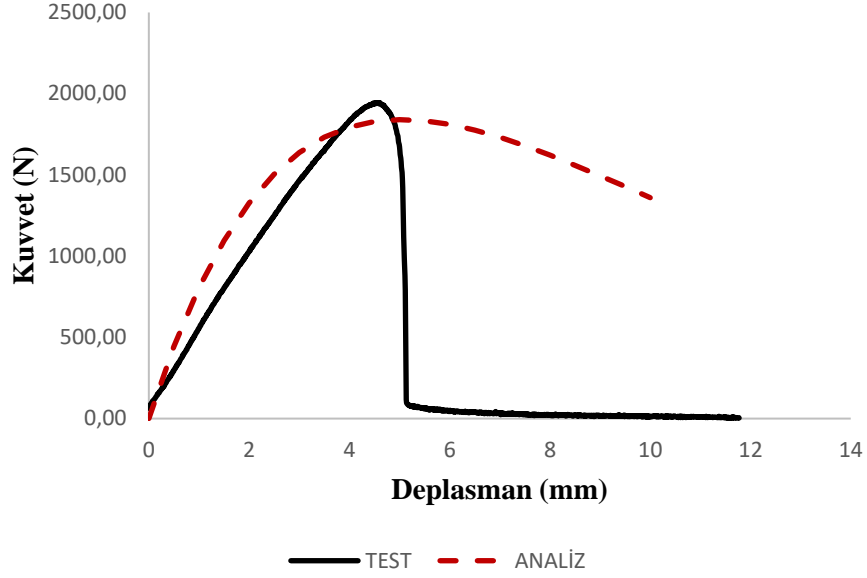


Şekil 4.11 : Kohesiv bölge koordinat sistemi.

Testlerden elde edilen bilgiye göre yapıştırıcının ortalama 5 mm deplasmandan sonra performansında düşüşler, kohesiv yırtılmalar olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 4.12’de sonlu elemanlar modelinin, 5 mm deplasmana maruz bırakıldığında kuvvet değeri olarak 1,8 kN okunduğu görülmektedir.



Şekil 4.12 : Yapıştırıcı karakterizasyon analizlerindeki gözlemlenen maksimum kuvvet değeri.



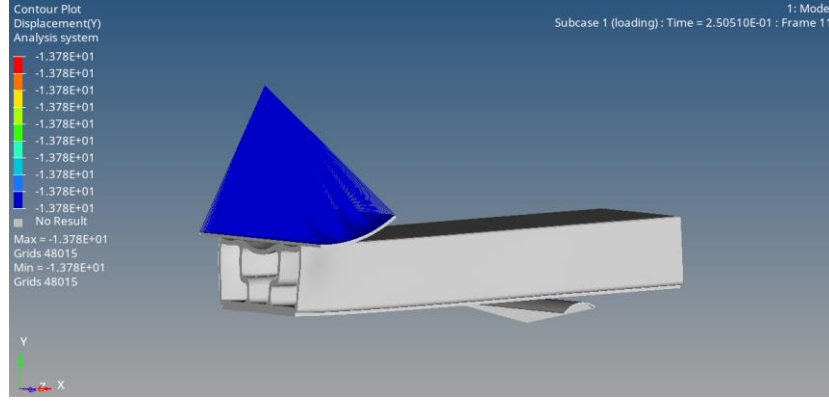
Şekil 4.13 : Sikaflex 268 PowerCure yapıştırıcı karakterizasyon testi ve analizi sonuçlarının kuvvet deplasman eğrisi.

4.5 Hibrit Yapının Üç Nokta Eğilme Testleri Analiz Modelinin Doğrulanması

Deneysel çalışmalarda yapılan 3 nokta eğilme testleri sonucunda kompozitin altta olduğu durum en iyi sonuçların olduğu durum olarak değerlendirilmiştir. Bu sebeple kompozitin altta olduğu hibrit yapı ile analizler gerçekleştirilmiştir.

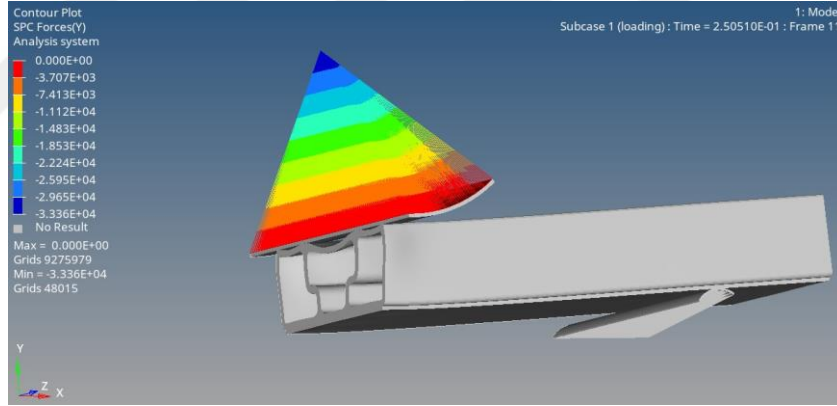
Alüminyum malzemenin ve kompozit malzemenin sonlu elemanlarda doğru olarak temsil edildiği bir önceki bölümde ispatlanmıştır. Yapıştırıcının doğru temsil edilmesi için kullanılan malzeme kartı ve özellik tanımlamaları bölüm 4.4 de gösterilmiştir. Testlerde elde edilen sonuçlara benzer bir yapıştırıcı davranışı elde edilmiştir. Bu üç analizden elde edilen sonuçlarla modellenen hibrit sistemin doğrulanması için sonlu elemanlar modeli hazırlanmıştır. Simetrik olarak hazırlanan bu model, yapının yarısını temsil etmektedir.

Sistemin birlikte davranışını doğrulamak için analiz sonuçları test sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu amaçla ezme plakasının 13,7 mm deplasman yaptığı andaki değerler incelenmiştir. Tam bu andaki deformasyon şekli aşağıdaki şekil 4.14'de görülmektedir.



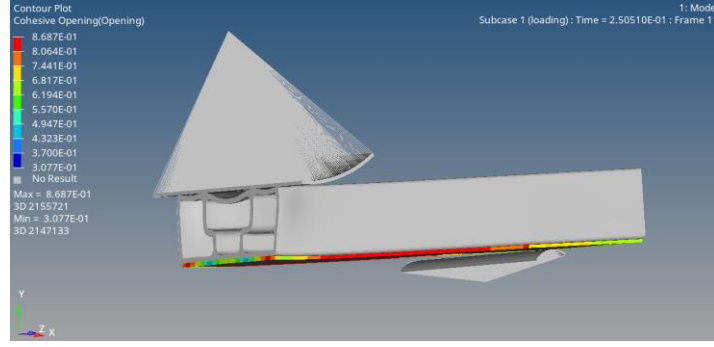
Şekil 4.14 : Hibrit yapının 13,7 mm deplasman anındaki deformasyon şekli.

Bundan sonraki doğrulamalar bu andaki sonuçlara bakılarak yapılmıştır. Yine bu anda testteki yük hücresinin okuduğu değere karşılık gelen tekil nokta yükü (SPC Force) 33,3 kN olarak analiz sonuçlarından okunmaktadır fakat analizi yarım model koşturduğumuz için bu değeri ikiyle çarpmamız gerekmektedir. Buda test sonuçlarında elde edilen 60kN a göre %10 sapmayla modelin doğru çalıştığını ispatlamaktadır.



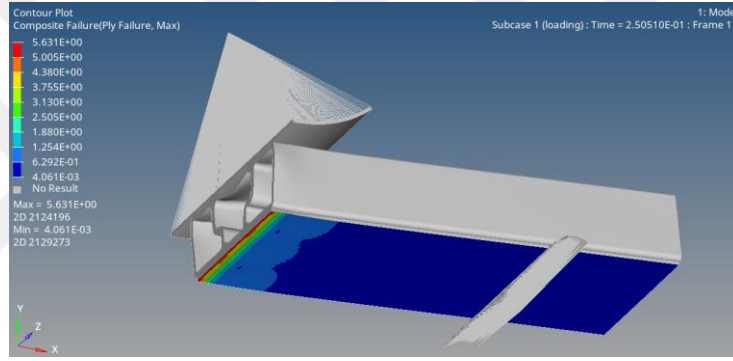
Şekil 4.15 : Hibrit yapının 13,7 mm deplasmana karşılık gelen kuvvet değeri.

Bu analizden elde edilen bir başka sonuçta yapıştırıcı üzerinde meydana gelen kohesiv açılma dağılımıdır. Şekil 4.15'te bu deplasman anında açılma en çok kırmızı alanlarda görülmektedir.

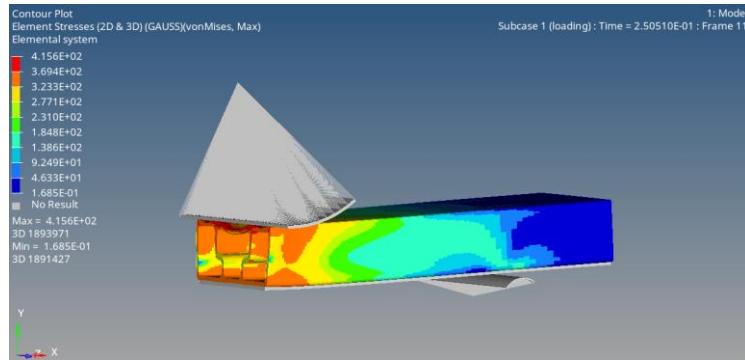


Şekil 4.16 : Hibrit yapının 13,7 mm deplasmanda yapııştırıcı üzerinde oluşan kohesiv açılma oranı.

Kompozit üzerinde oluşan gerilmeler ve nerede hata vereceği tahmini de analizin önemli çıktılarından biridir. Bir diğer çıktısı ise alüminyum profil üzerinde oluşan gerime dağılımıdır.



Şekil 4.17 : Hibrit yapının 13,7 mm deplasman anında kompozit üzerinde oluşan hasar tahmini.



Şekil 4.18 : Hibrit yapının 13,7 mm deplasman anında alüminyum profil üzerinde oluşan gerilme dağılımı.

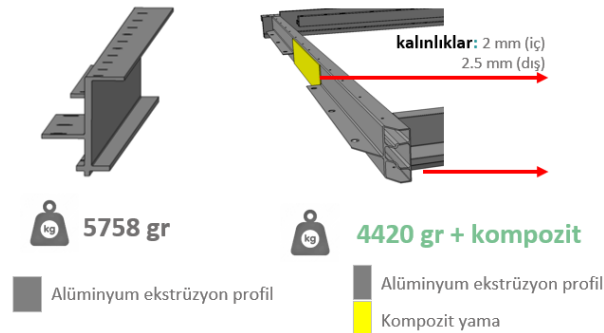
5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Alüminyum ve kompozit malzemeler mühendislik problemlerine ve otomotiv parçalarının isterlerine uygun çözümler sunmaktadır. Bu çalışmada görülmüştür ki, bu iki malzemenin bir araya gelmesiyle daha hafif ve aynı zamanda ikisinin de tek başına kullanımlarından daha avantajlı bir çözüm üretilmektedir. Özellikle batarya taşıyıcılarda daha önce denenmemiş bir çözüm olarak bu hibrit yapı kullanılmıştır.

Birleştirme teknolojilerini özellikle de yapıştırıcıların son yıllardaki gelişimi hızla artmaktadır. [32] Bu sayede çoklu malzeme kullanımı daha da kolaylaşacaktır. Bu tez çalışmasında da görülmektedir ki alüminyumun diğer malzemeler göre görece zayıf özellikleri istenilen bölgelerde arttırılabilmektedir. Sadece alüminyum olarak değil tüm malzemelerin çoklu kullanımının artacağı yazar tarafından öngörülmektedir.

5.1 Sonuçlar

Alüminyum profilin kesit tasarımı üzerine yapılan çalışmalar sonucunda şekil 5.1'deki nihai kesit elde edilmiş ve bu tasarım referans alınan modelde 5758 gramken tasarlanan son modelde 4420 gram ve kompozit malzemeden oluşmuştur. Bu ağırlıklar tez kapsamında testleri yapılan 50 cm uzunluğundaki kısmın değil 200 cm uzunluğundaki toplam yan duvarın ağırlığıdır.



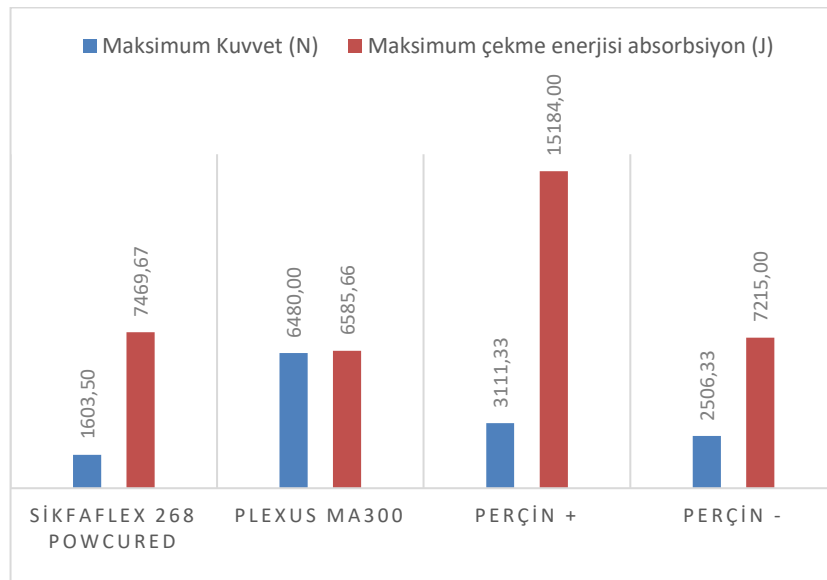
Şekil 5.1 : Nihai Tasarım ve referans tasarım karşılaştırılması.

Alüminyum malzeme, akma değeri 310 MPa, çekme değeri 330 MPa olan EN AW-6082 [AlSi1MgMn] olarak belirlenmiştir. Kompozit malzeme olarak ise karbon fiber takviyeli polimer kompozit belirlenmiştir. Mekanik özelliklerini belirlemek için

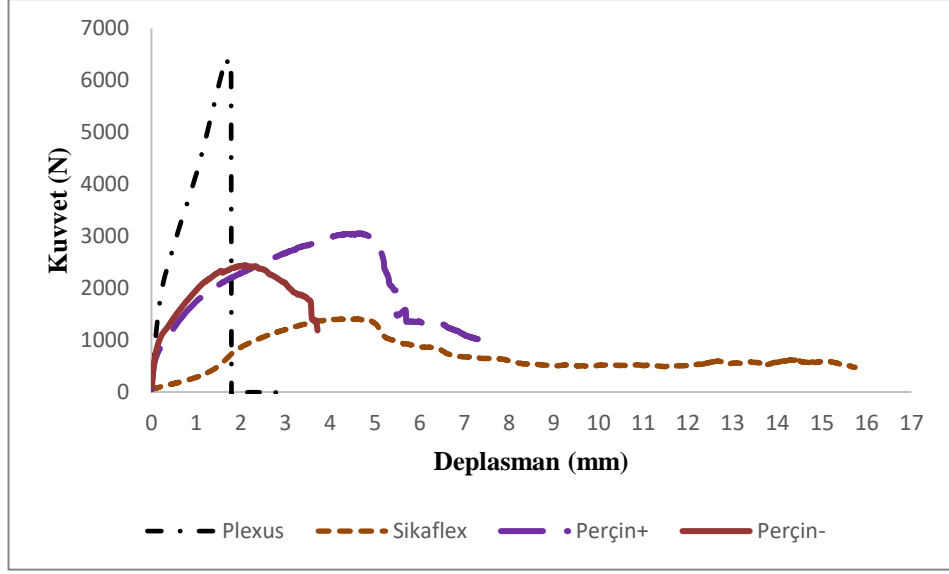
testlerin hepsi yapılmasa da bu çalışma kapsamında çekmeye maruz kalacağı için çekme testi yapılmış ve ortalama olarak her iki yönde de 730 MPa çekme gerilmesi %1 uzamaya sahip olduğu görülmüştür.

Hibrit malzemelerin geleceği için en önemli unsur birleştirme teknolojileridir. Çalışma kapsamında dört farklı birleştirme yöntemi denenmiştir. Bu yöntemlerden ilki polüüretan kimyasal yapısına sahip, nem ile kürlenmiş Sikaflex 268 PowerCure yapıştırıcısı ikincisi ise çok daha kısa çalışma süresine sahip, çift komponentli metaakrilik yapıştırıcı olan Plexus MA300 olmuştur. Diğer bir yöntem olarak ise perçinle mekanik bağlama yöntemi denenmiştir. Perçinlerin yönüne göre iki durumda incelenmiş kendi içinde iki farklı teknik olarak değerlendirilmiştir. Şekil 5.2 de görüldüğü gibi yapıştırıcılar arasında seçim yapılırken iki önemli kriter göz önünde bulundurulmuştur. İlki her bir yapıştırıcının ulaştığı maksimum kuvvet diğeri ise şekil 5.3 deki kuvvet deplasman eğrisinin altında kalan alan olan iş yani maksimum çekme enerjisi absorpsiyonudur.

Maksimum enerji absorpsiyonu bu yükleme durumu için kritik olarak öngörülmüştür. Bu sebeple en yüksek değere sahip pozitif yönde bağlanmış perçin uygun görülse de çentik etkisinden dolayı yapıştırıcı tercih edilmiştir. Plexus M300 dengeli olsa da bu çalışmada 7469 J enerjiyle en yüksek değere sahip Sikaflex 268 Power Cure yapıştırıcısı kullanılmıştır.



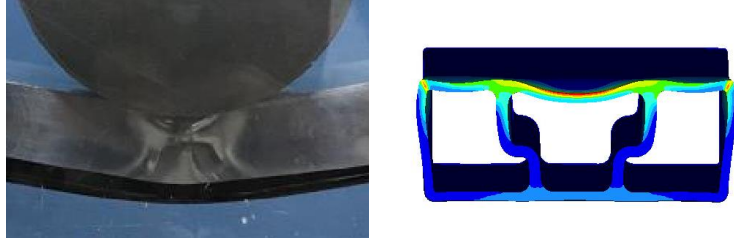
Şekil 5.2 : Birleştirme teknolojilerinin performans değerlendirilmesi için karşılaştırılması.



Şekil 5.3 : Birleştirme teknolojilerinin kuvvet deplasman grafiğinde karşılaştırılması.

Kullanılan yapıştırıcı maliyet açısından değerlendirildiğinde aşılması gereken engellerle karşılaşmıştır. Bu engellerin en başında yapıştırma işleminin uygulama ve sonrasında kürlenme sürelerinden kaynaklı çevrim zamanları gelmektedir. Diğer bir engel ise uygulama için operatörlerin becerileriyle sınırlı oluşudur. Tahribatsız muayene yöntemleri ile yapıştırıcının kontrolü sağlanamadığı için yanlış bir uygulama yanlış olarak kalmaktadır. Bir başka engel ise yapıştırıcıların özel odalarda nem, sıcaklık ve etraftaki toz oranının kontrol edildiği yerlerde yapılabilmesi olmasıdır. Tüm bu engeller çok adetli üretimlerin ve çok kısa sürede üretim maliyetleri azaltmak için neredeyse sıfır stok ile çalışılan otomotiv sektöründe çok büyük maliyetlere sebep olmaktadır. Fakat adet sayılarının daha az olduğu ve büyük parçalardan oluşan raylı sistemlerde yapıştırıcılar çokça kullanılmaktadır. Bu engelleri geliştirmek için birçok çalışmalar yapılmaktadır.

Kompozitli ve kompozitsiz üç nokta basma testi ve analizinden çıkarılan sonuçlara göre alüminyum profillerin üzerinde hasar ilk önce basma plakasıyla temas ettiği yüzeyden başlamaktadır. Şekil 5.4'te deformasyon şekli görülmektedir. Bu deplasman alüminyum profilin alt yüzeyinde hasar olduğu ana kadar neredeyse sabit olacak şekilde devam etmiştir. Deformasyon kuvvet grafiği incelendiğinde federlerin doğru şekilde yerleştirilmesi, sayısı ve kalınlığı maksimum kuvvet noktasını belirlemek için en önemli kriterdir.

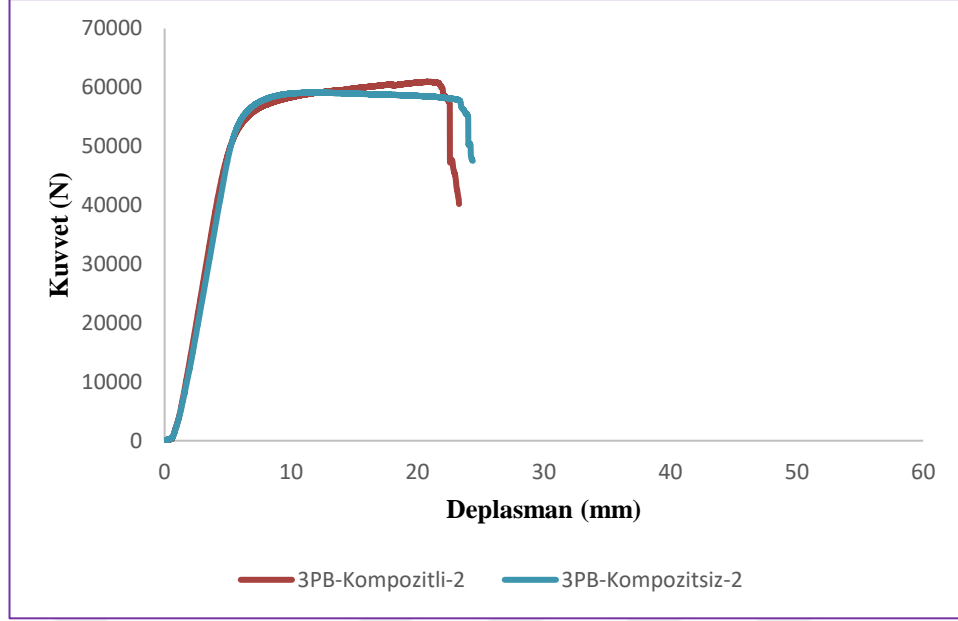


Şekil 5.4 : Alüminyum profil üzerinde oluşan plastik şekil değıştirme.

Hibrit yapı olarak hazırlanan numuneler kompozitin üstte ve altta olduğu durumda test edilmiştir. Şekil 5.5'te kompozitin üstte kalacağı şekilde test edilen numune sağ tarafta kompozitin altta kalacağı şekilde test edilen numune sol tarafta görölmektedir. Sonuçlar buradaki ters ve düz olacak şekilde iki grup halinde incelenmiştir. Kompozitin üstte olduğu temasın direkt kompozitle başladığı durumda aynı zamanda profilinde kesiti aynı yöne bakacak şekilde kompozitsiz de test yapılmıştır. Bu iki çeşit numunelerin kuvvet deplasman test sonuçları şekil 5.6 da verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde kompozitin etkisi görölmemiştir.

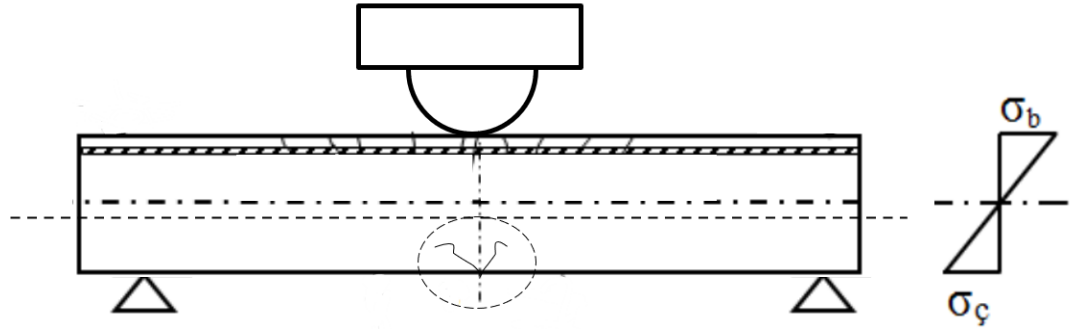


Şekil 5.5 : Kompozitli Ters ve Düz numunelerin deformasyon şekli.



Şekil 5.6 : Kompozitli ve kompozitsiz düz numunelerin kuvvet deplasman eğrileri.

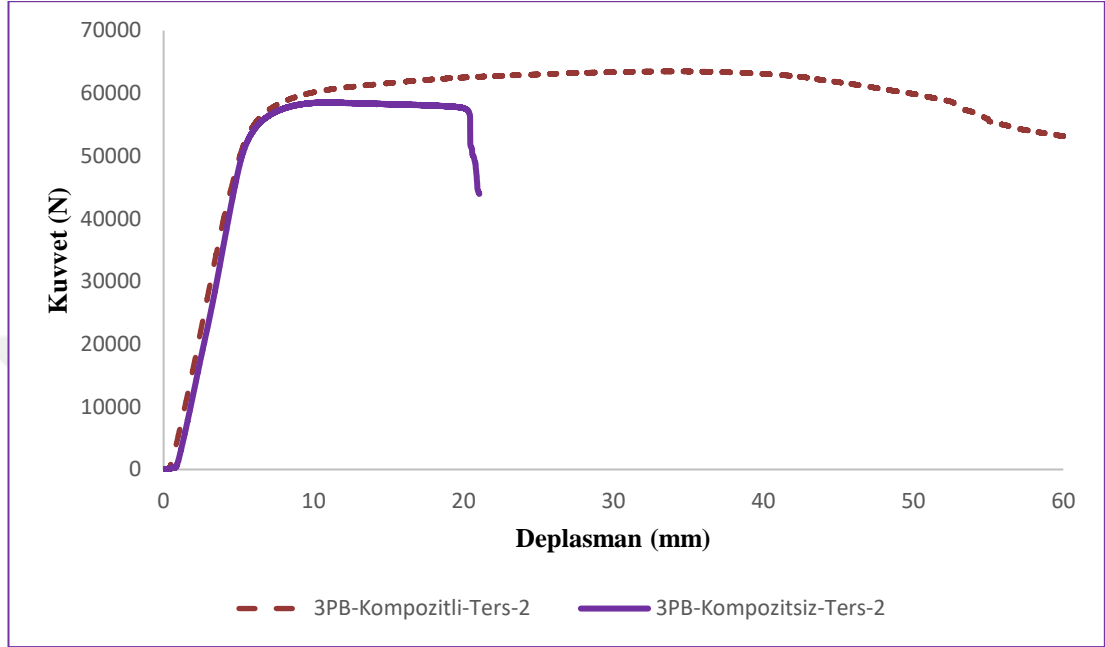
Kompozitin üstte olduğu durumda test sonuçlarının hemen hemen aynı hatta bir miktar kompozitsize göre daha kötü çıkmasının sebebi tarafsız eksenin kayması olarak yorumlanmıştır. Kompozit eklenmeden önce tarafsız eksen şekil 5.7de kesikli çizgilerle gösterilen çizgi hizasında iken kompozit eklendiğinde eksenin yukarı yönde kaymasıyla oluşacak çeki kuvveti linear olmayan bir artış göstermektedir. Bu artışta kesikli daire ile gösterilen çatlakın başlangıç noktasında hasarın erken başlamasına sebep olmuştur.



Şekil 5.7 : Kompozitin üstte olduğu düz üç nokta eğilme testinde tarafsız eksenin kayması.

Kompozitin altta olması durumundaki test alüminyum profilin kesit alanı aynı yönde olacak şekilde alttan yani tersten test edilen alüminyum profil testi ile karşılaştırılmıştır. Bu iki testin kuvvet deplasman eğrisi şekil 5.8'de gösterilmiştir. Hibrit yapı ulaştığı maksimum yükte daha fazla deplasman yapmasını sağlamıştır. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş alüminyum yüzeyi uzun bir süre çatlamaadan kalırken ilk

fiber tabakasının delaminasyonu sonrasında önce kompozit malzeme sonrasında alüminyum kırılmıştır. Bu da alt yüzeyine kompozit eklemenin hibrit yapı için darbeyi sönümleme kabiliyetini arttırdığını göstermektedir. Fakat bu enerji kazanımını yaparken şekil değiştirebileceği bir alana ihtiyaç duymaktadır.



Şekil 5.8 : Kompozitli ve kompozitsiz ters numunelerin kuvvet deplasman eğrileri.

Sonlu elemanlar yazılımı modeli üç nokta eğilme testinde doğrulanmış modeldir. Bu model sayesinde ISO 6469_1'deki ezme testinde yer alan sınır şartları sanal ortamda uygulanmış ve Avrupa birliği projesi olan Levis projesinde üretilecek olan batarya taşıyıcısının testleri yapılmadan önce önlemlerin alınması sağlanmıştır.

5.2 Öneriler

Güvenlik parçalarında alüminyum köpükler ve kompozit yamalar günümüzde çok konuşulan ve darbe sönümleme ihtiyacının yüksek olduğu parçalarda çokça tercih edilen yöntemlerdendir. Bu çalışmada da görülebileceği gibi yama şeklinde eklenen destekleyici kompozitlerin hem özgül ağırlıkları düşük hem de yönlerine bağlı olarak dayanımı arttırmaktadır. Alüminyum köpüklerin proses kararlılığındaki problemlerinden ve üretiminin çok fazla karbon salınımına sebep olmasından dolayı hibrit malzemelerin seçilmesinin daha etkili olacağını düşünülmektedir.

Kompozit yamalarla ilgili olarak söylenebilir ki, bu yamaların yapıştırılacağı yüzey yükleme şartına göre çok değişmekte güçlendirilecek olan yüzey doğru analiz edilmelidir.

Yükleme şartının sanki statik olması birçok durumda kabul edilebilir ve aynı zamanda birçok araç üreticisinin de kabul şartlarında uyguladığı bir yükleme şartıdır. Bu tez çalışması kapsamında dinamik yüklerin ve özellikle araç çarpışma testlerinin yükleme şartı kullanılmamış olup ileride bu yükleme şartlarıyla da test edilmesi sonuçları daha güvenilir yapacaktır.

Bu çalışma kapsamında seçilen yapıştırıcının maksimum kuvveti az olmasına rağmen sünek bir davranış gösterdiği için seçilmiştir. Fakat hem sünek davranış hem de maksimum karşıladığı yük daha fazla olan yapıştırıcılar tercih sebebi olabilir.

Yapıştırma yöntemi olarak da kullanılan prepreg pres teknolojisi, hem işlem adımlarının hem de işlem süresinin önemli ölçüde azalttığı için yapıştırma metodu olarak seri üretimde kullanılabilir. Bu şekilde epoksi reçineyi yapıştırıcı olarak kullanmak mümkün olmaktadır. Bu çalışmada prepreg yöntemiyle oluşturulmuş kompozitler hazır halde alındığı için denenmemiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Güven, F., & Rende, H.** (2017). Elektrikli araçların tasarımında malzeme seçiminin önemi. *Mühendis ve Makina*, 58(689), 81-95.
- [2] **Okutan, M. S.** (2022). Fiber takviyeli hibrit kompozit tüplerin burulma davranışının incelenmesi= Investigation of torsional behaviour of the fiber reinforced hybrid composite tubes.
- [3] **Lauter, C., Niewel, J., & Troester, T.** (2014). Quasistatic and crash tests of steel-CFRP hybrid pillar structures for automotive applications. *International Journal of Automotive Composites*, 1(1), 52-66.
- [4] **Doğan, A.** (2021). İnsansız Hava Araçları ve Elektrikli Otomobil Üretimi Teknolojik Yakalamada Türkiye İçin Fırsat Pencereleri Olabilir mi? *Fırat Üniversitesi Uluslararası İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 5(1), 27-50.
- [5] **Watarai, H.** (2006). *Trend of Research and Development for Magnesium Alloys-Reducing the Weight of Structural Materials in Motor Vehicles*. NISTEP Science & Technology Foresight Center.
- [6] **Moultak, M., Lutsey, N., & Hall, D.** (2017, September). Transitioning to zero-emission heavy-duty freight vehicles. Washington DC: ICCT.
- [7] **Löbberding, H., Wessel, S., Offermanns, C., Kehrer, M., Rother, J., Heimes, H., & Kampker, A.** (2020). From cell to battery system in BEVs: Analysis of system packing efficiency and cell types. *World Electric Vehicle Journal*, 11(4), 77.
- [8] **Bala, A., & Chaitanya Kamaraju, M.** (2020). Design and Optimization of Battery Housing in Electric Cars.
- [9] **Ashley, S.** (2016). Lightweight sandwich structures for EV chassis.
- [10] **Carruth, M.** (2011). Design Optimization Case Study: Car Structures. *WellMet2050, University of Cambridge, Cambridge*.
- [11] **T. Lombardo**, «chargedevs.com,» 21 September 2020. retrieved: 01.10 2023. from: <https://chargedevs.com/newswire/consortium-of-auto-suppliers-launches-multi-material-ev-battery-casing-project/>
- [12] **Anonim**, «Dismantling and Analysis of Vehicles to Develop Optimal Applications,» 25 February 2019. retrieved: 01.03.2022 from: <https://www.lightmetalage.com/news/industry-news/automotive/article-dismantling-and-analysis-of-vehicles-to-develop-optimal-applications/>
- [13] **Burgucu, S.** (2011). **7075 alüminyum alaşımlarının üretimi ve karakterizasyonu.**
- [14] **Davis, J. R. (Ed.)**. (2001). *Alloying: understanding the basics*. ASM international.

- [15] **Hayat, F.** (2010). Trip Çeliklerinin Otomotiv Endüstrisinde Kullanımının İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(4).
- [16] **A. A. Govind Bhutada**, «elements.visualcapitalist.com,» Elements Newsletter, 02 05 2022. retrieved:12.10.2022. from: <https://elements.visualcapitalist.com/the-key-minerals-in-an-ev-battery/>.retrieved:12.10.2022
- [17] **Bardakçi, R.** (2020). *Ortasında eliptik yarık bulunan cam-karbon/epoksi hibrit kompozit plakların burkulma davranışının incelenmesi* (Master's thesis, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [18] **Lengsfeld, H., Lacalle, J., Neumeyer, T., & Altstädt, V.** (2021). *Composite technology: prepregs and monolithic part fabrication technologies*. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG.
- [19] **H. Alkan**, «Sonlu Elemanlar Metodu Nedir, Nerelerde Kullanılır?,» 14 03 2014. retrieved: 08.10.2022. from: <https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/sonlu-elemanlar-metodu-nedir-nerelerde-kullanilir/11661#ad-image-0>.
- [20] **University of Victoria**, Introduction to Finite Element Analysis (FEA) or Finite Element Method (FEM), 02 05 2009, from: https://www.engr.uvic.ca/~mech410/lectures/FEA_Theory.pdf. retrieved: 20.9.2022.
- [21] **İ. Cayiroğlu**, Bilgisayar Destekli Tasarım Ve Analiz, from: <http://www.ibrahimcayiroglu.com/Dokumanlar/BilgisayarDestekliTasarim/BilgisayarDestekliTasarimVeAnaliz-1-hafta.pdf>.
- [22] **Kurtuluş, E.** (2015). *Yeni nesil otokorkuluk sistemlerinin çarpışma analizleri ve sezgisel optimizasyon yöntemleri kullanılarak geliştirilmesi* (Master's thesis, Bursa Teknik Üniversitesi).
- [23] **Sonlu Elemanlar Yöntemi**, 28 12 2014. retrieved 08.09.2022. from: <https://analizsimulasyon.com/sonlu-elemanlar-yontemi>.
- [24] **Alarifi, I. M.** (2021). Investigation into the Structural, Chemical and High Mechanical Reforms in B4C with Graphene Composite Material Substitution for Potential Shielding Frame Applications. *Molecules*, 26(7), 1921.
- [25] **Bednarik, M., Mizera, A., Manas, M., Navratil, M., Huba, J., Achbergerova, E., & Stoklasek, P.** (2020). Influence of the β -Radiation/Cold Atmospheric-Pressure Plasma Surface Modification on the Adhesive Bonding of Polyolefins. *Materials*, 14(1), 76.
- [26] **Astrouski, I., Kudelova, T., Kalivoda, J., & Raudensky, M.** (2022). Shear Strength of Adhesive Bonding of Plastics Intended for High Temperature Plastic Radiators. *Processes*, 10(5), 806.
- [27] **Klink, G., Rouilloux, G., Wadivkar, O., & Znojek, B.** (2012). Plastics. The Future for Automakers and Chemical Companies. *AT Kearney Report*.
- [28] **Karaca, A. A.** (2016). *Auxetic malzemelerin deneysel olarak ve sonlu elemanlar metodu ile incelenmesi* (Master's thesis, Bursa Teknik Üniversitesi).
- [29] **Williams, J. L., & Lewis, J. L.** (1982). Properties and an anisotropic model of cancellous bone from the proximal tibial epiphysis.
- [30] **Kerem, A.** (2014). Elektrikli araç teknolojisinin gelişimi ve gelecek beklentileri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 1-13.

- [31] **Şensoy, Y.** (2023). *Elektrikli araç alüminyum batarya kutusunun dinamik analizi ve tasarım parametrelerinin iyileştirilmesi* (Master's thesis, Bursa Uludağ Üniversitesi).
- [32] **Lauter, C., Niewel, J., & Troester, T.** (2014). Quasistatic and crash tests of steel-CFRP hybrid pillar structures for automotive applications. *International Journal of Automotive Composites*, 1(1), 52-66.
- [33] <https://mechanicalc.com/calculators/material-stress-strain-curve/>, Mayıs 2022.



