



Derleme Makale / Review Article

TEKSTİL MALZEMELERİ İLE KAPALI ALAN HAVA KALİTESİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

**Duygu GAZİOĞLU RÜZGAR
Şule ALTUN***

Bursa Teknik Üniversitesi, DBMMF, Lif ve Polimer Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

Gönderilme Tarihi / Received: 28.03.2016

Kabul Tarihi / Accepted: 17.10.2016

ÖZET: Modern insan yaşamının yaklaşık % 90'ını kapalı ortamlarda geçirmektedir, bu nedenle iç hava kalitesi günümüzde insan sağlığı ve konforunu etkileyen önemli parametrelerden biri haline gelmiştir. Kapalı ortam havasında, NO_x, SO_x, CO_x ve uçucu organik bileşikler başta olmak üzere pek çok kirletici gaz bulunmaktadır. Kirletici gazların yol açtığı baş ağrısı, göz, burun ve boğaz rahatsızlıkları, yorgunluk, cilt problemleri, öksürük ve bulantı gibi etkiler, yaşam kalitesini düşürdüğü gibi, çalışan verimini de olumsuz yönde etkilemektedir. Bu çalışmada, iç hava kirleticileri, iç hava kalitesini etkileyen faktörler ve tekstil malzemelerinin iç hava kalitesine olan etkileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İç hava kalitesi, sorpsiyon, tekstil, kirletici gazlar

IMPROVING INDOOR AIR QUALITY WITH TEXTILE MATERIALS

ABSTRACT: People spend nearly 90% of their time in closed spaces therefore indoor air quality is an important factor that affects human health and comfort. Indoor air contains a variety of pollutant gases such as NO_x, SO_x, CO_x and volatile organic compounds. Pollutants can lead to a number of complaints on people's health and work efficiency. The most common complaints are headache, eye, nose, and throat irritation, fatigue, skin irritation, coughs and nausea. In this study, indoor air pollutants, the factors that affect the indoor air quality and the effect of textile materials on indoor air quality are examined.

Keywords: Indoor air quality, sorption, textile, pollutant gases

* **Sorumlu Yazar/Corresponding Author:** sule.altun@btu.edu.tr

DOI: 10.7216/1300759920162310406, www.tekstilvemuhendis.org.tr

1. GİRİŞ

Endüstrilemiş ülkelerde, insanlar zamanlarının %70-90'ını kapalı alanlarda (ev, ofis, okul, otomobil, uçak, fabrika vb.) geçirmektedir, bu süreç içerisinde kapalı ortamın doğası kişilerin sağlığını, hayat kalitesini ve üretkenliğini önemli ölçüde etkilemektedir [1].

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı'na göre Amerikan vatandaşları gün içerisindeki zamanlarının yaklaşık 22,3 saatini kapalı ortamlarda (araçlar dahil) geçirmektedir. Almanya'da kapalı ortamlarda geçirilen süre 20,9 saat, Kore'de ise hafta içi günlerde 16 saat hafta sonu günlerde de 17,8 saat olarak bulunmuştur [2]. Genel olarak gelişmiş ülkelerde, kapalı alanlarda geçirilen zaman, az gelişmiş ülkelere kıyasla daha yüksektir. İç ortam havasında bulunan zararlı kirleticilere maruz kalmanın dış ortamda maruz kalmaya kıyasla insan sağlığı üzerinde daha büyük bir etkiye sahip olması, bu süreleri daha önemli kılmaktadır. [3].

İç hava kirliliği, gaz veya parçacık formundaki kirleticilerin iç hava atmosferini değiştirerek insan sağlığı ve konforunu olumsuz yönde etkilemesi olarak tanımlanabilir. İç hava kalitesi (İHK) ise genel anlamda; iç ortamda solunan havanın ne kadar 'iyi' ya da ne kadar 'kötü' olduğunu gösteren bir ölçüttür.

İç hava kalitesi termal konfor, havalandırma, iç mekândaki kirleticiler ve malzeme emisyonlarıyla yakından ilişkilidir. Isıtma/havalandırma sistemlerinin tasarımı, bina malzemeleri ve mobilyaların seçimi de İHK üzerinde önemli etkilere sahiptir.

Temel olarak iç hava kirleticileri; ev ortamındaki tozlar ya da evcil hayvanlar gibi alerji yapabilecek unsurlardan, karbonmonoksit (CO), ozon (O₃), kükürt oksitler (SO_x), azot oksitler (NO_x) gibi gazlardan, hidroksil radikalleri (OH), biyolojik döküntüler, asbest; mantar, sporlar, uçucu ve yarı uçucu organik bileşikler (UOB ve YUOB), aldehytler, radon ve formaldehitten oluşmaktadır. [4,5,6,7].

İç ortamda bulunan kirleticiler birçok sağlık problemine ve ölümlere neden olabilmektedir. Her kirletici tipinin kendine özgü yapısından kaynaklanan farklı zararları olmakla birlikte en yaygın görülen sağlık etkileri; konjunktival tahriş, burun ve boğazda tahriş; baş ağrısı, deride alerjik reaksiyonlar, nefes darlığı, koordinasyon kaybı, bulantı; burun kanaması, yorgunluk, halsizlik, akciğer, böbrek ve merkezi sinir sisteminde hasardır. Bazı organik maddeler hayvanlarda, bazı maddeler de insanlarda kansere neden olabilmektedir [8,9,10].

2. İÇ ORTAM HAVA KALİTESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

2.1 İç ortamda kullanılan yapı malzemeleri ve ürünler

Kapalı ortamların üretiminde ve iç ortamların tefrişinde kullanılan, iç hava kalitesini etkileyen başlıca ürünler aşağıda verilmiştir:

- Bina yapı malzemeleri; kompozit ahşap, polivinilklorür (PVC) borular, PVC tel/kablo yalıtımı, vb.

- Diğer malzemeler; halılar, döşemeler, boyalar, mobilyalar, temizlik ürünleri, elektronik aletler, kıyafetler vb. [11].

2.2 Kimyasal değişimler

Weschler ve Shields, iç hava ortamını, bir reaksiyon kabına benzetmektedir, giren ve çıkan kimyasallarla birlikte, bu kimyasalların birbirleri ile oluşturdukları reaksiyonlarla da, daha önce iç ortamda olmayan yeni kimyasallar ortaya çıkmakta, dolayısıyla oldukça kompleks bir yapı oluşmaktadır [12].

Dış ortam kimyası üzerinde uzun yıllardır çalışılmasına rağmen, iç ortam kimyası görece olarak daha yeni ve üzerinde daha az çalışılan bir konudur. İç ortam kimyası çalışmalarının gaz fazı reaksiyonları, birincil ve ikincil emisyonlar ve bu maddelerin sağlık üzerine etkileri konularında yoğunlaştığı görülmektedir Birincil emisyon; yeni üründe bulunan bileşiklerin fiziksel Salınımı, ikincil emisyon; üründe veya iç ortam havasında kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan bileşikler anlamına gelmektedir [5].

İç ortamda bulunan yeni bir ürün tarafından salınan bir madde ve O₃, NO_x ve hidroksil radikalleri gibi aktif moleküllerin bulunması durumunda ikincil emisyonlar meydana gelebilmektedir. İç ortamda görülen başlıca kimyasal reaksiyonlar oksitlenme reaksiyonları ve hidroliz reaksiyonlarıdır.

- Oksitlenme reaksiyonları: İç hava kirleticilerinin kimyasal reaksiyona girmeleri ile oluşan ve serbest radikaller, epoksiler, aldehytler, ketonlar, asitler, diasitler, dikarboniller gibi oksidasyon ürünleri açığa çıkaran reaksiyonlardır.
- Hidroliz reaksiyonları: İç ortamdaki malzemelerin çoğunda bulunan plastikleştiriciler ve alev geciktiriciler, fitalatlar ya da fosfat esterleri içermektedir. Bu esterler su ile reaksiyona girerek hidrolize olurlar ve ortama asit ve alkol ürünleri verirler. Son 50 yıl içerisinde esterleri içeren birçok ürün kapalı ortamlara girmiştir. Dolayısıyla hidroliz reaksiyonları, önceki yıllara kıyasla çok daha fazla önem kazanmıştır. Polivinil klorür (PVC)'ün iç ortamda hidrolizi de iç hava kalitesini olumsuz etkileyen faktörlerdendir [13].

2.3 Kişisel alışkanlıklar

Sigara içmek, evcil hayvan beslemek, kapalı ortamlarda harcanan zaman diliminin fazla olması gibi kişisel alışkanlıklar iç ortam hava kalitesini etkilemektedir [11, 13].

2.4 Bina faktörleri

Geçmişten günümüze binalarla bağlantılı olarak iç hava kalitesini etkileyen üç önemli faktör bulunmaktadır:

- İkinci dünya savaşından önce bina materyalleri çoğunlukla doğal maddelerden yapılmıştır, ancak günümüzde bu materyaller farklı malzemelerin bir arada kullanıldığı kompleks/kompozit yapılar haline gelmiştir.
- Günümüzde inşa edilen binalar 1945 yılı öncesine göre daha küçüktür ve yaşam alanları daha dar hale gelmiştir.
- Günümüzde dar binaların dışarıya olan hava sirkülasyonu daha azdır [14].

3. İÇ HAVA KİRLLETİCİ TİPLERİ

İç ortam havasında rastlanan önemli kirletici tipleri aşağıda verilmiştir:

- İnorganik gazlar: Karbonmonoksit, azot oksitler (NO_x), sülfür dioksit (SO_2), ozon (O_3), radon [13].
- Uçucu organik bileşikler (UOB): Uçucu organik bileşikler Amerika Çevre Ajansı tarafından normal iç ortam hava şartlarındaki basınç ve sıcaklıkta gaz halde bulunmaya elverişli olan organik kimyasal bileşikler olarak tanımlanmıştır [15]. İç ortam havasında pek çok farklı UOB farklı konsantrasyonlarda bulunabilmektedir. Yaygın iç ortam uçucu organik bileşikleri; benzen ve kloroflorokarbonlardır. Bu kirleticiler arasında iç ortamda yaygın olarak bulunan formaldehit üzerinde en çok çalışılan kirleticilerdendir.
- Çok uçucu organik bileşikler (ÇUOB): Formaldehit, asetaldehit, akrolein, 1-3 butadien, isopren bu gruba girmektedir.
- Yarı uçucu organik bileşikler (YUOB): Polisiklik aromatik hidrokarbonlar, poliklorlu bifeniller, poliklorlu dibenzodioxinler, poliklorlu dibenzofuranlar ve organoklorlu pestisitler başlıca yarı uçucu organik bileşiklere örnek olarak verilebilir. Yanma prosesleri, alev geciktiriciler, ısı transfer sıvıları, kişisel bakım ürünleri, pestisit ve herbisitler, plastikleştiriciler, leke ve su iticiler YUOB kaynağı olabilecek malzemelerdir [13,16].
- Metaller, mineral lifler ve partiküller: Kurşun (iç ortamda kullanılan boyalardan, dış ortamdaki motorlu araçların yanma gazlarının iç ortama olan emisyonlarından kaynaklanan), civa (iç ortamda kullanılan boyalardan, lambalardan, termometrelerden kaynaklanan), kadmiyum, asbest bu grupta sayılabilir [11,13].

Uçucu organik bileşikler bu kirleticiler içerisinde ön plana çıkmaktadır. Uçucu organik bileşiklerin kapalı ortamlardaki başlıca kaynakları aşağıda verilmiştir.

- Yemek pişirmek için kullanılan yakıtlar,
- Pişirme sonrası açığa çıkan duman,
- Çeşitli tüketici ve ev ürünleri,
- Modern bina yapım maddeleri,

- İzolasyon maddeleri,
- Koruyucu maddeler,
- Mobilya boyaları ve kaplamaları,
- Temizlik maddeleri,
- Kişisel bakım ürünleri,
- Sigara dumanı,
- Oda kokuları,
- Haşere ilaçları,
- Fotokopi ve yazıcılar,
- Yoğun trafiğe sahip dış mekanlar [17,18,19].

Kapalı alanlarda bin kadar farklı türde uçucu organik karışım bulunabilmektedir, yetişkinler ve çocuklar soluma esnasında bu karışımı kolayca içlerine çekebilmektedirler. Çok az miktarda organik gaz karışımı dahi uzun süre alınması durumunda oldukça zararlı sağlık etkileri yaratabilmektedir [20,21]. Tablo 1'de UOB'lerin insan sağlığına olan etkileri verilmiştir.

İç ortamdaki UOB konsantrasyonunu etkileyen üç temel faktör vardır:

1. Emisyon kaynakları ve karakteristikleri,
2. İç hava kirleticilerinin iç yüzeylerle etkileşimi,
3. Binanın etrafındaki çevre ve iç hava arasındaki sirkülasyon ile hava değişimi [22].

İç hava kalitesi ile birlikte anılan bir diğer ifade de Hasta Bina Sendromu (HBS)'dur. Hasta bina sendromu kapalı alanda harcanan zamanla orantılı olarak ortaya çıkan semptomlar dizisidir. Baş ağrısı ve mide bulantısı, burun problemleri (burun akması veya burun tıkanması, sinüzit, hapşırma), göz problemleri (gözde kuruma, kaşınma, akma, iltihaplanma; bulanık görme; göz yanması; kontakt lenslerle ilgili sorunlar), boğaz problemleri (boğazda iltihaplanma, ses kısıklığı, boğazda kuruma), yorgunluk (normal olmayan yorgunluk hissi, uykusuzluk veya fazla uyuma isteği), titreme ve ateşlenme, kasların ağrması (ağrılı kas ve eklemler), nörolojik problemler (hatırlamada problem ve konsantrasyon kaybı, depresyon hissi, gerginlik ve sınırlılık), baş dönmesi ve cilt kuruluğu hasta bina sendromu ile ortaya çıkan semptomlardır [20,23,24]. İç hava kalitesi, hasta bina sendromuna etki eden en önemli faktörlerdendir.

Tablo 1. Dünya Sağlık Örgütü kılavuzundaki insan sağlığına zarar verme potansiyeli daha yüksek olan UOB'ler ve olası sağlık etkileri [8]

Benzen	İlik kanseri, Genetik bozukluklar
Karbonmonoksit	Kalp hastalıkları
Formaldehit	Duyusal tahrip
Naftalin	Solunum yolları yaralarının sebep olduğu iltihaplanmalar
Azot Dioksit	Solunum ve bronşlarla ilgili problemler, solunum yolu iltihaplanmaları ve bağışıklığın azalması
Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar	Akciğer kanseri
Radon	Akciğer kanseri, diğer kanserlere de yol açacak problemler oluşturmak (özellikle lösemi ve solunum yolları ile ilgili kanser çeşitleri)
Trikloretilen	Hücrelerde genetik değişikliklere sebep olarak görülen kanserojen etkiler (karaciğer, böbrek, safra bezi)
Tetrakloretilen	Böbrek rahatsızlıkları

4. İÇ HAVA KALİTESİNİN İYİLEŞTİRİLMESİNİN YÖNELİK METODLAR

İç hava kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla farklı sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemlerden en yaygın olanı hava temizleyicilerdir. Bazı bitkiler ve doğal tekstil lifleri de hava temizleyici etkiye sahiptir.

Hava temizleme amacına yönelik olarak beş temel sistemin kullanıldığı görülmektedir [10].

- Fotokatalitik Oksidasyon: Fotokatalitik Oksidasyon, uçucu organik bileşiklerin uzaklaştırılmasında en inovatif ve umut verici yöntem olarak gösterilmektedir [25].

Hava temizleme çalışmaları incelendiğinde en fazla çalışmanın fotokatalitik oksidasyon konusuna yoğunlaştığı görülmektedir. TiO_2 bu araştırmalarda en çok kullanılan malzemedir. Bazı çalışmalarda katalistin performansını yükseltmek için ozon kullanımı da söz konusudur. Fotokatalitik oksidasyon hemen hemen tüm kirleticiler (aldehit, aromatik, alkan, olefin, halojenli hidrokarbonlar vb.) üzerinde etkilidir [25,26].

- Filtrasyon: Yapılan çalışmalarda filtrasyonun daha büyük partiküller için uygun olduğu tespit edilmiştir. Son zamanlarda aktive edilmiş karbon kullanılan filtrelerde UOB için de çözümler geliştirilmiştir [10].

- Ozon-Oksidasyon: Ozon bazı iç hava kirleticileri ile reaksiyona giren bir oksidanttır. Ozon ve farklı mikro-mezo gözenekli adsorbentlerin kombine olarak kullanımı, ozonun oksidasyon performansını arttırmakta ve ozonun negatif etkisi olan ozon artıklarının da azalmasına katkı sağlamaktadır. Ozon kendisi tehlikelidir ve yan ürünleri de zararlı bileşikler olabilmektedir. Bu nedenle diğer uygulamalara nazaran daha az tercih edilmektedir [27].

- Plazma: Hava temizleme sistemleri için üretilen farklı plazma yöntemleri vardır. Çalışmalar plazma hava temizleyicilerinin kirleticileri yüksek verimlilikte giderdiğini göstermektedir. Katalitik teknoloji ile kombine edilen plazma hava temizleyicileri ise özellikle toluen vb. UOB'lerin azaltılmasında etkilidir. Eğer plazma UV-katalitik teknoloji ile kombine edilirse formaldehit, benzen, ve ksilen gideriminde de etkili olabilmektedir [28].

- UVAI (Ultraviyole Antiseptik Işınlama): Antiseptik ışınlama 200-365 nm içerisindeki Ultraviyole dalga boylarının kullanılmasıyla, havanın ve yüzeyin dezenfekte edilmesinde uygulanan bir yöntemdir [10].

- Adsorpsiyon: Bu yöntem gaz fazındaki kirleticiler için çok uygundur ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Sorpsiyon uygulamalarında sorpsiyon mekanizması, sorbent yüzey alanı, gö-

zeneklilik, difüzyon katsayısı ve ömrü gibi faktörler etkilidir [29].

Adsorpsiyon; akışkan fazda çözünmüş haldeki belirli bileşenlerin bir katı adsorbent yüzeyine tutunmasına dayanan ve faz yüzeyinde görülen yüze tutunma olayıdır. Adsorban; yüzeye tutunan maddeye denir. Sıvı ya da gaz olabilir. Adsorbent ise tutunulan madde veya adsorptan madde olarak tanımlanabilir. Adsorpsiyon işlemine etki eden faktörler sıcaklık, pH, adsorbantın yapısı ve adsorbantın özellikleridir.

Adsorpsiyon van der Waals etkileşimleri (fiziksel adsorpsiyon) veya kimyasal proses (kimyasal adsorpsiyon) şeklinde gerçekleşmektedir. Fiziksel sorpsiyonun aksine kimyasal sorpsiyon tek bir katman olarak meydana gelir. Fiziksel sorpsiyon genellikle geri dönüşümlüdür [30].

Yaygın olarak kullanılan adsorbentler zeolitler ve aktif karbonlardır. Endüstriyel adsorbentler arasında çevre kirliliğini kontrol amacıyla, şu anda kullanılan adsorbentlerin en önemlisi yüksek gözenekliliğe sahip aktif karbonlardır. Son dönemlerde reaktif polimerler üzerinde de çalışmalar yapılmaktadır.

Adsorbentin, yeniden kullanılması mümkündür. Bu durumda rejenerasyon işlemi ile adsorban uzaklaştırılır ve adsorbent yeniden kullanılır. Isıl, kimyasal ve biyorejenerasyon gibi farklı rejenerasyon sistemleri bulunmaktadır [31].

5. KAPALI ALAN HAVA KALİTESİNİN ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Pratikte, iç ortam malzemelerinden kaynaklanan emisyonların yoğunluğu iki şekilde değerlendirilir:

I- Önceki ölçüm sonuçlarının matematiksel modellemesi ve bilgisayarda simülasyonu,

II- Emisyon Test Odaları kullanılarak yapılan laboratuvar deneyleri.

Emisyon test odalarında gerekli sıcaklık, nem, yükleme oranı ve gaz akışı oranı ayarlanabildiğinden analizler test edilecek ortama en yakın şekilde gerçekleştirilebilir [32]. Tablo 2'de farklı test odacıkları, test koşulları, test edilen malzemeler, tespit edilen kimyasal bileşikler ve bunları belirleme teknikleri verilmektedir.

Yaygın olarak kullanılan ASTM D5116-10 standardı, küçük test odacıklarına yönelik bir standarttır [33]. ASTM D6670-01 ise UOB'ler için oda büyüklüğünde test odacıkları kullanılan, malzemelerin gerçek boyutlarında test edilebildiği bir standarttır [34,35]. ISO standartlarında ise, UOB'lerin, NO_2 , SO_2 , gibi gazların tespitine yönelik çok sayıda standart bulunmaktadır, ISO 16000-25:2, ISO 16000-6, ISO 16017-1, ISO 160814 bu standartlara örnek olarak verilebilir.

Tablo 2. Farklı test odacıkları, test koşulları, test edilen malzemeler, tespit edilen kimyasal bileşikler ve bunları belirleme teknikleri [29]

Tip	Hacim (dm ³)	Sıcaklık (°C)	Nem (%)	Test Edilen Materyal	Tespit Edilen Kimyasal Bileşikler	Son Belirleme Tekniği
Küçük oda	20	25 ±1	50 ±5	*MF/PVAc hibrit reçine ile bağlı döşemelik *Ahşap esaslı kompozitler: orta dayanımlı lif levhası (MDF), sunta (PB), laminat kaplama	Formaldehit UOB	HPLC/UV-vis 360 nm GC/MSD
Paslanmaz çelik küçük ölçekli oda	20	25 ±1	50 ±4	Duvar kaplama yapışkanları, döşemelik malzemeler, polistren köpük	Aldehitler UOB	HPLC/UV-vis 360 nm GC/MSD
Cam desikatör	20-23	23±0,3	50 ±5	Farklı tip yer kaplamaları: PVC, halı, muşamba, Çeşitli kaplamalar, ahşap koruyucular, halılar, duvar koruyucuları	UOB ve YUOB, Biositler	GC/MSD
Paslanmaz çelikten küçük ölçekli çevresel test odası	56	15, 25,30 ±1	50, 80	Ahşap kaplama	UOB	GC/FID
Cam oda (1)	1000	25,32	25	Bilgisayar (PC)	Aldehitler UOB Alev geciktiriciler	HPLC/UV-VIS 360 nm GC/MSD GC/ECD
Cam oda (2)	1000	23	45	PVC kaplı duvar kağıtları	Fitalatlar	GC/MSD
Cam oda (3)	10	23±0.1	43±2	Seramikler, kireç ve alçı malzemeli yapı ürünleri, ahşap esaslı malzemeler (mobilyalar dahil), ısı yalıtım malzemeleri	UOB	GC/FID

6. HAVA KİRLETİCİLERİNİN TEKSTİL YÜZEYLERİ ÜZERİNE SORPSİYONU

6.1. Kapalı bir ortamda bulunan hava kalitesi açısından önemli tekstil malzemeleri

6.1.1 Halılar

İç hava kalitesi ile ilgili çalışmalar incelendiğinde, tekstil malzemelerinde halıların ön plana çıktığı görülmektedir. Halılar diğer iç ortam mobilyaları ve eşyalarına göre gaz adsorpsiyonu için daha fazla yüzey alanına sahiptirler. 1 m² boyanmış duvar yüzeyi 1 m²'den biraz daha fazla adsorplama yüzeyine sahipken; 1 m² yün halıda 1000g yün lifi olduğu varsayıldığında yaklaşık olarak 100 m² lif yüzeyi oluşmaktadır. Bu yüzden halıların kirleticileri uzaklaştırmaya katkısı diğer materyallerden çok daha fazladır [36]. Halılardaki lif kütlelerinin küçük partikülleri hapsedme özelliği sayesinde havadaki bazı kirleticiler tutulabilmektedir. Tablo 3 halı kullanımının iç ortamda bulunan partikül oranlarına etkisini göstermektedir [37].

Tablo 3. Halı ve sert zemin uygulamalarının karşılaştırılması [37]

Tanımlama	Partikül µg/m ³
Sert zemin kaplaması kullanıldığında ince toz konsantrasyonu	62,9
Halı zemin kaplaması kullanıldığında ince toz konsantrasyonu	30,4

Ancak halılara uygulanan bitim işlemlerinde kullanılan kimyasallar, küfler-kirler, halının arka yüzünde kullanılan bağlayıcılar İHK'ya negatif yönde etki yapmaktadır. Halının partikülleri tutma özelliği yün lifinin kirletici gazları adsorbe etme özelliği ile birleşince oldukça etkili sonuçlar alınabilmektedir. Örneğin, Yeni Zelanda'da araştırmacılar yün halıların ortam içinde üretilen formaldehit miktarını azalttığını ve 4 saat gibi bir sürede yün halının, ortamda bulunan yüksek miktarda formaldehit ve azot oksit içeriğini neredeyse sıfırladığını göstermişlerdir. Sentetik liflerle üretilen halılarda ise yün halıların yarısı kadar etki gözlenmiştir. Azot dioksit için yün ve sentetik lifleri kullanılan halılar ile ilgili yapılmış çalışmalarda da formaldehit için elde edilen sonuçlara benzer sonuçlar elde edilmiştir [36]. Şekil 1'de çeşitli malzemelerin NO₂'yi uzaklaştırma oranları verilmiştir.

**Şekil 1.** Çeşitli malzemelerin NO₂'yi uzaklaştırma oranları [36]

6.1.2 Duvar kaplamaları

Duvar kaplamalarında, kâğıt ve lifler kullanılmaktadır. Biyo-bozunur duvar kaplamaları geri kazanılmış kâğıt ya da lif içermektedir, güvenli ve sağlıklıdır. Polivinilklorür esaslı duvar kaplamaları ise uçucu organik bileşikler açığa çıkarabilmektedir. Kullanılan yapışkanlardan da vinil esaslı olanlar UOB içeriğine sahiptir [36,38,39].

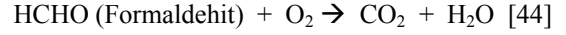
6.2 Çeşitli liflerin sorpsiyon özellikleri

Çalışmalar genellikle, tekstil malzemelerinin iç ortam havasını kirletmesi üzerinde yoğunlaşsa da, özellikle son yıllarda iç hava kalitesinin daha fazla önem kazanması nedeniyle, kirleticileri adsorbe edebilecek malzemeler üzerinde yapılan çalışmalar artmaktadır. Çalışmalar özellikle farklı hammaddelerin sorpsiyon kapasiteleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Tekstil malzemelerinin kirleticileri sorpsiyonuna yönelik ilk çalışma Gregory tarafından 1968 yılında yapılmıştır [40,41]. Bu çalışmada Gregory, yün, rayon, pamuk ve naylon liflerinin SO₂ sorpsiyonu üzerinde çalışmıştır. Literatürdeki çalışmaların önemli bir kısmı yün liflerini de içerdiği için bu çalışmalar, bir sonraki bölümde daha ayrıntılı olarak verilmiştir.

Gözenekli yapısı ve geniş yüzey alanı özellikleri nedeniyle aktif karbon liflerinin literatürde, adsorpsiyon konusunda üzerinde özellikle yoğunlaşılan malzemeler olduğu belirtilmektedir. Plens ve arkadaşları, viskoz rayonundan elde edilen farklı aktif karbon liflerinin SO₂ ve NO gazlarını adsorpsiyonu üzerinde çalışmışlardır. Viskoz rayonundan elde edilen aktif karbon liflerinin, gazların adsorpsiyonu açısından poliakrilonitrilden üretilmiş olan aktif karbon lifleri ile benzer sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir [42].

Rong ve arkadaşları ise farklı ısı işlem şartlarına tabi tutulmuş rayon esaslı aktif karbon liflerinde, işlem sıcaklık farklılıklarının formaldehit adsorpsiyonu üzerine etkilerini incelemiştir. Isıl işlem görmüş liflerde formaldehit adsorpsiyonunun arttığını gözlemlemiştir. Bu durumu, ısı işlem sonucunda aktif yerler oluşmasına, ısı işlemin spesifik yüzey alanı ve toplam gözenek hacmini artırmasına bağlamışlardır. Ayrıca formaldehit moleküllerindeki asidik karboksilik grupların bulunması, dipol-dipol etkileşimlerinin ve hidrojen bağının oluşmasını da formaldehit adsorpsiyonundaki artış ile ilişkilendirmişlerdir. [43].

Ayrıca, rejenerasyon işlemlerinde de aktif karbon liflerinden yararlanılmaktadır. Miyawaki ve arkadaşları poliakrilonitril esaslı aktif karbon nanolifi ve manganez oksit katalist (MnO_x) bileşimi olan hibrit yapının iç ortamda bulunan formaldehiti oda sıcaklığında ve yüksek nem içeren ortamlarda dahi UV ışığı olmadan uzaklaştırabildiğini görmüşlerdir. Bu uzaklaştırma prosesi iki aşamalıdır; önce formaldehit, Poliakrilonitril-Aktif karbon nano lif yapının mikro gözeneklerinde adsorbe olmuş ve ardından da MnO_x nanopartikülleri tarafından oksidatif bozunmaya uğramıştır. Bozunmadan sonra ortamda karbondioksit ve su oluşmuştur [44].



6.3 Yün lifi ve yün halıların sorpsiyon özellikleri

Yün lifleri kimyasal özellikleri sebebiyle bazı önemli iç ortam kirleticileri (formaldehit, azot dioksit, sülfür dioksit gibi) için iyi bir adsorbe edicidir. Bu nedenle yün lifleri hasta bina sendromuna da sebep olan iç hava kirliliğinin kontrolünde önemli bir rol oynarlar. Amerika Gaz Araştırma Enstitüsü bulgularına göre yün lifi, bina yapısı ve döşeme malzemelerinden kaynaklanan azot dioksiti en yüksek oranda uzaklaştırabilen malzemedir [45].

İyi sorpsiyon özelliği nedeniyle yün, tüm tekstil lifleri içerisinde üzerinde en fazla çalışma yapılan lifdir. Örneğin Walsh ve arkadaşlarının bir çalışmasında yün, naylon ve viskoz rayonu lifleri SO₂'ye tabi tutulmuş, naylon ve rayon lifi hızlı bir şekilde doygunluğa ulaşmış, yün ve pamuk lifleri ise SO₂ sorpsiyonuna 1 saatten sonra da devam etmiştir. Gregory'nin çalışması da benzer sonuçlar vermiştir [46,47].

Causer ve arkadaşları; % 100 yün, % 100 naylon 6,6 ve % 50-50 yün/naylon karışımı halıların azotdioksit ve formaldehit adsorpsiyonunu araştırmışlardır. Bu çalışmaya göre, en iyi sonuç % 100 yün halıda alınırken, en düşük sonuç % 100 naylon 6,6 halıda alınmıştır. Bir test odacığı kullanılarak yapılan deneylerde, 325 ppm olan NO₂ konsantrasyonunun 24 saat içerisinde yün halı kullanımında 5 ppm'e naylon 6,6 halı kullanımında ise 60 ppm'e düştüğü gözlenmiştir. Aynı çalışmada formaldehit testleri ise 420 ppm başlangıç konsantrasyonu ile başlamıştır ve yün halı kullanımında dört saat içerisinde konsantrasyon neredeyse sıfırlanmıştır, naylon 6,6 kullanımında ise 70 ppm seviyeleri gözlenmiştir. Causer ve arkadaşlarının çalışmasında yün halıların ısıtıldıklarında dahi formaldehiti minimum oranda geri verdikleri belirtilmektedir. Bu durumu yün ile formaldehit arasında geri dönüşsüz bir reaksiyon olduğu düşüncesiyle açıklamışlardır. Naylon halıların ise formaldehite karşı oldukça düşük bir afinite gösterdiğini belirtmişlerdir [46].

Gregory, yün, rayon, pamuk ve naylon liflerinin SO₂ adsorpsiyonu üzerine yaptığı çalışmada selülozik liflerin hızla doygunluğa ulaştığını ve yün liflerine kıyasla daha az oranda SO₂'yi adsorbe edebildiğini gözlemlemiştir. Aynı çalışmada nem ve SO₂ konsantrasyonunun yün lifinin sorpsiyonuna etkisi de araştırılmış ve yüksek nem değerlerinin sorpsiyon oranını artırdığı görülmüştür. Gregory tekstil alanında ilk olan bu çalışmasında yün için sorpsiyonun en azından bir kısmının kimyasal reaksiyonla gerçekleştiğini fakat rayonda daha ziyade fiziksel bir sorpsiyon olduğunu belirtmektedir [40,41].

Boyama işleminin adsorpsiyon kapasitesi üzerine etkileri de çalışılmıştır. Walsh ve arkadaşları çalışmalarında, asit boyalı yün halıların, nötral boyalı veya alkali yıkamalı numunelere göre daha düşük oranda SO₂'yi adsorpladığını saptamışlardır. Ayrıca bu çalışmada farklı renklerin de SO₂ sorpsiyonuna etkisi incelenmiştir. En düşük sorpsiyon pembe renkte ve en yüksek

sorpsiyon da yeşil renkte gözlenmiştir [47]. Gregory'nin çalışmasında ise, dispers ve asit boyarmadde ile boyanmış naylon lifinin, boyanmamış naylon lifine göre daha az SO₂ sorpladığı; alkali ve nötral şartlarda boyanan yün liflerinin asidik şartlarda boyanan yün lifine oranla daha fazla SO₂ sorpladığı gözlemlenmiştir. Bu durum liflerin pH'nın düşük olmasıyla ilişkilendirilmiştir [40,41].

Wilson, farklı örgü türlerinin ve yapılarının SO₂ sorpsiyonuna etkisini araştırmıştır, çalışmasında örme yün kumaşın %35, pamuk-fitilli kadife kumaşın ise %14 oranında SO₂ sorpsiyon kapasitesine sahip olduğunu görmüştür [41,48].

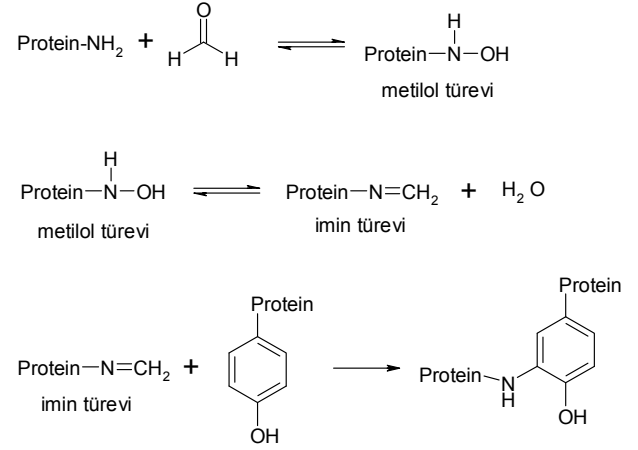
Yapılan diğer bir çalışmada ise, yün halılarda hav ile halı arka yüzeyinin sorpsiyon davranışları karşılaştırılmıştır. Hav kısmının arka yüzeye göre daha fazla SO₂ sorpsiyon kapasitesi olduğu gözlenmiştir [47].

Spicer ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada NO₂'nin 35 çeşit bina malzemesi ve mobilya malzemeleri tarafından uzaklaştırılması araştırılmış ve deneysel çalışmalarla iç ortamda bulunan birçok malzemenin NO₂'yi adsorbe ettiği ve NO₂'yle reaksiyona girdiği görülmüştür. En yüksek miktarda uzaklaştırma oranını duvar kaplaması, yün halı, tuğla ve çimento bloğunda elde etmişlerdir. NO₂ sorpsiyonundan sonra ortamı 31,3°C'ye kadar ısıttıklarında dahi, yün halı tarafından tutulan NO₂ miktarının %10-15'i NO'ya dönüşmüştür ve ortamdaki NO₂ miktarında tekrar artış gözlenmemiştir [49].

Formaldehit iç havada bulunan en önemli kirleticilerdendir. Yüksek miktarda formaldehit konsantrasyonu göz, burun ve boğaz rahatsızlıkları, baş ağrısı, mide bulantısı, nezle, faranjit gibi rahatsızlıklara sebep olmaktadır. Hatta akciğer ve üst yutak kanserine de neden olmaktadır [50,51]. Uçucu organik bileşiklerden olan Formaldehit, birçok doğal malzemedden (örneğin et 2–20 mg/kg, meyve ve sebzeler 6,3–35 mg/kg, odun 0.04 mg/kg) çeşitli konsantrasyonlarda doğal yollarla oluşmaktadır. Formaldehit aynı zamanda insan metabolizmasının da bir ürünüdür ve insanın nefesinde 1,2' den 72 ppb' ye kadar değişen oranlarda gözlenebilir. Formaldehit, tekstilden dezenfeksiyona kadar birçok değişik alanda kullanılmaktadır. Bu nedenle tekstil malzemelerinin formaldehit adsorpsiyonu özel bir önem taşımaktadır ve yukarıda bu konuda yapılan çalışmalardan örnekler verilmiştir. Formaldehit adsorpsiyonuna yönelik bir diğer çalışma da Xiang ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilmiştir. Xiang ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada filtrasyon ve adsorpsiyon teknolojisi kullanılarak iç hava kalitesinin iyileştirilmesi üzerine odaklanılmıştır. Kirletici olarak formaldehitin kullanıldığı bu çalışmaya göre formaldehit yün lifi tarafından iki şekilde tutulmaktadır;

- Lif yapısı içindeki mikro boşluklarda fiziksel tutunma
- Yün lifi ile kimyasal bağ yaparak kimyasal tutunma

Formaldehitin yün lifi içerisindeki proteinlere yüksek reaktivitesi vardır: lizin, arjinin gibi aminoasitlerin yan zincirleriyle ve ayrıca glutamin ve asparajin gibi amido guruplarla reaksiyona girer. Bu reaksiyona bir örnek Şekil 2'deki gibidir,



Şekil 2. Formaldehit ve proteinlerin reaksiyon şeması [52]

Yukarıdaki reaksiyonda formaldehitin kararsız metilol ara bağı adımı sayesinde proteinle yaptığı kalıcı metilen köprüleri görülmektedir. Xiang ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada formaldehitin yün tarafından tutulması dinamik uçucu sorpsiyon tekniği kullanılarak incelenmiştir [52].

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Özellikle son yıllarda, iç ortamlarda geçirilen zamanın artması, bina yapı şekli ve malzemelerindeki değişiklikler, iç ortamda kullanılan malzemelerin çeşitlenmesi gibi nedenlerle iç ortam emisyonları kritik değerlerin üzerine çıkmıştır. Dış hava kirliliğinin artması ve bu kirliliğin iç ortama yansması, fotokopi makineleri gibi yeni emisyon kaynaklarının çokça kullanılması gibi nedenlerin de eklenmesiyle iç hava kalitesi, kişi konfor ve sağlığında anahtar parametrelerden biri haline gelmiştir. İç havayı kirleten kaynakların ortadan kaldırılmasına yönelik çalışmalarla birlikte, iç ortamda bulunan kirletici gazların azaltılması/yok edilmesi ile ilgili de çok sayıda çalışma bulunmaktadır, bu çalışmaların bir bölümü de gazların adsorbe/absorbe edilerek ortamdaki uzaklaştırılması üzerinde yoğunlaşmıştır. İç ortamlarda kullanılan tekstil ürünleri, bu amaçla kullanılacak materyaller arasındadır. Özellikle, yünün, formaldehit ve SO₂ gibi kirletici gazları sorpsiyon yeteneği oldukça yüksektir. Diğer konvansiyonel tekstil lifleri ise, daha düşük adsorpsiyon özellikleri göstermektedir. Ancak halılar gibi yüzey alanı yüksek olan tekstil malzemeleri iç havada bulunan kirleticileri önemli ölçüde tutabilmektedir. Bir diğer tekstil malzemesi olan aktif karbon lifleri de özellikle filtre uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tekstil malzemelerinin özellikle ortama salınan formaldehit konsantrasyonunun artmasına katkısı olduğu da bilinmektedir. Son dönemlerde güç tutuşur tekstil malzemelerinin yaygınlaşması da

iç hava kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Tekstil malzemelerinin kirleticileri adsorpsiyonu kadar birincil ve ikincil emisyonlarının kontrolü de, tekstil malzemelerinin iç hava kalitesindeki rolünü etkilemektedir.

Yünün kirleticileri tutma özelliklerinden faydalanabilecek yeni ürünler tasarlamak, sentetik esaslı liflere sorpsiyon özellikleri kazandırmak, düşük kirletici gaz salınımı yapan ürünler üretmek gibi konular, önümüzdeki yıllarda tekstil araştırmacı ve uygulayıcılarının ilgi alanında olacaktır.

KAYNAKLAR

- Brown, S.K., Sim, M.R., Abramson, M.J., Gray, C.N., (1994), *Concentrations of Volatile Organic Compounds in Indoor Air-A Review*, International Journal of Indoor Environment and Health, 4, 2, 123-134.
- Yoo, J.Y., Park, C.J., Kim, K.Y., Son, Y.S., Kang, C.M., Wolfson, J.M., Jung, I.H., Lee, S.J., Koutrakis, P., (2015), *Development of an Activated Carbon Filter to Remove NO₂ and HONO in Indoor Air*, Journal of Hazardous Materials, 289, 184-189.
- Ohura, T., Amagai, T., Shen, X., Li, S., Zhang, P., Zhu, L., (2009), *Comparative Study on Indoor Air Quality in Japan and China: Characteristic of Residential Indoor and Outdoor UOBs*, Atmospheric Environment, 43, 40, 6352-6359.
- Shaw, C.Y., Won, D., Reardon, J., (2005), *Managing Volatile Organic Compounds and Indoor Air Quality in Office Buildings-An Engineering Approach*, National Research Council Canada.
- Uhde, E., Salthammer, T., (2007), *Impact of Reaction Products from Building Materials and Furnishings on Indoor Air Quality-A Review of Recent Advances In Indoor Chemistry*, Atmospheric Environment, 41, 15, 3111-3128.
- Smith, K.R., Mehta, S., Feuz, M.M., (2004), *Indoor Air Pollution from Household Use of Solid Fuels-Chapter 18*, Comparative Quantification of Health Risks, World Health Organization, Switzerland.
- Höppe, P., Martinac, I., (1998), *Indoor Climate and Air Quality-Review of Current and Future Topics in the Field of ISB Study Group 10*, Int J Biometeorol, 42, 1, 1-7.
- WHO European Centre for Environment and Health, Bonn Office, WHO Regional Office for Europe, (2010), *WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants*, WHO Regional Office for Europe, Denmark.
- Ni, J.Q., Robarge, W.P., Xiao, C., Heber, A., (2012), *Volatile Organic Compounds at Swine Facilities: A Critical Review*, Chemosphere, 89, 7, 769-788.
- Zhang, Y., Moa, J., Li, Y., Sundell, J., Wargocki, P., Zhang, J., Little, J., Corsi, R., Deng, Q., Leung, M., Fang, L., Chen, W., Li, J., Sun, Y., (2011), *Can Commonly-Used Fan-Driven Air Cleaning Technologies Improve Indoor Air Quality? A Literature Review*, Atmospheric Environment, 45, 26, 4329-4343.
- Darçın, P., (2008), *Yapı İçi Hava Kirliliğinin Giderilmesinde Doğal Havalandırma İlkeleri*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Weschler C.J., (2001), *Reactions Among Indoor Pollutants*, The Scientific World Journal, 1, 443-457.
- Weschler, C.J., 2009, *Changes in Indoor Pollutants Since the 1950s*, Atmospheric Environment, 43, 1, 153-169.
- <http://www.asid.org/NR/rdonlyres/F10243FD-287B-4994-87BE-26ED36C06B51/0/TakeaBreath.pdf>, Erişim Tarihi: 10 Ekim 2013.
- Ni, J.-Q., Robarge, W.P., Xiao, C., Heber, A.J., (2012), *Volatile Organic Compounds at Swine Facilities: A Critical Review*, Chemosphere, 89, 7, 769-788.
- Birgül, A., Cindoruk, S.S., Esen, F., Taşdemir, Y., (2013), *Bursa Atmosferi'ndeki Yarı Uçucu Organik Bileşiklerin Konsantrasyon Seviyelerinin Zamansal ve Bölgesel Değişimi*, Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi, 2, 4, 123-132.
- Alyüz, B., Veli, S., (2006), *İç Ortam Havasında Bulunan Uçucu Organik Bileşikler ve Sağlık Üzerine Etkileri*, Trakya Univ J Sci, 7, 2, 109-116.
- Ohura, T., Amagai, T., XueYou, S., Shuang, L., Ping, Z., Lizhong, Z., (2009), *Comparative Study on Indoor Air Quality In Japan and China: Characteristic of Residential Indoor and Outdoor VOCs*, Atmospheric Environment 43, 40, 6352-6359.
- Çobanoğlu, N., Kiper N., (2006), *Bina İçi Solunan Havada Tehlikeler*, Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Dergisi, 49, 71-75.
- Jones A.P., 1999, *Indoor Air Quality and Health*, Atmospheric Environment, 33, 28, 4535-4564.
- Smith, B., Bristow, V., 1994, *Indoor Air Quality And Textiles: An Emerging Issue*, American Dyestuff Reporter, 83, 37-46.
- Elkilani, A., Bouhamra, W., Crittenden, B.D., (2001), *An Indoor Air Quality Model That Includes The Sorption of VOCs on Fabrics*, Instituon of Chemical Engineers Trans IChemE, 79, 233-243.
- EPA, *An Introduction to Indoor Air Quality*, <http://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/introduction-indoor-air-quality>, Erişim Tarihi: 9 Mart 2016.
- Joshi, S.M., 2008, *The Sick Building Syndrome*, Indian J Occup Environ Med., 12, 2, 61-64.
- Obee, T.N., Brown, R.T., (1995), *TiO₂ Photocatalysis for Indoor Air Applications Effects of Humidity and Trace Contaminant Levels on the Oxidation Rates of Formaldehyde, Toluene, and 1,3-Butadiene*, Environmental Science & Technology, 29, 5, 1223-1231.
- Mo J., Zhang, Y., Xu, Q., Lamson, J.J., Zhao, R., (2009), *Photocatalytic Purification of Volatile Organic Compounds in Indoor Air: A Literature Review*, Atmospheric Environment, 43, 14, 2229-2246.
- Kwong, C., Chao, C.Y.H., Hui, K.S., Wan, M.P., (2008), *Removal of VOCs from Indoor Environment by Ozonation Over Different Porous Materials*, Atmospheric Environment, 42, 2300-2311.
- Durme, V.J., Dewulf, J., Sysmans, W., Leys, C., Langenhove, V.H., (2007), *Efficient Toluene Abatement in Indoor Air by a Plasma Catalytic Hybrid System*, Applied Catalysis B : Environmental, 74, 1-2, 161-169.
- Parmar, S.S., Grosjean, D., (1991), *Sorbent Removal of Air Pollutants from Museum Display Cases*, Environment International, 17, 39-50.
- Adamson, A.W., Gast, A.P., (1997), *Physical Chemistry of Surfaces*, John Wiley&Sons, Canada.
- EPA, (1999), *Catc Technical Bulletin-Choosing An Adsorption System for VOC: Carbon, Zeolite, or Polymers*, <https://www3.epa.gov/ttn/catc/dir1/fadsorb.pdf>, Erişim Tarihi: 20 Temmuz 2016.
- Marć, M., Zabiegała, B., Namieśnik, J., (2012), *Testing and Sampling Devices for Monitoring Volatile and Semi-Volatile Organic Compounds in Indoor Air*, Trends In Analytical Chemistry, 32, 76-86.

33. ASTM D5116-10, (2010), *Standard Guide for Small-Scale Environmental Chamber Determinations of Organic Emissions from Indoor Materials/Products*.
34. Uhde, E., Salthammer, T., (2007), *Impact of Reaction Products from Building Materials and Furnishings on Indoor Air Quality—A Review of Recent Advances in Indoor Chemistry*, Atmospheric Environment, 41, 15, 3111–3128.
35. ASTM D6670-13, (2013), *Standard Practice for Full-Scale Chamber Determination of Volatile Organic Emissions from Indoor Materials/Products*.
36. New Zealand Merino Company Limited, *Control of Indoor Air Pollution*, <http://www.campaignforwool.co.nz/wp-content/uploads/2011/12/CONTROL-OF-INDOOR-AIR-POLLUTION.pdf>, Erişim Tarihi: 9 Mart 2016.
37. Carpet Institute of Australia Limited, Consumer Health Information – Indoor Air Quality, ExEx 14098, (www.carpetinstitute.com.au) http://www.carpetinstitute.com.au/good_health/, Erişim Tarihi: 10 Aralık 2013.
38. Wool Carpet and Indoor Air Quality, <http://www.kashoucarpets.com/IAQ.pdf>, Erişim Tarihi: 9 Mart 2016.
39. Triped J., Sanongraj W., Oonkhanond B., Sanongraj S., (2009), *Synthesis of Silk Fibroin Fiber for Indoor Air Particulate Removal*, International Journal of Civil and Environmental Engineering, 3, 3, 122-127.
40. Gregory, C. J., (1968), *Adsorption of Atmospheric Sulfur Dioxide by Natural and Synthetic Textile Fibers*, Rutgers University, New Brunswick.
41. Walters, B., Goswami, B., Vigo, T.L., (1983), *Sorption of Air Pollutants onto Textiles*, Textile Research Journal, 53, 354.
42. Plens, A.C.O., Monaro, D.L.G., Coutinho, A.R., (2015), Adsorption of SO_x and NO_x in Activated Viscose Fibers, An Acad Bras Cienc, 87, 2, 1149-1160.
43. Rong, H., Ryu, Z., Zheng, J., Zhang, Y., (2003), *Influence of Heat Treatment of Rayon-Based Activated Carbon Fibers on The Adsorption of Formaldehyde*, Journal of Colloid and Interface Science, 261, 2, 207–212.
44. Miyawaki, J., Lee, G.H., Yeh, J., Shiratory, N., Shimohara, T., Mochida, S.H., (2012), *Development of Carbon-supported Hybrid Catalyst for Clean Removal of Formaldehyde Indoors*, 185, 278-283.
45. Johnson, N.A.G., Wood, E.J., Ingham, P.E., McNeil, S.J., McFarlane, I.D., (2003), *Wool as a Technical Fibre*, Journal of The Textile Institute, 94, 3-4, 26-41.
46. Causer S.M., Memillan R.C., Bryson W.G., (1995), *The Role of Wool Carpets in Controlling Indoor Air Pollutions*, The 9th International Wool Textile Research Conference.
47. Walsh, M., Black, A., Morgan, A., (1977), *Sorption of SO₂ by Typical Indoor Surfaces Including Wool Carpets, Wallpaper and Paint*, Atmospheric Environment, 2, 11.
48. Wilson, M.J.G., (1968), *Indoor Air Pollution*, Proc. Roy Soc., 300, 215-221.
49. Spicer, C.W., Coutant, R.W., Ward, G.F., Joseph, D.W., (1989), *Rates and Mechanisms of NO₂ Removal from Indoor Air by Residential Materials*, Environment International, 15, 643-654.
50. Tanada, S., Kawasaki, N., Nakamura, T., Araki, M., Isomura, M., (1999), *Removal of Formaldehyde by Activated Carbons Containing Amino Groups*, Journal of Colloid and Interface Science, 214, 1, 106–108.
51. Agarwal, M., Dave, M., Upadhayaya, S., (2011), *Adsorption of Formaldehyde on Treated Activated Carbon and Activated Alumina*, Current World Environment, 6, 1, 53-59.
52. Huang X., Wang Y.J., Di Y.H., (2007), *Experimental Study of Wool Fiber on Purification of Indoor Air*, Textile Research Journal, 77, 12, 946-950.