



**Bu bir MMO  
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

## **BİNA VE DEKORASYON MALZEMELERİNİN İÇ HAVA KALİTESİNE ETKİSİ**

**SİBEL MENTEŞE**  
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ



# BİNA VE DEKORASYON MALZEMELERİNİN İÇ HAVA KALİTESİNE ETKİSİ

**Sibel MENTEŞE**

## ÖZET

İç ortam hava kalitesinin önem kazanmasında insanların özellikle kentsel bölgelerde vakitlerinin büyük bir kısmını kapalı ortamlarda geçirmeleri etkili olmuştur. İç ortam hava kalitesinin bozulmasında iç ortamlarda yaygın olarak kullanılan malzemelerin ve çeşitli çevresel faktörlerin etkili olduğu görülmüştür. İç ortam hava kirleticilerin kaynakları insan aktiviteleri ve kullanılan malzemeler nedeniyle çok çeşitlidir. İç ortam hava kirleticilerin en temel kaynağı ise bina inşa malzemeleri ve dekorasyon malzemeleridir. Bunlar: halı, preslenmiş ahşap, kompozit yer kaplaması ve boya gibi malzemelerdir. Çok-tabakalı materyallerin emisyon yayma süreleri daha uzundur ve hızı tek-tabakalı materyallere göre daha yavaştır. İç ortam hava kalitesinin kontrolü için iki temel yaklaşım vardır: ilk olarak kirletici kaynakların kontrolü ve son olarak ise iç ortam havasının temizlenmesi'dir. Bu bağlamda öncelik, bina ve dekorasyon malzemeleri gibi iç ortam kirletici kaynaklarının yaydığı emisyonların üretim aşamasında en aza indirilmesi yönünde olmalıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Bina inşa malzemeleri, dekorasyon malzemeleri, iç ortam hava kalitesi, Uçucu organik bileşikler.

## ABSTRACT

The reason why the indoor air quality of concern is the people spend most of their times indoors, in particular at the urban sites. It was found that materials, commonly used in indoor environments, and several environmental factors have influences on indoor air quality. Sources of indoor air pollutants are ubiquitous due to the human activities and commonly usage of consumer products. The major indoor air pollutants are building products and decoration products, such as carpet, pressed wood products, composite floor coverings, paints. Emission duration of multi-layer materials are longer and their emission velocities are slower than those single-layer materials. There have been two basic approaches to control indoor air quality: the first approach is the controlling of the sources of indoor air pollutants and the second approach is the purification of indoor air. In this respect, our primary aim should be on lowering the emission of the sources of indoor air pollutants such as building and decoration products during their production processes.

**Key Words:** Building products, decoration products, indoor air quality, Volatile Organic Compounds

## 1. GİRİŞ

Son 20 yıldır birçok ülkede çevre havasının fark edilir derecede kirlilik içermesi nedeni ile çalışmalar dış hava kalitesinin düzeltilmesi yönünde sürdürülmüştür. Ancak iç ortam hava kirliliğinin kötüye gittiği anlaşılınca iç ortam hava kalitesinin düzeltilmesine yönelik çalışmalar da hız kazanmıştır. İnsanlar zamanlarının büyük bir bölümünü çalışma mekanları ve yaşadıkları evler gibi kapalı ortamlarda

geçirirler. Ekonomik şartlar ve yaşanan bölgenin iklim koşullarına bağlı olarak insanlar buldukları mekanları ısıtma veya dış ortamla temasını azaltma ihtiyacı duyarlar.

İç ortam hava kirliliği sorunları birçok ülkede 2. Dünya Savaşından sonra ucuz ve geçirimsiz evlere olan talebin yoğun olması nedeniyle ortaya çıkmıştır. Evlerin inşa masrafları; kalitesiz ve ucuz malzeme kullanımı, çevresel açıdan uygun olmayan solventler ile lamine edilmiş ahşap eşyalar ve çeşitli gaz emisyonlarını iç hava ortamına salan organik reçinelerin kullanımı ile azaltılmıştır. Yer kaplamaları ve halı kaplamaları gibi bina ve dekorasyon malzemeleri bağlayıcı madde olarak tutkal vb. araçlara ihtiyaç duymaktadır ve bağlayıcı maddelerin bileşiminde kirlenici vasfında olabilecek kimyasallar bulunması durumunda bu bileşikler hava ortamına salınmaktadır. 1970'li yıllardan önce yapılan evlerin bir kısmında dış hava ile teması sağlayan bazı uygulamalar bulunması nedeniyle iç ortam hava kalitesine yönelik problemler tüm ülkelerin ortak sorunu değildi. 1973'deki petrol ambargosu nedeni ile enerjinin bedeli arttığı için insanlar evlerini yeni inşa yöntemleri ile dış hava ile olan teması azaltacak şekilde dizayn etmeye başlamıştır. Evler "hava geçirmez" olarak inşa edilmeye başlandıktan sonra, iç ortamda havanın temiz hava ile seyrelme şansı azaldığı için iç ortam hava kalitesi sorunları ortaya çıkmaya başlamıştır [1].

İç ortam hava kirlenitcilerin kaynakları çok çeşitlidir. Bazı kirlenitciler iç ortamda yapılan yemek pişirme (partiküller, CO ve NO<sub>x</sub>), temizlik (Uçucu organik bileşikler) ve sigara içimi (CO, partiküller, NO<sub>x</sub> ve Uçucu organik bileşikler) gibi bazı aktiviteler nedeni ile üretilir. Diğerleri ise bina malzemeleri, ahşap, halı, yapıştırıcılar, boyalar, ev bitkileri ve banyo malzemelerinden yayılırlar [2-5]. Son olarak da bazı iç ortam kirlenitcileri dış ortamda üretilirler ancak pencere ve kapılardan iç ortama girerler. Dünya Sağlık Örgütü Avrupa 4. Ortaklık Çevre ve Sağlık Konferansı'nda dış ortam ve iç ortam hava kirliliğinden dolayı meydana gelen solunum yolu rahatsızlıklarının çocukluk dönemi astım vakasını azaltma umuduyla önlenmesinin veya azaltılmasının önemi vurgulanmıştır [6].

Bu nedenle iç ortam havasının halk sağlığı üzerinde çok büyük bir etkisi vardır. Bu konu ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda iç ortam hava kalitesinin bozulmasının çeşitli solunum yolu hastalıkları (astım gibi), alerjik hastalıklar (hypersensitif pnömoni gibi) ve kansere neden olabileceği belirtilmektedir. İç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesi; insan sağlığının korunması ile rahatsızlıklardan kaynaklanan iş kaybının azalmasına ve tıbbi tedaviler nedeniyle ortaya çıkan ekonomik kayıpların da önüne geçilmesini sağlayacaktır (WHO;IARC). İç ortam hava kalitesinin sağlanması konusunda tasarımcıların, kullanıcıların, yapı malzemesi üreticilerinin vb. bilinçlenmesi gerekmektedir.

İç ortam hava kirlenitcilerin en temel kaynağı bina inşa malzemeleri ve dekorasyon malzemeleridir. Bunlar: halı, preslenmiş ahşap, kompozit yer kaplaması ve boya gibi malzemelerdir. Bina ve dekorasyon malzemeleri ile evlerde kullanılan temizlik malzemesi gibi tüketici ürünlerinin büyük bir kısmı kullanım aşamasındayken organik gaz emisyonları yayabilmektedir ve bu emisyonlar başka kimyasal reaksiyonların meydana gelmesine olanak sağlamaktadır [32].

## 2. İÇ ORTAM HAVA KİRLENİTÇİ GRUPLARI VE İÇ ORTAM HAVA KALİTESİNE ETKİSİ OLAN FAKTÖRLER

İç ortam hava kirliliği olgusunun fark edilmesine neden olan en önemli iç hava kirlenitcisi formaldehittir. Formaldehit, hem bina ve dekorasyon malzemelerinin yapımında, hem de pek çok endüstriyel ürünün eldesi aşamasında çok yaygın olarak kullanılan bir kimyasaldır. Evlerdeki formaldehit kaynakları temel olarak, bina malzemeleri, MDF, kontrplak ve sunta gibi iç dekorasyonda geniş kullanım alanına sahip preslenmiş ahşap ürünlerden oluşmaktadır [9]. Olumsuz sağlık etkilerinden dolayı Uluslar Arası Kanserojen Araştırmaları Ajansı (International Agency for Research on Cancer, IARC) tarafından insanda kanserojen etkisinin olduğuna dair bulgular ışığında, formaldehit insan kanserojen madde olarak sınıflandırılmıştır [10]. Özellikle IARC'ın bu kanser değerlendirmesinden sonra, hem farklı ülkelerde iç ortam havasında formaldehit seviyeleri tespit edilmeye çalışılmıştır, hem de bazı ülkeler iç hava kalitesi standartları veya yasal düzenlemeleri oluşturarak, gerekse iç hava kalitesinde kabul edilebilir veya güvenli sayılabilecek formaldehit seviyelerini belirlemeye yönelmişlerdir, gerek seformaldehit

kaynağı olabilecek bina ve dekorasyon malzemeleri ile diğer tüketici ürünlerinde formaldehit kullanımını kısıtlama yönünde adımlar atmışlardır.

İç ortam havası; biyolojik kaynaklı bakteri, mantar ve onların parçalarından oluşan biyoaerosoller ve yemek pişirme, sigara içimi, ısıtma ve soğutma sistemleri, bina yapı malzemeleri ve mobilyalardan kaynaklanan biyolojik olmayan toz ve diğer kirlenmeler nedeniyle bozulabilmektedir. Biyoaerosoller; bakteri, fungi, fungi sporları, virüsler ile polen ve onların fragmentlerini içeren biyolojik kökenli havadan kaynaklı organik tozların genel adıdır [11,12]. Bu tip kirlenmelerin bulunduğu evlerde astım hastalarının krizlerinin sıklıkla ve solunum yolları hastalıkları arasında ilişki bulunduğu yapılan çalışmalar ile tespit edilmiştir [13]. Yapılan çalışmalar, havada yüksek miktarda bulunan mikropların astım ve allerjik rinite [14], hipersensitif pnömoni [15] ve hasta bina sendromuna [16] neden olduğunu göstermiştir. Ancak, yarattıkları sağlık sorunları yalnızca allerjik hastalıklarla sınırlı değildir; biyoaerosoller ve yan-ürünlerinin enfeksiyona neden oldukları [17] ve toksik etkilerinin de [18] bulunduğu bilinmektedir.

İç ortamda insan sağlığı ile ilgili diğer önemli kirlenici ise partikül madde'dir (PM). PM'in sağlık etkilerinin parçacık boyutuna ve konsantrasyonuna bağlı olduğu bilinmektedir [19,20]. 2.5 mikron ve altı çaplı parçacıklara maruz kalınması durumunda birçok göz ve solunum yolu problemleri oluşmaktadır. Sigara dumanı, soba yanması veya pişirme ile oluşan partiküller gibi yanma prosesi sonucunda oluşan ince partiküller (<2,5 µm) [21] ve yerel veya uzun mesafeli toz taşınımı sonucu iç ortamda oluşan ince toz partiküllerinin [22] bioaerosol düzeyleri ile etkileşimi büyük önem kazanmaktadır.

Aerosollerin çapları azaldıkça sağlık etkileri de o kadar önem kazanmaktadır. Çapları çok küçük olan ikincil organik aerosoller, akciğerlerin en uç noktalarına kadar ulaşabildiği için, olumsuz sağlık etkileri halk sağlığını ilgilendirebilecek önemli bir duruma işaret etmektedir. Bu kirlenmelerin boyutlarının küçük olmasının yanında; toksik kimyasallar için taşınım ortamı olmaları da insan solunum sistemi ve akciğer dokularında tahribata neden olması nedeni ile de ayrı bir öneme sahiptir [23]. Bu nedenle halk sağlığının korunması açısından genellikle nanometre gibi ultra-ince boyuttaki ikincil organik aerosollerin oluşumunda hangi parametrelerin ne derecede etkin olduğunun araştırılması alınabilecek önlemlerin ortaya çıkarılması için elzemdir. İkincil organik aerosollerin belirli uçucu organik bileşiklerin ozon gibi oksitleyicilerin varlığında kompleks seri reaksiyonların neticesinde gerçekleştiği düşünülmektedir [24-26].

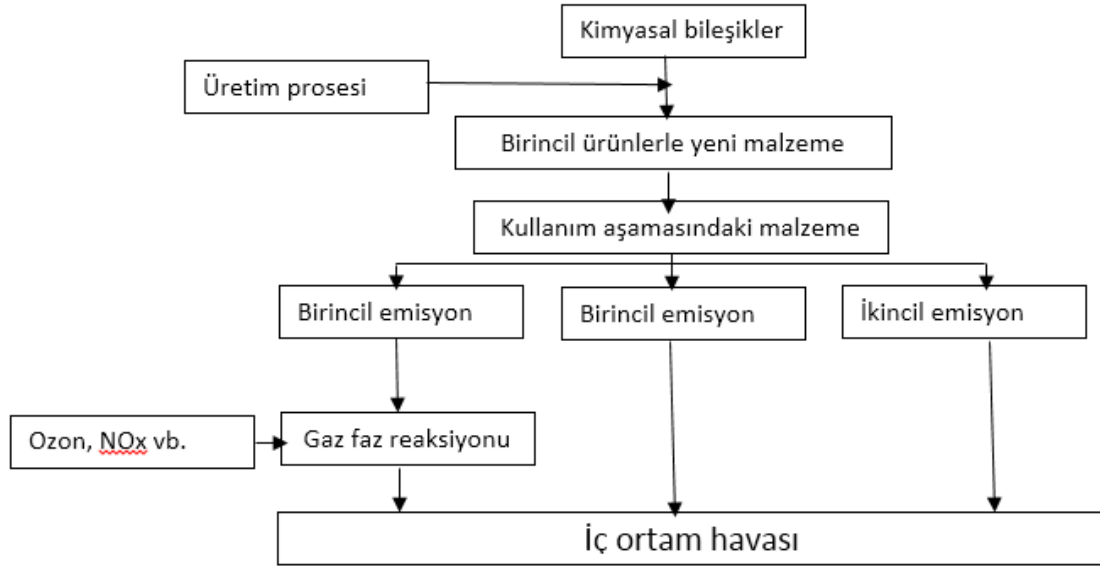
Uçucu Organik Bileşiklere (UOB) maruz kalınması durumunda meydana gelen sağlık etkileri literatürde yaygın olarak dökümanite edilen hususlardan biridir (Ör: bakınız [27,28]). Yarattığı sağlık riskleri sebebiyle, iç ortam hava kalitesinin tespitinde diğer kirlenici türlerinin yanı sıra UOB seviyesinin de belirlenmesi önemlidir. Uçucu organik bileşikler hemen hemen her iç ortamda ahşap eşya, bina malzemeleri (izolasyon malzemeleri, alçıpan, boya gibi) ile deodorant, temizlik ürünleri ve oda kokusu gibi birçok tüketici malzemesinden hava ortamına salınabilmektedir [29-31].

### 3. BİNA DEKORASYON MALZEMELERİNİN İÇ HAVA KALİTESİNE OLAN ETKİLERİ

Bina ve dekorasyon malzemelerinin bileşimindeki kimyasallar nedeniyle iç ortam havasına gaz emisyonları iki yolla salınmaktadır. İlk mekanizma, yeni bir malzemedeki bileşenlerin fiziksel olarak iç ortama salınması suretiyle ortaya çıkan birincil emisyonudur. İkinci mekanizma ise, bir malzemedeki kimyasalların iç ortam havasında reaksiyona girmesi sonucunda ortaya çıkan ikincil emisyonudur [33]. Şekil 1'de iç ortamda kullanılan malzemelerin kimyasal bileşiminden kaynaklanan birincil ve ikincil emisyonların oluşum süreci gösterilmektedir.

Ayrıca, mesela yer kaplamasının ve yer kaplamasının yapılandırılmasında kullanılan bağlayıcı maddeler de tek kontrollü oda deneyleri ile emisyon profilleri düşük-emisyonlu olarak tespit edilmiş olsa bile; "gerçek koşullarda" yer kaplaması, yapıştırıcı ve beton hem birbirleri arasında, hem de ortamdaki diğer bileşenlerle reaksiyona girerek çok daha farklı bir emisyon profiline neden olabilmektedir [34-35].

Çok-tabakalı materyallerin emisyon yayma süreleri daha uzundur ve hızı tek-tabakalı materyallere göre daha yavaştır. Polar UOBler bina malzemeleri ve dekorasyon malzemeleri üzerine kolaylıkla adsorbe olurlar ve hızla desorbe olabildikleri için ortamdaki UOB seviyelerini önce azaltıp sonra arttırmış gibi olurlar. Boyalarda tri-Metil-benzen, propilbenzen, *o*-ksilen, toluen ve *n*-hekzan en sıklıkla rastlanan hava kirleticiler olarak ortama yayılmaktadır. Emisyonların ilk 4 saat içinde yayılmaya başladığı, yaklaşık 10 gün sonra emisyonun %99'unun salındığı belirtilmektedir. Ayrıca adsorpsiyon kapasitesi yüksek boya kullanıldığında UOB emisyonları ikincil olarak yayılmakta ve bu etki UOBlerin uzun süren salınımına sebep olmaktadır [34]. Bazı bina ve dekorasyon malzemelerinde yaygın olarak bulunan kirletici grupları ve hava ortamında yaydıkları emisyonlar Tablo 1'de verilmiştir:



**Şekil 1.** İç ortamda kullanılan malzemelerin kimyasal bileşiminden kaynaklanan birincil ve ikincil emisyonların oluşumu [33].

**Tablo 1.** Yaygın olarak kullanılan bina ve dekorasyon malzemelerinin bileşiminde bulunabilen kimyasal bileşikler ve iç ortam havasına yaydıkları emisyonlar [33].

Bileşen	Nihai emisyon	Olası kaynak
a-pinen	Pinen oksit, pinaldehit	Ahşap, ahşap-bazlı ürünler
Limonen	Limonen oksit, formaldehit	Ahşap, kaplama malzemeleri
Oleik asit	Heptanal, octanal, nonanal, dekanal	Linoleum, eko-vernikler, alkil reçineler
Linolenik asit	2-pentanal, 2-hekzanal, 3-hekzanal, 2-heptanal	Linoleum, eko-vernikler, alkil reçineler
PHMP	Benzaldeit, aseton, benzil	UV-kürlü kaplamalar
HCPK	Benzaldehit, sikloheksanon, benzil	UV-kürlü kaplamalar
2-etil-hekzil-asetat	Asetik asit, 2-etil-1-hekzanol	Çözücü
n-butilakrilat	n-butanol	Akril kaplamalar
DEHP	2-etil-1-hekzanol	Plastik
DBP	n-butanol	Plastik



DIBP	2-butanol	Plastik
Dimetilaminoetanol+1,4-butandiol	Dimetilformamit	“yeşil” boya
T4MDD	MIBK, 3,5-dimetil-1-hekzin-3-ol	Su-bazlı boya

Kuru bina malzemelerinden çıkan kimyasal kirletici emisyonların iç ortam hava kalitesine uzun vadedeki etkilerini araştırmak için tekrar-hava sirkülasyonu (evin çıkışındaki havanın bir kısmı temiz hava ile karıştırılarak tekrar evin içerisine veriliyor) yapılmış yeni yer kaplaması döşenmiş odadan çıkan Toplam Uçucu Organik Bileşik konsantrasyonu (TUOB) dağılımına göre simülasyon yapılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre, zemindeki TUOB emisyon hız profili, iç ortamdaki TUOB emisyon profili ile benzer bulunmuştur. Sentetik kimyasal içeren birçok bina malzemesi iç dekorasyonda yaygın olarak kullanılmaktadır. TUOB emisyonlarının %60'ının bina malzemeleri ve ahşaptan kaynaklandığı belirtilmektedir [37-38]. Bazı çalışmalarda UOB seviyeleri ile boyama işlemi ve yeni mobilya dekorasyonu arasında güçlü ilişkiler bulunmuştur [39-40]. Yapıştırıcılar üzerinde yapılan materyal analizleri sonucunda yer kaplamalarında kullanılan yapıştırıcıların yüksek seviyede stiren emisyonlarına neden olduğu bulunmuştur. TUOB emisyonlarının üre-formaldehit tipi yapıştırıcılardan yüksek seviyelerde salındığı da bulunmuştur. Halılardan kaynaklanan UOB emisyonlarının tespiti için yapılan materyal analizinde TUOB seviyelerinin 2300 µg/m<sup>3</sup>'e (sentetik destekli halı) kadar ulaşabildiği gözlenmiştir [41]. Çalışmada kullanılan tüm halılardan çıkan UOB emisyonlarının birkaç saat içerisinde maksimum seviyelere ulaştığı ve zamanla seviyelerinin azaldığı saptanmıştır.

Evlerdeki formaldehit kaynakları temel olarak; bina yapım maddeleri, sigara, MDF, kontrplak ve sunta gibi iç dekorasyonda geniş kullanım alanına sahip preslenmiş tahta ürünlerden oluşmaktadır [9]. Newfoundland; Kanada'da Üre-formaldehit köpük izolasyonu'nun (UFFI) formaldehit konsantrasyonuna olan etkisi araştırılmıştır. UFFI içermeyen kontrol grubundaki evlerde formaldehit seviyesi UFFI içeren deney grubundaki evlerden çok daha düşük bulunmuştur. 1970'li yıllarda UFFI, evin duvarının oyuklarına yerleştirilerek izolasyon maddesi olarak Kanada, ABD ve Avrupa'da geniş kullanım alanına sahipti. Kanada Hükümeti'nin kısıtlamasından önce, sadece Kanada'da yaklaşık 60000 ev UFFI ile izole edilmiştir. UFFI materyalinin kararsız bir yapıya sahip olduğu ve UFFI'nin içeriğinin üreticiden üreticiye göre değiştiği belirlenmiştir. Yanlış üretim ve degradasyon, UFFI'nin en iyi bilinen dezavantajları olarak belirlenmiştir. UFFI kullanılan evlerde formaldehit seviyesinin geniş mevsimsel ve günlük varyasyonlara sahip olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak evlerin yaşının da formaldehit seviyesinde etkili olduğu belirlenmiştir [42].

UFFI kullanılmış evlerde çevre havasının iç ortam formaldehit seviyelerine olan etkileri araştırılmıştır. Sonuçlara göre, solar radyasyonun UFFI kullanılmış evlerde, formaldehit konsantrasyonuna belirgin bir şekilde etkisinin olduğu saptanmıştır [43]. Nemli bir bölge olan Taipei kentinde, 117 evde formaldehit konsantrasyonu iç ortam havasında incelenmiştir. Evlerin seçiminde ve kirletici ile olan ilişkisinde; binanın özellikleri, havalandırma sistemi, kullanılan yakıt türü ve mesken sahiplerinin solunum yollarından kaynaklanan şikayetler dikkate alınmıştır. Sonuçlara göre; iç dekorasyonda ve mobilyalarda kullanılan preslenmiş tahta ürünün yaşının, havalandırma oranının ve kullanılan yakıtın belirgin bir şekilde formaldehit seviyesini etkilediği saptanmıştır. Solunum yollarından kaynaklanan şikayetler ise, kısmi olarak formaldehit maruziyeti ile ilişkilendirilmiştir. UFFI ile yapılmış evlerde formaldehitin iç ortam konsantrasyonu göreceli olarak yüksek bulunmuştur. Ahşap eşyalardan formaldehit emisyonunun salınmasında yüksek nem oranının hızlandırıcı etki gösterdiği belirtilmiştir. <5 yıllık evlerde formaldehit seviyesinin yüksek olduğu ve evin yaşı arttıkça formaldehit seviyesinin düştüğü saptanmıştır [9].

İç ortamda bina ve yüzey kaplama materyallerinin ozon konsantrasyonlarına ve ozonun parçalanma hızına olan etkisi araştırılmıştır. Farklı türdeki bina malzemeleri ve yüzey kaplamaları ile temas sonrasında, kapalı bir odada ozonun parçalanma hızı ölçülmüştür. Vinil duvar kağıdı, kontrplak, lateks boya, halı kaplama ve sıva test edilen materyallerdir. Ozon, bu materyaller ile reaksiyona girerek formaldehit oluşumunu sağlamaktadır. Almanya'da, evlerdeki formaldehit konsantrasyonunun 0.1 ppm'in altında olduğu belirtilmiştir [44].

Paris'deki konutlarda yapılan bir çalışmada maksimum formaldehit konsantrasyonu  $2800 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ve ortalama  $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak bulunmuştur. Örnekleme yapılan evlerde formaldehit konsantrasyonunun yer kaplamalarının yaşına belirgin bir şekilde bağlı olduğu bulunmuştur. Ayrıca evin sıcaklığındaki  $10^\circ\text{C}$ 'lik artışın formaldehit konsantrasyonunu 2-3 katına çıkarttığı saptanmıştır [45].

Formaldehit,  $\text{NO}_2$  ve seçilmiş bazı klorlu UOBlerin konsantrasyonları Nagoya; Japonya'da 37 kentsel evde ve Uppsala; İsveç'te 27 kentsel konutta araştırılmıştır. Yine bu çalışmada da evin yaşı arttıkça formaldehit seviyesinin düştüğü ve formaldehit seviyesinin mevsimsel ve günlük varyasyonlara sahip olduğu (sıcaklık ve neme bağlı olarak) bulunmuştur. Evlerdeki sağlık riskini azaltmak için melamin–formaldehit reçinelerinin kullanılması önerilmiştir. Ayrıca Japonya Sağlık Bakanlığı yeni yapılmış veya yeni dekore edilmiş evlerde formaldehit konsantrasyonunun 30 dakikalık ortalama seviyesinin  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  değerini geçmemesi gerektiğini belirtmiştir. İsveç'te iç ve dış ortam formaldehit konsantrasyonu ile ilgili herhangi bir yasal düzenleme bulunmamaktadır [46].

Hong Kong'da 9 alışveriş merkezinde iç hava kalitesinin belirlenmesi için iç hava kirleticilerinden; toplam bakteri sayımı (TBC),  $\text{CO}_2$ , CO, Toplam Hidrokarbonlar, formaldehit,  $\text{PM}_{10}$  seviyeleri belirlenmeye çalışılmıştır. Hem hafta içi günlerinde, hem de hafta sonu günlerinde dış hava formaldehit seviyeleri iç hava formaldehit seviyelerinden çok daha düşük bulunmuştur. Hong Kong İç Ortam Hava Kalitesi Düzenlemesi'ne göre 8 saatlik ortalama formaldehit konsantrasyonu  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak belirlenmiştir. İç ortam havasında formaldehit seviyesi ortamdaki kirletici kaynakların varlığına göre değişmiştir. İstasyonlardan özellikle 2 tanesinde iç ortam formaldehit seviyeleri dış hava değerlerine göre çok daha yüksek seviyelerde tespit edilmiş; bunun nedeni olarak özellikle dekoratif malzemelerde geniş kullanım alanına sahip olan preslenmiş tahta ürünler, endüstriyel solventler ve boyaların alışveriş merkezlerinde fazla kullanımı gösterilmiştir [47]. Yine Hong Kong'da meskun evlerdeki iç ortam hava kalitesinin tespiti için de bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada formaldehit emisyonu dışında;  $\text{CO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$ , UOB ve havadan kaynaklanan bakteriler ölçülmüştür. Örnekler 6 evden ve evlerin mutfak ve oturma odasından alınmıştır. Evlerde tespit edilen formaldehit konsantrasyon seviyeleri  $30\text{-}100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  aralığında bulunmuştur. Çalışma sonunda yeni preslenmiş tahta ürünlerin, dekoratif tahta ürünlerin, yer ve duvar kaplamalarının evlerde formaldehit konsantrasyonunun en önemli kaynakları olduğu sonucuna varılmıştır [48].

Evlerin ve işyerlerinin iç dekorasyonunda geniş kullanım alanına sahip olan preslenmiş tahta ürünlerden iç ortama verilen formaldehitin tespiti ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır [49-50]. Türkiye'de de benzer çalışmalar yapılmıştır; kontrplaklarda emprenye işlemlerinin formaldehit ve asit emisyonu ile teknolojik özelliklere etkileri, değişik tipte fenol formaldehit polimerlerinin laminatlar üzerinde incelemeler vb. yapılmış tez çalışmaları mevcuttur [51-52]. Bu çalışmalardan elde edilen bulgular kısaca şöyledir: Yonga levha, kontrplak ve MDF gibi odun levha ürünlerinden meydana gelen asit emisyonu daha çok bu levhaların üretiminde kullanılan yapıştırıcılardan kaynaklanmaktadır. Asit ve formaldehit emisyonu açısından etkili olan reaksiyonlar, tutkal hattında presleme sırasında meydana gelmektedir. Üre formaldehit reçinelerinde, formaldehit mol oranının artması, yonga levhaların pH değerini düşürürken; ayrışan formaldehit yanında asetik ve formik asit miktarını da artırmaktadır. Ayrışan formaldehit ve uçucu asetik asit miktarı, kayın kontrplaklarda kızılğaç kontrplaklarına nazaran daha düşük bulunmuştur. Formaldehit emisyonu fenol formaldehit tutkalı ile üretilen levhalarda daha düşük bulunurken; uçucu asetik asit miktarı bu durumun aksine, fenol formaldehit tutkalı ile üretilen levhalarda önemli oranda daha yüksektir. Kullanılan emprenye maddelerinden boraks ve amonyum asetat, levhalardan ayrışan formaldehit miktarını azaltıcı; borik asit ise artırıcı bir etki yapmıştır [51].

Menteşe (2002)'nin Ankara'da yaptığı bir çalışmada, genel olarak, <8 yıllık evlerden çıkan formaldehit seviyesi, 8 yıldan büyük olan evlerden çok daha fazladır [53]. Bu fark özellikle evin yaşı 12'den büyük olduğunda daha belirgin olarak görülmektedir. Benzer çalışmalarda da formaldehit emisyonuna neden olan yer kaplama malzemeleri, duvar boyası, ahşap eşyaların emisyonlarının zamanla azalması nedeniyle evin yaşı arttıkça formaldehit konsantrasyonunun azaldığı görülmektedir [9,46].

Ahşap eşya ürünlerinin yapımında genellikle formaldehit içeren yapıştırıcılar kullanılmaktadır. Formaldehitin  $20^\circ\text{C}$ 'nin üzerindeki sıcaklıklarda levhadan ayrıştığı ve insan sağlığını etkilediği saptanmıştır [51]. Evlerde bulunan ahşap eşyaların yaşı, formaldehit emisyonuna katkıda bulunan bir faktör olarak belirlenmiştir [53]. Yapılan önceki çalışmalar da benzer şekilde ev içindeki ahşap



mobilyanın yeni olması durumunda formaldehit konsantrasyonlarının önemli miktarda arttığını göstermektedir [9].

Kontrollü oda deney koşullarında yapılan bir çalışmada bina ve dekorasyon malzemelerinden olan tavan kaplaması, halı ve mobilyaların iç ortam hava kalitesine olan etkileri araştırılmıştır [54]. Çalışmada kullanılan bina ve dekorasyon malzemeleri eko-etiketi olan ve mevcut koşullarda düşük-emisyon yaydığı belirtilen ürünlerden seçilmiştir. Bu bina ve dekorasyon malzemeleri ile inşa ve dekore edilen bir test evindeki iç hava kalitesi yaklaşık 1 ay süreyle izlenmiştir. Test ev inşa edildikten sonra (faz-1), test ev tavan kaplaması ile dekore edildikten sonra (faz-2) ve test ev mobilya, halı ve duvar kağıdı ile dekore edildikten sonra (faz-3) iç hava kalitesi izlenmiştir. Tavan kaplaması yapıldıktan sonra test evindeki formaldehit konsantrasyonunun belirgin olarak artış gösterdiği ve mobilya, halı ve duvar kağıdı ile kaplama yapıldıktan sonra da test evdeki formaldehit seviyesinin tekrar artışa geçtiği 3 tekrarlı olarak yapılan çalışmada saptanmıştır.

## SONUÇ

İç ortam hava kalitesinin bozulmasında iç ortamlarda yaygın olarak kullanılan malzemelerin ve çeşitli çevresel faktörlerin etkili olduğu görülmüştür. İç ortam hava kirleticilerin kombine etkisi ve dış ortamda üretilen kirleticilerin infiltrasyon yoluyla iç ortamlara girişi iç ortamdaki konsantrasyonların olumsuz sağlık etkilerine neden olacak kadar yüksek olmasına neden olmaktadır. Günümüzde “yeşil bina” konseptinde olan bazı binalarda bina ve dekorasyon malzemelerinin iç ortam hava kalitesine olan olumsuz etkisini azaltmak amacıyla, gerek bazı sertifikasyon sistemleri dahilinde, gerekse spesifik mimari dizayn yöntemleri ile bina inşa ve dekorasyonunda kullanılacak malzemeler ortam havasına yayabilecekleri kirlenici emisyonlar ve diğer olası sağlık ve konfor etkilerine göre seçilebilmektedir. Bu sürece önümüzdeki yıllarda yeni inşa edilecek çoğu bina projesinde yer verileceğinin aşikâr olması, iç hava kalitesinin iyileştirilmesi yönünde beklenen iyi bir gelişme olarak kabul edilebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] GODISH T. “Indoor Environmental Quality”. Lewis Publishers, Boca Raton, 2001.
- [2] CRUMP, D.R., Squire, R.W., Yu, C.W.F. “Sources and concentrations of formaldehyde and other volatile organic compounds in the indoor air of four newly built unoccupied test houses”. *Indoor and Built Environment* 6: 45-55, 1997.
- [3] YU, C., Crump, D. “A review of the emission of VOCs from polymeric materials used in buildings”. *Building and Environment*, 33(6): 357-374, 1998.
- [4] WOLKOFF, P., Clausen, P.A., Wilkins, C.K., Nielsen, G.D. “Formation of Strong Airway Irritants in Terpene/Ozone Mixtures”. *Indoor Air*, 10(2): 82-91, 2000.
- [5] NAZAROFF, W.W., Weschler, C.J. “Cleaning products and air fresheners: exposure to primary and secondary air pollutants”. *Atmospheric Environment*, 38(18): 2841-2865, 2004.
- [6] WHO, “Air Quality Guidelines for Europe”, WHO Regional Publications, European Series, Copenhagen, Denmark, 91:87-91, 2000.
- [7] WHO, “World Health Statistics”. Geneva, WHO, 2010.
- [8] International Agency for research on Cancer (IARC). “Air Pollution and Cancer”, IARC Scientific Publication No:161, France, 2013.
- [9] LIN, J.M. and Yao, Y.H., “Formaldehyde in Conventional Homes in Taiwan”, *Environment International*. 19, 561-568, 1993.
- [10] IARC, “IARC classifies formaldehyde as carcinogenic to humans”. Press release. June 15, 2004.
- [11] NEVALAINEN, A., Pastuszka, J., Liebhaber, F., Willeke, K. “Performance of Bioaerosol Samplers: Collection Characteristics and Sampler Design Considerations”. *Atmospheric Environment* 26A: 531-540, 1992.
- [12] COX, C.S. “Bioaerosols Handbook”, ed: Wathes CM., Lewis Publishers/CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, 1995.



- [13] ROSS, M.A., Curtis, L., Scheff, P.A., Hryhorczuk, D.O., Ramakrishnan, V., Wadden, R.A., Persky, V.W. "Association of Asthma Symptoms and Severity with Indoor Bioaerosols", *Allergy*, 55: 705-11, 2000.
- [14] BEAUMONT, F., Kauffman, H.F., Sluiter, H. J., de Vries, K., " A Volumetric-Aerobiologic Study of Fungus Prevalence Inside and Outside Dwellings of Asthmatic Patients Living in Northeast Netherlands", *Annals of Allergy*, 53: 486–492, 1984.
- [15] SIERSTED HC, Gravesen S. Extrinsic Allergic Alveolitis after Exposure to The Yeast *Ehodontorula Rubra*. *Allergy*, 48, 298-9 (1993).
- [16] ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists), "Guidelines for the Assessment About Aerosols in the Indoor Environment". ACGIH, Cincinnati, Ohio, 1989.
- [17] REN P, Jankun T, Leaderer B. "Comparisons of seasonal fungal prevalence in indoor and outdoor air and in house dusts of dwellings in one Northeast American county". *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 9, 560-8, 1999.
- [18] FABIAN MP, Miller SL, Reponen T, Hernandez MT. "Ambient Bioaerosol Indices for Indoor Air Quality Assessments of Flood Reclamation". *Journal of Aerosol Science* 36:763-83, 2005.
- [19] DOCKERY DW and Pope CA, III. "Acute respiratory effects of particulate air pollution". *Ann. Rev. Public Health* 15:107–132, 1994.
- [20] WILLIAMS, R., Creason, J., Zweidinger, R., Watts, R., Sheldon, L., Shy, C. "Indoor, Outdoor and Personal Exposure Monitoring of Particulate Air Pollution: The Baltimore Elderly Epidemiology-Exposure Pilot Study", *Atmospheric Environment*, 34: 4193–04, 2000.
- [21] LIPPMANN M, Frampton M, Schwartz J, Dockery D, Schlesinger R. et al., "The US Environmental Protection Agency Particulate Matter Health Effects Research Centers Program: A Midcourse Report of Status, Progress and Plans". *Environmental Health Perspectives* 111:1074-92, 2003.
- [22] BORESON J, Dillner A, Peccia J. "Correlating bioaerosol load with PM2.5 and PM10 concentrations: a comparison between natural desert and urban-fringe aerosols". *Atmospheric Environment* 38(35): 6029-41, 2004.
- [23] LAMORENA, R.B., Jung, S.G., Bae, G.N., Lee, W., "The formation of ultra-fine particles during ozone-initiated oxidations with terpenes emitted from natural paint", *J Hazardous Materials*, 141:245-251, 2007.
- [24] EUR 23052 EN, "European Collaborative Action: Urban air, indoor environment and human exposure, Impact of ozone-initiated terpene chemistry on indoor air quality and human health", Report No.26, European Commission Joint Research Centre, 2007.
- [25] SARWAR G, Corsi R, Allen D, Weschler C. "The significance of secondary organic aerosol formation and growth in buildings: experimental and computational evidence". *Atmospheric Environment* 37:1365-81, 2003.
- [26] CARSLAW N. "A new detailed chemical model for indoor air pollution". *Atmospheric Environment* 41:1164-1179, 2007.
- [27] ADGATE, J., Eberly, L., Stroebel, C., Pellizzari, E., Sexton, K. "Personal, indoor, and outdoor VOC exposures in a probability sample of children". *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 14, S4-S13, 2004.
- [28] DODSON, R.E., Houseman E.A., Levy J.I., Spengler J.D., Shine J.P., Bennett D.H. "Measured and Modelled Personal Exposures to and Risks From Volatile Organic Compounds", *Environ. Sci. Technol.* 41: 8498-505, 2007.
- [29] WOLKOFF, P., Wilkins, C.K., Clausen, P.A., Nielsen, G.D., "Organic compounds in office environments - sensory irritation, odor, measurements and the role of reactive chemistry", *Indoor Air*, 16:7-19, 2006.
- [30] NICOLAS, M., Ramalho, O., Maupetit, F., "Reactions between ozone and building products: Impact on primary and secondary emissions", *Atmospheric Environment*, 41:3129-3138, 2007.
- [31] ZHAO, B., Chen, C., Tan, Z., "Modeling of ultrafineparticle dispersion in indoor environments with an improved drift flux model", *Aerosol Science*, 40:29-43, 2009.
- [32] SALTHAMMER, T. "Emissions of volatile organic compounds from products and materials in indoor environments". In *Air Pollution*, pp. 37-71: Springer, 2004.
- [33] UHDE, E., and T. Salthammer. "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, 2007.



- [34] SALTHAMMER, T., F. Fuhrmann, V. Kuhn, E. Massold, and N. Schulz. "Assessment of building products by chemical and sensory tests". *GEFAHRSTOFFE REINHALTUNG DER LUFT* 64(3): 111-117, 2004.
- [35] WILKE, O., O. Jann, and D. Brödner. "VOC-and SVOC-emissions from adhesives, floor coverings and complete floor structures". *Indoor Air* 14(s8): 98-107, 2004.
- [36] COX, S.S., Little, J.C., Hodgson, AT. "Predicting the Emission Rate of Volatile Organic Compounds from Vinyl Flooring". *Environmental Science & Technology* 36: 709-714, 2002.
- [37] ZHANG, J., Smith, K. "Indoor air pollution: a global health concern". *British medical bulletin*, 68(1): 209-225, 2003.
- [38] SUNDELL, J. "On the history of indoor air quality and health". *Indoor Air*, 14(s7): 51-58, 2004.
- [39] BERRY, R.W., Brown, V.M., Coward, S.K.D., Crump, D.R., Gavin, M., Grimes, C.P., et al. "Indoor air quality in homes". *The BRE Indoor Environment Study. BRE Reports BR299 and BR300*, CRC press, London, 1996.
- [40] BROWN, V., Crump, D., Gavin, M., "Indoor Air Quality in Homes: The Building Research Establishment Indoor Environment Study", *Building Res. Establishment, BRE report BR 299*, 1996.
- [41] KATSOYIANNIS, A., Leva, P., Kotzias, D. "VOC and carbonyl emissions from carpets: A comparative study using four types of environmental chambers". *Journal of Hazardous Materials*, 152(2): 669-676, 2008.
- [42] GEORGHIOU, P.E., "Formaldehyde Monitoring in Urea-Formaldehyde Foam-Insulated Houses in ST. John's, Newfoundland, Canada: Correlative Field Evaluation of A Real-Time Infrared Spectrophotometric Method", *Environment International*. 9, 279-287, 1983.
- [43] GODISH, T., "Effect of Ambient Environmental Factors on Indoor Formaldehyde Levels", *Atmospheric Environment*. 23, 1695-1698, 1989.
- [44] MORISKE, H.J., Ebert, G.E., Konieczny, L., Menk, G. and Schöndube, M., "Concentrations and Decay Rates of Ozone in Indoor Air in Dependence on Building and Surface Materials", *Toxicology Letters*. 96,97, 319-323, 1998.
- [45] CLARISSE, B., Laurent, A.M., Seta, N., Le Moullec, Y., El Hasnaoui, A. and Momas, I, "Indoor Aldehydes: Measurement of Contamination Levels and Identification of Their Determinants in Paris Dwellings", *Environmental Research*. 92, 245-253, 2003.
- [46] SAKAI, K., Norback, D., Mi, Y., Shibata, E., Kamijima, M., Yamada, T. and Takeuchi, Y., "A Comparison of Indoor Air Pollutants in Japan And Sweden: Formaldehyde, Nitrogen Dioxide, and Chlorinated Volatile Organic Compounds", *Environmental Research*. 94, 75-85, 2004.
- [47] LI, W.M., Lee, S.C. Chan, L.Y. "Indoor Air Quality at Nine Shopping Malls in Hong Kong", *Sci. Total Environ*. 273(1-3), 27-40, 2001.
- [48] LEE, S.C., Li, W.M. and Ao, C.H., "Investigation of Indoor Air Quality at Residential Homes in Hong Kong-Case Study", *Atmospheric Environment*. 36, 225-237, 2002.
- [49] MOLHAVE, J., Bisgaard, P., Dueholm, S., "A Mathematical Model of Indoor Air Pollution Due to Formaldehyde from Urea-Formaldehyde, Glued Particleboards", *Atmospheric Environments*, 17, 2105-2108, 1983.
- [50] CHUAH, Y.K., Fu, Y.M., Hung, C.C., Tseng, P.C., "Concentration Variations of Pollutants in a Work Week Period of an Office", *Building and Environment*, 32:6:535-540, 1997.
- [51] ÇOLAKOĞLU, G., "Kontrplak Üretim Şartlarının Formaldehit Emisyonu ve Teknik Özelliklere Etkisi", *Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon*, 86s, 1993.
- [52] GÖK, G., "Değişik Tipte Fenol Formaldehit Polimerlerinin Laminantları Üzerinde İncelemeler", *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*, 34s, 1983.
- [53] MENTESE, S., "Formaldehit Seviyesinin İç Ortamda Araştırılması", *Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, Ankara*, 2004.
- [54] GUNSHERA, J., S. Mentese, T. Salthammer, and J.R. Andersen, "Impact of building materials on indoor formaldehyde levels: Effect of ceiling tiles, mineral fiber insulation and gypsum board". *Building and Environment* 64, 138-145, 2013.



## ÖZGEÇMİŞ

### Sibel MENTEŞE

1981 doğumlu Menteşe, 2002 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 2004 yılında Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Yüksek Mühendis unvanını almıştır. Sosyal Çevre konuları üzerine de ilgisi olan Menteşe, 2007 yılında Ankara Üniversitesi Sosyal Çevre Bilimleri Bölümünden ikinci Yüksek Lisans derecesini almıştır. 2004-2009 yılları arasında aynı üniversitede Araştırma Görevlisi olarak çalışmıştır ve 2009 yılında iç hava kalitesi üzerine kapsamlı bir doktora tezi tamamlamıştır. Dr. Menteşe, Türkiye ve Almanya'da iç ortam hava kalitesi ve malzeme kalite uygunluk testi konuları üzerine çeşitli projeler yapmıştır. 2010 yılından bu yana Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde Yrd.Doç.Dr. olarak görev yapmaktadır. Son zamanlarda iç ve dış ortam hava kalitesinin sağlık etkilerine yönelik projeler yürütmektedir.