

İÇ ORTAM HAVASINDA BULUNAN UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLER VE SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ

Bilge ALYÜZ, Sevil VELİ*

*Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, KOCAELİ
e-posta: sevilv@kou.edu.tr, Tel: (0262)335 11 68 /2136

Alınış: 18 Nisan 2006
Kabul Ediliş: 27 Eylül 2006

Özet: Bu derlemede, iç ortam havasında bulunan uçucu organik bileşiklerin (UOB) kaynakları ve insan sağlığı üzerine olan etkileri incelenmiştir. Farklı birçok çeşidi bulunan uçucu organik bileşiklerin en önemli kaynakları inşaat ve dekorasyonda kullanılan malzemelerdir. Literatürde kaynaklarına göre sınıflandırılmış olan uçucu organik bileşiklerin iç ortam havasındaki ortalama konsantrasyonları verilmiştir. İncelenen UOB'lerin toksisite değerleri de göz önüne alınarak insan sağlığı üzerine olan etkileri ortaya konmuştur. Ayrıca tayin metodundaki farklılık ile UOB'lerden ayrılan formaldehit de incelenmiştir. Yapılan literatür incelemesi sonunda UOB'lerin iç ortamdaki konsantrasyonlarının pek çok faktöre bağlı olarak geniş bir aralıkta değiştiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Formaldehit, iç ortam havası, kanser faktörü, toksisite değeri, uçucu organik bileşikler.

Volatile Organic Compounds in Indoor Air and Their Health Effects

Abstract: In this review, sources and health effects of volatile organic compounds existing in indoor air are investigated. The most important source of volatile organic compounds, having so many types, are materials used for construction and decoration. Average concentrations of volatile organic compounds existing in indoor air are given. These organic compounds are classified according to their sources in the literature. The health effects of VOCs are discussed with respect to their toxicity values. Formaldehyde, which is considered apart from VOCs due to the difference in sampling and analysis, is also investigated. At the end of the literature investigation, it is seen that indoor concentrations of VOCs change in a wide range as a result of many factors.

Key words: Carcinogenic factor, formaldehyde, indoor air, toxicity value, volatile organic compounds.

Giriş

Son yıllarda, iç ortam hava kalitesinin insan sağlığı üzerine olan etkileri giderek artan ilgi görmektedir. Pek çok kaynaktan iç ortam havasına yayılan kirleticiler akut ve kronik sağlık sorunlarına sebep olmaktadır. Birleşmiş Milletler'de yapılan bir araştırmaya göre bir günlük zamanın %88'i binalarda geçmektedir (Robinson ve Nelson, 1995). Bu değer göz önüne alındığında iç ortam hava kalitesinin önemi daha çarpıcı hale gelmektedir.

Yüksek toksisite ile uçucu organik bileşikler ve formaldehit en önemli iç ortam kirleticileri arasındadır (US EPA, 1998 a,b; Hines ve Ark., 1993). UOB'ler, özellikle boya, vernik, yapıştırıcı, döşemelik gibi yapı malzemelerinden kaynaklanmaktadır. Ofis ortamlarında ise, bu yapı malzemelerine ilave olarak fotokopi makineleri ile diğer bazı ofis malzemeleri UOB'ler için önemli kaynaklardır. (Vural ve Balanlı, 2005; Lee ve Ark, 2006).

Düşük konsantrasyonlarda uyusukluk, baş ağrısı ve yorgunluk gibi özellikle sinir sistemiyle ilgili şikayetlere sebep olan uçucu organik bileşikler ve formaldehit, maruziyetin kronik hale gelmesi ile kanserojenik etkiler göstermektedirler. Ayrıca düşük konsantrasyonlardaki UOB'lere sürekli maruziyet, solunum yolu hastalıklarına ve astıma sebep olmaktadır (Norback ve Ark., 1995). Benzen, toluen, etilbenzen, ksilen ve stiren yüksek toksisite ile en zararlı UOB'ler olarak gruplandırılabilirler (Lee ve Ark., 2001). Maruz kalınan konsantrasyon yükseldikçe etkilerin ağırlaştığı, koma ve ölüme kadar gidebildiği görülmüştür (Sandmeyer, 1982).

UOB'lerin iç ortamdaki konsantrasyonları üzerinde havalandırma, sıcaklık gibi faktörlerin yanında uygulamadan sonra geçen sürenin de çok önemli olduğu görülmektedir. Yapı malzemelerinde bulunan UOB'ler çabuk buharlaşabilme özellikleri ile en fazla inşaatçı çalışan işçileri etkilemektedir. Duvar yapımında kullanılan alçı blok ve levhalarda ksilen ve toluen türü UOB'ler bulunurken, betonun yapısında formaldehit bulunmaktadır. İnşaat sıvasında en çok rastlanan uçucu organik bileşikler, etil benzen formaldehit, ve toluendir. Toluene ayrıca duvar kağıtlarının yapısında da bulunmaktadır. Özellikle iç yüzey kaplamalarında kullanılan işlem görmüş ahşap ve yapay ahşaplar ile boya, vernik, cila gibi malzemeler de iç ortam havasında bulunan etil benzen, tri-metil benzen, ksilen gibi UOB'lerin önemli kaynaklarıdır (Vural ve Balanlı, 2005). UOB içeren bu malzemelerin kullanımından sonra geçen süre uzadıkça maruziyet seviyesi düşmektedir.

Bu derlemede, iç ortam hava kalitesini etkileyen ve taşıdıkları sağlık riskleri ile dikkat çeken UOB'ler incelenmiştir. Kaynaklarına göre ayrılan bu bileşiklerin evlerde ve ofislerdeki ortalama konsantrasyonları da verilerek sağlık üzerine etkileri değerlendirilmiştir. Maruziyet seviyesinde etkili olan faktörler belirlenerek, soruna çözüm önerileri sunulmuştur.

Uçucu Organik Bileşikler

Yapısında en az bir karbon ve hidrojen atomu içeren kimyasal bileşikler organik bileşikler adını alırlar. Organik bileşikler, uçucu organik bileşikler, yarı uçucu organik bileşikler ve uçucu olmayan organik bileşikler olmak üzere üç ana grupta incelenirler. Uçucu organik bileşiklerin kaynama noktaları 50-260 oC arasında değişmektedir (Maroni ve Ark., 1995). Düşük kaynama noktaları nedeniyle iç ortam havasında buhar halinde bulunurlar (Tablo 1).

Tablo 1. Bazı Organik Bileşiklerin Kaynama Noktaları ve Buhar Basınçları (ATSDR, 1997)

Uçucu Organik Bileşik	Kaynama Noktası Sıcaklığı (oC)	Buhar Basıncı (mm Hg)
Benzen	80.1	95.2 (25 oC)
Toluen	111	22 (20 oC)
Kloroform	62	160 (20 oC)
o-ksilen	144	7(20 oC)
1,1,1, Trikloroetan	74.1	10 (20 oC)
1,2,4- Trimetilbenzen	169	2.03 (25 oC)
p-ksilen	138	9 (20 oC)
Undekan	196	0.28 (20 oC)
1,3,5 Trimetilbenzen	165	1.86 (20 oC)
Etilbenzen	136	10 (20 oC)
Stiren	145	5 (20 oC)
Karbon tetra klorür	76.8	91.3 (20 oC)
Dikloro benzen	174	10 (55 oC)
p-dikloro-benzen	174	10 (55 oC)
Metil klorür	39.8	350 (20 oC)
Etilen dibromür	131.5	11.0 (25 oC)

Uçucu Organik Bileşiklerin Kaynakları

İç ortam havasında sıkça rastlanan uçucu organik karbonlar ve kaynakları Tablo 2'de özetlenmektedir.

Tablo 2. İç Ortam Havasında Bulunan Uçucu Organik Bileşiklerin Kaynakları(Maroni ve Ark.,1995)

Kaynaklar	Tipik kirleticiler
Ticari ürünler	Alifatik hidrokarbonlar (n-dekan, dallanmış alkanlar, aromatik hidrokarbonlar (toluen, ksilen), halojenlenmiş hidrokarbonlar (metil klorür), alkoller, ketonlar (aseton, metil etil keton),aldehitler (formaldehit), esterler (glikoleterler), terpenler (limonen, alfa-pinen)
Boyalar	Alifatik hidrokarbonlar (n-hekzan, n-heptan), aromatik hidrokarbonlar (toluen), halojenlenmiş hidrokarbonlar (metil klorür, propilen diklorür), alkoller, ketonlar (metil etil keton), esterler (etil asetat), eterler (metil eter, etil eter, butil eter)
Yapıştırıcı malzemeler	Alifatik hidrokarbonlar (hekzan, heptan), aromatik hidrokarbonlar, halojenlenmiş hidrokarbonlar, alkoller, aminler, ketonlar (aseton, metil etil keton), esterler (vinil asetat)
Döşeme ve kumaşlar	Aromatik hidrokarbonlar (stiren, bromlaşmış aromatikler), halojenlenmiş hidrokarbonlar (vinil klorür), aldehitler (formaldehit), eterler, esterler.
Yapı malzemeleri	Alifatik hidrokarbonlar (n-dekan, n-dodekan, aromatik hidrokarbonlar (toluen, etil benzen), halojenlenmiş hidrokarbonlar (vinil klorür), aldehitler (formaldehit), ketonlar (aseton), eterler, esterler.

Yukarıdaki tablodan da görüldüğü gibi organik kimyasallar; boya, vernik, yapıştırıcı ve inşaat malzemelerinin yapısında bulunmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda bu malzeme ve ürünlerin kullanıldığı binalarda uçucu organik karbon bileşiklerine sıklıkla rastlanıldığı ortaya konmuştur (Guo ve Murray, 2001; Guo ve Ark., 2000).

Ofis ortamlarında kullanılan yazıcılar ve fotokopi makineleri, iç ortam havası için önemli birer UOB kaynağıdır (Lee ve Ark, 2006). Yapılan araştırmalarda, fotokopi çekme işlemi sırasında havaya ozon gazıyla birlikte pek çok uçucu organik bileşiğin yayıldığı belirlenmiştir (Brown, 1999; Henschel ve Ark., 2001; US EPA, 1995). Fotokopi işlemleri sırasında yaklaşık 60 farklı UOB türü oluşmaktadır (Wolkoff ve Ark., 1993).

İç ortamlarda bulunan UOB'lerin önemli bir diğer kaynağı ise yoğun trafiğe sahip dış mekanlardır. Trafik yoğun olduğu bölgelerde bulunan evlerde ölçülen benzen konsantrasyonları (7.7 µg m-3), trafiğin az olduğu bölgelerdeki evlere göre (5.7 µg m-3) daha yüksektir (Fischer ve Ark., 1999).

Uçucu Organik Bileşiklerin İç Ortamdaki Konsantrasyonları

Uçucu organik karbon bileşiklerinin iç ortamlardaki konsantrasyonları genellikle kokuyla algılanabilen seviyenin altındadır ve dış ortamdaki seviyeden yaklaşık beş kat fazladır (Wallace, 1991a). İç ortam havasında yapılan incelemeler sonucunda 350'den fazla uçucu organik bileşiğin konsantrasyonları 1 ppm'in üzerinde bulunmuştur (Brooks ve Ark., 1991). Konuyla ilgili ilk çalışmalarından biri Molhave tarafından yapılmıştır (1979). Bu çalışmada Danimarka'daki 14 ofiste 29 farklı uçucu organik bileşik incelenmiştir. Araştırma sonunda en çok rastlanan UOB türünün, konsantrasyonları 0.03-2.8 µg m-3 arasında değişen alkil benzenler olduğu görülmüştür. Shah ve Singh, iç ortamlarda bulunan 66 farklı UOB üzerinde yaptıkları incelemede konsantrasyonların 0.4-4 µg m-3 arasında değiştiğini bulmuşlardır (1988). Yapılan diğer bir çalışmada ise iç ortamda ölçülen pek çok UOB konsantrasyonu 5 µg m-3 değerinin altında bulunmuştur (Brown ve Ark., 1994). Fellin ve Otson, Kanada'da 754 konutta 26 farklı UOB türünü incelemişlerdir (1994). Bu çalışmada incelenen uçucu organik karbon bileşiklerinin ortalama değerleri 4.4-10.8 µg m-3 aralığında bulunmuştur. Toluen ve dekan için maksimum değerler 84 µg m-3 ve 48 µg m-3 olarak belirlenmiştir.

İç ortamlarda rastlanan uçucu organik bileşiklerinin tipik konsantrasyonları Tablo 3'te özetlenmiştir.

Tablo 3. İç Ortam Havasında Bulunan Uçucu Organik Bileşiklerin Ortalama Konsantrasyonları (IEH, 1996; ACGIH 1994)

Kirleticisi	Konsantrasyon (mg m-3)	Sınır Değer (mg m-3) (ACGIH-TWA)
Benzen	0.002-0.03	1.6
Toluen	0.03-0.25	160
n-Dekan	0.003-0.09	-
Limonen	0.002-0.07	167
o-ksilen	0.003-0.01	434
1,1,1, Trikloroetan	0.002-0.02	55
1,2,4 Trimetilbenzen	0.005-0.02	125
m- ve -p ksilen	0.01-0.04	434
Undekan	0.003-0.025	-
1,3,5 Trimetilbenzen	0.002-0.005	123

(-) Sınır değeri belirlenmemiş.

Herhangi bir iç ortamda UOB'lerin bulunması potansiyel bir emisyon kaynağının varlığına göre değişmektedir. Yapılan pek çok araştırmada toplam uçucu organik bileşiklerin (TUOB) değerleri verilmiştir. Ancak buna bağlı olarak oluşan toksik etkilerin tayini oldukça güçtür (ECJRC, 1997). Birleşmiş Milletler'de yapılan bir çalışmada 179 evde ölçülen TUOB değerlerinin 200-500 µg m-3 arasında değiştiği görülmüştür (Brown ve Cramp, 1996).

UOB konsantrasyonları yeni yapılmış binalarda daha yüksektir. Bunun sebebi UOB'lerin büyük kısmının kısa zamanda gaz haline geçmesidir. Yüksek konsantrasyonlar kısa zamanda hızla düşer. Binayı inşa edenler ya da dekorasyonunda görev alanlar yüksek dozlardaki uçucu organik bileşiklere maruz kalırlar (Wieslander ve Ark., 1997). 15 farklı UOB türü üzerinde yapılan bir araştırmada, inşaatın tamamlanmasından sonraki ilk altı ay içinde UOB konsantrasyonlarının 15-20 ppm seviyesinden 2-3 ppm seviyesine düştüğü görülmüştür (Berglund, 1982).

Sıcaklık ve havalandırma oranı gibi parametreler uçucu organik bileşiklerin iç ortamdaki konsantrasyonunu etkileyen önemli faktörlerdir. Yapı malzemelerinden kaynaklanan UOB maruziyetini en aza indirmek için iç ortam sıcaklığının 17-28°C aralığında tutulması önerilmektedir. Ayrıca havalandırma oranı arttıkça iç ortamdaki UOB konsantrasyonları düşmektedir (Wiglusuz ve Ark., 2002).

Uçucu Organik Bileşiklerin Sağlık Üzerine Etkileri

Uçucu organik bileşikler arasında taşıdıkları sağlık riskleri nedeniyle en fazla dikkat çekenler; benzen, toluen, etilbenzen, ksilen ve stirendir (Lee ve Ark.,2001; Leovic ve Ark.,1998). Benzen ve toluen kanserojenik olma özellikleri ile önem taşımaktadırlar. Tablo 4'te bu kimyasalların toksisite değerleri özetlenmektedir:

Tablo 4. Bazı Uçucu Organik Bileşikleri için Toksikite Değerleri (US EPA, 1998a,b)

Kimyasal	Referans doz (mg/kg/gün)	Kanser faktörü (mg/kg/gün)-1	US EPA kanser sınıflandırması
Benzen	8.57x10 ⁻³	2.73x10 ⁻²	A (Kanserojen)
Toluen	1.14x10 ⁻¹	—	-
Etilbenzen	2.86x10 ⁻¹	—	-
Ksilen	2.86x10 ⁻²	—	-
Stiren	2.86x10 ⁻¹	—	-
Karbon tetraklorür	7x 10 ⁻⁴	1.3x 10 ⁻¹	B2 (Kanserojen olma olasılığı yüksek)
Kloroform	1 x 10 ⁻²	6.1 x 10 ⁻³	B2 (Kanserojen olma olasılığı yüksek)

Tablo 4. Bazı Uçucu Organik Bileşikleri için Toksikite Değerleri (Devamı)

Vinil klorür	9 x 10 ⁻³	0.6	C (Kanserojen olma ihtimali var)
Metil klorür	6 x 10 ⁻²	7.5 x 10 ⁻³	B2 (Kanserojen olma olasılığı yüksek)
Etilen dibromür	-	85	B2 (Kanserojen olma olasılığı yüksek)

Uçucu organik bileşiklere maruziyet akut ve kronik sağlık etkileri oluşturur. Düşük dozlardaki UOB'ler, astıma ve diğer bazı solunum yolu hastalıklarına sebep olur. İsveç'te yapılan bir araştırmada 20-45 yaşları arasındaki 88 astım hastasında UOB'lere maruziyet ile nefes darlığı şikayetlerinde artış gözlenmiştir (Norback ve Ark., 1995).

UOB'ler yüksek konsantrasyonlarda, merkezi sinir sistemi üzerinde narkotik etki yaparlar (Maroni ve Ark., 1995). Maruziyet aynı zamanda gözlerde ve soluk borusunda tahrişe sebep olur. 8 µg m⁻³ konsantrasyondaki 22 UOB'ten oluşan karışıma maruziyetten sonra soluk borusu mukozasında bozulmalar görülmüştür (Molhave, 1991).

Bazı UOB'ler ekstrem konsantrasyonlara ulaştıklarında sinir sistemine ait fonksiyonlarda bozulmalara neden olurlar (Burton, 1997). Deneysel bir çalışma sonunda, 25 µg m⁻³ konsantrasyonda 22 farklı uçucu organik bileşiğe maruz kalan kişilerde uyuşukluk, baş ağrısı ve yorgunluk şikayetlerine rastlanmıştır (Otto ve Ark., 1992). Toluen gibi bazı UOB'ler 188 µg m⁻³ seviyelerinde uyuşukluğa, baş dönmesine ve zihinsel karışıklığa sebep olurlar. Bu şikayetler, kasılmalara, komaya kadar ilerleyebilir ve 35000 µg m⁻³'ü geçen değerlerde ölüm olayları görülür (Sandmeyer, 1982).

Deney hayvanları üzerinde yapılan araştırmalara göre, bazı uçucu karbon bileşiklerinin yüksek konsantrasyonlarda kanser riskini artırmaktadırlar. Benzen, vinil klorür, p-dikloro-benzen, kloroform, etilen dibromür, metil klorür ve karbon tetra klorürün tipik konsantrasyonları, 1x10⁻⁶olasılığındaki kanser riskini en az 10 kat arttırmaktadır (Wallace, 1991b).

Yeni ortaya konan bir teoriye göre UOB'lerin kimyasal reaksiyonları ile oluşan ürünler, kendilerine maruziyetten daha önemli olabilirler (Wolkoff ve Ark., 1997). İç ortamda bulunan UOB'lerin ozonla reaksiyona girmesi sonucunda kuvvetli irritant etkiye sahip kimyasalların oluştuğu bilinmektedir (Groes ve Ark., 1996). UOB'lerin ozonla reaksiyona girme süreleri her bir bileşik için farklıdır. Ortamda bulunan UOB ve ozon konsantrasyonu bu süreyi etkileyen önemli faktörlerdir. Eğer ozon konsantrasyonu, UOB konsantrasyonundan belirgin olarak yüksekse, o bileşiğin yarılanma süresi sadece ozon konsantrasyonuna bağlı olarak değişir. Yapılan araştırmalarda özellikle limonen, stiren, 1,1,1 trikloroetan, o-ksilen, m-p ksilen, 1,2,4 trimetil benzen ve diklorometan bileşiklerinin ozonla reaksiyona girme eğilimlerinin yüksek olduğu görülmüştür (Weschler, 2000). Ozonun iç ortamdaki d-limonenle etkileşiminin incelendiği bir çalışmada, reaksiyonlar sonucunda hem kararlı türlerin hem de serbest radikallerin oluştuğu ortaya konmuştur. Oluşan serbest radikaller ortamda bulunan diğer maddeler ile reaksiyonlara girerek doymuş ve doymamış aldehyitler ile organik asitler oluştururlar. Ara basamaklarda oluşan ürünler, d-limonenin kendisinden daha fazla irritant etkiye sahiptir (Tamas ve Ark., 2006).

Formaldehit

Formaldehit, çevrede en yaygın bulunan aldehittir. Uçucu bir bileşik olmasına rağmen, UOB analizlerinde yaygın olarak kullanılan gaz kromatografisi yöntemleri ile tayin edilemez. Bu sebepten dolayı ayrı olarak incelenirler (Maroni ve Ark., 1995).

Normal oda sıcaklığında formaldehit keskin kokulu, renksiz bir gazdır. Formaldehidin başlıca kaynakları, kontraplaklar, reçineler, yapıştırıcılar ve döşemeliklerdir (Hines ve Ark., 1993). Formaldehit, aynı zamanda binaların dış izolasyonunda kullanılan UFFI (üre formaldehit köpük) ticari isimli malzemenin yapısında da kullanılır. Günümüzde UFFI sağlık üzerindeki olumsuz etkileri nedeni ile daha az kullanılmaktadır. Son yıllarda zemin kaplamada kullanımı gittikçe yaygınlaşan laminant parkeler, iç ortamlarda hem uçucu organik bileşikler hem de formaldehit için önemli bir emisyon kaynağı olarak değerlendirilmektedirler (Gustaffson ve Jonsson, 1993). Yapılan araştırmalar, iç ortam sıcaklığının bu maddelere maruziyet seviyesinde önemli bir faktör olduğunu göstermiştir. Sıcaklığın 23oC'den 40oC'ye yükselmesiyle formaldehit maruziyet faktörünün 5.2 kat arttığı belirlenmiştir (Myers, 1985).

Sigara dumanı, iç ortamdaki formaldehit konsantrasyonunu artıran önemli faktördür (Baez ve Ark., 2003). Rando ve diğerleri tarafından yapılan bir araştırmada içilen her sigaranın ortalama 55 µg m-3 formaldehit oluşturduğu belirlenmiştir (1997). Ankara'da yapılan bir çalışmada ise 46 kahvehane formaldehit konsantrasyonu ölçülmüş ve sigara dumanının formaldehit konsantrasyonuna olan etkisi incelenmiştir (Eveci ve Ark., 2005). Çalışma sonucunda kahvehanelerdeki ortalama formaldehit konsantrasyonu 26.75 µg m-3 olarak bulunmuştur. Bu değer kapalı ortam için izin verilen sınır değerlerin üstündedir. Ölçülen değerlerin yüksekliği, sigara dumanının yoğunluğundan kaynaklanmaktadır. Türkiye'de konuyla ilgili yapılan diğer bir araştırmada, Ankara'da 25 evden toplanan 309 iç ortam hava örneğinde formaldehit seviyeleri araştırılmıştır (Menteşe ve Güllü, 2005). Yapılan araştırmada, iç ortam formaldehit konsantrasyonunun geniş bir aralıkta (6.5-540 µg m-3) değiştiği ortaya konmuştur. İncelenen örneklerde, sigara içilen evlerdeki formaldehit konsantrasyonunun daha yüksek olduğu ortaya konmuştur. Ayrıca evin yaşı, iç ortamın sıcaklığı, bağıl nem, ahşap eşyaların yoğunluğu da formaldehit konsantrasyonu üzerinde etkilidir.

Diğer uçucu bileşiklerde olduğu gibi, iç ortam havasındaki formaldehit konsantrasyonu emisyon kaynağının varlığı ile yakından ilgilidir. Formaldehidin dış hava ortamındaki konsantrasyonu genellikle 123 µg m-3'den düşüktür (Maroni ve Ark., 1995). İç hava ortamında formaldehit emisyon oranı, sıcaklık ve nem koşullarına bağlı olarak değişmektedir. İç ortamdaki konsantrasyonu, genellikle dış ortama göre yüksektir. Danimarka'da seçilen 23 evde yapılan bir araştırmaya göre formaldehit konsantrasyonu 93.59- 2330 µg m-3 aralığında değişmektedir. Benzer sonuçlar Almanya'da Prescher ve Jander (1987), Finlandiya'da Niemala ve Ark.,(1985) ve Amerika'da Breysee (1984) tarafından elde edilmiştir.

Formaldehidin zararlı etkilerine solunum ya da direkt temas yoluyla maruz kalınır. Bu bileşiğin akut sağlık etkileri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Formaldehit maruziyetinin akut sağlık etkileri (Hines ve Ark.,1993)

Formaldehit konsantrasyonu (µg m-3)	Sağlık etkisi
<67	Belirsiz
67-2000	Nöropsikolojik etkiler
67-1337	Koku eşik limiti
13-2674	Göz tahrişi
134-33425	Üst solunum yollarının tahrişi
6685-40110	Alt solunum yollarının tahrişi ve akciğerler üzerinde etki
66850-133700	Akciğerlerde ödem, iltihaplanma, zatürree
>137000	Koma ve ölüm

1.23 µg m-3 değerinin altındaki maruziyetler, hapşırma, öksürüğe ve az miktarda da olsa göz tahribatına neden olur. Bu semptomlar genellikle maruziyetin başlangıç evresinde görülür (Koeck ve Ark., 1997). Çok sayıda çalışma, formaldehit buharının deriyi (Eberlein-könig ve Ark., 1998) ve soluk borusunu (Bardana ve Montanaro, 1991) tahriş ettiğini göstermiştir.

Formaldehit buharı, hayvanlar üzerinde kanserojenik etkiler göstermiştir (Morgan, 1997). Yapılan deneysel çalışmalar, iç ortam havasında bulunan formaldehit buharına maruziyet ile kanser arasında belirgin bir korelasyon olduğunu ortaya koymuştur (Vaughan ve Ark., 1986).

Sonuçlar ve Tartışma

İç ortamda bulunan uçucu organik bileşiklerin en önemli kaynakları inşaat ve dekorasyon malzemeleridir. Ucuz olmaları, kolay inşa edilebilme özellikleri, UOB içeren malzemelerin kullanımını yaygınlaştırmıştır.

Yapılan araştırmalarda uçucu organik bileşiklerin ve formaldehidin iç ortamdaki konsantrasyonlarının geniş bir aralıkta değiştiği görülmüştür. Bu durum, UOB'lerin konsantrasyonlarını etkileyen çok fazla faktör olmasıyla açıklanabilir. UOB içeren malzemelerin kullanım miktarı, uygulamadan sonra geçen süre, havalandırma şartları ve sıcaklık en önemli faktörler olarak görülmektedir. İç ortamdaki UOB konsantrasyonu, dış ortamın özelliklerinden de etkilenmektedir. Trafiğin yoğun olduğu bölgelerde iç ortam UOB konsantrasyonlarının daha yüksek olduğu bilinmektedir. Ayrıca iç ortamlarda sigara içilmesi özellikle formaldehit konsantrasyonunu belirgin şekilde artırmaktadır.

UOB'lerin iç ortamdaki konsantrasyonu ve maruziyetin süresi, bu bileşiklerin sağlık üzerindeki etkilerini belirlemektedir. Konsantrasyon ve süre arttıkça ortaya çıkan etkilerin şiddeti de artmaktadır. Toksik özellik taşıyan bu bileşikler solunum yolu hastalıklarına sebep oldukları gibi, yüksek konsantrasyonlarda sinir sisteminde tahribata yol açmaktadır. EPA tarafından yapılan sınıflandırmada benzen kanserojen madde olarak değerlendirilirken karbon tetraklorür, kloroform, vinil klorür, etilen dibromür kansere sebep olma riski taşıyan maddeler olarak sınıflandırılmıştır.

Uçucu organik bileşiklerden kaynaklanabilecek sağlık etkilerini en aza indirebilmek için önerilecek en etkili yöntem, yapısında UOB içeren malzemelerin kullanımını en aza indirmektir. Kullanılacak ürün hakkında bilgi, üretici firmadan ya da literatürden sağlanabilir. Ayrıca özellikle büyük ölçekli sanayi kuruluşlarında kullanımı giderek yaygınlaşan malzeme güvenlik dokümanları (MSDS) ve hijyen dokümanları (HDS), malzemenin güvenliği hakkında detaylı bilgiler sunmaktadır. Bunun dışında UOB ve formaldehit içerdiği bilinen malzemelerin kullanımı esnasında gerekli havalandırma koşulları sağlanmalı ve sıcaklığın 17-28oC aralığında kalmasına özen gösterilmelidir. İnşaatı yeni tamamlanmış binalarda boyama, zemin döşeme gibi işlemlerden kaynaklanabilecek uçucu organik karbon bileşikleri yüksek konsantrasyonlara ulaşacağından, taşınmadan önce belli bir sürenin geçmesi beklenmelidir. Ayrıca iç ortamda sigara içilmesinin engellenmesi, formaldehit konsantrasyonunu önemli ölçüde azaltacaktır.

Kaynaklar

1. ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). Threshold limit values and biological exposure indices. 6th Ed. Cincinnati, 1994.
2. ATSDR (Agency for Toxic Substances and Registry). U.S. Public Health Service, U.S. Department of Health and Human Service, Atlanta, GA. 1997.
3. BARDANA EJ, MONTANARO A. Formaldehyde: an analysis of its respiratory, cutaneous, and immunologic effects. *Annals of Allergy*. 66(6): 441-452, 1991.
4. BAEZ A, PADILLA H, GARCIA R, TORRES MDC, ROSAS I, BELMONT R. Carbonyl levels in indoor and outdoor air in Mexico City. *The Science of Total Environment*. 302: 211-226, 2003.
5. BERGLUND B. A longitudinal study of air contaminants in a newly built pre-school. *Environment International*. 8: 11-115, 1982.
6. BREYSSE PA. Formaldehyde levels and accompanying symptoms associated with individuals residing in over 1000 conventional and mobile homes in the state of Washington. *Indoor Air*. 3:403-408, 1984.
7. BROOKS BO, UTTER GM, DEBROY JA, SCKIMKE RD. Indoor air pollution: an edifice complex. *Clinical Toxicology*. 29(3):315-374, 1991.
8. BROWN SK. Assessment of pollutant emissions from dry process photocopiers. *Indoor Air*. 9:259-267, 1999.
9. BROWN VM, CRAMP DR. Volatile Organic Compounds. 1996. [Editörler: RW BERRY, VM BROWN, SDK COWARD. Indoor air quality in Homes, the Building Research Establishment Indoor Environment Study. Part 1. Construction Research Communications, London].
10. BROWN SK, SIM MR, ABRAMSON NJ, GRAY CN. Concentrations of volatile organic compounds in indoor air- a review. *Indoor Air*. 4:123-134, 1994.
11. BURTON BT. Volatile organic compounds. *Indoor Air Pollution and Health*. Marcel Dekker, New York, 1997.
12. ECJRC (European Commission Joint Research Centre). Total volatile organic compounds (TUOB) in indoor air quality quality investigations. European Commission. Luxembourg, 1997.
13. EBERLEIN-KONIG B, PRZYBILLA B, KUHN P, PECHAK J, GEBEFUGI L, KLENSCHMIDT J, RING J. Influence of airborne nitrogen dioxide or formaldehyde on parameters of skin function and cellular activation in patients with atopic eczema and control subjects. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 101(1):141-143, 1998.

14. EVCİ D, VAİZOĞLU S, ÖZDEMİR M, AYCAN S, GÜLER Ç. Ankara'da 46 kahvehanede formaldehit düzeylerinin belirlenmesi. TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni, 4(3): 129-135. 2005.
15. FELLIN P, OTSON R. Assesment of the influence of climatic factors on concentration levels of volatile organic compounds (UOBs) in Canadian homes. Atmospheric Environment. 28(22):3-6, 1994.
16. FISCHER PH, HOEK G,REEUWIJK HV, BRIGGS DJ, LEBERT E,WIJNEN JH, KINGHAM S, ELLIOTT PE. Traffic related differences in outdoor and indoor concentrations of particles and volatile organic compunds in Amsterdam. Atmospheric Environment. 34: 3713-3722, 2000.
17. GUO H, MURRAY F. Characterization of total volatile organic compound emissions from paints. Clean Product and Processes. 3:42-8, 2001.
18. GUO H, MURRAY F, WILKINSON S. Evaluation of total volatile organic compound emissions from adhesives based on chamber tests. Journal of the Air and Waste Management Association. 50:199-206, 2000.
19. GUSTAFFSON H, JONSSON B. Trade standarts for testing chemical emission from building materials: Part I: Measurement of flooring materials. Proceedins of Indoor Air. 93 (2): 437-442, 1993.
20. GROES L, PEJTERSEN J, VALBJORN O. Perceptions and symptoms as a function of indoor environmental factors and building characteristics in Office buildings. In Proceedings of the Sixth International Conference on Indoor Air Quality and Climate . Vol 4. 1996, Nagoya, Japan.
21. HENSCHER BD, FORTANN RC, ROACHE NF. Variations in the emission of volatile organic compounds from the toner for a specific photocopier. J. Air Waste Manage. Assoc. 51:708-717, 2001.
22. HINES AL, GHOSH TK, LOYALKA SK, WARDER RC. Indor Air- Quality and Control. Pretince-Hall, Englewood Cliffs, 1993.
23. IEH (Institute for Environment and Health). IEH assessment on indoor air quality in the home. Leicester, 1996.
24. KOECK M, PİCHLER-SEMMELROCK FP, SCLACHER R. Formaldehyde-study of indoor air pollution in Austria. Central European Journal of PublicHealth. 5(3):127-130, 1997.
25. LEE CW, DAI YT, CHIEN CH, HSU DJ. Characteristics and health impacts of volatile organic compounds in photocopy centers. Environmental Research. 100:139-149, 2006.
26. LEE SC, LAM S, FAI HK. Characterization of UOBs, ozone, and PM10 emissions from office equipment in an environmental chamber. Build. Environ. 36:837-842, 2001.
27. LEOVIC KW, WHITAKER DA, NORTHEIM C., SHELDON LS. Evaluation of test method for measuring indoor air emission from dry-process photocopiers. J. Air Waste Manage. Assoc. 48:915-923, 1998.
28. MARONI M, SEIFERT B, LINDVALL T. Indoor Air Quality –A Comprehensive Reference Book. Elsevier, Amsterdam, 1995.
29. MENTEŞE S, GÜLLÜ G. Evlerde hava kalitesinin belirlenmesi: formaldehit kirleticisinin miktar ve kaynağının tespiti. 6. Ulusal Çevre Mühendisliğı Kongresi, İstanbul, Kasım 2005.
30. MOLHAVE L. Indoor air pollution due to building materials. Proceedings of the First International Indoor Climate Symposium, S. 89. 1979, Copenhagen, Denmark.
31. MOLHAVE L. Indoor climate, air pollution and human comfort. Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology. 1(1): 63-81, 1991.
32. MORGAN KT. A brief review of formaldehyde carcinogenesis in relation tor at nasal pathology and human health risk assessment. Toxicologic Pathology. 25(3),291-307, 1997.
33. MYERS GE. The effect of temparature and humidty of formaldehyde emission from UF- bonded boards: a literature critique. Forests Products Journal. 35:20-31, 1985.
34. NIEMALA R, VAINO H. Formaldehyde exposure in work and the general environment. Scandinavian Journal of work and Environment Health. 7(1):95-100, 1985.
35. NORBACK D, BJORNSSON E, JANSON C, WIDSTROM J, BOMAN G. Asthma and the indoor environment:the significance of emission of formaldehyde and volatile organic compounds from newly painted indoor surfaces. Occupational and Environmental Medicine. 52(69): 388-395, 1995.
36. OTTO D, HUNDELL H, HOUSE D, MOLHAVE L, COUNTS W. Exposure of humans to a volatile organic mixture. I. Behavioural assessment. Archives of Environmental Health. 47(1):23-30, 1992.
37. PRESCHER KE, JANDER K. Formaldehyde in indoor air. Bundesgesundheitsblatt. 30:273-278, 1987.
38. RANDO RJ, SIMLOTE P, SALVAGGIO JE, LEHRER SB. Environmental tabobacco smoke: measurement and health effects of involuntary smoking. In Bardana, EJ, Mantanaro, A. (Eds.), Indoor Air Pollution and Health. 61-82, 1997.
39. ROBINSON J, NELSON WC. National Human Activity Pattern Survey Data Base. United States Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, 1995.

40. SANDMEYER EE. Aromatic hydrocarbons. S 3253-3431, 1982. [Editörler: GD CLAYTON; FE CLAYTON: Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, 3 rd Edition, Wiley, New York].
41. SHAH JJ, SINGH HB. Distribution of volatile organic compounds in outdoor and indoor air. *Environmental Science and Technology*. 22: 1381-1388, 1988.
42. TAMAS G, WESCHLER JC, TOFTUM J, FANGER PO. Influence of ozone-limonene reactions on perceived air quality. *Indoor Air*. 16:168-178, 2006.
43. US EPA. Office equipment: design, indoor air emissions, and pollution prevention opportunities. EPA-600/R-95-045, US EPA/Air and Energy Engineering Research Laboratory, 1995.
44. US EPA. Integrated Risk Information System, 1998a. <http://www.epa.gov/iris>
45. US EPA. Carcinogenic effects of benzene: an update. Office of Research and Development, EPA/600/P-97001F. Washington, 1998b.
46. WALLACE LA. Personal exposure to 25 volatile organic compounds, *Toxicology and Industrial Health*. 7: 203-208, 1991a.
47. WALLACE LA. Comparison of risks from outdoor and indoor exposure exposure to toxic chemicals. *Environmental Health Perspectives*. 95(1):7-13, 1991b.
48. WESCHLER CJ. Ozone in indoor environments: concentration chemistry. *Indoor Air*. 10:269-288, 2000.
49. WIESLANDER G, NORBACK D, BJORNSSON E, JANSON C, BOMAN G. Asthma and the indoor environment: the significance of emission of formaldehyde and volatile organic compounds from newly painted indoor surfaces. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 69(2): 115-124, 1997.
50. WIGLUSZ R, SITKO ELZBIETA, NIKEL G, JARNUSZKIEWICZ I, IGIELSKA B. The effect of temperature on the emission of formaldehyde and volatile organic compounds (UOBs) from laminate flooring-a case study. *Building and Environment*. 37:41-44, 2002.
51. WOLKOFF P, CLAUSEN PA, JENSEN B, NIELSEN GD, WILKINS CK. Are we measuring the relevant indoor pollutants?. *Indoor Air*. 7(1):92-106, 1997.
52. WOLKOFF P, WILKINS CK, CLAUSEN PA, LARSE K. Comparison of volatile organic compounds from processed paper and toners from office copiers and printers: methods, emission rates, and modeled concentrations. *Indoor Air*. 3:113-123, 1993.
53. VAUGHAN TL, STRADER C, DAVIS S, DALING JL. Formaldehyde and cancers of the pharynx, sinus and nasal cavity: II Residential exposures. *International Journal of Cancer*. 38(5): 685-688, 1986.
54. VURAL MS, BALANLI A. Yapı ürünü kaynaklı iç hava kirliliği ve risk değerlendirme de ön araştırma. *Megaron YÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 1(1): 28-39, 2005.