

Indoor Air Pollutants and Methods of Detection



İç Ortam Hava Kirleticileri ve Tespit Yöntemleri

Gülnihal Kara¹, Mehmet Emin Aydın¹

¹Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendislik Bölümü, Konya, Türkiye

Eur J Basic Med Sci 2011;1:39-49

Geliş Tarihi (Received): 25.11-2010

Kabul Tarihi (Accepted): 20-12-2010

ABSTRACT

Indoor air quality, an important indicator of public health, affects not only human health but also the quality of life. Therefore, the monitoring and control of outdoor air quality as well as indoor air quality is also important. In this study, the important cases affecting indoor air pollutants, the sources of indoor pollutants, the indoor air pollutants and the detection methods for the contaminants of indoor air were explained. Additionally, the standards applied for the control of indoor air pollutants in Europe and other countries were compared.

Key words: air pollution, indoor air pollutants, indoor pollution.

ÖZET

Halk sağlığının önemli bir göstergesi olan iç ortam hava kalitesi, insan sağlığının yanı sıra yaşam kalitesini de önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle, dış ortam hava kalitesinin yanı sıra iç ortam hava kalitesinin izlenmesi ve kontrolü de önem taşımaktadır. Bu çalışmada iç ortam kirleticilerini etkileyen önemli durumlar, iç ortamdaki kirletici kaynakları, iç ortam kirleticileri ve bu kirleticilerin ortam havasında tespit yöntemleri açıklanmıştır. Çalışma da Avrupa ve diğer ülkelerde iç ortam kirleticilerinin kontrolü için uygulanan standartlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: hava kirliliği, iç ortam kirleticileri, iç ortam kirliliği.

Correspondence (Yazışma Adresi):
Gülnihal Kara, Selçuk Üniv. Müh. Mim.
Fak. Çevre Müh. Böl. 42031 Kampüs/
Konya, Türkiye
E-posta: gkara@selcuk.edu.tr

GİRİŞ

İç ortamda yapılan çalışmalarda iç ortamların dış ortamlardan daha yüksek seviyelerde kirletici içerdiği belirtilmiştir. Amerikan Çevre Koruma Örgütü'nün (EPA) çalışmaları göstermiştir ki iç ortamdaki kirleticilerin seviyesi dış ortamdaki yaklaşık 5-100 kat daha fazla olabilmektedir. Dış hava kirliliğinin etkileri 20. yüzyılın başlarından itibaren bilinirken iç hava kalitesi sadece 30 yıl önce gündeme gelmiştir. İnsanların zamanlarının %80'nini iç ortamlarda geçirdiği düşünüldüğünde iç ortam kirleticilerinin ne kadar önemli olduğu daha iyi anlaşılmaktadır (1).

İç ortamdaki kirleticilerin konsantrasyonu sadece emisyon hızına bağlı değildir, aynı zamanda iç ortama dış ortamdaki taşıma hızı, iç ortamdaki yüzeyler tarafından kirleticilerin tutulması, iç ortamda oluşan kimyasal reaksiyonlarla, ventilasyon veya filtrasyon yoluyla kirleticilerin giderilmesi gibi etkenlere bağlıdır. Tablo 1'de iç ortamlarda kirleticilerin konsantrasyonunu etkileyen düzenlemeler ve önemli olayların listesi sunulmaktadır. Pek çok üreticinin mobilya ve temizlik ürünleri gibi iç ortamlarda kullanılan ürünlerin üretiminde kullandığı malzeme dünyanın her yerinde aynıdır. Küreselleşme Amerika, Avrupa ve Asya'da ve dünyanın diğer bölgelerinde iç ortamların kalitesini birbirine benzer duruma getirmiştir. İç ortamlarda ilk yapılan çalışmalarda dış ortam kaynaklı kirleticiler, özellikle SO₂, NO_x, ozon ve partiküller gibi kirleticilere odaklanılmışken, sonraları özellikle iç ortam kaynaklı formaldehit, radon, asbest, tütün ürünleri ve polar olmayan uçucu organik bileşiklerde iç ortam kalitesinin tespitinde önem kazanmıştır (2). Günümüzde ise pestisitler ve diğer yarı uçucu bileşikler iç ortam çalışmalarında popüler olmuştur. Gün geçtikçe hassas analitik cihazlar geliştirilmekte ve iç ortamda ölçülen bileşiklerin sayı ve türleri gün geçtikçe artmaktadır. Tablo 2.'de iç ortam kirleticileri için geliştirilen iç ve dış ortam kalite standartları karşılaştırılmıştır.

İç Ortamlarda Kirletici Kaynaklar

Yapı malzemeleri ve ürünleri

Kompozit ağaç, PVC borular ve PVC tel/kablo yalıtımları gibi çok sayıda bina materyalleri iç ortama kimyasal maddeler yaymaktadır. Kontrplağın yapıştırıcı reçinesi olarak önceleri formaldehit kullanılmaktaydı. Formaldehit emisyonlarını sınırlayan yasa yayınlandıktan sonra daha az formaldehit emisyonları yayan fenol-formaldehit reçinesi kullanılmaya başlandı. Diğer kom-

pozit ağaç ürünleri ise aldehit ve terpenoidler karışımını yaymaktadır. PVC borular organotin bileşikler içerir. Bu bileşikler yarı uçucudur ve zaman içinde bu bileşiklerin iç ortama geçmesi beklenmektedir. PVC ile yalıtılmış boru ve tel uzunluğu telefon sistemleri, bilgisayar ağları, hem kablolu hem de uydu sistemlerinin yaygınlaşması ile gün geçtikçe artmaktadır. PVC yalıtım malzemeleri di-2-ethylhexyl phthalate (DEHP) gibi phthalate esterleri içermektedir ve bu bileşikler iç ortama salınabilmektedir.

İç ortamda kullanılan ürünler

Günümüzde kullanılan halı uçlarının (püsküllerinin) %90'ı naylon ve akriliktir (3). Polyester ve polipropilen halılar 1960'dan sonra üretilmeye başlandı. Halıların leke tutmaması için flor kullanılmaktadır. Halıya astar veya arka doku malzemeleri yapıştırıcı maddelerle halı yüzeyine yapıştırılmaktadır. 1992 yılında Halı ve kilim kurumu halılardan oluşan emisyonları test ederek yeşil etiket uygulaması başlatmıştır. Yer döşemesi olarak günümüzde vinil kullanılmaktadır. Vinil yer döşemelerinde yaygın olarak di-2-ethylhexyl phthalate (DEHP) kullanılmaktadır. Bu bileşiğin potansiyel sağlık etkileri ile ilgili bilgiler gün geçtikçe artmaktadır. İç ortamda solvent bazlı boyaların yerini su bazlı boyalar almıştır. Su bazlı boyalar, solvent bazlı boyalara göre daha az UOB yayar. Su bazlı boyalar önceleri styren ve butadiene içermektedir. Günümüzde texanol isomerleri içermektedir. Texanol izomerleri yarı uçucu bileşiklerdir ve boya uygulamasından sonra aylarca iç ortama salınmaktadır (4). Son zamanlarda yeşil veya doğal boya olarak adlandırılan boyalarda keten yağı, limonen ve terpenoid gibi doğal maddeler bulunmakta ama bu maddeler ozon ile reaksiyona girerek ikincil organik aerosoller oluşturabilmektedir (5). Formaldehit hala bazı boyalarda koruyucu olarak kullanılmaktadır.

Mobilya

Günümüzde mobilya üretiminde kompozit ağaç malzeme üzerine vernikleme yapılmamaktadır. Bunun yerine hazır farklı materyaller geliştirilmiştir. Mobilya minderleri ve döşeme malzemelerinde %10-30 bromlu alev almayan malzemeler kullanılmaktadır (6).

Temizlik ürünleri

Genelde evde ve ticari uygulamalarda alkylphenol ethoxylates (APEs) özellikle nonylphenol ethoxylates içeren sabun ve deterjanlar kullanılmaktadır. Bu bileşikler iç ortam toz ve havasında belirlenmiştir. Çeşitli glikol eterler cam temizleyicilerde ve çok amaçlı temizley-

Tablo 1. İç ortam kirleticilerini etkileyen önemli durumlar (1948-2010)

Avrupa ve Amerika'da önemli durumlar	
1948	Termit kontrolünde kullanılan chlordane ilk kez kayıt altına alındı.
1950	Doğal lifli pamuklu veya yün halılar yerine sentetik halılar kullanımı başladı
1950	Kloroflorokarbon kullanılan hava temizleyicilerin kullanımında büyük artış başladı
1950	Çok katlı binalarda yapı yüzeylerinde asbest kullanımına izin verildi
1953	Amerika'da pencereye takılan klimaların satışı 1 milyona ulaştı.
1953	Boyalardaki kurşun seviyesi %1'e düşürüldü.
1954	Amerika'da kontrplak kullanımı metrekarede 1 yılda 0,4 milyara ulaştı.
1955	İlk kez Amerika'da hava kirliliği kontrol kanununda hava kirliliğinden bahsedildi
1956	İngiltere duman kirliliğini azaltarak dünyanın dikkatini çekti
1962	Amerika'da evlerinde TV bulunanların sayısı %90'na ulaştı
1963	Amerika'da temiz hava kanunu revize edildi
1965	Chlorpyrifos kayıt altına alındı
1960	Giysilerde ütünün kalıcılığını sağlayan formaldehit kullanımı başladı
1960	Oda kokularının satışı arttı ve pek çok evsel ürüne koku ilavesi başladı
1970	USEPA kuruldu
1970	USEPA hava kirleticilerinden halkı korumak için temiz hava kanunun kapsamını genişletti
1970	İç ortamlarda solvent temelli boyaaların yerini su bazlı boyalar aldı
1972	DDT yasaklandı
1973	Arizona'da kamusal alanda sigara içimine kısıtlama getirildi
1973	Benzindeki kurşunun azaltılmasına ilişkin standart yayınlandı
1973	Yangın durumunda ve yapı izolasyonunda asbest kullanımı yasaklandı
1975	Evlerde ısı izolasyonu için formaldehit köpük kullanımı başladı
1975	Katalitik konvertörlü otomobil üretimi başladı
1970	CFC'lerin ozon tabakasına etkileri nedeniyle hava temizleyicilerinde spreyleerin yerini farklı tür hava temizleyicileri aldı.
1989	USEPA asbest'i yasakladı
1990	Temiz hava kanunu düzenlendi. Özellikle benzin formülasyonu ve buharlaşma emisyonları düzenlendi
1990	USEPA su bazlı boyalarda civa kullanımını yasakladı
1992	USEPA tüm iç ortam boyalarında civa kullanımını yasakladı
1994	Kaliforniya'da iş ortamında sigara içimine sınırlama getirdi
1995	Amerika'da CFC (kloroflorokarbon) üretimine son verildi.
1996	Avrupa Çevre ajansı kuruldu
1997	Amerika'da merkezi klima bulunan evlerin sayısı %50'ye ulaştı
1998	USEPA tüketici ürünlerinde ve mimari uygulamalarda oluşan VOC emisyonlarına sınırlama getiren kanun yayınladı
2000	Amerika da kişisel bilgisayara sahip evlerin sayısı %50'ye ulaştı.
2001	Evlerde chlorpyrifos kullanımı kayıt altına alındı
2005	Küresel kalıcı organik bileşik tehdidinde karşı Stokholm Sözleşmesi imzalandı
2006	Avrupa birliği ülkeleri kimyasalların kullanımının sınırlandırılmasını ve kayıt altına alınmasını kabul etti

icilerde yağ ve kiri gidermek için kullanılmaktadır (7,8). Günümüzde çevre dostu ürünlerde terpenoid esaslı (limonene, a-terpinene, a-terpineol, linalool) solventler kullanılmaktadır. Bu solventler ozon ile reaksiyona girerek iç ortamda ozon oksidasyon ürünlerinin oluşmasına katkı sağlarlar (7, 9,10).

Oda kokuları

Günümüzde kokulu mum, ve çeşitli oda spreyleeri iç ortamlarda kullanılmaktadır. Pek çok koku etken maddeleri oda kokularında kullanılmaktadır. Bunlar doymamış organik bileşik içerirler ve hem gaz hem de sıvı hallerinde ozon ile reaksiyona girebilmektedirler (11,10).

Elektronik cihazlar

Fotokopi makineleri, ozon, styren, formaldehit ve diğer aldehitler ve yarı uçucu organik bileşikler yayabilir. Bazı lazer yazıcıların iç ortamdaki partikül kaynakları oldukları tespit edilmiştir (12). Televizyonlar ve bilgisayarlar iç ortamdaki alev geciktirici ve plasticizerlerin kaynağıdır. Düz panel TV'lerde katot ray tüpleri olmadığı için daha az emisyon yaydıkları düşünülmektedir. Bilgisayar monitörlerinde yine düz panel monitörler diğerlerinden daha az organik bileşik yaymaktadır.

Giysiler

Günümüzde sentetik lifli malzemelerin kullanımı daha yaygındır ama tamamen doğal lifli malzemelerin yerini almamıştır. Giysilerin büyük bir kısmı alev geciktirici ve

leke tutmama özelliği kazandırmak için çeşitli kimyasal maddelerle işlem görmektedir. Önceleri alev geciktirici olarak 2,3-dibromopropyl ve tris-BP kullanılmaktaydı. Bu bileşiklerin mutajen olduğu belirlendikten sonra klorlu türleri kullanılmaktadır. Kuru temizleme yapılmış giysilerde tetrakloroetilen emisyonlarının yayıldığı EPA tarafından tespit edilmiştir (13). Giysilerin ütülerinin bozulmaması için kumaşlar formaldehit reçineleri ile işleme tabi tutulmaktadır (14).

İç Ortam Kirleticileri ve Tespit yöntemleri

Inorganik gazlar

Günümüzde düşük kükürtlü fosil yakıtların kullanılması ile SO₂'in dış ortamdaki konsantrasyon değerleri düşmüştür. İç ortamlarda gaz sobalarının kullanıldığı durumda NO₂'in iç ortam/dış ortam konsantrasyon oranı 1.19 iken, gaz sobaların kullanılmadığı iç ortamlarda bu oran 0.69 olarak belirlenmiştir. İç ortamda yanma kaynaklarının bulunmadığı durumda SO₂, CO ve NO_x'in iç ortam/dış ortam oranı 1'e yakındır. Hisham ve Grosjean (15) Kaliforniya'da 3 müzede SO₂'in iç ortam/dış ortam oranını 0.36-1.92 aralığında belirlemiştir. Suudi Arabistan'da yapılan bir çalışma da CO için iç ortam/dış ortam oranı 0-2 arasında değişiklik göstermiştir. Tipik CO konsantrasyonu kentsel alanda 9-56 ppm aralığında tespit edilmiştir (16,17). Katalitik konvertörlerin 1975'ten itibaren araçlarda kullanılması ile araçlardan kaynaklanan CO ve NO_x emisyonları azalmıştır. İç ortamlarda ise yakıt olarak kömür kullanılması ile SO₂ emisyonları oluşabilmektedir. CO ve NO_x'lerin iç ortamdaki kaynakları; trafiğin yoğun olduğu caddelerde veya binanın altında kapalı garajdan iç ortama giren araç egzozları, gazlı şofbenler (baca çekişi zayıf), ocak veya fırından gaz sızmaları, odun sobalarından sızma, gazla çalışan radyatörlerden sızma, iç ortama yakın endüstrilerden kaynaklanan yanma gazları olarak sıralanmaktadır.

Radon kansere neden olan doğal radyoaktif inorganik bir gazdır. Renksiz ve kokusuzdur. Uranyumun doğal yollarla parçalanmasında oluşur. Radon gazı sigara içmeyenlerin akciğer kanseri olmasında en büyük katkıya sahiptir. Radonun Amerika'da yılda 20.000 kişinin akciğer kanseri olmasına sebep olduğu düşünülmektedir (1). Radon topraktan difüzyon yoluyla yayılmaktadır. İç ortama; zemindeki çatlaklardan, gevşek boru bağlantıları etrafından ve zemin drenajlarından girebilmektedir. İç ortamdaki konsantrasyonu toprak tipine ve nem içeriğine bağlıdır. Toprak ve bazı yığma yapı materyalleri radonun en önemli kaynağıdır. İnorganik gazlar

için numuneleme mesken bölgelerinde 24 saat, ofis binalarında çalışma süreleri dikkate alınarak sabah 7 akşam 6 olarak yapılabilmektedir. İç ortamda NO₂, EPA tarafından IP-5B, IP-5C tanımlanan metotlar ile analiz edilmektedir. EPA Metot IP-5B'de Palmes difüzyon tüpleri kullanılarak numuneleme ve spektrofotometre ile kolorimetrik analiz tanımlanmaktadır. Numuneleme pasif örnekleme prensibi ile gerçekleştirilmektedir. EPA Metot IP-5C'de ticari pasif örnekleme ekipmanları ile pasif numuneleme ve iyon kromatografi tekniği ile analiz prosedürü tanımlanmaktadır. SO₂ ve CO ve Radon için EPA tarafından tanımlanan standart ölçüm tekniği yoktur. İç ortamda SO₂, pasif örnekleme tekniği ile veya floresans destekli (based) cihaz kullanılarak doğrudan analiz edilebilmektedir. CO ise kolorimetrik dedektör tüpleri kullanılarak veya cihazla doğrudan ortamdaki CO seviyeleri belirlenebilmektedir. Bu yöntem için piston pompa ve CO dedektör tüplerine gereksinim vardır. 2-60 ppm veya 8-150 ppm ölçüm aralığında kullanılan tüpler bulunmaktadır. Tüpteki renk değişim uzunluğu ile CO konsantrasyonu tespit edilmektedir (18). Radon gazı ölçüm metotları; Aktif karbon adsorbsiyon metodu, (aktif karbon üzerine adsorblanan radon gazı karbon dedektörü ile tespit edilir), Alfa Track dedektörü, Radon izleme cihazı, Elektrostatik yüklü dedektör olarak sıralanmaktadır. Radonun ölçüm birimi pikoküri/litre (pci/L) dir. Ortamdaki radon 4 pci/L'yi aştığında insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. Şekil 1'de inorganik kirleticilerin analizinde kullanılan sistemler verilmiştir.

Çok Uçucu organik bileşikler

Formaldehitin iç ve dış ortam kaynakları benzin, mobilya ve mobilya ürünleri, doğal gaz, gaz yağı ve sigara olarak sıralanmaktadır. Formaldehitin hava ortamında tespiti için kullanılan metotlar Tablo 3'de verilmiştir. Şekil 2'de formaldehit analizinde kullanılan sistemler verilmiştir.

Uçucu organik bileşikler

Uçucu organik bileşiklerin iç ve dış ortam kaynakları; dış ortam havası (metan türevi bileşikler dış ortam havasında yaklaşık 1.8 ppm civarında bulunmaktadır, otomobil egzozları), mobilyalarda kullanılan kimyasalların iç ortama salınması, ofis ekipmanlarından oluşan emisyonlar (fotokopi makinelerinde kullanılan tonerlerden), temizlik ve bakım ürünleri, yapım-yıkım ve bina yenileme aktiviteleri (duvarların boyanması), kişisel hijyen ve bakım ürünleri (parfüm), pestisit ve insektisitler, ticari faaliyetler (otomobil boyama, çatı kaplama ve kuru temizleme), endüstrilerin çıkış gazları (particleboard manu-

facturing) olarak sıralanabilir. İç ortamda yaygın bulunan UOB'ler benzen, karboneteraklorid, trikloroetilen, tetrakloroetilen, kloroform, 1,2-Diklorobenzen, 1,3 Diklorobenzen, 1,4 Diklorobenzen, etilbenzen, toluen ve xilen'dir. Amerika yeni binalarda UOB için sınır değer 0.5 mg/m³ olarak belirlemiştir. Bu sınır değer kamu ve ticari kurumlar içinde geçerlidir. UOB'ler ortam havasından özel kanişterlerle, sorbent tüplerle veya doğrudan cihaz kullanılarak tespit edilebilir. Tablo 4'de UOB'lerin analizi için kullanılan metotlar verilmiştir.

Yarı uçucu organik bileşikler

PAHs (Poliaromatik hidrokarbonlar) ve Pestisitler yarı uçucu organik bileşikler sınıfına girer. Organik maddelerin pirolizi veya tamamlanmamış yanma süresince ve ısınma amaçlı kömür, odun ve doğal gaz kullanımlarında da oluşmaktadır. İç ortamda PAHs, yanma ürünü olarak, tütün dumanı ile, yakıt olarak odun kullanılması ve kerosonli ısıtıcıların iç ortamda kullanılması ile oluşmaktadır. Tütün ürünlerinin kullanımının yanı sıra bacasız ısıtma sistemlerinin kullanımı iç ortamdaki PAH konsantrasyonu arttırmaktadır. İç ortam havasındaki PAH konsantrasyonu bazı durumlarda dış ortamdan daha yüksek konsantrasyon seviyelerine ulaşabilmektedir. Çin'de yapılan bir çalışma da evlerde Benzo(a)pyren seviyeleri özellikle tozlu kömür kullanılan evlerde 14.7 µg/m³ değerine ulaşmıştır. Hindistan'da biyoyakıt kullanılarak yemek pişirilen evlerde ortalama Benzo(a)pyren konsantrasyonu 4 µg/m³ olarak tespit edilmiştir. WHO, Benzo(a)pyren için günlük önerilen maruziyet değerini 1 ng/m³ olarak belirtmiştir.

Pestisitler bakteri, mantar ve diğer organizmalar,

sinekler ve kemiriciler gibi haşereleri yok etmek veya kontrol etmek için kullanılmaktadır. Pestisitlerin dış ortamda özellikle sıcak aylarda kullanımı bu bileşiklerin iç ortamda konsantrasyonlarının artmasına yol açmıştır. Pestisitler iç ortamda da kullanılmaktadır. Anderson ve Hites (19) klorlu pestisitlerin konsantrasyonunu iç ortamda dış ortamdaki 7 kat yüksek seviyelerde belirlemiştir. İç ortamdaki pestisitler sadece gaz olarak değil aynı zamanda partiküller tarafından adsorblanmış halde bulunabilmektedirler. WHO iç ortamlardaki aldrin konsantrasyonunun 0.3 mg/m³'ü aşmamasını tavsiye etmektedir. Ortam havasında PAH'lar yüksek hacimli veya düşük hacimli örnekleyici kullanılarak EPA metot IP 7 ile belirlenebilmektedir. PAH'sı ortam havasında belirlemek için güvenilir numuneleme ve analitik metotlar gereklidir. EPA metot IP-7'de kuvars filtre/XAD-2 ve PUF kartuş kombinasyonu ile numuneleme, sokslet ekstraksiyon tekniği ile ekstraksiyon silika jel kullanılan kolon kromatografi metodu ile temizleme, GC/FID, GC/MS veya HPLC ile analiz prosedürü tanımlanmıştır. İç ortam havasında pestisitlerin analizi için EPA Metot IP-8 yayınlamıştır. Bu metot da düşük hacimli örnekleyici PUF kartuş ile desteklenmiştir. PUF kartuşta tutulan pestisitler sokslet ekstraksiyon ile solvent faza alınmakta, alumina kullanılarak kolon tekniği ile temizlenmekte GC-ECD veya GC-MS ile analiz edilmektedir. UOB ve YUOB'lerin analizinde kullanılan sistemler Şekil 3'de verilmiştir.

Metaller, Mineral Fiberler ve Partiküller

Kurşunun iç ortamdaki en önemli kaynakları boya, ventilasyon ile dış ortamdaki iç ortama taşınım olarak



Şekil 1. İnorganik kirleticilerin analizinde kullanılan sistemler (a-pasif örnekleme tüpleri, b-iyon kromatograf, c-otomatik analizörler, d-kolorimetrik dedektör tüpleri)

Tablo 2. İç ortam ve dış ortam kalite standartları (ppm, 8 saatlik ortalama)

	NAAQSI/EPA (2000)	OSHA	MAK (2000)	Canada (1995)	WHO/Avrupa (2000)	NIOSH (1992)	Hong-Kong (2003)	EPA dış ortam
Karbon dioksit	-	5000	5000	3500	-	5000	800/100	-
Karbonmonoksit	9 ^a 35a (1saat)	50	10000 (1 saat) 30 60 (30 dak)	11 (8 saat) 25 (1 saat)	90 (15 dak) 50 (30 dak) 25 (1 saat) 10	30000 (15 dak) 35 200	1.7/8.7	10 mg/m ³ 40 mg/m ³ (1 saat)
Formaldehit	-	0.75 2 (15 dak) 0.05mg/m ³	0.3 1.0 0.1 mg/m ³ 1mg/m ³ (30 dak)	0.1 (L) 0.05 (L) ^b -	0.081 (0.1 mg/m ³) (30 dak) 0.5 µg/m ³ (1 yıl)	0.016 0.1 (15 dak) 0.1 mg/m ³ (10 saat)	0.024/0.081	0.15 µg/m ³ (3 aylık ort.) 53 ppb (1 y) 100 ppb (1 s) 0.075 ppm 0.12 ppm (1
NO ^x	0.05 ^a (1 yıl)	5	5	0.05	0.1 (1 saat)	1.0 (15 dak)	0.021/0.08	-
Ozon	0.12(1 saat) 0.08	0.1	10 (5 dak)	0.25(1 saat) 0.12(1 saat)	0.004 (1 yıl) 0.064 (120 µg/m ³) (8 saat)	0.1	0.025/0.061	-
s) PM 2.5	15 µg/m ³ (1 yıl) 65 µg/m ³ (24 saat)	5 mg/m ³	1.5 mg/m ³ for <4 µm	0.1 mg/m ³ (1 saat) 0.04 mg/m ³	-	-	-	15.0 µg/m ³ (1
y)	-	-	-	-	-	-	-	35 µg/m ³ (24
s) PM10	50 µg/m ³ (1 yıl)	-	4 mg/m ³	-	-	-	0.02/0.18 mg/m ³	35 µg/m ³ (24
s)	150µg/m ³ (24 saat) 4 pCi/L (1 yıl) 0.03 (1 yıl)	-	-	-	2.7 pCi/L (1 yıl) 0.048 (24 saat)	-	4.1/5.4 pCi/L	-
Radon	-	5	0.5	0.38 (5 dak)	-	2	-	0.03 ppm (1
SO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-
y)	0.14 ^a (24 saat)	-	1.0	0.019	0.012 (1 yıl)	5 (15 dak)	-	0.14 ppm (24
s)	-	15 µg/m ³	-	-	-	-	-	-
Toplam partikül	-	-	-	-	-	-	-	-
Toplam UOB	-	-	-	-	-	-	0.6/0.2	-
1,3-Butadien	-	-	-	-	-	-	-	2.25 µg m ⁻³ (1 yıl)
Benzen	-	-	-	-	-	-	-	5 µg m ⁻³ (1 yıl)
Benzo(a)pyrene (2012)	-	-	-	-	-	-	-	1 ng m ⁻³

a: Yılda 1 kereden fazla aşılabilir, b: Hedef değeri 0.05 ppm. Toplam aldehydler için sınır değeri 1 ppm, L: uzun süreli maruziyet, ACGIH American Conference of Governmental Industrial Hygienists, OSHA Occupational Safety and Health Administration, Amerika, WHO Guidelines for Air Quality, Hong Kong - IAQ Guidelines, Germany - IAQ Guidelines, MAK - Maximum Concentrations at the Workplace and Biological Tolerance Values for Working Materials, Germany, 2000.

Tablo 3. İç ortam havasında formaldehit tayini için EPA tarafından uygulanan metotlar

Metot	Ekipman	Akış hızı (L/dk)	Mak. hava hacmi (L)	En düşük	Analitik metot dedeksiyon limiti	Girişim
NIOSH 2016 EPA TO-11 (gaz faz)	Sertifikalı silika jel sorbent	0.1-1.5	15	0.18 ppm	HPLC-UV	ozon
NIOSH 2541 (gaz faz)	Sertifikalı XAD-2 sorbent	0.01-0.1	100	0.25 ppm	GC/FID	-
OSHA 52 (gaz faz)	Sertifikalı XAD-2 sorbent	0.01-0.1	24	0.04 ppm	GC/NPD	-
NIOSH 5700 (katı faz)	5 mikron PVC filtre	2	1050	0.0003 ppm	HPLC-UV	-
EPA IP-6A (gaz faz)	Sertifikalı silika jel sorbent	0.1	300	0.001	HPLC-UV	ozon

HPLC-UV: Yüksek basınçlı sıvı kromatografi/UV Detektör, GC-FID: Gaz kromatografi/Alev iyonlaşma dedektörü, GC-NPD: Gaz kromatografi/NPD dedektör

sıralanabilir. Kurşun dökümhaneleri, kurşun içeren bileşiklerin üretimi ve saflaştırma prosesleri içeren endüstrilerden kurşun emisyonları ortam havasına salınabilir. Ayrıca kömür, kayaçlar ve sediment gibi birçok mineraldeki kadar düşük miktarlarda dahi kurşun içermektedir. Demir çelik üretimi, bakır dökümhaneleri ve kömür yakan tüm tesisler atmosferdeki kurşun kaynakları olarak kabul edilmektedir. WHO iç ortam havasında kurşun konsantrasyonunun 0.5 µg/m³ değerini aşmamasını tavsiye etmektedir. Civanın en önemli iç ortam kaynakları boyalar, termometreler, bazı lamba ve elektrik düğmeleri ve dış ortamdan iç ortama ventilasyonudur. Dış ortamdaki en önemli kaynağı ise civa içeren kömürün yanmasıdır. Kadmiyum, dökümhanelerden veya tütün dumanı ile dış ortam havasına salınabilir. Tütün dumanı ise kadmiyumun en önemli kaynağı olarak düşünülmektedir. Asbest belirli kayaçlarda bulunan bir mineraldir. Asbest darbelere dayanıklı, yanmaz, korozyona dirençli, izolasyon özelliğine sahip bir materyal olduğu için popüler bir ticari üründür. Günümüzde 3000 farklı üründe kullanılmaktadır. Genelde iç ortamda partikül kaynağı bulunmuyorsa iç ortamdaki partikül kon-

santrasyonu dış ortamdaki partikül konsantrasyonunu yansıtmaktadır. Bazı durumlarda iç ortamdaki partikül konsantrasyonu dış ortamdaki partikül konsantrasyonundan daha yüksek olabilmektedir. Örneğin iç ortamlardaki halılar, iç ortamda kullanılan malzemelerde aşınma, lazer yazıcılar partiküllerin önemli kaynağıdır (14). Yürürken ve süpürme aktivitelerinde toz konsantrasyonu artmaktadır (20,21). Tütün ürünlerinin iç ortamlarda tüketilmesi partikül konsantrasyonunun artmasına neden olmaktadır (22). WHO iç ortamlardaki PM10 konsantrasyonunun yıllık ortalama değerinin 30 µg/m³, PM2.5 değerinin ise 20 µg/m³ değerini aşmamasını önermektedir (23).

Havada kurşun, civa ve kadmiyum miktarı filtre üzerindeki partikül maddeye adsorblanmış durumda tespit edilmektedir. Filtre üzerinde tutulan kurşun, kadmiyum ve civa, flame atomic absorption spectrometry (AAS), grafit fırınlı atomik absorpsiyon spektrometri (GFAAS), anodic stripping voltammetry (ASV), inductively coupled plasma-atomic emission spectroscopy (ICP-AES), and isotope dilution mass spectrometry (IDMS) metotlarıyla analiz edilmektedir. Bu metotlarda elde edilen dedeksiyon

Tablo 4. İç ortam havasında UOB'lerin tayini için EPA tarafından uygulanan metotlar

Metot	Belirlenen Bileşikler	Numuneleme ve Analiz	Dedeksiyon limiti
TO-1	UOB'ler (80-200 oC) Benzen, toluen, xilen	Tenax ile adsorbsiyon ve GC/MS	0,01-100 ppbv
TO-2	Yüksek uçucu UOB'ler (-15 oC -120 oC) (vinil klorid, kloroform)	Karbon-Moleküler Sieve adsorbsiyon ve GC/MS	0,1-200 ppbv
TO-3	Polar olmayan UOB'ler (-10 oC -200 oC) (Vinil klorid, metilenklorid)	Sryogenik ön konsantre etme ve GC/ECD/FID	0,1-200 ppbv
TO-14A	Polar olmayan UOB'ler (toluen, benzen, klorobenzen)	Özel Hazırlanmış Kanişterle numuneleme ve GC/MS	0,2-25 ppbv
TO-17	Polar/polar olmayan UOB'ler (alkoller, benzen, klorobenzen)	Çoklu adsorbent tüp ile numuneleme GC/MS	0,2-25 ppbv
IP-1B	Uçucu polar olmatan organikler	Tenas sorbent tüp ile numuneleme TD/GC/MS	0.002 µg/m ³

GC/MS: Gaz kromatografi/Mass dedektör ile analiz; TD/GC/MS:Termal desorbsiyon/ Gaz kromatografi/Mass dedektör ile analiz, GC/ECD: Gaz kromatografi/ECD dedektör ile analiz



Şekil 2. Formaldehit analizinde kullanılan sistemler (a-HPLC, b-UV spektrofotometre)

limiti 0.1 ng/m³ - 0.34 µg/m³ aralığında değişmektedir. İç ortam havasındaki asbest, filtre destekli pompa ile filtre üzerinde tutulur. Filtredeki asbest polarize ışık mikroskobu, transmisyon elektron mikroskobu, infrared spektroskopi, taramalı elektron mikroskobu ile analiz edilir. Asbest için EPA tarafından yayınlanmış standart bir yöntem mevcut değildir. İç ortamda partikül ölçümleri filtre destekli düşük hava örnekleyici pompalar kullanılarak gravimetrik analiz ile veya ışık kırınımı

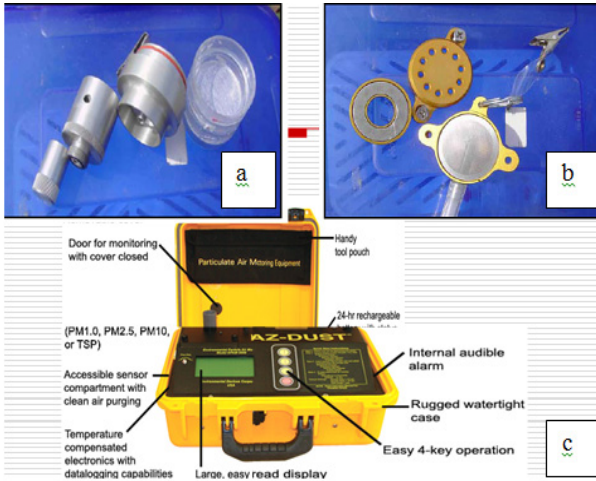
prensibi ile çalışan toz ölçüm cihazları kullanılarak yapılabilmektedir. Şekil 4'de partikül madde analizinde kullanılan sistemler görülmektedir.

Mikrobiyolojik kirlenmeler

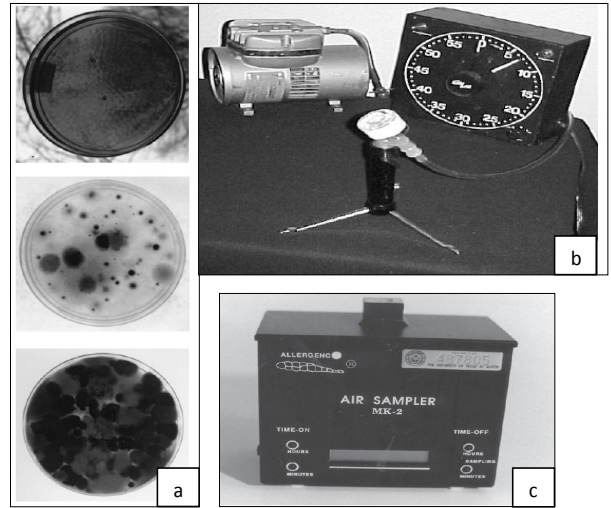
Evcil hayvanlar, bu hayvanların tüy ve salgıları, nemlendiriciler, havalandırma sistemleri, havalandırma sistemi su tahliye kanalları, bazı kimyasal maddeler, bazı ev bitkileri mikroorganizmalar, mantar ve algler için



Şekil 3. UOB ve YUOB'lerin analizinde kullanılan sistemler



Şekil 4. Partikül madde analizinde kullanılan sistemler (a-PM 2,5 siklonu, b-PM 10 impaktörü, c-toz ölçüm cihazı)



Şekil 5. Mikrobiyolojik kirlenmelerin analizi için kullanılan sistemler (a-kaskat sampler ile eş zamanlı örnekleme ile kültür ortamına alınan farklı tür mikroorganizmalar, b-o-cell örnekleme sistemine sahip pompa, c-Mikroskopik slide'lı özel impaktör)

İç ortamlarda uygun üreme ortamı oluşturmaktadır. Bu mikroorganizmalar ortamda yaşayanlarda çeşitli bulaşıcı hastalıklara ve alerjik reaksiyonlara yol açar. Legionella havalandırma sistemi su tahliye kanallarında, durgun su boruları ve duş borularında yaşar ve insanlarda pnömoniye neden olur. Akarlar ise yer döşemelerinde, yastık ve örtü yüzeylerinde bulunur ve özellikle çocuklarda astıma yol açar. İç ortam havasında bulunan polenler de astım nedeni olabilir. İç ortamlarda bakteri, mantar, mantar sporları, virüsler ve polenler, maytlar mikrobiyolojik kirliliğe neden olmaktadır. İç ortam havasında bulunan mikroorganizmalar türleri ve yoğunluklarına bağlı olarak çeşitli hastalıklara neden olabilmektedirler. Yapılan çalışmalar, havada yüksek miktarda bulunan mikroorganizmaların astım ve alerjik rinite ve hasta bina sendromuna neden olduğunu göstermiştir (ACGIH, 1989). İç ortam havasında bulunan mikroorganizmaların türleri ve yoğunlukları yanı sıra daha farklı bir tanımlamayla Eşik limit değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. TSE'nin "Çevre Sağlığı-Kapalı ortam havası ile ilgili Tedbirler" standardına göre mantar sporlarının kapalı ortam konsantrasyonları 1000 CFU/m³'ü aşmaması gerekmektedir. Ülkemizde iç ortamdaki bakteri konsantrasyonuna ait limit değeri yoktur. ACGIH (Amerika Endüstri Hijyenistleri) tarafından ortamdaki izole edilebilen toplam bakteri için 500 CFU/m³ limit değeri kabul

edilmiştir. Nem ve sıcaklık iç ortamlardaki mikrobiyolojik kirlenmenin artmasına neden olmaktadır. Halılardaki ve kanapelerdeki tozlar biyolojik alerjenlerin en önemli kaynakları olarak belirtilmiştir. İç ortamdaki biyolojik alerjenlerin en çok bilineni maytlardır. Çok sayıda mantar ve bakteri duvar kağıdı, yün ve yiyecek gibi organik maddelerin varlığı ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Özellikle yaz ve sonbahar aylarında dış ortam çevresi iç ortamdaki mantar ve bakterinin kaynağı olabilmektedir. Numuneleme ve analiz kültür ortamına alınabilen mikroorganizmaların belirlenmesi ile yapılmaktadır. Günümüzde aynı anda 6-8 kaskat sampler ile numuneleme yapılabilmektedir. Her bir kaskat farklı türler için farklı besin maddesi içeren petriyelerden oluşmaktadır. Kültür ortamına alınmayan mikroorganizmalar ise özel impaktör örnekleyiciler ile yapışkan yüzeyli mikroskopik slide'lar ile örneklenir ve mikroskop altında karakteristik şekline göre belirlenir. Bir diğer yöntem de ise hava örnekleyici kullanılmadan agar içeren normal petri kapları ile sedimentasyon plakaları oluşturularak iç ortamdaki partiküllerin çökme hızları (partiküllerin çökme hızları büyüklük ve spor formlarına göre değişmektedir) kullanılarak türleri ve miktarlarının belirlenmesidir. Şekil 5'de mikrobiyolojik kirlenmelerin analizi için kullanılan sistemler verilmiştir.

Değerlendirme

İç ortamdaki kirleticilerin tür ve konsantrasyonları, iç ortamlarda kullanılan materyallere bağlı olarak teknolojik gelişim ile birlikte gün geçtikçe değişmektedir. Dünya’da kanserojen olarak bilinen benzen, formaldehit, asbest, sigara dumanı ve radon gibi kirleticiler ve kanserojen olduğu düşünülen kloroform, trikloroetilen, karbontetraklorid ve naftalin gibi kirleticilere iç ortamdaki maruziyetler azalmaktadır. Bunun aksine phthalate ester plasticizers, bromlu flame-retardant, bisphenol-A ve nonylphenol gibi endokrin yapısını bozduğundan şüphe edilen bileşiklere maruziyetler artmaktadır. ABD gelecek 20 yıl içindeki planlarına iç ortam hava kirliliği problemlerini çözümlenecek projelerin geliştirilmesini hedef olarak belirlemiştir. İç ortam hava kirletici konsantrasyonları iç ortamlarda kullanılan malzemelerde birikim sebebiyle dış havadakinden genellikle daha fazladır. ABD’de iç ortam hava kirliliğinin her yıl binlerce kanser sebebiyle ölümlere ve yüz binlerce solunum yolu hastalıklarına yol açtığı tahmin edilmektedir. Ayrıca, çocukların kanlarındaki yüksek kurşun seviyelerinin kısmen iç ortam hava kalitesi ile ilgili olduğu düşünülmektedir. İç ortam hava kalitesinin yükseltilmesi ile çok önemli sağlık kazançlarının elde edilmesi amaçlanmaktadır. Bunun için, profesyonel eğitimin geliştirilmesi, yeni ve restore edilecek binalar için standartların geliştirilmesi, halkın bilinçlendirilmesi yoluyla mevcut binalarda hava kalitesini artıracak tedbirlerin alınmasının sağlanması, yeni materyal ve teknolojilerin geliştirilmesi, sağlığı ön planda tutan bireysel davranış ve tüketicilerin bilgilendirilmesi, bu alanda araştırma ve geliştirme için yapılan çalışmalarda önemli miktarda artışın gerekliliği ortaya konmaktadır. Ülkemizde ise iç ortam için iç hava kalitesi standardı mevcut değildir.

Sonuç olarak, sağlıklı ve verimli bir yaşam için soluduğumuz havanın temiz olması yani iyi bir iç ortam kalitesinin sağlanması gerekir. Bu amaç doğrultusunda Türkiye için farklı amaçlar için kullanılan kapalı ortamlar için iç hava kalitesi ile ilgili standartların ortaya konulması ve uygulanması gerekir.

KAYNAKLAR

1. US EPA. *Indoor air quality: sick building syndrome (EPA/402-F-94-004)*, Indoor Air Group, Research Triangle Park, North Carolina, 1991:228
2. National Research Council., *Indoor Pollutants*. National Academy Press, Washington, DC. 1981:57-224
3. Carpet and Rug Institut. *The history of carpet*. <http://www.carpet-rug.org/about-cri/the-history-of-carpet.cfm> (accessed 04.02.08) 2008
4. Corsi RL, Lin C-C. Emissions of 2,2,4-trimethyl-1,3-pentanediol monoisobutyrate (TMPD-MIB) from latex paint: a critical review. *Environ Sci Technol* 2009;39:1052-80
5. Lamorena RB, Jung SG, Bae GN, Lee W. The formation of ultra-fine particles during ozone initiated oxidations with terpenes emitted from natural paint. *J Hazard Mater* 2007;14:245-51
6. Hites RA. Polybrominated diphenyl ethers in the environment and in people: a meta-analysis of concentrations. *Environ Sci Technol* 2004;38:945-56
7. Nazaroff WW, Weschler CJ. Cleaning products and air fresheners: exposure to primary and secondary air pollutants. *Atmos Environ* 2004;38:2841-65
8. Singer BC, Destailats H, Hodgson AT, Nazaroff WW. Cleaning products and air fresheners: emissions and resulting concentrations of glycol ethers and terpenoids. *Indoor Air* 2006;16: 179-91
9. Destailats H, Lunden MM, Singer BC, Coleman BK, Hodgson AT, Weschler CJ, Nazaroff WW. Indoor secondary pollutants from household product emissions in the presence of ozone: a bench-scale chamber study. *Environ Sci Technol* 2006;40:4421-28
10. Singer BC, Coleman BK, Destailats H, Hodgson AT, Lunden MM, Weschler CJ, Nazaroff WW. Indoor secondary pollutants from cleaning product and air freshener use in the presence of ozone. *Atmos Environ* 2006;40: 6696-710
11. Liu XY, Mason M, Krebs K, Sparks L. Full-scale chamber investigation and simulation of air freshener emissions in the presence of ozone. *Environ Sci Technol* 2004;38:2802-12
12. He C, Morawska L, Taplin L. Particle emission characteristics of Office printers. *Environ Sci Technol* 2007;41:6039-45.
13. Wallace LA, EPA/600/6-87/002a. *The Total Exposure Assessment Methodology (TEAM) Study: Summary and Analysis, Vol. I. Office of Research and Development, U.S. EPA, Washington, DC. 1987:6-87*
14. Kelly TJ, Smith DL, Satola J. Emission rates of formaldehyde from materials and consumer products found in California homes. *Environ Sci Technol* 1999;33:81-8
15. Hisham MWM and Grosjean D. Sulfur Dioxide, Hydrogen Sulfide, Total Reduced Sulfur, Chlorinated Hydrocarbons, and Photochemical Oxidants in Southern California Museums. *Atmos Environ* 1991; 25A:1497-505
16. Dor F, YL Moullec, Festy B. Exposure of City Residents to Carbon Monoxide and Monocyclic Aromatic Hydrocarbons during Commuting Trips in the Paris Metropolitan Area. *J Air Waste Manage Assoc* 1995;45:103-110
17. Fernandez-Bremauntz AA, Ashmore MR. Exposure of Commuters to Carbon Monoxide in Mexico City-I. Measurement of In-Vehicle Concentrations. *Atmos Environ* 1995;29:525-32
18. Nick P, Hughes, J. *Chemical Hazards of the Workplace*. J.B. Lippincott Company, Philadelphia 1978: 152

19. Anderson DJ, Hites RA. Chlorinated Pesticides in Indoor Air *Environ Sci Technol* 1988;22:717-20
20. Thatcher TL, Layton, DW. Deposition, Resuspension, and Penetration of Particles within a Residence. *Atmos Environ* 1995;29:1487-97
21. Leese K, Indoor Air Measurements. *Environ Sci Technol News* 1997;31:493-504
22. Neas L, Dockery MDW, Ware JHJ, Spengler D, Ferris BG, Speizer FE. Concentration of Indoor Particulate Matter as a Determinant of Respiratory Health in Children. *Am J Epidemiol* 1994; 139:1088-99
23. World Health Organization (WHO), Health risk assesment of indoor air quality, (Mog/HSE/4.3/001,AC.01.03.01. AW),Ulan baatar Mongolia, 2004