

## İLKOKUL VE KREŞLERDE İÇ ORTAM HAVA KALİTESİ

Sibel MENTEŞE<sup>1(\*)</sup>, Münevver ARISOY<sup>2</sup>, Abbas YOUSEFİ RAD<sup>3</sup>, Gülen GÜLLÜ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Hacettepe Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Beytepe/Ankara

<sup>2</sup>Ankara Üniversitesi, Sağlık ve Bilimleri Fakültesi, Keçiören/Ankara

<sup>3</sup>Mesa Hastanesi, Yenimahalle/Ankara

### ÖZET

İç ortam hava kalitesi biyolojik, organik ve inorganik yünden incelenilmesi gereken ve halk sağlığı açısından, özellikle çocuklar için, tespit edilmesi gereken önemli bir konudur. Bu çalışmada, Ankara İli'ndeki bir ilkokulun üç farklı sınıfında ve bir kreşin iki odası ile yemek salonunda, dış ortam ile eşzamanlı olarak iç ortam hava kalitesi tespit edilmeye çalışılmıştır. İç ortam hava kirlleticilerinden olan biyoaerosoller (bakteri ve mantar), uçucu organik bileşikler (UOB), ince partiküller ile çevresel parametrelerden olan sıcaklık (°C) ve bağıl nem değeri (%) örnekleme süresince kaydedilmiştir. Çalışma Mayıs-Haziran 2007'de, beş gün süre ile çalışma saatleri olan 09:00 ile 17:00 arasında, kirleticilerin günlük profilini çıkartmaya yönelik olarak yapılmıştır. İlkokulda iç ortam bakteri konsantrasyonu 35–1766 CFU m<sup>-3</sup> arasında değişirken, kreşte 80–1766 CFU m<sup>-3</sup> arasında değişmektedir. Mantar konsantrasyonu ise ilkokulda 9–1766 CFU m<sup>-3</sup> arasında değişirken, kreşte 9–309 CFU m<sup>-3</sup> arasında değişmektedir. İç ortam biyoaerosol ve UOB seviyeleri, dış ortam seviyelerinden belirgin olarak yüksek bulunmuştur ( $p<0.05$ ).

### ABSTRACT

Indoor air quality is a crucial subject, which should be handled in terms of biologically, organic, and inorganic and must be determined for public health, especially for children. In this study, indoor and outdoor air quality was investigated simultaneously in three different classrooms of a primary school and two rooms and a dining hall of a kindergarten located in Ankara. Indoor air pollutants, which are bioaerosols (bacteria and mold), volatile organic compounds (VOCs), fine particles, and environmental parameters, which are temperature (°C) and relative humidity (%) were recorded during the sampling. Study was conducted between May and June, 2007, during the five days from 9 a.m. to 5 p.m., which are the working hours, as to determine the diurnal profiles of the pollutants. Indoor bacteria concentration in the primary school varied from 35 to 1766 CFU m<sup>-3</sup>, whereas it varied from 80 to 1766 CFU m<sup>-3</sup> in kindergarten. Mold concentration was varied from 9 to 1766 CFU m<sup>-3</sup> in the primary schools, whereas it varied from 9 to 309 CFU m<sup>-3</sup> in the kindergarten. Levels of indoor bioaerosol and VOCs were found significantly higher than outdoor levels ( $p<0.05$ ).

### ANAHTAR SÖZCÜKLER

İç Ortam Hava Kalitesi, Biyoaerosol, Uçucu Organik Bileşikler, Kreş, İlkokul

\* sibelm@hacettepe.edu.tr

## GİRİŞ

İnsanlar zamanlarının büyük bir bölümünü ev, işyeri ve okul gibi kapalı ortamlarda geçirmektedir. Bu nedenle, iç ortam havasının halk sağlığı üzerinde çok büyük bir etkisi vardır. Çocukların ve öğrencilerin zamanlarının büyük bir bölümünü geçirdikleri kreşler ve ilkokullarda maruz kalınan seviyeler, söz konusu yaş aralığındaki çocukların bağışıklık sistemlerinin henüz gelişmemiş olması ve solunum seviyelerinin daha alçakta olması nedeniyle ayrı bir önem arz etmektedir.

Biyoaerosoller; bakteri, mantar, mantar sporları, virüsler ile polen ve onların fragmentlerini içeren biyolojik kökenli havadan kaynaklı tüm organik tozların genel adıdır (Nevalainen vd., 1992; Cox ve Wathes, 1995). Bu biyolojik canlılara ve onların endotoksin, mikotoksin ve UOB gibi mikrobiyal metabolitlerine maruz kalınması durumunda olumsuz sağlık koşulları oluşabilmektedir (Kalogerakis vd., 2005). Yapılan çalışmalar, havada yüksek miktarda bulunan mikropların astım ve alerjik rinite (Beaumont, 1988), hipersensitiv pnömoniye (Siersted ve Gravesen, 1993) ve hasta bina sendromuna (ACGIH, 1989) neden olduğunu göstermiştir. Ancak, yarattıkları sağlık sorunları yalnızca alerjik hastalıklarla sınırlı değildir; biyoaerosoller ve yan-ürünlerinin enfeksiyona neden oldukları (Ren vd., 1999) ve toksik etkilerinin de (Fabian vd., 2005) bulunduğu bilinmektedir. İç ortam havasındaki biyoaerosol seviyeleri, dış ortam havasından giriş ile de değişebilmektedir (Lee ve Jo, 2006). Bu nedenle, mikrobiyal büyümeyi etkileyen temel faktörler olan; dış ortam havasının sıcaklık ve bağıl nem değerleri, iç ortam havasındaki biyoaerosollerin seviyesinde rol oynayabilmektedir (Jones ve Cookson, 1983).

Uçucu organik bileşikler, kaynama noktaları 50 °C ila 260 °C arasında olan organik bileşikler olarak tanımlanmaktadır (WHO, 1989). Teknolojik gelişme ile birlikte ucuz üretilen eşyaların gündelik yaşam içinde oldukça yaygın olarak kullanılması sonucu iç ortamlarda, bu tip kirleticiler oldukça yüksek seviyede bulunmaktadır. Binalarda yakıt tasarrufu sağlama açısından ısı yalıtımı için yapı malzemeleri kullanılması, iç ortamların havalanmasını sınırlandırmakta, bunun sonucu olarak iç ortam hava kalitesi bozulmaktadır (Müezzinoğlu, 2003). Bina malzemelerinin yanı sıra, temizlik malzemelerinden de uçucu organik bileşikler iç ortam havasına salınmaktadır (Godish, 2001).

2,5 µm ve aşağısındaki çapa sahip partikül maddeler, “ince partiküller” olarak adlandırılmaktadır (PM<sub>2,5</sub>) ve kaba partiküllere (< 10 µm) göre daha ciddi solunum yolu rahatsızlıklarına yol açmaktadır. Ülkemizde PM<sub>2,5</sub> için herhangi bir iç veya dış ortam hava kalitesi standardı bulunmamaktadır. Amerikan ulusal hava standardına göre ise, yıllık aritmetik ortalama değeri olarak 15 µg m<sup>-3</sup>, 24 saatlik ortalama değeri olarak ise 35 µg m<sup>-3</sup> belirlenmiştir (US EPA, 2006).

Bu çalışmada, Ankara İli’ndeki bir ilkokul ile bir kreşten Mayıs-Haziran 2007 döneminde toplanan hava örneklerinin biyoaerosol, uçucu organik bileşik ve toz yönünden seviyeleri tespit edilmeye çalışılmıştır.

## MATERYAL VE METOT

### Örnekleme Sistemi

Ankara İli’ndeki bir ilkokulun üç farklı sınıfı ve bir kreşin iki oyun odası ile çocuk yemekhanesinden Mayıs-Haziran 2007 ayları arasında hava örnekleri toplanmıştır. Hava

ölçüm çalışmaları, çocukların ve öğrencilerin kreş ve ilkokulda bulunduğu saatler olan 09:00-16:00 arasında yapılmıştır. İç ortam örnekleri, insan soluma mesafesi olan 1,5 m yükseklikten ve ortamın merkezinden alınırken; dış ortam örnekleri bina gibi yapılardan en az 1 m uzaktan ve 1,5 m yükseklikten alınmıştır. Örneklemeye istasyonlarına ait bilgiler Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Örneklemeye istasyonlarına ait bilgiler

Örneklemeye İstasyonu	Kişi Sayısı	Alanı (m <sup>2</sup> )	Yakıt Türü	Bağıl Nem (%) Aralığı	Sıcaklık (°C) Aralığı
Kreş-yemekhane	200*	120	Doğalgaz	24,3-51	18,8-25,4
Kreş-oyun salonu1	30	60	Doğalgaz	24,5-44,5	24,4-26,1
Kreş-oyun salonu2	30	80	Doğalgaz	21,2-47,8	22,7-25,6
İlkokul-sınıf1	39	40	Doğalgaz	41,6-56	25,8-26,9
İlkokul-sınıf2	37	40	Doğalgaz	34-42,7	26,2-27,3
İlkokul-sınıf3	33	40	Doğalgaz	28,4-46,5	25,5-27,6

\*Günde 3 kez bu sayıda kişi bulunmaktadır; diğer zamanlarda 8 personel bulunmaktadır.

### **Biyoaerosol Örneklemeye ve Analiz Yöntemi**

Hava örnekleri, impaktör vasıtasıyla aktif olarak besiyerleri üzerine toplanmıştır. Örneklemeye süresi sonunda ağız kapalı olan besiyerleri laboratuvara götürülerek inkübatöre yerleştirilmiştir. Bakteriler için standart olan 37 °C’de 48 saat; mantarlar için ise 25 °C’de 4-7 günlük inkübasyon koşulları uygulanmıştır. İnkübasyon periyodu sonrasında bakterilerin sayımı (CFU m<sup>-3</sup>) ve tür tayini işlemleri yapılmıştır. Tür tayininde kolaylık sağlaması açısından, ortam havasından izole edilen bakteri örneklerine çeşitli biyokimyasal testler uygulanmıştır. Mantarların ise sayımı (CFU m<sup>-3</sup>) yapıldıktan sonra morfolojik yapılarına göre, standart taksonomik atlaslar kullanılarak, mikroskop altında tür tayini yapılmıştır.

### **Uçucu Organik Bileşiklerin Örneklemeye ve Analiz Yöntemi**

Uçucu organik bileşikler, Chromosorb 106 sorbenti ile doldurulmuş paslanmaz çelik thermal desorber tüpleri içerisine pasif örneklemeye metodu ile 7 gün süre ile alınmıştır. Toplanan örneklerin, Thermal Desorber-GC/FID sistemi kullanılarak analizi yapılmıştır. Uçucu organik bileşiklerden; miktar tayini yapılan benzen, toluen, etilbenzen ve ksilen bileşiklerinin konsantrasyonları aşağıdaki formül vasıtasıyla hesaplanmıştır (ISO 16017-2, 2003) .

$$\rho = (m_a - m_b) / (q_v \cdot t) \cdot 10^6 \quad (1)$$

$\rho$  : Hedef bileşiğin havadaki konsantrasyonu ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )

$m_a$  : Hedef bileşiğin örnekteki miktarı ( $\mu\text{g}$ )

$m_b$  : Hedef bileşiğin kör numunedeki miktarı ( $\mu\text{g}$ )

$q_v$  : Tutma sabiti ( $\text{ml dk}^{-1}$ )

$t$  : Maruziyet süresi (dk)

### **Solunabilir İnce Toz ve Çevresel Parametrelerin Tespiti**

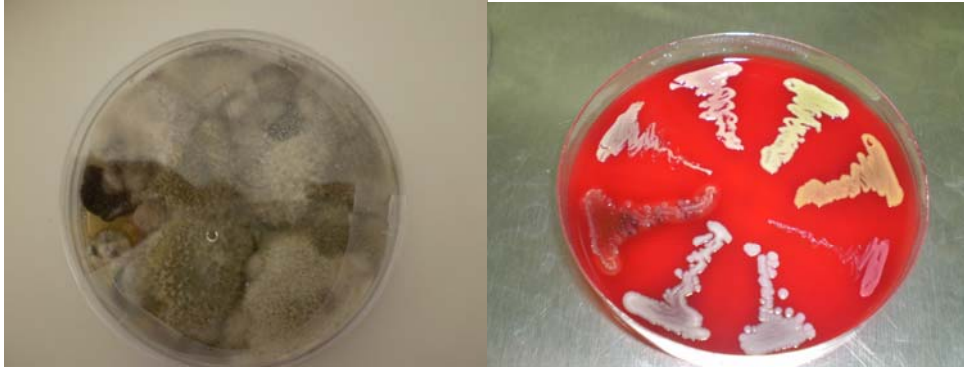
Solunabilir ince (< 2.5  $\mu\text{m}$ ) toz konsantrasyonu ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) ve ortalama toz çapı ( $\mu\text{m}$ ), ışık saçılımı prensibine dayanan anlık-toz ölçüm cihazı ile örneklemeye süresince tüm örneklemeye istasyonlarında kaydedilmiştir.

Örneklemeye süresince iç ve dış ortam sıcaklık (°C) ve bağıl nem (%) değerleri anlık olarak kaydedilmiştir.

## SONUÇLAR

Kreş ve ilkokulda yapılan iç ortam hava kalitesini belirlemeye yönelik çalışmada elde edilen sonuçlar bu bölümde detaylı olarak sunulmuştur.

Kreş ve ilkokuldan alınan hava örneklerinden izole edilen mantar ve bakteri türleri tür kompozisyonu yönünden çeşitlilik göstermektedir (Şekil 1). Ortamlarda gözlenen türler ve bunların görülme sıklıkları ortam koşulları ile ilişkilendirilebilir. Bu amaçla, örnekleme süresince sürekli olarak sıcaklık (°C) ve bağıl nem (%) değerleri kaydedilmiştir. Tablo 1’de istasyonlara ait bu veriler verilmiştir. Tabloya göre, sıcaklık örnekleme süresince genel olarak, 20 °C’nin üstünde; bağıl nem değeri, ise % 30-42 arasında gözlenmiştir.

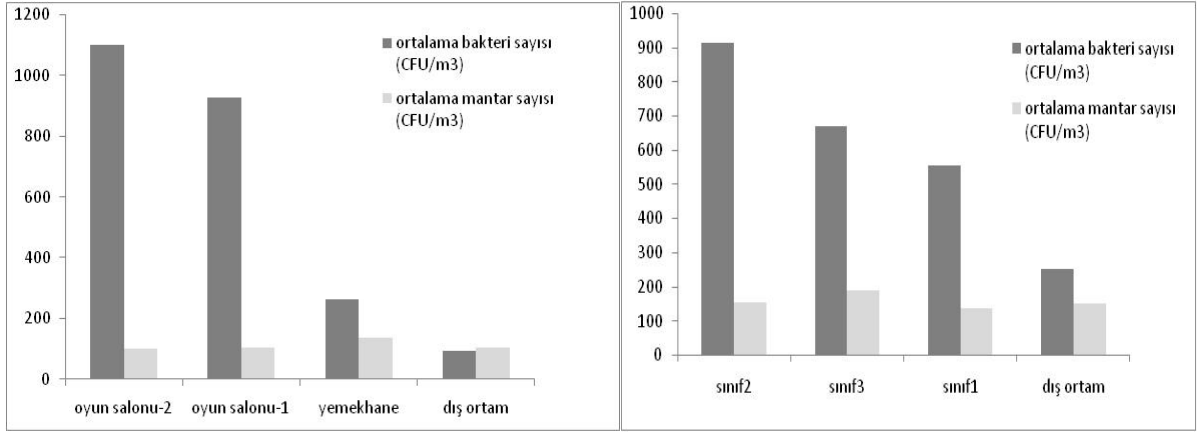


Şekil 1. Hava örneklerinden izole edilen biyoaerosoller a) mantarlar b) bakteriler

Tablo 1. Örnekleme istasyonlarında gözlenen sıcaklık (°C) ve bağıl nem (%) değerleri

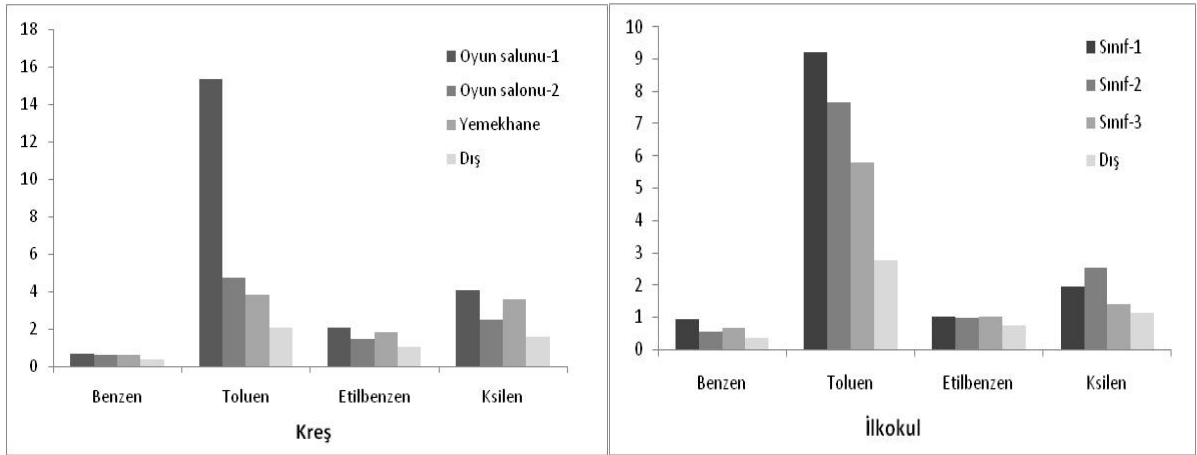
Mekan	Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)
	Minimum-Maksimum (Ortalama)	Minimum-Maksimum (Ortalama)
Kreş	18,8-26,3 (24,3)	21,2-51,0 (34,6)
Kreş-dış ortam	13,7-29,2 (23,1)	18,0-54,9 (31,6)
İlkokul	25,5-27,6 (26,6)	28,4-56,0 (41,8)
İlkokul-dış ortam	24,4-27,5 (25,6)	25,3-44,1 (34,1)

Kreşte günlük olarak ve beş gün süre ile yapılan biyoaerosol örneklemesine göre; en yüksek beş günlük ortalama bakteri seviyelerine, sırasıyla, oyun salonu-2 ve oyun salonu-1’de rastlanırken; en düşük beş günlük ortalama seviyeye dış ortamda rastlanılmıştır (Şekil 2a). En yüksek beş günlük ortalama mantar seviyesine ise yemekhanede rastlanılmıştır. İlkokulda yine beş gün süre ile yapılan günlük biyoaerosol örneklemesine göre; en yüksek beş günlük ortalama bakteri seviyelerine, sırasıyla, sınıf-2 ve sınıf-3’de rastlanırken; en düşük beş günlük ortalama seviyeye dış ortamda rastlanılmıştır (Şekil 2b). En yüksek beş günlük ortalama mantar seviyesine ise sınıf-3’de rastlanılmıştır. Her iki ortamda yapılan örneklemelemlerle eşzamanlı olarak dış ortamda yapılan örneklemelemlerde de dış ortam bakteri seviyesi, iç ortamdaki belirgin olarak yüksek bulunmuştur.



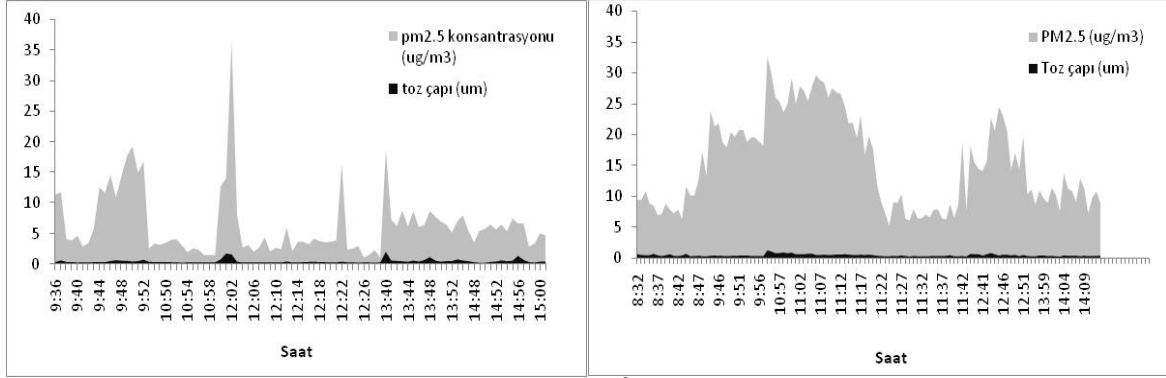
**Şekil 2.** Ortalama bakteri ve mantar sayısı (CFU m<sup>-3</sup>) a) kreş b) ilkokul

Uçucu organik bileşiklerin örnekleme istasyonlarına göre konsantrasyonları Şekil 3'de verilmiştir. Şekle göre, kreşten alınan pasif hava örneklerinde en yüksek uçucu organik bileşik konsantrasyonlarına oyun salonu-1'de; en düşük konsantrasyonu ise dış ortamda rastlanmıştır. İlkokulda ise sınıf-1'de en yüksek uçucu organik bileşik konsantrasyonlarına rastlanırken; en düşük seviyeler yine dış ortamda gözlenmiştir.



**Şekil 3.** Hava örneklerindeki uçucu organik bileşiklerin konsantrasyonları (µg m<sup>-3</sup>) a) kreş b) ilkokul

PM<sub>2.5</sub> toz konsantrasyonları kreş ve ilkokulda, sırasıyla 1.1-36.4 µg m<sup>-3</sup> (ortalama: 6,44 µg m<sup>-3</sup>), 5,2-32,6 µg m<sup>-3</sup> (ortalama: 15,40 µg m<sup>-3</sup>) arasında değişmektedir. Ortalama toz çapı ise kreşte 0,47 µm iken, ilkokulda ise 0,40 µm olarak tespit edilmiştir (Şekil 4).



**Şekil 4.** PM<sub>2.5</sub> ve toz konsantrasyonunun ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) ve ortalama toz çapının ( $\mu\text{m}$ ) günlük değişimi  
a) kreş b) ilkokul

## SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Beş günlük ölçümler dikkate alındığında, ilkokulda iç ortam bakteri konsantrasyonu  $35\text{--}1766$  CFU  $\text{m}^{-3}$  arasında değişirken, kreşte  $80\text{--}1766$  CFU  $\text{m}^{-3}$  arasında değişmektedir. Mantar konsantrasyonu ise ilkokulda  $9\text{--}1766$  CFU  $\text{m}^{-3}$  arasında değişirken, kreşte  $9\text{--}309$  CFU  $\text{m}^{-3}$  arasında değişmektedir. İç ortam biyoaerosol ve uçucu organik bileşik seviyeleri, dış ortam seviyelerinden belirgin olarak yüksek bulunmuştur ( $p < 0.05$ ). Benzer sonuçlara daha önceki çalışmalarda da ulaşılmıştır (Jo and Seo, 2005; Lee and Jo, 2006). Özellikle kreş ve ilkokuldaki bakteri seviyelerinin, dış ortam bakteri seviyelerinden belirgin olarak yüksek olması, kaynaklarının iç ortam olduğunun bir göstergesi olarak ifade edilebilir.

Uçucu organik bileşiklerden toluen, kreş ve ilkokulda en yüksek konsantrasyona sahip olan bileşik olarak bulunurken; benzen en düşük konsantrasyona sahip olan bileşik olarak bulunmuştur. Benzer sonuçlara literatürde rastlamak mümkündür (Elke vd., 1998; Guo vd., 2003).

PM<sub>2.5</sub> ortalama seviyesi, 24 saatlik limit değer olan  $35 \mu\text{g m}^{-3}$ 'den düşük olarak gözlenmiştir. Ayrıca, kreş ve ilkokuldaki ortalama partikül çapı  $2,5 \mu\text{m}$ 'nin oldukça altında (ortalama  $0,40 \mu\text{m}$ ) bulunmuştur.

İç ortam havasındaki bakteri seviyelerinin tespitine yönelik gerçekleştirilmiş çalışma sayısı çok sınırlıdır. Yapılan bu çalışmada, hava kirleticilerinin seviyelerinin kreş ve ilkokul gibi halk sağlığı açısından en hassas grupların zamanlarının büyük bölümünü geçirdikleri mekanlarda, dış ortam seviyelerine göre yüksek olduğu görülmüştür. Çocukların ve öğrencilerin solunum yolu semptomlarının artmasına neden olan kötü iç ortam hava kalitesi şartlarının düzeltilmesi gerekmektedir. Bu amaçla kirliliğe neden olan kaynakların veya ekstrem koşulların (Ör: yüksek nem) ortadan kaldırılması gerekmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

ACGIH, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Threshold limit values and biological exposure indices for 1989-1990., Cincinnati, OH, 14, 1989.

Beaumont, F., Kauffman, H.F., Sluiter, H.J., De Vries, K. A volumetric-aerobiologic study of seasonal fungus prevalence inside and outside dwellings of asthmatic patients living in northeast Netherlands, *Ann Allergy*, 53(6) 486–492, 1984.

Cox, C.S., Wathes, C.M. Bioaerosols Handbook, CRC Press, Boca Raton FA, 1995.

Elke, K., Jermann, E., Begerow, J., Dunemann, L. Determination of benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes in indoor air at environmental levels using diffusive samplers in combination with headspace solid-phase microextraction and high-resolution gas chromatography–flame ionization detection, *Journal of Chromatography A*, 826 191-200, 1998.

Fabian, M.P., Miller, S.L., Reponen, T., Hernandez, M.T. Ambient bioaerosol indices for indoor air quality assessment of flood reclamation, *Aerosol Science*, 36 763-783, 2005.

Godish, T. Indoor Environmental Quality, Lewis Publishers, Boca Raton New York Washington D.C., 2001.

Guo, Z.G., Sheng, L.F., Feng, J.L., Fang, M. Seasonal variation of solvent extractable organic compounds in the aerosols in Qingdao, China, *Atmospheric Environment*, 37 1825-1834, 2003.

ISO 16017-2, Indoor, ambient and workplace air-Sampling and analysis of volatile organic compounds by sorbent tube/thermal desorption/capillary gas chromatography-Part 2: Diffusive sampling, 2003.

Jones, B.L., Cookson, J.T. Natural atmospheric microbial conditions in a typical suburban area, *Applied and Environmental Microbiology*, 45 919, 1983.

Kalogerakis, N., Paschali, D., Lekaditis, V., Pantiduo, A., Eleftheriadis, K., Lazaridis, M., “Indoor air quality-bioaerosol measurements in domestic and office premises”, *Journal of Aerosol Science*, 36 751-761, 2005.

Lee, J.H., Jo, W.K. Characteristics of indoor and outdoor bioaerosols at Korean high-rise apartment buildings, *Environmental Research*, 101 11-17, 2006.

Müezzinoğlu, A., 2003, Atmosfer Kimyası, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, İzmir.

Nevalainen, A., Pastuszka, J., Liebhaber, F., Willeke, K. Performance of bioaerosol samplers: collection characteristics and sampler design considerations, *Atmospheric Environment Part A. General Topics*, 26(4), 531-540, 1992.

Ren, P., Jankun, T.M., Leaderer, B.P. 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*, 9 560–568, 1999.

Siersted, H.C., Gravesen, S. Extrinsic allergic alveolitis after exposure to the yeast *Ehedorula rubra*, *Allergy*, 48 298–299, 1993.

US EPA, Fact sheet, Final revisions to the national ambient air quality standards for particle pollution (particulate matter), 2006. <http://www.epa.gov>

WHO, Indoor Air Quality: Organic Pollutants, EURO Reports and Studies No. 111, World Health Organization, Copenhagen, 1989.