

## İZMİR METROPOL ALANINDA İKİ İLKÖĞRETİM OKULUNDA KIŞ VE BAHAR DÖNEMLERİNDE UÇUCU ORGANİK BİLEŞİK VE FORMALDEHİT DERİŞİMLERİ

Güler ASLAN<sup>1</sup>, Fatma ÖZEREN<sup>1</sup>, Pınar KAVCAR<sup>1</sup>, Aysun SOFUOĞLU<sup>1</sup>, Fikret İNAL<sup>1</sup>, Mustafa ODABAŞI<sup>2</sup>, Sait C. SOFUOĞLU<sup>1(\*)</sup>

<sup>1</sup>İzmir Y. Teknoloji Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Bölümü ve Çevre Ar-Ge Merkezi, Gülbahçe, Urla 35430 İzmir

<sup>2</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Tınaztepe Kampüsü, Buca 35160 İzmir

### ÖZET

Bu çalışmada, İzmir ilinde, trafik ve yerleşimin yoğun olduğu bölgelerde seçilen iki ilköğretim okulunda (Balçova Ertuğrul Gazi ve Güzelyalı ilköğretim okulları), 2008 yılı kış ve bahar mevsimlerinde aktif örnekleme yöntemi ile uçucu organik bileşik (UOB) ve formaldehit örnekleme yapılmıştır. UOB ve formaldehit analizleri, sırasıyla, termal desorber ünitesi bulunan GC/MS ve HPLC cihazları ile gerçekleştirilerek derişimleri belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda, yüksek toksisiteli sebebiyle en zararlı UOB'ler olarak gruplandırılan benzen, toluen, etil benzen ve ksilenler, her iki okulda da, iç havada en yüksek derişimlerde ölçülmüştür. Ortalama Toplam Uçucu Organik Bileşik (TUOB) ve formaldehit derişim değerleri her iki okul için hesaplanmıştır. Ertuğrul Gazi ilköğretim okulu için ortalama TUOB ve formaldehit derişimleri sırasıyla, kış dönemi için; 104  $\mu\text{g m}^{-3}$  ve 44,36  $\mu\text{g m}^{-3}$ , bahar dönemi için 66,42  $\mu\text{g m}^{-3}$  ve 43,73  $\mu\text{g m}^{-3}$ ; Güzelyalı ilköğretim okulu için ise kışın 50,86  $\mu\text{g m}^{-3}$  ve 30,78  $\mu\text{g m}^{-3}$ , baharda 32,1  $\mu\text{g m}^{-3}$  ve 35,82  $\mu\text{g m}^{-3}$  olarak ölçülmüştür. Genel olarak, bu derişimler literatürde olan çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırıldığında daha yüksektir.

### ABSTRACT

Indoor air samples were collected from two schools that were selected in urban area of Izmir in winter and spring terms of 2008 (Balçova Ertuğrul Gazi and Guzeyali primary schools). Samples were analyzed for Volatile Organic Compounds (VOCs) and formaldehyde (HCHO). Active sampling was applied for VOCs and HCHO by using Tenax TA and DNPH silica gel sorbent tubes, respectively. VOCs were analyzed by using a thermal desorption - gas chromatography - mass spectrometry (TD-GC-MS) system. Formaldehyde analysis was performed by using an HPLC instrument. Benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes, which have high toxicity, were detected at high concentrations. Mean Total Volatile Organic Compound (TVOC) and formaldehyde concentrations were calculated for both schools in winter and spring terms. TVOC and HCHO concentrations were 104  $\mu\text{g m}^{-3}$  and 44,36  $\mu\text{g m}^{-3}$  in winter, and 66,42  $\mu\text{g m}^{-3}$  and 43,73  $\mu\text{g m}^{-3}$  in spring terms for Ertuğrul Gazi; and 50,86  $\mu\text{g m}^{-3}$  and 30,78  $\mu\text{g m}^{-3}$  in winter, and 32,1  $\mu\text{g m}^{-3}$  and 35,82  $\mu\text{g m}^{-3}$  in spring term for Guzeyali primary schools, respectively. These concentration values are generally higher than the values reported in the literature.

\* cemilsofuoglu@iyte.edu.tr

## ANAHTAR SÖZCÜKLER

İzmir, İlköğretim Okulları, Bina-içi Hava Kalitesi, Uçucu Organik Bileşikler, Formaldehit

### GİRİŞ

Günümüzde insanlar zamanlarının büyük çoğunluğunu kapalı ortamlarda geçirmektedir. Bina-içi hava, konutlar, endüstriyel olmayan işyerleri, halka açık binalar (okul, hastane vb.) içindeki hava olarak kabul edilmektedir (Godish, 2000). Bu konuda yapılan çalışmalar, iç ortam havasının çoğunlukla kirli olduğunu ve dış ortam havasında bulunan kirletici seviyelerinden daha fazla seviyede kirletici içerdiğini belirlemiştir. Pek çok kaynaktan bina-içi havaya yayılan kirleticiler akut ve kronik sağlık sorunlarına sebep olabilmektedir. Düşük derişimlerde, hasta bina sendromu belirtilerine yol açan ve maruziyetin kronik hale gelmesi ile kanser de dahil olmak üzere ciddi sağlık etkileri gösterebilen uçucu organik bileşikler (UOB) ve formaldehit en önemli bina-içi hava kirleticileri arasındadır.

Bu kirleticiler, özellikle hassas gruplar olan yaşlı ve hasta insanlar ile çocuklar için büyük önem taşımaktadır. Çocukların, günde yaklaşık 6–8 saatini okul içersinde geçirdikleri ve gelişim çağında oldukları düşünüldüğünde, okul binalarındaki mevcut hava kalitesinin incelenmesinin önemi ortaya çıkmaktadır. Bina-içi hava kalitesi çocukların derslerdeki performanslarını ve derslere katılımlarını da doğrudan etkilemektedir. Mendell ve arkadaşları bina-içi hava kalitesi ve çocukların performansları ile ilgili derlemesinde, iç hava kirleticilerinin çocukların performanslarını ve derse katılımlarını olumsuz yönde etkilediğini belirtmiştir (Mendell vd., 2005). Bu derlemede, yüksek organik kirletici derişimlerinde, çocukların okuldaki performanslarının düştüğü bildirilmiştir. İç hava kalitesinin okullarda incelenmesinin önemli sebeplerinden biri olarak da, çocuklardaki astım hastalığının artışı gösterilebilir. Amerika’da 2006’da yapılan araştırmaya göre 6,8 milyon çocuğun astım hastası olduğu bildirilmiştir (American Lung Association, 2007). İlköğretim okullarında ve liselerde çocukların derslere katılmadığı günlerin %20’si astım hastalığı sebebiyledir (Bayer vd., 1999). Türkiye’de de astım, çocuklarda görülen önemli bir hastalıktır. Demir ve arkadaşları (2004), 1997 ve 2002 yılları arasında Ankara’da yaptıkları çalışmada, astımın yaygınlık yüzdelerini sırası ile 1992, 1997 ve 2002 yılları için, %8,3, %9,8 ve %6,4 olarak bulmuştur. Selçuk ve arkadaşları (1997) ise Edirne’deki okullarda yaptıkları çalışma sonucunda çocukların %34,2’sinin alerjik hastalıklardan etkilendiklerini belirlemiştir.

Uçucu organik bileşikler, buhar basınçları 13–130 mPa değerinden büyük olan organik bileşikler olarak tanımlanır. UOB’in kaynama noktaları 50-260 °C arasında değişmektedir (Maroni vd., 1995). Düşük kaynama noktaları nedeniyle iç ortam havasında buhar halinde bulunurlar. Uçucu organik bileşiklerin insan sağlığı üzerinde doğrudan etkileri olabilmektedir. Birçok UOB toksik ve kanserojen olarak sınıflandırılmıştır; bu yüzden, bu bileşiklerin büyük miktarlarına kısa süreliğine ya da küçük miktarlarına uzun süreliğine maruz kalmak güvenli değildir. UOB’lere fazla maruz kalındığında gözlenen bazı sağlık sorunları olarak baş dönmesi, baş ağrısı ve mide bulantısı sayılabilir. Alerjik deri reaksiyonları ve astımı şiddetlendirmesi gibi akut etkileri de belirtilmektedir. Ayrıca benzen gibi bazı UOB’lere uzun süre maruz kalınmasının kansere yol açtığı görülmüştür (Maroni vd., 1995). Bunlara ek olarak, UOB’ in “Hasta Bina Sendromu” (HBS) ya da “Binayla İlgili Semptomlar” (BİS) ile âlâkalı olduğu düşünülmektedir. BİS, kişilerde bina içerisindeyken yaygın olarak mukus membran iritasyonu, nörotoksik etkiler, solunum ve deri sorunları gibi rahatsız edici

semptomların görülmesi, binadan uzaklaşma ile bu semptomlarda iyileşme görülmesi şeklinde tanımlanabilir (Tenbrinke vd., 1998; Ten Brinke 1995).

Uçucu Organik Bileşikler boya, vernik, yapıştırıcı ve inşaat malzemelerinin yapısında bulunmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda bu malzeme ve ürünlerin kullanıldığı binalarda uçucu organik karbon bileşiklerine sıkça rastlanıldığı ortaya konmuştur (Guo ve Murray, 2001; Guo vd., 2000). Özellikle okul ve ofis ortamlarında kullanılan yazıcılar ve fotokopi makineleri, iç ortam havası için önemli birer UOB kaynaklarıdır (Lee ve Ark, 2006). Yapılan araştırmalarda, fotokopi çekme işlemi sırasında havaya ozon gazıyla birlikte pek çok uçucu organik bileşiğin yayıldığı belirlenmiştir (Brown 1999; Alyuz vd., 2006). İç ortamlarda bulunan UOB'lerin önemli bir diğer kaynağı ise yoğun trafiğe sahip dış mekanlardır. Trafik'in toplam UOB emisyonuna katkısı diğer kaynaklara oranla oldukça önemlidir. Toplam UOB emisyonunun yaklaşık %35'i egzoz emisyonu veya araçlardan buharlaşma sonucuyla yayılır (Tufekci, 2003).

Formaldehit, çevrede en yaygın bulunan aldehittir. Uçucu bir organik bileşik olmasına rağmen, UOB analizlerinde yaygın olarak kullanılan gaz kromatografisi yöntemleri ile tayin edilemez. Bu nedenle ayrı olarak incelenirler (Godish, 2000). Formaldehit (HCHO) tutuşabilen, renksiz, rahatsızlık veren kokusu olan, yanıcı, kolay polimerize olan uçucu bir bileşiktir. Formaldehit düşük derişimlerde göz yaşarması, üst solunum yollarında tahriş; yüksek derişimlerde ise alt sonum yolu sisteminde tahriş ve pulmoner ödem yapar. Formaldehite bağlı alerjik reaksiyonlar sık görülür ve deri ile temas ve soluma ürtiker, alerjik kontakt dermatit, atopi veya mesleksel astıma neden olabilir (Evcı vd., 2005).

Formaldehitin başlıca kaynakları, kontraplaklar, reçineler, yapıştırıcılar ve döşemeliklerdir (Maroni vd., 1995). Formaldehit, aynı zamanda binaların dış izolasyonunda kullanılan UFFI (üre formaldehit köpük) ticari isimli malzemenin yapısında da kullanılır. 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 (Kelly vd., 1999; Wiglusz vd., 2002). Ayrıca, formaldehit emisyonunun yeni binalarda daha yüksek derişimlerde olduğu bulunmuştur (Park vd., 2006). Sigara dumanı, iç ortamdaki formaldehit derişimi arttıran önemli faktörlerden biridir. Ankara'da yapılan bir çalışmada 46 kahvehane formaldehit derişimi ölçülmüş ve kahvehanelerdeki ortalama formaldehit derişimi 0,2 ppm olarak bulunmuştur. Ölçülen değer kapalı ortamlar için izin verilen (0,03 ppm) değerinin üzerindedir. Ölçülen değer yüksekliği, sigara dumanının yoğunluğuna bağlanmıştır. (Evcı vd., 2005).

Okul binaları için, yüksek popülasyon yoğunluğuna sahip, havalandırma konusunda zayıf, bakım ve temizlik açısından eksik gibi ortak sorunların mevcut olduğu söylenebilir. Bina-içi hava kalitesinin kötü olması, özellikle çocuklarda alerjik hastalık oranında artışa sebep olabilmektedir (Bayer vd., 1999). UOB ve formaldehitin olumsuz sağlık etkilerine karşı çocuklar en önemli risk grubunu oluşturmaktadırlar. Ek olarak, bunların BİS ile ilişkilendirilmesi, bu konuda araştırmaların gereğinin önemini artırmaktadır. Ülkemizde bu alanda yapılmış çalışmalar kısıtlıdır. Takip eden kısımda, çeşitli ülkelerde okullarda yapılmış UOB ve formaldehit derişimlerinin değerlendirildiği çalışmalar tartışılmaktadır.

Bina-içi hava kalitesi konusunda yapılmış bir derlemede, Avrupa'da Toplam Uçucu Organik Bileşikler (TUOB) derişimlerinin değişik koşullarda 0,1 ile 1,6 mg m<sup>-3</sup> arasında, formaldehit derişimlerinin ise 0,01 ile 0,35 ppm arasında değiştiği görülmüştür (Daisey vd., 2003).

Godvin ve arkadaşları (2007), Michigan’da rasgele seçtikleri dokuz okulda UOB derişimlerini ölçmüşlerdir (Mart-Haziran 2003). Ölçümler sonucunda, okullarda en yaygın olan UOB; benzene, etil benzen, toluen, ksilen, ve limonen olarak belirtilmiştir. Beklenildiği üzere dış ortam derişimleri bina-içi derişimlerinden daha düşük çıkmıştır. Godvin ve arkadaşları (2007), çalışmalarında okullarda iç ve dış hava TUOB derişim değerlerini sırası ile 58,0 ve 10,44  $\mu\text{g m}^{-3}$  olarak rapor etmişlerdir. Hong Kong’da rasgele seçilen beş ilköğretim okulunda yapılan çalışmada formaldehit derişimi, 100  $\mu\text{g m}^{-3}$  (1 saat ortalama) olan ulusal sınır değerini aşmamıştır (Lee vd., 1999). Lee ve arkadaşları daha sonraki çalışmasında, Hong Kong’da havalandırma sistemi olan 10 okulda UOB ve formaldehit derişimlerini ölçmüşlerdir (Lee vd., 2002). Aynı şekilde, formaldehit sınır derişim değerini aşmamıştır. Okullarda yaygın şekilde bulunan UOB ise Godvin ve arkadaşlarının yaptığı çalışmanın sonucuna benzer olarak; benzene, toluen, etil benzen, p/m-ksilen and o-ksilen olarak belirtilmiştir. Konuyla ilgili olarak, İsviçre’de Norback ve arkadaşları (1990) tarafından seçilen altı sınıfta UOB ve formaldehit ölçümleri yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda, ortalama iç hava UOB derişimi 70 ilâ 180  $\mu\text{g m}^{-3}$  arasında bulunmuştur. Formaldehit derişimi ise saptama sınır değerinin altında çıkmıştır ( $<10 \mu\text{g m}^{-3}$ ). İsviçre’de konuyla ilgili olarak yapılan bir başka çalışmada (Smedje vd., 1997) rasgele seçilen 38 ilköğretim okulunda, 96 sınıfta, Mart - Haziran (1993) ayları arasında örnekleme yapılmıştır. Norback ve arkadaşlarının çalışmasının sonuçlarına benzer olarak, formaldehit derişimi saptama sınır değerinin altında çıkmıştır ( $<5 \mu\text{g m}^{-3}$ ). Ölçülen 14 UOB’in toplam ortalama derişimi ise 35,5  $\mu\text{g m}^{-3}$  olarak belirlenmiştir. Yaygın olarak bulunan UOB ise önceki çalışmalara benzer şekilde, limonen, n-dekan, toluen, ve ksilen olarak rapor edilmiştir. Batı Avustralya’da Zhang ve arkadaşları (2006) tarafından üç ilköğretim okulunda benzer bir çalışmada 10 adet UOB ölçülmüştür (benzen, toluen, klorbenzen, m,p-ksilen, o-ksilen, etil benzen, stiren, 1,2-diklorobenzen, 1,3- diklorobenzen, ve 1,4- diklorobenzen). UOB derişim değerleri genelde saptama sınır değerinden düşük olarak rapor edilmiştir. Ölçülen 10 adet UOB düşük derişimlerde bulunmuş ve TUOB derişimi en yüksek değeri 94  $\mu\text{g m}^{-3}$  olmak üzere, 10  $\mu\text{g m}^{-3}$ ’ün üstünde ölçüldüğü belirtilmiştir. Bu alanda Türkiye’de Kocaeli’nde 3 okulda yapılan bir çalışmada benzen, toluen, etil benzen ve ksilenlerin derişimleri ölçülmüştür (Bozkurt vd., 2007). Çalışmanın sonucunda, bu bileşiklerin derişimleri, bina-içi havada sırasıyla 7,5  $\mu\text{g m}^{-3}$ , 55,05  $\mu\text{g m}^{-3}$ , 11,11  $\mu\text{g m}^{-3}$  ve 15,44  $\mu\text{g m}^{-3}$  olarak belirtilmiştir. Aktarılan diğer çalışmalarda olduğu üzere bu çalışmada da dış ortamda derişimler daha düşük çıkmıştır.

Ülkemizde bu güne kadar iç hava kalitesi konusunda okullarda yapılmış kapsamlı bir çalışmanın olmaması sebebiyle bölgemizde mevcut durumun tespit edilmesi için veri üretilmesine ihtiyaç olduğu görülmektedir. Halen yürütmekte olduğumuz bir çalışmayla, İzmir’de seçilen okullarda UOB ve formaldehit ölçümleri yapılarak mevcut bina-içi hava kalitesi değerlendirilecektir. Bu kapsamda, üç ilköğretim okulunda örnekleme öğretim yılı boyu gerçekleştirilerek, mevsim değişikliğinin UOB ve formaldehit derişimleri üzerindeki etkisi de incelenebilecektir. Bu bildiride çalışmamızın ön sonuçları olarak, iki okulda kış ve bahar dönemlerinde yapılan ölçüm sonuçları değerlendirilmektedir.

## **MATERYAL VE METOD**

Bu çalışma, İzmir metropolünde seçilen iki devlet ilköğretim okulunda yapılmıştır. Her iki okul da şehir merkezinde, trafiğin ve nüfusun yoğun olduğu bölgelerde (Balçova ve Güzelyalı) seçilmiştir. Bu çalışmada UOB ve formaldehit ölçümleri, her iki okulda test hacmi olarak seçilen bir sınıf içersinde ve okul bahçesinde olmak üzere bina-içi ve dış ortam

örneklemeleri şeklinde yapılmıştır. Her iki okulda, iki dönemde (kış ve ilkbahar), 9 bina-içi ve 3 dış hava örneği alınmıştır.

UOB örnekleme yapmak için USEPA TO-17 metodu (USEPA, 1999a) izlenmiştir. Pompa (AirChek-2000, SKC) kullanılarak hava örneği Tenax TA tüplerine toplanmıştır. UOB için belirtilmiş olan pompa akış hız aralığı içerisinde, akış hızı  $66,7 \text{ ml dk}^{-1}$  olarak ayarlanarak örneklemeden önce kalibre edilmiştir (Defender 510, Bios International Corp.). Tüpler, örnekleme yerine ışık almayan,  $+4^{\circ}\text{C}$  'de taşıma kavanozu ile getirilip, burada oda sıcaklığına gelene kadar bekletilmiştir. Örnek alma süresi tamamlandıktan sonra (1 saat) -olabildiğince hızlı bir şekilde- bağlı oldukları örnekleme borusundan çıkartılıp, uçlarına kapakları takılıp, taşıma kavanozunun içine yerleştirilmiştir. Sorbent tüpleri taşıyıcı kavanoz ile  $+4^{\circ}\text{C}$  'de laboratuvar ortamına taşınmıştır. Sorbent tüpleri analize kadar buzlukta ( $-27^{\circ}\text{C}$ ) saklanmıştır. Havada bulunan UOB, termal desorber ünitesini (UNITY, Markes) takiben bir gaz kromatograf (GC) (Agilent 6890N) ile analiz edilmiştir. GC'yi takiben bir kütle spektrometri (MS) detektörü (Agilent 5973Nms) UOB'ı tanımlamak ve miktarlarını belirlemek için kullanılmıştır. UOB analizi 60 adet bileşik (LGC-Promochem) için yapılmıştır.

Formaldehit ölçümleri USEPA TO-11 metodu (USEPA, 1999b) ile yapılmıştır. Formaldehit örnekleme için pompa (AirChek-2000, SKC) örneklemeden önce kalibre (Defender 510, Bios International Corp.) edilerek  $1300 \text{ ml dk}^{-1}$ 'ya ayarlanmış ve 1 saat boyunca örnekleme yapılmıştır. Tek kullanımlık DNPH-formaldehit sorbent tüpleri örneklemede kullanılmıştır. Sorbent tüplerinin örnekleme alanına getirilme ve örneklemeden sonra laboratuvara taşıma koşulları UOB için yapılan işlemle aynıdır. Örnekleme sonrası ekstraksiyon en geç iki hafta içerisinde gerçekleştirilmiştir. Ekstraksiyon işlemi için %99,9 saflıkta asetonitril (Merck) kullanılmıştır. Sorbent tüpünden havanın giriş yönüne ters şekilde 6 ml asetonitril geçirilerek, ekstrakt teflon kapaklı vialerde toplanmıştır. Formaldehit analizi HPLC (Agilent 1100) ile Zorbax (4,6-mm ID x 25-cm ) kolonu kullanılarak yapılmıştır.

Hava örneklemesinde uygulanan metodun güvenilirliğini test etmek için kalite güvence uygulamaları yapılmıştır. Örnekleme süresince tüplerde kirlilik oluşup oluşmadığını kontrol etmek amacıyla boş sorbent tüp örnekleri (field blank) analizlenmiş ve bu değerler saptama sınır değerlerini aşmamıştır. Belirtilen örnekleme süresince sorbent tüplerinden geçirilen hava hacminin fazla olup olmadığını kontrol etmek amaçlı seri şekilde iki tüp bağlanarak örnekleme yapılmıştır. Ayrıca örneklerin %10'u çift olarak alınmıştır. Bu parametreler, takip edilen USEPA metodlarında belirtilen şekilde kontrol edilmiştir. Buna göre, boş tüp örneklerindeki derişimler örnekleme yapılan tüpteki derişimlerin %10'unu, seri bağlanan tüplerde, ikinci tüpteki derişimler ilk tüpteki derişimlerin %5'ini, bileşiklerin saptama sınır değerleri 0.05 ppb'yi ve çift alınan örneklerde saptanan bileşiklerin derişim farkları %25'i aşmamalıdır. Hesaplamalar neticesinde, bu parametrelerin hiçbiri belirtilen değerleri aşmamış ve metod güvenilirliği ortaya konmuştur.

## SONUÇLAR

Bu bildiri Ertuğrul Gazi ve Güzelyalı ilköğretim okullarında (İÖO) kış ve bahar dönemlerinde yapılan çalışma neticesinde, birer sınıfta ölçülen UOB ve formaldehit derişimleri sunulmaktadır. Bu derişimler, örnekleme döneminde okul bahçesinde ölçülen dış hava derişimleriyle karşılaştırılmaktadır. Bunlara ek olarak, sınıf kirletici derişimlerinin mevsimsel değişkenliği, kış ve bahar dönemlerindeki derişimleri karşılaştırılarak incelenmektedir.

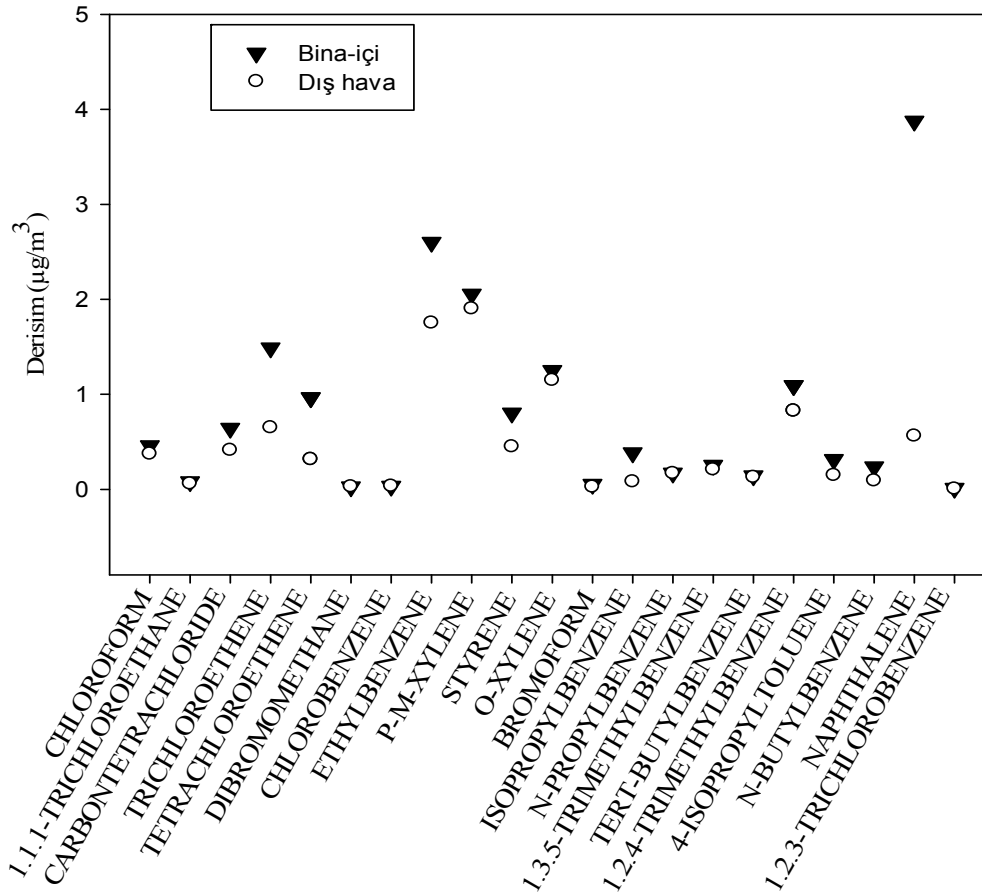
Ertuğrul Gazi İÖÖ'nda kış dönemi örneklerinde, 34 adet UOB tespit edilmiştir. Bu bileşiklerden altısı, alınan örneklerin %50'sinden daha azında (1,2-dikloropropan, 1,1,2,2-tetrakloroetan, 1,2,3-trikloropropan, sek-butilbenzen, 1,3-diklorobenzen ve dibromoklorobenzen), dokuzu örneklerin %71 ile %99'unda (kloroform, 1,1,1-trikloroetan, karbon tetraklorit, dibromometan, klorobenzen, bromoform, isopropilbenzen, 1,2,4-triklorobenzen ve 1,2,3-triklorobenzen), 17 tanesi ise bütün hava örneklerinde saptanmıştır (benzen, trikloroeten, toluen, tetrakloroeten, etilbenen, p-m ksilen, sitren, o-ksilen, n-propilbenzen, 1,3,5-trimetilbenzen, tertbutilbenzen, 1,2,4-trimetilbenzen, 4 isopropiltoluen, 1,4-diklorobenzen, n-butilbenzen, naftalin ve 1,2,3-triklorobenzen). En yaygın bulunan bu bileşiklerden benzen, toluen, ksilenler (o/p/m), 1,4-diklorobenzen ve naftalin en yüksek ortalama derişim değerlerine sahiptir (sırasıyla; 16,4; 25,7; 3,31; 50,9 ve 3.88  $\mu\text{g m}^{-3}$ ). Bu bileşikler, dış hava örneklerinde de, en yüksek derişimlerde saptanmıştır. Bu nedenle, bu bileşiklerin en önemli kaynağı dış ortam olarak düşünülebilir. 1,4-diklorobenzen bileşiğı, deodorantların ve tuvaletlerde kullanılan koku gidericilerin içeriğinde bulunmaktadır; ayrıca lavabolarda kullanılan küçük top şeklinde naftalin içerikli koku gidericilerde de bu bileşik mevcuttur. Bu kaynaklar düşünüldüğünde, örnekleme yapılan sınıf kapısının tuvalet kapısına yakın olması ve tuvalet kapısının genelde açık olması sebebiyle bu bileşiğın test hacminde yüksek derişimlerde ölçülmüş olması açıklanabilir.

Ertuğrul Gazi İÖÖ'nda, dış ortamdan toplanan örneklerin analizleri sonucunda, bina-içindekine benzer bileşikler, örneklerin % 70'inin üzerinde görülmüştür. Bina-içi ve dış hava örneklerinde en sık ( $\geq\%70$ ) ve yüksek derişimlerde bulunan organik bileşiklerin ortalama değerlerine göre karşılaştırması Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu okulda, sınıfta yapılan örnekleme neticesinde, kış dönemi için bina-içi TUOB değeri (ortanca), 86,80  $\mu\text{g m}^{-3}$  olarak hesaplanmıştır. Bu değer dış ortamda 49,10  $\mu\text{g m}^{-3}$  olmuştur. TUOB derişimleri bina-içi ve dış havadaki Mann-Whitney Rank Sum testi uygulanarak karşılaştırılmış ve bina-içi ve dış hava örneklerindeki TUOB derişimleri arasında kayda değer bir fark olduğu bulunmuştur ( $p=0,027$ ).

Güzelyalı İÖÖ'nda, kış döneminde elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, 26 uçucu organik bileşik tespit edilmiştir. Bu bileşiklerden sadece ikisi örneklerin %50'sinden daha azında saptanmıştır (dibromoklorometan, heksaklorbutadien). Örneklerin %71 ile %99'unda ise, altı bileşik tespit edilmiştir (1,1,1-trikloroetan, dibromometan, bromoform, 1,2,4-triklorobenzen ve tertbutilbenzen). Örneklerin tamamında ise 18 adet bileşik bulunmuştur ki; bunlar karbon tetraklorit, benzen, trikloroeten, toluen, tetrakloroeten, etilbenen, p-m ksilen, sitren, o-ksilen, 1,3,5-trimetilbenzen, 1,2,4-trimetilbenzen, 4-isopropiltoluen, 1,3-diklorobenzen, n-butilbenzen, naftalin, klorobenzen, isopropilbenzen, n-propilbenzendir. Ertuğrul Gazi İÖÖ'ndaki sınıf örneklerinde olduğu gibi, en yaygın olan bileşiklerden, en yüksek ortalama derişim değerleri yine benzen, toluen, ksilenler, naftalin ve farklı olarak 1,3 diklorobenzen için çıkmıştır. Bu bileşiklerin derişimleri sırasıyla; 10,6  $\mu\text{g m}^{-3}$ , 26,5  $\mu\text{g m}^{-3}$ , 1,7  $\mu\text{g m}^{-3}$ , 4,1  $\mu\text{g m}^{-3}$  ve 1,8  $\mu\text{g m}^{-3}$  olarak bulunmuştur. Ertuğrul Gazi İÖÖ'ndaki derişimlerden farklı olarak, burada 1,3 diklorobenzen bileşiğı yüksek derişimde bulunmuştur.

Güzelyalı İÖÖ'nda, dış havada yapılan örnekleme %70'inde tespit edilen bileşikler, bina-içinde bulunan bileşiklerle benzerdir. Bu sonuç, Ertuğrul Gazi İÖÖ'ndaki sonuçla tutarlıdır. Bina-içi ve dış havada, bu bileşiklerden en yüksek derişimlerde bulunanların ortalama derişim değerlerinin karşılaştırılması Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil 1 ve 2'de karşılaştırılan bileşiklere bakıldığında, benzer oldukları görülmektedir. Bu durum, her iki okulda da yaygın olarak bulunan, yüksek derişimlerdeki bileşiklerin benzer olduğunu göstermektedir. Ayrıca,

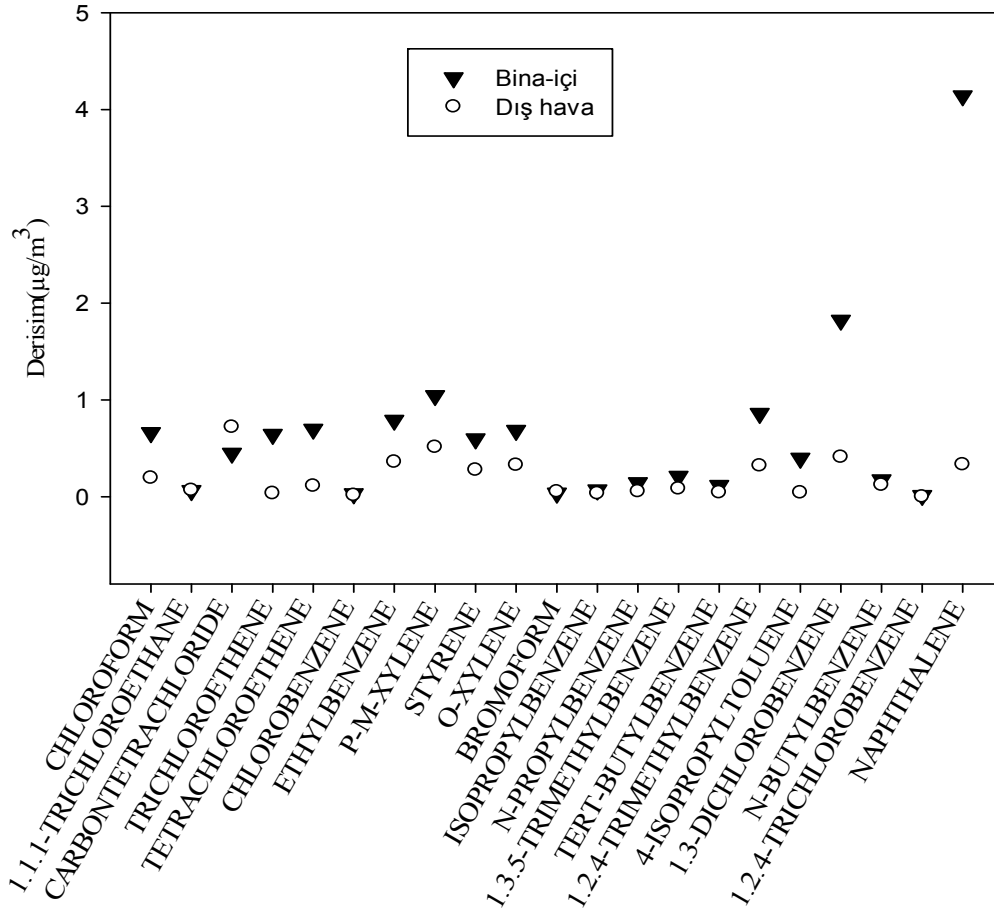
grafiklerden de anlaşılacağı üzere, iç ve dış derişim değerlerinin yakın olduğu bileşiklerin öncelikli kaynağının dış hava olduğu söylenebilir. Literatürde bu bileşiklerden bazılarının (1,1,1-trikloroetan, 1,3,5-trimetilbenzen, ksilenler, karbon tetraklorit) dış kaynaklı olabildiği sonucuna varılmıştır (Serrano vd., 2004; Ohura vd., 2006; Srivastava vd., 2006).



**Şekil 1.** Ertuğrul Gazi İÖO Kış dönemi ortalama bina-içi ve dış hava UOB derişimleri

Güzelyalı İÖO'nda, kış dönemi için TUOB ortanca değerleri, iç ve dış ortamlar için sırasıyla 24,35 ve 13,27  $\mu\text{g m}^{-3}$  olarak bulunmuştur. Ertuğrul Gazi İÖO'nda çıkan sonuçlarla tutarlı olarak iç havada bulunan TUOB derişimi dış havadakinden daha büyüktür. Mann-Whitney Rank Sum testi sonucu bina-içi ve dış havada bulunan TUOB derişimlerinin istatistiksel olarak farklı olduğu görülmüştür ( $p \leq 0,001$ ).

Ertuğrul Gazi İÖO'nda, bahar döneminde 27 uçucu organik bileşik bulunmuştur. Bunlardan iki tanesi (1,2-dibromometan ve 1,2,3-triklorobenzen) örneklerin %50'sinin daha azında, altı tanesi (1,1,1-trikloroetan, dibromometan, klorobenzen, bromoform, sek-butilbenzen ve 1,2,4-triklorobenzen) örneklerin %71 ile %99'unda saptanmıştır. Örneklerin hepsinde bulunan bileşikler ise şöyledir: kloroform, karbon tetraklorit, benzen, trikloroeten, toluen, tetrakloroeten, etilbenzen, p-m ksilen, sitren, o-ksilen, isoprpilbenzen, 1,3,5-trimetilbenzen, tert-butilbenzen, 1,2,4-trimetilbenzen, 4-isopropiltoluen, 1,4-diklorobenzen, n-butilbenzen ve naftalin. Bu bileşikler, kış döneminde örneklerin tamamında saptanan bileşiklerle aynıdır.

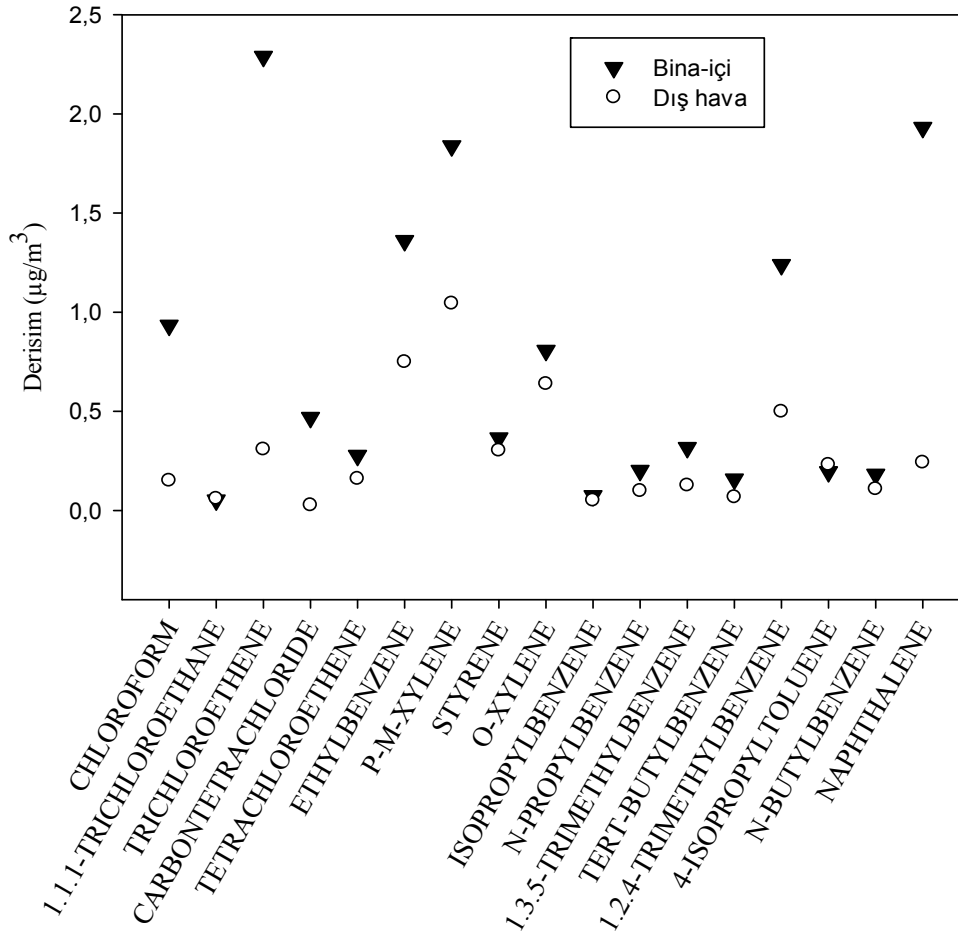


**Şekil 2.** Güzelyalı İÖO kış dönemi bina-içi ve dış hava ortalama UOB derişimleri

Kış dönemi için yapılan değerlendirme yöntemine benzer olarak, bahar dönemi içinde bina-içi ve dış hava örneklerinin %70'inde bulunan bileşiklerin ortalama derişimleri grafik olarak gösterilmiştir (Şekil 3). İç ve dış hava derişim oranları (İ/D) 1'e yakın olan bileşiklerin (karbontetraklorit, klorobenzen, bromoform, isopropil benzen, n-propilbenzen, n-butilbenzen ve 1,2,4-triklorobenzen) dış kaynaklı olduğu, İ/D oranın >2 olan bileşiklerin (kloroform, trikloroeten, tetrakloroeten, etilbenzen, ksilenler, sitren, 1,2,4-trimetilbenzen ve naftalin) ise bina-içi kaynaklı olduğu düşünülebilir. Bahar döneminde, iç ve dış havada bulunan uçucu organik bileşiklerin toplam derişimlerinin ortanca değerleri 57,95 ve 13,52  $\mu\text{g m}^{-3}$  olarak hesaplanmıştır. Ayrıca belirtilen istatistiksel metot ile incelenerek, iç ve dış hava ortamındaki TUOB derişim değerleri arasında önemli bir fark olduğu bulunmuştur ( $p \leq 0,001$ ).

Bahar döneminde yapılan örneklemede, Güzelyalı İÖO'nda sınıf içerisinde 24 adet bileşik bulunmuştur. Bunlardan yedi tanesi (kloroform, 1,1,1-trikloroetan, karbon tetraklorit, benzen, klorobenzen, bromoform, 1,1,2,2- tetrakloroetan) örneklerin %71 ile %99'unda, 17 tanesi her örnekte bulunmuştur (trikloroeten, toluen, tetrakloroeten, etilbenzen, p-m ksilen, sitren, o-ksilen, isoprpilbenzen, n-propilbenzen, 1,3,5-tirimetilbenzen, tert-butilbenzen, 1,2,4-trimetilbenzen, sek-butilbenzen, 4-isopropiltoluen, 1,3-diklorobenzen, n-butilbenzen ve naftalin). Bina-içi ve dış havada yaygın olarak bulduğumuz bileşiklerin ortalama derişim

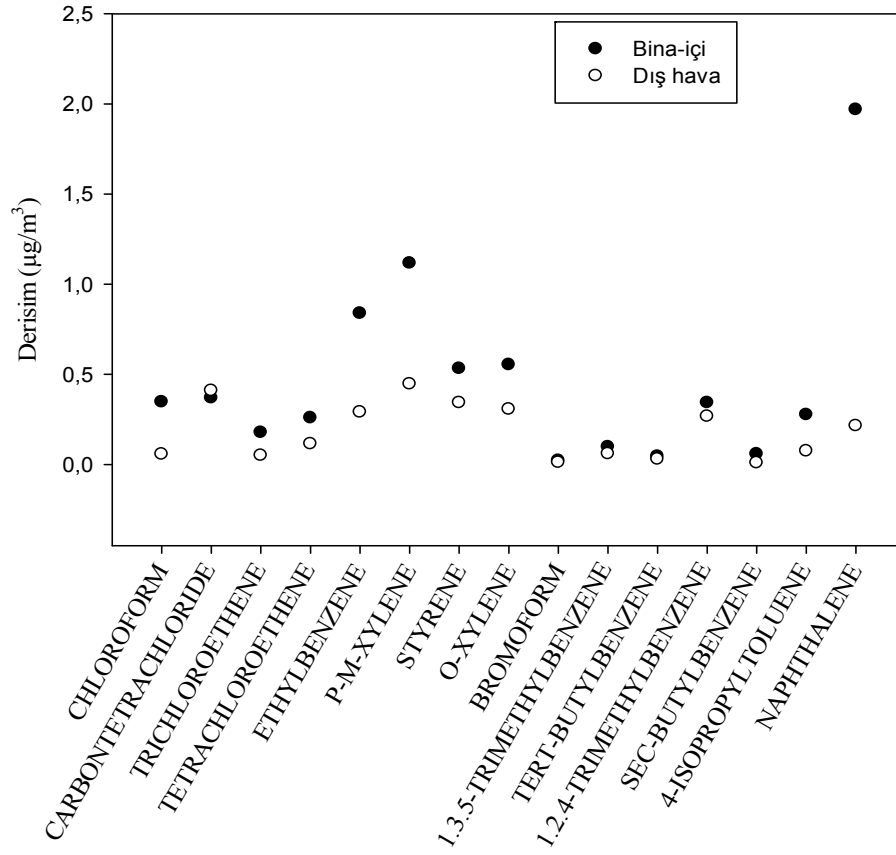




Şekil 3. Ertuğrul Gazi İÖO Bahar dönemi ortalama bina-içi ve dış hava UOB derişimleri

değerleri Şekil 4'te gösterilmiştir. Çoğu bileşik için iç-dış hava derişimlerinin benzer olduğu görülürken, kloroform, etilbenzen, ksilenler, sitren ve naftalin için İ/D oranı >2 olup bina-içi kaynaklı oldukları söylenebilir. Godwin vd. (2007) ile Ohura vd. (2006) çalışmalarında, bu bileşiklerin bina-içi kaynaklı olduğu görülmüştür. İç ve dış havadaki TUOB ortanca derişim değerleri ise sırasıyla 25,25 ve 9,89  $\mu\text{g m}^{-3}$  olarak hesaplanmış ve istatistiksel değerlendirme neticesinde, bu değerler arasında önemli ölçüde fark olduğu bulunmuştur ( $p \leq 0,001$ ).

Bahar ve kış dönemlerinde her iki okulda bina-içi ve dış havadan alınan örneklerle formaldehit derişimleri de incelenmiştir. Kış dönemi derişimleri için betimleyici istatistikler Tablo 1'de, bahar dönemi için ise Tablo 2'de sunulmuştur. Bina-içi ve dış havadaki derişim karşılaştırılması verilerin normal dağılım göstermesi nedeniyle, t-test uygulanması neticesinde her iki dönem ve her iki okul için de, iç ve dış hava derişimleri arasında fark olduğu bulunmuştur ( $p \leq 0,004$ ). Ancak bu karşılaştırma kış ve bahar dönemindeki bina-içi hava derişimleri için gerçekleştirildiğinde, önemli ölçüde bir farkın olmadığı sonucu çıkmıştır. Ertuğrul Gazi İÖO'ndaki bina-içi hava derişim değerleri kış ve bahar dönemleri için t-test uygulanarak karşılaştırılmış ve  $p$  değeri 0,947 çıkmıştır; bu değer Güzelyalı İÖO için 0,46 olarak hesaplanmıştır.



**Sekil 4.** Güzelyalı İÖO bahar dönemi bina-içi ve dış hava ortalama UOB derişimleri

**Tablo1.** Kış dönemi bina-içi ve dış hava formaldehit derişimleri için tanımlayıcı istatistikler

	GÜZELYALI		ERTUĞRUL GAZİ	
	Bina-içi (n=9)	Dış Hava (n=3)	Bina-içi (n=9)	Dış Hava (n=3)
Ortalama	30,78	7,15	44,36	7,64
Ortanca	32,2	6,43	42,58	7,75
Standart Sapma	15,57	1,6	22,92	0,38
%95 Güven aralığı	11,97	3,96	17,62	0,93
Maksimum	10,73	6,05	80,39	7,23
Minimum	51,29	8,99	8,858	7,95

**Tablo 2.** Bahar dönemi bina-içi ve dış hava formaldehit derişimleri için tanımlayıcı istatistikler

	GÜZELYALI		ERTUĞRUL GAZİ	
	Bina-içi (n=9)	Dış Hava (n=3)	Bina-içi (n=9)	Dış Hava (n=3)
Ortalama	35,82	7,21	43,73	7,64
Ortanca	36,56	3,96	46,42	7,73
Standart Sapma	12,52	6,54	16,13	1,33
%95 Güven aralığı	9,63	16,2	12,4	3,29
Maksimum	18,5	2,93	15,75	6,28
Minimum	62,17	14,7	61,95	8,93

## TARTIŞMA

Her iki okul için bahar ve kış dönemlerinde, sınıflarda ölçülen çoğu UOB ve formaldehit derişimleri, literatürde olduğu gibi, dış havadaki derişimlerden yüksek çıkmıştır (Khoder vd., 2002; Rehwagen vd., 2003; Bozkurt vd., 2007; Godwin vd., 2007). Bu bileşiklerden İ/D oranının en yüksek (>2) olanları (kloroform, etilbenzen, ksilenler, sitren ve naftalin) bina-içi kaynaklı olduğu düşünülebilir. Bina-içi ve dış havada saptanan bileşiklerden bazılarının (karbontetraklorit, klorobenzen, bromoform, isopropil benzen, n-propilbenzen, n-butilbenzen ve 1,2,4-triklorobenzen) derişim oranları 1'e yakın çıkmıştır; dolayısıyla bu bileşikler için dış kaynaklı oldukları söylenebilir. TUOB ortalama derişim değerleri sınıf içerisinde en düşük  $32,1 \mu\text{g m}^{-3}$ , en yüksek  $104 \mu\text{g m}^{-3}$  olarak hesaplanmıştır. Bu değerler incelenmiş olan çalışmaların sonuçlarına göre genelde daha yüksektir (Smedje vd., 1997; Zhang vd., 2006; Godwin vd., 2007). Diğer ülkelerde yapılmış çalışmalarda olduğu gibi (Girman vd., 1999; Adgate vd., 2004; Godwin vd., 2007) bu çalışmada da sınıflarda en yaygın olarak benzen, toluen, ksilenler, etil benzen ve naftalin bileşikleri bulunmuştur. Bozkurt ve arkadaşları (2007) tarafından, Kocaeli'nde üç okulda, sınıflarda ölçülen UOB derişimleri, bu çalışmada ölçülenlerden daha yüksek çıkmıştır. Formaldehit derişim değerleri incelendiğinde, diğer ülkelerde yapılmış çalışmalarda genelde belirlenmiş sınır değerlerini ( $<10 \mu\text{g m}^{-3}$ ) aşmamıştır. Bu çalışmadaki değerler ise  $30,78$  ile  $44,36 \mu\text{g m}^{-3}$  arasında bulunmuştur. Ankara'da kahvehanelerde yapılmış olan bir çalışmada formaldehit derişimi ortalama olarak  $245,6 \mu\text{g m}^{-3}$  olarak bulunmuştur. Kahvehanelerdeki formaldehit derişimi sigara kullanımı nedeniyle yüksek değerlerde ölçülmüş olup, beklenildiği üzere ilköğretim okullarındaki bina-içi derişimlerden daha yüksek bulunmuştur. Bu çalışmada UOB ve formaldehit derişimlerinde mevsimsel değişimin etkisi de incelenmiştir. TUOB değerleri her okul için bahar ve kış dönemlerinde karşılaştırıldığında aralarında kayda değer bir fark olmadığı bulunmuştur (Ertuğrul Gazi İÖO için  $p=0,133$  ve Güzelyalı İÖO için  $p=0,377$ ).

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 105Y263 No'lu proje tarafından desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

Alyüz, B. ve Veli, S. 'İç Ortam Havaında Bulunan Uçucu Organik Bileşikler ve Sağlık Üzerine Etkileri', *Trakya Univ J Sci*, 7(2): 109-116, 2006.

American Lung Association, Diseases-Asthma & Children Fact Sheet 2007.

Bayer C.W. ve Crow S.A. Causes of Indoor Air Quality In Problems In Schools, *National Technical Information Service*, U.S, 24-27, 1999

Bozkurt, Z., Arslanbas, D., Pekey, H., Pekey, B., Zararsiz, A., Dogan, G., Dumanoglu, Y.S., Bayram, A., Efe, N. ve Tuncel, G. Kocaeli'nde Farkli mikrocevrelerde Ucucucu Organik Bilesikler, Agir metaller ve Inorganik Gaz Fazi Kirleticilerin Ic ve Dis Ortam Seviyelerinin Belirlenmesi, 8. Ulusal Tesisat Muhendisligi Kongresi, 385-394, 2007

Brown, S. K. Assessment of Pollutant emissions from Dry-Process Photocopiers, *Indoor Air*, Vol. 9, 259-267, 1999.

Daisey, J.M., Angell, W.J. ve Apte, M.G. Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information, *Indoor Air*. Vol. 13, 53-64, 2003.

Demir, A., U., Karakaya, G., Bozkurt, B., Sekerel, B. E., ve Kalyancu, A. F. Asthma and Allergic Diseases in School Children:Thirdcross-Sectional Surveyin the Same Primary School in Ankara,Turkey, *Pediatric Allergic and Immunology*, 15: 531-538, 2004.

Evcı, D., Vaizoglu, S., Ozdemir, M., Aycan, S. ve Guler, C. Ankara'da 46 Kahvehanede Formaldehit Duzeylerinin Belirlenmesi, *TSK Koruyucu Hekimlik Bulteni*, 4(3): 129-135, 2005.

Girman, J.R., Hadwen, G.E., Burton, L.E., Womble, S.E. ve McCarthy, J.F. Individal volatile organic compound prevalence and concentrations in 56 buildings of the building assessment survey and evaluation (BASE) study, Indoor Air 99 - Conference Proceedings, 1999.

Godwin, C. ve Batterman, S. Indoor air quality in Michigan schools, *Indoor Air*, 17, 109-121, 2007.

Godish, T. Indoor Environmental Quality, CRC Press LLC, 2000.

Guo, H. ve Murray, F. Characterization of Total Volatile Organic Compound Emissions From Paints, *Clean Product and Processes*, 2, 28-36, 2000.

Guo, H. ve Murray, F. Determination of Total Volatile Organic Compound Emissions from Furniture Polishes, *Clean Prod Processes*, 3, 42-48, 2001.

Kalyoncu, A.F., Selçuk, Z.T., Enünlü, T., Demir, A.U., Çöplü, L., Şahin, A.A. ve Artvinli, M. Prevalence of Asthma and Allergic Diseases in Primary School Children in Ankara, Turkey: Two Cross-Sectional Studies, Five Years Apart, *Pediatric Allergy and Immunology*, 10, 261-265, 1999.

Kelly, T. J., Smith, D. L. ve Satola, J. Emission Rates of Formaldehyde from Materials and Consumer Products Found in California Homes, *Environmental Science Technology*, 33, 81-88, 1999.

Lee, S. C., Guo, H., Li, W. M. ve Chan, L. Y. Inter-Comparison of Air Pollutant Concentrations in Different Indoor Environmnets in Hong Kong, *Atmospheric Environment*. 36, 1929-1940, 2002.

Lee, S.C.ve Chang, M. Indoor and outdoor air quality investigation at schools in Hong Kong, *Chemosphere*, 41, 109-113, 2000.

Lee, CW., Dai, YT., Chien, CH. ve Hsu, DJ. Characteristics and Health Impacts of volatile Organic Compounds in Photocopy Centers, *Environmental Research*, 100, 132-149, 2006.

Maroni, M., Seifert, B. ve Lindvall, T. Indoor Air Quality, A Comprehensive Reference Book, *Elsevier Science*, 29-87, 1995.

Mendell, M.J. ve Heath., G.A. Do Indoor Pollutants and Thermal Conditions in schools Influence Student Performance? A Critical Review of the Literature, *Indoor Air*, 15, 27-52, 2005.

Norback, D., Torgen, M. ve Edling, C. Volatile organic compounds, respirable dust, and personal factors related to prevalence and incidence of sick building syndrome in primary schools, *British Journal of Industrial Medicine*, 47(11), 733-41, 1990.

Ohura, T., Amagai, T., Senga, Y. ve Fusaya, M. Organic air pollutants inside and outside residences in Shimizu, Japan: Levels, sources and risks, *Science of the Total Environment*, (366), 485-499, 2006.

Park, J. S. ve Ikeda, K. Variations of Formaldehyde and VOC Levels during 3 Years in New and Older Homes, *Indoor Air*, 16, 129-135, 2006.

Selçuk, Z.T., Çağlar, T., Enünlü, T. Ve Topal, T. The Prevalence of Allergic Diseases in Primary School Children in Edirne, Turkey, *Clinical and Experimental Allergy*, 27, 262-269, 1997.

Serrano, P. I., Ryan, L. ve Spengler, J. D. Ambient, Indoor and Personal exposure Relationships of volatile Organic Compounds in Mexico City Metropolitan Area, *Journal of Exposure analysisi and environmental Epidemiology*, 14, S118-S132, 2004.

Smedje, G., Norback, D. ve Edling, C. Subjective Indoor Air Quality in Schools in Relation to Exposure, *Indoor Air*, 7, 143-150, 1997.

Soysal, A. ve Demiral, Y. Kapali Ortam Hava Kirliligi, *TSK Koruyucu Hekimlik Bulteni*; 6(3):221-226, 2007.

Srivastava, A. ve Devotta, S. Indoor Air Quality of Public Places in Mumbai, India in Terms of Volatile Organic Compounds, *Environ Monit Assess.* DOI10.1007/s10661-006-9566-1 2006.

TenBrinke, J., Ph.D. Thesis, Development of New VOC Exposure Metrics and Their Relationship to “Sick Building Syndrome” Symptoms, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, Berkeley, USA, 1995.

TenBrinke, J., Selvin, S., Hodgson, A.T., Fisk, W.J., Mendell, M.J., Koshland, C.P. ve Daisey, J.M. Development of new volatile organic compound (VOC) exposure metrics and their relationship to “Sick Building Syndrome” symptoms, *Indoor Air*, 8, 140-152, 1998.

Tufekci, E.T. Uçucu Organik Bileşiklerin Adsorbent Tüp Yöntemi ile Orneklenmesi ve Termal desorpsiyon-Gaz Kromatografi Yöntemi ile Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, 139871, 2003.

USEPA, Method TO-17, Determination of Volatile Organic Compounds in Ambient Air Using Active Sampling onto Sorbent Tubes, Office of Research and Development, Cincinnati, Ohio, 1999a.

USEPA, Method TO-11A, Determination of Formaldehyde in Ambient Air Using Adsorbent Cartridge Followed by High Performance Liquid Chromatography (HPLC) [Active Sampling], Office of Research and Development, Cincinnati, Ohio, 1999b.

Wiglusz, R., Sitko, E., Nikel, G., Jarnuszkiewicz, I. ve Igielska, B. The effect of temperature on the emission of formaldehyde and volatile organic compounds (VOCs) from laminate flooring —case study, *Building and Environment*, 37, 41-44, 2002.

Zhang, G., Spickett, J., Rumchev, K., Lee, A.H. ve Stick, S. Indoor environmental quality in a ‘low allergen’ school and three standard primary schools in Western Australia, *Indoor Air*. 16, 74-80, 2006.