

# İLKÖĞRETİM OKULLARINDA BİNA-İÇİ HAVA UÇUCU ORGANİK MADDE DERİŞİMLERİ: DERSLİKLER İLE ANASINIFLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Güler ASLAN  
Aysun SOFUOĞLU  
Fikret İNAL  
Mustafa ODABAŞI  
Sait C. SOFUOĞLU

## ÖZET

İlköğretim Okullarında Bina-İçi Çevresel Kalitenin Değerlendirilmesi projesi çerçevesinde İzmir'de üç ilköğretim okulunda (bir derslik ve ana sınıfında) iç hava uçucu organik bileşik (UOB) derişimleri ölçülmüştür. Okullarda sınıflar ile anasınıfları karakter itibarıyla farklılık göstermektedir. Döşeme ve dekorasyonda kullanılan malzemeler, sınıf içi faaliyetlerde kullanılan malzemeler, nüfus yoğunluğu, mutfak ile fiziki bağlantı gibi değişkenler bu iki mikroçevre arasında farklılık göstermektedir. Dolayısıyla, bu iki ortamın farklı iç hava kaliteleri olacağı varsayılabilir. Bu çalışmada, bu farklılık önemli bir bina-İçi hava kirletici grubu olan UOB'ler açısından incelenmiştir. Kirletici ölçümleri, bahar mevsiminde gerçekleştirilmiştir. Her bir sınıftan 9, anasınıfından 3 örnek bir pompa vasıtasıyla Tenax-TA içeren çelik tüplerde toplanıp Gaz Kromatografi - Kütle Spektrometri - Termal Desorpsiyon sisteminde analiz edilmiştir. Bu çalışmada örneklerin büyük kısmında tespit edilen ve diğer UOB'lere göre daha yüksek derişimlerde olan benzen, toluen, p,m- ve o-ksilen, naftalin, (1,3 ve 1,4)-diklorobenzen bileşikleri ve Toplam UOB derişimleri irdelenmiştir. Sonuçlar anasınıflarında ölçülen Toplam UOB derişimlerinin dersliklerde ölçülenlerden yaklaşık iki katı daha yüksek olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İlköğretim okulları, anasınıfı, bina-İçi hava kalitesi, uçucu organik bileşikler

## ABSTRACT

Volatile Organic Compounds (VOC) concentrations were measured in kindergarten and classrooms of three schools in İzmir, Turkey as part of the Assessment of Indoor Environmental Quality in Primary Schools research project. The properties like flooring and decoration materials, materials used for classroom activities, population density, and existence of a kitchen differ between these two different microenvironments. Therefore, indoor air quality in these two microenvironments may be different. In this study, indoor air samples were analyzed for VOCs which is one of the important indoor air pollutant groups. The sampling was performed in spring term. Nine and three samples were collected from classrooms and kindergartens, respectively. Active sampling was performed for VOCs by using Tenax-TA sorbent tubes. VOCs were analyzed using a thermal desorption - gas chromatography - mass spectrometry system. In this study, concentrations of compounds that were detected in almost all indoor air samples (benzene, toluene, xylenes, naphthalene, 1.3- and 1.4-dichlorobenzene) and total VOC concentration were considered. Comparison of the mean concentrations showed that the median TVOC concentrations in kindergartens were approximately two times higher than that of in classrooms.

**Key Words:** Primary schools, kindergarten, indoor air quality, Volatile Organic Compounds

## GİRİŞ

Günümüzde insanlar zamanlarının büyük çoğunluğunu kapalı ortamlarda geçirmektedir. Bina-içi hava, konutlar, endüstriyel olmayan işyerleri, halka açık binaların (okul, hastane vb.) içindeki hava olarak kabul edilmektedir [1]. Bu konuda yapılan çalışmalar, iç ortam havasının bazı kirleticiler açısından kirli olduğunu ve dış ortam havasında bulunan kirletici seviyelerinden daha yüksek seviyede kirletici içerebildiğini göstermiştir. 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) 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 düşünülüğünde, 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 [2] bina-içi hava kalitesi ve çocukların performansları ile ilgili derlemesinde, iç hava kirleticilerinin çocukların performanslarını ve derse katılımlarını olumsuz yönde etkilediğini belirtmiştir. 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. İlköğretim okullarında ve liselerde çocukların derslere katılmadığı günlerin %20'si astım hastalığı sebebiyledir [3]. Türkiye'de de astım, çocuklarda görülen önemli bir hastalıktır. Demir ve arkadaşları [4], 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 [5] 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'lerin kaynama noktaları 50-260 °C arasında değişmektedir [6]. 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 olumsuz sağlık etkileri yaratabilir. UOB'lere fazla maruz kalındığında gözlenen bazı sağlık sorunları içerisinde baş dönmesi, baş ağrısı ve mide bulantısı sayılabilir. Alerjik deri reaksiyonları ve astımı şiddetlendirmesi gibi akut etkilerinin de olduğu belirtilmektedir. Ayrıca benzen gibi bazı UOB'lere uzun süre maruz kalınmasının kansere yol açtığı görülmüştür [6]. Bunlara ek olarak, UOB'lerin "Hasta Bina Sendromu" (HBS) ya da Binayla İlgili Semptomlar (BİS) ile ilgili olduğu düşünülmektedir. BİS, kişilerde bina içerisindeyken yaygın olarak mukus membran iritasyonu, nörotoksik etkiler, solunum ve deri sorunları gibi rahatsız edici belirtilerin görülmesi, binadan uzaklaşma ile bu belirtilerde iyileşme görülmesi şeklinde tanımlanabilir [7].

Uçucu Organik Bileşikler boya, vernik, yapıştırıcı ve inşaat malzemelerinin yapısında bulunmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda bu malzeme ve ürünlerin kullanıldığı binalarda uçucu organik bileşiklere sıkça rastlanıldığı bildirilmiştir [8,9]. Özellikle okul ve ofis ortamlarında kullanılan yazıcılar ve fotokopi makineleri, iç ortam havası için önemli birer UOB kaynaklarıdır [10]. Yapılan araştırmalarda, fotokopi çekme işlemi sırasında havaya ozon gazıyla birlikte pek çok uçucu organik bileşiğin yayıldığı belirlenmiştir [11,12]. İç ortamlarda bulunan UOB'lerin önemli bir diğer kaynağı ise yoğun trafiğe sahip dış mekanlardır. Trafığın Toplam UOB (TUOB) emisyonuna katkısı diğer kaynaklara oranla oldukça önemlidir. TUOB emisyonunun yaklaşık %35'i egzoz emisyonu veya araçlardan buharlaşma sonucuyla yayılır [13].

Okul binaları için, yüksek nüfus 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 [3]. UOB'lerin olumsuz sağlık etkilerine karşı çocuklar en önemli risk grubunu oluşturmaktadırlar. Ek olarak, bunların BİS ile ilişkilendirilmesi, bu konuda araştırmaların gerekliliğini ve önemini artırmaktadır. Ülkemizde bu alanda yapılmış çalışmalar kısıtlıdır. Aşağıda, çeşitli ülkelerde okullarda yapılmış UOB derişimlerinin değerlendirildiği çalışmalar tartışılmaktadır.

Bina-içi hava kalitesi konusunda yapılmış bir derlemede, Avrupa'da TUOB derişimlerinin değişik koşullarda 100 ile 1,600  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında değiştiği görülmüştür [14]. Godvin ve arkadaşları [15], Michigan'da rasgele seğtikleri dokuz okulda UOB derişimlerini ölçmüşlerdir. Ölçümler sonucunda, okullarda en yaygın olan UOB'ler; benzen, etil benzen, toluen, ksilen, ve limonen olarak belirtilmiştir. Godvin ve arkadaşları (2007), çalışmalarında okullarda iç hava TUOB derişim değerini 58,0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak rapor etmişlerdir. Lee ve arkadaşları [16], Hong Kong'da mekanik havalandırma sistemi olan 10 okulda UOB derişimlerini ölçmüşlerdir. Okullarda yaygın şekilde bulunan UOB'ler ise Godvin ve arkadaşlarının [15] yaptığı çalışmanın sonucuna benzer olarak; benzen, toluen, etil benzen, p/m-ksilen ve o-ksilen olarak belirtilmiştir. Konuyla ilgili olarak, İsviçre'de Norback ve arkadaşları [17] tarafından seçilen altı derslikte UOB lmleri yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda, ortalama iç hava TUOB derişimleri 70 ilâ 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında bulunmuştur. İsviçre'de yapılan bir başka çalışmada [18] ise rastgele seçilen 38 ilköğretim okulunda, 96 derslikte rneklemeye yapılmıştır. Ölçülen 14 UOB'in toplam ortalama derişimi ise 35,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak belirlenmiştir. Yaygın olarak bulunan UOB'ler ise önceki çalışmalara benzer şekilde, limonen, n-dekan, toluen, ve ksilen olarak rapor edilmiştir. Batı Avustralya'da üç ilköğretim okulunda benzer bir çalışmada [19] 10 adet UOB ölçülmüştür (benzen, toluen, klorobenzen, 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'in toplam derişimi en yüksek değeri 94  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak belirtilmiştir. Bu alanda Türkiye'de Kocaeli'nde üç okulda yapılan bir çalışmada [20] benzen, toluen, etil benzen ve ksilenlerin derişimleri ölçülmüştür. Çalışmanın sonucunda, bu bileşiklerin derişimleri, bina-içi havada sırasıyla 7,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 55,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 11,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ve 15,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak bildirilmiştir.

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 görülmüştür. İzmir'de seçilen okullarda, birer derslikte ve anasınıflarında olmak üzere, UOB lmleri yapılmıştır. Bu bildiride dersliklerde ve anasınıflarında bahar döneminde llen UOB derişim değerleri karşılaştırılmıştır.

**Tablo 1.** eşitli ülkelerde Yapılmış alışmaların Sonuçları

Okullar/Bölgeler	Kaynak	Bileşikler	Sonuçlar	
64 derslik Michigan	[15]	UOB	Ortalama derişim ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
			Benzen	0,09
			Toluen	2,8
			$\alpha$ – pinen	1,4
			Limonen	4,4
3 okul Batı Avusturalya	[19]	UOB	10 UOB saptanmış ve maksimum TUOB derişimi 94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
5 derslik Minnesota	[21]	UOB	Benzen	0,6
			Etil benzen	0,6
			Toluen	2,9
			p/m-ksilen	2,3
Avrupa çeşitli okullar	[14]	TUOB	100 – 1600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
10 derslik Hong Kong	[16]	UOB	Benzen	3,1
			Toluen	17,7
			Etil benzen	4,2
			p/m-ksilen	3,3
			o-ksilen	1,7
96 derslik İsviçre	[18]	UOB	Yaygın UOB'ler; benzen, toluen, ksilenler Ortalama TUOB derişimi 35,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
6 derslik İsviçre	[17]	UOB	Ortalama TUOB derişim aralığı, 70-180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
3 okul Kocaeli/Turkey	[20]	UOB	Benzen	7,5
			Toluen	55,1
			Etil benzen	11,1
			Ksilenler	15,4

## MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışma, İzmir’de seçilen üç ilköğretim okulunda yapılmıştır. İki okul şehir merkezinde, trafiğin ve nüfusun yoğun olduğu bölgelerde (Okul 1 ve 2), bir okul (Okul 3) ise şehir merkezi dışında yarı-kentsel alanda seçilmiştir. Bu çalışmada UOB ölçümleri, her üç okulda test hacmi olarak seçilen bir derslik ve anasınıfı içerisinde olmak üzere bina-içi örneklemeleri şeklinde yapılmıştır. Her üç okulda, bahar döneminde 9 derslik ve 3 anasınıfı örneği alınmıştır.

UOB örneklenmesinde USEPA TO-17 metodu [22] izlenmiştir. Pompa (AirChek-2000, SKC) kullanılarak hava örneği Tenax TA tüplerine toplanmıştır. Akış hızı 66,7 ml/dk olacak şekilde Defender 510 kalibrasyon cihazı (Bios International Corp.) kullanılarak, her örneklemeden önce kalibre edilmiştir. Tüpler, örnekleme yerine ışık almayan, +4°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°C ‘de laboratuvar ortamına taşınmış ve analize kadar buzlukta (-27°C) saklanmıştır. UOB’ler, termal desorber ünitesini (UNITY, Markes) takiben bir kütle spektrometri (MS) detektörü (Agilent 5973Nms) olan bir gaz kromatograf (GC) (Agilent 6890N) ile analiz edilmiştir. UOB analizi 60 adet bileşik (LGC-Promochem) için yapılmıştır.

Hava örneklemesinde uygulanan metodun güvenilirliğini test etmek için kalite güvence uygulamaları yapılmıştır. Alanda oluşabilecek kontaminasyonu belirlemek amacıyla kör alan örnekleri (field blank) analizlenmiş; 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 değerlerle karşılaştırılmıştır. Buna göre, kör alan örneklerindeki derişimler, örnek derişimlerinin %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 aşmamıştır.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

Okul 1 derslikte, 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 tetraklorür, benzen, trikloroeten, toluen, tetrakloroeten, etilbenzen, p-m ksilen, stiren, o-ksilen, isoprilbenzen, 1,3,5-trimetilbenzen, tert-butilbenzen, 1,2,4-trimetilbenzen, 4-isopropiltoluen, 1,4-diklorobenzen, n-butilbenzen ve naftalin. Örneklerin %50’sinden fazlasında saptanan bileşik derişimleri betimleyici istatistikleri Tablo 2’de sunulmuştur.

Okul 1’de anasınıfında yapılan ölçümler neticesinde 24 uçucu organik bileşik saptanmıştır. Bunlardan ondokuzu örneklerin hepsinde saptanmış olup derişim sonuçları Tablo 3 de verilmiştir. Derslik ölçüm sonuçlarına benzer olarak anasınıfında da en yüksek derişimlerde saptanan bileşikler şöyledir: Toluene, benzen, 1,2,4-trimetilbenzen, 1,3-diklorobenzen, ksilenler, etilbenzen, naftalin ve 1,3,5-trimetilbenzen. Anasınıfında toluene derişimi, derslikteki toluene derişimin yaklaşık altı katı olarak saptanmıştır. Anasınıfında toluene derişiminin yüksek saptanmasına sebep olarak, anasınıfının dekorasyonu ve aktiviteler için kullanılan boya, yapıştırıcı vs. gibi malzemeler gösterilebilir.

Okul 1’de anasınıfı ve derslikte saptanan yüksek derişimlerdeki bileşikler karşılaştırıldığında naftalinin ve diklorobenzen bileşiklerinin derslikte daha yüksek derişimde olduğu görülmüştür. Bu durum tuvaletlerin konumu ile ilişkilendirilebilir. Naftalin ve diklorobenzenin kaynağı olarak tuvaletlerde lavabolarda kullanılan beyaz, küçük top şeklindeki koku gidericiler gösterilebilir. Okul 1’de örnekleme yapılan dersliğin kapısı tuvaletlerin kapısı ile bitişiktir. Anasınıfında bu mesafe daha büyüktür. Bu durum derslikte bu bileşiklerin derişiminin daha yüksek değerde olmasına sebep olabilir.

Anasınıfında ve derslikte yaygın olarak saptanan diğer bileşiklerden 1,2,4-trimetilbenzen, ksilenler ve etilbenzen karşılaştırıldığında, anasınıfındaki derişimleri daha yüksek bulunmuştur. Dersliklerde temizlik okul bitiminde bir kere iken, anasınıfında gün içerisinde çocukların aktivitelerine bağlı olarak ikiden fazla yapılmaktadır. Bu bileşikler temizlik malzemeleri kaynaklı olabilir. Anasınıfında bu bileşiklerin yüksek derişimlerde saptanması bu durum ile ilişkilendirilebilir.

Derslik ve anasınıfı UOB derişim sonuçlarını karşılaştırması TUOB değerlerinin hesaplanması ile yapılabilir. Okul 1'de derslik ve anasınıfı TUOB ortanca değerleri sırası ile 58 ve 115  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  'tür. Anasınıfında TUOB değeri yaklaşık olarak derslikteki TUOB değerinin iki katıdır. Bu farkın anasınıfında mevcut olan dekorasyon ve döşeme malzemeleri kaynaklı olabileceği düşünülebilir. Derslik içersinde masa, sıra, 4 adet dolap ve yer döşemesi olarak mozaik taş bulunmaktadır. Buna karşılık anasınıfında, plastik sandalyeler, masalar, plastik oyuncaklar, çok miktarda dolap, televizyon, bilgisayar, dolapların üzerinde biriktirilmiş pastel boya ile yapılmış resimler, aktivitelerde kullanılan yapıştırıcı malzemeler ve yer döşemesi olarak da kalın muşamba bulunmaktadır. Dolayısıyla, TUOB derişim değerinin anasınıfında daha yüksek olmasına sebep olarak bu kaynaklar gösterilebilir.

**Tablo 2.** Okul 1 İçin Derslikte Saptanan UOB Derişimleri ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Bileşik	Ortalama	Ortanca	SS	En düşük	En yüksek
kloroform	0,93	0,47	0,91	0,28	2,7
karbon tetraklorür	0,47	0,38	0,23	0,19	0,94
benzen	8,3	4,4	12,5	SSA	40,1
trikloroeten	2,3	0,23	5,4	0,15	15,5
toluen	16,5	13,8	12,3	4,9	45,4
tetra kloroeten	0,28	0,22	0,15	0,11	0,58
etilbenzen	1,4	0,65	1,6	0,27	5,3
p,m-ksilen	1,8	1,0	2,6	0,35	8,6
stiren	0,36	0,37	0,08	SSA	0,47
o-ksilen	0,81	0,66	0,52	SSA	1,9
n-propilbenzen	0,20	0,11	0,24	0,05	0,83
1,3,5-trimetilbenzen	0,32	0,16	0,38	0,08	1,3
tert-bütilbenzen	0,16	0,09	0,17	SSA	0,58
1,2,4-trimetilbenzen	1,2	0,70	1,3	0,29	4,6
4-isopropiltoluen	0,19	0,18	0,10	0,06	0,33
1,4-diklorobenzen	28,8	31,9	17,2	9,8	63,6
n-bütilbenzen	0,18	0,16	0,07	0,12	0,36
naftalin	1,9	2,2	0,78	0,81	3,2
TUOB	66,4	57,9	56,7	18,6	197

SSA: Saptama Sınırının Altında, SS: Standart Sapma

**Tablo 3.** Okul 1 İçin Anasınıfında Saptanan UOB Derişimleri ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Bileşik	Ortalama	Ortanca	SS	En düşük	En yüksek
benzen	4,6	4,3	1,9	2,9	6,6
trikloroeten	0,19	0,17	0,10	0,10	0,30
toluen	97,3	91,6	17,7	83,1	117
tetra kloroeten	0,28	0,28	0,01	0,27	0,29
etilbenzen	3,9	1,6	4,2	1,5	8,8
p,m-ksilen	5,3	2,6	5,1	2,1	11,1
stiren	0,68	0,72	0,22	0,44	0,88
o-ksilen	1,9	2,1	0,49	1,4	2,4
isopropilbenzen	0,33	0,22	0,31	0,08	0,68
n-propilbenzen	0,86	0,55	0,84	0,21	1,8
1,3,5-trimetilbenzen	1,4	0,79	1,5	0,33	3,1
tert-bütilbenzen	0,84	0,51	0,92	0,13	1,9
1,2,4-trimetilbenzen	6,2	3,8	6,1	1,6	13,2
sec-bütilbenzen	0,50	0,27	0,54	0,12	1,1
4-isopropiltoluen	0,87	0,47	0,89	0,26	1,9
1,3-diklorobenzen	2,4	3,0	1,4	0,83	3,3
n-bütilbenzen	1,2	0,86	1,01	0,35	2,3
naftalin	1,3	1,46	0,28	0,98	1,5
TUOB	130	115	43,5	96,7	178

SSA: Saptama Sınırının Altında, SS: Standart Sapma

Bahar döneminde yapılan örneklemede, Okul 2'de derslik içerisinde 24 adet bileşik bulunmuştur. Bunlardan yedi tanesi (kloroform, 1,1,1-trikloroetan, karbon tetraklorür, benzen, klorobenzen, bromoform, 1,1,2,2- tetrakloroetan) örneklerin % 71 ile % 99'unda, 17 tanesi (trikloroeten, toluen, tetrakloroeten, etilbenzen, p-m ksilen, stiren, o-ksilen, isopropilbenzen, n-propilbenzen, 1,3,5-trimetilbenzen, tert-butilbenzen, 1,2,4-trimetilbenzen, sek-butilbenzen, 4-isopropiltoluen, 1,3-diklorobenzen, n-butilbenzen ve naftalin) her örnekte bulunmuştur. Örneklerin yarısından fazlasında saptanan bileşiklerin derişimleri Tablo 4'te verilmiştir.

Okul 2'de anasınıfında yapılan örnekleme sonucunda 24 adet UOB saptanmıştır, ancak bunların 21 adedi bütün örneklerde tespit edilmiştir. Bu bileşiklerin derişimleri Tablo 5'te verilmiştir. Okul 1'deki sonuçlara benzer olarak Okul 2'de de en yüksek derişimlerde saptanan bileşikler şöyledir: benzen, toluen, etilbenzen, ksilenler, 1,2,4-trimetilbenzen, 1,3,5 –trimetilbenzen, 1,3-diklorobenzen ve naftalin. Okul 1'de de olduğu gibi toluenin derişimi oldukça yüksektir ( $36,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Bu durumun, Okul 1 ile benzer şekilde, anasınıfında bulunan ve kullanılan malzemelerden kaynaklandığı düşünülebilir. Naftalinin anasınıfı ve derslikteki derişimleri benzerdir. Okul 1'de naftalin derişimleri arasındaki fark tuvaletlerin konumları ile ilişkilendirilmiştir. Okul 2'de anasınıfı ve sınıfların tuvaletlere olan uzaklığı yaklaşık olarak aynı mesafededir. Ancak, Tablo 4 ile 5'te verildiği üzere, 1,3-diklorobenzenin derslikteki derişimi anasınıfındaki derişiminin yaklaşık üç katıdır. Bu, farklı yaş gruplarına ait tuvaletlerde farklı koku giderici uygulamalarından kaynaklanıyor olabilir. Ksilenler ve etilbenzen bileşiklerinin derişimleri anasınıfında daha yüksektir. Bu fark anasınıfındaki temizlik sıklığı ile açıklanabilir.

TUOB değerleri, Tablo 4 ile 5'te belirtildiği üzere, derslikte  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ve anasınıfında  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak hesaplanmıştır. Okul 1'de olduğu gibi Okul 2'de de TUOB değeri anasınıfında daha yüksek olup, derslikteki TUOB değerinin yaklaşık olarak iki katıdır. Bu fark, özellikle toluen ve daha sonra benzen, ksilenler, etilbenzen ve 1,2,4-trimetilbenzen gibi bileşiklerin yüksek derişimlerde olması nedeniyle. Anasınıfında bu bileşiklerin daha yüksek derişimlerde olması ise Okul 1'de olduğu gibi temizlik sıklığı



ve anasınınındaki döşeme/dekorasyon ve çocukların aktiviteler sırasında kullandıkları malzemeler sebebiyle olabilir.

**Tablo 4.** Okul 2 İçin Derslikte Saptanan UOB Derişimleri ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Bileşik	Ortalama	Ortanca	SS	En düşük	En yüksek
kloroform	0,35	0,32	0,13	0,20	0,59
1,1,1-trichloroethane	0,05	0,05	0,01	SSA	0,07
karbon tetraklorür	0,37	0,32	0,13	0,28	0,64
benzen	6,3	3,3	5,3	2,0	15,0
trikloroeten	0,18	0,18	0,10	0,06	0,32
toluen	15,5	13,4	7,1	7,4	27,0
tetra kloroeten	0,26	0,20	0,13	0,10	0,43
etilbenzen	0,84	0,55	0,70	0,37	2,6
p,m-ksilen	1,1	0,74	1,1	0,34	4,0
stiren	0,53	0,55	0,17	SSA	0,92
o-ksilen	0,55	0,47	0,32	0,31	1,4
n-propilbenzen	0,07	0,06	0,01	0,06	0,10
1,3,5-trimetilbenzen	0,10	0,10	0,01	0,08	0,12
1,2,4-trimetilbenzen	0,34	0,38	0,12	SSA	0,44
sec-bütilbenzen	0,06	SSA	0,09	SSA	0,28
4-isopropiltoluen	0,28	0,26	0,10	0,15	0,45
1,3-diklorobenzen	3,0	2,2	1,35	1,6	5,3
n-bütilbenzen	0,12	0,13	0,02	0,11	0,15
naftalin	2,0	1,9	0,59	1,22	2,9
TUOB	32,1	25,3	17,6	14,7	62,8

SSA: Saptama Sınırının Altında, SS: Standart Sapma

**Tablo 5.** Okul 2 İçin Anasınınında Saptanan UOB Derişimleri ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Bileşik	Ortalama	Ortanca	SS	En düşük	En yüksek
1,1,2-trichloroethane	0,49	0,49	0,14	0,35	0,63
kloroform	0,21	0,21	0,07	0,14	0,29
karbon tetraklorür	0,70	0,38	0,76	0,15	1,6
benzen	8,2	3,5	10,0	1,4	19,7
trikloroeten	0,44	0,35	0,43	0,06	0,91
toluen	36,3	37,2	3,0	32,9	38,8
tetra kloroeten	0,61	0,74	0,23	0,34	0,76
etilbenzen	1,2	0,82	0,92	0,53	2,2
p,m-ksilen	1,6	1,3	0,97	0,76	2,6
stiren	0,54	0,34	0,36	SSA	0,95
o-ksilen	0,90	0,86	0,42	0,51	1,3
isopropilbenzen	0,12	0,14	0,06	0,06	0,17
n-propilbenzen	0,23	0,22	0,09	0,15	0,32
1,3,5-trimetilbenzen	0,34	0,25	0,16	0,24	0,52
tert-bütilbenzen	0,19	0,15	0,08	0,13	0,29
1,2,4-trimetilbenzen	1,4	1,1	0,55	1,0	2,0
4-isopropiltoluen	0,23	0,24	0,03	0,19	0,25
1,3-diklorobenzen	0,97	0,84	0,31	0,75	1,3
n-bütilbenzen	0,27	0,24	0,08	0,22	0,37
naftalin	1,5	1,1	0,80	0,95	2,4
TUOB	56,4	50,4	19,5	41,2	77,5

SSA: Saptama Sınırının Altında, SS: Standart Sapma

Okul 3 için derslik ve anasınıfındaki saptanmış olan UOB derişim değerleri sırası ile Tablo 6 ve 7'de verilmiştir. Derslikte 26 UOB saptanmış olup bunlardan on yedi adedi (trikloroeten, toluen, tetrakloroeten, klorobenzen, etilbenzen, p,m-ksilen, stiren, o-ksilen, isopropilbenzen, n-propilbenzen, 1,3,5-trimetilbenzen, tert-butilbenzen, 1,2,4-trimetilbenzen, 4-isopropiltoluen, 1,3-diklorobenzen, n-butilbenzen ve naftalin) bütün örneklerde bulunmuştur. Anasınıfında bütün örneklerde on altı adet bileşik bulunmuştur. Diğer iki okulda olduğu gibi Okul 3'de de anasınıfı ve derslikte saptanan bileşikler benzerlik göstermektedir.

Okul 3'te derslikte, toluen, benzen, 1,3-diklorobenzen ve naftalin diğer iki okuldaki sonuçlara benzer olarak yüksek derişimlerde saptanmıştır. Anasınıfı örnekleme sonuçlarına bakıldığında (Tablo 7), derslikteki sonuçlara benzer olarak toluen, benzen, 1,3-diklorobenzen ve naftalin, ayrıca bunlara ek olarak ksilenler ile etilbenzen derişimleri de yüksek değerlerde bulunmuştur.

Okul 3 için, TUOB ortalama derişimi derslikte  $23,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , anasınıfında  $53,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak hesaplanmıştır. Diğer iki okulda olduğu gibi bu okul için de anasınıfındaki TUOB değeri derslikteki TUOB değerinin iki katından fazla çıkmıştır. Farklı olarak, bu okulda derslik – anasınıfı ortalama derişimleri arasındaki fark aynı sonuca işaret etmektedir; ki bu durum diğer iki okuldaki sınıflardan farklı olarak burada ortalama ile ortalama değer arasındaki yüksek farktan kaynaklanabilir. Diğer okullara nazaran çok geniş bir aralıkta belirlenmiş olan derişimler, bu derslikte gündün güne değişen faktörlerin derişimleri etkilediğini ya da kaynak gücü değişkenliğinin diğer iki okula göre daha fazla olduğunu gösterebilir. Anasınıfında toluen yine en yüksek derişime sahiptir. Akabinde benzen, ksilenler, ve 1,3-diklorobenzen bileşikleri yüksek derişimlerde.

Sonuç olarak, her üç okuldaki anasınıflarında benzer UOB'ler yüksek derişimlerde saptanmıştır (benzen, toluen, etilbenzen, ksilenler, 1,3-diklorobenzen ve naftalin). Bu bileşikler sınıflarda da yaygın ve yüksek derişimlerde. Literatürdeki bazı çalışmaların [15,16,21] sonuçlarına göre benzen, toluen, etilbenzen ve ksilenler okullarda bina-içi ortamlarda en yüksek derişimlerde ölçülmüştür. Anasınıflarında genel olarak toluen, benzen, ksilenler, etilbenzen ve diklorobenzenli bileşikler sınıflara göre daha yüksek derişimlerde saptanmıştır. Bu duruma sebep olarak, anasınıflarındaki döşeme/dekorasyon malzemelerinin sınıflara göre farklılık göstermesi, çocukların aktiviteleri sırasında kullandıkları malzemeler, ayrıca temizliğin daha sık yapılması gibi parametreler gösterilebilir.

**Tablo 6.** Tablo 5. Okul 3 için Derslikte Saptanan UOB Derişimleri ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Bileşik	Ortalama	Ortanca	SS	En düşük	En yüksek
kloroform	0,75	0,19	1,3	SSA	3,7
1,1,1-trichloroethane	0,12	0,08	0,13	0,05	0,38
karbon tetraklorür	0,55	0,56	0,10	0,42	0,69
benzen	8,9	2,7	12,6	SSA	28,7
trikloroeten	0,14	0,08	0,17	SSA	0,54
toluen	19,7	10,2	25,3	SSA	80,6
tetra kloroeten	0,17	0,15	0,06	0,11	0,29
etilbenzen	0,42	0,41	0,18	0,15	0,74
p,m-ksilen	0,54	0,57	0,24	0,17	0,86
stiren	0,65	0,53	0,46	SSA	1,8
o-ksilen	0,47	0,45	0,19	SSA	0,68
bromoform	0,12	SSA	0,22	SSA	0,62
isopropilbenzen	0,06	0,06	0,03	SSA	0,10
n-propilbenzen	0,09	0,09	0,04	SSA	0,17
1,3,5-trimetilbenzen	0,12	0,13	0,05	SSA	0,19
tert-bütilbenzen	0,06	0,06	0,02	SSA	0,10
1,2,4-trimetilbenzen	0,45	0,45	0,19	0,13	0,74
4-isopropiltoluen	0,21	0,20	0,07	0,08	0,31
1,3-diklorobenzen	16,2	5,6	16,9	3,4	51,6
n-bütilbenzen	0,16	0,15	0,04	0,09	0,20
naftalin	1,1	1,1	0,52	0,3	2,2
TUOB	51,1	23,8	58,9	8,3	175

SSA: Saptama Sınırının Altında, SS: Standart Sapma



**Tablo 7.** Okul 3 İçin Anasınınında Saptanan UOB Derişimleri ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Bileşik	Ortalama	Ortanca	SS	En düşük	En yüksek
benzen	4,9	5,2	0,60	4,3	5,4
toluen	20,2	27,8	13,3	4,8	27,9
tetra kloroeten	0,35	0,33	0,20	0,16	0,55
etilbenzen	0,93	1,2	0,59	0,26	1,3
p,m-ksilen	1,2	1,5	0,73	0,33	1,7
stiren	0,65	0,78	0,29	SSA	0,84
o-ksilen	0,83	1,09	0,51	SSA	1,2
bromoform	0,09	0,11	0,04	0,05	0,12
isopropilbenzen	0,06	0,09	0,04	SSA	0,09
n-propilbenzen	0,12	0,13	0,06	0,06	0,17
1,3,5-trimetilbenzen	0,15	0,18	0,08	0,05	0,21
1,2,4-trimetilbenzen	0,55	0,70	0,29	0,22	0,74
4-isopropiltoluen	0,23	0,30	0,14	0,07	0,31
1,3-diklorobenzen	11,4	12,2	7,6	3,5	18,6
n-bütilbenzen	0,14	0,16	0,03	0,11	0,17
naftalin	1,6	1,8	0,94	0,52	2,4
TUOB	43,4	53,6	25,4	15,0	61,6

SSA: Saptama Sınırının Altında, SS: Standart Sapma

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından (105Y263 numaralı proje) desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] Godish T., 2000. "Indoor Environmental Quality", CRC Press LLC.
- [2] Mendell, M.J., Heath., G.A., 2005. "Do Indoor Pollutants and Thermal Conditions in schools Influence Student Performance? A Critical Review of the Literature", *Indoor Air*. Vol. 15, pp. 27-52.
- [3] Bayer C.W., and Crow S.A., 1999. "Causes of Indoor Air Quality In Problems In Schools", National Technical Information Service, U.S, pp. 24-27.
- [4] Demir, A.U., Karakaya, G., Bozkurt, B., Şekerel, B.E., and Kalyancu, A.F., 2004. "Asthma and Allergic Diseases in Schoolchildren: Third Cross-Sectional Survey in the Same Primary School in Ankara, Turkey", *Pediatric Allergy and Immunology*. Vol. 15, pp. 531-538.
- [5] Selçuk, Z.T., Çağlar, T., Enünlü, T., and Topal, T., 1997. "The Prevalence of Allergic Diseases in Primary School Children in Edirne, Turkey", *Clinical and Experimental Allergy*. Vol. 27, pp. 262-269.
- [6] Maroni, M., Seifert, B., Lindvall, T., 1995. "Indoor Air Quality, A Comprehensive Reference Book, *Elsevier Science*, pp. 29-87.
- [7] TenBrinke, J., Selvin, S., Hodgson, A.T., Fisk, W.J., Mendell, M.J., Koshland, C.P., Daisey, J.M., 1998. "Development o new volatile organic compound (VOC) exposure metrics and their relationship to "Sick Building Syndrome" symptoms", *Indoor Air*. Vol. 8, pp. 140-152.
- [8] Guo, H., Murray, F., 2000. "Characterization of Total Volatile Organic Compound Emissions From Paints", *Clean Product and Processes*. Vol. 2, pp. 28-36.

- [9] Guo, H., Murray, F., 2001. "Determination of Total Volatile Organic Compound Emissions from Furniture Polishes", *Clean Prod Processes*. Vol.3, pp. 42-48.
- [10] Lee, CW., Dai, YT., Chien, CH., ve Hsu, DJ., 2006. 'Characteristics and Health Impacts of volatile Organic Compounds in Photocopy Centers', *Environmental Research*. Vol. 100, pp. 132-149.
- [11] Brown, S. K., 1999. 'Assessment of Pollutant emissions from Dry-Process Photocopiers', *Indoor Air*, Vol. 9, pp. 259-267.
- [12] Alyüz, B., Veli, S., 2006. 'İç Ortam Havasında Bulunan Uçucu Organik Bileşikler ve Sağlık Üzerine Etkileri', *Trakya Univ J Sci*, 7(2): 109-116.
- [13] Tufekci, E.T., 2003. 'Uçucu Organik Bileşiklerin Adsorbent Tup Yöntemi ile Ornekleme ve Termal desorpsiyon-Gaz Kromatografi Yöntemi ile Analizi', Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, 139871.
- [14] Daisey, J.M., Angell, W.J., Apte, M.G., 2003. "Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information", *Indoor Air*. Vol. 13, pp. 53-64.
- [15] Godwin, C., Batterman, S., 2007. "Indoor air quality in Michigan schools", *Indoor Air*. Vol. 17, pp. 109-121.
- [16] Lee, S. C., Guo, H., Li, W. M., Chan, L. Y., 2002. "Inter-Comparison of Air Pollutant Concentrations in Different Indoor Environmnets in Hong Kong", *Atmospheric Environment*. Vol. 36, pp. 1929-1940.
- [17] Norback, D., Torgen, M., Edling, C., 1990. '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), pp.733-41.
- [18] Smedje, G., Norback, D., Edling, C., 1997. "Subjective Indoor Air Quality in Schools in Relation to Exposure", *Indoor Air*. Vol. 7, pp.143-150
- [19] Zhang, G., Spickett, J., Rumchev, K., Lee, A.H., Stick, S., 2006. "Indoor environmental quality in a 'low allergen' school and three standard primary schools in Western Australia", *Indoor Air*. Vol.16, pp.74-80.
- [20] Bozkurt, Z., Arslanbas, D., Pekey, H., Pekey, B., Zararsiz, A., Dogan, G., Dumanoglu, Y.S., Bayram, A., Efe, N., Tuncel, G., 2007. 'Kocaeli'nde Farkli mikrocevrelerde Uçucu Organik Bileşikler, Agir metaller ve Inorganik Gaz Fazi Kirleticilerin Ic ve Dis Ortam Seviyelerinin Belirlenmesi', 8. *Ulusal Tesisat Muhendisligi Kongresi*, 385-394.
- [21] Adgate, J. L., Church, T. R., Ryan, A. D., Ramachandran, G., Fredrickson, A. L., Stock, T. H., Morandi, M. T., Sexton, K., 2004. "Outdoor, Indoor, and Personal Exposure to VOcs in Children", *Environmental Health Perspectives*. Vol. 112, pp. 1386-1392.
- [22] USEPA, 1999a. Method TO-17, Determination of Volatile Organic Compounds in Ambient Air Using Active Sampling Onto Sorbent Tubes, Office of Research and Development, Cincinnati, Ohio.

## ÖZGEÇMİŞ

### Güler ASLAN

1982 yılı Tunceli doğumludur. 2005 yılında İ.Y.T.E. Mühendislik fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı üniversitede 2008 yılında Yüksek Lisansını tamamlamıştır. Abant İzzet Baysal Üniversitesi Kimya Bölümünde doktora eğitimine devam etmektedir. Aynı üniversitede Çevre Mühendisliği Bölümünde araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

### Aysun SOFUOĞLU

İTÜ Kimya Metalürji Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü' den mezun oldu. Yüksek lisans derecesini University of Wisconsin at Madison Çevre Mühendisliği Bölümünden, doktora derecesini Illinois Institute of Technology Çevre Mühendisliği Bölümü' den aldı. 2000 yılında, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Kimya Mühendisliği Bölümü'nde başladığı öğretim üyeliği görevine, aynı kurumda Doçent ünvanı ile devam etmektedir. Hava kirliliği ve bina-içi hava kirliliği konularında araştırmalar yapmakta olan Aysun Sofuoğlu kalıcı organik kirleticilerin taşınımı, kuru birikim, ve hava kirliliğinin malzemeler üzerinde etkileri konularında çalışmaktadır.

**Fikret İNAL**

Doç. Dr. Fikret İNAL, lisans, öğrenimini Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi Kimya Mühendisliği bölümünde, Doktora çalışmalarını ise University of California Los Angeles' da tamamladı. Halen İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Kimya Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. Yakıtlar, yanma, hava kirliliği ve reaksiyon mühendisliği konularında araştırmalar yapmakta ve dersler vermektedir.

**Mustafa ODABAŞI**

1988 yılında DEÜ Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü' den mezun oldu. Yüksek lisans eğitimini aynı bölümde, doktorasını ABD'de Illinois Institute of Technology' de tamamladı. 1989-1998 yılları arasında DEÜ Çevre Mühendisliği Bölümü araştırma görevlisi olan M.Odabaşı, 1998 yılında aynı bölümde Öğretim Görevlisi, 2000 yılında Yardımcı Doçent, 2003 yılında Doçent, 2009 yılında da Profesör olarak atandı. Hava kirliliği ve kontrolü, kalıcı toksik organik kirleticilerin değişik çevresel ortamlar arasındaki taşınımı, bu maddelerin fizikokimyasal özelliklerinin belirlenmesi konularında araştırmalar yapmakta ve dersler vermektedir.

**Sait C. SOFUOĞLU**

DEÜ Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü' den mezun oldu. İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak iki yıl çalıştı. Öğrenimine ABD'de devam edip yüksek lisans ve doktorasını Illinois Institute of Technology' den aldı. Süleyman Demirel Üniversitesi Çevre Mühendisliği ve İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Kimya Mühendisliği bölümlerinde Yardımcı Doçent ünvanı ile çalışan SC Sofuoğlu, halen İYTE' de Doçent ünvanı ile öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. Bina-içi hava kirliliği, hava kirliliği ve maruziyet ve risk değerlendirmesi konularında araştırmalar yapmakta ve bu konularda dersler vermektedir.