



Bir üniversite binasındaki uçucu organik bileşiklerin düzeyleri, kaynakları ve sağlık riskleri

Levels, sources, and health risks of volatile organic compounds in a university building

Cevdet Doğan^{1*}, Sema Yurdakul², Sena Erkent², Banu Çetin¹

¹Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli, Gebze Teknik Üniversitesi, Gebze, Türkiye.

cevdetdogan@gtu.edu.tr, bcetin@gtu.edu.tr

²Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye.

semayurdakul@sdu.edu.tr, senaerkent7@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 12.02.2025

Düzeltilme Tarihi/Revision: 21.07.2025

doi: 10.5505/pajes.2025.70034

Kabul Tarihi/Accepted: 14.08.2025

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışma kapsamında bir üniversite binasındaki seçili 21 farklı mekandan (4 dış ortam, 2 derslik, 3 ofis, 4 koridor ve 8 laboratuvar) pasif örnekleme tüpleri kullanılarak uçucu organik bileşik (UOB) örnekleri toplanmış ve toplanan örneklerdeki UOBlerin konsantrasyonları, kaynakları ve potansiyel sağlık riskleri araştırılmıştır. Çalışma, 27.02-03.03.2017 ve 08-12.05.2017 tarihlerinde olmak üzere iki farklı örnekleme döneminde gerçekleştirilmiş ve toplamda 52 adet numune analiz edilmiştir. Yaz mevsiminde heksan %64.71 ile en fazla bulunan bileşik olurken, heksanı 2,4-dimetilpentan (%12.93), toluen (%4.85), sikloheksan (%2.42) takip etmiştir. Yaz mevsimine benzer şekilde heksan %32.74 ile kışın en fazla bulunan organik bileşik olmuştur. Heksanı 2,4-dimetilpentan (%19.53), sikloheksan (%8.39) ve benzen (%7.35) takip etmiştir. Çalışmada, yaz aylarındaki toplam UOB konsantrasyonunun kış aylarına kıyasla yaklaşık iki kat daha yüksek olduğu görülmüştür. Mevsimsel faktörler ve kaynaklardaki değişimin kirletici konsantrasyonları üzerinde etkili olduğu anlaşılmıştır. Ortalama İç mekân/Dış ortam (İ/D) oranı baz alındığında ise laboratuvarların iç mekanlar için önemli bir kaynak olduğu görülmektedir. Yapılan kaynak belirleme çalışması sonucunda ise UOB'lerin oluşumuna sebebiyet veren beş faktör belirlenmiştir. En önemli kaynağın (toplam varyansın %28.4'ni açıklayan) laboratuvarlarda kullanılan çözücüler olduğu görülmüştür. Ayrıca bu çalışmada binayı kullanan insan grupları için risk analizi yapılmış ve laboratuvarların entegre ofis olarak kullanılması durumunda araştırma görevlisi ve lisansüstü öğrenciler için kanserojenik risklerin tolere edilebilir limitten (1E-06) sırasıyla 12 ve 1.2 kat daha fazla olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar, iç hava kalitesinin iyileştirilmesi için etkili havalandırma stratejilerinin uygulanması ve UOB kaynaklarının kontrolüne yönelik acil müdahalelerin gerekliliğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: UOB, Faktör Analizi, Kanser Riski, Solvent, İç mekan

Abstract

In this study, volatile organic compounds (VOCs) were collected from 21 different selected locations (4 outdoor, 2 classrooms, 3 offices, 4 corridors, and 8 laboratories) in a university building using passive sampling tubes and the concentrations, sources and potential health risks of VOCs in the collected samples were investigated. The study was conducted during two different sampling periods, 27.02-03.03.2017 and 08-12.05.2017, and 52 samples were analyzed. In summer, hexane was the most abundant compound with 64.71%, followed by 2,4-dimethylpentane (12.93%), toluene (4.85%), and cyclohexane (2.42%). Similar to summer, hexane was the most abundant organic compound in winter with 32.74%. Hexane was followed by 2,4-dimethylpentane (19.53%), cyclohexane (8.39%), and benzene (7.35%). In the study, it was observed that the total concentration of VOCs in the summer months was about twice as high as in the winter months. Seasonal factors and variation in sources were found to be effective on pollutant concentrations. Based on the average Indoor/Outdoor (I/O) ratio, laboratories are an important source for indoor areas. As a result of the source identification study, five factors that cause the formation of VOCs were identified. The most important source (explaining 28.4% of the total variance) was found to be solvents used in laboratories. The study also conducted a risk analysis for the groups of people using the building and found that the carcinogenic risks were 12 and 1.2 times higher than the tolerable limit (5.7-6.8×E-06) for the research assistants and graduate students when laboratories were used as integrated offices. These results indicate the necessity of implementing effective ventilation strategies to improve indoor air quality and urgent interventions for the control of VOC sources.

Keywords: VOC, Factor Analysis, Cancer Risk, Solvent, Indoor

1 Giriş

Uçucu organik bileşikler (UOB'ler), temizlik ve kişisel bakım ürünleri, boya/çözücüler/kaplama malzemeleri, ahşap koruyucular gibi çeşitli tüketim ürünleri ile yapı malzemelerinden kaynaklanan yaygın iç mekan hava kirleticileridir [1], [2]. Sözü edilen tüketim ürünlerinin ve yapı malzemelerinin kullanımı teknolojik gelişmelere paralel bir şekilde miktarsal olarak da arttığından dolayı bu ürünlerden kaynaklanan UOB emisyonları da atmosferde günden güne artmaktadır. Ayrıca, günlük hayatımızda kullandığımız

kimyasalların sayılarının artması, insanların iç mekanda daha fazla zaman geçirmesi ve enerji verimliliği için mekanik havalandırmanın azaltılması gibi sebepler bu kimyasallara olan maruziyetin artmasına neden olmaktadır. Bununla beraber iç mekan kirleticilerine maruz kalınması ciddi sağlık sorunlarına sebebiyet vermektedir [3]. Özellikle, iç mekanda UOB'lere maruz kalmak, alerjiden kansere kadar bir çok ciddi hastalığa ve olumsuz sağlık etkilerine neden olabilmektedir [4].

İnsanlar hayatlarının önemli bir bölümünü ev, üniversite, okul, hastane, banka, restoran ve alışveriş merkezi gibi kapalı ortak mekanlarda geçirdiklerinden dolayı bu alanlardaki hava

*Yazışılan yazar/Corresponding author

kalitesi insanların sağığı üzerinde etkili olmaktadır. Ancak, ortak mekanlardaki iç hava kalitesi, konutlarda olduğı kadar kolay kontrol edilememektedir. Çünkü bu ortak alanlarda laboratuvarlar ve okullardaki aktivitelerden/kullanılan kimyasallardan kaynaklanan emisyonlar, hastanelerdeki uygulamalardan/ilaçlardan/kimyasallardan kaynaklanan emisyonlar, alışveriş merkezlerindeki müşterilerden kaynaklanan parfümler ve restoranlardan kaynaklanan pişirme emisyonları gibi kontrol edilmesi zor olan çeşitli kaynaklar bulunmaktadır. İnsanların günlük yaşantısını geçirdiğı yerlerden biri olan üniversite binaları laboratuvar, koridor, sınıf, ofis vb. olmak üzere birçok farklı türde mekana sahiptir. Bu kapalı mekanlarda hem çok sayıda öğrencinin ve personelin vakit geçirmesi hem de çeşitli ekipmanların ve kimyasalların kullanılması nedeniyle, bu mekanların kullanıcılarının iç mekan hava kirleticilerine maruz kalma oranı da yüksek olmaktadır. Dolayısıyla, öğrenci, araştırmacı, personel gibi farklı görev tanımlı insanların bu kaynaklara maruz kalması sebebiyle üniversite binalarının iç mekan hava kalitesi önem arz etmektedir. Özellikle öğretim yapılan sınıflar ile deneylerin gerçekleştirildiğı laboratuvar mekanlarının birbirinden fiziksel olarak ayrılmadığı üniversite binalarında öğrencilerin, akademisyenlerin ve araştırmacıların sağığı riskleri artabilmektedir. Bütün bunlar iç mekan kirleticilerinden biri olan UOB'lerin ciddi derecede sağığı ve solunum rahatsızlıklarına neden olabileceğı hususunda şüphe uyandırmaktadır [5].

Literatürde ilk ve ortaokul derecesindeki eğitim kurumlarının iç ortam UOB seviyelerinin belirlenmesine yönelik çeşitli çalışmalar mevcuttur[2], [6]-[11] bunun yanı sıra farklı ülkelerdeki üniversite binalarının UOB seviyelerinin belirlenmesine yönelik literatürde çeşitli çalışmalar da yer almaktadır [12]. Örneğin; üniversite kampüslerinde bulunan kütüphaneler [13], [14], ofisler [15], yurtlar ve öğrenim binaları [13] ile bölüm binaları [16], [17] gibi farklı iç mekanların UOB seviyelerinin belirlenmesine yönelik çeşitli çalışmalar literatürde bulunmaktadır. Bu çalışmalarda, üniversite kampüsü içinde yer alan binalardaki UOB seviyelerinin dış ortamdan daha yüksek olduğı belirtilmektedir [18]. Başka bir çalışmada ise formaldehit ve karbonillerin üniversite ofisleri, laboratuvarlar, amfiler, konaklama mekanları vb. gibi farklı iç mekanlardaki seviyelerine odaklanılmıştır [19]. Üniversite binalarındaki UOB'lerin emisyon seviyesi hakkında gerçekleştirilmiş çeşitli çalışmalar olsa da literatürden de anlaşılacağı üzere UOB seviyeleri farklı ülkelerdeki üniversitelerin farklı amaç için kullanılan binalarında değişkenlik göstermektedir. Dolayısıyla, iç mekan hava kalitesi ülkelere ve üniversitelere göre farklılaşabilmektedir.

Bununla birlikte, kirleticilerin sağığı risk değerlendirmesi hava kirliliğı yönetmeliklerinin belirlenmesindeki karar verme işleminde kullanıldığı için önem arz etmektedir. Ayrıca üniversite içinde bulunan ofis, laboratuvar, sınıf, koridor gibi farklı türdeki bölümler için, UOB'lerin seviyelerinin izlenmesi, bu tür organik kirleticilerin kaynakları ve etkilerini araştırmak için yol gösterici olabilmektedir. Bu çalışmada, literatürde gerçekleştirilmiş önceki çalışmalardan farklı olarak üniversite binasında bulunan ofis, sınıf, laboratuvar ve koridorlarda bulunan UOB konsantrasyonlarının seviyelerinin mekansal ve mevsimsel değişimi araştırılmış, olası kaynakları belirlenmiş ve bina sakinleri için olası solunum kaynaklı sağığı riski tahmin edilmiştir.

2 Materyal ve Metot

2.1 Saha tanımı

Örnekleme işlemi Gebze Teknik Üniversitesi Kimya Bölümü Binası'nda gerçekleştirilmiştir. Binaların konumu Şekil 1'de verilmiştir. Oldukça sanayileşmiş bir bölgede yer alan Gebze, Türkiye'nin kuzeybatısında, Marmara Denizi'nin kıyı şeridinde yakın bir konumda yer almaktadır. Gebze Teknik Üniversitesi Kimya Bölümü sanayinin yoğun olduğı bölgelere uzak olmasına rağmen üniversite çevresinde döküm, şeker ve demir çelik başta olmak üzere çeşitli sanayi tesisleri bulunmaktadır. Kampüsün yaklaşık 1 km kuzeydoğusunda karayolu, yaklaşık 1 km kuzeybatısında orman, yaklaşık 2 km kuzeybatısında döküm ve gıda fabrikaları, yaklaşık 1 km doğusunda evsel atık su arıtma tesisi, yaklaşık 1 km doğusunda demir çelik fabrikaları ve 1 km civarında kuzeydoğusunda ise yerleşim yeri bulunmaktadır. Kimya bölümü binası 3 katlı (zemin kat, 1. kat ve 2. kat) ve 4 yıllık (örnekleme yapıldığı zaman) yeni bir yapıdır. Zemin kat çevre mühendisliğı bölümü olduğu için çevresel analiz deneyleri bu katta yapılmaktadır. Tablo 1'de binada bulunan farklı mekan tiplerinin dağılımı ve yerleştirilen pasif örnekleme sayıları verilmiştir. Koridorlarda, laboratuvarlarda, dersliklerde ve ofislerde doğal veya mekanik havalandırma sistemleri kullanıcı ihtiyacına göre kullanılmaktadır.



Şekil 1. Örnekleme yapılan kimya binasının ve etrafındaki potansiyel kirlilik kaynaklarının haritada gösterimi

Figure 1. Map showing the chemistry building where sampling was done and potential pollution sources around it.

Tablo 1. Kimya binası içinde bulunan farklı mekan tiplerinin adet dağılımı

Table 1. Number distribution of different space types in the chemistry building

Mekan Tipleri	Mekan Adedi			
	Laboratuvar	Derslik	Ofis	Koridor
Bodrum				4 (1)
Zemin Kat	16 (2)*	2 (1)	22 (1)	4 (1)
1. Kat	16 (3)	5 (1)	20 (1)	4 (1)
2. Kat	16 (3)	-	20 (1)	4 (1)

*Parantez içerisinde verilen sayılar yerleştirilen pasif örnekleme sayılarını göstermektedir.

2.2 Örneklemeye

Örneklemeye için pasif örneklemeye yöntemi kullanılmıştır. ¼ inç çapındaki Tenax TA 60/80 elek boyutu ile GRADKO'dan temin edilen paslanmaz çelikten tüplere (6.35 mm dış çap ve 8.89 cm uzunluk) Tenax TA doldurulmuştur [21]. Tüpler örneklemeye noktalarına yerleştirilip bir çalışma haftasını temsil etmesi amacıyla pazartesi günü mesai saati başlangıcından cuma günü mesai saati bitimine kadar beş gün boyunca bekletilmiştir. Çalışmada kullanılan çelik pasif örneklemeye tüpleri, özel olarak imal edilmiş şartlandırma fırınında 300 °C'de ve 100 ml/dk. Azot gazı akışı altında 4 sa. boyunca şartlandırılmış ve daha sonra arka plandaki safsızlıkları ölçülmüştür. Temizlenmiş paslanmaz tüpler silika jel ve aktif karbon doldurulmuş cam tüplerde kapalı ağızlı olarak buzdolabının dondurucu kısmında (-15°C) muhafaza edilmiştir. Tüplerin analitik ve kalite güvenlik/kalite kontrol prosedürleri önceki çalışmalarda kapsamlı bir şekilde açıklanmıştır [19], [20]. Çalışmada, pasif örnekleyiciler 21 noktaya (4 dış ortam noktası, 2 derslik 3 ofis, 4 koridor ve 8 laboratuvar) yerleştirilmiştir. Çalışmada ısıtmanın olduğu dönem kış olarak tanımlanmış ve bu döneme ait numuneler 27.02-03.03.2017 tarihleri arasında toplanmıştır. Isıtmanın kapandığı, okulun açık olduğu ve derslerin yapıldığı dönem ise yaz dönemi olarak tanımlanmış ve bu döneme ait numuneler 08-12.05.2017 tarihlerinde toplanmıştır. Her bir örneklemeye dönemi için ayrıca 5 adet şahit numune tüpü hazırlanmıştır. Şahit numuneler örneklerle birlikte hazırlanmış ve örneklemeye noktalarına götürülüp laboratuvara geri getirilmişlerdir. Böylece olası kirlilikler tespit edilerek arka plan kirliliği için gerekli düzeltmeler yapılmıştır. Dış ortamdaki UOB konsantrasyonlarının ölçülmesi için her bir örneklemeye kampanyasında bölüm binasının etrafına (binadan veya büyük ağaçtan yaklaşık 5 m uzağa) ve havalandırma çıkışlarından uzağa dört pasif tüp yerleştirilmiş ve çalışmada ortalamaları alınarak dış ortam seviyeleri verilmiştir. Çalışmada örneklerin konsantrasyonlarının hesaplanması için Denklem (1)'de verilen birinci Fick kanunu kullanılmıştır.

$$C = \frac{(m_d - m_b)}{U.R. \times t} \quad (1)$$

burada m_d adsorbe olan kirleticinin kütlesini (μg); m_b şahit bileşiklerin kütlesini (μg); C kirleticinin iç mekan konsantrasyonunu ($\mu\text{g/L}^{-1}$); t maruziyet süresini (dakika) ve $U.R.$ alım oranını (L/dk) göstermektedir. Bu pasif örneklemeye literatürde iyi bilinen ve kabul edilmiş bir yöntemdir [17]. Ölçümler sırasında pasif örneklemeye tüplerinin performans özellikleri ve örneklemeye stratejisi için sırasıyla EN-13528-1/2 (2002) protokolleri takip edilmiştir [17].

2.3 Örneklerin Analizi

Toplanan numuneler, Alev İyonizasyon Dedektörü (AİD) ve Termal Desorber (TD) (Markes Unity) ekipmanı ile donatılmış Gaz Kromatografisi (GK) (Agilent 6890) aracılığıyla analiz edilmiştir. Enstrümantal analiz cihazı, Technology Center (Ottawa, Kanada) tarafından sağlanan bir gaz karışımı kullanılarak kalibre edilmiştir. Kalibrasyon gazı 55 farklı UOB içermekle beraber karışımdaki bileşiklerin konsantrasyonları 2 ile 20 $\mu\text{g m}^{-3}$ arasında değişmektedir. Çalışmada cihaz 55 adet UOB için kalibre edilmiş olsa da rutin olarak 34 UOB ölçülüp analiz edilmiştir (Tablo 2). Tüplerde toplanan organiklerin, termal desorber kullanılarak 320 °C'de 5 dakikada desorbe edilmesi sağlanmıştır. Bileşiklerin toplanması ve konsantre edilmesi için -15 °C'de soğuk tuzağa (cold trap) gönderilmiştir. Kirleticiler, soğuk tuzak sıcaklığı hızla 300 °C'ye yükseltilecek GK'ya gönderilmiştir. GK/AİD sisteminde hidrokarbonların

tespiti için DB-1 (%100 dimetilpolisiloksan, 60-325°C, 60 m x 0.25 mm boyutlarında, 1 μm film kalınlığı) ve hafif hidrokarbonları tespiti için ise HP-1/1S (HP-PLOT/ Al_2O_3 , 60-200 °C, 50m x 0.32 mm, 8 μm film kalınlığı, Sodyum sülfat-deaktivasyonlu) kolonları kullanılmıştır. Fırın sıcaklığı başlangıçta 40 °C'de 10 dak bekleme ve 10 °C/dk sıcaklık artışı ile 195 °C'ye yükseltilmiş ve bu sıcaklıkta 10 dak bekletilmiştir. UOB kalibrasyon gazlarının hepsi için 100, 200, 300, 400 ve 500 ml ile GK/AİD sistemine beslenerek 5 noktalı kalibrasyon eğrileri hazırlanarak kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Organik kirleticilerin miktarı bu eğrilerin eğimi kullanılarak kütsel (ng) olarak belirlenmiştir. Kalibrasyon eğrilerinin R^2 değerleri 0.99901 (1,2,4-Trimetilbenzen) ile 0.9999 (hekzan) arasında bulunmuştur. Ayrıca Minimum Tayin Limitleri (MDL) hesaplanarak 2,4-Dimetilpentan için 0.09 $\mu\text{g m}^{-3}$ ile nonan için 0.12 $\mu\text{g m}^{-3}$ değerleri arasında bulunmuştur. Her bir bileşik için MDL değeri, en düşük kalibrasyon seviyesinin yedi tekrarlı ölçümünden elde edilen standart sapma ile 3.14'ün (student's t değeri) çarpılması ile hesaplanmıştır. Çalışma boyunca toplanan 10 adet şahit numunede sadece n-hekzan, benzen ve toluen MDL değerlerinden yüksek bulunmuştur. Ortalama numune konsantrasyonları ile şahitlerdeki tespit edilen bu konsantrasyonlar karşılaştırıldığında ise, şartlandırmadan kaynaklanan taşıma/temizleme kontaminasyonun (<5%) çok düşük olduğu görülmüş ve ölçülen konsantrasyonlarda düzeltme yapılmamıştır. Çalışmada kış örneklemesi döneminde ortalama dış ortam sıcaklığı ve ortalama bağıl nem değeri sırasıyla 8.11±1.81 °C ve %85.68±5.63 olarak tespit edilirken, yaz örneklemesi döneminde ortalama dış ortam sıcaklığı ve ortalama bağıl nem değeri sırasıyla 17.21±1.18 °C ve %73.12±9.25 olarak tespit edilmiştir. Her ne kadar dış ortam sıcaklıkları ve bağıl nem değerleri değişkenlik göstermiş olsa da iç mekanlarda ölçülen ortalama sıcaklık ve ortalama bağıl nem değerleri kış / yaz örneklemeye dönemlerinde sırasıyla 21.54±1.40 °C/ 22.29±2.17°C ve %59.65±6.73/%45.32±13.45 olmak üzere benzer ortalama değerler ölçülmüştür.

Tablo 2. Çalışmada tespit edilen UOBler

Table 2. Identified VOCs in the study

Bileşikler	
n-hekzan	m,p-ksilen
2,4-Dimetilpentan	Stiren
Benzen	o-Ksilen
Siklohekzan	Nonan
2-Metilhekzan	Izopropilbenzen
2,3-Dimetilpentan	n-Propilbenzen
3-Metilhekzan	m-Etiltoluen+ 3-Etiltoluen
2,2,4-Trimetilpentan	1,3,5-Trimethylbenzene
n-Heptan	o-Etiltoluen+2-Etiltoluen
Metilsiklohekzan	1,2,4-Trimetilbenzen
Toluen	n-Dekan
2-Metilheptan	1,2,3-Trimetilbenzen
3-Metilheptan	p-Dietilbenzen+1,4-Dietilbenzen
n-Oktan	n-Undekan
Etilbenzen	n-Dodekan

2.4 Faktör analizi

İç mekan havasında bulunan muhtemel UOB kaynaklarının belirlenmesi için IBM SPSS v.17 kullanılarak faktör analizi gerçekleştirilmiştir. Topluluk değerleri %60'ın altında olan kirleticiler veri setinden elimine edilmiştir. Ayrıca veri seti hazırlanırken MDL'in altında olan değerler MDL/2 olarak değiştirilmiştir [22]. Faktör sayılarının belirlenmesinde Eigen değerleri ve faktörlerin açıklanabilirliği dikkate alınmıştır. Eigen değerleri bire eşit veya birden büyükse istatistiksel kabul edilebilir olarak değerlendirilmiştir [23]. Faktörlerin açıklanabilirliğini artırmak amacıyla analiz sırasında UOB veri seti için Varimax rotasyonu seçilmiştir [24].

2.5 Risk Değerlendirmesi

İç mekanda bulunan benzenin solunum açısından kanserojen risk değerlendirilmesi yapılmıştır. Lisans öğrencileri, personel, laboratuvarlarda çalışan lisansüstü öğrenciler ve araştırma görevlileri dikkate alınarak her mekan ve her grup için ayrı ayrı riskler hesaplanmıştır. Vücut tarafından günlük alınan doz, Denklem 2'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır [35];

$$Ic = \frac{C \times CR \times EF \times ED \times RR \times Abs}{BW \times AT} \quad (2)$$

Burada; Ic vücut tarafından günlük olarak alınan doz (mg/kg vücut ağırlığı/gün); C, maruz kalınan kirleticinin konsantrasyonu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$); CR, temas oranı (L/gün); EF maruz kalma sıklığı (gün/yıl); ED, Maruz kalma süresi (yıl); RR tutma oranı; Abs, kana emilim oranı; BW, vücut ağırlığı (kg); ve AT, ortalama süre (gün) olarak ifade edilmiştir. Sınıflar, ofisler ve laboratuvarlar için yaz ve kış için hesaplanan ortalama konsantrasyonlar maruz kalma hesaplarında kullanılarak olası riskler hesaplanmıştır. Vücut Ağırlığı (BW) ve Ortalama Süre (AT), sırasıyla EPA tarafından tavsiye edilen değerler olan 70 kg ve 70 yıl (tüm hesaplamalar için 25,500 gün) olarak kabul edilmiştir (EPA 2009). Tutma Oranı (RR) % 100 ve Abs değeri % 50 olarak kabul edilmiştir; yani solunan kirleticilerin % 50'si akciğerlerden kana geçtiği kabul edilmiştir. Her kirleticisi için ortalama konsantrasyon değerleri o mekan için C değeri olarak kullanılmıştır. Günlük alım miktarı hesabında EF değerleri için; herkesin dış ortamda 1.5 saat, öğrencilerin sınıfta 5 saat, çalışan personelin ofislerde 6 saat, araştırma görevlilerinin laboratuvarlarda 6 saat, lisansüstü öğrencilerin laboratuvarlarda 5 saat vakit geçirdiği kabul edilmiştir. Laboratuvar hesaplamaları hariç ED değerleri öğrenciler için 4 yıl, personel için 25 yıl, lisansüstü için 3 yıl, araştırma görevlisi için 8 yıl olarak kabul edilmiştir. Ayrıca risk değerlendirme hesaplamalarında lisansüstü öğrencilerin laboratuvarlarda bir yıl boyunca kirleticilere maruz kaldıkları varsayılmıştır. Kanser riski, kronik günlük alımın (Ic) kanserojen eğim faktörü (SF) ile çarpılmasıyla Denklem (3)'te gösterildiği gibi hesaplanmıştır. Çalışmada SF, 0.0273 mg/kg-gün olarak alınmıştır [37].

$$\text{Risk} = Ic \times SF \quad (3)$$

3 Bulgular ve Tartışma

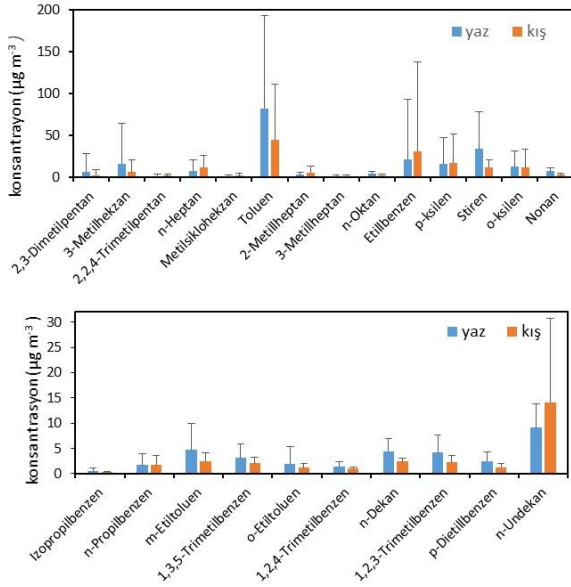
3.1 Ölçülen UOB'lerin seviyeleri

Çalışmada her iki örneklem döneminde 55 UOB'den 30'u tespit edilmiş ve UOB'lerin ortalama konsantrasyonları 0.1-5194.2 $\mu\text{g m}^{-3}$ arasında değişmiştir. Ortalama iç mekan hekzan ve 2,4-dimetilpentan konsantrasyonları sırasıyla yaz mevsimi için 1103±4560 $\mu\text{g m}^{-3}$ ve 220±469 $\mu\text{g m}^{-3}$, kış mevsimi içinse 218±457 $\mu\text{g m}^{-3}$ ve 130±294 $\mu\text{g m}^{-3}$ olarak bulunmuştur. Diğer iç mekan ortalama UOB konsantrasyonları yaz ve kış

mevsimleri için Şekil 2'de gösterilmiştir. Her iki ölçüm kampanyası için hekzan en yüksek konsantrasyona sahip organik bileşik olarak bulunmuştur. Hekzan, yaz ve kış mevsimleri için toplam UOB'lerin sırasıyla % 64.71'ni ve % 32.74'ünü oluşturmaktadır. Yaz mevsiminde artan sıcaklıkla birlikte, laboratuvarlarda kullanılan ve depolanan solventlerin uçuculuğu arttığı için, iç mekanlarda daha yüksek UOB seviyelerinin ölçüldüğü düşünülmektedir. n-hekzan'ın yaygın olarak laboratuvarlarda kullanılan bir çözücü olması sonucu n-hekzan'ın konsantrasyonlarının yüksek olduğu ön görülmektedir. Benzer şekilde literatürde Türkiye'de bir üniversitenin çevre mühendisliği bölüm binasında gerçekleştirilmiş olan bir çalışmada da yüksek n-hekzan seviyeleri tespit edilmiştir [36]. Bu çalışmada, yaz mevsiminde hekzanı % 12.93, % 4.85 ve % 2.42 ile sırasıyla 2,4-dimetilpentan, toluen ve siklohekzan takip etmektedir. Kış mevsimi için ise hekzanı % 19.53, % 8.39 ve % 7.35 ile sırasıyla 2,4-dimetilpentan, siklohekzan ve benzen takip etmiştir. Kış mevsiminde dış ortamda ölçülen UOB seviyeleri 57.76 $\mu\text{g m}^{-3}$ (n-hekzan) ile 0.71 $\mu\text{g m}^{-3}$ (metiksiklohekzan) aralığında bulunurken, yaz mevsiminde ölçülen UOB değerleri 138.5 $\mu\text{g m}^{-3}$ (2,4-dimetilpentan) ile 0.10 $\mu\text{g m}^{-3}$ (metilsiklohekzan) aralığında bulunmuştur. Her bir ortalama UOB konsantrasyonu dikkate alındığında kışın dış ortamda ölçülen ortalama UOB seviyesinin yaz mevsimine kıyasla yaklaşık 1.4 kat daha yüksek olduğu görülmektedir.

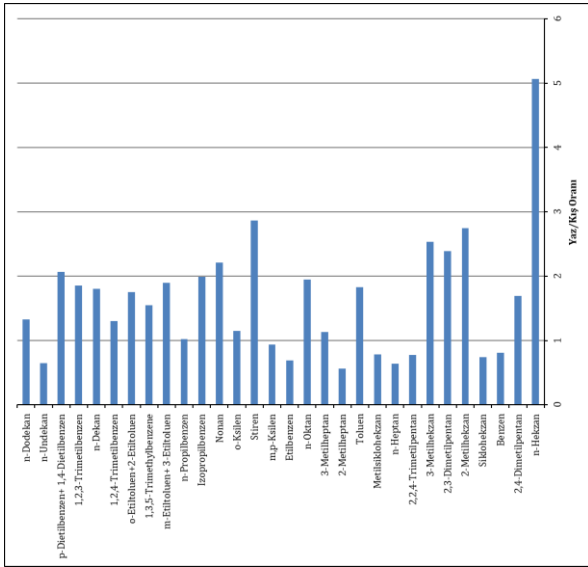
3.2 Ölçülen UOB'lerin zamansal değişimi

Uçucu bileşiklerin konsantrasyonu sıcaklığa bağlı olduğundan, kirleticilerin konsantrasyon dağılımları da geniş bir aralıkta olabilmektedir. Yaz/Kış (Y/K) oranı, bir kirleticinin mevsimsel değişimini anlamak için önemli bir parametre olmakla birlikte iç mekanda ölçülen her bir bileşiğe ait Y/K oranı Şekil 3'te gösterilmiştir. Yaz aylarındaki toplam UOB konsantrasyonunun kışın yaklaşık iki katı olduğu görülmektedir. Ölçülen UOB'lerin Y/K oranları 3 grupta incelenmiştir. Birinci grupta Y/K değeri 2'den büyük olan UOB'ler hekzan, 3-metilhekzan, 2-metilhekzan, n-oktan, 2,3-dimetilpentan, stiren, p-dietilbenzen+1,4-dietilbenzen, nonan, izopropil benzen olarak belirlenmiştir. Hekzan bir çözücü olarak kullanılmakla birlikte aynı zamanda petrol eteri gibi diğer çözücülerin üretimi sırasında da kullanılmaktadır [25]. Örnekleyicilerin konulduğu laboratuvarlar genellikle hekzanın analizler için kullanıldığı laboratuvarlardır. Ancak örneklemelerin sadece beş gün sürdüğü göz önüne alındığında, hekzanın yaz mevsiminde kış mevsimine kıyasla (dersler bittiği ve lisans üstü öğrencilerin deneylerini gerçekleştirdikleri için) daha fazla tüketilmiş olabileceği de ön görülmektedir. Bunun yanında artan mekan sıcaklığı uçucu maddelerin buharlaşmasını arttırdığı için birinci grup için toplam UOB yükünün artmasına neden olduğu ön görülmektedir [26]. Toluene, 1,2,3-trimetilbenzen, 1,3,5-trimetilbenzen, 2,4-dimetilpentan, o-ksilen, 1,2,4-trimetilbenzen, n-dodokan, n-dekan, m-etiltoluen+3-etiltoluen ve 3-metilheptan'dan oluşan ikinci grup için Y/K oranları 1 ile 2 arasındadır. Dolayısıyla, artan mekan sıcaklığı ile bu grubun da seviyelerinin arttığı görülmektedir. Metilsiklohekzan, benzen, 2,2,4-trimetilpentan, etilbenzen, siklohekzan, n-heptan, 2-metilheptan, n-propilbenzen, n-undekan ve m,p-ksilen düşük Y/K oranlarına sahip üçüncü gruptadır. Benzen, iç mekan hava kalitesi için trafik kaynaklı emisyonların önemli göstergelerinden biridir [27]. Dolayısıyla, bu gruptaki kirleticilerin seviyelerinin dış ortamdaki faaliyetlerden etkilendiği ön görülmüştür.



Şekil 2. İç mekanda ölçülen UOB'lerin seviyeleri a)yüksek konsantrasyona sahip, b)düşük konsantrasyona sahip UOBşer gruplanmıştır.

Figure 2. Concentrations of measured indoor VOCs.



Şekil 3. Çalışmada iç mekanlarda ölçülen UOB'lerin Yaz/Kış oranları.

Figure 3. Summer/Winter ratios of VOCs measured in the study. Mekansal değişim

Uçucu bileşiklerin konsantrasyonu ve kompozisyonu kaynaklara bağlı olduğundan, mekansal değişimler sıklıkla görülmektedir. İç mekandaki kirleticilerin kaynakları ve difüzyon ve konveksiyon ile taşınımı önem arz etmekle birlikte kirleticilerin İç mekan/Dış ortam (İ/D) oranı kaynakları hakkında bilgi vermektedir [27]. Her bir bileşiğe ait mekansal İ/D oranı Tablo 3'te gösterilmiştir. İ/D değerinin birden büyük ise iç mekandaki lokal kaynakların etkisinin daha yüksek olduğunu; İ/D değerinin bire yakın olduğu durumda, iç ve dış ortam kaynaklarının aynı seviyede etkili olduğunu; İ/D değerinin birden çok düşük olması dış ortamdaki kaynaklı

kirleticilerin daha baskın olduğunu göstermektedir. Gelişmiş ülkeler için iç mekan ve dış ortam konsantrasyonları birbirine yakındır ve İ/D oranları 0.7 ile 4.0 arasında değişim göstermektedir [28]. İç ve dış ortam koşulları arasındaki ilişkinin karmaşık olmasının yanı sıra meteorolojik faktörler, iç mekan kaynakları, kirleticilerin uzaklaştırılma mekanizmaları, iç mekanın filtrasyonu ve havalandırması bu ilişkide rol oynamaktadır. Bunun yanında iç ve dış kirleticilerin konsantrasyonları ve kaynaklarında da farklılıklar görülmektedir [27].

İ/D değerleri kış ve yaz sezonu için sırasıyla 0.07-24.20 ve 0.19-32.62 arasında değişmektedir. Her iki mevsim göz önüne alındığında, laboratuvarlarda ölçülen neredeyse tüm UOB'lerin daha yüksek iç mekan konsantrasyonlarına (İ/D>1) sahip olduğu görülmektedir. Muhtemelen kapı ve pencerelerin kapalı tutulmasından dolayı iç ortamdaki organik kirleticiler birikmiş ve daha yüksek organik kirletici seviyeleri tespit edilmiştir. Ortalama yaz İ/D oranının 1.90'dan kış mevsiminde 1.74'e düştüğü görülmektedir. Kışın yanma kaynaklı atmosferdeki kirleticilerin artması ve kışın güneşten gelen radyasyonun azalması nedeniyle fotokimyasal aktivite azalmakta, özellikle de trafik kaynaklı UOB konsantrasyonları (örn. benzen, etilbenzen, m,p-kilen) artış göstermektedir. Ancak, bu çalışmada yaz ve kış İ/D değerleri arasında istatistiksel olarak bir farkın olmamasının ($p < 0.05$) temelde bina içerisinde kullanılan çözücü, çözelti ve kimyasal madde miktarlarının iki mevsimde de aynı seviyede olmasının ve iç mekan kaynakları için baskın bir kaynak oluşturmalarının sebep olduğu ön görülmektedir. Ayrıca havalandırmanın mekanik olarak yapılmasının da, iç mekandaki organik yükü yüksek kirli havanın dış ortamda ölçülmüş olan UOB konsantrasyonlarını etkilemiş olabileceği de ön görülmektedir. Sonuç olarak iç mekan kirletici kaynaklarının özellikle yaz mevsiminde binadaki UOB seviyelerini belirlediği görülmektedir. Ayrıca iç ve dış ortamdaki UOB ortalama değerleri hem yaz hem de kış için Kruskal Wallis Testi ile karşılaştırılmıştır. Laboratuvarlarda ölçülen UOB seviyeleri diğer kapalı mekanlara kıyasla istatistiksel olarak anlamlı bir fark ($p < 0.05$) göstermiştir. Ancak diğer mekanlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir ($p > 0.05$). Bu durum, laboratuvarların bina için çok önemli bir UOB kaynağı olduğunu göstermektedir.

3.3 Kaynak Belirleme

Binada ölçülen UOB'lerin kaynaklarının araştırılması için toplanan 52 örnek için faktör analizi (FA) uygulanmıştır. 2,3,4-trimetilpentan'ın communalities (ortak varyans) tablosundaki varyansı düşük olduğu için hem yaz hem de kış veri setlerinden çıkarılmıştır. Çalışmada tüm veri setine FA uygulanması sonucunda toplam varyansın %80.35'ni açıklayan beş faktör belirlenmiştir ve elde edilen sonuçlar Tablo 4'te gösterilmiştir.

Faktör 1, n-hekzan, toluen, oktan, nonan, etilbenzen, 1,2,3-trimetilbenzen, 1,2,4-trimetilbenzen, 1,3,5-trimetilbenzen, n-dekan ve n-dodekan gibi yüksek ağırlıklı organik kirleticilerden oluşmaktadır. Hekzan ve toluen, çözücülerin ana bileşenleri olarak bilinmektedir [30]. Ayrıca her iki kirleticinin de araçlardan ve solvent kullanılan bazı faaliyetlerden atmosfere salındığı bilinmektedir [31], [32]. Dolayısıyla, bu faktöre yüklenen kirleticilerin laboratuvarlarda yüksek değerlerde tespit edilmiş olması nedeniyle, toplam varyansın %28.38'ünü açıklayan Faktör 1'in, bina içerisindeki çözücü kullanımından/depolanmasından kaynaklandığı ön görülmektedir.

Tablo 3. Çalışma süresince farklı mekanlarda ölçülen UOBlerin yaz ve kış mevsimi için hesaplanan İ/D oranları.
Table 3. I/D ratios of VOCs measured at different locations during the study period for summer and winter seasons.

Bileşikler	Yaz (İ/D)				Kış (İ/D)			
	Koridor	Lab	Sınıf	Ofis	Koridor	Lab	Sınıf	Ofis
n-Hekzan	0.80	1.52	0.74	0.60	0.53	8.78	1.02	0.25
2,4-Dimetilpentan	0.19	3.67	0.40	0.15	0.12	3.98	0.07	-
Benzen	0.95	17.11	0.91	0.89	0.44	8.13	0.50	0.49
Sikloheksan	1.47	32.62	0.54	1.86	0.99	24.20	1.04	0.45
2-Metilheksan	0.43	18.27	0.40	0.49	0.63	14.16	0.75	0.71
2,3-Dimetilpentan	0.63	17.60	0.45	0.48	0.69	11.55	0.62	0.72
3-Metilheksan	0.79	16.41	0.44	0.95	0.57	8.60	0.75	0.76
2,2,4-Trimetilpentan	0.40	1.88	1.06	0.84	0.58	2.00	0.99	0.34
n-Heptan	0.65	3.94	0.70	0.63	0.54	12.96	0.65	0.44
Metilsikloheksan	0.52	2.06	0.80	0.64	6.09	2.18	1.11	0.74
Toluen	0.59	3.10	0.90	0.45	0.36	2.52	0.84	0.25
2-Metilheptan	0.86	2.19	1.61	0.70	1.68	2.73	1.19	0.77
3-Metilheptan	0.35	0.94	0.50	0.23	3.64	1.21	0.91	0.66
n-Oktan	0.53	1.20	0.60	0.70	0.75	1.17	0.94	0.61
Etilbenzen	0.99	8.38	0.80	0.86	0.54	6.50	0.64	0.53
m,p-Ksilen	0.85	2.72	0.85	0.77	0.42	2.01	0.62	0.32
Stiren	0.67	2.74	0.64	0.70	0.36	1.61	0.42	0.74
o-Ksilen	1.06	2.85	0.81	0.88	0.45	2.02	0.66	0.30
Nonan	0.64	1.38	0.57	0.82	1.29	1.20	0.93	0.62
Izopropilbenzen	0.38	1.58	0.18	0.52	1.70	1.27	1.31	0.88
n-Propilbenzen	0.30	2.00	0.30	0.44	0.53	4.18	1.04	1.76
m-Etiltoluen+ 3-Etiltoluen	0.64	2.00	0.71	0.83	0.28	1.11	0.72	0.70
1,3,5-Trimethylbenzene	0.77	1.66	0.73	0.79	0.35	0.83	0.61	0.31
o-Etiltoluen+2-Etiltoluen	0.49	2.62	0.86	0.98	0.43	1.08	0.55	1.11
1,2,4-Trimetilbenzen	0.47	1.35	0.66	0.82	0.67	0.76	0.86	0.54
n-Dekan	0.67	1.60	0.88	0.89	0.83	0.84	0.70	0.68
1,2,3-Trimetilbenzen	0.49	2.71	1.54	-	0.80	1.82	1.22	0.79
p-Dietilbenzen+ 1,4-Dietilbenzen	0.57	2.43	0.77	-	0.66	1.02	0.75	0.72
n-Undekan	0.98	1.48	0.76	0.91	0.93	2.22	0.73	2.37
n-Dodekan	0.80	1.22	0.82	0.78	1.28	1.32	1.09	0.79

Faktör 2 için ana kirleticiler benzen, sikloheksan, metilsikloheksan, toluen, 2-metilheptan, m,p-ksilen ve o-ksilen olarak belirlenmiştir. BTEX grubu (Benzen, Toluen, Etilbenzen ve Ksilen) trafik kaynaklı emisyonların göstergesidir [31]. Benzenin ana kaynağının trafik olduğu bilinmektedir [27, 29]. Faktör 2'de benzenin fazla baskın olduğu dikkat çekmektedir. Bu sebeple toplam varyansın %21.84'ünü açıklayan Faktör 2'nin trafik kaynaklı olduğu ön görülmüştür. Faktör 3 ve Faktör 4 için 2-metilheksan, 3-metilheksan 2,3-dimetilpentan, 2,2,4-trimetilpentan, metilsikloheksan ve 3-metilheptan baskın bileşiklerdir. Hekzan ve grupları buharlaşma kaynaklarından iç mekanlara yayılmaktadır [22], [34]. Hekzan grupları bazik çözücü bileşikler olduğundan dolayı, toplam varyansın sırasıyla %15.71'i ve %8.68'ini oluşturan Faktör 3 ve Faktör 4'ün çözücü

ve bölümdeki kimyasal tüketiminden kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Son olarak, toplam varyansın %5.74'ü olan Faktör 5'in ağırlıkça hekzan ağırlıklı olması, bu faktörün yine solvent kullanımı gibi buharlaşmadan gelen bir kaynağı işaret ettiğini düşündürmektedir.

3.4 Risk Değerlendirmesi

Hedeflenen tüm kirleticiler içerisinde sadece benzen kanserojen olarak kabul edilerek, binayı en sık kullanan farklı alıcı grupları için (lisans öğrencisi, personel, lisans üstü öğrenci ve araştırma görevlisi) her bir mevsimdeki ortalama kirletici konsantrasyonları kullanılarak risk hesaplamaları yapılmış ve Tablo 5'te verilmiştir. Laboratuvarların entegre ofisler olarak kullanılması durumunda hem araştırma görevlileri hem de

lisansüstü öğrenciler için kanserojenik risklerin tolere edilebilir limitten ($1.0E-06$) sırasıyla yaklaşık olarak 12 ve 1.2 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca, binada görev yapan personelin emekli olana kadar aynı yerde çalışması durumunda da hesaplanan riskin kabul edilebilir limit değerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Diğer tüm alıcı gruplar için farklı mekanlardaki kanser riskleri ise EPA tarafında önerilen $1.0E-06$ 'dan düşük olarak bulunmuştur. Dolayısıyla diğer alıcılar için bu mekanlardaki belirtilen süreler dahilinde ölçülen UOB seviyelerine maruziyetten kaynaklı oluşabilecek bir kanser riski söz konusu değildir.

4 Sonuç

Çalışmada ölçülen UOB'lerin konsantrasyonlarının kış ve yaz için sırasıyla $0.10 \mu\text{g m}^{-3}$ (3-metilhekzan) ile $1954.00 \mu\text{g m}^{-3}$ (hekzan) ve $0.10 \mu\text{g m}^{-3}$ (izopropilbenzen) ile $5194.20 \mu\text{g m}^{-3}$ (hekzan) arasında değiştiği görülmüştür. Hekzan, yaz ve kış kampanyasında sırasıyla toplam UOB konsantrasyonunun % 64.71'sini ve % 32.74'ünü oluşturmuştur. Dolayısıyla, toplam UOB içeriğine en yüksek katkıyı yapan bileşiğin hekzan olduğu anlaşılmaktadır. Metilsiklohekzan, m,p-ksilen, n-heptan, siklohekzan, 2-metilheptan, benzen, 2,2,4-trimetilpentan, n-propilbenzen, n-undekan ve etilbenzenin Y/K değerleri birden

küçüktür. Bunların dışındaki diğer tüm organik bileşikler için Y/K oranı birden büyük olarak hesaplanmıştır. Bu durum, artan ortam sıcaklığı nedeniyle buharlaşma kaynaklı kimyasalların veya solventlerin bina içerisinde çok önemli bir kaynak oluşturduğunu göstermektedir. Hem yaz hem de kış mevsimi için en yüksek organik konsantrasyonların laboratuvarlarda ölçülmüş olması bu düşüncüyü destekler niteliktedir. Çalışmada gerçekleştirilen kaynak belirleme çalışmasının sonucunda da her iki mevsim için bina içerisinde deneylerde kullanılan ve saklanan kimyasallar toplam varyansın yaklaşık % 60'nı açıklayarak, en önemli UOB kaynağı olarak bulunmuştur. Ayrıca çalışmada, bina içerisinde ölçülen UOB'lerin farklı alıcılar üzerinde oluşturduğu solunum yolu sağlık riskleri hesaplanmış ve laboratuvarlarda çalışan ve laboratuvar içerisinde ofisleri bulunan araştırma görevlilerinin ciddi anlamda bu durumdan etkilendiği ve sınır değeri yaklaşık 12 katı üstünde bir kanser riski taşıdıkları görülmüştür. Dolayısıyla, üniversite binalarında, laboratuvarların ofis olarak kullanılmaması ve kimyasallardan kaynaklı risklerin önüne geçilebilmesi adına binalar planlanırken derslikler, ofisler vb. diğer iç mekanlardan daha uzakta konumlandırılmaları ve havalandırma sistemlerine daha fazla önem verilmesi önerilmektedir.

Tablo 4. Örneklemeye dönemlerinde toplanan UOB'lere ait faktörler.

Table 4. Factors of VOCs collected in the sampling periods.

Bileşikler	F1	F2	F3	F4	F5
n-Hekzan	0.56				0.59
2,4-Dimetilpentan	0.26		0.79		0.43
Benzen	0.58	0.95			
Siklohekzan		0.75	0.33		0.45
2-Metilhekzan	0.31		0.91		
2,3-Dimetilpentan	0.25		0.93		
3-Metilhekzan	0.26		0.93		
2,2,4-Trimetilpentan			0.60		0.65
n-Heptan				0.44	
Metilsiklohekzan				0.95	
Toluen	0.61	0.66	0.31		
2-Metilheptan		0.85			
3-Metilheptan	0.25			0.83	
n-Oktan	0.72		0.50		
Etilbenzen	0.97				
m,p-Ksilen	0.30	0.94			
Stiren	0.85	0.35			
o-Ksilen	0.32	0.93			
Nonan	0.80		0.26		
Izopropilbenzen	0.72				
n-Propilbenzen	0.52	0.35		0.69	
m-Etiltoluen+ 3-Etiltoluen	0.83	0.44			
1,3,5-Trimethylbenzene	0.78	0.38	0.25		
o-Etiltoluen+2-Etiltoluen	0.71	0.59			
1,2,4-Trimetilbenzen	0.77	0.31			
n-Dekan	0.88		0.31		
1,2,3-Trimetilbenzen	0.77		0.33		
p-Dietilbenzen+ 1,4-Dietilbenzen	0.74		0.27		
n-Undekan					0.56
n-Dodekan	0.39				
% Katkı	28.38	21.84	15.71	8.68	5.74
%Kümülatif katkı	28.38	50.22	65.93	74.61	80.35

Tablo 5. Farklı mekanlarda her bir alıcı grubunun benzen maruziyeti kaynaklı kanser risklerinin aralığı ((yaz-kış)×E-06)

Table 5. Range of cancer risks from benzene exposure for each receptor group in different locations ((summer-winter)×E-06)

Alıcı grup	Dış ortam	Sınıflar	Ofisler	Laboratuvarlar
Lisans öğrencisi	0.096-0.243	0.234-0.323		
Personel	0.489 -0.911		1.71 -2.38	
Lisansüstü öğrenci	0.057-0.145			1.10-1.31
Araştırma görevlisi	0.545 -0.389			10.57-12.65

5 Conclusion

In this study, VOC levels in different indoor areas of Gebze Technical University, Department of Chemistry building, were investigated in two sampling campaigns, summer and winter. It was seen that the concentrations of VOCs measured in the study varied between 0.10 µg m⁻³ (3-methylhexane) to 1954.00 µg m⁻³ (hexane) and 0.10 µg m⁻³ (isopropylbenzene) to 5194.20 µg m⁻³ (hexane), and for summer and winter, respectively. Hexane constituted 64.71 % and 32.74 % of the total VOC concentration in summer and winter campaigns, respectively. Therefore, it is understood that hexane is the compound that makes the highest contribution to the total VOC content. Methylcyclohexane, n-heptane, ethylbenzene, 2,2,4-trimethylpentane, 2-methylheptane, benzene, cyclohexane, n-undecane, n-propylbenzene, and m,p-xylene have S/W values less than one. For all other organic compounds, the S/W ratio was calculated as greater than one. This situation shows that chemicals or solvents originating from evaporation constitute a very important source inside the building due to the increasing ambient temperature. This idea is supported by the fact that the highest organic concentrations were measured in the laboratories during both the summer and winter seasons. As a result of the source determination study carried out in the study, chemicals used and stored inside the building were found to be the most important VOC source, explaining approximately 60% of the total variance for both seasons. In addition, the respiratory health risks posed by VOCs measured inside the building on different receptors were calculated in the study and it was seen that research assistants working in laboratories and having offices inside the laboratory were seriously affected by this situation and had a cancer risk six times higher than the limit value. Therefore, it is recommended that laboratories in university buildings should not be used as offices and those they should be positioned further away from other interior spaces such as classrooms, offices, etc. and that more importance should be given to ventilation systems in order to prevent risks from chemicals.

6 Teşekkür

7 Yazar katkı beyanı

Yazar 1 numunelerin toplanması ve analiz edilmesi, Yazar 2 çalışmaların planlanması, analiz edilmesi ve yorumlanması, Yazar 3, asıl metnin revizyonun yazılması, Yazar 4 fikrin oluşması, çalışmaların planlanması, numunelerin analiz edilmesi ve yorumlanması başlıklarında katkı sağlamıştır.

8 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur. Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

9 Kaynaklar

- [1] Brown SK. "Volatile organic pollutants in new and established buildings in Melbourne, Australia". *Indoor Air*, 12(1), 55-63, 2002.
- [2] Godwin C, Batterman S. "Indoor air quality in Michigan schools". *Indoor Air*, 17(2), 109-121, 2007.
- [3] Saraga D, Pateraki S, Papadopoulos A, Vasilakos C, Maggos T. "Studying the indoor air quality in three non-residential environments of different use: A museum, a printery industry and an office". *Building and Environment*, 46(11), 2333-2341, 2011.
- [4] Liu N, Bu Z, Liu W, Kan H, Zhao Z, Deng F, Zhang Y. "Health effects of exposure to indoor volatile organic compounds from 1980 to 2017: A systematic review and meta-analysis". *Indoor Air*, 32(5), 1-15, 2022.
- [5] Babayiğit MA, Bakir B, Tekbaş ÖF, Oğur R, Kiliç A, Ulus S. "Indoor air quality in primary schools in Keçiören, Ankara". *Turkish Journal of Medical Sciences*, 44(1), 137-144, 2014.
- [6] Madureira J. "Indoor air quality in schools and its relationship with children's respiratory symptoms". *Atmospheric Environment*, 118, 145-156, 2015.
- [7] Mishra N, Bartsch J, Ayoko GA, Salthammer T, Morawska L. "Volatile Organic Compounds: Characteristics, distribution and sources in urban schools". *Atmospheric Environment*, 106, 485-491, 2015.
- [8] Zhang G, Spickett J, Rumchev K, Lee AH, Stick S. "Indoor environmental quality in a 'low allergen' school and three standard primary schools in Western Australia". *Indoor Air*, 16(1), 74-80, 2006.
- [9] Verrielle M, Schoemaeker C, Hanoune B, Leclerc N, Germain S, Gaudion V, Locoge N. "The MERMAID study: indoor and outdoor average pollutant concentrations in 10 low-energy school buildings in France". *Indoor air*, 26(5), 702-713, 2016.
- [10] Sofuoglu SC, Aslan G, Inal F, Sofuoglu A. "An assessment of indoor air concentrations and health risks of volatile organic compounds in three primary schools". *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 214(1), 36-46, 2011.
- [11] Rumchev K, Ourangui R, Bertolatti D, Spickett J. "Indoor air quality in old and new schools" in *WIT Transactions on Biomedicine and Health*, 5, 25-32, 2007.
- [12] Onat B, Yaşar G, Uzun B, Ayvaz C, Alver Şahin Ü. "Indoor environmental quality in the university laboratories". *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 29(6), 642-649, 2023.
- [13] Kang J, Liu J, Pei J. "The indoor volatile organic compound (VOC) characteristics and source identification in a new university campus in Tianjin, China". *Journal of the Air and*

Waste Management Association, 67(6), 725–737, 2017.

[14] Allou L, Marchand C, Mirabel P, Le Calvé S. "Aldehydes and BTEX measurements and exposures in university libraries in Strasbourg (France)". *Indoor and Built Environment*, 17(2), 138–145, 2008.

[15] Kolarik J, Toftum J, Kabrhel M, Jordan F, Geiss O, Kabele K. "Field measurements of perceived air quality and concentration of volatile organic compounds in four offices of the university building". *Indoor and Built Environment*, 24(8), 1048–1058, 2015.

[16] Solomon SJ, Schade GW, Kuttippurath J, Ladstätter-Weissenmayer A, Burrows JP. "VOC concentrations in an indoor workplace environment of a university building". *Indoor and Built Environment*, 17(3), 260–268, 2008.

[17] Akal D, Yurdakul S, Civan MY, Tuncel G, Ersan HY. "Sources of Volatile Organic Compounds in a University Building". *Environmental Forensics*, 16(2), 173–185, 2015.

[18] Goodman NB, Wheeler AJ, Paevere PJ, Selleck PW, Cheng M, Steinemann A. "Indoor volatile organic compounds at an Australian university". *Building and Environment*, 135(2018), 344–351, 2018.

[19] Ho SSH, Ip HSS, Ho KF, Ng LP.T, Dai WT, Cao J, Ho LB. "Evaluation of hazardous airborne carbonyls on a university campus in southern China". *Journal of the Air and Waste Management Association*, 64(8), 903–916, 2014.

[20] Yurdakul S, Civan M, Kuntasal ÖO, Tuncel G. "Temporal variations of BTX compounds in Bursa/Turkey atmosphere". *International Journal of Global Warming*, 5(3), 326–344, 2013.

[21] Yilmaz Civan M, Yurdakul S, Tuncel G. "Improvement of uptake rate equations depending on meteorological conditions for 25 volatile organic compounds". *Talanta*, 99, 720–729, 2012.

[22] Guo H, Wang T, Louie PKK. "Source apportionment of ambient non-methane hydrocarbons in Hong Kong: Application of a principal component analysis/absolute principal component scores (PCA/APCS) receptor model". *Environmental Pollution*, 129(3), 489–498, 2004.

[23] Abdul-Wahab SA, Bakheit CS, Al-Alawi SM. "Principal component and multiple regression analysis in modelling of ground-level ozone and factors affecting its concentrations". *Environmental Modelling and Software*, 20(10), 1263–1271, 2005.

[24] Guo H, Lee SC, Louie PKK, Ho KF. "Characterization of hydrocarbons, halocarbons and carbonyls in the atmosphere of Hong Kong". *Chemosphere*, 57(10), 1363–1372, 2004.

[25] Martínez De Yuso A, Izquierdo MT, Valenciano R, Rubio B. "Toluene and n-hexane adsorption and recovery behavior on activated carbons derived from almond shell wastes". *Fuel Processing Technology*, 110, 1–7, 2013.

[26] Xiong J, Wei W, Huang S, Zhang Y. "Association between the emission rate and temperature for chemical pollutants in building materials: General correlation and understanding". *Environmental Science and Technology*, 47(15), "8540–8547, 2013.

[27] Liu C, Huang X, Li J. "Outdoor benzene highly impacts indoor concentrations globally". *Science of the Total*

Environment, 720, 137640, 2020.

[28] Katiyar V, Khare M. "Horizontal Measurements of SO₂, NO₂ and SPM in Indoor Air and relationship to Outdoor concentration". *Office*, (2), 2007.

[29] Zabiegała B. "Organic compounds in indoor environments". *Polish Journal of Environmental Studies*, 15(3), 383–393, 2006.

[30] Liu Y, Shao M, Fu L, Lu S, Zeng L, Tang D. "Source profiles of volatile organic compounds (VOCs) measured in China: Part I". *Atmospheric Environment*, 42(25), 6247–6260, 2008.

[31] Hoque RR, Khillare PS, Agarwal T, Shridhar V, Balachandran S. "Spatial and temporal variation of BTEX in the urban atmosphere of Delhi, India". *Science of the Total Environment*, 392(1), 30–40, 2008.

[32] Qin Y, Walk T, Gary R, Yao X, Elles S. "C₂-C₁₀ nonmethane hydrocarbons measured in Dallas, USA-Seasonal trends and diurnal characteristics". *Atmospheric Environment*, 41(28), 6018–6032, 2007.

[33] Skov H, Hansen AB, Lorenzen G, Andersen HV, Løfstrøm P, Christensen CS. "Benzene exposure and the effect of traffic pollution in Copenhagen, Denmark". *Atmospheric Environment*, 35(14), 2463–2471, 2001.

[34] Borbon A, Locoge N, Veillerot M, Galloo JC, Guillermo R. "Characterisation of NMHCs in a French urban atmosphere: Overview of the main sources". *Science of the Total Environment*, 292(3), 177–191, 2002.

[35] Sofuoglu, S.C., Aslan, G., Inal, F. and Sofuoglu, A.. "An assessment of indoor air concentrations and health risks of volatile organic compounds in three primary schools". *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 214(1), pp.36-46, 2011.

[36] Yurdakul, S., Civan, M., Özden, Ö., Gaga, E., Döğeroğlu, T. and Tuncel, G. "Spatial variation of VOCs and inorganic pollutants in a university building". *Atmospheric Pollution Research*, 8(1), pp.1-12, 2017.

[37] Kumari, P., Soni, D., Aggarwal, S.G. and Singh, K. Seasonal and diurnal measurement of ambient benzene at a high traffic inflation site in Delhi: Health risk assessment and its possible role in ozone formation pathways". *Environmental Analysis, Health and Toxicology*, 38, p.e2023016, 2023.