Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 32(2), 345-354, 2026

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi

Pamukkale University Journal of Engineering Sciences

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 Yurdakul*[2], *Sena Erkent*[2], *Banu Çetin*[1]

[1]Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli, Gebze Teknik Üniversitesi, Gebze, Türkiye.
cevdetdogan@gtu.edu.tr, bcetin@gtu.edu.tr

[2]Çevre 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 Düzeltme 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 mekândan (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 hekzan %64.71 ile en fazla bulunan bileşik olurken, hekzanı 2,4-dimetilpentan (%12.93), tolüen (%4.85), siklohekzan (%2.42) takip etmiştir. Yaz mevsimine benzer şekilde hekzan %32.74 ile kışın en fazla bulunan organik bileşik olmuştur. Hekzanı 2,4-dimetilpentan (%19.53), siklohekzan (%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 mekânlar için önemli bir kaynak olduğu görülmektedir. Yapılan kaynak belirleme çalışması sonucunda ise UOB'lerin olası kaynaklarını temsil eden 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 mekân.

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 mekân 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 mekânda daha fazla zaman geçirmesi ve enerji verimliliği için mekânik havalandırmanın azaltılması gibi sebepler bu kimyasallara olan maruziyetin artmasına neden olmaktadır. Bununla beraber iç mekân kirleticilerine maruz kalınması ciddi sağlık sorunlarına sebebiyet vermektedir [3]. Özellikle, iç mekânda UOB'lere maruz kalmak, alerjiden kansere kadar birçok ciddi hastalığa ve olumsuz sağlık etkilerine neden olabilmektedir [4].

*Yazışılan yazar/Corresponding author

İnsanlar hayatlarının önemli bir bölümünü ev, üniversite, okul, hastane, banka, restoran ve alışveriş merkezi gibi kapalı ortak mekânlarda geçirdiklerinden dolayı bu alanlardaki hava kalitesi insanların sağlığı üzerinde etkili olmaktadır. Ancak, ortak mekânlardaki iç hava kalitesi, konutlarda olduğu 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 geçirdiği yerlerden biri olan üniversite binaları laboratuvar, koridor, sınıf, ofis vb. olmak üzere birçok farklı türde mekâna sahiptir. Bu kapalı mekânlarda hem çok sayıda öğrencinin ve personelin vakit geçirmesi hem de çeşitli ekipmanların ve kimyasalların kullanılması nedeniyle, bu mekânların kullanıcılarının iç mekân 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 mekân hava kalitesi önem arz etmektedir. Özellikle öğretim yapılan sınıflar ile deneylerin gerçekleştirildiği laboratuvar mekânlarının birbirinden fiziksel olarak ayrılmadığı üniversite binalarında öğrencilerin, akademisyenlerin ve araştırmacıların sağlık riskleri artabilmektedir. Bütün bunlar iç mekân kirleticilerinden biri olan UOB'lerin ciddi derecede sağlık ve solunum rahatsızlıklarına neden olabileceği 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 mekânların UOB seviyelerinin belirlenmesine yönelik çeşitli çalışmalar literatürde bulunmaktadır. Bu çalışmalarda, üniversite kampüsü içinde yer alan binalardaki UOB seviyelerinin dış ortamdan daha yüksek olduğu belirtilmektedir [18]. Başka bir çalışmada ise formaldehit ve karbonillerin üniversite ofisleri, laboratuvarlar, amfiler, konaklama mekânları vb. gibi farklı iç mekânlardaki 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 mekân hava kalitesi ülkelere ve üniversitelere göre farklılaşabilmektedir.

Bununla birlikte, kirleticilerin sağlık risk değerlendirmesi hava kirliliği 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 mekânsal ve mevsimsel değişimi araştırılmış, olası kaynakları belirlenmiş ve bina sakinleri için olası solunum kaynaklı sağlık riski tahmin edilmiştir.

2 Materyal ve metot

2.1 Saha tanımı

Örnekleme işlemi Gebze Teknik Üniversitesi Kimya Bölümü Binası'nda gerçekleştirilmiştir. Binanın konumu Şekil 1'de verilmiştir. Oldukça sanayileşmiş bir bölgede yer alan Gebze, Türkiye'nin kuzeybatısında, Marmara Denizi'nin kıyı şeridine yakın bir konumda yer almaktadır. Gebze Teknik Üniversitesi Kimya Bölümü sanayinin yoğun olduğu bölgelere uzak olmasına rağmen üniversite çevresinde döküm, şeker ve demir çelik başta olmak üzere çeşitli sanayi tesisleri bulunmaktadır. Kampüsün kuzeydoğusunda (~1 km) karayolu ve yerleşim alanı, kuzeybatısında (~1 km) orman, daha kuzeybatıda (~2 km) döküm ve gıda fabrikaları; doğusunda (~1 km) ise evsel atık su arıtma tesisi ile demir-çelik fabrikaları bulunmaktadır.

Kimya bölümü binası 3 katlı (zemin kat, 1. kat ve 2. kat) ve 4 yıllık (örneklemenin yapıldığı zaman) yeni bir yapıdır. Zemin kat çevre mühendisliği bölümü olduğu için çevresel analiz deneyleri bu katta yapılmaktadır.

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'de binada bulunan farklı mekân tiplerinin dağılımı ve yerleştirilen pasif örnekleyici sayıları verilmiştir. Koridorlarda, laboratuvarlarda, dersliklerde ve ofislerde doğal veya mekânik havalandırma sistemleri kullanıcı ihtiyacına göre kullanılmaktadır.

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

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

Mekân Tipleri	Mekân 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 örnekleyici sayılarını göstermektedir.

2.2 Örnekleme

Örnekleme için pasif örnekleme 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 [20]. Tüpler örnekleme 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 örnekleme 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],[21]. 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 örnekleme dönemi için ayrıca 5 adet şahit numune tüpü hazırlanmıştır. Şahit numuneler örneklerle birlikte hazırlanmış ve örnekleme 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 örnekleme 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 mekân konsantrasyonunu ($\mu g \cdot L^{-1}$); t maruziyet süresini (dakika) ve $U.R.$ alım oranını ($L \cdot dak^{-1}$) göstermektedir. Bu pasif örnekleme literatürde iyi bilinen ve kabul edilmiş bir yöntemdir [17]. Ölçümler sırasında pasif örnekleme tüplerinin performans özellikleri ve örnekleme 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 µgm^{-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 dk.'da desorbe edilmesi sağlanmıştır. Bileşiklerin toplanması ve konsantre edilmesi için -15 °C'de soğuk tuzağa (cold trap) gönderilmiştir.

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

Kirleticiler, soğuk tuzak sıcaklığı hızla 300 °C'ye yükseltilerek 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-Al/S (HP-PLOT/Al_2O_3, 60-200 °C, 50m x 0.32 mm, 8µm film kalınlığı, Sodyum sülfat-deaktivasyonlu) kolonları kullanılmıştır. Fırın sıcaklığı başlangıçta 40 °C'de 10 dk. bekleme ve 10 °C/dk. sıcaklık artışı ile 195 °C'ye yükseltilmiş ve bu sıcaklıkta 10 dk. 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 kütlesel (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 µg m^{-3} ile nonan için 0.12 µg 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 mekânlarda ölçülen ortalama sıcaklık ve ortalama bağıl nem değerleri kış/yaz örnekleme 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.

2.4 Faktör analizi

İç mekân 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 mekânda bulunan benzenin solunum açısından kanserojen risk değerlendirmesi yapılmıştır. Lisans öğrencileri, personel, laboratuvarlarda çalışan lisansüstü öğrenciler ve araştırma görevlileri dikkate alınarak her mekân ve her grup için ayrı ayrı riskler hesaplanmıştır. Vücut tarafından günlük alınan doz, Denklem 2'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır [10];

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

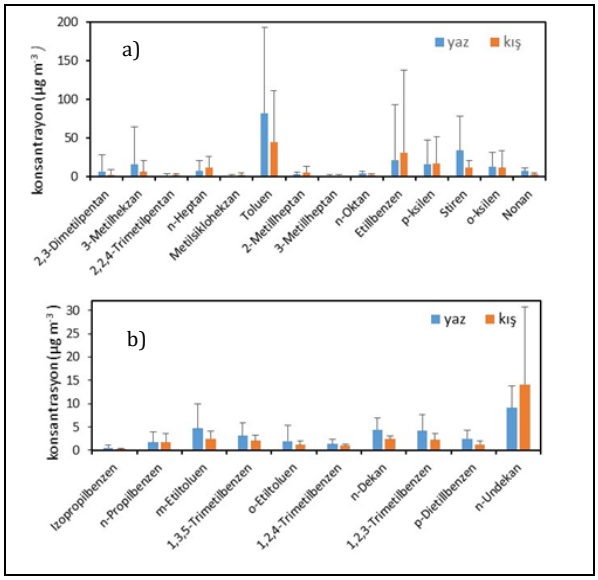
Burada; Ic vücut tarafından günlük olarak alınan doz ($mg \cdot kg^{-1}$ $vucut$ $ağırlığı \cdot gün^{-1}$); C, maruz kalınan kirleticinin konsantrasyonu ($\mu g \cdot m^{-3}$); CR, temas oranı ($L \cdot gün^{-1}$); EF maruz kalma sıklığı ($gün \cdot yıl^{-1}$); ED, Maruz kalma süresi ($yıl$); RR tutma 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 kirletici için ortalama konsantrasyon değerleri o mekân için C değeri olarak kullanılmıştır. Günlük alım miktarı hesabında EF değerleri için; herkesin dış ortamda 1.5 sa. öğrencilerin sınıfta 5 sa. çalışan personelin ofislerde 6 sa. araştırma görevlilerinin laboratuvarlarda 6 sa. 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 (I_c) kanserojen eğim faktörü (SF) ile çarpılmasıyla Denklem (3)'te gösterildiği gibi hesaplanmıştır. Çalışmada SF, 0.0273 $mg \cdot kg^{-1} \cdot gün^{-1}$ olarak alınmıştır [36].

$$Risk = I_c \times SF \quad (3)$$

3 Bulgular ve tartışma

3.1 Ölçülen UOB'lerin seviyeleri

Çalışmada her iki örnekleme döneminde 55 UOB'den 30'u tespit edilmiş ve UOB'lerin ortalama konsantrasyonları 0.1-5194.2 µg m^{-3} arasında değişmiştir. Ortalama iç mekân n-hekzan ve 2,4-dimetilpentan konsantrasyonları sırasıyla yaz mevsimi için 1103±4560 µg m^{-3} ve 220±469 µg m^{-3}, kış mevsimi içinse 218±457 µg m^{-3} ve 130±294 µg m^{-3} olarak bulunmuştur. Diğer iç mekân ortalama UOB konsantrasyonları yaz ve kış mevsimleri için Şekil 2'de gösterilmiştir.



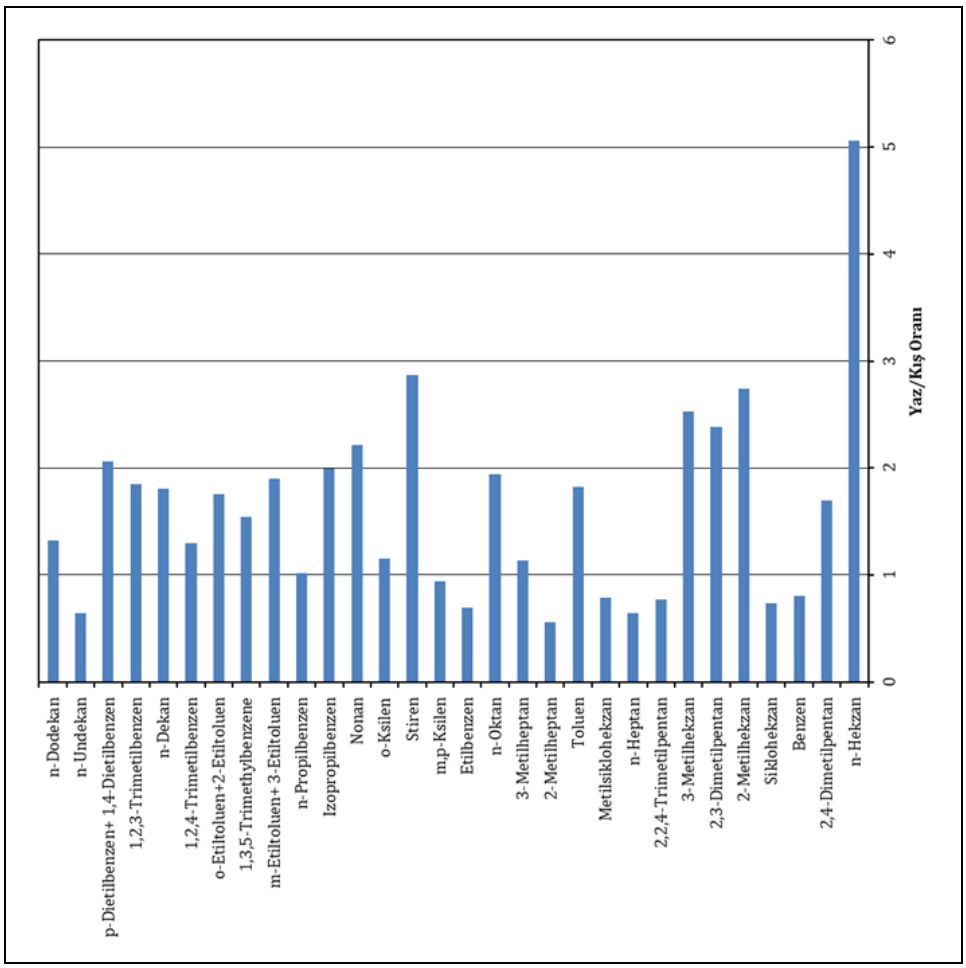
Şekil 2. İç mekânda ölçülen UOB'lerin seviyeleri. (a): Yüksek konsantrasyona sahip. (b): Düşük konsantrasyona sahip UOB'ler gruplanmıştır.

Figure 2. Levels of VOCs measured indoors. (a): VOCs with high concentration are grouped. (b): VOCs with low concentration are grouped.

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 mekânlarda daha yüksek UOB seviyelerinin ölçüldüğü düşünülmektedir. n-hekzan'nın 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 [35]. 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 µg m^{-3} (n-hekzan) ile 0.71 µg m^{-3} (metiksiklohekzan) aralığında bulunurken, yaz mevsiminde ölçülen UOB değerleri 138.5 µg m^{-3} (2,4-dimetilpentan) ile 0.10 µg 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 mekânda ölçülen her bir bileşiğe ait Y/K oranı Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Çalışmada iç mekânlarda ölçülen UOB'lerin yaz/kış oranları.

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

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 mekân sıcaklığı uçucu maddelerin buharlaşmasını arttırdığı için birinci grup için toplam UOB yükünün artmasına neden olduğu ön görülmektedir [26]. Toluen, 1,2,3-trimetilbenzen, 1,3,5-trimetilbenzen, 2,4-dimetilpentan, o-ksilen, 1,2,4-trimetilbenzen, n-dodokan, n-dekan, m-etilltoluen+3-etiltoluen ve 3-metilheptan'dan oluşan ikinci grup için Y/K oranları 1 ile 2 arasındadır. Dolayısıyla, artan mekân 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 mekân hava kalitesi için trafik kaynaklı emisyonların önemli göstergelerinden biridir [27]. Dolayısıyla, bu gruptaki kirleticilerin seviyelerinin dış ortamdaki faaliyetlerden etkilendiği ön görülmüştür. Uçucu bileşiklerin konsantrasyonu ve kompozisyonu kaynaklara bağlı olduğundan, mekânsal değişimler sıklıkla görülmektedir. İç mekândaki kirleticilerin kaynakları ve difüzyon ve konveksiyon ile taşınımı önem arz etmekle birlikte kirleticilerin İç mekân/Dış ortam (İ/D) oranı kaynakları hakkında bilgi vermektedir [27]. Her bir bileşiğe ait mekânsal İ/D oranı Tablo 3'te gösterilmiştir. İ/D değerinin birden büyük ise iç mekândaki 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 ortamdan kaynaklı kirleticilerin daha baskın olduğunu göstermektedir. Gelişmiş ülkeler için iç mekân 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 mekân kaynakları, kirleticilerin uzaklaştırılma mekânizmaları, iç mekânın filtrasyonu ve havalandırması bu ilişkide rol oynamaktadır. Bunun yanında iç ve dış kirleticilerin konsantrasyonları ve kaynaklarında da farklılıklar görülmektedir [27].

Tablo 3. Çalışma süresince farklı mekânlarda ölçülen UOB'lerin 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.

	Yaz (İ/D)				Kış (İ/D)			
Bileşikler	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
Siklohekzan	1.47	32.62	0.54	1.86	0.99	24.20	1.04	0.45
2-Metilhekzan	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-Metilhekzan	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
Metilsiklohekzan	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

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 mekân konsantrasyonlarına (İ/D>1) sahip olduğu görülmektedir. Bu durumun, kapı ve pencerelerin kapalı tutulmasına bağlı olarak organik kirleticilerin ortamda birikmesinden kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Ortalama yaz İ/D oranının 1.90'dan kışı 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-ksilen) 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 mekân kaynakları için baskın bir kaynak oluşturmasının sebep olduğu ön görülmektedir. Ayrıca havalandırmanın mekânik olarak yapılmasının da, iç mekândaki organik yükü yüksek kirli havanın dış ortamda ölçülmüş olan UOB konsantrasyonlarını etkilemiş olabileceği de ön görülmektedir. Sonuç olarak iç mekân 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 mekânlara kıyasla istatistiksel olarak anlamlı bir fark ($p<0.05$) gösterirmiştir. Ancak diğer mekânlar 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, Faktör 1'de yüksek faktör yüküne sahip bileşenlerin laboratuvar kaynaklı olması, toplam varyansın %28,38'ini açıklayan bu faktörün iç mekân çözücü kullanımı/depolaması ile ilişkili bir kaynak profilini temsil ettiğini göstermektedir.

Faktör 2 için ana kirleticiler benzen, siklohekzan, metilsiklohekzan, 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-metilhekzan, 3-metilhekzan 2,3-dimetilpentan, 2,2,4-trimetilpentan, metilsiklohekzan ve 3-metilheptan baskın bileşiklerdir. Hekzan ve grupları buharlaşma kaynaklarından iç mekânlara 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.

Tablo 4. Örnekleme 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**

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 mekânlardaki kanser riskleri ise EPA tarafında önerilen 1.0E-06'dan düşük olarak bulunmuştur. Dolayısıyla diğer alıcılar için bu mekânlardaki 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 µg m^{-3} (3-metilhekzan) ila 1954.00 µg m^{-3} (hekzan) ve 0.10 µg m^{-3} (izopropilbenzen) ila 5194.20 µg 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 düşünceyi destekler niteliktedir. Çalışma kapsamında, bina içerisinde ölçülen UOB'lerin farklı alıcı gruplar üzerindeki solunum yoluyla maruziyete bağlı sağlık riskleri de hesaplanmıştır. Sonuçlar, laboratuvarlarda çalışan ve ofisleri laboratuvar içerisinde bulunan araştırma görevlilerinin kanser risk düzeylerinin kabul edilebilir sınır değerin yaklaşık 12 kat üzerinde olduğunu göstermiştir.

Dolayısıyla, üniversite binalarında, laboratuvarların ofis olarak kullanılmaması ve kimyasallardan kaynaklı risklerin önüne geçilebilmesi adına binalar planlanırken derslikler, ofisler vb. diğer iç mekânlardan daha uzakta konumlandırılmaları ve havalandırma sistemlerine daha fazla önem verilmesi önerilmektedir.

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

Bu çalışma Gebze Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü (G.T.Ü. BAP 2016-A-23) tarafından desteklenmiştir.

Tablo 5. Farklı mekânlarda 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

7 Yazar katkı beyanı

Cevdet Doğan, numunelerin toplanması ve analiz edilmesi, Sema Yurdakul, çalışmaların planlanması, analiz edilmesi ve yorumlanması, Sena Erkent, asıl metnin revizyonun yazılması, Banu Çetin, 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] Verriele M, Schoemaecker 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] Yılmaz 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.

[21] 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.

[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, NO 2 and SPM in ındoor air and relationship to outdoor concentration". *9th REHVA World Congress Clima*, Helsinki, Finland, 10-14 June 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] Yurdakul S, Civan M, Özden Ö, Gaga E, Döğeroğlu T, Tuncel G. "Spatial variation of VOCs and inorganic pollutants in a university building". *Atmospheric Pollution Research*, 8(1), 1-12, 2017.
[36] 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, e2023016, 2023.