



Üniversite kampüs girişi uçucu organik bileşik seviyeleri ve mesleki maruziyetin tahmin edilmesi

University campus entrance volatile organic compound levels and estimating occupational exposure

Yetkin Dumanoglu^{1,*} , Ashhan Irmali² 

^{1,2} Dokuz Eylül Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 35390, İzmir Türkiye

Öz

Uçucu Organik Bileşikler (UOB'ler), atmosfer kimyası ve insan sağlığını önemli ölçüde etkiler. UOB'lerin en önemli kaynakları solvent kullanımı, fosil yakıtlar, araç egzozları ve sigaradır. Çalışmada, araç egzozlarından kaynaklanan UOB'lerin kampüs ana girişi kapılarında dış hava ve iç ortamdaki konsantrasyonlarının belirlenmesi ve tespit edilen UOB'lerin solunması ile giriş kapılarında görevli güvenlik personeline oluşturacağı sağlık etkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Örneklem süresi, giriş kapılarında görevli personelin çalışma süreleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Örneklem noktalarındaki ortalama UOB konsantrasyonları Doğu Kapısı'nda, iç ortamda gece 11.9 µg/m³, gündüz 9.6 µg/m³, dış havada gece 6.8 µg/m³, gündüz 8.8 µg/m³ olarak tespit edilmiştir. Batı Kapısı'nda ortalama UOB konsantrasyonları iç ortamda gece 12.3 µg/m³, gündüz 16.4 µg/m³, dış havada gece 6.3 µg/m³, gündüz 9.3 µg/m³ olarak tespit edilmiştir. Yaşam boyu UOB'lere maruz kalmanın yol açtığı kanserojen risk genel olarak kabul edilebilir risk seviyesi olan 1.0×10⁻⁶'nın üzerindedir. Hem iç ortam hem de dış havadaki UOB'ler için kronik toksik etki değeri kabul edilebilir düzeydedir (HQ<1).

Anahtar kelimeler: Hava kalitesi, Egzoz emisyonu, Uçucu organik bileşikler, Sağlık riski

1 Giriş

Uçucu Organik Bileşik'ler (UOB'ler), 20 °C'de buhar basıncı 0.01 kPa veya daha yüksek olan organik bileşik grubudur [1]. UOB'ler için bitkiler [2, 3], benzin/dizel ile çalışan motorlu araçlar [4, 5], yakıt depolama [6, 7], biyokütle yakma [8], fosil yakıt kullanılan yakma süreçleri [9], endüstriyel işlemler ve solvent kullanımı [7, 10] bilinen en önemli kaynaklardır. Türkiye'de endüstrileşmenin yoğun olduğu Kocaeli'nde benzen, toluen, m/p-ksilen, o-ksilen, etilbenzen, stiren, sikloheksan, 1,2,3-trimetilbenzen, 1,2,4-trimetilbenzen, hekzan, nonan ve dodekan dahil olmak üzere on üç UOB ölçülmüş ve önemli UOB kaynaklarının, araç emisyonları, petrol ve kömür yanması, petrol rafinerisi ve tehlikeli/tıbbi atık yakma tesisi olduğu belirlenmiştir [11]. Araç emisyonlarının ana bileşenleri alkanlar, aromatik hidrokarbonlar ve karbonil bileşikleridir (sırasıyla %36.4,

Abstract

Volatile Organic Compounds (VOCs) exert a considerable influence on atmospheric chemistry and human health. The principal sources of VOCs are the use of solvents, fossil fuels, vehicle exhausts and smoking. The objective of the study was to ascertain the outdoor and indoor concentrations of VOCs from vehicle exhausts at the main entrance gates of the campus and to evaluate the potential health effects of inhalation of the detected VOCs on the security personnel working at the entrance gates. The temporal framework for data collection was determined by the working hours of personnel stationed at the entrance gates. The mean VOC concentrations at the sampling points were 11.9 µg/m³ at night and 9.6 µg/m³ during the day at the East Gate, and 6.8 µg/m³ at night and 8.8 µg/m³ during the day in the outdoor air. The concentration of VOCs in the outdoor air was found to be 12.3 µg/m³ at night and 16.4 µg/m³ during the day, and 6.3 µg/m³ at night and 9.3 µg/m³ during the day in the outdoor air. The carcinogenic risks associated with lifetime exposure to VOCs are typically above the acceptable risk level of 1.0×10⁻⁶. The chronic toxic effect value for both indoor and outdoor air VOCs is acceptable (HQ<1).

Keywords: Air quality, Exhaust emission, Volatile organic compounds, Health risk

%33.1 ve %17.4). Aromatik hidrokarbonlardan benzen bileşiğinin ana kaynağı motorlu araç egzozudur [12]. Araç egzozu ve/veya yakıt buharına maruz kalmayla ilişkili olarak UOB'ler toksisiteri nedeniyle büyük endişe yaratan kirleticilerdir. Benzen, toluen, etilbenzen ve m/p/o-ksilen (BTEX), trafik kaynaklı yaygın toksik hava kirleticilerdir [13, 14]. Özellikle, toluen/benzen (T/B) oranı trafik emisyonları için bir belirteç olarak kullanılmaktadır. Dünya genelinde pek çok kentsel alanda yaklaşık 2-3 arasında belirlenen T/B oranı UOB'lerin araç kaynaklı olduğunu göstermektedir [15, 16].

UOB'ler, atmosfer kimyasını ve insan sağlığını önemli ölçüde etkilemektedir. İkincil kirleticilerin (troposferik ozon, peroksiasetilnitrat ve ikincil organik aerosoller) oluşumunda önemli bir rol oynamaktadır. UOB'ler atmosfere salınır salınmaz buharlaşarak havaya karışır ve

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: yetkin.dumanoglu@deu.edu.tr (Y. Dumanoglu)

Geliş / Received: 03.09.2024 Kabul / Accepted: 18.02.2025 Yayınlanma / Published: 15.04.2025

doi: 10.28948/ngumuh.1542601

oksidatif bozunma süreçlerine dahil olurlar [15]. UOB'lere maruz kalma, duyuşsal tahriş, sinir sistemi bozukluğu, astım ve kanser gibi çok çeşitli akut ve kronik sağlık etkilerine neden olmaktadır [13]. Atmosferdeki BTEX konsantrasyonu Amerika Çevre Koruma Ajansı (USEPA) ve Avrupa Birliği tarafından açıklanan sınıırın üzerine çıktığında toksik ve tehlikeli olarak kabul edilir [17]. USEPA bu kirleticileri insan yaşamına verdikleri zararın boyutuna göre 3 gruba ayırmıştır. Benzen, grup A üyesi olarak insanlar için kanserojen bir kimyasaldır. Etilbenzen grup D'nin bir üyesi olarak hayvanlarda kanserojen bir etkiye sahiptir. Toluen ve ksilen kanserojen olmayan olumsuz etkiler gösterir [18]. BTEX üyeleri, insan vücuduna nüfuz etmeyi kolaylaştıran lipofilik özelliğe sahiptir. Bu hava kirleticilerine maruz kalma üç ana yolla gerçekleşir: 1. Solunma, 2. Yutma ve 3. Dermal penetrasyon. Solunma ana maruz kalma yolu olarak kabul edilmektedir. Son yıllarda BTEX düzeyi ve bunların çevreye ve insan sağlığına verebileceği potansiyel zararlar hakkında bilgiler sağlamak için çalışmalar yapılmıştır. Kanseröjen ve kanserojen olmayan sağlık riskleri USEPA yaklaşımlarıyla değerlendirilmiştir [19, 20].

UOB maruziyetinin sağlık üzerindeki etkileri, maruz kalmanın dozuna ve süresine bağlıdır. Maruziyetin dozu ve süresi UOB'lerin kronik yada toksik etki yaratmasına neden olmaktadır. Mesleki maruziyet, UOB'lerin etkileri ve yaratacağı sağlık sorunları açısından önem arz etmektedir. Üniversite kampüslerine ulaşım amaçlı özel araçların ve toplu taşımanın kullanılması, araç egzoz emisyonlarından kaynaklanan karbonmonoksit, partikül madde, azot oksitler ve uçucu organik bileşik gibi kirleticilerin kampüs hava kalitesini etkilemesine neden olmaktadır. Güvenliği sağlamak amaçlı görevlendirilen personel kampüse giriş ve çıkış sırasında araçlardan yayılan egzoz dumanına ve uçucu organik bileşiklere maruz kalmaktadır.

İzmir, Akdeniz şehirleri arasında UOB kirliliği en fazla olan şehirlerden biridir. Özellikle trafik emisyonları İzmir şehir merkezinde önemli bir UOB kaynağıdır [21]. İzmir'de yapılan çalışmada dış hava UOB kaynaklarına odaklanılmış ve UOB'lerin üçte ikisinin İzmir şehir merkezindeki trafik emisyonlarından kaynaklandığı, diğer kaynakların (ısınma, sanayi tesisleri) da kentsel alandaki UOB kirliliğine katkıda bulunduğu tespit edilmiştir [22].

İzmir'deki en büyük kampüs alanına sahip olan Dokuz Eylül Üniversitesi Tınaztepe Kampüsü 4.5 milyon m²'lik alanda 10 fakülteyi içinde barındırmaktadır. Kampüs ana girişi iki farklı noktadan sağlanmakta, her iki noktada 24 saat güvenlik amaçlı personel bulunmakta ve personel vardiyalı olarak çalışmaktadır. Kampüse giriş ve çıkışlar bariyer ve kapan sistemleri ile kontrol edilmektedir. Giriş-çıkış sırasında araçlar güvenlik görevlilerinin bulunduğu noktalarda hız kesmekte ve bekleme yapmaktadır. Duruş kalkış sırasında araç egzozlarından kaynaklanan UOB'lere güvenlik görevlileri maruz kalmaktadır. Çalışma kapsamında araç egzozlarından kaynaklanan UOB'lerin kampüs ana giriş kapılarında konsantrasyonları belirlenmiştir. Dış hava ve güvenlik kulübelerinin iç ortamında tespit edilen UOB'lerin solunması (inhalasyon) ile oluşacak sağlık etkilerinin değerlendirilmesi

amaçlanmıştır. Maruziyet sonucunda oluşacak kanserojen ve kanserojen dışı riskler tahmin edilmiştir.

2 Materyal ve metod

2.1 Çalışma alanı

Çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi Tınaztepe Kampüsü'nde gerçekleştirilmiştir. Tınaztepe Kampüsü İzmir şehir merkezine 15 km uzaklıktadır ve şehrin güneydoğusunda bulunmaktadır. Kampüse ana girişler iki farklı noktadan yapılmaktadır. Örnekleme, bu iki ana giriş kapısında gerçekleştirilmiştir. "Batı Kapısı" olarak adlandırılan giriş, kampüsün batısında ve Buca ilçe merkezi yönünden gelen araçların giriş yaptığı kapıdır. "Doğu Kapısı" olarak adlandırılan ikinci giriş ise kampüsün doğusunda, kampüse çevre yolunu kullanarak gelen araçların giriş yaptığı kapıdır (Şekil 1). Bu kapı İzmir Çevre Yolu'na kuş uçuşu 350 m uzaklıktadır. Her iki giriş kapısında araç girişleri kontrollü olarak gerçekleştirilmektedir. Bariyer sistemi ile kontrol sağlanmakta ve bariyer sistemlerinin bulunduğu noktada kampüs güvenliğini sağlayan güvenlik görevlilerinin görev sırasında kullandıkları kulübeler bulunmaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanı genel görünümü ve örnekleme noktaları

2.2 Örnekleme programı

Örnekleme 6 Mayıs 2024-13 Mayıs 2024 tarihleri arasında, kampüs ana giriş kapılarında eş zamanlı gerçekleştirilmiştir. Girişlerde 24 saat boyunca güvenlik sağlanmakta ve her 24 saat diliminde görevliler iki vardiya olarak çalışmaktadır. Örnekleme süresi görevlilerin çalışma süreleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Gündüz vardiyası 08:00-16:00 saatleri arasında, gece vardiyası 16:00-08:00 saatleri arasındadır. Bu bilgiler ışığında gündüz örnekleme 8 saat boyunca, gece örnekleme ise 16 saat boyunca gerçekleştirilmiştir (Tablo 1).

Hava kalitesi ölçümleri, eş zamanlı olarak güvenlik görevlilerinin bulunduğu kulübelerin iç ortamında ve kulübelerin dışında gerçekleştirilmiştir. Dış havada yapılan ölçümler bariyer sistemine en yakın noktada, güvenlik görevlilerinin durduğu alanda yapılmıştır. UOB'lerin konsantrasyonları, çalışma süreleri boyunca güvenlik görevlilerinin nefes aldığı seviyede izlenmiştir. İç ortam

hava kalitesi ölçümlerinin yapıldığı kulübeler Batı Kapısı'nda 20 m², Doğu Kapısı'nda 25 m²'dir. Her iki kulübenin bariyerlere bakan yönünde güvenlik görevlilerinin girişleri kontrol etmek için kullandıkları 0.4 m² ölçüsünde pencereler bulunmaktadır. Pencereler 08:00-16:00 vardiyasında sürekli açık, 16:00-08:00 vardiyasında ise genel olarak kapalı tutulmaktadır. Kulübelerde iklimlendirme klima ve elektrikli ısıtıcılar ile sağlanmaktadır.

Tablo 1. Örneklem programı

Örneklem Tarihi	Örneklem Süresi		Örneklem Noktası
	Gündüz	Gece	
6/7-Mayıs-2024 (Pazartesi)			
7/8-Mayıs-2024 (Salı)			
8/9-Mayıs-2024 (Çarşamba)			Tınaztepe Kampüsü- Doğu Kapısı
9/10-Mayıs-2024 (Perşembe)	08:00- 16:00 (8 Saat)	16:00-08:00 (16 saat)	
10/11-Mayıs-2024 (Cuma)			Tınaztepe Kampüsü- Batı Kapısı
11/12-Mayıs-2024 (Cumartesi)			
12/13-Mayıs-2024 (Pazar)			

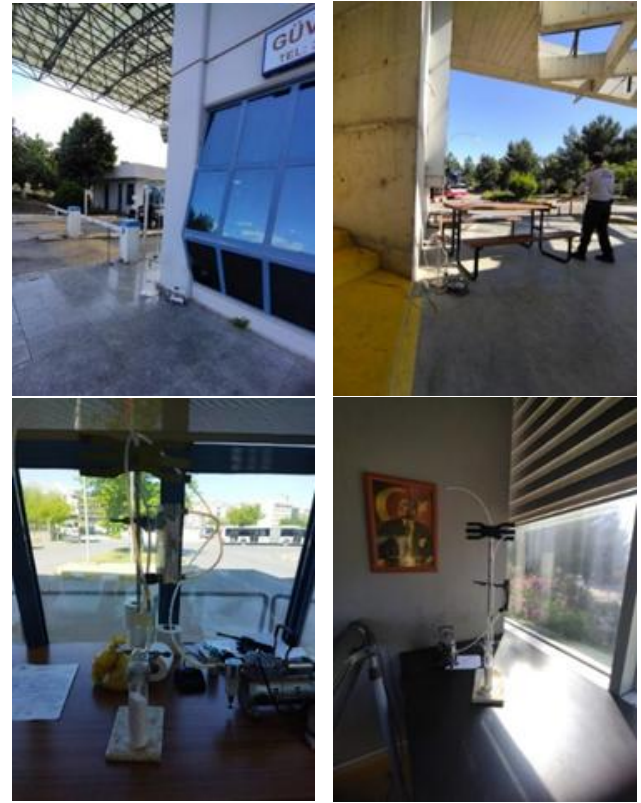
08:00-16:00 vardiyasında Batı Kapısı'nda dört, Doğu Kapısı'nda üç güvenlik, 16:00-08:00 vardiyasında Batı Kapısı'nda üç, Doğu Kapısı'nda bir güvenlik görev yapmaktadır. Ana giriş kapılarında görevli personelin tümü erkek ve yaşları 25 ila 59 aralığındadır. Personelin kronik sağlık sorunlarının olmadığı ancak yaklaşık % 70'inin sigara kullandığı bilgisi anket çalışması ile elde edilmiştir.

2.3 Örnek hazırlama ve analiz

Örneklem ve analiz, Amerikan Test ve Malzeme Kurumu, D 3686-08 metodu [23] ile gerçekleştirilmiştir. Aktif örneklem yöntemi ile UOB'ler bir nem tutucu (kalsiyum klorür), bir aktif karbon tüpü, bir rotametre, bir kuru gaz sayacı ve bir vakum pompasından oluşan örneklem dizisi kullanılarak toplanmıştır (Şekil 2). Örneklem için birbirini takip eden iki bölümden oluşan 150 mg (100/50) aktif karbon içeren tüpler (SKC 226-01; Hindistan cevizi kömürü, 6×70 mm) kullanılmıştır. Vakum pompası akış hızı ortalama 0.4 L/dk'dır. Pompa akış hızı örneklem başlangıç ve bitişinde SKC Defender 510-M gaz akış kalibratörü ile kontrol edilmiş, örneklem boyunca da rotametre ile izlenmiştir. Örneklem bitiminde adsorpsiyon tüplerinin iki ucu, kirlenmeyi ve desorpsiyonu önlemek için plastik kapaklarla kapatılmış, etiketlenmiş ve ekstrakte edilene kadar -20 °C'de saklanmıştır. Adsorpsiyon tüplerinden 2 ml'lik cam şişeye alınan aktif karbon üzerine ekstraksiyon solventi olarak 1.0 ml karbon disülfid (CS₂, Sigma-Aldrich 342270 ReagentPlus®) ilave edilmiştir. Numuneler 15 dk süreyle ultrasonik banyoda bekletilmiş ve daha sonra 15 dk santrifüjde tutulmuştur (Şekil 3). Cam pastör pipet ile başka bir numune şişesine alınan sıvı kısım analiz edilinceye kadar -20 °C'de saklanmıştır.

UOB numuneleri, kütle seçici dedektörü (Agilent 5973 inert MSD) olan bir gaz kromatografisi (GC) (Agilent

6890N) ile analiz edilmiştir. Kromatografik kolon, HP5-MS (30 m, 0.25 mm, 0.25 µm) ve taşıyıcı gaz, 1 ml/dk ve 36 cm/s doğrusal hızda, 1:20 bölünme oranında helyumdur. Split oranı olarak 1:20, inlet sıcaklığı olarak ise 240 °C kullanılmıştır. Analiz sırasında fırın sıcaklığı 40 °C'de başlatılıp, 5 °C/dk'lık artışla 120 °C'ye yükseltilmiş ve 1 dk bu sıcaklıkta tutulmuştur. MSD elektron iyonizasyon (EI) modunda çalıştırılmıştır. İyon kaynağı dört kutupludur ve GC/MSD arayüz sıcaklıkları sırasıyla 230, 150 ve 280 °C olarak seçilmiştir. MSD, seçilen iyon izlemede çalıştırılmıştır. Bileşikler, alıkonma sürelerine (kalibrasyon standardının alıkonma süresinden itibaren ± 0.05 dakika içinde), hedef ve niteleyici iyonlara göre tanımlanmıştır. Tanımlanan bileşiklerin miktarı, harici standart kalibrasyon prosedürü kullanılarak belirlenmiştir. Sıvı numuneler için kalibrasyon, CS₂'de beş seviyede (0.02, 0.1, 1.0, 3.0 ve 5.0 µg/ml) standart çözelti enjekte edilerek (1 µl) gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. UOB örneklem sistemi

2.4 Kalite kontrol/kalite güvence

Ölçülebilir UOB miktarları (enstrümental tespit limitleri, IDL), kromatografik sinyal/gürültü oranı 3 olan bir tepe alanı kullanılarak kalibrasyon eğrisindeki en düşük standarttan doğrusal ekstrapolasyonla belirlenmiştir. Bu miktarlar 2 ila 5 pg arasında değişmiştir (1 µl için enjeksiyon, bölme oranı 1:20). Numune alma ve ekstraksiyon sırasında herhangi bir kontaminasyon olup olmadığını belirlemek için aktif karbon tüpleri kullanılmıştır. Saha körleri için, her gün gündüz ve gece örneklemelerinde ayrı ayrı dört aktif karbon tüpü örneklem alanına götürülmüş ve laboratuvara geri getirilerek ekstrakte edilmiştir. Ekstraksiyon solventi (CS₂)

de aynı amaç için analiz edilmiştir. Tüm örneklerin ekstraksiyon işlemi birlikte gerçekleştirilmiş ve bu işlem sırasında 3 ayrı 2 ml'lik cam şişeye 1 ml CS₂ hazırlanmış ve örnekler ile birlikte analiz edilmiştir. Çözücüde UOB'lerin hiçbiri saptanmazken, saha köründeki miktarlar genellikle numune miktarlarının %1'inden azdır. Kör numunelerde tespit edilen bileşikler için yöntem tespit limiti (MDL), kör numunelerdeki ortalama konsantrasyon artı üç standart sapma olarak tanımlanmıştır. MDL benzen için 0.10 µg/m³ ve toluen için 0.11 µg/m³'tür. Aktif karbondan UOB'lerin CS₂ ekstraksiyonuyla geri kazanım verimlilikleri, standart ekleme deneyi ile belirlenmiştir (n=3). Tespit edilen UOB'lerin geri kazanımının %75'ten yüksek olduğu gözlenmiştir.



Şekil 3. Aktif karbon ve ekstraksiyon sıvısı

2.5 Sağlık riski değerlendirilmesi

Kampüs ana giriş kapılarında görev alan güvenlik personelinin araç egzozundan kaynaklanan UOB'lere maruziyeti belirlenmiş ve sağlık riski değerlendirilmesi yapılmıştır. Sağlık riski değerlendirilmesi, Amerika Çevre Koruma Ajansı rehber dokümanlarına dayandırılmış [24] ve inhalasyon yoluyla maruziyet dikkate alınmıştır.

UOB'lerin sağlık risklerini tahmin etmek için "Kanserojen Risk" ve "Kronik Toksik Risk (Kanserojen Olmayan Risk)" değerleri hesaplanmıştır. Maruz kalınan konsantrasyon (EC), Denklem (1) kullanılarak hesaplanmıştır [25]. Denklem dahil edilen değişkenler Tablo 2'de verilmiştir.

$$EC = \frac{C \times ET \times EF \times ED}{AT} \quad (1)$$

Denklem (1)'de "C" her bir uçucu organik bileşiğin havadaki konsantrasyonunu (mg/m³), "ET" maruz kalma süresini (saat/gün), "EF" 1 yılda çalıştığı toplam gün sayısını (gün/yıl) "ED" maruz kalma süresini (yıl) ve "AT" ortalama ömrü (saat) ifade etmektedir. Güvenlik görevlilerinin 2024 yılı için yıllık çalışma günü, resmi/dini tatiller ve yıllık izinleri hariçinde 350 gün olarak hesaplanmış, maruziyet süresi de çalışma yılları dikkate alınarak 30 yıl olarak belirlenmiştir.

Tablo 2. Risk değerlendirmesinde kullanılan parametreler

Parametre	Kaynak
ET (saat/gün)	Gündüz vardiyası 8 Gece vardiyası 16
EF (gün/yıl)	1 yılda çalıştığı toplam gün sayısı 350
ED (yıl)	Toplam çalışma süresi 30
AT (saat)	Kanserojen risk 365*70*24 Kanserojen olmayan risk 262800=AT=ED =365*30*24 [25]

UOB'lerin kanserojen risk (CR) değeri Denklem (2) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$CR = EC \times CSF \times 10^3 \quad (2)$$

Denklem (2)'de "CSF" solunum birim riskini (1/(µg/m³)) ifade etmektedir.

Her bir UOB'in kanser riskini dikkate alınarak belirlenen Toplam Kanserojen Risk (TCR) Denklem (3) ile hesaplanmaktadır.

$$TCR = CR_{UOB-1} + CR_{UOB-2} + \dots + CR_{UOB-n} \quad (3)$$

TCR $\geq 1.00 \times 10^{-4}$ olduğunda toplam kanser riski artar, ancak TCR $\leq 1.00 \times 10^{-6}$ değeri olduğunda toplam kanser riski kabul edilebilir düzeydedir. Ayrıca TCR 1.00×10^{-4} ile 1.00×10^{-6} değeri arasında ise maruz kalan popülasyon için toplam kanser riski muhtemeldir [25].

Kronik toksik risk (kanserojen olmayan risk) değerlendirmesi için Tehlike Katsayısı (HQ) hesabında Denklem (4) kullanılmıştır [25].

$$HQ = \frac{EC}{RfC} \quad (4)$$

Denklem (4)'de "RfC" solunum maruziyeti için referans konsantrasyon (mg/m³) değerini ifade etmektedir.

Tehlike indeksi (HI) hesabında tehlike katsayısı (HQ) ile belirlenen tüm UOB'ler için Denklem (5) ile hesaplanmaktadır.

$$HI = HQ_{UOB-1} + HQ_{UOB-2} + \dots + HQ_{UOB-n} \quad (5)$$

Elde edilen toplam tehlike indeksine göre HI > 1 ise kanserojen olmayan risk önemli ölçüde artar, ancak HI < 1 olduğunda kanserojen olmayan risk kabul edilebilir düzeydedir değerlendirilmesi yapılmaktadır.

İnhalasyon yoluyla maruziyete ilişkin kronik toksik risk analizinde UOB'lerin RfC değerleri dikkate alınmıştır. Hesaplamalarda kullanılan, CSF ve RfC değerleri Tablo 3'de listelenmiştir.

3 Bulgular ve tartışma

3.1 İç Ortam ve dış hava UOB konsantrasyonları

Kampüs ana giriş kapılarında yapılan ölçümlerde 48 UOB analiz edilmiştir. Dört örnekleme noktasında genel olarak 28 UOB tespit edilmiştir. Örnekleme noktalarındaki ortalama toplam UOB konsantrasyonları Tablo 4'de verilmiştir. Doğu Kapısında, çevre yolu güzergahından gelen

araçların giriş yaptığı bölgede ölçülen Σ_{28} UOB'lerin ortalama konsantrasyonları iç ortamda gece saatlerinde (16:00 ile 08:00 arasında) $11.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, gündüz saatlerinde (08:00 ile 16:00 arasında) $9.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dış havada gece saatlerinde $6.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, gündüz saatlerinde $8.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. Doğu kapısında ölçülen konsantrasyonlarda, UOB'ler iç ortamda gece saatlerinde yüksek, bina dışında ölçülen dış hava konsantrasyonlarında ise gündüz saatlerinde yüksek ölçülmüştür. Doğu kapısı haftanın tüm günlerinde saat 23:00'dan ertesi gün saat 06:30'a kadar araç girişine kapatılmaktadır. Bu saat aralığında Doğu Kapısı'nda görevli olan personel gündüz saatlerinde açık olan pencere ve kapıyı kapatmaktadır. Anketten alınan bilgilere göre örnekleme yapılan bir hafta boyunca gece görevli olan personelin iç ortamda sigara içtikleri belirlenmiştir. Gece saatlerinde pencere ve kapının kapalı olması ve güvenlik görevlilerinin sigara kullanımı gece saatlerindeki iç ortam UOB konsantrasyonlarını artırmıştır. Doğu kapısının gece saatlerinde araç geçişine kapatılması da dış havada gündüz saatlerinde yüksek olan UOB konsantrasyonlarının gece saatlerinde düşmesine neden olmuştur. Şehir içinden gelen

araçların kampüse giriş yaptığı Batı Kapısı'nda ölçülen Σ_{28} UOB'lerin ortalama konsantrasyonları iç ortamda gece saatlerinde $12.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, gündüz saatlerinde $16.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dış havada gece saatlerinde $6.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, gündüz saatlerinde $9.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. Ankara'da üniversite kampüsünde yapılan UOB ölçümlerinde ortalama konsantrasyonlar 0.04 ila $7.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ arasında değişmiştir [15]. Tınaztepe Kampüsü girişlerinde elde edilen sonuçlar ile benzerlik göstermektedir. Batı Kapısı'nda ölçülen konsantrasyonlar, Doğu Kapısı'nda tespit edilen konsantrasyonlardan farklı olarak hem iç ortamda hem de bina dışında gündüz saatlerinde yüksek ölçülmüştür. Batı Kapısı, Buca ilçe merkezinden gelen araçların giriş yaptığı ve gün içinde diğer kapı ile karşılaştırıldığında araç trafiğinin daha yoğun olduğu kapıdır. Araç emisyonlarının başlıca UOB kaynağı olduğu kapalı otoparklarda yapılan hava kalitesi çalışmasında Σ UOB konsantrasyonları 1040 ile $1190 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında değişmiştir [14]. Kampüs girişlerinde tespit edilen konsantrasyonlar bu seviyelerin oldukça altında kalmıştır.

Tablo 3. Risk hesaplamalarında kullanılan UOB'lerin CSF ve RfC değerleri

UOB'ler	Toksik Sınıflandırma*	CSF ($1/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$)	Kaynak	RfC (mg/m^3)	Kaynak
Benzen	A	7.8×10^{-6}	[26]	0.03	[26]
Kloroform	B2	2.3×10^{-5}	[26]	0.3	[26]
1,2-dikloroetan	B2	2.6×10^{-5}	[26]	0.4	[27]
Karbon tetraklorür	B2	6.0×10^{-6}	[26]	0.1	[26]
Trikloroetilen	**	4.1×10^{-6}	[26]	2×10^{-3}	[26]
1,1,2-trikloroetan	***	1.6×10^{-5}	[26]		
Bromoform	B2	1.1×10^{-6}	[26]		
Toluen	****			5	[26]
Etilbenzen	D	2.5×10^{-6}	[27]	1	[26]
m,p-Ksilen	****			0.1	[26]
Stiren	****	5.0×10^{-7}	[28]	1	[26]
Dibromometan	*****	1.0×10^{-8}	[28]	9×10^{-3}	[26]
İzopropilbenzen	D			0.4	[26]
1,4-diklorobenzen	C	11×10^{-6}	[27]	0.8	[26]
Naftalin	C	3.4×10^{-5}	[27]	3.0×10^{-3}	[26]

*A= İnsanlar için Kanserojen, B2= İnsanlar için Muhtemelen Kanserojen (çok az insan verisi içeren veya hiç olmayan), C= Olası insan kanserojeni,

D= İnsan kanserojenliğine göre sınıflandırılmaz.

** Mutajenik etki tarzı nedeniyle kanserojen olduğu sonucuna varmıştır.

*** Kansere yakalanma riskinin on binde birden fazla artmasına neden olmaz.

**** Kanserojen potansiyelini değerlendirmek için yetersiz bilgi.

***** İnsanlar için kanserojen olma ihtimali yüksek.

Tablo 4. Kampüs ana giriş kapıları ortalama Σ_{28} UOB konsantrasyonları ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Σ_{28} UOB Konsantrasyonu	Doğu Kapı				Batı Kapı			
	İç ortam		Dış hava		İç ortam		Dış hava	
	Gündüz	Gece	Gündüz	Gece	Gündüz	Gece	Gündüz	Gece
Min.	5.5	9.7	5.5	5.1	8.6	8.8	4.2	4.4
Mak.	15.7	14.2	16.0	10.3	21.8	19.8	14.9	10.0
Ort.	9.6	11.9	8.8	6.8	16.4	12.3	9.3	6.3
S.S.	3.8	1.7	3.6	1.9	4.3	3.7	3.9	2.0

Batı Kapısı'nın, Doğu Kapısı'ndan farklı olarak 7 gün ve 24 saat aktif olarak giriş çıkış yapılan bir kapı olmasına rağmen kampüse giren araç sayısının gece saatlerinde yok denecek kadar az olması gece saatleri için dış hava konsantrasyonlarında ($6.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $6.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) bir farklılık yaratmamıştır. Toplam UOB konsantrasyonları hem gece saatlerinde hem de gündüz saatlerinde iç ortam havasında dış havadan yüksek ölçülmüştür. Her iki kapıdaki güvenlik kulübesi iç ortam UOB konsantrasyonları karşılaştırıldığında, Doğu Kapısı'nda gece konsantrasyonları gündüzden yüksek ölçülmüştür. Batı Kapısı'ndaki gece iç ortam konsantrasyonları Doğu Kapısı iç ortam gece UOB konsantrasyonlarına benzerdir. Ancak Batı Kapısında iç ortamda UOB konsantrasyonu diğer kapıya göre yüksek ölçülmüştür. Gündüz saatlerinde Batı Kapısı'nda diğer kapıya göre daha fazla sayıda güvenlik görevlisi bulunmaktadır. Batı Kapısı'nda gündüz 4 personel, gece 3 ya da 4 personel, Doğu Kapısı'nda gündüz 3 personel gece 1 personel bulunmaktadır. Gece görev yapan personelin pencere ve kapıları kapatması dış havadan gelecek UOB konsantrasyonlarını engellemekte ancak iç ortam da sigara içilmesinden kaynaklanan konsantrasyonların artmasına neden olmuştur. **Tablo 5**, **Tablo 6**, **Tablo 7** ve **Tablo 8**'de Doğu ve Batı Kapısı'nda iç ortam ve dış havada tespit edilen bileşikler ve konsantrasyonları listelenmiştir. İç ortamdan alınan örneklerde çoğunlukla tüm bileşikler tespit edilmiştir.

Doğu Kapısı iç ortam havasında, dibromometan ve klorobenzen gece saatlerinde 4 gün tespit edilmiş, gündüz saatlerinde ise hiçbir ölçümde gözlenmemiştir. Bromodiklorometan, dibromoklorometan, izopropilbenzen, sec-butilbenzen ve n-butilbenzen iç ortam havasında gündüz geceye göre daha az sayıda tespit edilmiştir. Batı Kapısında iç ortam havasında sadece bromoform gece saatlerinde 5 gün tespit edilmiş, gündüz saatlerinde ise hiçbir ölçümde gözlenmemiştir. Bromodiklorometan iç ortam havasında gündüz geceye göre daha az sayıda tespit edilmiştir. Tert-butilbenzen ve 1,4-diklorobenzen her iki kapıda iç ortamda tespit edilmemiş ancak dış havada gözlenmiştir.

Dış havadan alınan örneklerde tespit edildiği gün sayısında, gündüz gece farklılığı bromodiklorometan, 1,1,2-trikloroetan, klorobenzen, 1,2-diklorobenzen, n-butilbenzen, naftalin ve stiren'de gözlenmiştir (gece saatlerinde daha fazla örnekte tespit edilmiştir). Tert-butilbenzen ve 1,4-diklorobenzen Batı Kapısı'nda, dibromometan ve 1,4-diklorobenzen Doğu Kapısı'nda dış hava gündüz saatlerinde gece saatlerine göre daha fazla günde tespit edilmiştir. Ortamlar arasındaki bu farklılıklar dışında, iç ortam ve dış havada yapılan ölçümlerde hem gece hem de gündüz örneklerinde en yüksek konsantrasyona sahip bileşikler sırasıyla toluen, m/p-ksilen ve benzen'dir [29, 30].

Tablo 5. UOB'lerin Doğu Kapısı iç ortam havasındaki konsantrasyonları ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

UOB	Doğu Kapı-İç Ortam									
	Gündüz				Tespit edilen örnek sayısı	Gece				Tespit edilen örnek sayısı
	Min.	Mak.	Ort.	S.S.		Min.	Mak.	Ort.	S.S.	
Kloroform	0.30	1.44	0.67	0.41	7	0.85	2.45	1.54	0.60	7
1,2-dikloroetan	0.06	0.12	0.09	0.03	6	0.07	0.11	0.09	0.01	7
Benzen	0.21	1.13	0.71	0.38	7	0.40	1.24	0.71	0.29	7
Karbon tetraklorür	0.28	0.70	0.53	0.17	7	0.53	1.03	0.79	0.16	7
Trikloroetilen	0.02	0.62	0.33	0.25	7	0.04	0.30	0.12	0.09	7
Dibromometan	t.l.a.*	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.		0.01	0.03	0.02	0.01	4
Bromodiklorometan	0.04	0.10	0.07	0.03	3	0.03	0.09	0.06	0.03	7
Toluen	0.68	7.13	3.30	2.13	7	1.49	3.40	2.48	0.75	7
1,1,2-trikloroetan	0.04	0.08	0.07	0.02	4	0.02	0.04	0.03	0.01	4
Dibromoklorometan	0.03	0.10	0.07	0.03	5	0.04	0.08	0.06	0.02	7
Tetrakloroetilen	0.08	0.66	0.41	0.23	7	0.10	0.42	0.27	0.11	7
Klorobenzen	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.		0.01	0.02	0.01	0.003	4
Etilbenzen	0.21	0.56	0.37	0.14	7	0.43	0.76	0.58	0.11	7
m,p-Ksilen	0.75	2.09	1.42	0.58	7	1.87	3.24	2.46	0.43	7
Bromoform	0.21	0.33	0.25	0.04	7	0.23	0.47	0.33	0.10	7
Stiren	0.02	0.59	0.28	0.25	7	0.12	2.02	0.62	0.71	7
o-Ksilen	0.24	0.64	0.43	0.16	7	0.52	1.06	0.73	0.16	7
İzopropilbenzen	0.02	0.03	0.03	0.01	4	0.02	0.03	0.02	0.005	7
Propilbenzen	0.03	0.08	0.06	0.02	7	0.05	0.09	0.07	0.02	7
1,2,4-trimetilbenzen	0.04	0.12	0.08	0.03	7	0.10	0.18	0.13	0.03	7
tert-butilbenzen	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.		t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	
1,3,5-trimetilbenzen	0.18	0.57	0.39	0.15	7	0.45	0.82	0.58	0.13	7
1,4-Diklorobenzen	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.		t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	
sec-butilbenzen	0.01	0.03	0.02	0.01	5	0.02	0.04	0.02	0.01	7
1,2-Diklorobenzen	0.01	0.04	0.03	0.01	6	0.02	0.24	0.07	0.08	7
p-izopropiltoluen	0.04	0.18	0.10	0.05	7	0.05	0.13	0.09	0.03	7
n-butilbenzen	0.01	0.05	0.03	0.01	4	0.01	0.03	0.02	0.01	7
Naftalin	0.02	0.06	0.03	0.01	6	0.02	0.03	0.02	0.005	7

*t.l.a.=Tespit limiti altında

Tablo 6. UOB'lerin Batı Kapısı iç ortam havasındaki konsantrasyonları ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

UOB	Batı Kapı-İç Ortam									
	Gündüz					Gece				
	Min.	Mak.	Ort.	S.S.	Tespit edilen örnek sayısı	Min.	Mak.	Ort.	S.S.	Tespit edilen örnek sayısı
Kloroform	0.10	0.61	0.27	0.17	7	0.13	0.61	0.32	0.15	7
1,2-dikloroetan	0.06	0.12	0.09	0.02	6	0.05	0.10	0.07	0.02	7
Benzen	0.69	3.04	2.03	0.89	7	0.82	3.58	1.54	0.97	7
Karbon tetraklorür	0.24	0.51	0.42	0.09	7	0.26	0.48	0.35	0.10	7
Trikloroetilen	0.02	0.97	0.39	0.32	7	0.04	0.18	0.10	0.05	7
Dibromometan	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.		t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	
Bromodiklorometan	0.03	0.07	0.05	0.03	2	0.01	0.08	0.04	0.02	7
Toluen	3.82	9.17	6.76	1.88	7	2.68	6.98	4.75	1.65	7
1,1,2-trikloroetan	0.04	0.09	0.07	0.02	7	0.01	0.06	0.04	0.02	5
Dibromoklorometan	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.		0.01	0.01	0.01		1
Tetrakloroetilen	0.08	1.11	0.64	0.37	7	0.19	0.76	0.49	0.20	7
Klorobenzen	0.01	0.02	0.02	0.00	3	0.01	0.02	0.01	0.01	4
Etilbenzen	0.45	1.08	0.73	0.23	7	0.38	0.97	0.54	0.20	7
m,p-Ksilen	1.48	3.39	2.32	0.66	7	1.38	3.13	1.73	0.63	7
Bromoform	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.		0.01	0.04	0.02	0.01	5
Stiren	0.34	1.00	0.66	0.27	7	0.21	1.34	0.70	0.35	7
o-Ksilen	0.44	1.06	0.70	0.21	7	0.39	0.91	0.50	0.18	7
İzopropilbenzen	0.03	0.07	0.05	0.01	7	0.02	0.07	0.03	0.02	7
Propilbenzen	0.07	0.18	0.13	0.04	7	0.06	0.16	0.09	0.03	7
1,2,4-trimetilbenzen	0.06	0.17	0.13	0.04	7	0.06	0.16	0.09	0.03	7
tert-butilbenzen	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.		t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	
1,3,5-trimetilbenzen	0.26	0.71	0.52	0.18	7	0.27	0.68	0.38	0.14	7
1,4-Diklorobenzen	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.		t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	
sec-butilbenzen	0.02	0.04	0.03	0.01	7	0.01	0.04	0.02	0.01	7
1,2-Diklorobenzen	0.04	0.13	0.08	0.03	7	0.04	0.09	0.06	0.01	7
p-izopropiltoluen	0.10	0.31	0.20	0.07	7	0.10	0.34	0.20	0.08	7
n-butilbenzen	0.03	0.06	0.05	0.01	7	0.02	0.06	0.03	0.01	7
Naftalin	0.05	0.09	0.07	0.02	7	0.03	0.09	0.05	0.02	7

Tablo 7. UOB'lerin Doğu Kapısı dış hava konsantrasyonları ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

UOB	Doğu Kapı-Dış Hava									
	Gündüz					Gece				
	Min.	Mak.	Ort.	S.S.	Tespit edilen örnek sayısı	Min.	Mak.	Ort.	S.S.	Tespit edilen örnek sayısı
Kloroform	0.06	0.12	0.09	0.03	7	0.06	0.12	0.09	0.02	7
1,2-dikloroetan	0.06	0.15	0.11	0.03	6	0.05	0.14	0.09	0.03	7
Benzen	0.21	1.13	0.61	0.39	7	0.18	0.90	0.53	0.26	7
Karbon tetraklorür	0.25	0.50	0.41	0.11	7	0.26	0.50	0.42	0.10	7
Trikloroetilen	0.02	0.68	0.34	0.27	7	0.03	0.29	0.13	0.09	7
Dibromometan	0.03	0.07	0.05	0.02	4	0.02	0.02	0.02	0.003	2
Bromodiklorometan	0.02	0.02	0.02	t.l.a.	1	0.02	0.03	0.02	0.01	4
Toluen	0.67	7.80	3.07	2.34	7	1.01	2.66	1.81	0.60	7
1,1,2-trikloroetan	0.04	0.05	0.04	0.01	2	0.02	0.04	0.02	0.01	6
Dibromoklorometan	0.11	0.32	0.25	0.08	6	0.05	0.18	0.15	0.04	7
Tetrakloroetilen	0.08	1.01	0.58	0.37	7	0.05	0.55	0.31	0.18	7
Klorobenzen	0.02	0.02	0.02	t.l.a.	1	0.01	0.02	0.01	0.005	4
Etilbenzen	0.11	0.40	0.23	0.12	7	0.15	0.37	0.22	0.08	7
m,p-Ksilen	0.35	1.44	0.85	0.50	7	0.61	1.58	0.90	0.35	7
Bromoform	0.24	2.07	1.33	0.63	7	0.50	1.27	1.03	0.26	7
Stiren	0.01	0.40	0.16	0.16	5	0.04	1.93	0.41	0.69	7
o-Ksilen	0.13	0.43	0.27	0.14	7	0.16	0.39	0.25	0.08	7
İzopropilbenzen	0.01	0.03	0.02	0.01	5	0.01	0.02	0.01	0.004	5
Propilbenzen	0.02	0.08	0.04	0.02	7	0.02	0.05	0.03	0.01	7
1,2,4-trimetilbenzen	0.02	0.12	0.05	0.04	7	0.02	0.07	0.05	0.02	7
tert-butilbenzen	0.02	0.03	0.02	0.01	2	0.01	0.01	0.01	0.001	2
1,3,5-trimetilbenzen	0.08	0.54	0.24	0.17	7	0.10	0.28	0.19	0.06	7
1,4-Diklorobenzen	0.01	0.04	0.03	0.01	7	0.01	0.01	0.01	0.003	3
sec-butilbenzen	0.01	0.02	0.02	0.005	4	0.01	0.03	0.02	0.01	5
1,2-Diklorobenzen	t.l.a.	0.03	0.02	0.01	3	0.01	0.02	0.01	0.002	6
p-izopropiltoluen	0.03	0.12	0.06	0.03	7	0.02	0.13	0.06	0.04	7
n-butilbenzen	0.02	0.04	0.03	0.01	4	0.01	0.02	0.02	0.005	7
Naftalin	0.01	0.06	0.03	0.02	5	0.01	0.03	0.02	0.01	6

Tablo 8. UOB'lerin Batı Kapısı dış hava konsantrasyonları ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

UOB	Batı Kapı-Dış Hava									
	Gündüz					Gece				
	Min.	Mak.	Ort.	S.S.	Tespit edilen örnek sayısı	Min.	Mak.	Ort.	S.S.	Tespit edilen örnek sayısı
Kloroform	0.06	0.10	0.08	0.02	7	0.06	0.11	0.08	0.02	7
1,2-dikloroetan	0.06	0.14	0.10	0.03	6	0.04	0.10	0.07	0.02	7
Benzen	0.21	1.13	0.66	0.36	7	0.21	0.78	0.50	0.22	7
Karbon tetraklorür	0.22	0.42	0.34	0.08	7	0.24	0.42	0.37	0.08	7
Trikloroetilen	0.04	0.92	0.38	0.32	7	0.03	0.16	0.11	0.05	7
Dibromometan	0.05	0.05	0.05	0.003	3	0.02	0.02	0.02	0.005	3
Bromodiklorometan	0.04	0.04	0.04	0.00	3	0.02	0.02	0.02	0.00	3
Toluen	0.92	7.38	3.24	2.26	7	0.91	2.71	1.74	0.73	7
1,1,2-trikloroetan	0.05	0.05	0.05	t.l.a.	1	0.02	0.05	0.03	0.01	4
Dibromoklorometan	0.07	0.32	0.19	0.08	7	0.04	0.15	0.10	0.04	7
Tetrakloroetilen	0.13	1.60	0.61	0.49	7	0.22	0.55	0.41	0.12	7
Klorobenzen	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.		0.01	0.01	0.01	0.002	2
Etilbenzen	0.16	0.56	0.32	0.15	7	0.15	0.43	0.25	0.09	7
m,p-Ksilen	0.51	1.83	1.09	0.54	7	0.51	1.73	0.92	0.39	7
Bromoform	0.42	1.92	1.09	0.51	7	0.30	0.94	0.63	0.26	7
Stiren	0.03	0.14	0.07	0.05	5	0.01	1.32	0.31	0.47	7
o-Ksilen	0.20	0.69	0.41	0.19	7	0.19	0.51	0.31	0.11	7
İzopropilbenzen	0.02	0.05	0.03	0.01	6	0.01	0.02	0.02	0.01	6
Propilbenzen	0.04	0.12	0.07	0.03	7	0.03	0.08	0.05	0.02	7
1,2,4-trimetilbenzen	0.04	0.14	0.08	0.04	7	0.03	0.09	0.06	0.02	7
tert-butilbenzen	0.03	0.07	0.05	0.02	4	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	
1,3,5-trimetilbenzen	0.17	0.59	0.33	0.17	7	0.13	0.38	0.25	0.09	7
1,4-Diklorobenzen	0.01	0.09	0.04	0.03	6	0.01	0.01	0.01	t.l.a.	1
sec-butilbenzen	0.01	0.02	0.01	0.01	4	0.01	0.04	0.02	0.01	5
1,2-Diklorobenzen	0.02	0.03	0.02	0.004	3	0.01	0.03	0.01	0.01	7
p-izopropiltoluen	0.03	0.12	0.06	0.04	6	0.02	0.17	0.06	0.05	7
n-butilbenzen	0.01	0.03	0.03	0.01	5	0.01	0.03	0.02	0.01	6
Naftalin	0.02	0.05	0.04	0.01	5	0.01	0.03	0.02	0.01	7

Benzen, toluen, etilbenzen, ksilenler (BTEX) ve 1,3,5-trimetilbenzen gibi aromatik UOB'ler insan sağlığı açısından önemlidir [31, 32]. Aromatik UOB'ler, fosil yakıtların yanması (örn. benzinli ve dizel motorlar) ve benzinin buharlaşması gibi çeşitli kaynaklar tarafından atmosfere yayılmaktadır [22, 33, 34]. Örnekleme döneminde kampüs ana giriş kapılarında ölçülen ortalama BTEX konsantrasyonu (benzen, toluen, etilbenzen, m/p-ksilen ve o-ksilen konsantrasyonlarının toplamı) sırasıyla Doğu Kapı iç ortam gündüz $6.2 \pm 2.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ortalama \pm standart sapma), Doğu Kapı iç ortam gece $7.0 \pm 1.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Doğu Kapı dış hava gündüz $5.0 \pm 2.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Doğu Kapı dış hava gece $3.7 \pm 1.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Batı Kapı iç ortam gündüz $12.5 \pm 3.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Batı Kapı iç ortam gece $9.1 \pm 3.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Batı Kapı dış hava gündüz $5.7 \pm 3.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Batı Kapı dış hava gece $3.7 \pm 1.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur. Malezya'nın Kuala Lumpur kentinde yapılan araştırmada BTEX'in ortalama konsantrasyonunun yaklaşık $49.56 \pm 23.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olduğu, toluen'in $2.76 \pm 2.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile $22.31 \pm 11.54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ arasında değişen ortalama seviyesiyle ana kirletici olduğu ve en kirli alanların sırasıyla yol kenarları, benzin istasyonları, petrokimya endüstrileri ve havaalanları olduğu tespit edilmiştir [35].

BTEX konsantrasyonları her iki ana giriş kapısındaki güvenlik kulübelerinde bazı günlerde gece bazı günler gündüz saatlerinde yüksek ölçülmüştür. BTEX'in hem yakıt hem de sigara kaynaklı bileşikler [21, 22, 36] olması iç ortam havasında gece ve gündüz saatleri arasında bu düzensizliğe neden olmuştur. Dış hava konsantrasyonları her iki ana giriş kapısında genel olarak gece saatlerinde düşmüştür. BTEX

konsantrasyonları kapalı otopark (benzen $366 \mu\text{g}/\text{m}^3$, toluen $374 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ΣBTEX $1246 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve benzin istasyonlarında (benzen $1731 \mu\text{g}/\text{m}^3$, toluen $1995 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ΣBTEX $5352 \mu\text{g}/\text{m}^3$) tespit edilen konsantrasyonların [30] oldukça altındadır. Tablo 5, 6, 7 ve 8 'de verilen benzen ve toluen konsantrasyonları Cezayir'de yol kenarlarında tespit edilen benzen ($2.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve toluen ($2.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$) konsantrasyonları [29], üniversite kampüsü benzen ($2.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$), toluen ($7.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$), etilbenzen ($0.85 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve ksilenler ($2.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$) konsantrasyonları [15] ile benzerlik göstermiştir.

BTEX konsantrasyonlarının örnekleme noktalarında günlere göre değişimi Tablo 9'da verilmiştir. Dış hava gündüz BTEX konsantrasyonu Pazar günleri kampüse araç girişinin en az olduğu gün olması nedeniyle konsantrasyonların belirgin olarak düşmesine neden olmuştur. Hafta sonları güvenlik görevlilerinin UOB'lere maruz kalma olasılıkları daha düşüktür [37]. Tablo 5, Tablo 6, Tablo 7 ve Tablo 8'de görüldüğü gibi her iki ana giriş kapısında hem iç ortam havasında hem de dış hava da sırasıyla toluen, ksilen ve benzen konsantrasyonları en yüksek ölçülen bileşiklerdir. Toluene, araç egzozu, solvent kullanımı, benzin buharlaşması, fosil yakıt yanması vb. emisyon kaynaklarındaki en baskın türdür [29, 30, 36, 38]. 2000/69/EC Direktifine göre dış havadaki yıllık ortalama benzen konsantrasyonunun $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ü geçmemesi gerekmektedir [39]. Benzen konsantrasyonu dış havadaki ölçümlerde bu limit değeri aşmamıştır.

Tablo 9. BTEX konsantrasyonlarının örnekleme günlerine göre değişimi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

BTEX Konsantrasyonu	Doğu Kapı				Batı Kapı			
	İç Ortam		Dış Hava		İç Ortam		Dış Hava	
	Gündüz	Gece	Gündüz	Gece	Gündüz	Gece	Gündüz	Gece
Pazartesi	7.8	8.7	6.4	5.9	9.8	5.7	7.8	6.2
Salı	8.7	7.7	6.2	4.3	13.3	15.6	7.5	3.9
Çarşamba	5.1	6.8	4.4	3.0	17.7	9.4	6.2	2.5
Perşembe	4.0	6.8	3.1	4.6	6.9	7.2	3.6	4.3
Cuma	10.8	7.8	10.3	3.4	13.5	9.9	10.0	3.9
Cumartesi	4.7	6.0	3.2	2.5	13.7	9.4	2.9	2.2
Pazar	2.7	5.0	1.6	2.3	12.9	6.4	2.1	3.1

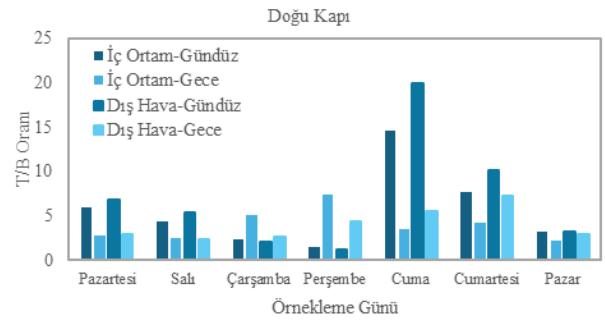
UOB'ler arasındaki oranlar, emisyon kaynaklarını belirlemek için izleyici olarak kullanılabilir. Sanayileşmenin az olduğu şehirlerin için (UOB kaynağı araç trafiği) Toluen/Benzen (T/B) oranı 1 ila 2 arasında değişmektedir [40, 41, 42]. Doğu ve Batı Kapısı'nda gündüz saatlerinde T/B oranı hem dış hava da hem de iç ortamda gece saatlerine göre yüksektir. Kampüse araç girişinin en az olduğu Pazar gününde bu oran diğer günlere göre azalmış (Şekil 4 ve Şekil 5), BTEX dış hava konsantrasyonunun düşük olduğu Çarşamba ve Perşembe gündüz saatlerinde oran gece saatlerine göre düşmüştür.(Tablo 9).

3.2 Solunum yoluyla maruz kalma için sağlık riski değerlendirilmesi

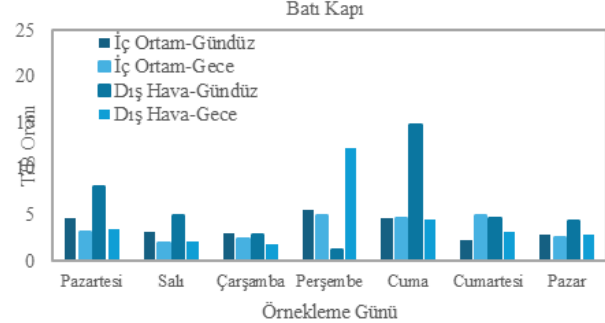
Kampüs ana giriş kapılarında görevli personel, kanserojen olduğu bilinen UOB'lere maruz kalmaktadır. Bu nedenle ana giriş kapılarındaki araç egzozu kaynaklı UOB emisyonlarıyla ilişkili sağlık riskleri değerlendirilmiştir. Mevcut birim risk faktörleri kullanılarak Tablo 3'de verilen on iki UOB (benzen, kloroform, 1,2-dikloroetan, karbon tetraklorür, trikloroetilen, 1,1,2-trikloroetan, bromoform, etilbenzen, stiren, dibromometan, 1,4-diklorobenzen ve naftalin) için yaşam boyu kanser riski değerlendirilmesi yapılmıştır (Tablo 10). Toplam kanser riski bu on iki bileşiğin kanser riskleri toplanarak hesaplanmıştır (Denklem 3). Yaşam boyu UOB'lere maruz kalmanın yol açtığı kanserojen riskler, Bölüm 2.5'de belirtildiği üzere 1.0×10^{-4} ila 1.0×10^{-6} değeri aralığında tespit edilmiştir. Bu durumda UOB'lere maruz kalan güvenlik görevlileri için toplam kanser riski muhtemeldir. Güvenlik görevlileri için belirlenmiş yaşam boyu kanser riski değerleri benzin istasyonu çalışanları risk değerlerinin (1.4×10^{-5} - 8.0×10^{-5}) [43], (2.2×10^{-5}) [19] oldukça altında kalmıştır.

Tahmini kanser riski belirlenen UOB'lerin bireysel olarak değerlerine bakıldığında gece saatleri risk değeri iç ortamda kloroform için 4.0×10^{-7} ile 7.7×10^{-6} ve benzen için 4.2×10^{-7} ile 3.8×10^{-6} arasında tespit edilmiştir. Kloroform ve benzen için, iç ortamda gece saatlerinde görevli personel için örnekleme yapılan günlerin %80'inde maruziyet nedeniyle kanser riski muhtemeldir. Diğer UOB'ler için kabul edilebilir risk seviyesinin altındadır. Gündüz dış hava için belirlenen her bir UOB için kanser risk değeri kabul edilebilir risk seviyesinin altındadır. Gündüz saatlerinde tespit edilen UOB'ler için kanser riski değerlerine

bakıldığında, iç ortam havasında kloroform için 3.1×10^{-7} ile 4.5×10^{-6} arasında ve benzen için 2.3×10^{-7} ile 3.3×10^{-6} arasında değişmiştir. Dış havada gündüz saatlerin için kabul edilebilir risk seviyesinin altındadır. Gece saatlerinde güvenlik kulübesinde kapı ve pencere kapalı olarak görev yapan personel, iç ortamda içilen sigara nedeniyle kanserojen risk değeri artış göstermektedir. Gündüz saatlerinde ise pencerenin sürekli açık olması bu riski daha düşük seviyelere çekmektedir. Ancak her iki durumda da iç ortamdaki araç trafiğinden farklı bir kaynak risk yaratmaktadır.



Şekil 4. Doğu kapısı iç ortam ve dış hava T/B oranı



Şekil 5. Batı Kapısı iç ortam ve dış hava T/B oranı

Tablo 10. Güvenlik görevlilerinin UOB'lere soluma yoluyla maruziyeti ile oluşan yaşam boyu kanser riski

Toplam Kanser Riski	Gündüz		Gece	
	İç ortam	Dış Hava	İç ortam	Dış Hava
Pazartesi-Doğu Kapı	4.3×10^{-6}	2.6×10^{-6}	5.6×10^{-6}	2.8×10^{-6}
Pazartesi-Batı Kapı	3.5×10^{-6}	2.3×10^{-6}	2.5×10^{-6}	2.4×10^{-6}
Salı-Doğu Kapı	4.3×10^{-6}	2.7×10^{-6}	9.2×10^{-6}	2.4×10^{-6}
Salı-Batı Kapı	6.2×10^{-6}	2.7×10^{-6}	6.5×10^{-6}	2.1×10^{-6}
Çarşamba-Doğu Kapı	3.1×10^{-6}	2.3×10^{-6}	5.3×10^{-6}	1.6×10^{-6}
Çarşamba-Batı Kapı	5.8×10^{-6}	2.5×10^{-6}	3.9×10^{-6}	1.4×10^{-6}
Perşembe-Doğu Kapı	2.6×10^{-6}	1.99×10^{-6}	4.99×10^{-6}	1.7×10^{-6}
Perşembe-Batı Kapı	2.3×10^{-6}	2.0×10^{-6}	2.3×10^{-6}	1.2×10^{-6}
Cuma-Doğu Kapı	5.3×10^{-6}	2.7×10^{-6}	7.2×10^{-6}	2.0×10^{-6}
Cuma-Batı Kapı	3.9×10^{-6}	2.7×10^{-6}	4.5×10^{-6}	1.8×10^{-6}
Cumartesi-Doğu Kapı	3.7×10^{-6}	1.9×10^{-6}	9.8×10^{-6}	1.5×10^{-6}
Cumartesi-Batı Kapı	5.8×10^{-6}	1.9×10^{-6}	3.6×10^{-6}	1.4×10^{-6}
Pazar-Doğu Kapı	5.7×10^{-6}	1.6×10^{-6}	7.5×10^{-6}	1.9×10^{-6}
Pazar-Batı Kapı	5.2×10^{-6}	1.4×10^{-6}	3.4×10^{-6}	1.7×10^{-6}

Ayrıca kampüs ana giriş kapılarında dış hava ve iç ortam için tehlike indeksi (HI) bulguları Tablo 11'da sunulmaktadır. Tehlike indeksinin belirlenmesi için Tablo 3'de verilmiş olan on üç UOB için RfC değerleri dikkate alınmış ve her bir UOB için kronik toksik risk (kanserojen olmayan risk) değerlendirilmesi (HQ) yapılmıştır. Hem iç ortam hem de dış hava için UOB türlerinin HQ'sunun 1'den küçük olduğunu ve kanserojen olmayan riskin kabul edilebilir düzeyde olduğu değerlendirilmiştir. Otopark çalışanları için yapılan hava kalitesi ölçümlerinde kanserojen olmayan riskler kabul edilebilir sınırlar dahilinde ($HQ < 1$) ve benzen, toluen, etilbenzen ve ksilen için sırasıyla 0.36, 0.01, 0.006 ve 0.105 [20] olarak tespit edilmiş ve benzer şekilde Tınaztepe Kampüsünde güvenlik görevlileri için de kanserojen olmayan risk konusunda daha az endişe yaratacağı sonucuna varılmıştır.

Tablo 11. Örnekleme alanlarındaki UOB'ler için tahmini toplam kronik toksik (kanserojen olmayan) risk değeri

Örnekleme Zamanı	Tehlike İndeksi (HI)			
	Gündüz		Gece	
	İç Ortam	Dış Hava	İç Ortam	Dış Hava
Pazartesi-Doğu Kapı	0.08	0.09	0.05	0.05
Pazartesi-Batı Kapı	0.08	0.07	0.03	0.04
Salı-Doğu Kapı	0.09	0.08	0.03	0.03
Salı-Batı Kapı	0.13	0.09	0.07	0.02
Çarşamba-Doğu Kapı	0.05	0.05	0.03	0.01
Çarşamba-Batı Kapı	0.11	0.05	0.04	0.01
Perşembe-Doğu Kapı	0.02	0.02	0.04	0.03
Perşembe-Batı Kapı	0.02	0.03	0.04	0.03
Cuma-Doğu Kapı	0.12	0.12	0.07	0.06
Cuma-Batı Kapı	0.12	0.12	0.05	0.04
Cumartesi-Doğu Kapı	0.11	0.11	0.04	0.03
Cumartesi-Batı Kapı	0.21	0.16	0.05	0.04
Pazar-Doğu Kapı	0.02	0.01	0.03	0.02
Pazar-Batı Kapı	0.05	0.02	0.04	0.02

4 Sonuçlar

Büyükşehirlerde ulaşımın toplu taşıma yada özel araçlar ile sağlanması zorunlu hale gelmiştir. Nüfusun artışı ile birlikte araç sayısında artış görülmektedir. Üniversite kampüsleri hem personel hem de öğrenci sayılarının yoğun olduğu ve bununla bağlantılı olarak araç trafiğinin yaşandığı alanlardır. Kampüs ana girişlerinde güvenlik kontrollerinin yapıldığı noktalarda sürekli personel görevlendirilmekte, personel güvenlik kontrolü sırasında hızı yavaşlayan yada duruş-kalkış aktivitesi yapan araçların egzozlarından çıkan kirleticilere maruz kalmaktadır. Araç trafiği kaynaklı kirleticilerin başında uçucu organik bileşikler gelmektedir.

Çalışmada kampüs ana giriş kapılarında, güvenlik personelinin görev alanlarında dış hava ve iç ortamda uçucu organik bileşik konsantrasyonları belirlenmiş ve bu kirleticilerin personel açısından sağlık risk değerlendirilmesi yapılmıştır.

Toplam uçucu organik bileşik konsantrasyonları araç giriş ve çıkışının yoğun olduğu 08:00-16:00 saatleri arasında dış havada (bariyerlerin bulunduğu yani araçların duruş kalkış yaptığı ve güvenlik görevlilerini araç girişini kontrol ettiği noktada) iç ortamdaki ve 16:00-08:00 saat aralığına göre yüksek ölçülmüştür.

BTEX bileşikleri araç trafiği kaynaklı en yaygın UOB'lerdir. Kampüs ana giriş kapılarında yapılan ölçümler literatürü desteklemiş, toluen, benzen ve ksilen bileşikleri en yüksek konsantrasyona sahip UOB'ler olmuştur. Ayrıca T/B oranı da 2 değerinden yüksek çıkarak araç egzozu kaynaklı kirlenmeyi göstermiştir. Ancak iç ortamda özellikle gece saatlerinde de oranın 2'den yüksek bulunması sigara dumanının da katkısı olduğunu göstermiştir.

Çalışma, kampüs ana giriş kapılarında görevli personelin iç ortamda bulunduğu gece ve gündüz saatlerinde kanser riski taşıdığını, iç ortamda sigara içmenin kanser riski değerini arttırdığını ortaya koymuştur. Kampüs giriş ve

çıkışları sırasında arabaların durup kalkması yada yavaş bir hızla geçmeleri sırasında oluşan egzoz gazı emisyonları kanser riski yada toksik kronik risk açısından bir tehlike yaratmamıştır.

Teşekkür

Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Hava Kirliliği Laboratuvarı'na UOB analizlerinde, Hasan Altıok ve Ersan Günel'e örnekleyicilerin kurulumunda gösterdikleri destek için teşekkür ederiz.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %8

Kaynaklar

- [1] Council Directive 1999/13/EC of 11 March 1999 on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain activities and installations, 1999.
- [2] A. Guenther, T. Karl, P. Harley, C. Wiedinmyer, P. I. Palmer and C. Geron. Estimates of global terrestrial isoprene emissions using MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature). *Atmospheric Chemistry and Physics*. 6, 3181–3210, 2006. <https://doi.org/10.5194/acp-6-3181-2006>.
- [3] J. Williams and R. Koppmann. Volatile Organic Compounds in the Atmosphere: An Overview, in: *Volatile Organic Compounds in the Atmosphere*. Blackwell Publishing Ltd., Oxford, UK, 2007.
- [4] H. Hellen, H. Hakola and T. Laurila. Determination of source contributions of NMHCs in Helsinki (60°N, 25°E) using chemical mass balance and the Unmix multivariate receptor models. *Atmospheric Environment*. 37, 1413–1424, 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)01049-X](http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310(02)01049-X).
- [5] S. Demir, A. Saral, F. Ertürk, S. L., Kuzu, B. İ. Goncaloglu and G. Demir. Effect of diurnal changes in VOC source strengths on performances of receptor models. *Environmental Science and Pollution Research International*. 19, 5, 1503-1514, 2011. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-011-0636-8>.
- [6] I. Schifter, M. Magdaleno, L. Díaz, B. Krüger, J. León, M. E. Palmerin, R. Casas, A. Melgarejo and E. López-Salinas. Contribution of the gasoline distribution cycle to volatile organic compound emissions in the metropolitan area of Mexico City. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 52, 535–541, 2002. <http://dx.doi.org/10.1080/10473289.2002.10470803>.
- [7] V. A. Lanz, B. Buchmann, C. Hueglin, R. Locher, S. Reimann and J. Staehelin. Factor analytical modeling of C2–C7 hydrocarbon sources at an urban background site in Zurich (Switzerland): changes between 1993–1994 and 2005–2006. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 8, 1, 907-955, 2008. <http://dx.doi.org/10.5194/acpd-8-907-2008>.
- [8] R.J. Yokelson, T.J. Christian, T. G. Karl and A. Guenther. The tropical forest and fire emissions experiment: laboratory fire measurements and synthesis of campaign data. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 8, 13, 3509–3527, 2008. <https://doi.org/10.5194/acp-8-3509-2008>.
- [9] A. Latella, G. Stani, L. Cobelli, M. Duane, H. Junninen, C. Astorga and B. R. Larsen. Semicontinuous GC analysis and receptor modelling for source apportionment of ozone precursor hydrocarbons in Bresso, Milan, 2003. *Journal of Chromatography*. A. 15, 1071, 1-2, 29–39, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.12.043>.
- [10] C. H. Lai, K. S. Chen, Y. T. Ho, Y. P. Peng and Y. M. Chou. Receptor modeling of source contributions to atmospheric hydrocarbons in urban Kaohsiung, Taiwan. *Atmospheric Environment*. 39, 25, 4543–4559, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.03.044>.
- [11] H. Pekey, B. Pekey, D. Arslanbaş, Z. Bozkurt, G. Doğan and G. Tuncel. Source Identification of Volatile Organic Compounds and Particulate Matters in an Urban and Industrial Areas of Turkey. *Ekoloji*, 24, 94, 1-9, 2015. <https://doi.org/10.5053/ekoloji.2015.941>.
- [12] X. Cao, Z. Yao, X. Shen, Y. Ye and X. Jiang. On-road emission characteristics of VOCs from light-duty gasoline vehicles in Beijing, China. *Atmospheric Environment*, 124, 146–115, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.06.019>.
- [13] Environmental Protection Agency. Integrated Risk Information System (IRIS). Integrated risk information for benzene (monograph on the internet). Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 2014.
- [14] L. Zhang, J. Wang, X. Hu, J. Zhou, M. Zhao, J. Zhang, Y. Bo, Y. Huang and Y. Zhang. VOCs and PM concentrations in underground parking garages of the commercial center and high-rise residential buildings. *Air Quality Atmosphere & Health*. 14, 1117–1131, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11869-021-01003-z>.
- [15] S. Yurdakul, M. Civan and G., Tuncel. Volatile organic compounds in suburban Ankara atmosphere, Turkey: Sources and variability. *Atmospheric Research*, 120–121, 298-311, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.09.015>.
- [16] Z. Bozkurt, G. Doğan, D. Arslanbaş, B. Pekey, H. Pekey, Y. Dumanoglu, A. Bayram and G. Tuncel. Determination of the personal, indoor and outdoor exposure levels of inorganic gaseous pollutants in different microenvironments in an industrial city. *Environmental Monitoring and Assessment*. 187, 9, 590, 2015. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4816-8>.
- [17] M. A. Zahed, S. Salehi, M. A. Khoei, P. Esmaili, L. Mohajeri. Risk assessment of Benzene, Toluene, Ethyl benzene, and Xylene (BTEX) in the atmospheric air around the world: A review. *Toxicol In Vitro*. 12, 98, 105825, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2024.105825>.
- [18] National Ambient Air Quality Standards (40 CFR part 50), NAAQS Table, Environmental Protection Agency, 1990.
- [19] N. Shinohara, Y. Okazaki, A. Mizukoshi and S. Wakamatsu. Exposure to benzene, toluene,

- ethylbenzene, xylene, formaldehyde, and acetaldehyde in and around gas stations in Japan. *Chemosphere*. 222, 923–931, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.166>.
- [20] W. Loonsamrong, N. Taneepanichskul, S. Puangthongthub and T. Tungaringkarn. Health risk assessment and BTEX exposure among car park workers at a parking structure in Bangkok, Thailand, *Journal of Health Research*. 29, 4, 285-92, 2015. <https://doi.org/10.14456/jhr.2015.12>.
- [21] A. Müezzinoğlu, M. Odabaşı and L. Onat. Volatile organic compounds in the air of Izmir, Turkey. *Atmospheric Environment*, 35, 753–760, 2001. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00420-9](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00420-9).
- [22] T. Elbir, B. Cetin, E. Cetin, A. Bayram and M. Odabaşı. Characterization of Volatile Organic Compounds (VOCs) and Their Sources in the Air of Izmir, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*. 133, 149–160, 2007. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9568-z>.
- [23] ASTM D3686-20, Standard Practice for Sampling Atmospheres to Collect Organic Compound Vapors (Activated Charcoal Tube Adsorption Method), 2020.
- [24] DC EPA/600/Z-92/001, Guidelines for Exposure Assessment. U.S. Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum, Washington, 1992.
- [25] Exposure Factors Handbook: 2011, United States Environmental Protection Agency (EPA), Edition, 600,US, 2011.
- [26] IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans – List of Classifications vols. 1 – 123,2019.
- [27] California OEHHA Lists New Chemicals in Proposition 65 Chemical List, 2019.
- [28] CEP, U.S. EPA'S Cumulative Exposure Project, 1990.
- [29] R. Kerbachi, M. Boughedaoui, L. Bounoua and M. Keddad. Ambient air pollution by aromatic hydrocarbons in Algiers. *Atmospheric Environment*. 40, 21, 3995-4003, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.02.033>.
- [30] A. P. Soldatos, E. B. Bakeas and P. A. Siskos. Occupational Exposure to BTEX of Workers in Car Parkings and Gasoline Service Stations in Athens, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 12, 9,1064-1070, 2003.
- [31] W.P.L. Carter. Development of ozone reactivity scales for volatile organic compounds. *Journal of Air Waste Management Association*. 44, 881–899, 1994. <https://doi.org/10.1080/1073161X.1994.10467290>.
- [32] M. A. Parra, L. Gonzalez, D. Elustondo, J. Garrigo, R. Bermejo and J. M. Santamaria. Spatial and temporal trends of volatile organic compounds (VOC) in a rural area of northern Spain. *Science of the Total Environment*. 370, 157–167, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.06.022>.
- [33] I. L. Gee and C. J. Sollars. Ambient air levels of volatile organic compounds in Latin American and Asian cities. *Chemosphere*, 36, 11, 2497–2506, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(97\)10217-X](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(97)10217-X).
- [34] K. Na, K. C. Moon and Y. P. Kim. Source contribution to aromatic VOC concentration and ozone formation potential in the atmosphere of Seoul. *Atmospheric Environment*, 39,30, 5517–5524, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.06.005>.
- [35] M. T. Latif, H. H. Abd Hamid, F. Ahamad, M. F. Khan, M. S. M. Nadzir, M. Othman, M. Sahani, M. I. A. Wahab, N. Mohamad and R. Uning. BTEX compositions and its potential health impacts in Malaysia. *Chemosphere*, 237, 124451, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124451>.
- [36] F. Soleimani, S. Dobaradaran, G. E. De-la-Torre, T. C. Schmidt, and R. Saeedi. Content of toxic components of cigarette, cigarette smoke vs cigarette butts: A comprehensive systematic review. *The Science of the Total Environment*, 20, 813, 152667, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152667>.
- [37] N. Taneepanichsku, W. Loonsamrong, T. Tungaringkarn, B. Gelaye and M. A. Williams. Occupational exposure to BTEX compounds among enclosed multi-storey car park workers in central Bangkok area. *Indoor and Built Environment*, 27, 5, 622-629, 2018. <https://doi.org/10.1177/1420326X16689408>.
- [38] K. Na, Y. P. Kim, I. Moon and K. C. Moon. Chemical composition of VOC major emission sources in the Seoul atmosphere. *Chemosphere*. 55, 585–594, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.01.010>.
- [39] Directive 2000/69/EC of the European Parliament and of the Council of 16 November 2000 relating to limit values for benzene and carbon monoxide in ambient air, *Official Journal of the ECL*, 313, 12–21, 2000.
- [40] B. Barletta, S. Meinardi, I J. Simpson, S. Zou, F. Sherwood Rowland and D. R. Blake. Ambient mixing ratios of nonmethane hydrocarbons (NMHCs) in two major urban centers of the Pearl River Delta (PRD) region: Guangzhou and Dongguan. *Atmospheric Environment*. 42, 4393-4408, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.01.028>.
- [41] J. Zhu, R. Newhook, L. Marro and C. C. Chan. Selected volatile organic compounds in residential air in the city of Ottawa, Canada. *Environmental Science and Technology*. 39, 3964–3971, 2005. <https://doi.org/10.1021/es050173u>.
- [42] A. N. Baghani, R. Rostami, H. Arfaeinia, S. Hazrati, M. Fazlzadeh and M. Delikhoon. BTEX in indoor air of beauty salons: risk assessment, levels and factors influencing their concentrations. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 159, 102–108, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.04.044>.
- [43] S. Chaiklieng, P. Suggaravetsiri and H. Autrup. Risk assessment on benzene exposure among gasoline station workers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 16, 14, 2545, 2019. <https://doi.org/10.3390/ijerph16142545>.

