

ÖĞRENCİLERİN VE ÖĞRETMENLERİN HAVA KİRLLETİCİLERİNE MARUZİYETLERİ: OKUL, EV VE KİŞİSEL DERİŞİMLER

Eftade O. GAGA^{1(*)}, Özlem ÖZDEN ÜZMEZ¹, Fatma KARADENİZ¹, Tuğba Nur
KAHYA¹, Gülzade KÜÇÜKAÇIL ARTUN¹, Tuncay DÖĞEROĞLU¹, Mete GAGA²

¹Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, ESKİŞEHİR

²Eskişehir Gelişim Koleji, Tepebaşı, ESKİŞEHİR

ÖZET

Öğrenciler ve öğretmenler günün yaklaşık olarak 1/3'ünü okulda kapalı ortamda geçirdiklerinden okul ortamında maruz kalınan hava kirletici seviyelerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu çalışma kapsamında, Eskişehir'de bir okulun farklı yerlerinde (sınıf, laboratuvar, öğretmenler odası, koridor, kantin, yemekhane, spor salonu, toplantı salonu, idareci odası vb.), 14 mikro ortamda 41 iç ortam örnekleme noktasında örneklemler gerçekleştirilmiştir. İnorganik hava kirleticilerin (NO₂, SO₂ ve O₃) ve Uçucu Organik Bileşiklerin (UOB) pasif örnekleyciler kullanılarak derişimleri belirlenmiştir.

Okulda gerçekleştirilen farklı aktivitelerin iç ortamdaki hava kirletici seviyelerine etkisini incelemek amacıyla, pasif örnekleme çalışmaları hem tatil döneminde hem de eğitim öğretim faaliyetlerinin devam ettiği dönemde gerçekleştirilmiştir. Kişisel örnekleme çalışması kapsamında ise 40 öğrenci ve 10 öğretmende kişisel örnekleme yapılmıştır. 40 öğrencinin 30 tanesinde kişisel örneklemin yanı sıra evlerinde de iç ortam ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada, kirletici derişimlerinin okul içinde farklı mikro ortamlarda farklılıklar gösterdiği, kirleticinin fiziksel özelliklerine, kaynaklarına ve gerçekleştirilen aktiviteye bağlı olarak tatil dönemi ve ders dönemindeki derişim seviyeleri arasında önemli farklılıklar olduğu ve öğrencilerin kişisel maruziyetlerinin özellikle günün 2/3'ünü geçirdikleri ev içindeki kirletici derişimleri ile ilişkili olduğu anlaşılmıştır. Okul içinde gerçekleştirilen kişisel UOB ölçümleri değerlendirildiğinde, en yüksek derişimlerin toluen için elde edildiği görülmektedir. 10 öğrenci için ortalama maruziyet değeri 60,19 µg m⁻³ olarak hesaplanmıştır. Bu bileşik için en yüksek iç ortam derişimleri resim atölyelerinde ölçülmüştür. Toluene dışında, n-penten, m-etil toluen gibi bileşikler de diğer UOB'lere nazaran daha yüksek çıkmıştır. Kişisel maruziyet derişimleri kullanılarak yapılan sağlık riski tahmininde ise tüm öğrenciler için solunuma bağlı sağlık riski değerinin 1x10⁻⁶'dan büyük olduğu görülmüştür.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

İç ortam hava kirliliği, kişisel örnekleme, okul, NO₂, SO₂, O₃, risk değerlendirme.

(*) egaga@anadolu.edu.tr

ABSTRACT

Determination of levels of air pollutants in school environments is quite important since students and teachers spend 1/3 of their daily time in the school. In this study, sampling study was performed in different micro environments of a school in Eskişehir (classroom, laboratory, teachers' room, corridor, canteen, dining hall, sports hall, meeting room, headteacher room). Passive sampling studies were carried out at 41 indoor sampling points in 14 microenvironments. Concentrations of inorganic air pollutants (NO_2 , SO_2 and O_3) and Volatile Organic Compounds (VOCs) were determined by using passive samplers.

Passive sampling studies were performed in both education and holiday periods to investigate the effects of different activities carried out in the school on the levels of indoor air pollutants. Personal sampling studies were also performed with 40 students and 10 teachers. Indoor sampling studies at homes of 30 students were done besides personal sampling.

In this study, it was observed that pollutant concentrations were different in different microenvironments in the school. There were subtle differences between the concentrations measured during school and holiday periods depending on the characteristics of the pollutants, sources and activities. It was shown that personal exposures of the students were correlated with the indoor home concentrations. When the personal VOC measurements performed in the school were evaluated, the highest concentrations were obtained for toluene. Average exposure level for 10 students was $60.19 \mu\text{g m}^{-3}$. The highest concentration levels for this pollutant were measured in painting workshops. VOCs such as n-pentene, m-ethyl toluene were obtained in higher levels compared to other VOCs. Health risk assessment was performed by using personal exposure levels. Health risk value related with respiration was determined higher than 1×10^{-6} for all the students.

KEYWORDS

Indoor air pollution, personal sampling, school, NO_2 , SO_2 , O_3 , risk assessment.

1. GİRİŞ

İnsanlar her gün hava kirleticilerine maruz kalmaktadır. Maruziyetin derecesi, çevresel parametreler ve kişilerin yaşam tarzları gibi pek çok faktör ile ilişkilidir. İnsanların % 34'ü 1960'lı yıllarda kentlerde yaşarken bu oran 2014'te % 54'e yükselmiştir. Bu oranın giderek yükselmesi beklenmektedir (WHO, 2016). Kirleticilerin insan sağlığına etkileri kişisel maruziyetleri ile ilişkilidir. Kişisel maruziyetler ise hem iç ortam hem de dış ortam değişimlerinden etkilenmektedir. Maruziyet değerlendirmeleri ve iç ortam hava kirliliği ilişkisi, insanların dış ortamlarda ve iç ortamlarda farklı derecelerde ve çeşitlilikte kirleticilere maruz kalmaları sebebiyle önemlidir. Dolayısıyla, insanları hava kirliliğinin sağlık etkilerinden korumanın en etkili yolu dış ortam hava kirleticisi bileşenleri ölçmek ya da tahmin etmekten çok, maruziyetlerini belirlemektir (Morawska vd., 2013; Buonanno vd., 2015).

İç ortam havası, insan faaliyetleri sonucu oluşan gaz, toz ve organik buhar emisyonları ile ve ayrıca dış ortam hava kirliliği etkisine bağlı olarak kirlenmektedir. İç ortamlar ile ilgili sorunların

gündeme getirilmesi, 1970’li yılların başındaki petrol krizi sonrası, enerji kısıtlamasının uygulandığı döneme rastlamaktadır. Petrol fiyatlarındaki artış ile enerji üretmek için gerekli maliyetler yükselmiş, bu durum da enerji tasarrufunu gündeme getirmiştir. Binalar, geçirgenliği hemen hemen hiç olmayan bir kabuk ile kaplanmış ve pencereler sürekli olarak kapalı tutulmuştur. Ayrıca, binalardaki havalandırmanın da azaltılması yoluna gidilmiştir. Bu dönemde doğal ürünlerden uzaklaşma başlamış, ağaç, mermer ve doğal liflerin yerini, sunta, sentetik lifler ve plastikler almıştır. Bu yeni ürünler petrolün son ürünleri olup, bunların çoğu, iç ortam havasında dağılabilmekte ve birikebilmektedir (Baek vd., 1997; Apte vd., 1999).

İç ortam hava kirliliği özellikle son 20 yılda insanların zamanlarının büyük bir kısmını ev, okul, ofis gibi kapalı ortamlarda geçiriyor olmaları nedeniyle oldukça önem kazanmıştır. Enerji verimliliği sebebiyle, iç ortamların ısı yalıtımlarına son yıllarda daha fazla önem verilmesi pek çok kirleticili bileşenin iç ortam derişimlerinin artmasına da neden olmuştur. İç ortam hava kalitesi üç farklı açıdan değerlendirilebilir: insan, iç ortam özellikleri ve iç ortamı kirlüten kaynaklar. İç ortam hava kalitesi belli bir havalandırma hızı ile ya da bazı bileşiklerin derişimi ile ifade edilir. Basit olarak, bir iç ortamda kaynak veya kaynaklar direk veya dolaylı olarak bazı kirleticileri iç ortama yayarlar. Bu kirleticiler birbirleriyle veya başka kaynaklardan gelen diğer kirleticilerle reaksiyona girerek yeni kirleticiler oluşturabilirler. Bu iç ortama giren bir insan çeşitli kirleticilere maruz kalır ve bu durum hemen veya belli bir süre sonra kişide bir tepki oluşturur (Bluyssen, 2009).

Öğrenciler zamanlarının büyük bir kısmını okulda geçirmektedirler. Ülkemizde öğrencilerin orta öğrenimde okul içinde geçirdikleri zaman yaklaşık olarak 8 saattir. Dolayısıyla okul içi ortamlar öğrencilerin maruziyetleri açısından son derece önem arz etmektedir.

Bu çalışma kapsamında, Eskişehir’de bir okulun farklı yerlerinde (sınıf, laboratuvar, öğretmenler odası, koridor, kantin, yemekhane, spor salonu, toplantı salonu, idareci odası vb.), 14 mikro ortamda 41 iç ortam örnekleme noktasında örneklemeler gerçekleştirilmiştir. İnorganik hava kirleticilerin (NO_2 , SO_2 ve O_3) ve Uçucu Organik Bileşiklerin (UOB) pasif örnekleyciler kullanılarak derişimleri belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Örnekleme

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen örneklemeler, okul örnekleme (okulun tatil olduğu ve eğitimin devam ettiği dönemde okul içinde ve sınırlı sayıda okul dışında gerçekleştirilen örneklemeler), kişisel örnekleme ve öğrencilerin evlerindeki iç ortam ölçümleri olmak üzere çalışmaların amaçlarına yönelik olarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 1’de kişisel örnekleme yapan bir öğrenci görülmektedir. Aynı örnekleyciler iç ve dış ortamda da kullanılmıştır.



Şekil 1. Kişisel örnekleme yapan bir öğrenci

2.2. Pasif örnekleycilerin hazırlanması ve analizi

İç, dış ortam ve kişisel örnekleme çalışmalarında O_3 , NO_2 , SO_2 ve UOB ölçümleri için pasif örnekleme yöntemi kullanılmıştır. Örnekleme çalışmalarında inorganik bileşenler için Anadolu Üniversitesi Hava Kalitesi Araştırma Grubu tarafından geliştirilen ve validasyonu gerçekleştirilen 2 cm çapında ve 2,5 cm yüksekliğinde delrin (O_3) ve teflon (NO_2 - SO_2) örnekleyciler, UOB'ler için ise paslanmaz çelik malzemeden üretilmiş 89 mm uzunluk ve 6,4 mm iç çapa sahip Tenaks-TA sorbent tüpleri kullanılmıştır. Örnekleme çalışmaları sonrasında toplanan örnekleyciler laboratuvara ağızları kapalı bir şekilde getirilerek ekstraksiyon ve analizleri yapılmıştır (Artun vd., 2017, Gaga vd., 2012, Özden Vd., 2012, Gül Vd., 2011). İnorganik kirlenici analizleri İyon kromatografisinde, organik kirlenicilerin analizleri ise Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi kullanılarak

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. Okulda gerçekleştirilen iç ve dış ortam pasif örnekleme çalışmaları

Çalışma kapsamında daha önce de belirtildiği gibi okulun tatil olduğu dönemde ve eğitim dönemi içinde örneklemler gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda okulun sınıflarında, laboratuvarlarında, koridorlarında, aktivite yapılan spor salonu, toplantı odası gibi pek çok mikro ortamda ölçümler gerçekleştirilmiştir. Spor salonu, yemekhane gibi geniş alanlardan birden çok örnek toplanmıştır. Kirlenici bazında değerlendirme yapılacak olursa genel olarak ozon derişimlerinin ders döneminde daha yüksek olduğu görülmüştür. Ozon, spesifik bazı kaynaklar dışında (fotokopi, yazıcı gibi) iç ortamlarda kaynağı olmayan bir bileşiktir. Ders döneminde gözlemlenen artış, dış ortamdan iç ortama transfer olarak düşünülebilir. Ancak, bu transfer mevsimin kış olması ve pencerelerin daha az açılması nedeniyle çok fazla değildir. Zira dış ortam ozon derişimleri iç ortam derişimlerinden oldukça yüksektir. Okulun tatil olduğu dönemlerde dış ortamda ders dönemine nazaran daha düşük derişimler ölçülmüştür. Aynı eğilim iç ortam ölçümlerinde de dikkati çekmektedir. En yüksek ozon

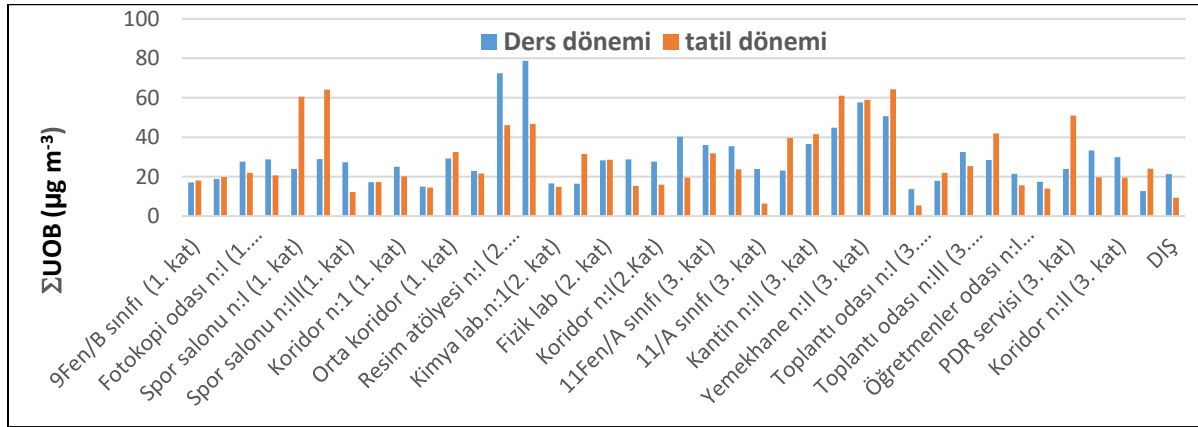
derişimi fotokopi odasında beklenmesine rağmen aynı kattaki koridorda ölçülmüştür. Fotokopi odası içindeki hava akışıyla ozonun oda dışına koridora taşınmasının koridordaki derişimleri arttırdığı düşünülmüştür. Öte yandan bina içinde ozon derişiminin fotokopi odasının bulunduğu koridor dışında homojen olarak dağıldığı söylenebilir.

Ozon için iç ortam/dış ortam derişim oranlarının (I/D) okulun tatil olduğu ve ders dönemlerinde 1 değerinin altında olması kirliliğin dış ortam kaynaklı olduğunu göstermektedir.

NO_2 derişimleri genel olarak örnekleme noktalarının büyük bir kısmında tatil dönemindeki derişimlere yakın ölçülmüştür. NO_2 kaynaklarının olduğu yemekhanede ise eğitimin devam ettiği dönemde daha yüksek derişimler ölçülmüştür.

NO_2 'ye benzer şekilde tatil dönemi iç ortam SO_2 derişimleri ders dönemi derişimlerine yakındır. Kükürt dioksitin iç ortamlarda bilinen güçlü kaynakları yoktur. Kerosen sobaları, katalitik tipi sobalar bilinen iç ortam kaynaklarıdır. Bu çalışmada ise okul doğalgazla ısıtıldığından dolayı, ısınma amaçlı bir kaynak beklenmemektedir. Genel olarak SO_2 derişimleri bina içinde homojen olarak dağılmıştır. Azot dioksit yemekhane gibi kaynağın olduğu noktalarda okul döneminde yükselirken, okulda bilinen bir SO_2 kaynağı olmadığından dolayı okulun açık olduğu dönemde derişimlerde dikkat çeken bir artış görülmemiştir.

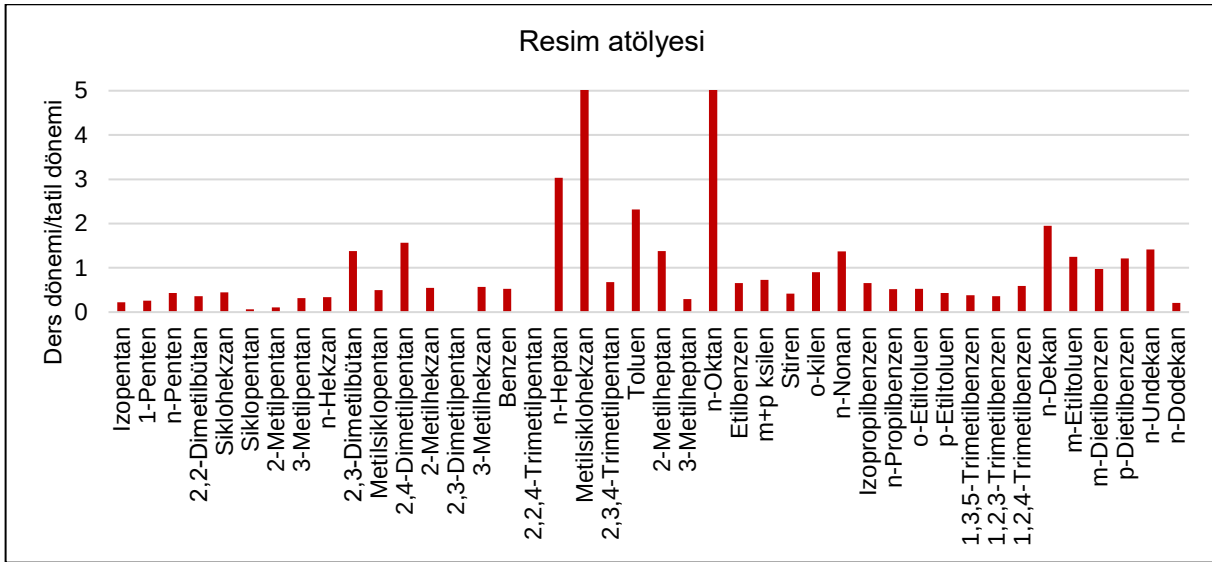
Bu çalışma kapsamında 45 adet UOB derişimi belirlenmiştir. Şekil 2 incelendiğinde, öncelikle ders dönemi ve tatil döneminde farklı mikro ortamlarda ölçülen ΣUOB derişimleri değişmekle birlikte benzer eğilim gösterdikleri dikkat çekmektedir.



Şekil 2. Okulun açık ve tatil olduğu dönemlerde ölçülen toplam UOB derişimleri

Şekilde gösterilen değerler ΣUOB derişimleri olduğundan sadece genel bir bakış açısı sağlamaktadır. İç ve dış ortam kaynaklarına göre her bir UOB bileşiğinin toplama katkısı değişkenlik gösterebilir. Herbir UOB bileşiğinin mikro ortamlardaki derişimleri ise Şekil 2'de gösterilmiştir. Genel olarak sınıf gibi bazı mikro ortamlarda her iki dönem ölçülen derişimler benzerlik gösterirken, spor salonu gibi bazı ortamlarda tatil dönemi derişimler ders döneminden daha yüksek ölçülmüştür. Şekilde dikkat çeken bir mikro ortam da resim atölyesidir (Şekil 3). Resim atölyesinde ders dönemindeki UOB derişimleri tatil döneminde ölçülenlerden yaklaşık 2 kat fazladır. Okulun açılmasıyla birlikte atölyenin kullanılmaya başlanmış olması UOB derişimlerinin

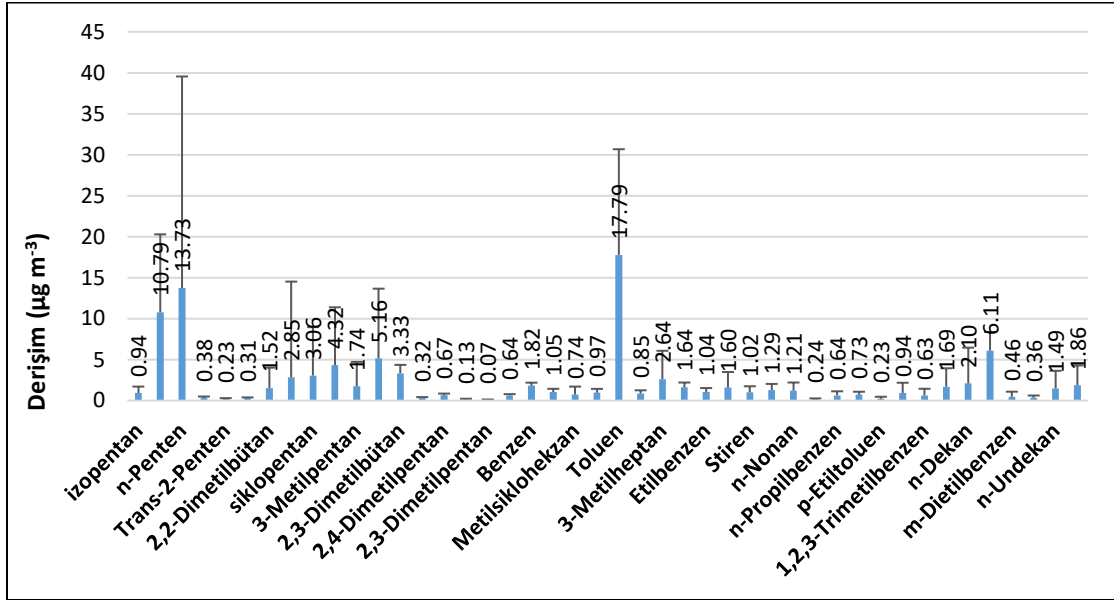
artmasında etkili olabilir. Yağlıboya gibi boyaları inceltmek için kullanılan incelticiler tolüen gibi UOB bileşikleri içermektedir. Öte yandan, bileşik bazında değerlendirme yapmak aktivitelerin ortam derişimlerine etkisini görmek açısından faydalıdır. İnorganik kirleticilerden farklı olarak organik kirleticilerin uçuculuğu, iç ve dış ortam derişimlerinde etkili olmaktadır. Dolayısıyla, iç ortamlarda yapısında uçucu organik bileşen bulunan malzemeler sürekli olarak ortama UOB salınmasına neden olmaktadır. Bu nedenle bulundukları ortamda akümülyasyona neden olabilmektedirler. Spor salonu, bünyesinde pek çok polimerik malzeme (yer döşemeleri, koltuklar vb.) bulunduran bir ortamdır. Okulun açık olmadığı dönemde buharlaşma nedeni ile birikme olması kaçınılmazdır. Aynı durum resim atölyesi için de söz konusu olabilir ancak okul dönemindeki resim aktiviteleri derişimlerin artmasına neden olmaktadır.



Şekil 3. Resim atölyesinde ölçülen UOB derişimlerin ders ve tatil dönemi oranları

3.2. Kişisel ve iç ortam ölçümleri

Tüm bileşenler için 30 öğrenciye ait ortalama maruziyet değerleri Şekil 4’de verilmiştir. 5 gün süreyle sadece okul saatleri içerisinde gerçekleştirilen maruziyet çalışmalarına benzer şekilde, 5 gün kesintisiz gerçekleşen maruziyet çalışmasında da en yüksek maruziyet değeri tolüen için elde edilmiştir. Tolüen dışında, 1-penten, n-penten, m-etil tolüen gibi UOB’ler de diğer UOB’lere nazaran daha yüksek seviyelerde ölçülmüştür.



Şekil 4. UOB'ler için 5 günlük ortalama kişisel öğrenci maruziyetleri

3.3. Kanser riski tahmini

Çalışma kapsamında ölçülen benzen derişimleri kullanılarak kanser riski tahmini yapılmıştır. Öğretmenler ve öğrenciler için hesaplanan yaşam boyu kanser riskinin yanı sıra, 5 gün kesintisiz olarak kişisel örnekleme çalışmalarına dahil olan öğrenciler için benzen için solunabilir kanser riski tahminleri de yapılmıştır. Bu kapsamda, EPA'nın IRIS veri tabanından kanser risk faktörleri araştırılmıştır (USEPA IRIS, 2016). Ölçülen 45 bileşik arasında sadece benzen için risk mevcuttur. Benzen birim risk faktörü için, EPA IRIS veri tabanında bir insanın ömrü boyunca solunum yoluyla $1 \mu\text{g m}^{-3}$ benzen derişimine maruz kalması sonucu kansere yakalanması riskinde verilen maksimum değer olan $7,8 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g m}^{-3})^{-1}$ dikkate alınmış ve hesaplamalar yapılmıştır. Benzen için solunabilir kanser risk değeri 1 nolu eşitlik ile hesaplanmıştır.

Kanser riski: $IUR \times C$

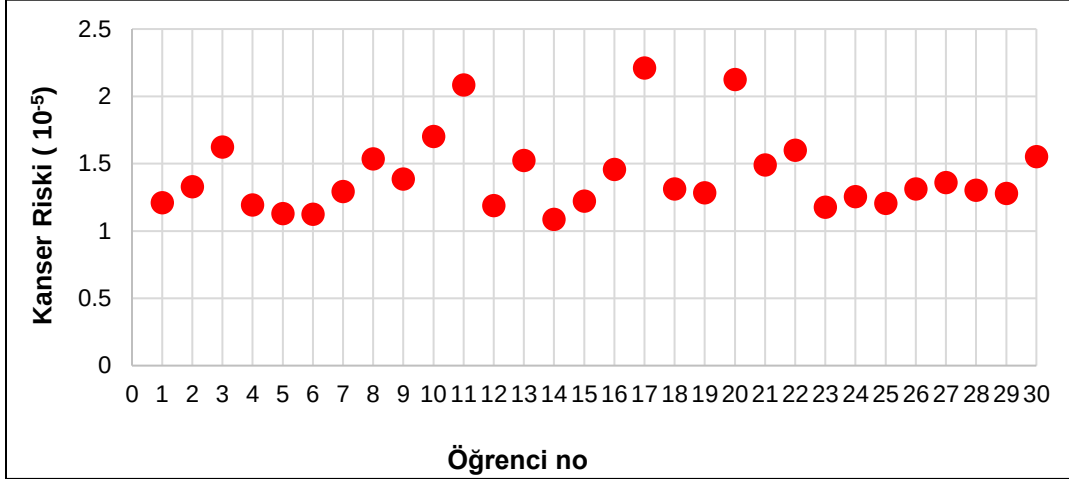
(1)

IUR: (solunum yolu için birim risk faktörü) $(\mu\text{g m}^{-3})^{-1}$

C: Kişisel benzen maruziyet değeri $(\mu\text{g m}^{-3})$

İlk olarak öğretmen ve öğrencilerin okulda bulundukları süre boyunca maruz kaldığı benzen derişimi kullanılarak kanser riski hesaplaması gerçekleştirilmiştir. Öğretmenler için hesaplanan değer $3,64 \times 10^{-7}$, öğrenciler için belirlenen değer ise $5,30 \times 10^{-8}$ şeklindedir. Bu farklılık öğretmenlerin mesleki çalışma süreleri olarak kabul edilen 30 yıl maruziyetlerinin, öğrencilerin lise dönemi boyunca (yaklaşık 4 yıl boyunca) kirlenmeye maruz kaldığı süreden daha fazla olmasından dolayıdır. Öğretmenler ve öğrenciler için hesaplanan yaşam boyu kanser risk değeri EPA'nın kabul ettiği 1×10^{-6} değerini aşmamaktadır. Ancak burada yapılan risk tahmininin sadece okul kaynaklı bir riski içerdiği unutulmamalıdır. Öğretmen ve öğrenciler zamanlarının yaklaşık 1/3'ünü okulda geçirmektedirler. Dolayısıyla diğer ortamlardaki benzen derişimlerine bağlı olarak solunum yoluyla oluşan sağlık riski değişecektir. 30 farklı öğrenci ile gerçekleştirilen (24 saat

süresince) çalışma ile belirlenen solunabilir kanser risk tahmin değerlerinin dağılımı Şekil 5’de verilmiştir. Ortalama kanser risk seviyesi $1,4 \times 10^{-5}$ olarak belirlenmiştir. Tüm öğrencilerde hesaplanan değerlerin, EPA tarafından önerilen sınır değeri aştığı görülmektedir (1×10^{-6}).



Şekil 5. Kişisel benzen derişimleri kullanılarak hesaplanan kanser riski değerleri

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TUBİTAK 115Y456 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Apte M.G., Daisey J.M. 1999. “VOCs and Sick Building Syndrome: Application of a New Statistical Approach for SBS Research to U.S. EPA BASE Study Data”, in Proceedings of Indoor Air 1999, The 8th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Edinburgh, Scotland, 1, 117-122.
- Artun Küçükaçıl G., Polat N., Yay O.D., Üzmez Üzden Ö., Ari A., Tuna Uygun G., Elbir T., Altuğ H., Dumanoglu Y., Döğeroğlu T., Dawood A., Odabasi O., Gaga E.O., An Integrative Approach for determination of air Pollution and its health effects in a coal fired power plant area by passive sampling., Atmospheric Environment, 150,331-345, 2017
- Baek S., Kim O., Perry R.1997. “Indoor Air Quality in Homes, Offices and Restaurants in Korean urban Areas, Indoor/Outdoor Relationships”,Atmospheric Environment, 31, 529–544.
- Bluyssen, M. P. 2009. “Towards an Integrated Approach of Improving Indoor Air Quality”, Building and Environment, 44(9),1980-1989.
- Buonanno, G., Giovinco, G., Morawska, L., Stabile, L. 2015. “Lung cancer risk of airborne particles for Italian population”, Environ. Res., 142, 443–451.

- Gaga, E.O., Döğeroğlu, T., Özden, Ö., Ari, A., Yay, O.D., Altuğ, H., Akyol, N., Örnektekin, S., Van Doorn, W., 2012. Evaluation of air quality by passive and active sampling in an urban city in Turkey: current status and spatial analysis of air pollution exposure. *Environmental Science and Pollution Research* 19, 3579–3596.
- Gül, H., Gaga, E.O., Döğeroğlu, T., Özden, Ö., Ayvaz, Ö., Özel, S., Güngör, G., 2011. Respiratory health symptoms among students exposed to different levels of air pollution in a Turkish City. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 8, 1110–1125.
- Morawska, L., Afshari, A., Bae, G.N., Buonanno, G., Chao, C.Y.H., Hänninen, O., Hofmann, W., Isaxon, C., Jayaratne, E.R., Pasanen, P., Salthammer, T., Waring, M., Wierzbicka, A., 2013. “Indoor aerosols: from personal exposure to risk assessment. *Indoor Air* “, 23, 462–487.
- Özden, Ö., Döğeroğlu, T., 2012. Performance Evaluation of a Tailor-Made Passive Sampler for Monitoring of Tropospheric Ozone. *Environmental Science and Pollution Research* 19, 3200–3209.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency) Integrated Risk Information System (IRIS), 2016. <http://www.epa.gov/iris/supdocs/0276index.html>, Son erişim tarihi: 04.06.2016.
- WHO (World Health Organization). “Global Health Observatory (GHO) data, Urban population growth”. http://www.who.int/gho/urban_health/situation_trends/urban_population_growth_text/en/, Son erişim tarihi: 15 Haziran 2016.