

Tuvalet Temizlik Ürünlerinin Kullanımı İle Salıverilen Karbon Tetraklorürün İç Hava Düzeyleri ve Sağlık Riskleri

İlknur AYRI

Arş. Gör.
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
Çevre Mühendisliği, İzmir
ilknurayri@iyte.edu.tr
orcid: 0000-0002-2772-2754

Mesut GENİŞOĞLU

Arş. Gör.
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
Çevre Bilimi ve Mühendisliği, İzmir
mesutgenisoglu@iyte.edu.tr
orcid: 0000-0002-4618-279X

Handan GAYGISIZ

Öğr. Gör.
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
Çevre Geliştirme Uygulama ve Araştırma
Merkezi, İzmir
handangaygisiz@iyte.edu.tr

Aysun SOFUOĞLU

Prof. Dr.
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
Kimya Mühendisliği, İzmir
aysunsofuoğlu@iyte.edu.tr
orcid: 0000-0001-8076-6476

Sait Cemil SOFUOĞLU

Prof. Dr.
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
Çevre Mühendisliği, İzmir
cemilsofuoğlu@iyte.edu.tr
orcid: 0000-0001-6990-0275

ÖZ

İç hava kirliliği açısından temizlik ürünleri kullanımı önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Bir Uçucu Organik Bileşik (UOB) olan karbon tetraklorürün emisyonu, diğer UOB'ler ile birlikte klorlanmış çeşme suyundan, özellikle su sıcaklığının artırıldığı yıkanma, çamaşır ve bulaşık yıkanması sırasında oluşur. Bununla birlikte, ağartıcı olarak hipoklorit (çamaşır suyu) içeren temizlik ürünlerinde ve kullanımı sırasında, çamaşır suyu ile organik maddelerin reaksiyona girmesiyle oluşumu bu bileşik için göreceli çok daha güçlü bir kaynak oluşturmaktadır. Karbon tetraklorürün hem kronik-toksik hem de karsinojenik sağlık etkileri olması sebebiyle bu temizlik ürünlerinin kullanımı durumunda iç ortam havasından etkin bir havalandırma ile uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu çalışmada, karbon tetraklorürün tuvalet ve banyolarda kullanılan klozet ve rezervuar tipi temizleyicilerden emisyonu deneysel olarak incelenmiş, iç hava düzeyleri modelleme ile tahmin edilmiş, solunum yoluyla maruziyet için kanser riski değerlendirilmesi yapılmıştır. Ürünlerin emisyon potansiyeli tepe boşluğu katı fazlı mikroekstraksiyonu takiben GC/MS yöntemiyle incelenmiş, iç hava düzeylerinin modellenmesi için 8,9 m³ oda hacmi ve 0,5 ach hava değişimi hızı kullanılmıştır. Kullanılan bu hız ile ürünlerin kullanımından kaynaklanan karbon tetraklorür konsantrasyonun sadece %0,6'lık kısmı uzaklaştırılabilmektedir. Ortalama ve 95. yüzdelik kanser risk değerleri kabul edilebilir risk olan milyonda birin altındadır ancak ürünler birer iç ortam karbon tetraklorür kaynağı oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler

İç Hava Kalitesi, Karbon Tetraklorür, Emisyon, Havalandırma, Tuvalet Temizlik Ürünleri.

Indoor Air Levels and Health Risk Assessment of Carbon Tetrachloride Emitted from Toilet-Bowl Cleaners

ABSTRACT

The use of household cleaning products constitute an important source of indoor air pollution. Carbon tetrachloride is a volatile organic compound (VOC) emitted from chlorinated water especially when heated for example for showering and washing clothes / dishes, along with other VOCs. However, hypochlorite (bleach) containing household cleaning products and their use is a relatively much stronger source of the compound due to reaction of bleach with organic matter. Because carbon tetrachloride has both chronic-toxic and carcinogenic health effects, removing it with an effective ventilation is necessary. In this study, the emission of carbon tetrachloride from automatic toilet bowl and reservoir cleaners was investigated experimentally. The emission potential of the products was studied by headspace - solid phase micro-extraction - GC/MS method, indoor air levels were modeled for 8,9 m³ bathroom volume and 0,5 ach air exchange rate, and associated carcinogenic risks were estimated. Only 0,6% of the carbon tetrachloride concentration resulting from the use of the products could be removed at the specified conditions. The mean and 95th percentile risk values for cancer are below one-in-a-million acceptable risk level, but the products are sources of carbon tetrachloride.

Keywords

Indoor Air Quality, Carbon Tetrachloride, Emission, Ventilation, Toilet Cleaning Products.

Geliş Tarihi : 26.09.2018
Kabul Tarihi : 05.02.2019

Ayrı, İ., Genişoğlu, M., Gaygisiz, H., Sofuoğlu, A., Sofuoğlu, S.C., Tuvalet Temizlik Ürünlerinin Kullanımı İle Salıverilen Karbon Tetraklorürün İç Hava Düzeyleri ve Sağlık Riskleri, 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, sf. 1448-1453, 17-20 Nisan 2019.

1. GİRİŞ

İnsanların, uygarlaşma yönündeki hareketleri çevre kirliliğini arttırmıştır. Kirlilik, nüfus artışıyla hızlı bir şekilde artmıştır [1]. Günümüzde, insanların günlük aktiviteleri, gittikçe daha fazla, enerjiye ve kimyasal kullanıma ihtiyaç duymaktadır. Bu yüzden, yeni ve daha karmaşık maddelerin üretilmesine (mobilyalar, giysiler, kumaşlar, temizleyiciler, deterjanlar, koruyucular vb.) ihtiyaç duyulmuştur. Bu ürünlerin, üretimleri sırasında dış havaya, kullanımları sırasında ise iç havaya, zararlı kimyasalların salımı olmaktadır [2].

Uçucu Organik Bileşikler (UOB'ler) çeşitli emisyon kaynakları olan kimyasallardır. Bu maddeler tüketici ve ticari ürünler, boya ve ilgili malzemeler, yapıştırıcılar, mobilya ve giyim, inşaat malzemeleri, yanma malzemeleri ve ev aletleri gibi çok çeşitli emisyon kaynaklarına sahiptirler [3]. Temizlik ürünlerinin kullanılması, insan sağlığının korunması için çok önemliken, bazı ürünler UOB'leri içerdikleri için risk oluşturmaktadır [4, 5]. Öte yandan, ağartıcı (sodyum hipoklorit, NaOCl) bazlı ürünlerin raf süresince içerisinde bulunan yüzey aktif madde, parfümler vb. organik maddeler ile reaksiyona girmesiyle UOB'ler, özellikle karbon tetraklorür oluşmaktadır. Ürünlerin kullanımı sırasında su ile temasında sudan gelen organik bileşiklerle olan reaksiyonu da halojenli UOB'lerin oluşumunu desteklemektedir. Bu iki durumda ortamda bulunan özellikle karbon tetraklorür konsantrasyonu artmakta [5]; bu temizlik maddelerinin havalandırması zayıf mekânlarda kullanılması, bina sakinleri ve temizlik personelinin kanserojen, üreme sistemini etkileyen veya tahriş edici olarak kabul edilen çeşitli hava kirleticilerine maruz kalmaları kaygısına sebep olmaktadır [4]. İçerisinde buldukları ürünlerde hem raf süresince, hem de kullanım sırasında oluştukları için ağartıcı içeren temizlik ürünlerinin kullanımı karbon tetraklorür maruziyeti açısından özel önem taşımaktadır.

Bazı UOB'lerin iç ortamlarda akut ve kronik sağlık etkilerine yol açabileceği yaygın olarak bildirilmiştir. Bu sağlık etkileri arasında duyuşsal tahriş, yorgunluk, baş ağrısı, baş dönmesi, mide bulantısı, uyuşukluk, alerji, hasta bina sendromu, akciğer fonksiyonunda azalma, astım ve hatta lösemi, nörolojik toksisite ve akciğer kanseri sayılabilir [3, 6]. Sağlık etkilerini azaltmak için bu maddelerin iç ortamdan etkin bir havalandırma ile uzaklaştırılması

gerekmektedir. Havalandırma hızı iç ortamda bulunan en yüksek kirlenici konsantrasyonunu belirli düzeylerin altında tutmak üzere belirlenmelidir [7].

Evlerde yaygın olarak kullanılan yüzey temizlik ürünlerinden kullanım sırasında oluşan kesikli emisyonlardan farklı olarak tuvaletlerde kullanılan rezervuar ve klozet blokları sürekli bir karbon tetraklorür emisyon kaynağı oluşturabilir. Rezervuar tipi ürünler sürekli bir su temasına ve ilintili fazladan UOB emisyonuna sahipken klozet üzerine takılan ürünlerden emisyon su ile temas etmesi durumunda artarak süreklilik arz edebilir. Bu çalışmada, ağartıcı içeren rezervuar/klozet temizleyicilerin kullanımı nedeniyle oluşabilecek karbon tetraklorür konsantrasyonu incelenmiş, havalandırma ile iç hava konsantrasyonu modellenmiş ve maruziyet - risk değerlendirmesi yapılmıştır. Ortalama ve 95. yüzdeler risk olmak üzere iki risk senaryosu değerlendirilmiştir.

2. MALZEME ve YÖNTEM

2.1. Deneysel

Tümü dezenfeksiyon maddesi olarak çamaşır suyu (sodyum hipoklorit) içeren, 7'si rezervuar ve 5'i klozet üzerine takılan olmak üzere toplam 12 ürün Türkiye, Avrupa ve ABD'de süpermarketlerden satın alınmıştır. Tüm ürünler analiz süresine kadar orijinal ambalajında muhafaza edilmiştir. Her bir üründen alınan birer gramlık numuneler, biri susuz ve biri 2 mL çeşme suyu ile birlikte olacak şekilde 20 mL'lik tepeboşluğu (headspace) viallerine yerleştirilmiş ve septum kaplı bir kapakla kapatılmıştır. Tüm deneyler iki tekrarlı yapıp ortalama değerleri kullanılmıştır. Örnekler hazırlanıp kapağı kapatıldıktan sonra 30 dakika oda sıcaklığında bekletilmiş ve ardından polidimetilsiloksan kaplı bir fiber kullanılarak 30 dakika vialin tepe boşluğunda bekletilmiştir. Fiber daha sonra kütle seçici dedektörü (Agilent 5973 inert MSD) olan bir gaz kromatografi sistemine (GC, Agilent 6890N) enjekte edilip desorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiş ve analiz edilmiştir. Analiz için kullanılan kromatografik kolon, HP5-MS (30 m, 0,25 mm, 0,25 µm) ve taşıyıcı gaz, helyumdur. Analiz sırasında fırın sıcaklığı 40°C'de başlatılıp 5 °C'de bekletilmiş 5 °C dk-1'lik artışla 230 °C'ye yükseltilmiş ve 1 dk bu sıcaklıkta tutulmuştur. Enjeksiyon modu split-siz, iyonlaşma modu elektron etkisidir (EI). Kar-

bon tetraklorür kalibrasyonu için 5, 10, 25, 100 ve 250 ppb olmak üzere 5 farklı nokta hazırlanmıştır. Saf su içerisinde toplam hacim 2 ml olacak şekilde hazırlanan konsantrasyonların kalan 18 ml vial hacminde oluşturacağı gaz faz ile anlık dengede olduğu kabul edilmiştir. Analiz ile belirlenen ürünlerin analit konsantrasyonundan ($\mu\text{g/g}$) hareketle sulu örnekler için iç hava gaz faz konsantrasyonu Henry sabiti kullanılarak belirlenmiştir. Literatürde karbon tetraklorür için Henry sabiti $3,4 \times 10^{-4}$ mol/($\text{m}^3 \times \text{Pa}$) olarak bildirilmiştir [8]. Henry sabiti ile gaz faz karbon tetraklorür kısmi basıncı hesaplandıktan sonra, ideal gaz yasası kullanılarak karbon tetraklorür konsantrasyonu, ürün ömrü, kullanım sıklığı dikkate alınarak hesaplanmıştır. Susuz örnekler için ürün analit konsantrasyonunun ürün ağırlığıyla çarpılmasıyla elde edilen emisyon potansiyelinin kullanım sıklığı – ürün ömrü boyunca buharlaştığı varsayılarak iç hava konsantrasyonu belirlenmiştir. Bu konsantrasyonlar havalandırma olmaması durumu için kullanılmıştır.

2.2. Havalandırma Modellemesi

İç hava karbon tetraklorür konsantrasyonları, tuvalet ve banyolarda otomatik klozet temizleyicilerin 8,9 m^3 [9] tuvalet/banyoda kullanımı için modellenmiştir. İç hava karbon tetraklorür konsantrasyonu Eşitlik-1 [10] ile hesaplanırken kirleticinin ürünün kullanım sırasında zamanla değişmeyen, sabit emisyonu olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca dış ortamda bulunan kirletici konsantrasyonu sıfır kabul edilmiş, ortamda bulunan kirleticinin ise homojen dağıldığı kabul edilmiştir. Hava değişim hızı olarak Avrupa'da en çok karşılaşılan hız olan 0,5 ach kullanılmıştır [7].

$$V (dC_{ic}) / dt = Q (C_{dis} - C_{ic}(t)) + E \quad (1)$$

V oda hacmi (m^3), t zaman (h), $C_{ic}(t)$ ise t zamanındaki iç mekan karbon tetraklorür konsantrasyonu (mg/m^3), Q havalandırma hızı (m^3/saat), C_{dis} dış mekan karbon tetraklorür konsantrasyonu (mg/m^3) ve E ürünlerin (mg/saat) emisyon hızını ifade etmektedir.

2.3. Maruziyet ve Risk Değerlendirmesi

Maruziyet ve risk değerlendirmesi solunum yolu ile maruziyet için yapılmıştır. Ürünlerin kullanımıyla iç havadan solunum yoluyla alınan günlük alım miktarı (CDI, $\text{mg}/\text{kg-gün}$) Eşitlik-11 kullanılarak hesaplanmıştır [11].

$$CDI = (C \times IR \times ET \times EF \times ED) / (BW \times AT) \quad (2)$$

Burada C karbon tetraklorürün iç hava konsantrasyonu (mg/m^3); IR solunum hızı (m^3/saat), ET günlük maruz kalma süresi ($\text{saat}/\text{gün}$), EF maruz kalma sıklığı ($\text{gün}/\text{yıl}$), ED maruz kalma süresi (yıl), BW vücut ağırlığı (kg) ve AT ortalama ömürdür. Her bir ürün konsantrasyonu için CDI hesaplandıktan sonra kirleticinin eğim faktörü ile çarpılmış ve risk değeri hesaplanmıştır. Karbon tetraklorür için eğim faktörü $0,13 (\text{mg}/\text{kg-day})^{-1}$ olup hesaplanan risk birimsizdir [11].

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

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1. İç Ortam Hava Konsantrasyonları

Klozet ve rezervuar bloklarında yapılan ikili ölçümlerin ortalaması kullanılarak her iki ürün tipi için elde edilen konsantrasyonların kutu grafikleri Şekil 1'de verilmiştir. Her iki tip ürün için de ortamda havalandırma olmaması durumunda ve havalandırma ile elde edilen konsantrasyonlar gösterilmiştir. Rezervuar tipi ürünler için havalandırma olmadan hesaplanan konsantrasyonlar $5,31 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile $9,65 \times 10^{-1} \mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında değişmiştir. Klozet tipi ürünler için bu konsantrasyonlar $2,32 \times 10^{-4} \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile $3,1 \times 10^{-2} \mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığındadır. Sürekli su ile temas halinde olan rezervuar tipi ürünler için muhtemelen sudaki organik maddeler ile tepkime sonucu ilave oluşum ile birlikte sudaki difüzyon katsayısının katıya göre çok yüksek olmasından dolayı daha yüksek karbon tetraklorür konsantrasyonları (aradaki fark ortanca değerler esas alındığında yaklaşık 51 kat, en yüksek değerler esas alındığında ise 31 kat) oluşmuştur. Ortamda havalandırma sisteminin bulunması ve 0,5 ach hava değişim hızında çalışması durumunda ortamda bulunan konsantrasyonların %0,6'lık kısmı uzaklaştırılmıştır.

Ürünlerin kullanıldığı ortamda havalandırma olması durumunda rezervuar tipi ürünlerin kullanımını sonucu oluşabilecek konsantrasyon aralığı $5,28 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile $9,59 \times 10^{-1} \mu\text{g}/\text{m}^3$, klozet tipi ürünler için ise $2,31 \times 10^{-2} \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile $3,09 \times 10^{-2} \mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında değişmiştir.

Diğer çalışmalar ile karşılaştırıldığında, bu çalışmada hesaplanan konsantrasyon değerleri literatürde bildirilen düzeyler aralığında kalmaktadır.

Odabaşı [5] mutfak, banyo ve yer temizliği sırasında, çamaşır suyu içeren temizlik ürünlerinin kullanımından kaynaklanan UOB'leri incelemiştir. Temizlik maddeleri kullanılmadan önce iç hava karbon tetraklorür konsantrasyonu $0,27 \pm 0,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ortalama ve standart sapma değeri ile $0,16-0,47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında belirlenmiştir. Bu düzeyler, çalışılan ortamda farklı kaynakların bulunduğunu göstermektedir. Ürünlerin kullanımı sırasında ise karbon tetraklorür konsantrasyonları artarak bu istatistikler sırasıyla $55,2 \pm 144 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $0,25-459 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak belirlenmiştir. Ürünlerin kullanımından 30 dk sonra yapılan ölçümlerde ise konsantrasyon değerleri $0,30-212 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında değişmiş, ortalama konsantrasyon ise $22,4 \pm 66,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bildirilmiştir [5]. Çalışmamızda incelenen tuvalet/rezervuar bloklarının kullanımıyla oluşabilecek konsantrasyonlar bu değerlerden daha düşüktür. Bu durumun, rezervuar ve klozet temizlik ürünlerinin diğer temizlik maddelerinin aksine kütlelerinin düşük olmasından ve görece uzun süreler kullanılabilmelerinden kaynaklanabileceği söylenebilir. Odabaşı ve arkadaşlarının [12] yaptığı diğer bir çalışmada ise modellenen iç hava konsantrasyonları $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile $1124 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ortalama, $82 \pm 194 \mu\text{g}/\text{m}^3$) değerlerindedir; ki bunlar çalışmamızda hesaplanan düzeylerden epey yüksektir.

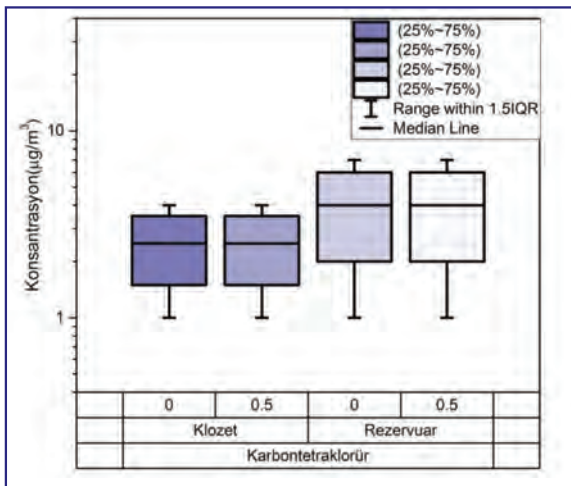
3.2. Kanser Riski Değerlendirmesi

Tuvalet ve rezervuar bloklarının kullanımı ile oluşabilecek kanser riski değerleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Ürünlerin kullanımına bağlı olarak ömür

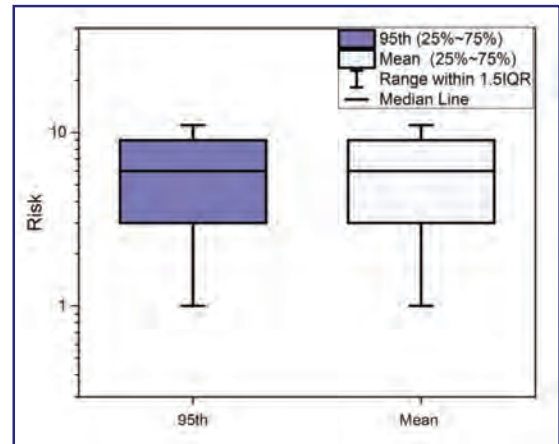
boyu kanser riski hesabı yapılmıştır. Kanser riski değerleri 95. yüzdilik ve ortalama risk olmak üzere iki şekilde hesaplanmış olup, tüm ürünler için hesaplanan en yüksek ortalama risk değeri $2,64 \times 10^{-7}$ iken 95. yüzdilik değeri $3,81 \times 10^{-7}$ 'dir. Odabaşı vd. [12] tarafından yapılan çalışmada temizlik ürünlerinin kullanımı ile oluşan karbon tetraklorür konsantrasyonundan kaynaklı risk değerleri 95. yüzdilik ve ortanca olarak hesaplanmıştır. Çamaşır suyu ile birlikte yüzey aktif madde içeren ürünler için ortanca risk değeri $8,1 \times 10^{-7}$ olarak hesaplanırken 95. yüzdilik için bu değer $2,4 \times 10^{-4}$ 'tür. Hem çalışmamızda hem de önceki çalışmada [12] hesaplanan ortalama risk seviyeleri kabul edilebilir risk değerinin (10^{-6}) altındadır. Çalışmamızda incelenen ürünlerin, en az $0,5 \text{ ach}$ hava değişim hızı olan bir odada tek emisyon kaynağı olarak bulunması halinde dikkate değer bir risk oluşturmamaktadır.

SONUÇ

Bu çalışmada, rezervuar ve klozet tipi tuvalet temizlik maddelerinin potansiyel karbon tetraklorür emisyonu deneysel olarak incelenmiştir. Tuvalet/banyolarda temizlik ve koku giderme amaçlı kullanılan çamaşır suyu içeren rezervuar ve klozet bloklarının birer karbon tetraklorür emisyon kaynağı olduğu belirlenmiş, rezervuar tipi olanların emisyon potansiyelinin klozet tipi olanlardan göreceli daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Hava değişim hızı $0,5 \text{ ach}$ olan $8,9 \text{ m}^3$ hacminde bir tuvaletin iç havasında bulunabilecek konsantrasyonlar hesaplanmış ve solunum yoluyla maruziyet ile ilintili



Şekil 1. Ürün tipine ve hava değişim hızına bağlı karbon tetraklorür konsantrasyonları



Şekil 2. Tahmin edilen kanser riski dağılımları

kanser riski değerlendirmesi yapılmıştır. Bu şartlarda, bu ürünlerin kullanımıyla oluşabilecek en yüksek iç hava karbon tetraklorür konsantrasyonu $0,965 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak, bu konsantrasyona solunum yoluyla maruziyette oluşacak ortalama kanser riski değeri ise $2,64 \times 10^{-7}$ olarak hesaplanmıştır. Kullanılan hava değişim hızı ile, çalışılan ürünlerden kaynaklanan karbon tetraklorür konsantrasyonunun yüzde 5'lik kısmı iç ortamdan uzaklaştırılabilir olup ortalama ve 95. yüzdellik kanser riski değerleri kabul edilebilir değerin (10^{-6}) altında bulunmuştur.

TEŞEKKÜR

Finansal destek İYTE BAP (2016-İYTE-34 ve 2017-İYTE-06) tarafından sağlanmıştır. Analitik çalışmalara katkıları için Dr. Figen Korel, Dr. Mustafa Odabaşı ve Dr. Yetkin Dumanoglu'na, yurtdışı ürün numunelerinin tedarigi için yardımlarından dolayı Sencer Sofuoğlu, Dr. Güleda Engin, Burçak Üçok'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] Zabiegała, B., Organic Compounds in Indoor Environments. Polish Journal of Environmental Studies, 15(3), 383-393, 2006.
- [2] Kwon, K. D., & Jo, W. K., Indoor Emission Characteristics Of Liquid Household Products Using Purge-And-Trap Method, Environmental Engineering Research, 12(5), 203-210, 2007.
- [3] Wang, L. K., Advanced Air And Noise Pollution Control (pp. 3-33), L. K. Wang, N. C. Pereira, & Y. T. Hung (Eds.), Totowa, NJ, USA: Humana press, 2005.
- [4] Nazaroff, W. W., & Weschler, C. J., Cleaning Products And Air Fresheners: Exposure To Primary And Secondary Air Pollutants, Atmospheric Environment, 38(18), 2841-2865, 2004.
- [5] Odabasi, M., Halogenated Volatile Organic Compounds from the Use of Chlorine-Bleach-Containing Household Products, Environmental Science & Technology, 42(5), 1445-1451, 2008.
- [6] Dai, H., Jing, S., Wang, H., Ma, Y., Li, L., Song, W., & Kan, H., VOC Characteristics And Inhalation Health Risks In Newly Renovated Residences In Shanghai, China, Science of the Total Environment, 577, 73-83, 2017.
- [7] Ye, W., Zhang, X., Gao, J., Cao, G., Zhou, X., & Su, X., Indoor Air Pollutants, Ventilation Rate Determinants And Potential Control Strategies In Chinese Dwellings: A Literature review, Science of the Total Environment, 586, 696-729, 2017.
- [8] Sander, R., Compilation of Henry's Law Constants For Inorganic And Organic Species Of Potential Importance In Environmental Chemistry, 1999.
- [9] Mui, K. W., Wong, L. T., Yu, H. C., Cheung, C. T., & Li, N., Exhaust Ventilation Performance in Residential Washrooms for Bioaerosol Particle Removal After Water Closet Flushing, Building Services Engineering Research and Technology, 38(1), 32-46, 2017.
- [10] Liang, W., & Yang, X., Indoor Formaldehyde in Real Buildings: Emission Source Identification, Overall Emission Rate Estimation, Concentration Increase and Decay Patterns, Building and Environment, 69, 114-120, 2013.
- [11] Asante-Duah, D. K., Public Health Risk Assessment For Human Exposure To Chemicals (Vol. 6), Kluwer Academic, 2002.
- [12] Odabasi, M., Elbir, T., Dumanoglu, Y., & Sofuoğlu, S. C., Halogenated volatile Organic Compounds in Chlorine-Bleach-Containing Household Products and Implications for Their Use, Atmospheric Environment, 92, 376-383, 2014.