

ANKARA'DA KENTSEL YERLEŞİM VE BANLIYÖ İSTASYONLARINDA ÖLÇÜLEN UÇUCU ORGANİK BİLEŞİK KONSANTRASYONLARININ ZAMANSAL DEĞİŞİMİ

Elif Sena UZUNPINAR ^{1(*)}, Ezgi SERT¹, Seda ASLAN KILAVUZ², İpek İMAMOĞLU¹,
Gürdal TUNCEL¹

¹ Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Ankara
² Kocaeli Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kocaeli

ÖZET

Doğal yollardan ve insan kaynaklı olarak atmosfere salınan uçucu organik bileşikler (UOB), gerek insan sağlığı ve gerekse ekosistem bileşenleri üzerinde olumsuz etkilere neden olan organik bileşiklerdir. Bu nedenle, atmosferdeki konsantrasyonlarının, konsantrasyonlarını etkileyen faktörlerin ve kaynaklarının belirlenmesi önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, Ankara'da banliyö ve kentsel alanda UOBlerin kaynaklarının belirlenmesi amacıyla ODTÜ (banliyö) ve Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi (AÜ) yerleşkelerinde (kentsel), elli beş adet US.EPA – PAMS UOB bileşiği konsantrasyonları ölçülmüştür. Ölçülen konsantrasyonların zamansal değişimi, değişime neden olan faktörlerin belirlenmesinde yararlı olmaktadır. Bu bildiride UOB konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi hafta içi – hafta sonu ve mevsimsel olmak üzere iki ana başlık altında incelenmiştir. İki örnekleme alanında da hafta içi UOB konsantrasyonları hafta sonu konsantrasyonlarından yüksek ölçülmüştür. UOB konsantrasyonlarının en önemli kaynağının trafik emisyonları olması ve trafik yoğunluğunun da hafta içinde hafta sonuna oranla daha yüksek olması ölçümlerle örtüşmektedir. İki yerleşke konsantrasyonları birbiri ile karşılaştırıldığında bileşiklerin büyük çoğunluğu için hafta içi ve hafta sonu AÜ konsantrasyonlarının ODTÜ konsantrasyonlarından büyük olduğu görülmüştür. AÜ istasyonunda UOBlerin hafta içi/hafta sonu oranlarının ortalaması 1.43 ± 0.28 iken bu ortalama ODTÜ istasyonunda 1.28 ± 0.29 dur. Bunun nedeni şehrin içerisindeki bir istasyon olan AÜ istasyonu etrafındaki trafik daha yoğun olduğundan, hafta sonlarındaki azalmanın da daha belirgin olmasıdır. Tolüen/Benzen oranlarının hafta içi – hafta sonu değişimi de yukarıdaki senaryoyu desteklemektedir. Hafta sonunda ölçülen T/B oranının hafta içinden yüksek olması kentsel istasyonda hafta sonunda trafiğin azalması ile çözücü kökenli emisyonların daha belirgin hale geldiğini işaret etmektedir.

Her iki istasyon için yaz mevsimi UOB konsantrasyonları kış mevsimi konsantrasyonlarından yüksek çıkmıştır. Bu durum yazın UOBlerin parçalanma hızlarının artması ile açıklanabilir. Ancak kış/yaz konsantrasyon oranları iki istasyon arasında farklılık göstermektedir. Bu farklılık da emisyon miktarları arasındaki farklılıktan kaynaklanmaktadır. Bileşiklerin büyük çoğunluğu için kış ve yaz mevsimi karşılaştırmaları, AÜ konsantrasyonlarının ODTÜ konsantrasyonlarından yüksek olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde, konsantrasyonların aylık karşılaştırması kış

(*) sena@metu.edu.tr

mevsimine denk gelen ekim, kasım, aralık ve ocak aylarında UOB konsantrasyonlarının her iki yerleşke için de arttığını göstermektedir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Uçucu organik bileşik, Ankara, zamana bağlı değişim.

ABSTRACT

Volatile organic compounds (VOCs) that are released into the atmosphere through natural and anthropogenic processes have adverse effects on human health and the ecosystem. Therefore, determination of the atmospheric concentrations, the factors influencing these concentrations, and the sources of these compounds are extremely important.

In this study, fifty-five PAMS VOCs were measured in METU and Ankara University Faculty of Agriculture (AU) campuses in order to determine the sources contributing to the VOC concentrations in urban (AU) and suburban (METU) Ankara atmosphere. Investigation of the temporal variation of the measured concentrations is helpful for the identification of the factors influencing the observed variation. In this paper, temporal variation of VOCs are investigated under two categories: weekday/weekend and seasonal variations. Measured weekday VOC concentrations are higher than weekend concentrations at both stations. Since traffic emissions is the most important source VOCs and traffic density is higher during weekdays, measurements are consistent with this fact. Comparison of the measured concentrations from both stations shows that both weekday and weekend concentrations at AU station are higher compared to METU station. Average weekday/weekend VOC ratios at AU is 1.43 ± 0.28 . This ratio is found as 1.28 ± 0.29 at METU campus. This difference results from the characteristics of the station locations. AU station is located in city center with heavy traffic and hence, the decrease in the traffic during weekends is more prominent. Weekday/weekend variations of Toluene/Benzene ratios also supports this scenario. Higher T/B ratios in weekends compared to weekdays show that solvent related VOCs become dominant as traffic related VOCs emissions decrease.

Summer VOC concentrations are measured to be higher than winter concentrations at both stations due to increased rate of degradation of compounds during summer. However, winter/summer ratios show differences at both stations. This difference results from the variations in the amount of emissions at each station. Winter and summer comparisons reveals that AU concentrations are higher than METU for majority of the compounds. Similarly, monthly concentration comparisons also show that during winter months (October, November, December, and January), VOC concentrations start to increase at both stations.

KEYWORDS

Volatile organic compounds, Ankara, temporal variation.

1. GİRİŞ

Uçucu organik bileşikler (UOBler) insan sağlığı ve ekosistem üzerindeki doğrudan ve dolaylı olarak etkileri ve çeşitli atmosferik proseslerde oynadıkları rolden ötürü büyük önem arz etmektedir. İnsan sağlığı üzerinde inme, kronik ve akut solunum yolu rahatsızlıkları ve kanser (WHO, 2014) gibi ciddi etkilere neden olabilen UOBler, ekosistem üzerinde büyümede yavaşlama, renk ve yaprak kaybı (Kuntasal, 2005) gibi etkilere sahiptir. Atmosferik proseslere baktığımızda ise farklı bileşikler ile (ikincil organik bileşikler vb.) yaptıkları reaksiyonlar sonucu yer seviyesi ozon oluşumuna neden olarak dolaylı yollardan sağlık sorunlarına neden olmaktadır (Alhaji, 2011).

UOBler atmosfere hem insan kaynaklı hem de doğal yollardan salınabilmektedir. Doğal (biyojenik) kaynakları çoğunlukla bitki örtüsü, okyanuslar, taze su kaynakları, toprak ve organik madde bozunumu yoluyla olmaktadır (Williams ve Koppmann, 2007; Zemankova ve Brechler, 2010). İnsan kaynaklı salınımlar ise motorlu taşıt emisyonu (Han ve Naehner, 2006), petrol ve petrol buharı (Kountouriotis vd., 2014), endüstriyel prosesler, tarım ve atıkların düzenli depolanması (Derwent, 1995) gibi alt başlıklarda toplanabilir. İnsan kaynaklı emisyonlardaki artış ve yukarıda sıralanan sağlık ve çevresel etkilerinden ötürü, UOB emisyonlarının, bu emisyonlara katkıda bulunan kaynakların ve her kaynağın ne kadar katkıda bulunduğu belirlenmesi önemlidir. Bu bağlamda, Ankara'da banliyö ve kentsel alanda UOBlerin kaynaklarının belirlenmesi amacıyla ODTÜ (banliyö) ve Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi (AÜ) yerleşkelerinde (kentsel), elli beş adet US.EPA – PAMS UOB bileşiği konsantrasyonları ölçülmüştür. Ölçülen konsantrasyonların zamansal değişimi, değişime neden olan faktörlerin belirlenmesinde yararlı olmaktadır. Bu bildiride UOB konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi hafta içi – hafta sonu ve mevsimsel olmak üzere iki ana başlık altında incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

UOB örneklemeleri Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Çevre Mühendisliği Bölümü (banliyö) ve Ankara Üniversitesi (AÜ) Ziraat Fakültesi (kentsel) kampüslerinde yapılmıştır. ODTÜ kampüsü (39°53'12.19"K, 32°46'59.77"D) trafiğin yoğun olduğu cadde ve yollardan uzak olduğu, AÜ kampüsü (39°57'24.74"K, 32°51'45.19"D) ise trafik yoğunluğunun fazla olduğu ana caddelere yakınlığından dolayı seçilmiştir. ODTÜ kampüsüne en yakın yol 1.3 km uzaklıktan geçen Malazgirt Bulvarı'dır. Bilkent Bulvarı ve Eskişehir yolu kampüsten sırasıyla 1.6 ve 2.4 km uzaklıklarda yer almaktadır. AÜ kampüsü yakınından geçen Turgut Özal Bulvarı ise kampüse 300 m uzaklıktadır. Bu iki lokasyonun seçilmesi ile Ankara şehrinin hem kentsel hem de banliyö kesimlerinde örnekleme yapılarak tüm kenti yansıtabilecek bir emisyon profili çıkarılması planlanmıştır.

Her iki kampüste de hava örneklemeleri 6-L SUMMA paslanmaz çelik kanisterler kullanılarak, 24 saatlik örnekler toplanacak şekilde yapılmıştır. ODTÜ kampüsünde Ocak 2013 – Eylül 2015 tarihleri arasında 335 adet, AÜ kampüsünde Haziran 2014 – Eylül 2015 tarihleri arasında 260 adet 24 saatlik örnek toplanmıştır. Toplanan örnekler GC-FID sistemi kullanılarak analiz edilmiştir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1. UOB konsantrasyonlarının hafta içi – hafta sonu değişimleri

AÜ ve ODTÜ kampüsleri için hafta içi (Hİ) – hafta sonu (HS) UOB konsantrasyonları ve her iki istasyon için Hİ/HS konsantrasyon oranları Şekil 1 – a, b ve c’de sırasıyla verilmiştir.

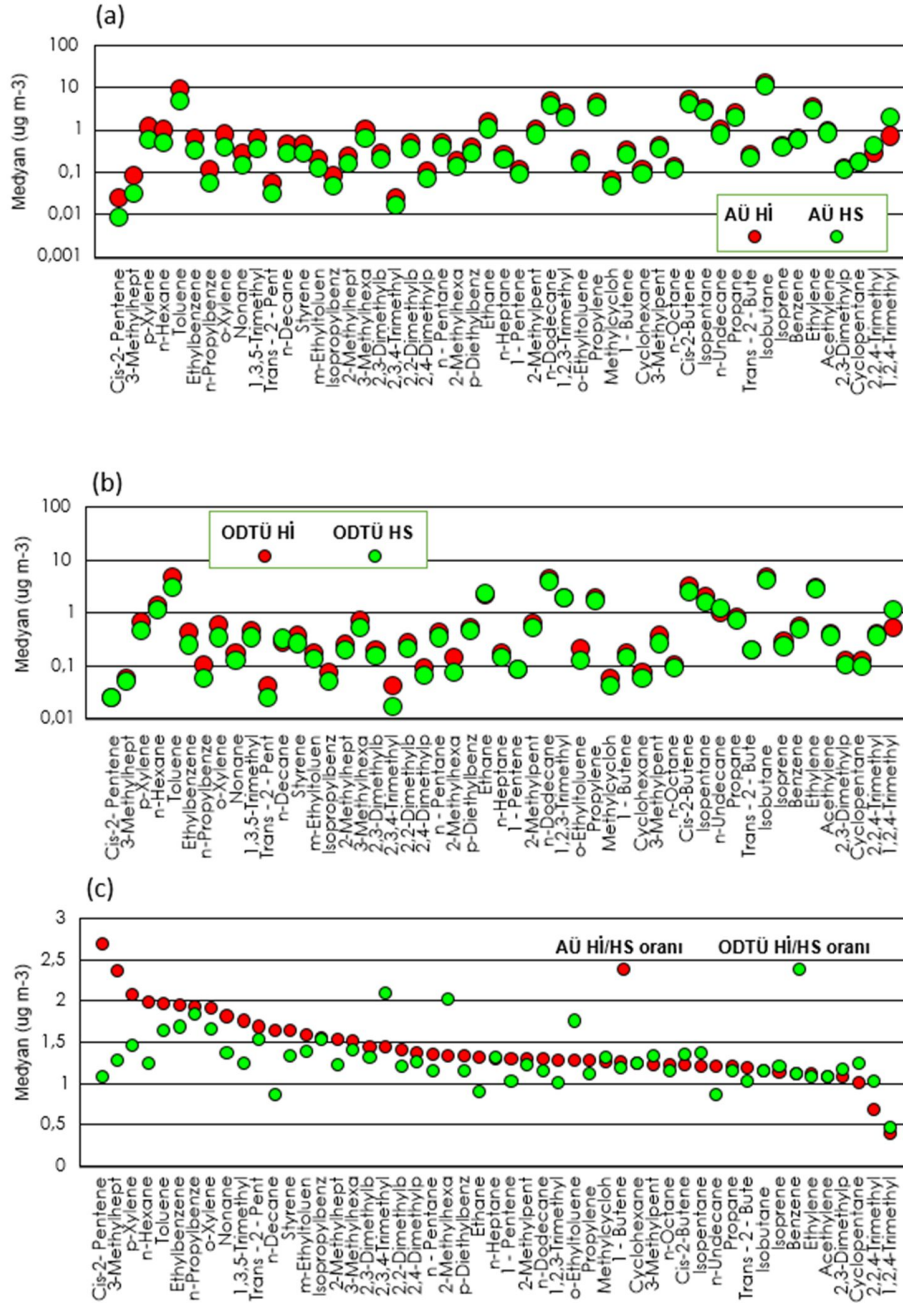
UOB konsantrasyonlarının en önemli kaynağı trafik kaynaklı emisyonlardır. Trafik ise hafta içinde hafta sonuna nazaran daha yoğun olmaktadır. Başka önemli bir kaynağın bulunmadığı durumlarda hafta içi UOB konsantrasyonlarının hafta sonu konsantrasyonlarından yüksek olması beklenmektedir.

Bu çalışmada gerek AÜ istasyonunda ve gerekse ODTÜ istasyonunda ölçülen UOB konsantrasyonları, hafta sonu konsantrasyonlarından daha yüksektir. Bu fark Şekil 1 - a’da AÜ istasyonu için, Şekil 1 - b’de ise ODTÜ istasyonu için gösterilmiştir. Yukarıda açıklanan durum ile tutarlı olarak her iki istasyon için de hafta içi konsantrasyonlarının sistematik bir şekilde hafta sonu konsantrasyonlarından yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 1 – c her iki istasyon için hazırlanan Hİ/HS UOB oranlarını göstermekte olup karşılaştırma yapılmasına olanak sağlamaktadır. Ölçülen UOBlerin ikisi (2,2,4-trimetilpentan ve 1,2,4-trimetilbenzen) dışındakiler için Hİ/HS oranı 1’den büyük olduğu görülmektedir. UOBlerin büyük bir bölümünün trafik kökenli olması ve trafiğin de hafta içerisinde daha yoğun olması, ölçülen UOBlerin büyük bir kısmı için hafta içi konsantrasyonlarının hafta sonuna nazaran daha yüksek olmasına neden olmaktadır. Aynı durum literatürdeki farklı çalışmalarda da görülmektedir (Kuntasal, 2005; Sert, 2017; Yurdakul et al., 2013).

UOBlerin büyük bir bölümü için AÜ istasyonunda ölçülen Hİ/HS oranları ODTÜ istasyonunda ölçülen Hİ/HS oranlarından yüksek çıkmıştır. AÜ istasyonunda UOBlerin Hİ/HS oranlarının ortalaması $1.43 \pm 0,28$ iken bu ortalama ODTÜ istasyonunda 1.28 ± 0.29 ’dur. Aradaki fark büyük değilse de sistematik olarak UOBlerin büyük bir bölümünde görülmektedir. Bu durum, şehrin içerisindeki bir istasyon olan AÜ istasyonu etrafındaki trafik yoğunluğunun daha fazla olması ve hafta sonlarında yoğunluktaki azalmanın ODTÜ istasyonuna oranla daha belirgin olması ile açıklanmaktadır.

Şekil 1 – c’de görülen ilk yedi UOBnin (cis-2-pentan, 3-metilheptan, m,p ksilen, n-hekzan, tolüen, etilpentan, n-dekan) Hİ/HS oranları kentsel istasyon için en yüksek oranlara sahip olmakla birlikte ODTÜ istasyonu için hesaplanan oranlardan da belirgin derecede yüksek oldukları görülmektedir. Trafik kökenli bu UOBlerin Hİ/HS oranları 1.5 civarlarında hesaplanmıştır. Bu durum, hafta içi artıp hafta sonu duran trafik dışında kaynakların da konsantrasyonlara etki ettiğini göstermektedir. Buna ek olarak, trafik harici bu kaynakların ODTÜ istasyonunda etkin olmadıkları sonucuna da ulaşılmaktadır. Tüm bu çıkarımlar sonucunda, bahsi geçen bu yedi UOBnin şehirde bulunan fotokopi ve basımevleri tarafından kullanılan solventlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. m,p – ksilen, etilbenzen ve tolüen gibi BTEX bileşikler de varılan bu sonucu desteklemektedir. BTEX bileşiklerinin ana kaynağı trafik olsa da, benzen dışındaki bileşikler solvent olarak da kullanılmaktadır (Civan, 2010; Kuntasal, 2005; Yurdakul, 2014). Dolayısıyla, AÜ kampüsünde görülen bu durum, bahsi geçen UOBlerin trafik ve solvent kaynaklı olduğunu göstermektedir. ODTÜ istasyonu civarında ölçülen konsantrasyonları etkileyecek kuvvette bir solvent kaynağı bulunmamaktadır. Bu nedenle, ODTÜ kampüsünde ölçülen UOB konsantrasyonlarında trafik

kaynağı baskın durumdadır ve sonuç olarak, Hİ/HS oranları AÜ istasyonu Hİ/HS oranları kadar yüksek değildir.



Şekil 1. AÜ (a) ve ODTÜ (b) kampüsleri için hafta içi (Hİ) – hafta sonu (HS) UOB konsantrasyonları ve Hİ/HS konsantrasyon oranları (c) (Sert, 2017)

3.2. UOB konsantrasyonlarının mevsime bağlı değişimi

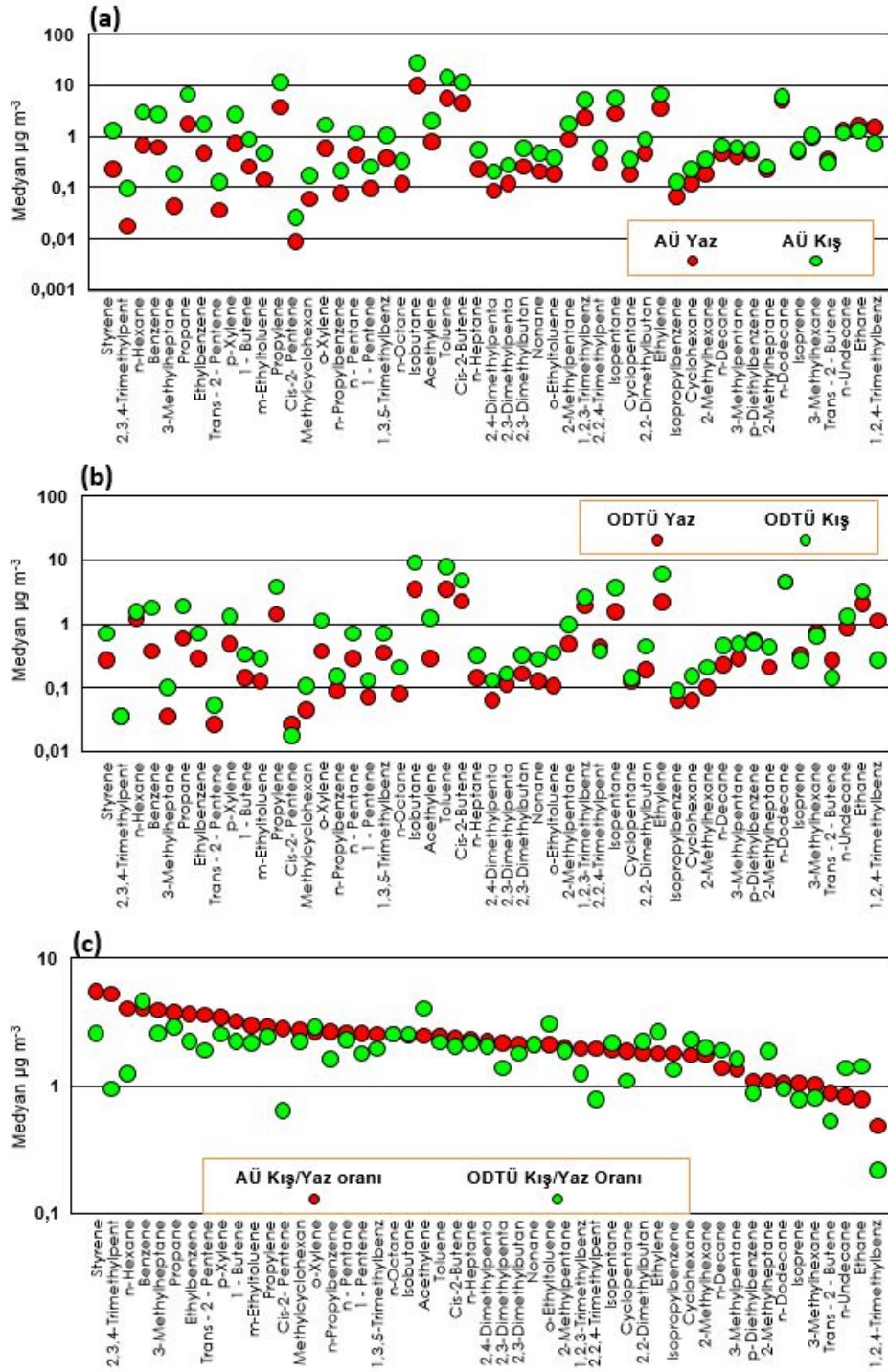
Şekil 2 – a ve Şekil 2 – b’de görüldüğü üzere, her iki istasyonda da kış mevsimi UOB konsantrasyonları yaz mevsimi konsantrasyonlarından yüksek çıkmıştır. Şekil 2 – c’ye bakıldığında ise kış/yaz oranlarının iki istasyon arasında farklılıklar gösterdiği görülmektedir. Bu da UOB kış ve yaz mevsimi konsantrasyonları arasındaki farkların iki istasyon için aynı olmadığını göstermektedir.

Kış/Yaz oranları minimum değer olan 0.23 (1,2,4-trimetilbenzen, ODTÜ) ve maksimum değer olan 5.8 (stiren, AÜ) arasında değişmekte olup, stiren her iki istasyonda da en yüksek kış/yaz oranına sahiptir. Trimetilbenzen ise oranı en düşük olan UOBdir. t-2-büten, n-undekan, etan ve trimetilbenzen bileşikleri dışında tüm UOBler için kış/yaz oranı >1 olarak hesaplanmıştır. Meteorolojik etkenler, kış konsantrasyonlarının yaz konsantrasyonlarına göre yüksek olmasının nedenlerinden birini oluşturmaktadır. Yaz aylarında karışım yüksekliği (mixing height) daha yüksek olduğundan (Buzcu ve Fraser, 2006; Majumdar, 2011), emisyonlar daha geniş bir hacim içinde dağılacak, dolayısıyla da yaz ve kış emisyon miktarları birbirine yakın olan bileşikler yaz aylarında daha düşük konsantrasyonlara sahip olacaklardır. Kış aylarında ise bu durumun tam tersi görülecek, karışım yüksekliği düşük olduğu için aynı bileşiklerin konsantrasyonları daha yüksek olacaktır.

Meteorolojik etkenler dışında UOB konsantrasyonlarına etki eden faktörler olduğunu da unutmamak gerekir. Örneğin, UOB parçalanma hızlarının yaz aylarında daha yüksek olması ve bazı UOB emisyonlarının kış aylarında daha yüksek olması, kış konsantrasyonlarının yaz konsantrasyonlarına göre daha yüksek olmasına neden olmuş olabilir. Şekil 2 – c’de görüldüğü üzere, UOBlerin büyük çoğunluğu için kış/yaz oranı >1 olup, bazı UOBler için (sikloheksan ve 2-metilheksan gibi) oran 1.0’e yakın, stiren ve benzen gibi bazı bileşikler için ise 3-4 gibi yüksek oranlar görülmüştür. Bunun nedeni, yazın sıcaklıkların artması ile, solvent olarak kullanılan UOBler başta olmak üzere, bazı UOBlerin çabuk buharlaşması ve konsantrasyonlarının düşük çıkmasıdır (Buzcu ve Fraser, 2006; Majumdar, 2011).

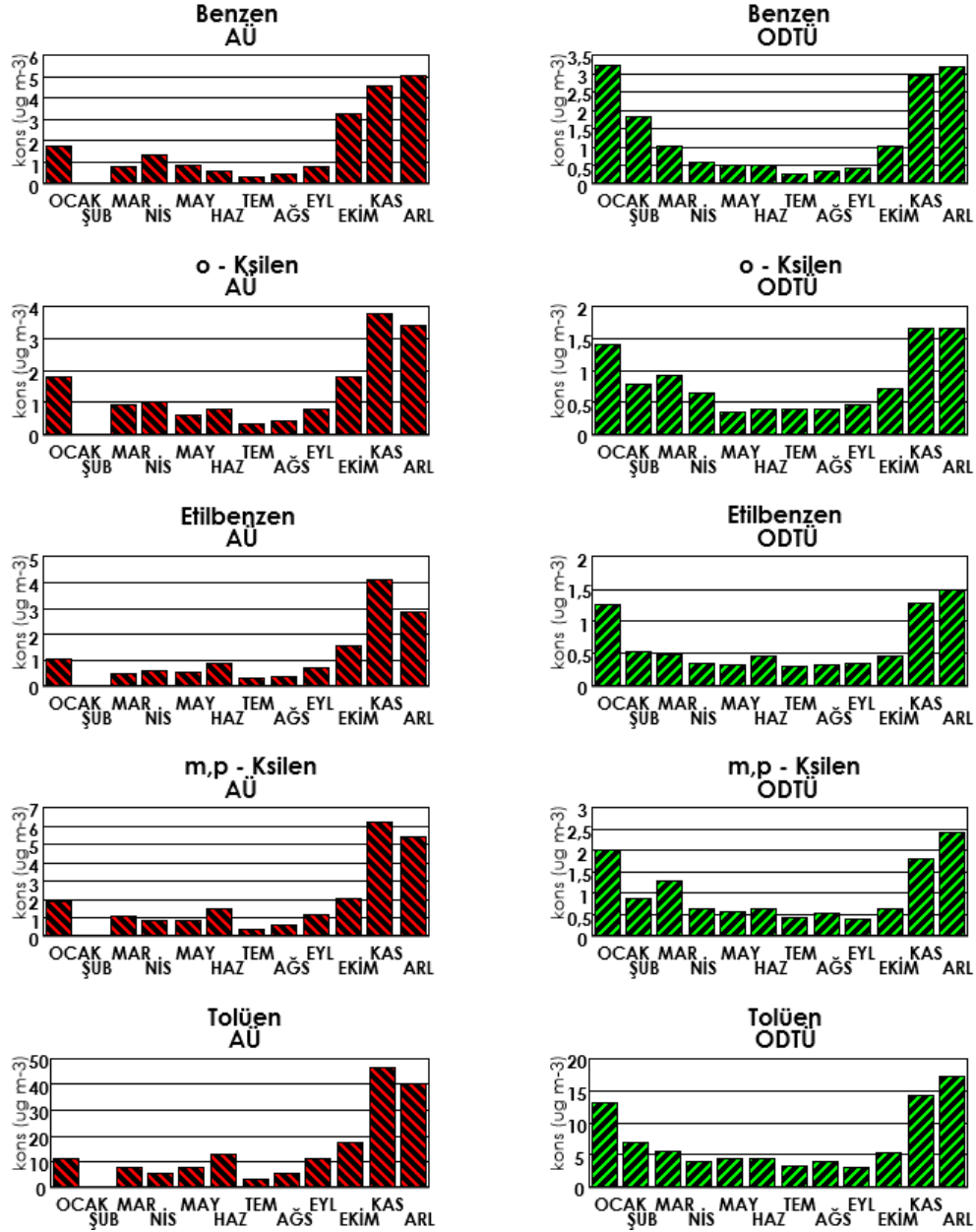
Grubumuz tarafından yapılan daha önceki çalışmalarda, trafik kökenli UOBlerin kış mevsimi konsantrasyonlarının daha yüksek olduğu görülmüştür (Uzunpınar, 2015). Daha önce de belirtildiği üzere, trafik emisyonları yaz ve kış aylarında büyük farklılıklar göstermediğinden, meteorolojik etkenler nedeniyle bu kategorideki UOBlerin konsantrasyonları kış aylarında yüksek olmaktadır. Aynı şekilde, solvent olarak kullanılan UOBlerin ve buharlaşma hızı yüksek olan (kaynama noktası düşük) UOBlerin kış/yaz oranlarının, tamamen trafik kaynaklı UOBlere göre daha düşük olduğu daha önce yapılan çalışmalarımızda da görülmüştür. Aynı durum Şekil 2 – c’de de görülmektedir. Benzen ve asetilen gibi trafik kaynaklı olup solvent olarak kullanılmayan UOBlerin kış/yaz oranları >2 iken, solvent kaynaklı UOBler için (siklopentan, trimetilbenzen, undekan, dekan, sikloheksan) bu oran düşük çıkmıştır (Sert, 2017).

Şekil 3’de bazı UOBler için hesaplanan aylık ortalama konsantrasyonlar gösterilmektedir. Bu UOBler belirgin bir mevsimsel değişim göstermekte olup ölçülen 51 UOBden 47si için bu durum geçerlidir. Bu grup altında bulunan UOBler için, her iki istasyonda da kış mevsimi konsantrasyonları (ekim, kasım, aralık ve ocak ayları) yaz mevsimi konsantrasyonlarından yüksektir. Dolayısıyla, bu grup için meteorolojik durumların etki ettiği ve UOB kimyasının da

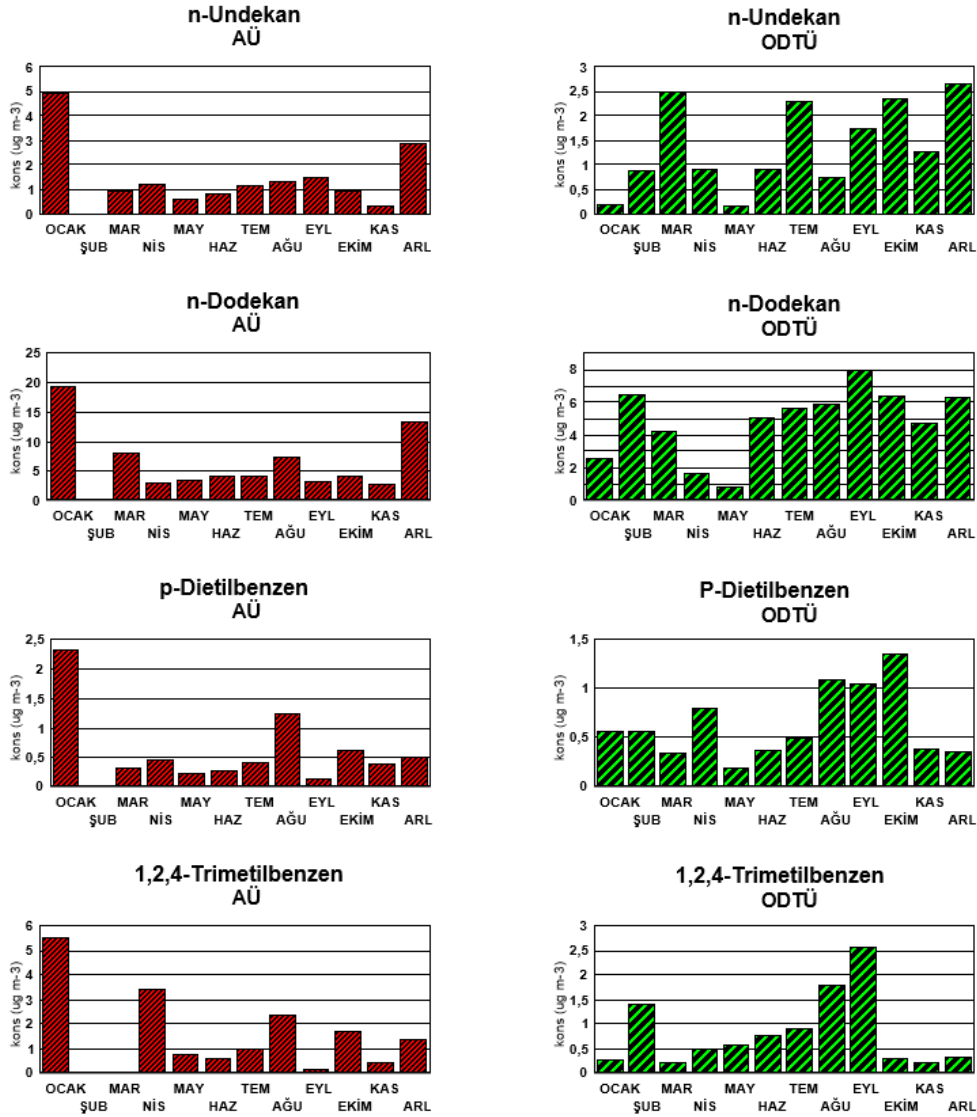


Şekil 2. AÜ (a) ve ODTÜ (b) kampüsleri için UOB yaz ve kış mevsimi konsantrasyonları ve Kış/Yaz konsantrasyon oranları (c) (Sert, 2017)

katkıda bulunduğu söylenebilir. Şekil 4 de ise yukarıda belirtilen nedenlere bağlı olarak beklenen belirgin mevsimsel değişimi göstermeyen UOBlere bazı örnekler verilmiştir. Anlaşılabacağı üzere, bu UOBlar Şekil 4 – c’de verilen kış/yaz oranlarında en düşük değere sahip olan UOBlardır.



Şekil 3. AU ve ODTÜ kampüsleri için belirgin mevsimsel değişim gösteren UOB örnekleri (Sert, 2017)



Şekil 4. AÜ ve ODTÜ kampüsleri için belirgin mevsimsel değişim göstermeyen UOB örnekleri (Sert, 2017)

4. TARTIŞMA

Bu bildiriye, Ankara'da UOBlerin kaynaklarının belirlenmesi amacıyla, kentsel yerleşim (AÜ) ve banliyö istasyonlarında (ODTÜ) yapılan örnekleme çalışması sonucu elde edilen UOB konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi (hafta içi – hafta sonu ve mevsimsel) incelenmiştir. İki örnekleme alanında da hafta içi UOB konsantrasyonları hafta sonu konsantrasyonlarından yüksek ölçülmüş olup, bu durum her iki istasyonda da trafik emisyonlarının baskın kaynak olması ile uyumludur. AÜ konsantrasyonlarının ODTÜ konsantrasyonlarından büyük ölçülmesi ise bu istasyon etrafındaki trafiğin daha yoğun olması nedeniyle beklenen bir sonuçtur.

Mevsimsel değişime bakıldığında, her iki istasyon için yaz mevsimi UOB konsantrasyonları kış mevsimi konsantrasyonlarından yüksek çıkmıştır. Bu duruma meteorolojik etkenlerin yanı sıra, parçalanma hızlarında ve emisyon miktarlarında mevsime bağlı olarak gerçekleşen değişimlerin etki ettiği görülmüştür. Bileşiklerin büyük çoğunluğu için kış ve yaz mevsimi karşılaştırmaları, AÜ konsantrasyonlarının ODTÜ konsantrasyonlarından yüksek olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde, konsantrasyonların aylık karşılaştırması kış mevsimine denk gelen ekim, kasım, aralık ve ocak aylarında UOB konsantrasyonlarının her iki yerleşke için de arttığını göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Alhaji, H. (2011). *Air Toxic Assessment for Short-Term Ambient Air Pilot Study at Private House in Battlement Mesa Near Oil and Gas Drilling Site*. Colorado State University.
- Buzcu, B., ve Fraser, M. P. (2006). Source identification and apportionment of volatile organic compounds in Houston, TX. *Atmospheric Environment*, 40(13), 2385–2400. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.12.020>
- Civan, M. Y. (2010). *Spatial Distribution of Organic Pollutants in Bursa Atmosphere: Seasonality and Health Effects*. Middle East Technical University.
- Derwent, R. G. (1995). Sources, Distributions, and Fates of VOCs in the Atmosphere. In R. M. Hester, R.E.; Harrison (Ed.), *Volatile Organic Compounds in the Atmosphere* (pp. 1–15). The Royal Society of Chemistry.
- Han, X., ve Naeher, L. P. (2006). A review of traffic-related air pollution exposure assessment studies in the developing world. *Environment International*, 32(1), 106–20. <http://doi.org/10.1016/j.envint.2005.05.020>
- Kountouriotis, A, Aleiferis, P. G., ve Charalambides, AG. (2014). Numerical investigation of VOC levels in the area of petrol stations. *The Science of the Total Environment*, 470–471, 1205–24. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.064>
- Kuntasal, Ö. O. (2005). *Temporal Variations and Sources of Organic Pollutants in Two Urban Atmospheres: Ankara and Ottawa*. Middle East Technical University.
- Majumdar, D. (2011). BTEX in Ambient Air of a Metropolitan City. *Journal of Environmental Protection*, 2(1), 11–20. <http://doi.org/10.4236/jep.2011.21002>
- Sert, E. (2017). *Determination of Source Apportionment of Volatile Organic Compounds in Ankara*. Middle East Technical University.
- Uzunpınar, E. S. (2015). *Source Apportionment of Volatile Organic Compounds in Ankara Atmosphere*. Middle East technical University. Retrieved from <http://library.metu.edu.tr/search/a?SEARCH=uzunpınar>

- WHO. (2014). Ambient (outdoor) air quality and health. Retrieved July 1, 2015, from <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>
- Williams, J., ve Koppmann, R. (2007). Volatile Organic Compounds in the Atmosphere: An Overview. In R. Koppman (Ed.), *Volatile Organic Compounds in the Atmosphere* (1st ed.). Blackwell Publishing.
- Yurdakul, S. (2014). *Temporal Variation of Volatile Organic Compound Concentrations in Bursa Atmosphere*. Middle East Technical University. Retrieved from <http://library.metu.edu.tr/search~S15?/ayurdakul/ayurdakul/1,13,13,B/1856~b1967864&F=F=ayurdakul+sema&1,1,1,0>
- Yurdakul, S., Civan, M., ve Tuncel, G. (2013). Volatile organic compounds in suburban Ankara atmosphere, Turkey: Sources and variability. *Atmospheric Research*, 120–121, 298–311. <http://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.09.015>
- Zemankova, K., ve Brechler, J. (2010). Emissions of biogenic VOC from forest ecosystems in central Europe: estimation and comparison with anthropogenic emission inventory. *Environmental Pollution (Barking, Essex : 1987)*, 158(2), 462–9. <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.08.032>