

## UOB'LER AÇISINDAN ANKARA ŞEHRİNİN HAVA KALİTESİNİN İNCELENMESİ

Sanaz LAKESTANI<sup>(\*)</sup>, Gülen GÜLLÜ

Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendislik Bölümü, 06800 Beytepe,  
Ankara

### ÖZET

Ankara ili kentsel yerleşim alanlarında Nisan 2011-Ocak 2014 tarihleri arasında aktif örnekleme prensibi ile termal olarak desorbe olabilen tüpler içerisine toplanan UOB örnekleri termal desorber- Gaz kromatografi/Kütle spektroskopisi (TD-GC/MS) sistemi ile analiz edilmiştir. Toplanan örneklerde 15 UOB analiz edilmiştir. Ankara'nın 21 farklı semtinde gözlenen UOB'lerin mekansal ve zamansal değişimi ile olası kirlilik kaynakları tartışılmıştır. UOB konsantrasyonları ölçüm tayin sınırından  $392 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'e kadar değişen aralıkta değişim göstermektedir. Tüm UOB'ler arasında toluen en yüksek konsantrasyona sahip bileşik olarak tespit edilmiştir. Benzen, toluen, etilbenzen ve ksilen (BTEK) bileşikleri baskın bileşikler olarak tespit edilirken (tayin edilen toplam UOB'lerin %60'ından fazlasını içermektedir), ana kirlilik kaynağı taşıt emisyonları olarak tespit edilmiştir. Avrupa'da yer alan şehirlere benzer şekilde, Türkiye'de yer alan şehirlerin atmosferinde ölçülen UOB'ler araç egzoz emisyonları ve endüstriyel emisyon kaynaklarından oluşmaktadır. Çalışmanın sonuçlarına göre, genel olarak kış aylarında gözlenen UOB konsantrasyonu yazıya göre daha yüksek ölçülmüştür (kış/yaz oranı  $>1$ ).

### ANAHTAR SÖZCÜKLER

Uçucu Organik Birleşikler (UOB), Gaz kromatografi/ Kütle spektroskopisi (GC/MS), UOB kaynakları

### ABSTRACT

VOC samples were collected during April 2011 – January 2014 at Ankara urban area on sorbent tubes with Tenax TA packing and analyzed by thermal desorber -GC-MS. A total of 15 VOCs were quantified in the samples. The spatial distribution, temporal variation as well as probable pollution sources of VOCs at 21 sampling sites were discussed. The concentrations of VOCs ranged from undetectable to  $392 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Among all of the VOC species, toluene has the highest concentration. Benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes (BTEX) were the major constituents (more than 60% in composition of total VOC detected), mainly contributed from mobile sources. Similar to other European cities, the VOC levels measured in urban areas in Turkey were affected both by automobile exhaust and industrial emissions. In general, VOC concentrations in the winter were higher than those measured in the summer (winter to summer ratio  $>1$ ).

\* sanazlakestani@ibu.edu.tr

## KEYWORDS

Volatile Organic Compounds (VOCs), Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS), VOCs sources

## 1. GİRİŞ

Uçucu Organik Bileşikler (UOB) çok uçucu organik bileşiklerden (kaynama noktası  $<0^{\circ}\text{C}$ - $100^{\circ}\text{C}$ ) katı organik bileşiklere (kaynama noktası  $>380^{\circ}\text{C}$ ) kadar çok geniş bir bileşik grubunu kapsamaktadır. Organik bileşikler, şehirlerin atmosferlerinde yaygın olarak bulunan hava kirleticilerin geniş bir bölümünü oluşturmaktadır. UOB'lerin dış ortamda en yaygın kaynakları, fosil yakıtlı yanma prosesleri, petrol rafinerileri, petrol ürünlerinin depolanması ve dağıtımı, solvent kullanımı, hayvan ve bitkilerden kaynaklanan emisyonlar şeklinde sıralandırılabilir.

UOB'lerin atmosferde yer aldıkları kimyasal reaksiyonlar sonucu ikincil kirletici oluşturmaları (örn. troposferik ozon, peroksiasetilnitrat, ve ikincil organik aerosol), sera etkisini güçlendirmesi (Finlayson-Pitts and Pitts, 2000), insan sağlığı üzerinde belirlenmiş olan toksik ve kanserojenik etkileri nedeniyle (Guo et al., 2004) atmosferdeki seviyelerinin tespitine yönelik çalışmalar sürdürülmektedir (Miller vd., 2012).

Şehir atmosferinde benzen, toluen, etilbenzen ve ksilen (BTEX) bileşikleri metan dışı UOB'lerin yaklaşık %60'ını oluşturan, araç emisyonlarından kaynaklanan organik kirlilik tespiti için önemli bir belirteç olan bir grup aromatik UOB'dir. Aromatik hidrokarbonlar açısından zengin olan kurşunsuz benzin kullanımının tüm dünyada yaygınlaşması sonucu şehir atmosferinde bu hidrokarbonların izlenmesi öncelik taşıyan bir konu haline gelmiştir. Genotoksik kanserojen olması nedeniyle benzen, şehir atmosferinde izlenmesi gereken en önemli aromatik hidrokarbon olarak belirlenmiştir (WHO, 2010). 06.06.2008 tarihinde 26898 sayılı ile resmi gazetede yayınlanan Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi yönetmeliğine göre 01.01.2014 tarihi itibari ile dış ortamda uzun vadeli benzen konsantrasyonu  $5 \mu\text{g m}^{-3}$  geçmemelidir.

Her ne kadar UOB'lerin toksik etkileri biliniyor olsa da, bu kirleticilerin Türkiye'deki şehir atmosferindeki seviyeleri hakkında bilgi oldukça sınırlı düzeydedir. Son yıllarda İzmir, Aliağa, Kocaeli, Dilovası, Bursa gibi bazı yoğun endüstrilerin yer aldığı alanlarda yapılan çalışmalar haricinde ülkemizde bu konuda az sayıda çalışmaya rastlanılmaktadır (Dumanoğlu et al., 2014; Pekey et al., 2015; Öztürk, et al., 2015; Dolmacı et al., 2013; Civan et al., 2011).

Bu çalışmada Ankara ilinin kentsel yerleşim bölgelerinde UOB'lerin düzeyleri belirlenmiş, kirletici bileşiklerin birbirleriyle olan korelasyonları ve konsantrasyon oranları ile Ankara atmosferinin UOB'ler açısından kirlilik kaynakları tespit edilmesi amaçlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOD

### 2.1. Örneklem noktalarının seçimi

Bu çalışma, 2014 itibarıyla 5.150.072 kişilik nüfusu ile en kalabalık 2. şehir olma özelliği taşıyan toplam yüz ölçümü  $2516 \text{ km}^2$  olan Türkiye'nin başkenti Ankara ilinde yürütülmüştür.

Çalışma 2011-2014 yılları arasında Ankara'nın Alemdağ, Altındağ, Akyurt, Balgat, Batıkent, Çubuk, Çankaya, Dikmen, Etimesgut, Etlik, Gölbaşı, Keçiören, Mamak, Ostim, Pursaklar, Sincan, Yenimahalle semtlerinde kentsel yerleşim alanlarında dört örnekleme dönemi süresince gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada yer alan gönüllülerin yaşadığı semtlerin dağılımı

Toplamda dört dönem sürdürülen örnekleme çalışmaları 2'si Nisan-Temmuz ve diğer 2'si Ekim-Ocak aylarına denk gelecek şekilde 2011 ve 2014 yılları arasında gerçekleştirilmiştir.

## 2.2. UOB örnekleme ve analiz yöntemi

Genel olarak, uçucu organik bileşiklerin örnekleme ve analizi sırasında US-EPA (Environmental Protection Agency) Metot TO-17 "Determination of Volatile Organic Compounds in Ambient Air Using Active Sampling Onto Sorbent Tubes" yöntemi esas alınmıştır.

Uçucu Organik Bileşiklerin tayini için, iç ve dış ortam hava örnekleri, 80-85 ml/dk'lık sabit debi ile 45 dakika boyunca bir pompa (SKC-Delux) vasıtasıyla, 500 mg Tenax TA sorbenti doldurulmuş paslanmaz çelik termal desorber örnekleme tüpleri içerisine toplanmıştır. Toplanan bütün hava örnekleri, Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan TD-GC-MS sistemi kullanılarak, aynı gün içerisinde analiz edilmiştir. Bu çalışmada, 15 farklı UOB örneği kimyasal analiz için seçilmiştir.

## 2.3. Meteorolojik parametreler

Ankara şehrinde, örnekleme dönemlerine ait meteorolojik parametrelerin değişimleri de incelenmiştir. Meteorolojik parametrelerden örnekleme süresince görülen sıcaklık, bağıl nem, rüzgar hızı ve basınç Tablo 1'de özetlenmiştir.

Örnekleme dönemlerinde gözlenen rüzgar yönlerine göre, tüm ölçüm dönemlerinde hakim olan rüzgar yönü kuzeydoğu olarak belirlenmiştir. Sıcaklık ortalamaları; I. ve III örnekleme döneminde 17,3 °C ve 20,5 °C, II. ve IV. örnekleme döneminde ise 6,0 °C ve 3,5°C

düzeyindedir. Rüzgar hızları; I. ve III. dönemde 2,55 – 2,89 m/s ile II. ve IV. döneme göre (2.06 m/s) daha yüksek olarak gözlenmiştir.

**Tablo 1.** Örnekleme dönemlerinde gözlenen ortalama sıcaklık, bağıl nem, rüzgar hızı ve basınç değerleri

Dönem	Basınç (hPa)	Nem %	Sıcaklık (°C)	Rüzgar hızı m/s
<b>1.Dönem</b> <b>Nisan-Temmuz 2011</b>	889.60	64.96	17.30	2.55
<b>2.Dönem</b> <b>Ekim-Aralık 2011</b>	918.12	71.24	6.05	2.06
<b>3.Dönem</b> <b>Nisan-Temmuz 2012</b>	911.66	47.61	20.54	2.86
<b>4.Dönem</b> <b>Kasım 2013-Ocak 2014</b>	917.70	70.90	3.52	2.06

### 3. SONUÇLAR

Ankara ili kentsel alanlarda dört farklı ölçüm periyodu sırasında aktif örnekleme yöntemi ile saatlik olarak belirlenen atmosferik UOB'lere ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 2'de verilmektedir. Tüm bileşenler için frekans dağılım grafikleri incelendiğinde, her bir UOB için sola yatık frekans dağılım grafikleri elde edilmiş, uygulanan Kolmogorov-Smirnov dağılım uygunluk testi sonucu tüm UOB'ler için elde edilen derişim değerlerinin log-normal dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Bu nedenle, sonuçların değerlendirmeleri sırasında ortalamaların yanısıra geometrik ortalamalar kullanılmıştır.

Ankara ili genelinde farklı semtlerde Nisan 2011- Ocak 2014 tarihleri arasında gerçekleştirilen toplam 4 örnekleme sırasında yapılan 357 ölçüm sonucu TUOB konsantrasyonu 3.7 ila 787  $\mu\text{g m}^{-3}$  aralığında tespit edilmiştir. Tüm ölçülen TUOB konsantrasyonlarının geometrik ortalaması 41  $\mu\text{g m}^{-3}$  olarak belirlenmiştir. Ölçülen uçucu organik bileşikler arasında BTEK olarak adlandırılan benzen, toluen, etilbenzen, ksilen bileşiklerinin TUOB'lerin %60'ını oluşturduğu görülmektedir. Tüm ölçülen bileşikler içinde toluenin en baskın (geo. ort: 6.10  $\mu\text{g m}^{-3}$ ) bileşik olduğu görülmektedir. Kentsel ve endüstriyel bölgelerde yapılan birçok çalışmada da toluen baskın uçucu organik bileşik olarak tespit edilmiştir (Lee ve diğ., 2002; Hoque ve diğ. 2008; Pekey ve Yılmaz, 2011; Yurdakul ve diğ.,2013). Toluene'den sonra 3.11  $\mu\text{g m}^{-3}$  ortalama konsantrasyon ile m/p-ksilen gelmektedir.

Ankara ilinde gözlenen geometrik ortalama benzen konsantrasyonu 1.51  $\mu\text{g m}^{-3}$ , gözlenen maksimum benzen konsantrasyonu ise 94.17  $\mu\text{g m}^{-3}$ 'dür. En yüksek benzen konsantrasyonlarına sonbahar-kış döneminde araç trafiğinin yoğun olduğu Balgat, Keçiören semtlerinde, sobalı evlerin sıklıkla yer aldığı Akyurt, Altındağ, Pursaklar semtlerinde ve sanayinin yer aldığı, Siteler, Ostim semtlerinde rastlanmıştır. 06.06.2008 tarihinde 26898 sayılı ile resmi gazetede yayınlanan Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi yönetmeliğine göre 01.01.2016 tarihine kadar dış ortamda uzun vadeli benzen konsantrasyonunun 10  $\mu\text{g m}^{-3}$ 'ü geçmemesi, 2021 yılına kadar da limit değerin kademeli olarak azaltılarak 5  $\mu\text{g m}^{-3}$ 'e indirilmesi öngörülmüştür. Ankara ilinde ölçüm yapılan 357 noktanın 27 tanesinde benzen

## 6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

seviyesi ölçüm yapılan 2011-2013 yılları için belirlenmiş olan limit değer (10  $\mu\text{g m}^{-3}$ )'ün üstündedir. Tüm örnekleme dönemi boyunca örnekleme yapılan 357 noktadan 51'inde hedef sınır değer olan 5  $\mu\text{g m}^{-3}$  aşılmıştır. Sınır değerini sıklıkla aştığı yerler Balgat, Siteler, Ostim ve Demetevler'dir (Şekil 2). Yüksek benzen seviyesinin gözlemlendiği yerler incelendiğinde Ankara ili için yüksek benzen konsantrasyonunun kaynağının trafik, ve sanayi kaynaklı olduğu görülmektedir.

Hem benzen hem de toluen, benzinin bileşenlerindedir, benzen yanma prosesi (araç egzoz emisyonları, kömür yanması, biyokütle yangını) ile atmosfere atılırken, toluen ek olarak yanma sistemlerinden, yakıtların buharlaşmasından, toluen içeren her tür solventin üretimi, kullanımı ve depolanmasından da (sanayi tesisleri, boya uygulaması, petrol istasyonları vb.) kaynaklanabilmektedir (White et al., 2009). Şekil 2'de gösterildiği gibi, en yüksek ortalama toluen konsantrasyonu 110  $\mu\text{g m}^{-3}$  değeri ile Ankara'nın önemli bir organize sanayi merkezi olan Ostim'de gözlenmiştir. Genel olarak dağılımlar incelendiğinde Ostim, Demetevler, Balgat ve Sitelerde gözlenen toluen değerlerinin bölgedeki diğer yerlerden önemli ölçüde yüksek olduğu görülmektedir.

**Tablo 2.** Ankara ili UOB konsantrasyonlarına ait tanımlayıcı istatistikler ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )

	Örnek Sayısı	Ortalama	Geometrik Ortalama	Standart sapma	Minimum	Maksimum
<b>Benzen</b>	357	4.11	1.51	9.69	0.02	94.17
<b>Toluen</b>	357	21.94	6.10	51.23	0.01	392.16
<b>Etilbenzen</b>	357	3.70	1.82	4.51	0.02	49.38
<b>m/p-ksilen</b>	357	6.37	3.11	9.01	0.02	74.00
<b>stiren</b>	357	2.87	1.49	5.03	0.04	54.13
<b>o-ksilen</b>	357	3.87	1.87	5.34	0.02	43.61
<b>n-butil benzen</b>	357	1.96	0.64	3.98	0.01	44.61
<b>n-propil benzen</b>	357	2.05	1.06	2.21	0.01	22.2
<b>Naftalin</b>	356	5.51	2.57	8.12	0.01	72.95
<b>Hekzan</b>	357	1.04	0.49	2.25	0.02	26.28
<b>Oktan</b>	357	1.19	0.62	1.57	0.01	15.39
<b>Nonan</b>	357	1.56	0.69	2.35	0.01	20.86
<b>1,2+1,4-diklorobenzen</b>	357	1.84	0.48	13.58	0.01	227.47
<b>2-Kloro toluen</b>	357	0.13	0.09	0.13	0.02	0.82
<b>TUOB</b>	357	60.38	41.31	77.24	3.72	787.04
<b>Toluen/Benzen (T/B)</b>	357	12.81	4.04	28.98	0.02	342.7
<b>m,p,o ksilen/Etilbenzen (M/E)</b>	357	3.44	2.87	3.57	0.48	48.13

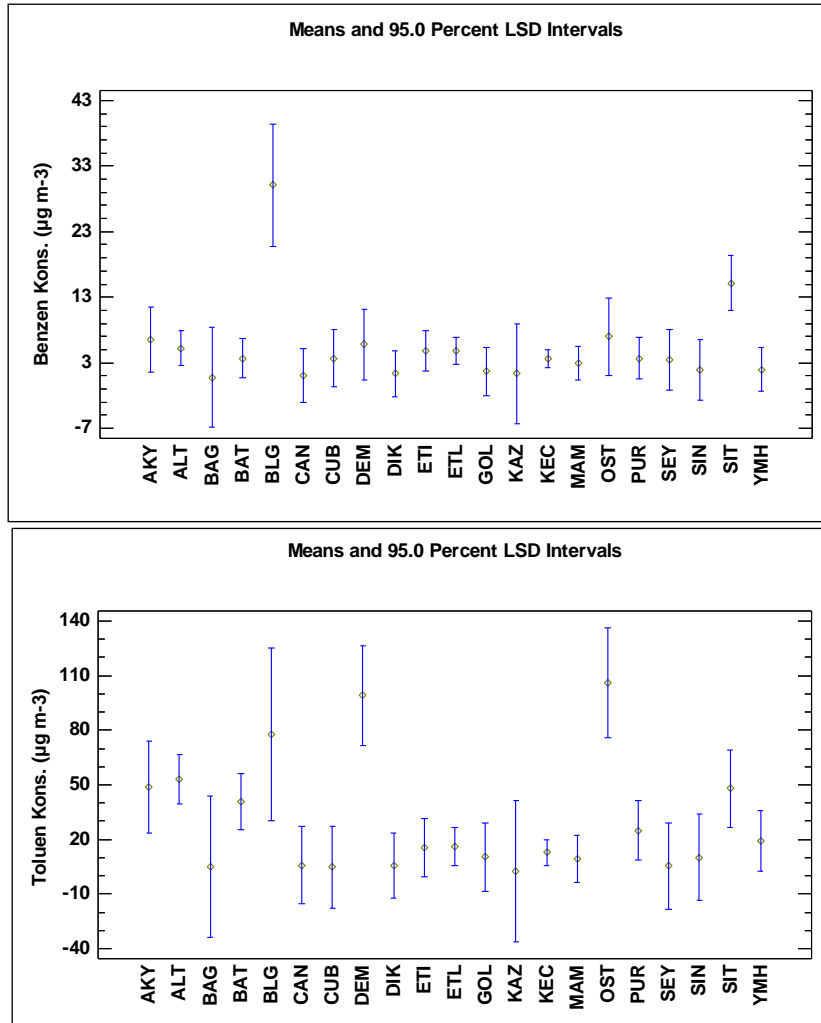
Toluen/benzen (T/B) oranı trafik emisyonlarının bölgede etkinliğinin değerlendirilmesinde kullanılan bir indikatördür. Yakıt türüne bağlı olarak, farklı türdeki motorlu araç yakıtlarının toluen içeriği benzen'e göre 3-4 kat, benzin için ise 5 kat daha yüksektir. Bu nedenle, tüm



## 6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

dünyada şehir atmosferinde ölçülen T/B oranı  $<5$  olduğu durumda, hem toluen'in hemde benzen'in ana kaynağının trafik emisyonları olduğu kabul edilmektedir (Hoque et al., 2008). Ankara ili genelinde tüm örnekleme noktalarından elde edilen ortalama toluen/benzen oranı 3.9 olarak bulunmuştur. Ölçüm yapılan tüm noktaların %43'ünde T/B oranı  $>5$  olarak gözlenmiştir. T/B oranının 10'dan büyük olarak gözlendiği semtler Demetevler, Ostim, Sincan ve Batıkent olmuştur. Özellikle endüstriyel tesislerin yoğun olarak bulunduğu Ostim semtinde ölçülen T/B oranı bu bölgede sanayide kullanılan solventler nedeniyle oldukça yüksek düzeyde tespit edilmiştir (ortalaması 13, maks. 112). Çalışma kapsamında genel olarak tüm bölgelerde 3-4 arasında değişen toluen/benzen oranı, örnekleme noktalarının büyük bir kısmında egzoz emisyonlarının etkili olabileceğini göstermektedir.

m/p ve o-ksilen bileşikleri ile etilbenzen, atmosfere endüstriyel kaynaklardan, araç egzoz emisyonlarından ve kullanılan solventlerin buharlaşması yoluyla atılmaktadır. Ksilen ve etilbenzen bileşiklerinin Ankara ilindeki dağılımı incelendiğinde toluen'e benzer şekilde sanayinin yoğun olarak bulunduğu Ostim, Siteler, bölgelerinde gözlenen ksilen ve etilbenzen değerlerinin bölgedeki diğer yerlerden önemli ölçüde yüksek olduğu görülmektedir.



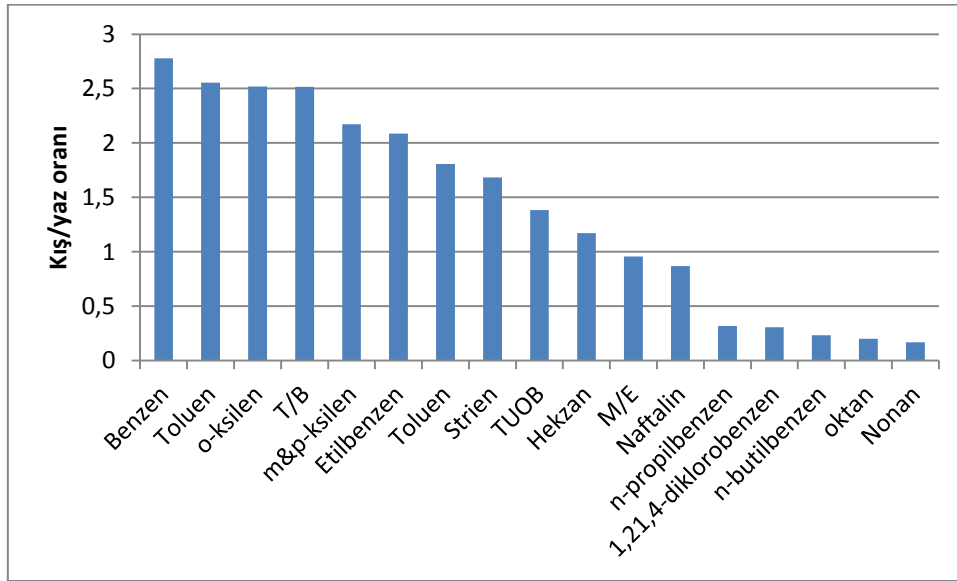
Şekil 2. Ankara ili farklı semtlerde gözlenen ortalama benzen ve toluen konsantrasyonları ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )

Aynı kaynaktan atmosfere atıldıkları, ancak atmosferde farklı hızlarda OH oksidasyonuna uğradıkları için m,p,o-ksilen/Etilbenzen (M/EB) oranı atmosferik fotokimyasal reaktivitenin şiddetini ve süresini, kısaca ‘atmosfer kütesinin fotokimyasal yaşını’ göstermektedir (Nelson and Quigley, 1983). Düşük değere sahip M/EB oranı fotokimyasal etkiye uzun süre maruz kalmış ve taze emisyonlardan daha az etkilenmekte olan bir bölgeyi göstermektedir (Hsieh et al., 2011). Ankara ilinde gözlenen ortalama M/EB oranı 2.86, değişim aralığı ise 1.80-3.80’dir. Akyurt, Kazan, Çubuk gibi şehrin kenar semtlerinde oran düşük olarak gözlenirken, sanayi ve trafik etkisinin daha yoğun olduğu bölgelerde (Balgat, Demetevler, Sincan, Siteler, Ostim) oran yükselmektedir.

### 3.1. Mevsimsel değişim

Ankara ilinde gerçekleştirilen ölçümlerin ikisi ilkbahar-yaz döneminde (ort. hava sıcaklığı 17-21°C), diğer ikisi de sonbahar-kış dönemine (ort. hava sıcaklığı 3.5-6 °C) denk gelmiştir. Şekil 3’de ölçülen UOB’lerin sonbahar-kış/ilkbahar-yaz konsantrasyon oranları gösterilmektedir. Şekilden görülebileceği gibi, benzen, toluen, ksilen, hekzan gibi yüksek buhar basıncına sahip UOB’ler kış döneminde yaz dönemine göre daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Buhar basıncı düştükçe ölçülen UOB’lerin kış dönemi konsantrasyonu yaz dönemine göre azalmaktadır.

Dünyanın farklı şehirlerinde ölçülen UOB’lerin mevsimsel değişimine yönelik çalışmalar incelendiğinde, bu çalışmada gözlenen sonuçlara benzer şekilde pek çok şehirde kış mevsiminde yazaya göre daha yüksek konsantrasyonlar gözlemlendiği rapor edilmiştir (Wathne, 1983; Hartwell et al., 1987; Baek et al., 1997; Lee et al., 2002). UOB kirlitçilerinin atmosferdeki mevsimsel düzeyi belirleyen pek çok faktör bulunmaktadır. İlkbahar mevsiminde sıklıkla gözlenen yağışların atmosferdeki kirlitçileri yıkaması, yaz aylarında fotokimyasal parçalanmanın daha etkin gerçekleşmesi ve OH radikalleri nedeniyle kimyasalların daha hızlı parçalanarak uzaklaşması nedeniyle, yaz aylarında kışa göre daha düşük UOB kirliliği gözlenmektedir. Kış aylarında gözlenen düşük inversiyon tabakası kirlitçilerin daha yüksek konsantrasyonlara ulaşmasında da önemli bir etken oluşturmaktadır.



Şekil 3. Ankara atmosferinde ölçülen UOB’lerin kış/yaz oranları

### 3.2. Sonuçların literatürle kıyaslanması

Ankara'nın kentsel yerleşim bölgelerinde ölçülen UOB konsantrasyonları Türkiye ve Dünyanın farklı bölgelerinde yapılan çalışma sonuçları ile kıyaslanmıştır. Tablo 3'den görülebileceği gibi Ankara'da ölçülen benzen konsantrasyonları hem Türkiye'de hem de Avrupa'da gerçekleştirilen çalışmalara benzer düzeydedir. Ancak Hong Kong'un kentsel yerleşim alanında ölçülen düzeylere göre oldukça yüksek düzeyde kalmaktadır. Toluene, etilbenzen ve o-ksilen açısından da Hong Kong'da ölçülen düzeyler oldukça yüksektir. Ankara'da ölçülen BTEX konsantrasyonu Ankara'nın kentsel fon istasyonu olarak tanımlanabilecek olan bir bölgede, ODTÜ'de yapılan çalışmada, ölçülen değerinden oldukça yüksek, endüstrileşme düzeyi yüksek olduğu bilinen Dilovası ve Bursa'dan daha düşüktür.

**Tablo 3.** Türkiye ve Dünya'da şehir bölgelerinde ölçülen UOB konsantrasyonları ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )

	Ankara Bu çalışma	Aliğa İzmir <sup>a</sup>	Bursa <sup>b</sup> Kış/Yaz	Kocaeli <sup>c</sup>	Dilovası Kocaeli <sup>d</sup>	ODTÜ Ankara <sup>e</sup>	Roma İtalya <sup>f</sup>	Benin, Nijerya <sup>g</sup>	Mong Kok, Hong Kong <sup>h</sup>
<b>Benzen</b>	4.11	2.7	8.21/2.26	2.26	3.90	2.18	2.46	2.29	15.11
<b>Toluene</b>	21.94	7.7	23.41/25.2	35.51	56.00	7.89	8.40	5.82	137.15
<b>Etilbenzen</b>	3.70	0.6	3.37/3.77	9.72	2.10	0.85	0.30	3.46	11.65
<b>m&amp;p-ksilen</b>	6.37	2.8	-	36.87	6.80	2.21	4.38	3.58	22.45
<b>stiren</b>	2.87	0.6	132/0.36	-	3.32	0.41	-	-	3.35
<b>o-ksilen</b>	3.87	0.7	1.52/1.33	12.46	-	0.41	0.43	2.23	10.63
<b>n-butyl benzen</b>	1.96	0.1	-	-	-	-	-	-	-
<b>n-propil benzen</b>	2.05	-	-	2.64	-	0.04	-	-	-
<b>Naftalin</b>	5.51	0.03	0.21/0.13	-	1.52	-	-	0.88	-
<b>Hekzan</b>	1.04	-	-	-	-	-	0.56	-	-
<b>Oktan</b>	1.19	1.7	0.65/0.32	-	-	0.15	-	-	-
<b>Nonan</b>	1.56	1.0	0.41/0.18	-	-	0.17	-	-	-
<b>1,2+1,4-diklorobenzen</b>	1.84	0.1	-	-	-	0.26	-	-	-
<b>TUOB</b>	60.38	67	-	95.69	-	-	-	-	-
<b>T/B</b>	5.3	2.9	2.9/11.2	15.7	14.4	3.6	3.4	2.5	9.1

<sup>a</sup>Dumanoglu vd., 2014; <sup>b</sup>Civan vd., 2011; <sup>c</sup>Pekey and Yılmaz, 2011; <sup>d</sup>Öztürk vd., 2015; <sup>e</sup>Yurdakul vd., 2013; <sup>f</sup>Fanizza vd., 2014; <sup>g</sup>Olumuyade, 2014

### 3.3. Faktör analizi sonuçları

Ankara ilinde ilkbahar-yaz ve sonbahar-kış mevsimlerinde ölçülen UOB kirlleticilerinin kaynaklarını tespit edebilmek için Faktör Analizi uygulanmıştır. İlkbahar-yaz ve sonbahar-kış dönemlerine uygulanan faktör analiz sonuçlarına göre her iki dönem içinde beş faktör bulunmuştur (Tablo 4). Elde edilen 4 faktörün, tüm varyansın % 61 (ilkbahar-yaz) ve %76'sının (sonbahar-kış) açıklanabildiği görülmektedir.

İlkbahar-yaz dönemi veri setine uygulanan faktör analizi sonucunda elde edilen ilk faktör, yüksek BTEX faktör yükleri ile fosil yakıtların yanması, solvent içeren uygulamalar ve egzoz



## 6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

emiyon kaynakları gibi şehirlerde gözlemlenebilecek karışık emiyon kaynaklarını göstermektedir. Bu faktör, toplam varyansın %25,6'sını açıklamaktadır. 2. Faktör'de toluen, m,p ksilen, n-propil benzen, nonan ve oktan faktör yükleri görülmektedir. Bu faktörde toluen, m,p-ksilen, n-propilbenzen, oktan ve nonan gözlenmekte, gözlenen en yüksek faktör yükü de oktan ve nonan'a aittir. Oktan ve nonan, petrol ürünleri ve benzinin ana bileşenlerindedir ve egzoz emiyonları ile yakıtların buharlaşması atmosferdeki ana kaynağı olduğundan (Howard, 1997), bu faktörün yakıtların buharlaşması kaynağını temsil ettiği düşünülmektedir.

3. Faktörde düşük yükde toluen ve n-propilbenzen ile yüksek yükde naftalin ve hekzan bulunmaktadır. Özellikle hekzan ve toluen, boya, yapışkan, inceltici ve plastik üretiminde yaygın kullanılan solvent olduğundan (Liu et al., 2008) bu faktörün bunların üretiminin yapıldığı veya kullanımı kaynağını temsil ettiği düşünülmektedir. 4. Faktör, orto ve para diklorobenzen ile 2-klorotoluen faktör yüküne sahiptir. Özellikle diklorobenzen, güve ve küf önlemek, tarımda böcek öldürücü, tuvaletlerde koku giderici olarak kullanılan bir kimyasal olduğu (Cheremisinoff, 2003) için bu faktörün bu türden ilaçlama faaliyetlerini temsil ettiği söylenebilir. 5. Faktör, tek başına yüksek n-butilbenzen faktör yükü ile toplam varyansın %7.5'ünü oluşturan bir faktördür. N-butilbenzen, ham petrolün bir bileşenidir (Wang and Fingas, 1995), araç egzoz emiyolarından oluşabilir (Schroder and Dannecker, 1994; Sigsby et al., 1987), çöp depolama alanlarında depo gazı olarak tespit edilmiş (Eklund et al., 1998) ve özellikle poliester plastiklerin yakımı sırasında atmosfere karışan (Gramshaw et al., 1995) bir bileşik olarak tanımlanmaktadır. Diğer bileşiklerden farklı olarak tek başına bir faktörde bulunması kaynağının farklı olmasından olabileceği gibi atmosferdeki bozunma hızının farklılık göstermesi nedeniyle taşınım mekanizmasının farklılığından da görülebilir.

Sonbahar-kış dönemi veri seti içinde ilkbahar-yaz dönemine benzer şekilde 5 faktör elde edilmiştir. Kaynaklardan ilki (Faktör 1) %33.48'lik oranıyla toluen, etilbenzen, m,pksilen, o-ksilen, stiren, nonan, ve klorotoluen genel olarak karışık yanma kaynaklarını göstermektedir. 2. Faktör, yüksek oktan, nonan ve diklorobenzen yükü ile buharlaşma kaynaklarını temsil etmektedir. 2. Faktör, toplam varyansın %16.7'sini açıklamaktadır. 3. Faktör'de, stiren ve naftalin için yüksek faktör skoru gözlenmektedir. Stiren'nin atmosferdeki kaynakları stiren üretim, egzoz emiyonları ile stiren içeren ürünlerin yakılmasıdır. 3.Faktöre ait örneklerin faktör skorları incelendiğinde sobalı evlerin yanından alınan örneklerin skor değerlerinin yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu faktör, toplam varyansın yaklaşık %9'unu oluşturmaktadır. 4. Faktör, yüksek benzen, toluen yükleri ile motorlu araç emiyon kaynaklarını göstermektedir. 5. Faktör, n-propilbenzen, hekzan, orto ve para diklorobenzen ve klorotoluen faktör yükleri ile ilaçlama faaliyetlerini göstermektedir.

#### 4. GENEL SONUÇLAR

Ankara ilinde 2011-2013 yılları arasında farklı mevsimlerde kentsel yerleşim alanlarında aktif örnekleme tekniği ile hava örnekleri toplanmış ve toplamda 15 uçucu organik bileşiğin konsantrasyonları tespit edilmiştir. UOB'lerin konsantrasyonları yaz ve kış aylarında toplam dört dönem 21 semtte ölçülmüştür.

Toplam UOB'lerin konsantrasyonu dış ortamda sırasıyla birinci dönem 49,77(Yaz)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ikinci dönem (Kış) 80,01  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , üçüncü dönem (Yaz) 45,81  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ve dördüncü dönem (Kış) 51,91  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  hesaplanmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, genel olarak UOB'lerin konsantrasyonu kış aylarında yazaya göre daha yüksek ölçülmüştür. Tüm örnekleme

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015  
7-9 Ekim 2015, İZMİR

noktalarından elde edilen toluen/benzen oranı 3.9 olarak bulunmuştur. Özellikle endüstriyel tesislerin yoğun olarak bulunduğu Ostim semtinde ölçülen T/B oranı bu bölgede sanayide kullanılan solventler nedeniyle oldukça yüksek düzeyde tespit edilmiştir (ortalaması 13, maks. 112).

**Tablo 4.** Ankara ili İlkbahar-yaz ve sonbahar-kış mevsimi faktör analizi sonuçları

<b>İlkbahar-yaz Mevsimi</b>	<b>Faktör 1</b>	<b>Faktör 2</b>	<b>Faktör 3</b>	<b>Faktör 4</b>	<b>Faktör 5</b>
	<b>Trafik Emisyonları</b>	<b>Buharlaşma Kaynakları</b>	<b>Sanayi Kaynakları</b>	<b>İlaçlama faaliyetleri</b>	<b>Bilinmeyen</b>
Benzen	<b>0.63</b>	-0.24	0.08	0.01	0.07
Toluen	<b>0.46</b>	<b>0.51</b>	<b>0.33</b>	-0.04	0.05
Etilbenzen	<b>0.87</b>	-0.02	0.08	0.19	-0.07
m,p-Ksilen	<b>0.76</b>	<b>0.42</b>	0.03	0.07	-0.07
Stiren	0.24	-0.31	-0.04	<b>0.35</b>	-0.08
o-ksilen	<b>0.83</b>	0.23	0.06	0.21	0.00
n-Propilbenzen	0.16	<b>0.66</b>	<b>0.40</b>	0.01	0.11
n-butil benzen	-0.02	0.04	0.00	-0.09	<b>0.92</b>
Naftalin	-0.02	0.25	<b>0.75</b>	<b>0.33</b>	0.17
Hekzan	0.23	-0.16	<b>0.74</b>	-0.28	-0.20
Oktan	0.05	<b>0.75</b>	-0.10	-0.09	0.06
Nonan	-0.01	<b>0.83</b>	0.01	0.00	-0.10
1,2+1,4-diklorobenzen	0.23	-0.28	0.08	<b>0.61</b>	0.23
2-klorotoluen	0.08	0.14	-0.02	<b>0.78</b>	-0.22
% Varyans	<b>25.62</b>	<b>16.24</b>	<b>8.83</b>	<b>7.93</b>	<b>7.45</b>
<b>Sonbahar-Kış Mevsimi</b>	<b>Karışık Yanma Kaynakları</b>	<b>Buharlaşma kaynakları</b>	<b>Yanma kaynakları</b>	<b>Trafik Emisyonları</b>	<b>Solvent kullanımı</b>
Benzen	-0.08	0.17	0.16	<b>0.88</b>	-0.04
Toluen	<b>0.51</b>	0.06	0.00	<b>0.73</b>	0.11
Etilbenzen	<b>0.94</b>	0.12	0.15	0.09	0.11
m,p-Ksilen	<b>0.93</b>	-0.01	0.24	0.09	-0.01
Stiren	<b>0.45</b>	0.06	<b>0.78</b>	-0.02	0.04
o-ksilen	<b>0.93</b>	0.06	0.27	0.05	0.06
n-Propilbenzen	0.10	-0.25	0.27	-0.20	<b>0.62</b>
n-butil benzen	0.19	-0.72	-0.14	0.13	0.06
Naftalin	0.19	-0.05	<b>0.88</b>	0.19	0.11
Hekzan	0.00	0.17	-0.06	0.16	<b>0.80</b>
Oktan	-0.04	<b>0.82</b>	-0.11	0.26	-0.04
Nonan	<b>0.39</b>	<b>0.69</b>	-0.13	0.09	-0.06
1,2+1,4-diklorobenzen	0.25	<b>0.56</b>	0.06	0.16	<b>0.30</b>
2-klorotoluen	<b>0.61</b>	-0.02	0.12	-0.05	<b>0.53</b>
% Varyans	<b>33.48</b>	<b>16.74</b>	<b>8.96</b>	<b>8.68</b>	<b>7.80</b>

Ankara'da ölçülen BTEX konsantrasyonu Türkiye'de ve dünyada benzer kentsel alanlarda yapılan ölçüm sonuçları ile kıyaslandığında araç sayısının ve nüfus yoğunluğunun düşük olduğu kırsal bölgelere göre oldukça yüksek, endüstrileşme düzeyi yüksek olduğu bilinen bölgelere göre ise daha düşük olarak gözlenmiştir.

İlkbahar-yaz ve sonbahar-kış mevsimlerinde ölçülen UOB kirleticilerinin kaynaklarını tespit edebilmek için uygulanan Faktör Analizi sonucu her iki mevsimde de ana kirlilik kaynağının fosil yakıtların yanması, solvent içeren uygulamalar ve egzoz emisyon kaynakları gibi şehirlerde gözlemlenebilecek karışık emisyon kaynakları olduğu tespit edilmiştir.

## TEŞEKKÜR

Proje finansal olarak TÜBİTAK tarafından 110Y082 proje numarası altında desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

Baek, S.O., Kim, Y.S., Perry, R., 1997. Indoor air quality in homes, offices and restaurants in Korean urban areas indoor/outdoor relationships. *Atmos. Environ.* 31, 529–544.

Cheremisinoff, N., *Industrial Solvents Handbook*, 2. Ed., Marcel Dekker Inc., USA, 2003.

Civan, M.Y., Ö.O. Kuntasal, G. Tuncel., 2011, Source Apportionment of Ambient Volatile Organic Compounds in Bursa, a Heavily Industrialized City in Turkey. *Env Forensics*, 12,357–370.

CRC Press, 1997.

Dolmacı, E., Ö. Özden, T. Döğeroğlu, E. O. Gaga., 2013. Eskişehir’de Bir Petrol İstasyonu Çevresindeki Dış Ortam Uçucu Organik Bileşik (UOB) Derişimlerinin Belirlenmesi. *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi*. 2, 36–44.

Dumanoglu, Y. M. Kara, H. Altıok, M. Odabasi, T. Elbir, A. Bayram., 2014. Spatial and seasonal variation and source apportionment of volatile organic compounds (VOCs) in a heavily industrialized region, *Atmos. Environ.* 98, 168-178.

Eklund B, Anderson EP, Walker BL, and Burrows DB.,1998. Characterization of landfill gas composition at the Fresh Kills municipal solid-waste landfill. *Environ Sci Technol.* 32, 2233-2237.

Fanizza, C., F.Incoronato, S. Baiguera, R. Schiro, D. Brocco., 2014. Volatile organic compound levels at one site in Rome urban air, *Atmospheric Pollution Research*. 5, 303–314.  
Finlayson-Pitts BJ, Pitts JN Jr., 2000, *Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere—Theory, Experiments, and Applications* (Academic, San Diego), p 969.

Gramshaw JW, Vandenburg HJ, and Lakin RA., 1995. Identification of potential migrants from samples of dual-ovenable plastics. *Food Add Contam.* 12, 211-222.

Guo, H., Wang, T., Louie, P.K.K., 2004. Source apportionment of ambient non-methane hydrocarbons in Hong Kong: application of a principal component analysis/absolute

Hartwell, T.D., Pellizzari, E.D., Perritt, R.L., Whitmore, R.W.,Zelon, H.S., Sheldon, L.S., Sparacino, C.M., Wallace, L., 1987. Results from the total exposure assessment

methodology(TEAM) study in selected communities in Northern and Southern California. Atmos. Environ. 21, 1995–2004.

Hoque R.R., Khillare P.S., Agarwal T., Shridhar V., Balachandran S., 2008. Spatial and temporal variation of BTEX in the urban atmosphere of Delhi, India, Science of the Total Environment. 392, 30-40.

Howard, P.H., Handbook of Environmental Fate and Exposure Data For Organic Chemicals, Hsieh L.T., Wang Y.F., Yang H.H., Mi H.H., 2011. Measurements and Correlations of MTBE and BETX in Traffic Tunnels, Aerosol and Air Quality Research. 11, 763– 775.

Lee, S.C., M.Y. Chiu, K.F. Ho, S.C. Zou, Xinming Wang., 2002. Volatile organic compounds (VOCs) in urban atmosphere of Hong Kong, Chemosphere. 48, 375–382.

Liu, P.G.W., Yao, Y.C., Tsai, J.H., Hsu, Y.C., Chang, L.P., Chang, K.H., 2008. Source impacts by volatile organic compounds in an industrial city of southern Taiwan. Science of the Total Environment. 398, 154–163.

Miller, L., Xu, X., Grgicak-Mannion, A., Brook, J., Wheeler, A., 2012. Multi-season, multi-year concentrations and correlations amongst the BTEX group of VOCs in an urbanized industrial city. Atmospheric Environment. 61, 305-315.

Nelson, P.F., Quigley, S.M., 1983. The m, p-xylene: ethylbenzene ratio, a technique for estimating hydrocarbon age in ambient atmosphere. Atmospheric Environment. 17, 659–662.  
Olumayede,E.G., 2014Atmospheric Volatile Organic Compounds and Ozone Creation Potential in an Urban Center of Southern Nigeria, International Journal of Atmospheric Sciences Volume 2014 , Article ID 764948, 7 pages.

Öztürk, N., P. Ergenekon, G.Ö. Seçkin, S. Bayır, 2015. Spatial Distribution and Temporal Trends of VOCs in a Highly Industrialized Town in Turkey, Bull Environ Contam Toxicol., 94, 5, 653-660.

Pekey, B., Yılmaz, H., 2011.The use of passive sampling to monitor spatial trends of volatile organic compounds (VOCs) at an industrial city of Turkey. Microchemical Journal 97, 213-219.

Pekey, H., B. Pekey, D. Arslanbas, Z. Bozkurt, G. Dogan, G. Tuncel., 2015. Source Identification of Volatile Organic Compounds and Particulate Matters in an Urban and Industrial Areas of Turkey", Ekoloji, 24 (94), 1-9.

Principal component scores (PCA/APCS) receptor model. Environmental Pollution 129, 489–498.

Schroder B and Dannecker W.,1994. Vehicle emissions as the major source of gaseous aromatic hydrocarbons at different locations in Germany. Sci Tot Environ 146/147, 275-279.

Sigsby JE, Tejada S, Ray W, Lang JM, and Duncan JW.,1987. Volatile organic compound emissions from 46 in-use passenger cars. Environ Sci Technol 21, 466-475.

## 6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

Wang, Z., Fingas, M., 1995. Differentiation of the source of spilled oil and monitoring of the oil weathering process using gas chromatography-mass spectrometry, *J. Chromatogr. A*, 712, 2, 321-343.

Wathne, B.M., 1983. Measurement of benzene, toluene and xylenes in urban air. *Atmos. Environ.* 17, 1713–1722.

White M. L., Russo R. S., Zhou Y., Ambrose J. L., Haase K., Frinak E. K., Varner R. K., Wingenter O. W., Mao H., Talbot R., Sive B. C., 2009. Are biogenic emissions a significant source of summertime atmospheric toluene in the rural Northeastern United States, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 81–92.

WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants, 2010.

Yurdakul S, Civan M, Tuncel G., 2013. Volatile organic compounds in suburban Ankara atmosphere, Turkey: sources and variability. *Atmos Res* 120, 298–311.