

ANADOLU UOB PASİF ÖRNEKLEYİCİSİNİN TİCARİ PASİF ÖRNEKLEYİCİLERLE PERFORMANS KARŞILAŞTIRMA ÇALIŞMALARI

Özlem ÖZDEN ÜZMEZ^(*), Akif ARI, Tuncay DÖĞEROĞLU, Eftade O. GAGA

Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Anadolu Üniversitesi,
İki Eylül Kampusu, 26555, Eskişehir

ÖZET

Pasif örnekleyiciler basit, kolay taşınabilir ve ucuz olmaları, elektrik gücüne ihtiyaç duyulmaksızın eş zamanlı olarak birden fazla noktada örnekleme imkanı sağlamaları gibi özelliklerinden dolayı, hava kalitesi ölçümlerinde diğer örnekleme yöntemlerine nazaran oldukça avantaj sağlamaktadır. Bu çalışmada, atmosferik Uçucu Organik Bileşiklerin (UOB'ler) örneklenmesi amacıyla geliştirilen ve "Anadolu Pasif Örnekleyicisi" adıyla Faydalı Model olarak tescillenen örnekleyicinin Radiello, 3M OVM 3500 gibi farklı ticari pasif örnekleyicilerle karşılaştırmak suretiyle gerçekleştirilen performans testlerinden elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Kent merkezinde trafik yoğun bir bölgede gerçekleştirilen saha validasyon çalışmaları süresince 3M OVM 3500 ve Radiello pasif örnekleyicileriyle yapılan eş zamanlı karşılaştırma çalışmaları sonucunda, 29 adet UOB için Anadolu/3M OVM 3500 pasif örnekleyici sonuçlarına ait derişim oranları 0,9-1,2 arasında, Anadolu/Radiello pasif örnekleyici sonuçlarına ait derişim oranları ise 0,8-1,4 arasında elde edilmiştir. Anadolu-3M OVM 3500 sonuçları ile Anadolu-Radiello sonuçları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığını belirlemek üzere eşleşmiş-t testi uygulanmış ve Anadolu pasif örnekleyicisiyle ticari pasif örnekleyici sonuçları arasında % 95 güven düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür.

Tünel ortamında kirlitici seviyelerinin ve emisyon faktörlerinin belirlenmesine yönelik gerçekleştirilen bir çalışmada, Anadolu pasif örnekleyicisiyle eş zamanlı olarak ticari pasif örnekleyiciler (Radiello, 3M OVM 3500) tünel içindeki UOB derişimlerini belirlemek için kullanılmıştır. BTEK'ler (benzen, toluen, etilbenzen ve ksilenler) için elde edilen sonuçlar incelendiğinde, Anadolu pasif örnekleyicisi ile elde edilen BTEK derişim değerleriyle, ticari pasif örnekleyiciler kullanılarak elde edilen BTEK derişim değerlerinin uyum içerisinde olduğu görülmüştür ($R^2 = 0,80-0,91$). Anadolu ve ticari pasif örnekleyici sonuçları arasındaki fark (yüzde bağıl hata olarak) \leq % 30 (% 2-30) olarak bulunmuştur.

Ticari pasif örnekleyicilerle yapılan karşılaştırma çalışmalarından elde edilen sonuçlar, Anadolu pasif örnekleyicisinin mevcut ticari örnekleyicilere alternatif bir örnekleyici olduğunu göstermiştir.

* oozen@anadolu.edu.tr

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Anadolu pasif örnekleyicisi, ticari pasif örnekleyici, performans karşılaştırma, Radiello, 3M OVM 3500.

ABSTRACT

Passive samplers have important advantages compared to other sampling methods due to their properties such as being simple, easy to carry and cheap, providing simultaneous sampling at many points without need to electric power. In this study, Anadolu Passive Sampler developed for sampling of atmospheric Volatile Organic Compounds (VOCs) and registered as utility model were compared with commercial passive samplers such as Radiello and 3M OVM 3500 and the results of the performance tests were evaluated.

During field validation studies carried out in a traffic-dense region in the city center, simultaneous comparison studies were carried out with 3M OVM 3500 and Radiello. For 29 VOCs, Anadolu/3M OVM 3500 concentration ratios were between 0.9-1.2 and Anadolu/Radiello concentration ratios were between 0.8-1.4. Paired-t test was applied to investigate if there is a statistical significance between the results of Anadolu-3M OVM 3500 and Anadolu-Radiello passive samplers and it was found that there was not any statistical significance between the results of Anadolu passive sampler and other commercial samplers at 95% significance level.

In a study that was carried out to determine pollutant levels and emission factors in a tunnel environment, Anadolu passive sampler and commercial passive samplers (Radiello, 3M OVM 3500) were used together to determine UOB concentrations in the tunnel. When the results obtained for BTEX (benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes) were investigated, there was an agreement between the results of Anadolu passive sampler and commercial samplers ($R^2=0.80-0.91$). The difference between the results of Anadolu passive sampler and commercial samplers as percent relative error was found as $\leq 30\%$ (2-30%).

The results of the comparison studies carried out with commercial passive samplers showed that Anadolu passive sampler can be used as an alternative to the other samplers.

KEYWORDS

Anadolu passive sampler, commercial passive sampler, performance comparison, Radiello, 3M OVM 3500.

1. GİRİŞ

Ülkemizde, araştırma amaçlı bazı üniversitelerdeki araştırmacılar tarafından UOB ölçümlerine yönelik gerçekleştirilen bilimsel araştırmalar dışında, ulusal hava kalitesi ölçüm ağı kapsamında UOB'lere yönelik ölçümler gerçekleştirilmemektedir. Bu nedenle de, söz konusu eksikliği kapatılmak üzere ucuz, kolay uygulanabilir ve güvenilir yöntemlerin seçilmesi ve bu yöntemlerin ülkemizde yaygın olarak kullanılabilir hale getirilmesi oldukça önemlidir. Pasif örnekleyicilerin basit, kolay taşınabilir ve ucuz olmalarının yanı sıra, elektrik gücüne ihtiyaç duyulmaksızın eş zamanlı olarak birden fazla noktada örnekleme imkanı

sağlamaları bölgesel ölçekli hava kalitesi ölçümlerinde diğer örnekleme yöntemlerine oranla pasif örnekleycileri avantajlı hale getirmektedir (De Santis vd., 1997; Bertoni vd., 2001; Bush vd., 2001; Buffoni 2002; Namiesnik vd., 2005; Lin vd., 2011).

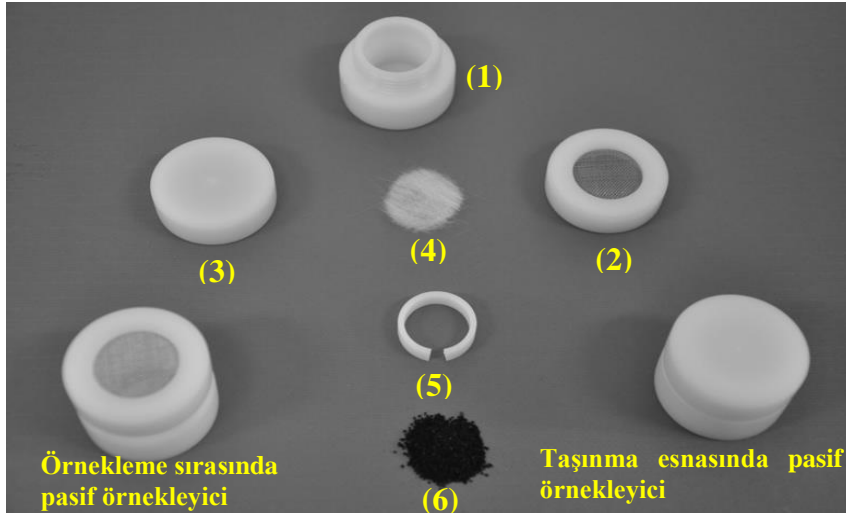
Yukarıda bahsedilen eksikliği ortadan kaldırmak amacıyla ve ayrıca referans metotla karşılaştırılabilir nitelikte ve kolay uygulanabilir örnekleycilerin kullanılmasını sağlamak üzere, Anadolu Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Hava Kalitesi Araştırma Ekibi tarafından atmosferik UOB'lerin belirlenmesine yönelik pasif örnekleyci geliştirilmiş ve söz konusu örnekleycinin doğruluk ve güvenilirliğini test etmeye yönelik olarak kapsamlı saha validasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Özden Üzmez 2013; Özden Üzmez vd., 2015). Validasyon çalışmalarının hedeflenen sonuçlara ulaşması sonrasında, söz konusu örnekleyci için Türk Patent Enstitüsü'nden Faydalı Model tescili alınmış (Faydalı Model Belge No: TR 2012 06997 Y) ve tarafımızca "Anadolu pasif örnekleycisi" olarak isimlendirilmiştir.

Anadolu pasif örnekleycisinin saha validasyonu süresince gerçekleştirilen çalışmalardan biri de, farklı ticari pasif örnekleyciler ile gerçekleştirilen performans karşılaştırma çalışmalarıdır. Ayrıca, validasyon çalışmaları tamamlandıktan sonra örnekleycinin farklı ortamlarda kullanılabilirliğinin test edilmesine yönelik olarak örnekleme çalışmaları da gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ise, (i) örnekleyci için kentsel özellik taşıyan bir noktada gerçekleştirilen saha validasyon çalışmaları ve (ii) trafik kaynaklı kirleticilerin derişim seviyelerinin ve emisyon faktörlerinin belirlenmesine yönelik olarak şehirlerarası bir tünel ortamında gerçekleştirilen pasif örnekleme çalışmaları esnasında Anadolu pasif örnekleycisinin performansını test etmek üzere Radiello ve 3M OVM 3500 ticari pasif örnekleycileri ile eş zamanlı gerçekleştirilen karşılaştırma çalışmalarına ait sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Pasif örnekleyciler

Anadolu Pasif Örnekleycisi: Anadolu pasif örnekleycisi delrin malzemeden üretilmiş olup, 2,5 cm uzunluk ve 2 cm iç çap boyutlarına sahiptir. Pasif örnekleyci; (1) örnekleyci gövdesi, (2) örnekleme esnasında rüzgar hızı etkisini minimize etmek amacıyla kullanılan paslanmaz çelik tel kafesli kapak, (3) örnekleycilerin örnekleme noktasına ve örnekleme sonrası laboratuara taşınmaları esnasında kullanılan kapalı kapak, (4) tutma ortamı olan granül aktif karbonun örnekleyci tabanında dökülmeden kalmasını sağlayan cam yünü, (5) cam yünü aktif karbon üzerinde sabitleyen plastik yüzük ve (6) aktif karbon kısımlarından oluşmaktadır (Şekil 1). Pasif örnekleycinin hazırlanmasında tutma ortamı olarak 18–35 mesh boyut aralığına sahip 200 ± 1 mg granül aktif karbon kullanılmıştır. Pasif örnekleyci hazırlama işlemleri, örneklerin hazırlanması süresince gerçekleşebilecek kontaminasyonları önlemek amacıyla temiz oda ortamı sağlayan ve aktif karbon filtre içeren Pro-Vac 700 laminar flow kabin içerisinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Anadolu pasif örnekleyicisi ve parçaları

Ticari Pasif Örnekleyiciler: *3M OVM 3500 pasif örnekleyici:* 3M OVM 3500 pasif örnekleyicisi, ~ 9 gr. ağırlığında ve ped şeklinde tek bir aktif karbon sorbent yüzeyine sahip "badge" tip eksenel bir pasif örnekleyicidir. Aktif karbon yüzeyinin üst kısmında membran şeklinde koruyucu bir bariyer kapak bulunmaktadır (Şekil 2a). Örnekleme süresi dışında, örnekleyici teneke kutusu içerisinde muhafaza edilmektedir. Geniş aralıktaki organik gaz ve buharların örneklenmesi amacıyla kullanılmaktadır.

Radiello pasif örnekleyici: Radiello pasif örnekleyicisi, adsorbent madde içeren silindirik adsorplama kartuşu, bu kartuşun içerisine yerleştirildiği silindirik bir difüzyon gövde ve söz konusu gövdenin örnekleme noktasına yerleştirilmek üzere takıldığı bir askılıktan oluşmaktadır (Şekil 2b). Adsorplama kartuşu, 100 mesh gözenekliliğe sahip 5,8 mm çapında paslanmaz çelik malzemeden yapılmış silindirik bir yapıya sahiptir. İçerisinde 35-50 mesh boyut aralığında 530 ± 30 mg aktif karbon bulunmaktadır. Adsorplama kartuşunun içerisine yerleştirildiği difüzyon gövde ise 60 mm uzunluğunda ve 16 mm çapındadır. 1,7 mm kalınlığında mikro gözenekli polietilen malzemeden yapılmıştır ve ortalama gözenekliliği $25 \pm 5 \mu\text{m}$ 'dir.



Şekil 2. (a) 3M OVM 3500 ve (b) Radiello pasif örnekleyicisi

2.2. Örneklerin ekstraksiyon ve analiz işlemleri

Anadolu pasif örnekleyicisi ve ticari pasif örnekleyicilerin tutma ortamları aktif karbon olduğu için ekstraksiyon işlemleri karbon disülfür (CS_2) (ReagentPlus, redistilled, \geq % 99,9, low benzene, Sigma-Aldrich) ile gerçekleştirilmiştir. 3M OVM 3500 ve Radiello pasif örnekleyicilerin ekstraksiyon işlemleri teknik dökümanlarında verilen yöntemlere göre uygulanmıştır.

Anadolu pasif örnekleyicisi ve 3M OVM 3500 örnekleyiciler içerisindeki aktif karbondaki tutulan bileşenler 1,5 mL CS_2 ile, Radiello içerisindeki aktif karbondaki tutulan bileşenler ise aynı özellikteki 2 mL CS_2 ile ekstrakte edilmiştir.

Anadolu pasif örnekleyicisi içerisindeki granül aktif karbondaki tutulan UOB'lerin ekstraksiyon işlemleri 2 mL'lik Eppendorf santrifüj tüpleri içerisinde gerçekleştirilmiştir. UOB'lerin iyi bir şekilde desorbe olması için örnekler çalkalayıcı (Nüve SL 350) üzerinde 5 dakika, ultrasonik banyoda (Elma Transsonic) 30 dakika bekletilmiştir. Ultrasonik banyoda sıcaklık artışını önlemek amacıyla içine buz kasetleri yerleştirilmiştir. Daha sonra tüpler, gaz kromatografi-kütle spektrometresi (GC-MS) cihazına analiz için yerleştirilecek örneklerde bulunabilecek aktif karbon parçacıklarını en aza indirebilmek için -5 °C'de 20 dakika süreyle 10.000 rpm hızla santrifüj edilmiştir (Centurion Scientific K3 Series).

3M OVM 3500 örnekleyicilere ait ekstraksiyon işlemleri örnekleyici içerisinde gerçekleştirilmiştir. CS_2 , örnekleyicilerin koruma kapağından enjekte edilmiştir ve daha sonra örnekleyiciler çalkalayıcı üzerinde 30 dakika bekletilmiştir. Radiello pasif örnekleyici kartuşu içerisinde bulunan aktif karbondaki tutulan UOB'lerin ekstraksiyonu ise örnekleme sonrası içerisine yerleştirildiği cam tüp içerisinde yapılmıştır. Kartuş çıkarılmadan, 2 mL CS_2 cam tüp içerisine enjekte edilmiştir ve örnekler 30 dakika süresince çalkalayıcı üzerinde bekletilmişlerdir.

Ekstraksiyon işlemleri sonrasında, tüm örneklerin analizleri gaz kromatografi-kütle spektrometresi (GC-MS (Agilent 6890N GC-Agilent 5973 inert MS)) cihazında gerçekleştirilmiştir. ChemService ozon öncül UOB standardı kullanılarak 29 adet UOB için 1-500 ppb aralığında 7 noktalı kalibrasyon eğrileri hazırlanmıştır. Kalibrasyon eğrilerine ait R^2 değerleri 0,998-1 aralığında elde edilmiştir.

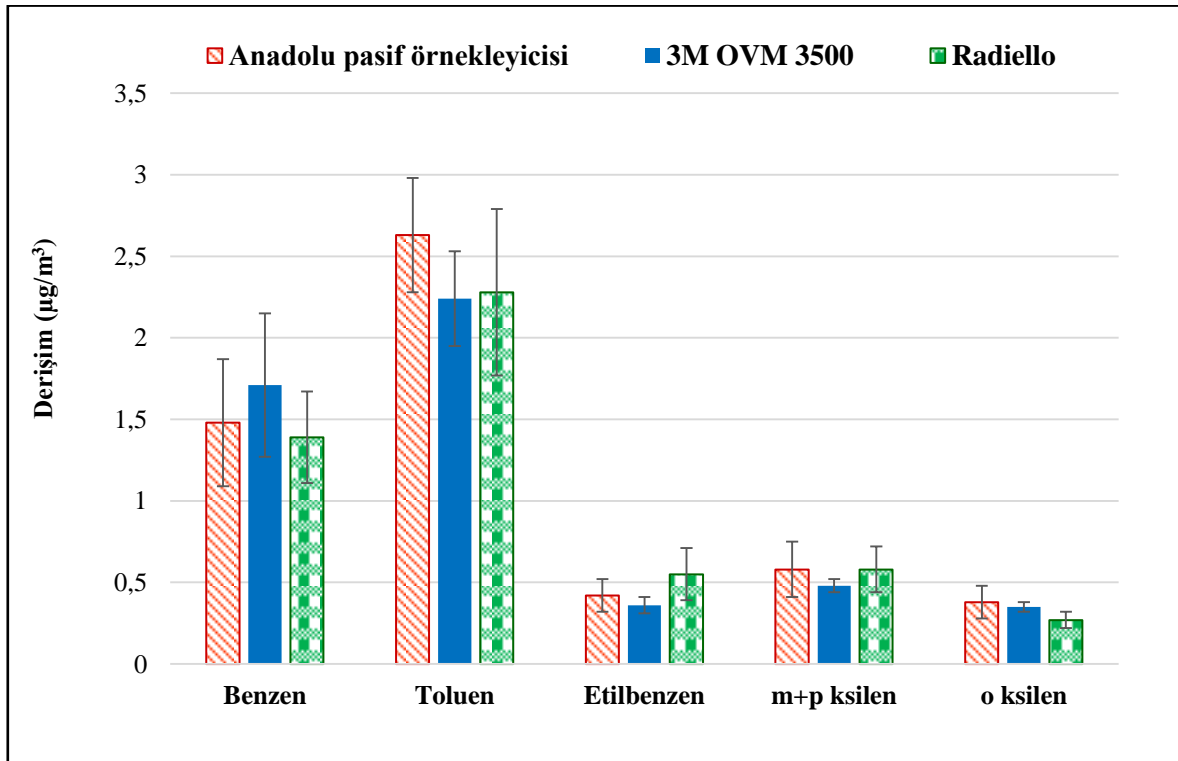
2.3. Analitik yöntem için kalite kontrolü ve güvenilirlik çalışmaları

GC-MS cihazına yönelik UOB dedeksiyon limit değerlerinin hesaplanması için, kalibrasyon eğrisinde kullanılan en düşük derişimli standardın 10 tekrarlı analizi yapılmış ve analizlerin sonucunda elde edilen değerlerin standart sapması 3 ile çarpılarak bileşenler için dedeksiyon limit değerleri hesaplanmıştır. Cihaz dedeksiyon limit değerleri 24 saatlik bir örnekleme süresi dikkate alınarak atmosferik derişim değerlerine dönüştürüldüğünde 0,01-0,06 $\mu g/m^3$ aralığında elde edilmiştir. Her bir analiz setinde örneklerin analizine başlamadan önce, kalibrasyon kontrolü (iç kalite kontrol) yapmak amacıyla kalibrasyon eğrisinin orta seviyesinde yer alan bir ara standardın (100 ppb) analizi yapılmıştır. Çalışma süresince analiz edilen ara standartların kalibrasyon standardı olan 100 ppb değerinin \pm % 10'unu aşmadığı gözlenmiştir (bileşiklerin \sim % 90'ı için bu değer \leq \pm % 5). Ayrıca, örneklerde yüksek bileşen derişimleri ile karşılaşıldığında bu durumun CS_2 'den kaynaklanıp kaynaklanmadığına karar vermek açısından, her yeni CS_2 şişesi açıldığında içerisindeki CS_2 'nin analizi de

gerçekleştirilmiştir. Örneklerde ölçülen UOB miktarları, ekstraksiyon çözültisi olan CS₂ içerisindeki UOB miktarlarından en az 10 kat daha fazla bulunmuştur.

3. SONUÇLAR

Kentsel ortamda gerçekleştirilen karşılaştırma çalışmaları: Anadolu pasif örnekleyicisinin saha validasyon çalışmaları Eskişehir’de tek bir noktada, trafik yoğunluğunun ~16.000 araç/gün olduğu bir cadde üzerinde gerçekleştirilmiştir. Validasyon çalışmaları süresince belli zamanlarda 3M OVM 3500 ve Radiello ticari pasif örnekleyicileri ile eş zamanlı örneklemeler yapılmıştır. 29 adet UOB için, *Anadolu/3M OVM 3500* pasif örnekleyici sonuçlarına ait derişim oranları 0,9-1,2 arasında, *Anadolu/Radiello* pasif örnekleyici sonuçlarına ait derişim oranları ise 0,8-1,4 arasında elde edilmiştir. *Anadolu-3M OVM 3500* sonuçları ile *Anadolu-Radiello* sonuçları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığını belirlemek üzere eşleşmiş-t testi uygulanmıştır. Uygulanan eşleşmiş-t testi sonucunda, Anadolu örnekleyici sonuçları ile 3M OVM ve Radiello pasif örnekleyici sonuçları arasında % 95 güven düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı bulunmuştur. Karşılaştırma sonuçları BTEK’ler için örnek olarak Şekil 3’de verilmiştir. Diğer UOB’ler için de BTEK’lere benzer şekilde uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 3. Kentsel bir ortamda gerçekleştirilen Anadolu pasif örnekleyicisi - ticari pasif örnekleyici karşılaştırma sonuçları (n=20)

Karşılaştırma çalışmaları esnasında, her örnekleme periyodunda Anadolu pasif örnekleyiciler üçer adet, ticari pasif örnekleyiciler ise sayılarının sınırlı olmasından dolayı ikişer adet olacak şekilde yerleştirilmiştir. Ticari pasif örnekleyiciler için tekrarlanabilirlik değerleri de ayrıca

hesaplanmıştır. İki tekrarlı örneklere ait tekrarlanabilirlik değerleri BTEK'ler için Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Karşılaştırma çalışmalarında kullanılan ticari pasif örnekleyiciler için tekrarlanabilirlik değerleri (CV, %)

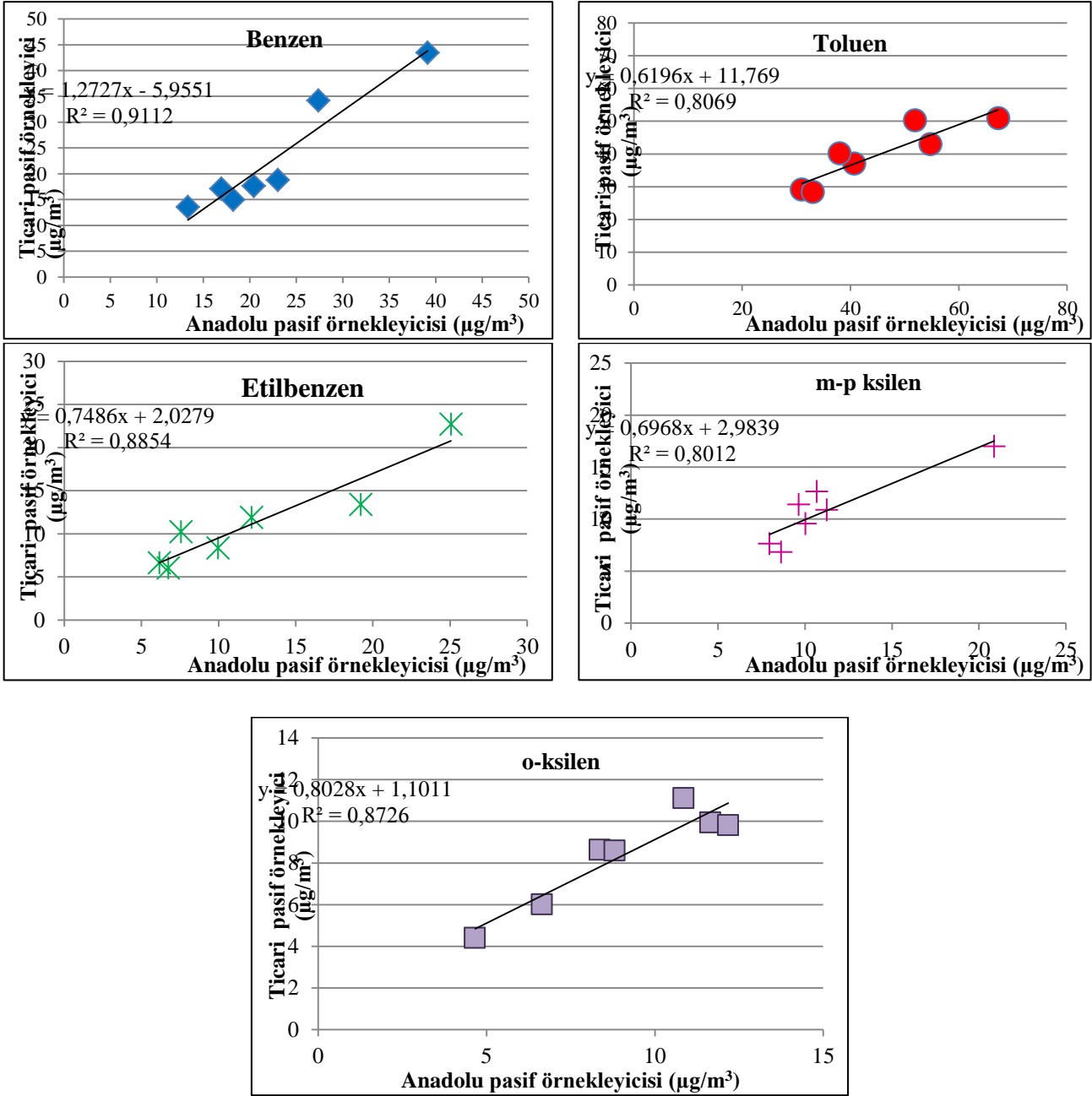
Bileşen	3M OVM 3500	Radiello
Benzen	6,70	3,2
Toluen	3,50	9,65
Etil benzen	3,90	10,66
m+p ksilen	4,86	6,04
o ksilen	4,96	8,11

Tünel ortamında gerçekleştirilen karşılaştırma çalışmaları: Anadolu pasif örnekleyicisi, şehirlerarası bir tünel ortamındaki kirletici derişimlerinin ve emisyon faktörlerinin belirlenmesine yönelik gerçekleştirilmiş bir örnekleme çalışması kapsamında kullanılmıştır. Söz konusu çalışma, Bilecik-İstanbul karayolu üzerinde bulunan $\approx 2,5$ km uzunluğundaki Osmangazi Tüneli'nin girişinde, çıkışında ve dış ortamında 17-28 Ağustos 2011 tarihleri arasında her gün sabah (08.00-11.00) ve öğleden sonra (14.00-16.30) olmak üzere iki periyotta gerçekleştirilmiştir. Örnekleme çalışmalarının bazı periyotlarında Anadolu pasif örnekleyicisi ile birlikte ticari pasif örnekleyiciler de (Radiello ve 3M OVM 3500) yerleştirilmiştir. BTEK'ler için elde edilen karşılaştırma sonuçları Şekil 4'de yer almaktadır. Anadolu pasif örnekleyicileri ile elde edilen BTEK derişim değerleri ile ticari pasif örnekleyiciler kullanılarak elde edilen BTEK derişim değerleri arasındaki korelasyonların oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

4. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Ülkemizde gerçekleştirilen UOB ölçümlerinde genel olarak yurt dışından temin edilerek satın alınan ticari pasif örnekleyiciler kullanılmaktadır. Söz konusu pasif örnekleyicilerin maliyetleri oldukça yüksektir. Bu durum da çok sayıda noktada eş zamanlı örnekleme yapma imkanını kısıtlı hale getirmektedir. Bu kısıtlamaları ortadan kaldırabilmek amacıyla, Anadolu Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Hava Kalitesi Araştırma Grubu tarafından UOB pasif örnekleyicisi geliştirilmiş, söz konusu örnekleyici için kapsamlı validasyon çalışmaları tamamlandıktan sonra "Anadolu Pasif Örnekleyicisi" ismiyle faydalı model olarak tescillenmesi sağlanmıştır.

Anadolu pasif örnekleyicisinin saha validasyon çalışmaları ve sonrasında örnekleyicinin kullanıldığı farklı ortamlarda gerçekleştirilen örnekleme çalışmaları esnasında performans testi gerçekleştirmeye yönelik olarak, Radiello, 3M OVM 3500 gibi ticari pasif örnekleyicilerle karşılaştırma çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, Anadolu pasif örnekleyicisinin mevcut ticari örnekleyicilere alternatif bir örnekleyici olabileceği görülmüştür. Örnekleyicinin maliyeti de birçok ticari pasif örnekleyiciye nazaran daha düşük olduğu için ve ayrıca ülke içinde temin edilebilir durumda olması nedeniyle, ülkemizde gerçekleştirilen UOB örnekleme çalışmalarının yaygınlaşmasında önemli rol oynayacağı düşünülmektedir.



Şekil 4. Tünel ortamında gerçekleştirilen pasif örnekleme çalışmasında elde edilen Anadolu pasif örnekleycisi - ticari pasif örnekleycisi karşılaştırma sonuçları

5. AÇIKLAMA

Bu çalışma, Anadolu Üniversitesi tarafından desteklenen 080232 nolu “Atmosferik Organik Bileşiklerin Ölçümü İçin Pasif Örnekleyci Geliştirilmesi ve Kullanımı” başlıklı, 080235 nolu “Uçucu Organik Bileşiklerin (UOB) Ölçümünde Kullanılan Pasif Örnekleycilerin Saha ve Laboratuar Koşullarında Validasyonu” başlıklı ve 1103F065 no’lu “Kırsal, Kentsel ve Tünel Ortamlarında Çok Halkalı Aromatik Bileşikler (PAH) ve Uçucu Organik Bileşikler (UOB): Derişimleri, Kaynakları, Emisyon Faktörleri ve PAH’ların Gaz Partikül Dağılımları” başlıklı Bilimsel Araştırma Projeleri kapsamında gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- Bertoni, G., Tappa, R. ve Allegrini, I., 2001. The Internal Consistency of the 'Analyst' Diffusive Sampler - A Long-Term Field Test. *Chromatographia* 54, 653-657.
- Buffoni, A., 2002. Ozone and nitrogen dioxide measurements in the framework of the National Integrated Programme for the Control of Forest Ecosystems (CONECOFOR). *J. Limnol.* 61 (suppl 1), 69-76.
- Bush, T., Smith, S., Stevenson, K. ve Moorcroft, S., 2001. Validation of nitrogen dioxide diffusion tube methodology in the UK. *Atmos. Environ.* 35, 289-296.
- De Santis, F., Allegrini, I., Fazio, M.C. ve Pasella, D.P.R., 1997. Development of a passive sampling technique for the determination of nitrogen dioxide and sulphur dioxide in ambient air. *Anal. Chim. Acta* 346, 127-134.
- Lin, C., Becker, S., Timmis, R. ve Jones, K.C., 2011. A new flow-through directional passive air sampler: design, performance and laboratory testing for monitoring ambient nitrogen dioxide. *Atmos. Pollut. Res.* 2, 1-8.
- Namiesnik, J., Zabiegala, B., Kot-Wasik, A., Partyka, M. ve Wasik, A., 2005. Passive sampling and/or extraction techniques in environmental analysis: a review. *Anal. Bioanal. Chem.* 381, 279-301.
- Özden Üzmez, Ö., 2013. *Atmosferik Uçucu Organik Bileşiklerin Ölçümü İçin Pasif Örnekleyici Geliştirilmesi ve Kullanımı*. Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye.
- Özden Üzmez, Ö., O. Gaga, E., Döğeroğlu, T., 2015. Development and field validation of a new diffusive sampler for determination of atmospheric volatile organic compounds. *Atmos. Environ.* 107, 174-186.