



## Bursa'nın zeytinlik arazilerindeki topraklarda poliaromatik hidrokarbon (pah) konsantrasyonlarının bölgesel değişimi

Gizem Eker\*

Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16059, Nilüfer, Bursa

### ÖNEÇIKANLAR

- Bursa'daki zeytinlik arazilerde PAH kirliliği
- PAH kirliliğinin bölgesel değişimi
- PAH halka dağılımları ve toksisite

### Makale Bilgileri

Geliş: 25.05.2016

Kabul: 22.01.2016

### DOI:

10.17341/gazimmfd.322188

### Anahtar Kelimeler:

Zeytinlik araziler,  
toprak,  
tür dağılımları,  
toksikite

### ÖZET

Bu çalışmada, Bursa ilindeki zeytinliklerdeki toprak örneklerinde poliaromatik hidrokarbon (PAH) kaynaklı kirlilik düzeylerinin ilkbahar mevsimindeki bölgesel değişiminin belirlenmesi ve halka dağılımlarının ortaya konması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, Bursa il sınırları içerisinde yer alan 7 farklı zeytinlikten toprak örnekleri alınmıştır. Örnekler ultrasonik yöntemle ekstrakte edilmiş ve PAH konsantrasyonları gaz kromatografisi-kütle spektrometresinde (GC-MS) ölçülmüştür. En yüksek toplam 12 ( $\sum_{12}$ ) PAH konsantrasyonu Gemlik-Kampüs (GK) noktasındaki topraklarda ölçülürken (13993 ng/g Katı Madde-KM) kirliliğinin en az olduğu noktanın kırsal özellikteki Mudanya-Yörükali (MY:5 ng/g KM) olduğu tespit edilmiştir. GK örnekleme noktasında yerleşim, yoğun trafik ve limandaki faaliyetlerden ötürü PAH konsantrasyonlarının yüksek çıktığı sonucuna varılmıştır. Toprak örneklerinde 4-halkalı türlerin (Fl, Pyr, BaA and Chr) baskın olduğu (ortalama %72) görülmüş olup bunu 3-halkalı türler (ortalama %22) takip etmiştir.  $\sum_{12}$  BaPeq değerlerinin 12,3 ve 399,4 ng/g KM arasında değiştiği ortaya konmuştur.

## Spatial variations of polycyclic aromatic hydrocarbons (pahs) concentrations in olive grove area soils in Bursa

### HIGHLIGHTS

- PAH pollution of soils in olive grove areas in Bursa
- Spatial variations of PAHs
- PAH ring distributions and toxicity

### Article Info

Received: 25.05.2016

Accepted: 22.01.2016

### DOI:

10.17341/gazimmfd.322188

### Keywords:

Olive grove,  
soil,  
distribution of compounds,  
toxicity

### ABSTRACT

In the present study, it was aimed to determine spatial polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) pollution levels and PAH ring distribution of soils in olive grove areas in Bursa during spring season. Soil samples were collected from 7 regions located in the province of Bursa. Samples were ultrasonically extracted and PAH concentrations were analyzed using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The highest  $\sum_{12}$  PAH level was measured in Gemlik Campus (GK) as 13993 ng/g dry matter (DM) and the minimum concentration was measured as 5 ng/g DM in Mudanya Yorukali (MY) which is classified as rural area. It was concluded that residential area, heavy traffic and harbor caused to obtain the highest PAH concentration in GK sampling point. Overall, 4-ring PAH compounds (Fl, Pyr, BaA and Chr) were dominant (average 72%) in the soil samples. This was followed by 3-ring compounds with average ratio of 22%. The  $\sum_{12}$  BaPeq values ranged from 12.3 to 399.4 ng/g DM.

\* Sorumlu Yazar/Corresponding author: geker@uludag.edu.tr / Tel: +90 224 294 21 01

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Poliaromatik hidrokarbonlar (PAH'lar) karbon içeren bileşiklerin eksik yanması sonucu oluşan yarı uçucu organik bileşiklerdir (YUOB) [1]. Doğada 100'ün üzerinde PAH türü bulunmaktadır. Atmosfere salınan PAH'lar kuru ve yağ çökeltme yoluyla toprağa, su kütlelerine ve bitkilerin üzerine inerler. Çeşitli yollarla besin zincirine girerek insanların bünyelerine geçebilirler [1]. PAH'lar başta deri, akciğer ve mesane olmak üzere vücudun çeşitli organlarına zarar verebilmektedirler. PAH'ların bir kısmı mutajenik, bir kısmı da kanserojenik özellik göstermektedir [2]. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (US-EPA) tarafından PAH'ların 16 tanesi öncelikli kirleticiler arasında sayılmıştır [3]. Bu bileşiklerin hava, su toprak gibi farklı kaynaklardaki konsantrasyonlarını, çevredeki dağılımlarını ve çevresel akıbetlerini belirlemek sağlık-risk değerlendirmesi yapabilmek açısından önemlidir. Toprak kirliliği her geçen gün daha ciddi boyutlara ulaşan, önemli çevre problemlerindedir. Toprak kirlenmesine sebep olan başlıca kirleticiler, organik ve inorganik bileşiklerdir [4]. PAH'lar topraktaki organik kirleticiler grubunda yer alan bileşiklerdir. Toprak, PAH'lar için, karasal çevredeki en önemli rezerv alanıdır. Topraktaki PAH'lar bitkilerin ve diğer biotanın bünyesinde birikebilmektedir [5]. İnsanlar doğrudan veya dolaylı yollardan bu birikimden etkilenmektedir. Ayrıca, PAH'ların sızıntı yoluyla yeraltı sularının kirlenmesine sebep olduğu bilinmektedir [6]. Literatürde, farklı ülkelerdeki toprakların PAH kirlilik düzeylerini belirlemeye yönelik çeşitli çalışmalar mevcuttur. Bunlar arasında, Fransa [7], Milpa Alta-Meksika [8] Kumasi-Gana [9], Tarragona-İspanya [10], Jiaying-Çin [11], Shanghai-Çin [12] gibi sanayi ve yerleşim kentleri yer almaktadır. Nüfusun hızla arttığı ve endüstriyel faaliyetlerin yoğunlaştığı Türkiye'de ise PAH'lardan kaynaklanan toprak kirliliği konusundaki çalışmalar İzmir ilinde endüstriyel bölgede [13], endüstriyel bölgede [14], endüstriyel bölgede [15] yapılmış 3 araştırma ile sınırlıdır. Oysaki toprak, sediment, su gibi alıcı ortamlardaki PAH'ların tespiti çalışmaları, canlı yaşamı için risk teşkil eden bu kirleticinin kontrol altına alınması ve azaltılması çalışmalarının doğru bir biçimde planlanabilmesi için gereklilik arz etmektedir. Bursa, zeytincilik faaliyetlerinin yoğun olduğu bir tarım ve sanayi kentidir. Ülkemizde bulunan zeytin ağacı sayısının %24'ü Marmara Bölgesinde ve bu bölgedeki zeytin ağaçlarının %37'si Bursa ilinde bulunmaktadır [16]. Türkiye'nin sofralık zeytin üretiminin %40'ı bu ilden karşılanmaktadır [17]. Bursa'da nüfusun hızla artması ve sanayinin büyümesi çevre kirliliği problemlerini de beraberinde getirmiştir. PAH'lar bu unsurlara bağlı olarak artış gösteren kirleticilerden biridir. Lipofilik yapıdaki PAH bileşiklerinin zeytin gibi yağ oranı yüksek besin maddelerine ilgisinin büyük olması beklenmektedir. Son yıllarda araştırmacılar, bitkisel yağlarda [18], zeytin yapraklarında [19] ve zeytinlerde [20] PAH kirlilik düzeylerini belirlemeye yönelik çalışmalar yapmaya başlamıştır. Buradan yola çıkarak zeytinliklerin bulunduğu bölge topraklarında PAH kirliliğinin

belirlenmesi konusu gündeme gelmektedir. Ancak bu konudaki çalışmalar son derece sınırlı sayıdadır. Bu çalışmada sunulan verilerin literatüre kazandırılmasının konuyla ilgili veri tabanının oluşmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca, trafik ile endüstriyel faaliyetlerin PAH'ların ana kaynakları arasında yer aldığı göz önünde bulundurulduğunda Bursa topraklarındaki PAH kirlilik seviyesinin belirlenmesine yönelik çalışmaların yapılmasının daha çok önem kazandığı anlaşılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Türkiye'nin 4. büyük şehri olan ve zeytincilik faaliyetlerinin yoğun olarak gerçekleştirildiği Bursa ilinde zeytinliklerin bulunduğu bölge topraklarındaki PAH kirliliğinin mekânsal değişimini ve tür dağılımını belirlemektir.

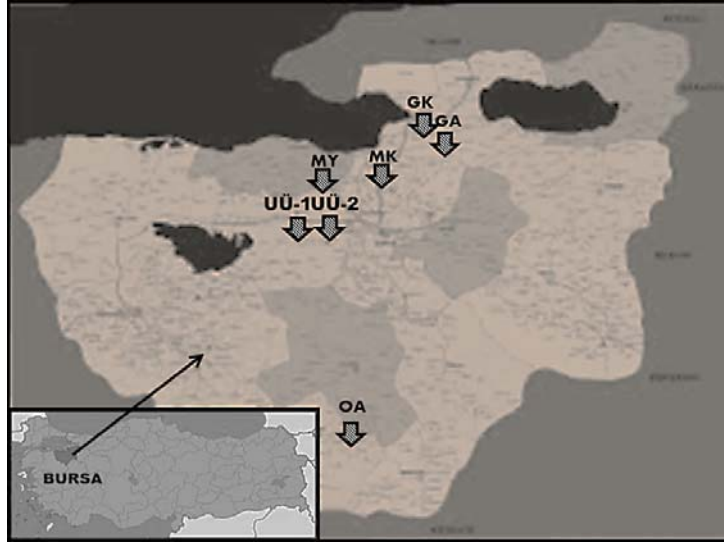
## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

### 2.1. Örnekleme Noktaları (Sampling Points)

Zeytinciliğin yaygın olarak yapıldığı Bursa'da zeytinliklerin bulunduğu topraklardaki PAH'ların konsantrasyonları ile bunların seviyelerinin bölgesel değişimlerini tespit etmek amacıyla 03-04 Mayıs 2015 tarihleri arasında değişik özelliklere sahip 7 farklı noktadaki zeytinliklerde örnekleme yapılmıştır. Örnekleme noktaları Şekil 1'de gösterilmiştir. Örnekleme sırasında toprak sıcaklığı bir prob yardımıyla ölçülmüştür. Bunun için sıcaklık probu numune alma derinliği ile aynı (0-5 cm) derinliğe yerleştirilmiştir. Laboratuvara getirilen örneklerin pH ve katı madde değerleri de belirlenmiştir. Örnekleme noktalarının özellikleri aşağıdaki tabloda (Tablo 1) verilmiştir.

### 2.2. Toprak Örnekleme Çalışmaları (Soil Sampling Studies)

Toprak örnekleri, 3x3 m<sup>2</sup>'lik bir alan içerisinde [3] 4 farklı noktadan alınan yüzeysel toprak (0-5 cm) örneklerinin [21] karıştırılması ile elde edilmiştir. Her bölgeden yaklaşık 200 g toprak alınmış [22] ve analiz edilecek örnek bu karışım içerisinde seçilmiştir [23]. Örnekler içerisinde büyük taşlar ve bitkiler ayıklanarak alüminyum folyoya sarılarak laboratuvara getirilmiştir. Toprak örnekleri laboratuvara 5 dakika karıştırılarak homojenize edilmiştir [24]. Örnekler herhangi bir kurutma işlemine tabi tutulmamıştır. Çeşitli araştırmacılar kurutmaya bağlı olarak toprak örneklerindeki PAH miktarlarında kayda değer kayıplar meydana geldiğini vurgulamıştır [25]. Araziden getirilen örnekler kurutulmadan 2 mm'lik elekten geçirildikten sonra PAH analizi ön işlemlerine (ekstraksiyon vb.) tabi tutulmuştur [26]. Rastgele seçilen iki örnekleme noktasında toprak derinliğine bağlı olarak PAH konsantrasyonlarının değişimi belirlenmiştir. Bu kapsamda, Mudanya-Kurşunlu (MK) ve Orhangazi Asilçelik (OA) örnekleme noktalarında 0-5 cm yüzey toprağının yanı sıra 10-15 cm derinlikten de toprak örnekleri alınmıştır. 10-15 cm derinlikten alınan toprak örneklerinin ekstraksiyon ve diğer PAH ön analiz işlemleri (solvent değişimi, hacim azaltma, fraksiyonlarına ayırma



Şekil 1. Örnekleme Noktaları (Sampling Points)

Tablo 1. Örnekleme noktaları ve özellikleri (Sampling points and properties)

| Örnekleme Noktası            | Kategorisi  | Toprak Sıcaklığı (°C) | pH  | Katı Madde (%) | Antropojenik Kaynaklar          |
|------------------------------|-------------|-----------------------|-----|----------------|---------------------------------|
| Uludağ Kampüs-Arcılık (UU 1) | Kırsal      | 26                    | 8,8 | 79             | Kampüs içi işletmeler           |
| Uludağ Kampüs-Gölet (UU 2)   | Yarı kırsal | 19                    | 8,2 | 89             | Trafik ve kampüs içi işletmeler |
| Mudanya Kurşunlu (MK)        | Yerleşim    | 31                    | 8,5 | 79             | Yerleşim ve trafik              |
| Mudanya Yörükali (MY)        | Kırsal      | 24                    | 8,5 | 89             | -                               |
| Gemlik Kampüs (GK)           | Yerleşim    | 20                    | 8,2 | 92             | Liman ve trafik                 |
| Gemlik Atatepe (GA)          | Kırsal      | 20                    | 7,8 | 87             | Depolama işletmeleri            |
| Orhangazi Asilzade (OA)      | Endüstri    | 17                    | 7,5 | 90             | Demir-çelik fabrikası           |

vb.) 0-5 cm'den alınan toprak örneklerindeki gibidir. Her iki örnek gurubunun (0-5 cm, 10-15 cm) PAH analizleri aynı metotla gerçekleştirilmiştir. MK ve OA noktalarında iki derinlikteki veriler kıyaslanarak PAH kirlilik seviyesinin toprak derinliğine bağlı değişiminin ortaya konması amaçlanmıştır.

### 2.3. Ekstraksiyon ve Diğer Ön İşlemler (Extraction and Other Pre-Analyses)

Elekten geçirilen 10 g örneğe hacimce 1/1 oranında Diklometan/Petroleteri (DCM/PE)'den oluşan 35 mL'lik solvent karışımı ilave edilmiştir. Ekstraksiyon öncesinde örneklere 4 ng/mL standart PAH Mix A verim standardı eklenmiştir. Her bir örnek aşağıda detayları verilen ön işlemlere tabi tutulmuştur. Çeşitli araştırmacılar, bu ön

işlemleri kullanarak toprakta [21], sedimentte [27], Bursa'da [28] ve İzmir'de [29] hava örneklerinde, kentsel [30] ve endüstriyel [31] arıtma çamurlarında ve sentetik katı matrikslerde [32] PAH belirleme çalışmaları yapmıştır. Örnekler orbital çalkalayıcıda yaklaşık 5 saat çalkalanmıştır. Ekstraksiyon işlemi (30 dakika) ultrasonik banyoda yapılmıştır. Bu süre sonunda örnek, cam elyaf filtreden süzülmuştür. Şişede kalan toprağın üzerine 25 mL DCM/PE (1/1) eklenip ikinci kez 30 dakikalık ekstraksiyona tabi tutulmuştur. Ekstrakt tekrar süzülerek bir önceki ile birleştirilmiştir. Döner buharlaştırıcı (30 rpm hız, 25°C su sıcaklığı) kullanılarak solvent değişimi yapılmıştır. Burada, örnek hacmi iki aşamada 5 mL'ye düşürülmüş ve PAH'ların HEX içine alınması sağlanmıştır. Örneğe 5 mL'lik HEX eklenip hacim 2 mL'ye düşürülmüştür. Bundan sonraki aşama fraksiyonlarına ayırmadır.

Fraksiyonlarına ayırma kolonu aşağıdan yukarıya doğru sırasıyla cam yünü, 3 g deaktive silisik asit, 2 g deaktive alümina ve 1 cm aktive sodyum sülfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) içermektedir. Kolon, sırasıyla 20 mL DCM ile 20 mL PE geçirilerek temizlenmiştir. 2 mL'lik örnek kolondan geçtikten sonra 5 mL PE ilave edilmiştir. Ardından 30 mL PE kolona ilave edilerek PCB fraksiyonu toplanmıştır. Son olarak kolona 20 mL DCM eklenerek PAH fraksiyonu toplanmıştır.

#### 2.4. GC-MS'te PAH Analizi

(PAH Analysis with Gas Chromatography- Mass Spectrometry)

PAH analizinden önce, GC-MS cihazının verdiği sonuçların lineerliğini tanımlayabilmek için yedi konsantrasyon değerine göre (0,01-0,1-0,5-1,25-2,5, 5 ve 10  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ) kalibrasyon yapılmıştır. Kalibrasyon eğrisinin  $r^2$  değeri  $>0,99$  mertebesindedir. Cihazın performansı 24 saatte bir orta noktası kalibrasyon standardının analizlenmesiyle kontrol edilmiştir. PAH sonuçları toprak örneklerinin katı maddesine göre düzeltilerek konsantrasyon değerleri  $\text{ng}/\text{g}$  KM biriminde verilmiştir [33]. GC-MS'teki çalışma koşulları Tablo 2'de verilmiştir. GC-MS'teki PAH konsantrasyonlarının ölçümüne yönelik detaylı bilgiler literatürde yer almaktadır [34].

#### 2.5. Kalite Kontrol ve Kalite Güvenilirliği

(Quality Assurance / Quality Control)

Örneklerin alınması, laboratuvara taşınması ve saklanması sırasında alüminyum folyo ve teflon malzemeler kullanılmıştır. Laboratuvarda kullanılan cam malzemeler ise musluk suyuyla yıkanmış ardından sırasıyla saf su ve HEX'dan geçirilerek kurutulmuştur. Kuruma sonrası alüminyum folyo ile tüm malzemelerin ağızları kapatılarak hava ile temasları kesilmiştir. Örneklerin analitik verimini yani analiz işlemleri sırasında meydana gelebilecek kayıpları ve/veya kirlenmeleri hesaba katmak amacıyla verim standardı kullanılmıştır. Örnekler 4  $\text{ng}/\text{mL}$  Standard

Mix A PAH verim standardından 1 mL ilave edilmiştir. Verim standartları içindeki farklı türler belli PAH türlerinin verimlerini belirlemek için kullanılmıştır. Fenantren- $\text{d}_{10}$  (Phe, Ant, Fl, Pyr ve BaA'nın standardı), Krisen- $\text{d}_{12}$  (Chr, BbF, BkF ve BaP'nin standardı) ve Perilen- $\text{d}_{12}$  (InP, DahA ve BghiP'nin standardı) verim standardının içindeki türlerdir. Verim değerleri Fenantren- $\text{d}_{10}$  için %30'un üzerindeyken, diğerleri için (Chr- $\text{d}_{10}$  ve Perd12) %80-%130 aralığında değişmektedir. Örnek alımı ve diğer işlemler sırasında herhangi bir kirlenmenin meydana gelmediğini tespit etmek için şahit örnekleri alınmıştır. Toprak örneklerinin alınması sırasında 5 g aktive edilmiş  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  içeren amber renkli şişenin ağzı açık tutularak arazi şahitleri hazırlanmış ve toprak örneklerine uygulanan tüm işlemler şahitlere de uygulanmıştır. Şahitlerde ölçülen her bir PAH miktarının ortalamasına standart sapmalarının 3 ile çarpılıp eklenmesi (Ort.+3xStandart Sapma) ile belirleme sınır değeri (LOD) bulunmuştur. Örneklerdeki PAH türleri LOD değerinin üzerindeyse hesaplamalarda rapor edilmiştir. LOD değerleri genel olarak 8-50  $\text{ng}/\text{g}$  KM arasında değişim göstermiştir. Ayrıca, her örnek şahit düzeltilmesine tabi tutulmuştur.

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

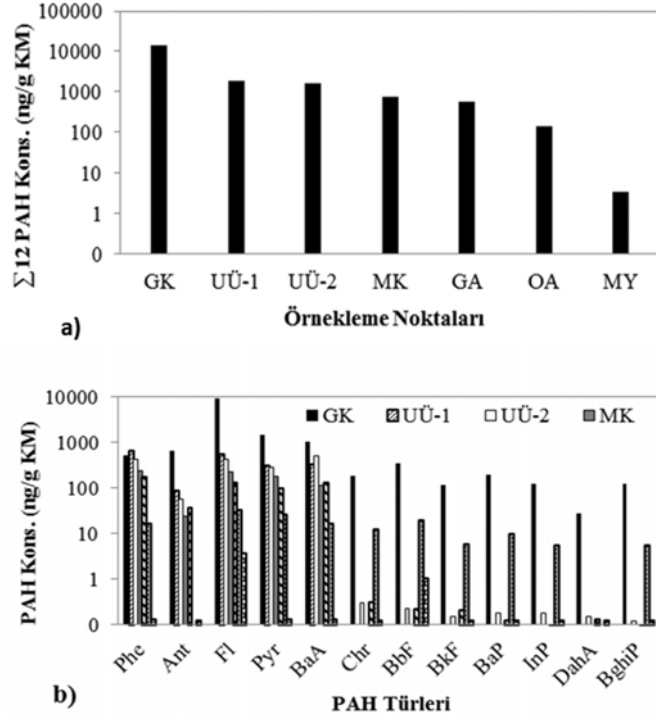
#### 3.1. PAH Konsantrasyonlarının Bölgesel Değişimi ve Tür Dağılımları

(Spatial variations in PAH Concentrations and Distributions of PAH Species)

Bursa ilinin farklı noktalarındaki zeytinliklerden alınan toprak örneklerinde EPA tarafından hazırlanan öncelikli kirleticiler listesinde yer alan toplam 12 ( $\sum_{12}$ ) PAH türünün konsantrasyon değerleri belirlenmiştir. Topraklardaki PAH miktarlarının örnekleme noktalarına göre değişimleri Şekil 2'de verilmiştir. Yedi nokta için  $\sum_{12}$  PAH konsantrasyonları 4-13993  $\text{ng}/\text{g}$  KM aralığında değişim göstermiştir. Topraklardaki PAH kirliliklerinin örnekleme noktalarına

**Tablo 2.** GC çalışma koşulları (GC analysis conditions)

| Gaz Kromatografi             | Agilent 6890 N   |
|------------------------------|--|
| Kolon                        |  |
| Taşıyıcı Gaz                 | Helyum, 1,5 mL/dak   |
| Enjeksiyon Modu              | SIM  |
| Enjektör Sıcaklığı           | 280 °C   |
| Enjeksiyon Hacmi             | 1 $\mu\text{L}$  |
| Temizleme Süresi             | 1 dakika   |
| Sıcaklık Programı            | Başlangıç fırın sıcaklığı 50 °C'de 1 dakika bekletilir, 25 °C/dak artış ile 200 °C'ye yükseltilir, 8 °C/dak artış ile 300 °C'ye yükseltilir. |
| Kütle Seçici Dedektör (MSD): | Agilent 5973 inert MSD model kütle seçicili dedektör   |
| İyonizasyon Modu             | Elektron Etki (EI) Modu  |
| Dedeksiyon Modu              | Seçilmiş İyon Görüntüleme (SIM) Modu   |



Şekil 2. a)  $\Sigma_{12}$  PAH konsantrasyonlarının bölgesel değişimi (Spatial variations in PAH concentrations)  
b) PAH türlerinin örnekleme noktalarındaki dağılımı  
(Each PAH species distribution for sampling points)

göre değişim net olarak gözükmiştir. Maksimum konsantrasyon seviyesi GK noktasında elde edilmiş olup konsantrasyon değeri 13993 ng/g KM'dir. Burada PAH kirlenici kaynağı olarak değerlendirilebilecek olan öğrenci yurtları, otoyol ve yerleşim alanın bulunmaktadır. Bölge konum olarak Gempört liman ve depolama işletmelerine yakın bir konumdadır. Dolayısıyla buradaki deniz trafiğinden ve endüstriyel faaliyetlerden etkilenmektedir. Ayrıca bölge rüzgar alan bir yerdedir. Bu nedenle bölge civarındaki diğer kaynaklardan çıkan PAH kirlilikleri atmosferik taşınım ile kolayca sürüklenip bu bölgede birikmiş olabilir. En düşük PAH konsantrasyonu Mudanya'nın Yörükali Köyü'ndeki zeytinlikte 4 ng/g KM olarak ölçülmüştür. Bu nokta şehir merkezinden uzakta ve herhangi bir kaynak etkisinde olmadığından en düşük konsantrasyon bu noktada elde edilmesi beklenen bir sonuçtur. Endüstriyel bir bölgede yer alan OA noktasında PAH kirliliğinin beklenenden az çıktığı tespit edilmiştir.

Çalışmada sonuçlarının literatür değerleri ile karşılaştırılması örnekleme şekli, analitik ve teknik farklılıklar nedeniyle oldukça zor olmasına karşın farklı ülkelerindeki topraklarda yapılan çeşitli çalışma sonuçları ile genel bir karşılaştırma yapılmıştır. Sunulan çalışmada elde edilen değerler Almanya [35], Hindistan [36], Japonya [37] ve Çin [38] topraklarında bulunan PAH konsantrasyonlarıyla uyumludur. Türkiye'de yapılmış araştırmalarla karşılaştırıldığında, sunulan çalışmada Hanedar ve ark. [39] tarafından Tekirdağ ilindeki

topraklarda bulunan değerlerden daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir [39]. Türkiye'de gerçekleştirilmiş bir başka çalışmada, Bozlaker ve ark. [13] tarafından, İzmir Aliağa endüstriyel alanından toplanan 48 toprak numunesinde yaz ve kış aylarında PAH ölçümleri yapılmıştır. PAH değerlerinin 11-4628 ng/g arasında değiştiği görülmüştür. Bu değerler özellikle endüstriyel alan ortalaması için sunulan çalışmada elde edilen bulgulardan daha yüksek çıkmıştır. Ancak GK noktası bir istisna olmuştur.

Yedi örnekleme noktasındaki toplam PAH ( $\Sigma_{12}$  PAH) konsantrasyonları Şekil 2a'daki gibidir. Örnekleme noktalarında 12 PAH türünün hebirine ait konsantrasyon değerleri de Şekil 2b'de verilmiştir. PAH kirliliğinin en yüksek olduğu 3 örnekleme noktasında (GK, UÜ-1 ve UÜ-2) Phe, Ant, Fl, Pyr ve BaA türlerinin baskın türler olduğu tespit edilmiştir. Toksikite değerlendirmelerini yapabilmek için her bir PAH türüne ait TEF değerleri kullanılarak PAH türlerine ait konsantrasyonlar BaP eşdeğer konsantrasyonuna ( $BaP_{eq}$ ) çevrilmiştir. TEF değerleri kullanılarak PAH türlerinin kanserojenik potansiyeli BaP türü referans alınarak belirlenmiştir. Sunulan çalışmada, Tsai et al. [40] ve Collins et al. [41] çalışmalarında yer alan TEF değerleri kullanılmıştır.  $\Sigma_{12}$   $BaP_{eq}$  değerleri 12,3 ve 399,4 ng/g KM arasında değişmektedir. Ortalama değeri ise  $63,2 \pm 127$  ng/g KM'dir.  $\Sigma_{12}$  PAH konsantrasyonunun en yüksek çıktığı GK, UÜ-1, ve UÜ-2 noktalarında  $\Sigma_{12}$   $BaP_{eq}$  değerleri de yüksek çıkmıştır. En yüksek  $\Sigma_{12}$   $BaP_{eq}$  değeri (399,4 ng/g KM) GK 'da elde edilmiştir.

### 3.2. Topraklardaki PAH Kirliliğinin Yasal Mevzuata Göre Değerlendirilmesi

(Assessment of PAH Pollution in Soil by Legal Legislation)

Toprak örneklerindeki PAH konsantrasyon değerleri Toprak Kirliliği'nin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik'teki EK-1:Jenerik Kirletici Sınır Değerler Listesi'nde [42] yer alan sınır değerlerle karşılaştırılmıştır (Tablo 3).  $\sum_{12}$  PAH konsantrasyonları hiçbir noktada ilgili yönetmeliğin toplam sınır değerini aşmamaktadır. Tür bazında değerlendirmeler yapıldığında ise genel olarak toprakların PAH sınır değerlerini aşmadığı görülmüştür. Sadece GK noktasında BaA ve kanserojenitesi en yüksek tür olan BaP konsantrasyonları sınır değerlerin üzerinde çıkmıştır.

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki topraklarda uygulanan yasal duruma bakıldığında, endüstriyel alan, yerleşim alanı, tarımsal alan ve ticari alan gibi farklı toprak kullanım grupları için toprak kirlilik sınıflarına göre ayrı PAH limit değerleri belirlenmiştir. Limit değerlere bakıldığında, Türkiye'deki değerlerin, birçok PAH türü için yüksek olduğu görülmüştür [42]. Yönetmeliklerin yanı sıra Maliszewska-Kordybach [43] tarafından yapılan çalışmada topraklar PAH konsantrasyon seviyelerine göre kirlilik sınıflarına ayrılmıştır. Buna göre, EPA'nın önceliklendirdiği 16 PAH türünün toplamı için topraklar az

kirli, kirli ve çok kirli olarak kategorize edilmiştir.  $\sum_{16}$  PAH<200 ng/g KM olan topraklar az kirli,  $200<\sum_{16}$  PAH<600 ng/g KM olanlar kirli,  $\sum_{16}$  PAH>1000 ng/g KM olanlar ise PAH'lar açısından çok kirli toprak olarak sınıflandırılmıştır. Sunulan çalışmada 12 PAH türü için konsantrasyonların toplamı hesaplanmış ve bu değerlerin 7 noktanın 3'ünde (UÜ-1, UÜ-2, GK) 1000 ng/g DM'in üzerinde olup çok kirli toprak sınıfında yer aldığı ayrıca 2 noktanın da (MK ve GA) 4 türün daha ilavesiyle bu sınıfa dahil olmasının muhtemel olduğu görülmüştür. Yönetmeliğe göre topraklarımızdaki PAH kirliliğinin endişe verici düzeyde olmadığı görülse de uluslararası camiadaki sınıflandırma baz alındığında topraklarımızdaki PAH kirlilik düzeyinin kayda değer seviyelere ulaştığı anlaşılmaktadır.

### 3.3. Topraklardaki PAH'ların Halka Dağılımı

(PAH Ring Distribution for Soils)

Şekil 3'te 7 farklı noktadan alınan toprak örneklerinde ölçülen PAH konsantrasyonlarının halka dağılımları görülmektedir. Tüm örnekleme noktalarında 4-halkalı türlerin baskın olduğu tespit edilmiştir. Yedi örnekleme noktasında  $\sum_{4}$ -halkalı PAH'ların oranı %58 ile %100 arasında değişim göstermiş olup PAH'ların ortalama %72'sini 4-halkalı türler teşkil etmiştir. Bunu, ortalama %22'lik oranla 3-halkalılar ve daha sonra %5 ile 5- ve 6-

**Tablo 3.** PAH Analiz Sonuçlarının Sınır Değerlerle Karşılaştırılması  
(Comparison of PAH analysis results with limit values)

| Tür Adı                      | Örnekleme Noktalarındaki PAH Konsantrasyonları (ng/g KM) |      |     |    |       |      |     | Sınır Değer* (ng/g KM) |
|------------------------------|--|------|-----|----|-------|------|-----|------------------------|
|                              | UÜ1  | UÜ2  | MK  | MY | GK    | GA   | OA  |                        |
| Fenantren (Phe)              | 641  | 418  | 236 | ** | 495   | 170  | 16  | -                      |
| Antrasen (Ant)               | 84   | 55   | 23  | ** | 641   | 36   | **  | 17203000               |
| Floranten (Fl)               | 521  | 411  | 227 | 4  | 9287  | 128  | 32  | 2294000                |
| Piren (Pyr)                  | 303  | 276  | 175 | ** | 1477  | 95   | 25  | 1720000                |
| Benzo(a) antrasen (BaA)      | 317  | 496  | 114 | ** | 1000  | 128  | 16  | 600                    |
| Krizen (Chr)                 | **   | 0,3  | **  | ** | 178   | 0,3  | 12  | 62000                  |
| Benzo(k) floranten (BkF)     | **   | 0,22 | **  | ** | 338   | 0,22 | 19  | 6000                   |
| Benzo(b) floranten(BbF)      | **   | 0,15 | **  | ** | 113   | 0,20 | 6   | 600                    |
| Benzo(a)piren (BaP)          | **   | 0,18 | **  | ** | 194   | 0,12 | 10  | 60                     |
| İnden(1,2,3-cd)piren (InP)   | **   | 0,18 | **  | ** | 123   | 0,11 | 5   | 600                    |
| Dibenzo(a,h) antrasen (DahA) | **   | 0,15 | **  | ** | 28    | 0,13 | **  | 60                     |
| Benzo(g,h,i) perilen (BghiP) | **   | 0,12 | **  | ** | 119   | 0,11 | 5   | -                      |
| $\sum_{12}$ PAH              | 1866   | 1656 | 775 | 4  | 13993 | 559  | 145 | 21286920               |

\*: Toprağın yutulması ve deri yoluyla emilim için sınır değer

\*\* : LOD değerinin altındadır.

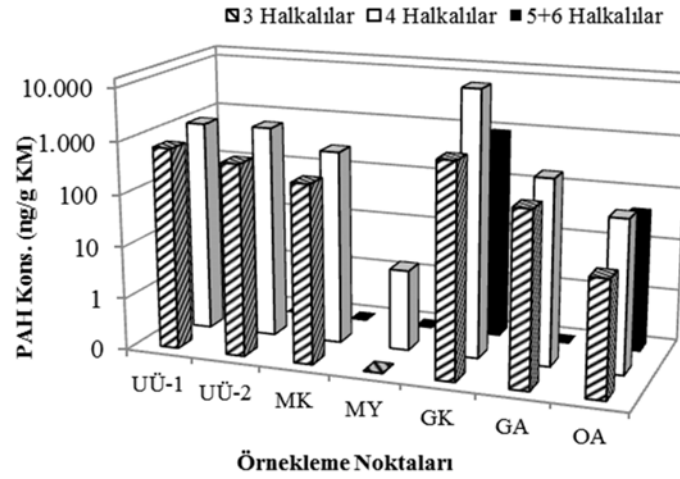
halkalılar toplamı takip etmiştir. Literatürdeki çalışmalarda topraklardaki PAH tür dağılımlarının farklılık gösterdiği görülmüştür. Çin-Nanjing [44], Çin-Şangay [12] ve İspanya-Tarrogon [10] topraklarında yapılan çalışmalarda 4- halkalılıların baskın türler olduğu rapor edilmiştir. İzmir’de [45] yapılan çalışmada 3-, 4- halkalılılar, Tibet Platosu’nda (Çin) [46] ise 2-, 3- halkalılılar baskın türler olarak karşımıza çıkarken Jiaying, Çin topraklarında ise 4-, 5-, 6- halkalılılar baskındır [11]. 3-halkalı PAH türlerinin en baskın olduğu nokta GK olarak tespit edilmiştir. Bu noktada 3-halkalı PAH türlerinin (Phe+Ant) toplam konsantrasyon değeri 1135 ng/g KM olarak ölçülmüştür. Diğer noktalar 3-halkalı PAH konsantrasyonları açısından UÜ-1>UÜ-2>MK>GA>OA olarak sıralanmıştır. MY’de ise 3-halkalı PAH türüne rastlanmamıştır. Uçuculuk özelliği nispeten yüksek olan 3-halkalı türlerin havada bulunma isteğinin fazla olması [47] sebebiyle MY’de bu türlerin bulunmadığı kanaatine varılmıştır [48]. 4-halkalı PAH türlerinin en baskın olduğu nokta GK olup toplam (Fl+Pyr+BaA+Chr) konsantrasyon değeri 11941 ng/g KM’dir. 4-halkalı türlerin konsantrasyonlarının çoktan aza doğru değişim gösterdiği örnekleme noktaları sırasıyla UÜ-

2>UÜ-1>MK>GA>OA’dır. Taşıt egzozlarından çıkan PAH’ların çoğunlukla 4 halkalılılardan oluştuğu [49] ve havaalanı [36], motorlu taşıt yolları [50] vb. yakınındaki topraklarda 4 halkalı PAH’ların baskın olduğu dikkate alındığında kara ve deniz trafiğinin yoğun olduğu GK’da bu türlerin konsantrasyonlarının yüksek çıkması beklenen bir sonuçtur. MY noktasının 3 ng/g KM ile en düşük 4-halkalı PAH konsantrasyonuna sahip olduğu tespit edilmiştir. 5- ve 6-halkalı PAH türlerinin en baskın olduğu yer yine GK olup konsantrasyon değeri 915 ng/g KM olarak hesaplanmıştır. OA’da ise 5- ve 6- halkalı toplam PAH konsantrasyon değerinin 44 ng/g KM olduğu görülmüştür. Yapılan deneysel çalışmalara göre diğer örnekleme noktalarında 5- ve 6-halkalı PAH türlerine rastlanmamıştır.

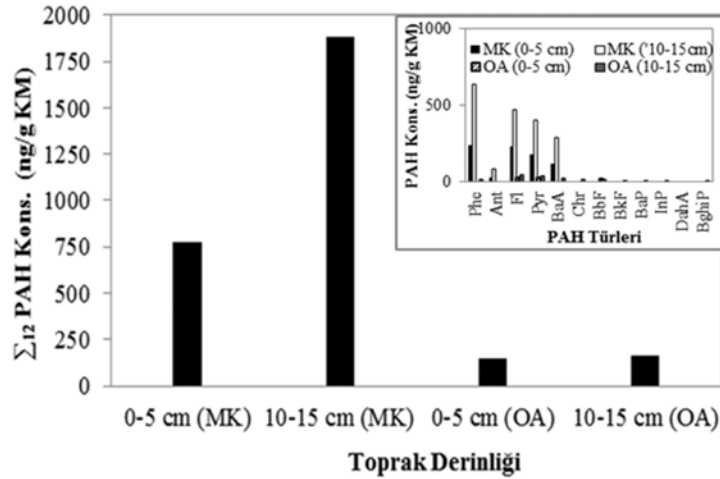
### 3.4. PAH Konsantrasyonlarının Toprak Derinliğe Bağlı Değişimi

(Variation of PAH Concentrations Depend on Soil Depth)

İki örnekleme noktasında (MK ve OA) 0-5 cm ve 10-15 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ölçülen  $\sum_{12}$  PAH konsantrasyonları Şekil 4’te gösterildiği gibidir. Mudanya



Şekil 3. Zeytinlik Arazilerdeki PAH Bileşiklerinin Halka Dağılımı (Ring distribution of PAH compounds in olive grove area soils)



Şekil 4.  $\sum_{12}$  PAH Konsantrasyonlarının Toprak Derinliğine Bağlı Değişimi (Variation of  $\sum_{12}$  PAH concentration depend on soil depth)

Kurşunlu (MK) noktasında derinlikle doğru orantılı olarak PAH konsantrasyonlarının arttığı tespit edilmiştir. 0-5 cm derinlikten alınan örneklerin  $\sum_{12}$  PAH konsantrasyonları 775 ng/g KM olarak görülürken 10-15 cm derinlikten alınan örneklerde  $\sum_{12}$  PAH konsantrasyonu 1878 ng/g KM'dir. Orhangazi Asilzade (OA)'den alınan örneklerin  $\sum_{12}$  PAH konsantrasyon değerleri 0-5 cm derinlikte 145 ng/g KM ve 10-15 cm derinlikte 163 ng/g KM olarak ölçülmüştür. Farklı ülkelerde toprak örneklerinde yapılan araştırmalarda derinliğe bağlı PAH konsantrasyon değişiminin farklılık gösterdiği görülmüştür. Örneğin, Lübnan'da yapılan bir çalışmada toprak derinliği arttıkça PAH konsantrasyonlarının azaldığı bulgulanmıştır [51]. Almanya [52] ve Türkiye topraklarında [53] yapılan çalışmalarda ise derinliğe bağlı olarak PAH kirliliğinin arttığı görülmüştür.

Yapılan çalışmalar PAH bileşiklerinin topraktan süzülerek alt katmanlara ilerlemesinin toprağın organik madde miktarı ve bileşiğin molekül ağırlığı ile ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır [54]. Nispeten düşük moleküler ağırlıklı PAH'lar toprakta daha derinlere inebilirken yüksek moleküler ağırlıklı olanlar ise toprağın üst katmanlarında birikme eğilimi göstermektedir [55]. Toprağın organik madde miktarının yüksek olması da bu bileşiklerin üst katmanlarda birikmesine neden olmaktadır [51]. Daha önce Karaca [21] tarafından yapılan çalışmada Mudanya toprağı için toplam organik karbon (TOK) değeri %2,8 Orhangazi toprağı için yaklaşık %1 olarak bulunmuştur. Topraktaki PAH'ların alt katmanda nispeten yüksek çıkmasının bir sebebi bu olabilir. Ayrıca, 5-6 halkalı ağır türlerden ziyade 3-, 4-halkalı türlerin toprak örneklerinde baskın olmasından dolayı PAH'ların derinlere daha kolay indiği düşünülmektedir.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Endüstriyel faaliyetlerin yoğun ve nüfusun fazla olduğu bölge topraklarındaki kirlenici tür ve miktarlarının ortaya konması kirlilik seviyesinin tespiti ve ıslah çalışmalarının planlanması açısından önem arz etmektedir. Topraklardaki PAH birikimlerinin önüne geçmek ve sınır değerlerin altında tutmak, bu bileşiklerin miktarlarını azaltıcı önlemlerin alınması çevre ve insan sağlığı için büyük önem taşımaktadır. Sunulan çalışmada öne çıkan başlıca sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Yedi nokta için  $\sum_{12}$  PAH konsantrasyonları 4-13993 ng/g KM aralığında değişim göstermiştir. Maksimum konsantrasyon seviyesi Gemlik Kampüsü (GK) noktasında elde edilmiş olup konsantrasyon değeri 13993 ng/g KM'dir. Öğrenci yurtları, otoyol, yerleşim alanı ve Gempport Limanı gibi birçok kirlenici kaynağın bu noktada PAH kirliliğinin yüksek çıkmasında etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Toprak örneklerindeki PAH konsantrasyon değerleri yönetmelikte yer alan sınır değerlerle karşılaştırılmıştır. Sadece GK noktasında BaA ve BaP konsantrasyonları sınır değerlerin üzerinde çıkmıştır. Tüm noktalarda 4 halkalı türlerin baskın olduğu tespit edilmiş olup PAH'ların ortalama %72'si 4 halkalı türlerden oluşmaktadır. MK ve

OA örnekleme noktalarında 10-15 cm derinlikteki PAH kirliliğinin 0-5 cm derinlikteki kirlilikten daha fazla olduğu görülmüştür. 3-4 halkalı türlerin baskın olmasının ve toprakların organik karbon içeriklerinin çok yüksek olmamasının bu duruma sebep olduğu düşünülmüştür.

Bitkilerle arıtma (fitoremediasyon) toprağın yapısındaki organik [56] ve inorganik [57] kirlenicilerin gideriminde kullanılan yerinde arıtma alternatiflerinden biridir. PAH kirliliğinin yüksek olduğu GK örnekleme noktasında bulunan topraklara, kirlenicileri bünyesine alan uygun bitki çeşitleri ekilerek kirlilik düzeyi düşürülebilir. Ayrıca, PAH'ı parçalayan bakterilerin ortama ekilmeleri ile ekosistemin dengelerin kurulmasına katkı sağlamakta mümkündür. Toprakta bulunan PAH'lar, gerek bitki ekimi gerekse bakteri ekimiyle azaltılarak yer altı sularına karışması ve ağaç kökleriyle emilerek zeytinin yapısına geçmesi önlenerek ve çevreye/insana verebileceği zararlar en aza indirgenmiş olacaktır.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Melis Hatipoğlu'na, Kübra Yılmaz'a ve Sabriye Sivri'ye örnek alımı ve laboratuvar aşamasındaki özverili çalışmaları için teşekkür ederim.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. ASTDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Toxicological profile for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). Atlanta (GA): Department of Health and Human Services, Public Health Service, USA, 1995.
2. IARC, International Agency for Research on Cancer, PAH as occupational carcinogens, in: BJORSETH, A., BECKER, G. (Eds.), PAH work atmosphere occurrence and determination. CRC Press, Boca Raton, FL, 1986.
3. GÜLÇİÇEK G., Topraktaki polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH) için sınır değerlerin uygulanabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 2011.
4. BAŞCI N., Cr (VI) İyonunun Süs Bitkileri Kullanılarak Toprakta Gideriminin Araştırılması,, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
5. LI Y.T., LI F.B., CHEN J.J., YANG G.Y., WAN H.F., BIN ZHANG T., ZENG X.D. ve LIU J.M., The concentrations, distribution and sources of PAHs in agricultural soils and vegetables from Shunde, Guangdong, China, Environ Monit Assess, 139 (1-3), 61-76, 2008.
6. BISPO A., JOURDAIN M.J., JAUZEIN M., Toxicity and genotoxicity of industrial soils polluted by polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), Org Geochem, 30 (8B), 947-952, 1999.
7. VILLANNEAU E.J., Saby N.P.A., ORTON T.G., JOLIVET C.C., BOULONNE L., CARIA G., BARRIUSO E., BISPO A., BRIAND O., ARROUAYS D., First evidence of large-scale PAH trends in French soils, Environ Chem Lett, 11 (1), 99-104, 2013.



8. Ortiz R., Vega S., Gutierrez R., Gibson R., Schettino B., Ramirez M.D., Presence of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Top Soils from Rural Terrains in Mexico City, *B Environ Contam Tox*, 88 (3), 428-432, 2012.
9. Bortey-Sam N., Ikenaka Y., Nakayama S.M.M., Akoto O., Yohannes Y.B., Baidoo E., Mizukawa H., Ishizuka M., Occurrence, distribution, sources and toxic potential of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface soils from the Kumasi Metropolis, Ghana, *Sci Total Environ*, 496, 471-478, 2014.
10. Nadal M., Schuhmacher M., Domingo J.L., Levels of PAHs in soil and vegetation samples from Tarragona County, Spain, *Environ Pollut*, 132 (1), 1-11, 2004.
11. Zhang Y.J., Wang J., Ge Z.G., Guo G.L., Gao S.M., Survey of polycyclic aromatic hydrocarbons and nitrated polycyclic aromatic hydrocarbons in Jiaying city, China, *Environ Earth Sci*, 71 (3), 1095-1103, 2014.
12. Wang X.T., Miao Y., Zhang Y., Li Y.C., Wu M.H., Yu G., Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in urban soils of the megacity Shanghai: Occurrence, source apportionment and potential human health risk, *Sci Total Environ*, 447, 80-89, 2013.
13. Bozlaker A., Muezzinoglu A., Odabasi M., Atmospheric concentrations, dry deposition and air-soil exchange of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in an industrial region in Turkey, *J Hazard Mater*, 153 (3), 1093-1102, 2008.
14. Kaya E., Dumanoglu Y., Kara M., Altiok H., Bayram A., Elbir T., Odabasi M., Spatial and temporal variation and air-soil exchange of atmospheric PAHs and PCBs in an industrial region, *Atmos Pollut Res*, 3 (4), 435-449, 2012.
15. Odabasi M., Falay E.O., Tuna G., Altiok H., Kara M., Dumanoglu Y., Bayram A., Tolunay D., Elbir T., Biomonitoring the Spatial and Historical Variations of Persistent Organic Pollutants (POPs) in an Industrial Region, *Environ Sci Technol*, 49 (4), 2105-2114, 2015.
16. Kutkan F., Zeytin ve zeytinyağı raporu, in T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Araştırma Planlama ve Koordinasyon Kurulu Başkanlığı Yayınları, 2002, Ankara.
17. TÜİK, Tarımsal İstatistik Göstergeler, Türkiye Ulusal İstatistik Kurumu, 2011.
18. Shi L.K., Zhang D.D. ve Liu Y.L., Incidence and survey of polycyclic aromatic hydrocarbons in edible vegetable oils in China, *Food Control*, 62, 165-170, 2016.
19. Baldantoni D., De Nicola F. ve Alfani A., Air biomonitoring of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons near a cement plant, *Atmos Pollut Res*, 5 (2), 262-269, 2014.
20. Moret S., Purcaro G. ve Conte L.S., Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) content of soil and olives collected in areas contaminated with creosote released from old railway ties, *Sci Total Environ*, 386 (1-3), 1-8, 2007.
21. Karaca G., Spatial Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) Concentrations in Soils from Bursa, Turkey, *Arch Environ Con Tox*, 70 406-417 2016.
22. Wang C.H., Wu S.H., Zhou S.L., Wang H., Li B.J., Chen H., Yu Y.N. ve Shi Y.X., Polycyclic aromatic hydrocarbons in soils from urban to rural areas in Nanjing: Concentration, source, spatial distribution, and potential human health risk, *Sci Total Environ*, 527 375-383, 2015.
23. Zhang H.B., Luo Y.M., Wong M.H., Zhao Q.G. ve Zhang G.L., Distributions and concentrations of PAHs in Hong Kong soils, *Environ Pollut*, 141 (1), 107-114, 2006.
24. Wilcke W., Global patterns of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soil, *Geoderma*, 141 (3-4), 157-166, 2007.
25. Wilcke W., Amelung W., Krauss M., Martius C., Bandeira A. ve Garcia M., Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) patterns in climatically different ecological zones of Brazil, *Org Geochem*, 34 (10), 1405-1417, 2003.
26. Salihoglu G., Salihoglu N.K., Aksoy E. ve Tasdemir Y., Spatial and temporal distribution of polychlorinated biphenyl (PCB) concentrations in soils of an industrialized city in Turkey, *J Environ Manage*, 92 (3), 724-732, 2011.
27. Karaca G. ve Tasdemir Y., Temporal and spatial variations in PAH concentrations in the sediment from the Nilufer Creek in Bursa, Turkey, *J Environ Sci Heal A*, 49 (8), 900-912, 2014.
28. Esen F., Tasdemir Y. ve Vardar N., Atmospheric concentrations of PAHs, their possible sources and gas-to-particle partitioning at a residential site of Bursa, Turkey, *Atmos Res*, 88 (3-4), 243-255, 2008.
29. Vardar N. ve Noll K.E., Atmospheric PAH concentrations in fine and coarse particles, *Environ Monit Assess*, 87 (1), 81-92, 2003.
30. Karaca G., Cindoruk S.S. ve Tasdemir Y., Migration of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in urban treatment sludge to the air during PAH removal applications, *J Air Waste Manage*, 64 (5), 568-577, 2014.
31. Salihoglu N.K., Salihoglu G., Tasdemir Y., Cindoruk S.S., Yolsal D., Ogulmus R. ve Karaca G., Comparison of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Levels in Sludges from Municipal and Industrial Wastewater Treatment Plants, *Arch Environ Con Tox*, 58 (3), 523-534, 2010.
32. Karaca G., Tasdemir Y., Application of various methods for removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from synthetic solid matrices, *Environ Technol*, 35 (14), 1840-1850, 2014.
33. Salihoglu N.K., Karaca G., Salihoglu G. ve Tasdemir Y., Removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from municipal sludge using UV light, *Desalin Water Treat*, 44 (1-3), 324-333, 2012.

34. Karaca G. ve Tasdemir Y., Migration of PAHS in food industry sludge to the air during removal by UV and TiO<sub>2</sub>, *Sci Total Environ*, 488 358-363, 2014.
35. Aichner B., Bussian B.M., Lehnik-Habrink P. ve Hein S., Regionalized concentrations and fingerprints of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in German forest soils, *Environ Pollut*, 203,31-39, 2015.
36. Ray S., Khillare P.S., Agarwal T. ve Shridhar V., Assessment of PAHs in soil around the international airport in Delhi, India, *J Hazard Mater*, 156 (1-3), 9-16, 2008.
37. Yang Y., Zhang X.X. ve Korenaga T., Distribution of polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs) in the soil of Tokushima, Japan, *Water Air Soil Poll*, 138 (1-4), 51-60, 2002.
38. Wang Y., Tian Z.J., Zhu H.L., Cheng Z.N., Kang M.L., Luo C.L., Li J. ve Zhang G., Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soils and vegetation near an e-waste recycling site in South China: Concentration, distribution, source, and risk assessment, *Sci Total Environ*, 439 187-193, 2012.
39. Hanedar A. G.E., Kayıkoğlu, G., Çelik, S. Ö., Cabi E., "Meriç-Ergene Havzası'nda Toprak ve Liken Örneklerinde PAH, PCB ve OCP Seviyelerinin Belirlenmesi", 6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu 2015, 7-9 Ekim 2015, İzmir- Türkiye, 319-331.
40. Tsai P.J., Shih T.S., Chen H.L., Lee W.J., Lai C.H. ve Liou S.H., Assessing and predicting the exposures of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their carcinogenic potencies from vehicle engine exhausts to highway toll station workers, *Atmos Environ*, 38 (2), 333-343, 2004.
41. Collins J.F., Brown J.P., Alexeeff G.V. ve Salmon A.G., Potency equivalency factors for some polycyclic aromatic hydrocarbons and polycyclic aromatic hydrocarbon derivatives, *Regul Toxicol Pharm*, 28 (1), 45-54, 1998.
42. TKKNK, Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik in Resmî Gazete, Sayı 27605. 2010.
43. MaliszewskaKordybach B., Polycyclic aromatic hydrocarbons in agricultural soils in Poland: Preliminary proposals for criteria to evaluate the level of soil contamination, *Appl Geochem*, 11 (1-2), 121-127, 1996.
44. Yin C.Q., Jiang X., Yang X.L., Bian Y.R. ve Wang F., Polycyclic aromatic hydrocarbons in soils in the vicinity of Nanjing, China, *Chemosphere*, 73 (3), 389-394, 2008.
45. Falay E.O., Tuna G., Altıok H., Kara M., Dumanoglu Y., Bayram A., Tolunay D., Elbir T. ve M. O., Spatial Variation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Air, Soil and Tree Components in Iskenderun Industrial Region, Turkey, *International Journal of Chemical, Environmental & Biological Sciences (IJCEBS)*, 263-267
46. Wang C.F., Wang X.P., Gong P. ve Yao T.D., Polycyclic aromatic hydrocarbons in surface soil across the Tibetan Plateau: Spatial distribution, source and air-soil exchange, *Environ Pollut*, 184 138-144, 2014.
47. Wang D.G., Chen J.W., Xu Z., Qiao X.L. ve Huang L.P., Disappearance of polycyclic aromatic hydrocarbons sorbed on surfaces of pine [*Pinus thunbergii*] needles under irradiation of sunlight: Volatilization and photolysis, *Atmos Environ*, 39 (25), 4583-4591, 2005.
48. Hawthorne S.B. ve Grabanski C.B., Vaporization of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from sediments at ambient conditions, *Environ Sci Technol*, 34 (20), 4348-4353, 2000.
49. Earl N., Cartwright C.D., Horrocks S.J., Worboys M., Swift S., Kirton J.A., Askan A.U., Kelleher H. ve D.J. N., Review of the fate and transport of selected contaminants in the soil environment draft, TGechnical Report P5-079/TR1, 2003.
50. Crepineau-Ducoulombier C. ve Rychen G., Assessment of soil and grass Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) contamination levels in agricultural fields located near a motorway and an airport, *Agronomie*, 23 (4), 345-348, 2003.
51. Krauss M., Wilcke W. ve Zech W., Polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in forest soils: depth distribution as indicator of different fate, *Environ Pollut*, 110 (1), 79-88, 2000.
52. Witter B., Winkler M. ve Friese K., Depth distribution of chlorinated and polycyclic aromatic hydrocarbons in floodplain soils of the river Elbe, *Acta Hydroch Hydrob*, 31 (4-5), 411-422, 2004.
53. Aydın M.E., Aydın S., Bedük F. ve Tekniay A., Atıksuların Sulamada Kullanımı: Toprak ve üründe kalıcı organik kirleticiler, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 20 (2), 2015.
54. Wang T., Wang Y.W., Fu J.J., Wang P., Li Y.M., Zhang Q.H. ve Jiang G.B., Characteristic accumulation and soil penetration of polychlorinated biphenyls and polybrominated diphenyl ethers in wastewater irrigated farmlands, *Chemosphere*, 81 (8), 1045-1051, 2010.
55. Wilcke W., Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soil - a review, *J Plant Nutr Soil Sc*, 163 (3), 229-248, 2000.
56. Xiao N., Liu R., Jin C.X. ve Dai Y.Y., Efficiency of five ornamental plant species in the phytoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH)-contaminated soil, *Ecol Eng*, 75 384-391, 2015.
57. Güven D.E., Akıncı G.G., Gök G., Chemical fractionation and transfer of Cr, Cu, Zn and Ni in grass grown soil amended with tannery sludge compost, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31 (3), 589-596, 2016.