

YAŞ ÇÖKELME ÖRNEKLERİNDE PAH, ELEMENTEL KARBON, ORGANİK KARBON KOMPOZİSYONUNUN VE KİRLİLİK KAYNAKLARININ BELİRLENMESİ

Melike DÖRTER^{1(*)}, Eda SAĞIRLI¹, Tuğçe DEMİR², Hatice KARADENİZ¹, Duran KARAKAŞ², Serpil YENİSOY-KARAKAŞ¹

¹AİBÜ, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Gölköy/Bolu,

²AİBÜ, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Gölköy/Bolu,

ÖZET

Bu çalışmada, sıralı yağmur örneklerinde Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH'lar), elementel karbon (EK) ve organik karbon (OK) kompozisyonları belirlenmiştir. Sıralı yaş çökeltme numuneleri Nisan 2013 – Mayıs 2013 tarihleri arasında Bolu ilinde yarı kırsal bir alan olan Abant İzzet Baysal Üniversitesi Gölköy kampüsünde manuel olarak toplanmıştır. Değişik sayıda (4-25) fraksiyonlarda toplanan 5 yağmur olayı sonucunda 72 örnek elde edilmiştir. Örnekler, kuvars fiber filtre ile süzölmüş, bu filtrenin bir kısmında EK/OK, kalan kısmında ise PAH tayinleri yapılmıştır. Ek olarak süzöntüye geçen PAH' lar da belirlenmiştir. PAH miktarları, süzöntüde SPE (Solid Phase Extraction) kartuşları ile partikül fazında ise sokslet ekstraksiyon tekniği kullanılarak ekstrakt edildikten sonra, HPLC-DAD ile tayin edilmiştir. OK/EK analizleri, kuvars filtreden 1,5 cm²'lik kesit alındıktan sonra termal/optik yöntemi ile çalışan Sunset marka OK/EK analizörü kullanılarak NIOSH 870 protokolü ile yapılmıştır. Literatürde ilk defa sıralı örnekleme yöntemi ile elde edilen örneklerde EK/OK ve PAH tayinleri yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, bölgede EK derişimlerinin OK derişimlerinden düşük olduğu gözlemlenmiştir. Zamansal olarak derişimlerin değişimleri incelendikten sonra, fraksiyonlardaki PAH bileşikleri derişimleri ve EK/OK derişimleri arasındaki korelasyonlara bakılmıştır. Ayrıca fraksiyonlardaki derişimlerin değişimleri yardımı ile bulut içi (rainout) ve bulut altı (washout) mekanizmalarından hangisinin etkin olduğu belirlenebilmiştir. Etkin olan süpürme ile de kaynakların lokal mi, yoksa uzun mesafeli mi oldukları açıklanmıştır. Ek olarak yağış tarihlerine ait geri yörünge (HYSPLIT back trajectory) hesaplamaları kullanılarak kaynak bölgeleri de belirlenmiştir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Sıralı Yağmur Örnekleme, Elementel Karbon, Organik Karbon, Polisiklik Aromatik Hidrokarbon

ABSTRACT

In this study, the concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), elemental carbon (EC) and organic carbon (OC) were determined in the sequential rain samples. Between April 2013 - May 2013, sequential wet deposition samples were collected manually in Abant İzzet Baysal University Campus. A total of 72 samples were collected from 5 rain

* melikedrtr@gmail.com

events sequentially. Samples were filtered through quartz fiber filters. Filter papers were used to determine the concentrations of EC/OC and PAHs. PAHs in the filtrate were also determined. PAHs in the filtrate were extracted with SPE (solid phase extraction) cartridges and PAHs on the quartz filters (particulate phase) were extracted by using soxhlet extraction technique. Samples were analyzed for PAHs using HPLC-DAD. Organic carbon and EC determinations were performed by using Sunset OC/EC analyzer according to NIOSH 870 protocol. 1,5 cm² punches of quartz filters were used for OC/EC determinations. Using fractional rain samples, EC/OC and PAHs were studied for the first time in literature. When the results were examined, it was observed that the concentrations of EC were lower than OC concentrations. Temporal variations of concentrations, correlations between the PAH compounds and EC/OC in the fractions were investigated. Concentration changes in the fractions can help to understand the dominant scavenging mechanism for the atmospheric pollutants. Rainout and washout mechanisms and the concentrations in fractions can give valuable information about the local and long range pollution sources. Source regions for each rain event were determined using HYSPLIT Back Trajectory calculations.

1. GİRİŞ

PAH'lar kanserojenik ve mutajenik özellikleri olan, biyolojik, fotokimyasal ve kimyasal bozunmaya dayanıklı, canlı organizmalara karşı çoğunlukla zehirli etkileri olan organik kirleticilerdendir (Köprü vd., 2012; Gaga vd., 2009; Okona-Mensah vd., 2005; Perera vd., 2005 IARC, 1987; Blackburn, 1986). Bu çevresel kirleticiler, genelde oksijenin yetersiz olduğu koşullardaki yanma reaksiyonları sonucunda oluşurlar. Volkanik aktiviteler ve orman yangınları PAH'ların başlıca doğal kaynakları arasında gösterilebilir. Ancak fosil yakıt tüketimi, petrol rafineri işlemleri, kok ve katran üretimi, endüstriyel işlemler ve motorlu araçlar gibi insan kaynaklı emisyonlar bu kirleticinin oluşumuna çok daha fazla katkıda bulunmaktadır (Köprü vd., 2012; Masih ve Taneja, 2006; Esen, 2006).

Atmosferik aerosoller önemli miktarda karbon içermektedir. Atmosferik partiküllerdeki karbon ise temel olarak elementel karbon (EK) ve organik karbon (OK) olarak sınıflandırılmaktadır. EK fosil yakıtların ve biyokütlenin tamamlanmamış yanmasından kaynaklanan birincil kirleticilerdir. OK ise tamamlanmamış yanma işlemlerinden; polen, bitki atığı, mikroorganizmalar gibi organik maddeleri atmosfere salan mekanik işlemlerden oluşabildiği gibi (birincil OK), uçucu organik bileşiklerinin oksidasyon ürünlerinin faz dönüşümü ile de oluşabilir (ikincil OK) (Custódio vd., 2014; Seinfeld and Pankow, 2003).

Yağ çökme, havada asılı bulunan partikül ve gaz fazlarındaki kirleticilerin yağışlar ile atmosferden uzaklaştırılması işlemidir. Yağ çökme bulut altı süpürme ve bulut içi süpürme şeklinde iki farklı mekanizmada incelenmektedir. Bulutların altında kalan atmosferde bulunan kirleticilerin yağış ile süpürülerek yeryüzüne ulaşmalarına bulut altı süpürme (washout), atmosferdeki gaz ve partikül fazlarında bulunan kirleticilerin bulut damlacıkları içinde çözünüp veya asılı kalıp yağışla atmosferden uzaklaştırılmasına bulut içi süpürme (rainout) denir (Demirel, 2010).

Bu çalışmanın amacı, Bolu ilinde yarı-kırsal bir örnekleme noktasında farklı fraksiyonlarda toplanan 5 yağmur olayındaki EK-OK ve PAH tayinlerini gerçekleştirmek, etkin olan süpürme, kirleticiler arası korelasyon ve kaynak bölgelerini belirlemektir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Örneklemeye noktası ve örneklerin toplanması

Sıralı yağmur örnekleri Nisan-Mayıs 2013 tarihleri arasında , Batı Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Bolu ilinde toplanmıştır. Çalışmanın yürütüldüğü nokta 40° 42.484' kuzey paraleli ve 31° 31.035' doğu meridyeninde yer almaktadır. Yaklaşık % 18'ini tarım alanları ve % 59' unu ise orman alanlarının oluşturduğu Bolu; coğrafi yapısı, taşıt kaynaklı emisyonlar ve ısınma amaçlı yaygın kömür kullanımından dolayı hava kirliliği problemiyle oldukça sık karşılaşılan bir ildir.

Yağmur örnekleri, Abant İzzet Baysal Üniversitesi Gölköy Kampüsü Fen-Edebiyat Fakültesi Laboratuvarlarının önünde bulunan açık alanda toplanmıştır. Örneklerin toplanmasında cam huni, cam şişe ve metal tutacaktan oluşan manuel bir sistem kullanılmıştır. Örnek toplama şişeleri kullanımdan önce sırası ile; aseton, n-hekzan ve deiyonize su ile yıkanmış ve 400 °C'de yakılmıştır. Toplanan yağmur numuneleri analiz zamanına kadar +4 °C'de tutulmuşlardır.

Örneklemeye süresince 4 ile 25 fraksiyonlarda değişen sayıda 5 yağmur olayı sıralı olarak toplanmıştır. Toplamda 72 örnek elde edilmiştir. Örnekler, kuvars fiber filtre ile süzölmüştür. Bu filtrenin bir kısmında EK/OK, kalanında da PAH bileşiklerine bakılmıştır. Ek olarak, süzöntüdeki PAH'lar da belirlenmiştir.

2.2. Kullanılan kimyasallar ve malzemeler

Aseton, asetonitril, diklorometan, etil asetat, petrol eter, alüminyum oksit, florisil, sodyum sülfat, cam yünü, n-hekzan, metanol ve dimetil formamid (99,999% saflıkta), Merck (Almanya) firmasından, katı faz ekstraksiyon kartuşları (Isolute C18, 500 mg, 3 mL SPE kartuş) Biotech (ABD) firmasından temin edilmiştir. Katı faz ekstraksiyon sistemi Agilent firmasından, yüksek saflıkta azot gazı Habaş (Türkiye) firmasından alınmıştır.

2.3. OK-EK analizleri

OK/EK analizleri, termal/optik Sunset marka OK/EK analizörü kullanılarak yapılmıştır. Kuvars filtreden 1,0 cm x 1,5 cm boyutlarında dikdörtgen kesilen parça özel kuvars kaşık üzerine yerleştirilerek cihaza verilmiştir. Bu analizler için NIOSH 870 protokolü kullanılmıştır. Fırın helyum gazıyla dolduğunda kademeli olarak sıcaklık 870°C'ye kadar çıkarılmaktadır. Bu sıcaklık organik bileşiklerin termal olarak desorbsiyonunun gerçekleştiği ve piroliz ürünlerinin mangan dioksitle fırında oksitlendiği sıcaklıktır. Mangan dioksitle oksitlenen karbon nicel olarak CO₂ gazına dönüştürülmektedir. Oluşan CO₂ oksitlenme fırınından helyum gazıyla süpürülmekte ve hidrojen gazıyla karıştırılmaktadır, ardından karışım ısıtılmış nikel katalizörüne sürüklenmektedir. Burada CO₂ gazı metan gazına dönüştürülmektedir. Daha sonra oluşan metan, alev iyonizasyon dedektörü (FID) kullanılarak ölçülmektedir. Fırının birinci kademeli sıcaklık artışı tamamlandıktan sonra, fırın 550°C'ye soğutulmakta ve Helyum/Oksijen taşıyıcı gaz karışımı kullanılmaya başlanmaktadır. İkinci kademeli sıcaklık artışıyla filtredeki elementel karbon oksitlenme fırınında oksitlenmektedir. Bu işlemden sonra elementel karbon, organik karbondaki olduğu gibi metana çevrilerek analiz tamamlanmaktadır.

2.4. PAH analizleri

Süzüntüde bulunan PAH' lar katı faz ekstraksiyonuna tabi tutulmuştur. Bu metot, klasik sıvı-sıvı ekstraksiyon ile karşılaştırıldığında daha hızlı, az çözücüye ihtiyaç duyan, emülsiyon oluşumun şekillenmediği, daha temiz ekstrakt ve yüksek geri kazanım (recovery) oranları elde edildiği daha ucuz bir tekniktir (Yavuz ve Aksoy, 2006). Katı faz ekstraksiyonunda C-18 silika bazlı katı faz (500 mg/6mL) içeren kartuş kullanılmıştır. Tutucu maddenin aktif hale getirilmesi ve matriksteki maddeler ile tekrarlanabilir etkileşim için gerekli ortamın sağlanabilmesi amacıyla kartuşlar sırasıyla 10 mL (1:1) asetonitril: diklorometan, 5 mL metanol ve 5 mL deiyonize su ile şartlandırılmıştır. Şartlandırılan kartuşa örnekler eklenerek analitlerin kartuşa tutulması sağlanmıştır. Yüklemeden sonra kartuş 5'er mL olarak verilmek üzere 10 mL deiyonize su ile yıkanıp, kolondaki suyun kuruması için 30 dakika vakum altında tutulmuştur. Son olarak, kartuş 9 mL (1:1) asetonitril:diklorometan, 3 mL n-hekzan çözücülerile yıkanarak, katı faz üzerinde tutunan maddeler ayrıştırılmıştır. Bu işlemin ardından, örnek azot gazı altında uçurulmuş, ardından 1 mL' ye asetonitril ile tamamlanmıştır.

Partikül fazındaki PAH' lar ise 24 saat süresince petrol eter(PE)-diklorometan karışımı (DCM) (4:1) kullanılarak sokslet ekstraksiyon tekniği ile ekstrakte edilmiştir. Ekstraksiyon basamağında büyük miktarlarda çözücü kullanıldığından, ekstraksiyon sonrası döner-buharlaştırıcı kullanılarak fazla çözücü uzaklaştırılmıştır. Bu yöntem ile 1 mL ye kadar konsantrite edilmiş olan tüm örnekler balonun çeperlerinin DCM: PE çözücü karışımı ile birkaç kez yıkanmasının ardından 15 mL' lik şişelere aktarılmıştır. Analizin yanlış sonuçlanmasına neden olabilecek, aranan maddenin tespit edilmesini engelleyebilecek veya analiz cihazlarının kirlenmesine neden olabilecek kirlilikleri (impurity) uzaklaştırmak için temizleme prosedürü uygulanmıştır. Bu amaç için 10 cm uzunluğa ve 0.5 cm çapa sahip kolon; cam yünü, 1 gram alüminyum oksit, 1 gram florisil ve 1 gram sodyum sülfat kullanılarak hazırlanmıştır (Şekil 1). Sodyum sülfat ve cam yünü kullanılmadan önce hekzan ile yıkanıp, fırında kurutulup desikatörde saklanmıştır. Temizleme sisteminde alüminyum oksit, metal oksit ve suyun adsorbe edilmesi; florisil uçucu ve yarı-uçucu organik maddelerin ayrılması ve kirliliklerin uzaklaştırılması; sodyum sülfat ise örneklerdeki su ve nemin azaltılması amaçlarıyla kullanılmıştır.



Şekil 1. Temizleme kolonu

Hazırlanan kolon, 10 mL hekzan ile aktif hale getirilmiştir. Örneklerin de kolona yüklenmesinin ardından 40 mL etil asetat-hekzan karışımı (1:1) kolondan geçirilerek toplanmıştır. Elde edilen karışıma PAH'ların buharlaşmasını engellemek için 50 µL dimetilformamid (DMF) eklenmiş ve azot altında uçurulmuştur. Ardından asetonitril ile 0,5 mL'ye tamamlanmıştır.

PAH bileşiklerinin tayininde Agilent marka 1100 serisi yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) kullanılmıştır. HPLC çalışma şartları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. HPLC çalışma şartları

Parametreler	Açıklama
Kolon	Zorbax Eclipse PAH 4.6x250mm, 5 µm
Dedektör	DAD
Dalgaboyu	220 nm
Enjeksiyon hacmi	20 µL
Fırın Sıcaklığı	40°C
Mobil Faz	Su:Asetonitril 0-0,66 dak 60:40 akış: 2 mL/dak 0,66-36 dak 0:100 akış: 2 mL/dak 36-48 dak 60:40 akış: 2 mL/dak 38-40 dak 60:40 akış: 2 mL/dak

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. Verilerin istatistiksel değerlendirilmesi

PAH'lar için standart ekleme metodu ile 10 ppb, 50 ppb, 100 ppb, 250 ppb, 500 ppb ve 1000 ppb konsantrasyonlarında standartlar hazırlanıp kalibrasyon grafiği çizilmiştir. Doğrusallık 0,9904 ile 0,9983 arasında değişmektedir. Algılama ve tayin limitleri 50 ppb'lik standardın 10 defa analiz edilmesi ile elde edilen standart sapmanın sırası ile 3 ve 10 ile çarpılması sonucu bulunmuştur (Tablo 2).

3.2. Yağmur örneklerinin fraksiyonel incelenmesi

Bir yağmur olayının fraksiyonel olarak incelenmesi, bize yağmur olayında bulut ile taşınma (rainout) veya süpürülme (washout) işlemlerinden hangisinin gerçekleştiği hakkında bilgiler vermektedir.

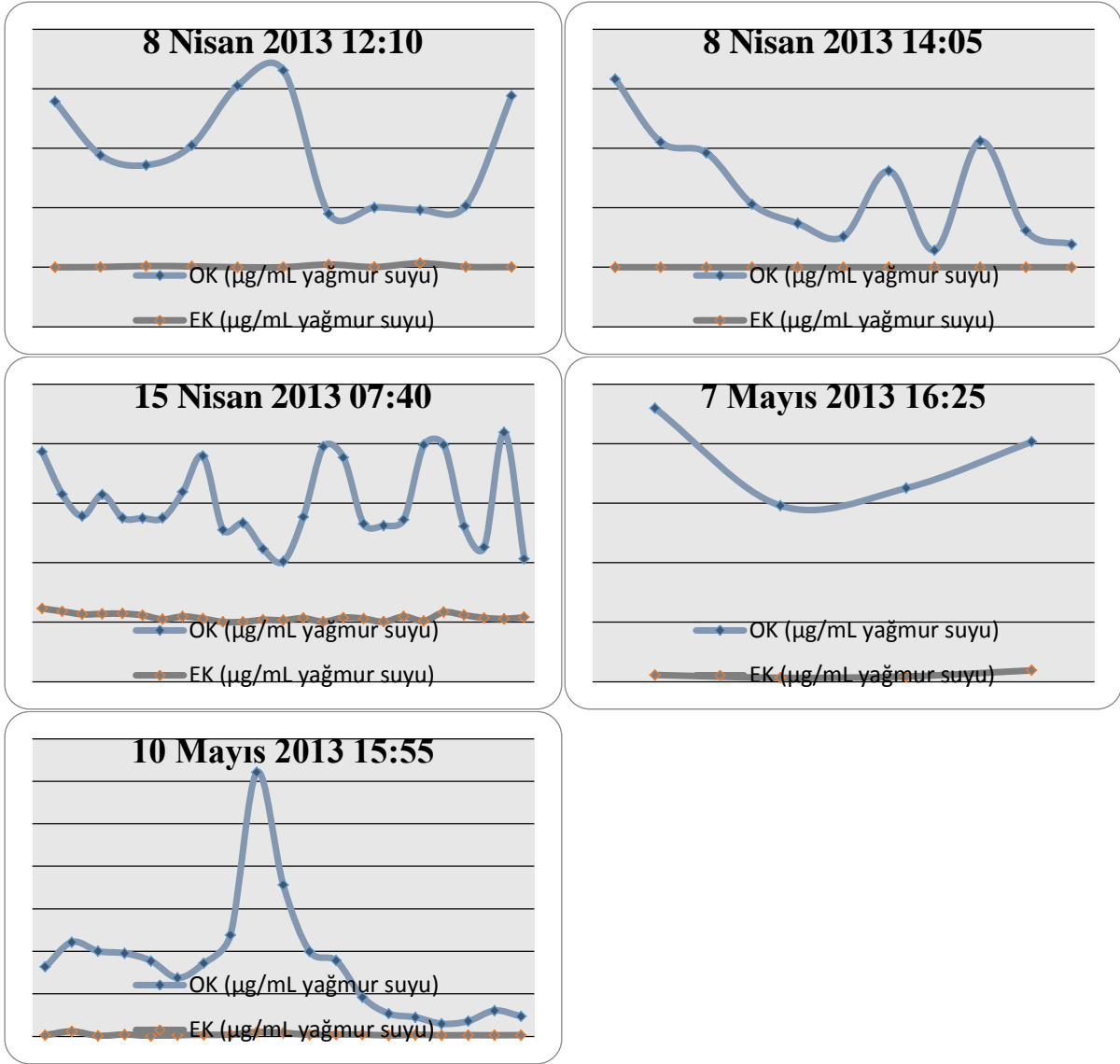
Tablo 2. PAH bileşiklerinin hesaplanan algılama ve tayin limitleri değerleri (Köprü vd., 2012).

PAH	Algılama limiti (LOD) ng/mL	Tayin limiti (LOQ) ng/mL
Naftalen (Nap)	21,8	72,6
Aseanaftilen (Ace)	27,6	92,0
Asenaften (Acy)	7,15	23,8
Floren (Flu)	8,29	27,6
Fenantren (Phe)	14,8	49,4
Antrasen (Ant)	49,3	164
Floranten (Flt)	52,9	176
Piren (Pyr)	10,5	35,0
Krizen (Chr)	349	1164
Benzo(a)antrasen (BaA)	0,75	2,49
Benzo(b)loranten (Bbf)	18,9	63,0
Benzo(k)loranten (BkF)	1,72	5,76
Benzo(a)piren (BaP)	0,41	1,37
Indeno(1,2,3-cd)piren (Ind)	1,61	5,37
Dibenzo(a,h)antrasen (DaHa)	1,09	3,66
Benzo(g,h,i)perilen (BgP)	0,31	1,04

Fraksiyon sayısı arttıkça, yağış sırasında doğrudan örnekleri etkileyen bir kaynak yoksa, kirlenici konsantrasyonunun düşmesi beklenmektedir. Ancak Şekil 2’de verilen OK ve EK konsantrasyonlarındaki fraksiyonlara bağlı değişimler belirgin bir azalmayı göstermemektedir. Bunun en önemli nedeni örnekleme döneminin ilkbahara denk gelmesi ve ormanlık bir alanda örnekleme yapılması nedeni ile atmosferde yüksek miktarlarda polen bulunmasıdır (Şekil 3). Örnekler süzülürken, kuvars filtreler üzerinde toplanmış olan polenler çıplak gözle görülebilecek düzeylerde gözlemlenmiştir. Yüksek polen miktarı, yağmurla yıkanan organik içerikli aerosollerin gözlemlenmesini engellemiştir. Ancak, elementel karbonun tek kaynağı yanma olayları olduğundan ve örneklerde düşük miktarlarda da olsa ölçülebilmiş olmaları, Bolu şehir atmosferi, TEM ve D-100 Karayollarının ve uzun mesafeli kirlenici taşınımının EK konsantrasyonuna katkıda bulunduğunu göstermektedir.

3.3. Fraksiyonlarda PAH dağılımı

Fraksiyonlardaki PAH bileşiklerinin dağılımı için örnek olarak 15 Nisan 2013 tarihli yağmur olayı kullanılmıştır. Toplanan diğer yağmur olaylarında da benzer dağılım görülmüştür. Şekil 4 incelendiğinde, PAH bileşiklerinin çoğunlukla fraksiyonlarda neredeyse sabit kaldığı görülmektedir. Bu iki şekilde yorumlanabilir: (1) PAH bileşikleri için rainout mekanizması daha etkin veya (2) PAH içeren partiküller düşük çözünürlükleri nedeniyle washout (bulut altı süpürme) mekanizması ile verimli olarak yıkanamıyor. Sonuçlar her iki olasılığı da desteklese de bulutlarla uzun mesafeli veya bölgesel taşınımın etkin olduğu (rainout) kanaati oluşmaktadır.

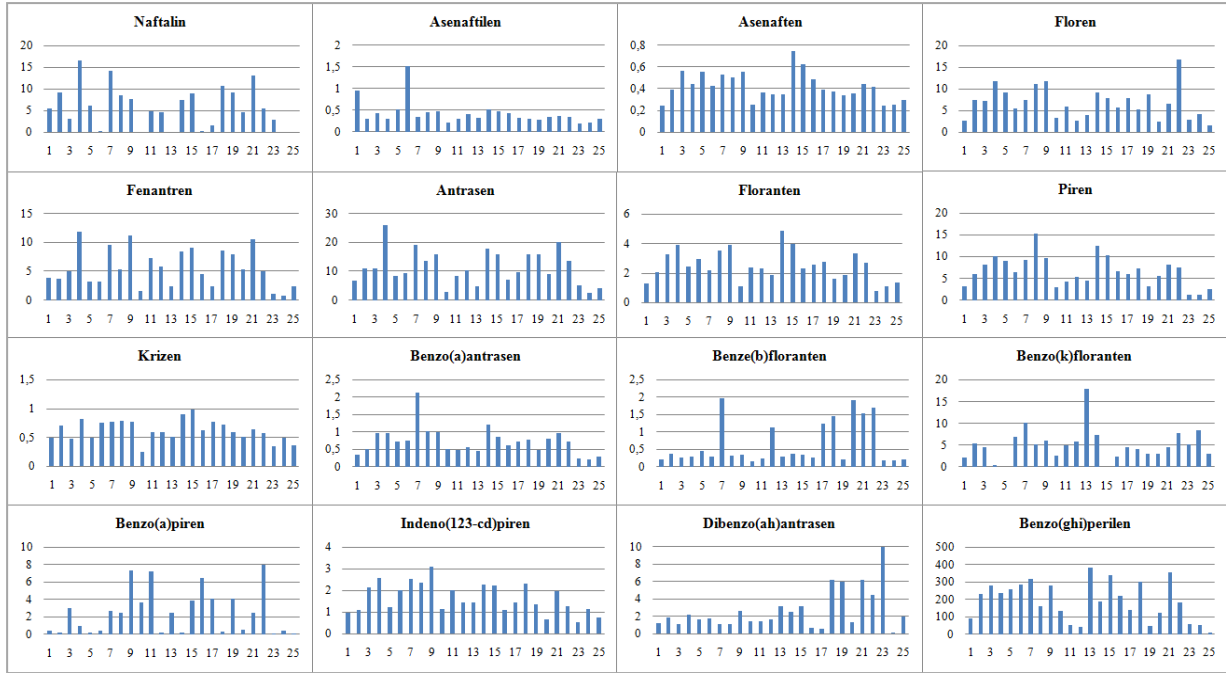


Şekil 2. Sıralı yağmur örneklerinde OK-EK değerleri



Şekil 3. 07.05.2013 tarihli su birikintisi üzerinde polen görüntüsü

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



Şekil 4. Fraksiyonlara göre PAH bileşiklerinin dağılımları (ng/mL yağmur suyu)

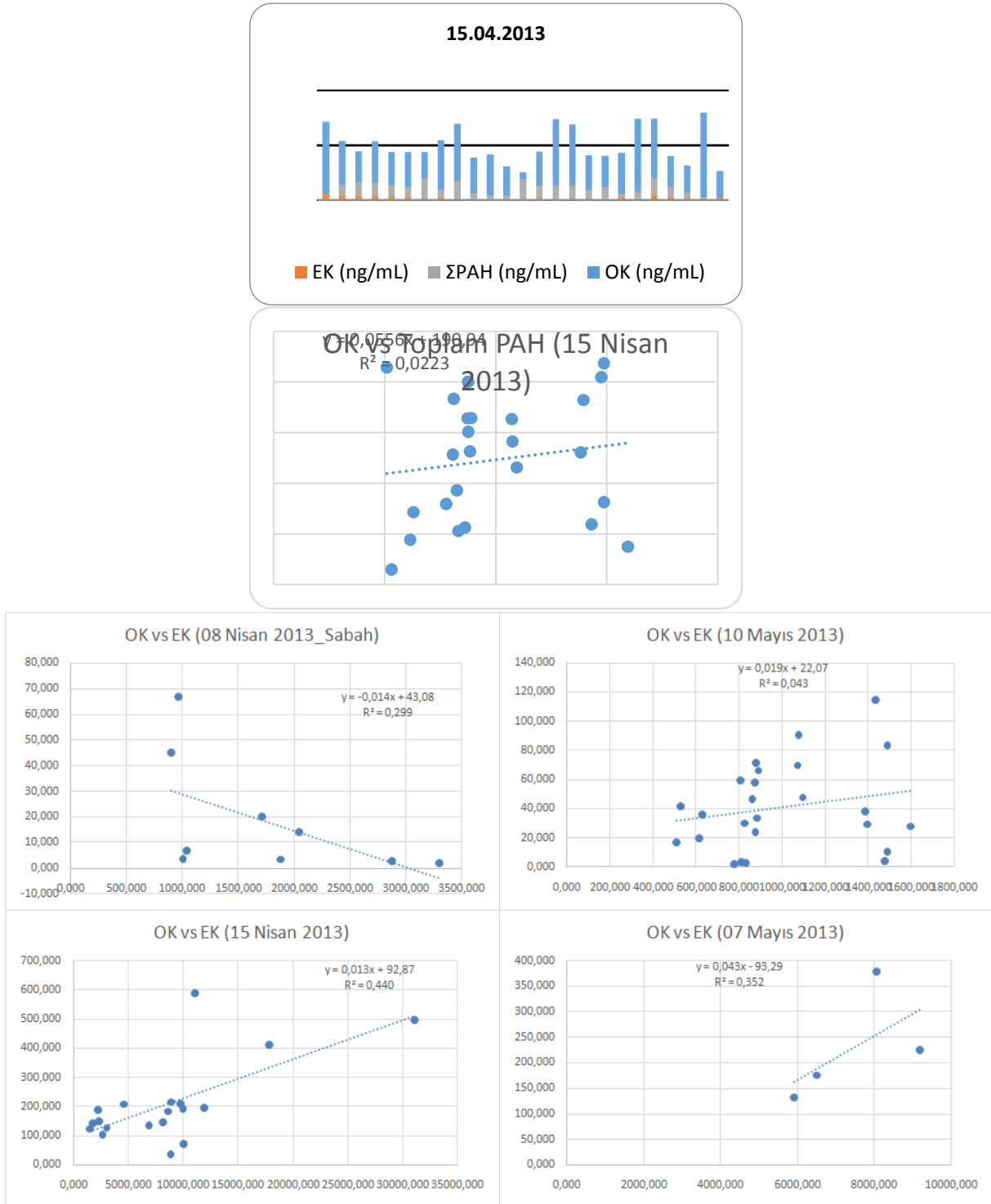
Şekil 7’de verilen geri yörünge grafiklerine bakıldığında (15 Nisan 2013), hava kütlelerinin; kuzey (500 m), kuzey batı (1500 m) ve batı (3000 m) yönlerinden geldiği görülmektedir. Özellikle 1500 m’den gelen hava kütlelerinin zaman harcayacağı bölgeler dikkate alındığında, birinci olasılığın (rainout) daha gerçekçi olduğu anlaşılabilmektedir. İyonik kirlleticilerde olduğu gibi, ilk fraksiyonlarda yüksek, ilerleyen fraksiyonlarda azalan bir eğilim görülmüş olsaydı, o zaman PAH bileşiklerine lokal kaynaklarında etkisinin olabileceği düşünülebilirdi (veya washout mekanizmasının etkin olduğu).

Şekil 5 incelendiğinde, örneklerin hiç birinde OK ile Toplam PAH arasında önemli bir korelasyon görülemediği görülmüştür. Aynı durum EK ile Toplam PAH korelasyonlarında da gözlemlenmiştir. Organik karbon sonuçlarının polenlerden etkilendiği bilindiğine göre, en azından EK ile PAH bileşikleri benzer kaynaklara sahip olduklarından ve polenden etkilenmediklerinden dolayı bir korelasyon göstermeleri gerekirdi. EK ve PAH miktarlarının korelasyon göstermemelerinin tek nedeni atmosferden yağmurla süpürülme mekanizmalarının farklı olmasındandır.

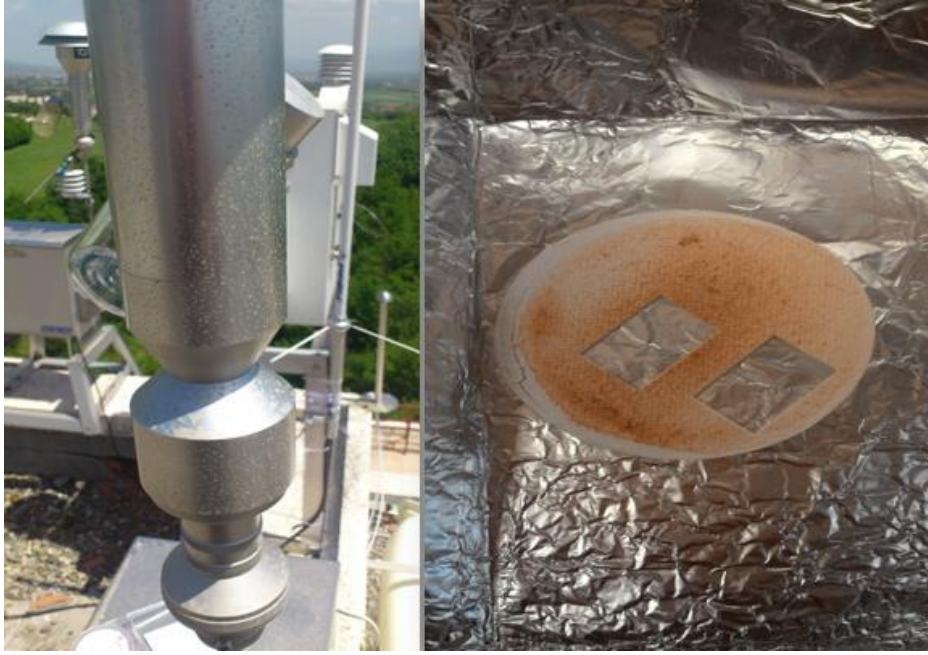
3.4. Yağmur örneklerinin Back-Trajectory hesaplarına göre incelenmesi

Yağmur olayları HYSPLIT geri yörüngeleri incelendiğinde 08.04.2013 ve 10.05.2013 tarihli örneklemelerde yağışların Akdeniz ve Sahra üzerinden geldiği belirlenmiştir. Sahra bölgesinden gelen hava akımının etkileri gözlemlenebilecek seviyededir (Şekil 6). Diğer iki yağmur olayında ise özellikle Karadeniz üzerinden gelen yağışlar etkili olmuştur.

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



Şekil 5. Fraksiyonlardaki organik karbon-toplam PAH ve OK vs EK korelasyonları

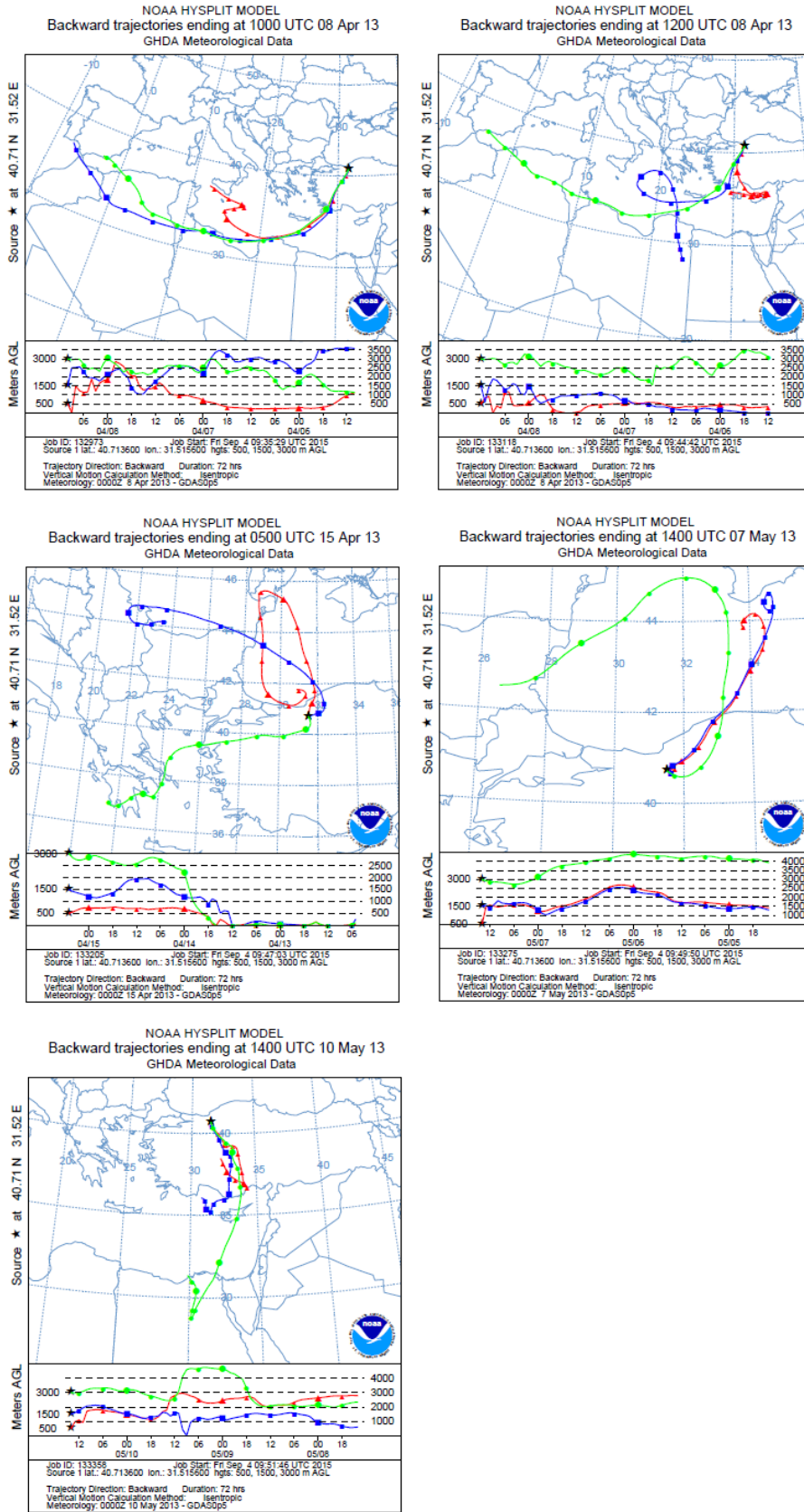


Şekil 6. 08.04.2013 tarihli yağış sonrasındaki ve filtredeki sahra tozu görüntüleri

4. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, örnekleme döneminde gözlemlenen yüksek polen miktarı nedeniyle fraksiyonlar arasında EK-OK konsantrasyonlarında belirgin değişimler gözlemlenememiştir. Yılın farklı dönemlerinde, daha fazla yağmur olayı fraksiyonel olarak toplanmalı ve böylece fraksiyonel ve kirleticiler arası ilişki daha kapsamlı incelenmelidir.

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



Şekil 7. HYSPLIT geri yörunge modelleri

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Abant İzzet Baysal Üniversitesi BAP 2015.03.03.869'nolu projesi kapsamında desteklenmektedir.

KAYNAKLAR

Blackburn, G.M. ve Kellard B., 1986. Chemical carcinogens-Part II. Chemical Industry 20, 687-695.

Custódio, D., Cerqueira, M., Fialhob, P., Nunes, T., Pio, C., Henriques, D., 2014. Wet deposition of particulate carbon to the Central North Atlantic Ocean. Science of the Total Environment 496, 92-99.

Demirel, E., 2010. Erzurum Atmosferindeki Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların (PAH) Örneklenmesi ve Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.

Esen, F., 2006. Bursa Atmosferi'ndeki Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların (PAH'ların) Gaz/Partikül Konsantrasyon Dağılımları ve Kuru Cökeltme Miktarları. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye.

Gaga, E.O., Tuncel, G., Tuncel, S.G, 2009. Sources and wet deposition fluxes of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in a 1000 m high urban site at the Central Anatolia (Turkey). Environmental Forensics 10, 286-298.

Köprü, İ., Karadeniz, H., Kanca, E., Kılıçer, Y.Ç., Özlü, E., Karakaş, D., Yenisoy-Karakaş, S., 2012. Sıralı (fraksiyonel) yağmur örneklerinde polisiklik aromatik hidrokarbon ve organoklorlu pestisit kompozisyonlarının incelenmesi. Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi 1, 1-7.

Masih, A. ve Taneja, A., 2006. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) concentrations and related carcinogenic potencies in soil at a semi-arid region of India, Chemosphere 65, 449-456.

Okona-Mensah, K.B., Battershill, J., Boobis, A., Fielder, R., 2005. An approach to investigating the importance of high potency polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the induction of lung cancer by air pollution. Food and Chemical Toxicology 43, 1103-1116.

Perera, F., Tang, D.L., Whyatt, R., Lederman, S.A., Jedrychowski, W., 2005. DNA damage from polycyclic aromatic hydrocarbons measured by benzo[a]pyrene-DNA adducts in mothers and newborns from Northern manhattan, The World Trade Center area, Poland, and China. Cancer Epidemiology Biomarkers and Prevention 14, 709-714.

Seinfeld, JH. ve Pankow, JF., 2003. Organic atmospheric particulate material. Annu Rev Phys Chem 54, 121-40.

Yavuz O. ve Aksoy A., 2006. Örnek Hazırlamada Katı Faz Ekstraksiyonu Metodu. F.Ü. Sağlık Bil. Dergisi 20(3), 259-269.