

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**ANTALYA KENT ATMOSFERİNDEKİ TOZ MİKTARININ
GELİŞTİRİLEN ÖRNEKLEME YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ**

Ahmet Mustafa TEPE

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

HAZİRAN 2023

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**ANTALYA KENT ATMOSFERİNDEKİ TOZ MİKTARININ
GELİŞTİRİLEN ÖRNEKLEME YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ**

Ahmet Mustafa TEPE

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

HAZİRAN 2023

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ANTALYA KENT ATMOSFERİNDEKİ TOZ MİKTARININ
GELİŞTİRİLEN ÖRNEKLEME YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

Ahmet Mustafa TEPE
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

Bu tez TUBİTAK tarafından 117Y026 ve 122Y257 nolu projeler ile desteklenmiştir.

HAZİRAN 2023

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ANTALYA KENT ATMOSFERİNDEKİ TOZ MİKTARININ
GELİŞTİRİLEN ÖRNEKLEME YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

Ahmet Mustafa TEPE
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

Bu tez 16/06/2023 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Güray DOĞAN (Danışman)	[imza]
Prof. Dr. Gülen GÜLLÜ	[imza]
Doç. Dr. Sema YURDAKUL	[imza]
Doç. Dr. Ayça ERDEM ÜNŞAR	[imza]
Doç. Dr. Murat VAROL	[imza]

ÖZET

ANTALYA KENT ATMOSFERİNDEKİ TOZ MİKTARININ GELİŞTİRİLEN ÖRNEKLEME YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

Ahmet Mustafa TEPE

Doktora Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Güray DOĞAN

Haziran 2023; 143 sayfa

Bu çalışma partiküler maddeye (PM) bağlı metal örneklemesinde kullanılan konvansiyonel yöntem, düşük hacimli ve doğa tabanlı alternatif yaratmak amacıyla bir örnekleyici geliştirilmesi ve bunun performansının konvansiyonel sistemlerle birlikte kentsel bir atmosferde denenmesi üzerine kurulmuştur. Bu kapsamda konvansiyonel yöntemdeki filtrenin yerine biyo-materyal olarak karayosunu kullanılmıştır. Geliştirilen örnekleyici konvansiyonel yöntemde belirli bir hacim çekişinde ön impaktör görevi görerek 10 µm aerodinamik çapa sahip partiküler maddeden (PM₁₀) büyük partikülleri örnekleme alanının dışında tutmakta ve örnekleme yerindeki rüzgâr ile taşınan partikülün enerjisini kullanmaktadır. Geliştirilen örnekleyici yüzeyindeki hava direnci kaynaklı enerji düşüşünü dengelemek ve örnekleyici içerisinde kısmi bir negatif basınç oluşturmak için küçük bir fan kullanılmıştır.

Tez kapsamında laboratuvar ortamında yetiştirilmesi hedeflenen karayosunu kullanılması hedeflenmiş olsa da kontaminasyon sebebiyle bu işlem başarısız olmuş; B planı olarak doğada kendiliğinden yetişen karayosunları temin edilmiş ve bu karayosunları ön işlemden geçirildikten sonra örnekleyicinin içerisine yerleştirilmiştir.

Geliştirilen cihazlar tez kapsamında Antalya kent merkezinde iki ayrı kampanya periyodunda 8 aylık bir süreçte (her biri bir ay olmak üzere 8 ayrı örnekleme döneminde) kullanılmıştır. Aynı dönemde konvansiyonel cihazlar ile birinci kampanya periyodunda (21/09/2021-21/12/2021) her gün bir PM_{2.5} ve bir PM_{2.5-10} örneği toplanmıştır. İkinci kampanya periyodunda (19/01/2022-19/06/2022) ise konvansiyonel örnekleyiciler ile her üç günde bir kesintisiz 72 saat olacak şekilde bir PM_{2.5} ve bir PM_{2.5-10} örneği toplanmıştır. Birinci kampanya periyodunda toplanan örneklerin elementel analizleri ODTÜ Merkezi Laboratuvarı'nda, ikinci kampanya periyodunda toplanan örneklerin analizleri ise IYTE Tümlüşik Araştırma Merkezlerinde ICP-MS ve ICP-OES cihazları ile yapılmıştır. Mevsimsel geçişlerdeki kirletici kaynaklarının etkisini incelemek için ikinci kampanya periyodunda toplanan örneklerin sadece 21/03/2022 ile 19/06/2022 tarihleri arasındaki üç aylık dönemde toplanan kısmı analiz edilmiştir.

İlk kampanya dönemi sonuçları incelendiğinde doğadan toplanarak ön işlemden geçirilen karayosunlarının maruz kaldıkları topraktan ayrıştırılamamasından dolayı sonuçlar konvansiyonel sistemlerden farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. İkinci kampanya dönemindeki son iki örnekleme sürecinde karayosunlarının ön yıkama prosedürü geliştirilmiştir. Ancak yıkama işlemindeki değişikliklerin sonuçlara olumlu olarak yansımadağı gözlenmiştir. Genel olarak Na ve As gibi bazı elementlerin

konsantrasyon değişimlerinde konvansiyonel ve geliştirilen örnekleme sistemleri sonuçları arasında benzerlikler tespit edilmiştir. Yapılan toprak zenginleştirme faktörü ve kaynak belirleme analizlerinde, karayosunlarının toprak kökenli elementleri bünyelerinde daha fazla bulundurduğu ve antropojenik etkilerden daha az etkilendiği tespit edilmiştir.

Geliştirilen örnekleycinin homojen bir örnekleme ortamı yaratamaması ve artan rüzgâr hızı ile örnekleme hızının fazlalaşması sebebiyle oluşan sapmanın düzeltilememesi, konvansiyonel örnekleyci ile elde edilen sonuçlar arasında farklılık gözlenmesinin diğer nedenleri olarak ön plana çıkmaktadır.

Yapılan kaynak belirleme çalışması sonrasında toprak faktörünün, geliştirilen örnekleme sisteminde kullanılan karayosunlarının bünyesinde yer almasının bir sapmaya neden olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle diğer faktörlerin (antropojenik, yanma ve yağ yanması) daha düşük katkılarla da olsa kaynakların zaman içerisindeki dağılımını benzer şekilde göstermiş olmaları değerli bulunmuştur.

Geliştirilen örnekleyci ile daha uzun çalışmalar yapılarak belirsizliklerin giderilmesinin faydalı olacağı; ayrıca karayosunlarındaki geri plan konsantrasyonu genel olarak düşük PAH ve PCB gibi antropojenik yarı uçucu kirleticilerin tayini konusunda çalışmalar gerçekleştirilebileceği düşünülmektedir.

ANAHTAR KELİMELEER: Antalya, biyo-izleyici, ICP/MS, kentsel hava kirliliği, örnekleme

JÜRİ: Doç Dr. Güray DOĞAN

Prof. Dr. Gülen GÜLLÜ

Doç. Dr. Sema YURDAKUL

Doç. Dr. Ayça ERDEM ÜNŞAR

Doç. Dr. Murat VAROL

ABSTRACT

DETERMINATION OF DUST IN THE URBAN ATMOSPHERE OF ANTALYA USING A DEVELOPED SAMPLING METHOD

Ahmet Mustafa TEPE

Ph.D. Thesis in Environmental Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Güray DOĞAN

June 2023; 143 pages

This study aims to develop a nature-based sampler as an alternative to conventional particulate matter (PM) sampling and evaluate its performance in an urban atmosphere alongside conventional systems. In this context, moss has been used as a biomaterial instead of a filter in the conventional method. In the conventional method, using the energy of the particle carried by the wind- instead of the region holding particles larger than the aerodynamic diameter of 10 micrometers (PM₁₀), which is a pre-impactor at a certain volume drawn- inspired by PM emission control devices, pre-impactors have been designed for different wind speeds. A small fan was used to balance the energy loss due to friction and create a partial negative pressure inside the device.

Although the aim was to use moss cultivated in a laboratory environment, this process failed due to contamination. As a contingency plan, naturally, growing mosses were provided, and these mosses were placed inside the sampler after pre-treatment.

The developed devices were used in two separate campaign periods in the city center of Antalya over eight months (with eight sampling periods, each lasting one month). During the first campaign period (21/09/2021-21/12/2021), one PM_{2.5} and one PM_{2.5-10} sample were collected daily using conventional samplers. In the second campaign period (19/01/2022-19/06/2022), one PM_{2.5} and one PM_{2.5-10} sample were collected every three days continuously for 72 hours using conventional samplers. The elemental analyses of the samples collected during the first campaign period were conducted at the Middle East Technical University (METU) Central Laboratory, while the analyses of the samples collected during the second campaign period were conducted at the IzTech Integrated Research Centers. All analyses were performed using ICP-MS and ICP-OES devices. Due to budget constraints, only a portion of the samples collected during the second campaign period, specifically between 21/03/2022 and 19/06/2022, were analyzed.

When the results of the first campaign period were examined, it was found that the results differed from the conventional systems due to the inability to separate the mosses collected from nature from the soil they were exposed to. During the last two sampling processes in the second campaign period, a pre-washing procedure for the mosses was developed. However, it was observed that the changes in the washing process did not positively impact the results. Generally, similarities were found between the results of the conventional and developed sampling systems in terms of concentration changes of certain elements such as Na and As. The soil enrichment factor and source

identification analyses determined that mosses contained more soil-derived elements and were less affected by anthropogenic influences.

The inability of the developed sampler to create a homogeneous sampling environment and its failure to correct the deviation caused by higher sampling rates, which are a result of increased wind speeds, emerges as another reason for the observed differences between the results obtained with the conventional sampler.

After the source identification study, it was determined that the presence of the soil factor in the composition of the mosses used in the developed sampling system caused a deviation. Therefore, it is valuable that other factors (anthropogenic, combustion, and oil burning) showed a similar distribution of sources over time, albeit with lower contributions.

Longer studies are aimed to be conducted with the developed sampler to eliminate uncertainties. It is also considered that investigations can be carried out to determine anthropogenic semi-volatile pollutants, such as PAHs and PCBs, which have low background concentrations in mosses.

KEYWORDS: Antalya, biomonitoring, ICP/MS, urban air pollution, sampling

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Güray DOĞAN

Prof. Dr. Gülen GÜLLÜ

Assoc. Prof. Dr. Sema YURDAKUL

Assoc. Prof. Dr. Ayça ERDEM ÜNŞAR

Assoc. Prof. Dr. Murat VAROL

ÖNSÖZ

Bu tezin şekillenmesinde ve tamamlanmasında her türlü teorik desteği ve laboratuvarında bütün imkanları sağlayan, çalışmanın tüm aşamalarında bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, çalışmaktan gurur duyduğum danışmanım Doç. Dr. Güray Doğan'a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Değerlendirme ve tavsiyeleri ile tezimin tamamlanmasını sağlayan tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. M. Bülent TOPKAYA, Doç. Dr. Sema YURDAKUL ve Doç. Dr. Ayça ERDEM ÜNŞAR'a teşekkür ederim.

Tecrübesiyle bana yol gösteren ve tezimin tamamlanmasında yardımcı olan tez jürim Prof. Dr. Gülen GÜLLÜ ve Doç. Dr. Murat VAROL'a teşekkür ederim.

Orta Doğu Teknik Üniversitesinde yaptığım laboratuvar çalışmalarım sırasında laboratuvarların sorunsuzca kullanımı için her türlü imkânı ve izni sağlayan Prof. Dr. Gürdal TUNCEL'e teşekkür ederim.

Geliştirilen örnekleyicinin tasarlanmasında ve üretimindeki katkılarından dolayı Dr. Fatih Mehmet DUMANOĞULLARI'na ve geliştirilen örnekleyicide yaşanan her türlü sorunda bilgisiyle cihazların yeniden çalışır duruma gelmesindeki katkılarından dolayı Serkan YURTTAŞ'a teşekkür ederim.

Doktora tez çalışmalarım için gerekli analizlerin yapılmasında yardımcı olan ODTÜ Merkezi laboratuvarları ve İYTE tümleşik araştırma merkezlerine şükranlarımı sunarım.

Bu tez çalışmasına, 117Y026 ve 122Y257 nolu projeler ve 1059B141801105 başvuru numaralı 2214-A Araştırma bursu ile destek veren TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Ayrıca tez sürecimde deneysel, idari ve her anlamda yardımcı olan Mühendislik Fakültesi ve Fen Bilimleri Enstitüsü çalışanlarına teşekkür ederim.

Son olarak, başta ailem olmak üzere tüm arkadaşlarıma ve emeği olan herkese sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
AKADEMİK BEYAN.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK TARAMASI	3
2.1. Partiküler Maddenin Konvansiyonel Örneklem Yöntemleri ile Tayini	3
2.2. Biyo-izleyiciler ile Örneklem	5
2.3. Avrupa Birliği'ndeki ve Ülkemizdeki Ortam Havasındaki Ağır Metal Kirliliğinin Standartlarının Değerlendirilmesi	10
2.4. Hava Kirliliği Çalışmalarında Kaynak Belirleme ve Önemi	11
2.5. Türkiye'de <i>Hypnum cupressiforme</i> Hedw. türü yosun kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalar.....	14
2.6. Antalya ve Civarında Önceden Yapılan Hava Kalitesi Belirleme Çalışmaları.....	17
3. MATERYAL VE METOT	19
3.1. Çalışma Bölgesi	19
3.2. Örneklem Alanı	20
3.3. Geliştirilen Örnekleyici	20
3.3.1. Çalışma yöntemi.....	20
3.3.2. Dizayn Parametreleri.....	22
3.3.3. Programlama	26
3.3.4. Kurulum	27
3.4. Örneklem	28
3.4.1. Örneklerin hazırlanması	28
3.4.2. Konvansiyonel örneklem yöntemi.....	34
3.4.3. Geliştirilen örneklem yöntemi.....	35
3.4.4. Örneklem sonrası numunelere uygulanan işlemler	36
3.4.5. Verilerin kalite kontrolü.....	37
3.4.5.1. Tayin sınırları.....	38
3.5. Geliştirilen Örnekleyici ile Toplanan Verilerin Hazırlanması	40

3.6. Meteorolojik Veriler.....	44
3.7. Zenginleştirme Faktörü	45
3.8. Koşullu Olasılık Fonksiyonu.....	46
3.9. Potansiyel Kaynak Katkı Fonksiyonu	46
3.10. Geri Hava Yörüngesi Modeli	47
3.11. Pozitif Matris Faktörizasyonu ile Kaynak Belirleme	48
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	51
4.1. Örneklem Sonuçları.....	51
4.1.1. Konvansiyonel yöntem sonuçları	51
4.1.2. Geliştirilen örnekleyici ile elde edilen sonuçlar	56
4.1.2.1. Örnek/şahit oranı karşılaştırması	56
4.1.2.2. Birinci dönemde (21/09/2021-20/10/2021) geliştirilen örnekleyici ile elde edilen sonuçlar	60
4.1.2.3. İkinci dönemde (21/10/2021-20/11/2021) geliştirilen örnekleyici ile elde edilen sonuçlar	64
4.1.2.4. Üçüncü dönemde (21/11/2021-20/12/2021) geliştirilen örnekleyici ile elde edilen sonuçlar	67
4.1.2.5. Altıncı dönemde (21/03/2022-20/04/2022) geliştirilen örnekleyici ile elde edilen sonuçlar	70
4.1.2.6. Yedinci dönemde (21/04/2022-20/05/2022) geliştirilen örnekleyici ile elde edilen sonuçlar	73
4.1.2.7. Sekizinci dönemde (21/05/2022-19/06/2022) geliştirilen örnekleyici ile elde edilen sonuçlar	76
4.1.2.8. Bütün dönemlerin elementel analiz sonuçlarının genel değerlendirmesi.....	79
4.2. Sonuçların Zenginleştirme Faktörü ile Değerlendirilmesi	83
4.3. Sonuçlarının Potansiyel Kaynak Katkı Fonksiyonu ile Değerlendirilmesi.....	86
4.4. Kaynak Belirleme Çalışması.....	89
5. SONUÇLAR.....	103
6. KAYNAKLAR.....	106
7. EKLER	117
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum “Antalya Kent Atmosferindeki Toz Miktarının Geliştirilen Örneklem Yöntemi ile Belirlenmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

16/06/2023

Öğrencinin Adı Soyadı

Ahmet Mustafa TEPE

İmzası

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Al	: Alüminyum
As	: Arsenik
Ba	: Baryum
Ca	: Kalsiyum
Cd	: Kadmiyum
Ce	: Seryum
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
Cs	: Sezyum
Cu	: Bakır
Eu	: Evropiyum
Fe	: Demir
Hg	: Cıva
K	: Potasyum
La	: Lantan
Li	: Lityum
Mg	: Magnezyum
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
Na	: Sodyum
Ni	: Nikel
P	: Fosfor
Pb	: Kurşun
S	: Kükürt

Sb	: Antimon
Si	: Silisyum
Ti	: Titanyum
V	: Vanadyum
Y	: İtiryum
Yb	: İterbiyum
Zn	: Çinko
CaCO ₃	: Kalsiyum Karbonat
CO	: Karbonmonoksit
HNO ₃	: Nitrik Asit
H ₂ O ₂	: Hidrojen Peroksit
NO _x	: Azot Oksit Bileşikleri
SO _x	: Kükürt Oksitler
%	: Yüzde
°C	: Santigrat Derece
µg	: Mikrogram
m	: Metre
kg:	: Kilogram
km	: Kilometre
sn	: Saniye
ng	: Nanogram
V	: Volt
W	: Watt
eV	: Elektronvolt
keV	: Kiloelektronvolt
µA	: Mikroamper

Tezde ondalık ayırıcı olarak nokta (.) kullanılmıştır.

Kısaltmalar

AAS	: Atomik Absorpsiyon Spektrometresi
AB	: Avrupa Birliği
CVAAS	: Soğuk Buhar Atomik Absorpsiyon Spektrometresi
ÇŞİD	: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
ED-XRF	: Enerji Dağılımlı X-ışını Floresans Spektrometresi
EMEP	: Avrupa İzleme ve Değerlendirme Programı
EEA	: Avrupa Çevre Ajansı
EPA	: Çevre Koruma Ajansı
ETAAS	: Elektro termal Atomik Absorpsiyon Spektrometresi
FAAS	: Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrometresi
GFAAS	: Grafit Fırın Atomik Absorpsiyon Spektrometresi
HKDY	: Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi
HPLC	: Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi
IADN	: Integrated Atmospheric Deposition Network
İC	: İyon Kromatografisi
ICP-AES	: İndüktif Eşleşmiş Plazma Atomik Emisyon Spektrometresi
ICP-MS	: İndüktif Eşleşmiş Plazma Emisyon Spektrometresi
ICP-OES	: İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi
INAA	: Enstrümantal Nötron Aktivasyon Analizi
KKD	: Kimyasal Kütle Dengesi
KOF	: Koşullu Olasılık Fonksiyonu
KT	: Karayosunu Torbaları
MBL	: Metot Belirleme Limiti

NAA	: Nötron Aktivasyon Analizi
NIST	: Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü
PAH	: Poliaromatik Hidrokarbonlar
PCA	: Temel Bileşenler Analizi
PIXE	: Proton ile Uyarılmış X-Işını Emisyonu
PKKF	: Potansiyel Kaynak Katkı Fonksiyonu
PM	: Partikül Madde
PMF	: Pozitif Matris Faktörizasyon Modeli
TSV	: Toplam Mekânsal Varyans
UOB	: Uçucu Organik Bileşikler
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
XRF	: X-ışını Floresans Spektrometresi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Dünya’da ve Türkiye’de karayosunları üzerine yapılan çalışmaların yıllara göre dağılımı.....	6
Şekil 3.1. İstasyonun bulunduğu kampüs çevresinin görüntüsü.....	20
Şekil 3.2. Farklı açılardan örnekleyicinin görüntüleri.....	22
Şekil 3.3. Rüzgâr hızı aralıklarının frekans dağılımı.....	25
Şekil 3.4. Kullanılan anemometrenin rüzgâr şiddeti-voltaj grafiği.....	26
Şekil 3.5. Cihazların örnekleme noktasına yerleştirilmesi.....	27
Şekil 3.6. Örnekleme sırasında yaşanan problemler.....	28
Şekil 3.7. Su ile yıkama işleminden sonra Etüvde kurumaya bırakılan kara yosunları.....	30
Şekil 3.8. Asitte yıkamaya bırakılan kara yosunları.....	31
Şekil 3.9. Örnekleme Cihazı.....	35
Şekil 3.10. Yosun torbalarına yerleştirilen yosunlar ve örnekleme cihazına yerleştirilmeden öncesi.....	36
Şekil 3.11. Verilerin toplandığı web sayfasının ekran görüntüsü.....	40
Şekil 3.12. Birinci kampanya periyodu ilk aya ait rüzgâr verilerinden elde edilen hacim (m ³)/gün grafiği.....	41
Şekil 3.13. Birinci kampanya periyodu ikinci aya ait rüzgâr verilerinden elde edilen hacim (m ³)/gün grafiği.....	41
Şekil 3.14. Birinci kampanya periyodu üçüncü aya ait rüzgâr verilerinden elde edilen hacim (m ³)/gün grafiği.....	42
Şekil 3.15. İkinci kampanya periyodu ilk aya ait rüzgâr verilerinden elde edilen hacim (m ³)/gün grafiği.....	42
Şekil 3.16. İkinci kampanya periyodu ikinci aya ait rüzgâr verilerinden elde edilen hacim (m ³)/gün grafiği.....	43
Şekil 3.17. İkinci kampanya periyodu üçüncü aya ait rüzgâr verilerinden elde edilen hacim (m ³)/gün grafiği.....	43
Şekil 3.18. Antalya ili Ağustos 2021-Ağustos 2022 arası hazırlanan yıllık rüzgâr gülleri.....	44
Şekil 3.19. Rüzgâr hızı sıklık dağılımı.....	45
Şekil 4.1. Antalya’da ÇŞİD Bakanlığı tarafından işletilen HKİ istasyonlarının yerleri.....	52
Şekil 4.2. Antalya şehir merkezinde bulunan ÇŞİD Bakanlığı tarafından işletilen HKİ istasyonlarının yerleri.....	52
Şekil 4.3. Bu çalışmanın birinci kampanya döneminde elde edilen PM ₁₀ değerleri ile ÇŞİD Bakanlığı HKİ istasyonlarından aynı tarihler için elde edilen PM ₁₀ değerlerinin karşılaştırması.....	53
Şekil 4.4. Bu çalışmanın ikinci kampanya döneminde elde edilen PM ₁₀ değerleri ile ÇŞİD Bakanlığı HKİ istasyonlarından aynı tarihler için elde edilen PM ₁₀ değerlerinin karşılaştırması.....	53
Şekil 4.5. Bu çalışmada elde edilen PM ₁₀ değerleri ile ÇŞİD Bakanlığı HKİ istasyonlarındaki PM ₁₀ değerleri arasındaki korelasyon (x eksen: Bu çalışma (µg/m ³)).....	54
Şekil 4.6. Birinci örnekleme dönemi geri yörüngeleri.....	64
Şekil 4.7. İkinci örnekleme dönemi geri yörüngeleri.....	67
Şekil 4.8. Üçüncü örnekleme dönemi geri yörüngeleri.....	70
Şekil 4.9. Altıncı örnekleme dönemi geri yörüngeleri.....	73
Şekil 4.10. Yedinci örnekleme dönemi geri yörüngeleri.....	76

Şekil 4.11. Sekizinci örnekleme dönemi geri yörüngeleri	79
Şekil 4.12. Sodyum konsantrasyonunun dönemsel değişimi	80
Şekil 4.13. Alüminyum konsantrasyonunun dönemsel değişimi	81
Şekil 4.14. Arsenik konsantrasyonunun dönemsel değişimi	81
Şekil 4.15. Örnekleme alanına ulaşan geri hava kütlelerinin yörüngelerine uygulanan kümeleme çalışması	82
Şekil 4.16. Her bir kümede kaba ve ince partikül fraksiyonunda (a) Na, (b) Al, (c) S ve (d) PM'in günlük ortalama konsantrasyon değerleri.....	83
Şekil 4.17. Birinci dönem zenginleştirme faktörü.....	84
Şekil 4.18. İkinci dönem zenginleştirme faktörü.....	84
Şekil 4.19. Üçüncü dönem zenginleştirme faktörü	85
Şekil 4.20. Altıncı dönem zenginleştirme faktörü.....	85
Şekil 4.21. Yedinci dönem zenginleştirme faktörü	86
Şekil 4.22. Sekizinci dönem zenginleştirme faktörü	86
Şekil 4.23. As için hesaplanan PKKf sonuçları.....	87
Şekil 4.24. Pb için hesaplanan PKKf sonuçları.....	88
Şekil 4.25. Ni için hesaplanan PKKf sonuçları	88
Şekil 4.26. Cd için hesaplanan PKKf sonuçları.....	89
Şekil 4.27. Deniz tuzu faktörü, faktör profili ve elementlerin açıklanan kütle yüzdeleri	90
Şekil 4.28. Deniz tuzu faktörü G-skor karşılaştırması	91
Şekil 4.29. Deniz tuzu faktörünün profili ile hazırlanan EF _C değerleri.....	91
Şekil 4.30. Deniz tuzu faktörünün (a) Konyaaltı ve (b) Akdeniz Üniversitesi meteoroloji istasyonlarından alınan veriler ile çizilen KOF grafiği	92
Şekil 4.31. Toprak faktörü, faktör profili ve elementlerin açıklanan kütle yüzdeleri	93
Şekil 4.32. Toprak faktörü G-skor karşılaştırması	93
Şekil 4.33. Toprak emisyonları faktörünün profili ile hazırlanan EF _C değerleri.....	94
Şekil 4.34. Toprak emisyonları faktörünün (a) Konyaaltı ve (b) Akdeniz Üniversitesi meteoroloji istasyonlarından alınan veriler ile çizilen KOF grafiği.....	94
Şekil 4.35. Antropojenik kirlilik faktörü, faktör profili ve elementlerin açıklanan kütle yüzdeleri	95
Şekil 4.36. Antropojenik kirlilik faktörü G-skor karşılaştırması.....	96
Şekil 4.37. Antropojenik kirlilik faktörünün profili ile hazırlanan EF _C değerleri.....	96
Şekil 4.38. Antropojenik kirlilik faktörünün G-skorları ile hazırlanan PKKf sonuçları.....	97
Şekil 4.39. Antropojenik kirlilik faktörünün (a) Konyaaltı ve (b) Akdeniz Üniversitesi meteoroloji istasyonlarından alınan veriler ile çizilen KOF grafiği.....	97
Şekil 4.40. Yanma faktörü, faktör profili ve elementlerin açıklanan kütle yüzdeleri	98
Şekil 4.41. Yanma Faktörü G-skor karşılaştırması	99
Şekil 4.42. Antropojenik kirlilik faktörünün profili ile hazırlanan EF _C değerleri.....	99
Şekil 4.43. Yanma emisyonları faktörünün (a) Konyaaltı ve (b) Akdeniz Üniversitesi meteoroloji istasyonlarından alınan veriler ile çizilen KOF grafiği.....	100
Şekil 4.44. Yağ yakma faktörü, faktör profili ve elementlerin açıklanan kütle yüzdeleri	101
Şekil 4.45. Yağ yakma Faktörü G-skor karşılaştırması.....	101
Şekil 4.46. Yağ yanması emisyonları faktörünün (a) Konyaaltı ve (b) Akdeniz Üniversitesi meteoroloji istasyonlarından alınan veriler ile çizilen KOF grafiği.....	102

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Ağır metaller için AB Konsey Direktiflerindeki hedef değerler, üst değerlendirme eşikleri ve alt değerlendirme eşikleri	10
Çizelge 3.1. Örnekleme sisteminde 10µm partikül maddenin %50±5 verimle örneklenmesi için gerekli rüzgâr hızı aralıkları	24
Çizelge 3.2. Rüzgâr hızı aralıkları için hesaplanan W_i Değeri ve 10 µm çapındaki partikül maddenin tutma verimi (η)	25
Çizelge 3.3. Rüzgâr hızına göre hava giriş kanallarının düşey, yatay genişlikleri ve siklon çapları	25
Çizelge 3.4. Her dönemde elde edilen geri plan konsantrasyonları ($\mu\text{g/g}$).....	32
Çizelge 3.5. Bu çalışmada elde edilen ortalama geri plan konsantrasyonlarının literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırılması ($\mu\text{g/g}$).....	34
Çizelge 3.6. Üç aşamalı çürütme programı.....	36
Çizelge 3.7. SRM Analizi Sonuçları.....	38
Çizelge 3.8. Birinci Kampanya Periyodu Tayin Sınırları	39
Çizelge 3.9. İkinci Kampanya Periyodu Tayin Sınırları.....	39
Çizelge 4.1. Konvansiyonel yöntem ile elde edilen PM konsantrasyon değerleri.....	51
Çizelge 4.2. Konvansiyonel yöntem ile elde edilen ince fraksiyon PM'lerin elementel konsantrasyon değerleri (ng/m^3).....	55
Çizelge 4.3. Konvansiyonel yöntem ile elde edilen kaba fraksiyon PM'lerin elementel konsantrasyon değerleri (ng/m^3).....	56
Çizelge 4.4. Örneklerdeki ortalama element konsantrasyonlarının şahitlerdeki ortalama element konsantrasyonlarına oranı.....	57
Çizelge 4.5. Rüzgâr hızlarına göre birinci dönemdeki örnekleme süreleri ve yüzdeleri.....	58
Çizelge 4.6. Rüzgâr hızlarına göre ikinci dönemdeki örnekleme süreleri ve yüzdeleri.....	58
Çizelge 4.7. Rüzgâr hızlarına göre üçüncü dönemdeki örnekleme süreleri ve yüzdeleri.....	59
Çizelge 4.8. Rüzgâr hızlarına göre altıncı dönemdeki örnekleme süreleri ve yüzdeleri.....	59
Çizelge 4.9. Rüzgâr hızlarına göre yedinci dönemdeki örnekleme süreleri ve yüzdeleri.....	60
Çizelge 4.10. Rüzgâr hızlarına göre sekizinci dönemdeki örnekleme süreleri ve yüzdeleri.....	60
Çizelge 4.11. Birinci dönem (19.09-20.10.2021 arası) için geliştirilen örnekleyici sonuçları (ng/m^3).....	62
Çizelge 4.12. Birinci dönem sonuçlarının karşılaştırılması (ng/m^3).....	63
Çizelge 4.13. İkinci dönem (21.10-20.11.2021 arası) için geliştirilen örnekleyici sonuçları (ng/m^3).....	65
Çizelge 4.14. İkinci dönem sonuçlarının karşılaştırılması (ng/m^3)	66
Çizelge 4.15. Üçüncü dönem (21.11-20.12.2021 arası) için geliştirilen örnekleyici sonuçları (ng/m^3).....	68
Çizelge 4.16. Üçüncü dönem sonuçlarının karşılaştırılması (ng/m^3)	69
Çizelge 4.17. Altıncı dönem (21.03-20.04.2022 arası) için geliştirilen örnekleyici sonuçları (ng/m^3).....	71
Çizelge 4.18. Altıncı dönem sonuçlarının karşılaştırılması (ng/m^3).....	72

Çizelge 4.19. Yedinci dönem (21.04-20.05.2022 arası) için geliştirilen örnekleyici sonuçları (ng/m ³).....	74
Çizelge 4.20. Yedinci dönem sonuçlarının karşılaştırılması (ng/m ³)	75
Çizelge 4.21. Sekizinci dönem (21.05-19.06.2022 arası) için geliştirilen örnekleyici sonuçları (ng/m ³).....	77
Çizelge 4.22. Sekizinci dönem sonuçlarının karşılaştırılması (ng/m ³).....	78



1. GİRİŞ

Partiküler Madde (PM) büyük ölçüde, katı ve sıvı fazlar ile etkileşime giren sayısız atmosferik gaz içerisine dağılmış katı partiküllerin ve sıvı damlacıkların oluşturduğu kompleks karışım olarak tanımlanmaktadır (Yang ve Omaye 2009; EPA 2012). Atmosferik bileşenler arasında partikül madde karmaşıklığı ile ön plana çıkmaktadır. Partiküller birçok farklı boyut, şekil ve yüzlerce farklı kimyasaldan oluşabilmektedirler. PM'ler atmosferde oluşma mekanizmaları bakımından iki grupta incelenmektedirler. Kaynağından doğrudan atmosfere salınan PM'lere "birincil partiküler madde" denilmektedir. Havalanmış yerel toprak, deniz suyundan püsküren tuz kristalleri, çöllerden taşınmış toz, volkanik patlamalar ile salınan partiküller, bitki polenleri, fosil yakıtı ve odun yanması sonucu salınan partiküller, evsel ısınma, trafik aktiviteleri ve endüstriyel işlemler sonucu salınan partiküller birincil partiküler maddelere örnektirler (Griffin 2006; Seinfeld ve Pandis 2006)

Atmofere salınan gazlar kimyasal dönüşüme uğrayarak partikül haline gelebilmektedir. Bu tür partiküller "ikincil partikül maddeler" olarak adlandırılmaktadır. Sülfat, nitrat, amonyum ve organik karbon başlıca ikincil partikül maddelerdir (EPA 2012).

Partiküler maddenin toplum sağlığını olumsuz etkilemesi, görüş mesafesinin düşmesi, dünyanın enerji bütçesini etkilemesi ve bulut oluşumunu etkilemesi gibi çok farklı bilim dallarını ilgilendiren olayları tetiklediği bilinmektedir. PM'in atmosfere salındıktan sonra ne tür bir etkide bulunacağı partiküler maddenin boyutuna ve kimyasal içeriğine göre değişiklik göstermektedir. Büyük partiküller kaynaklarından fazla uzaklaşmadan atmosferden ayrışırken aerodinamik çapı 10 mikrometreden küçük olan partiküler maddeler (PM₁₀) uzun mesafeler atmosferde taşınmaktadır. Ayrıca, PM'in boyutu, onun yaratacağı sağlık etkisini de belirlemektedir. İnce partiküler madde grubu olarak nitelendirilen 2.5 mikrometre çapından daha düşük partiküler maddeler (PM_{2.5}) solunum yolunda akciğerlere kadar ilerleyebilirken, PM_{2.5-10} arası PM'ler ise genelde boğaz bölgesinde tutulabilmektedir.

Partiküler maddenin hidroskopik özelliği sayesinde atmosferde bulut oluşturup oluşturmayacağı veya içerdiği ağır metaller sebebiyle kanserojen olup olmadığının anlaşılabilmesi için kimyasal içeriğinin belirlenmesi önemlidir.

Kentsel atmosferde toplumun, doğanın, tarımsal ürünlerin ve iklimin PM emisyonlarından nasıl etkileneceğini bilmek için hem boyutuna hem de kimyasal içeriğine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu doğrultuda hem dünyada hem de ülkemizde ölçümler gerçekleştirilmektedir. Ülkemizde Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİD Bakanlığı) tarafından 2008 yılından itibaren kentsel hava kalitesi gözlemlmek amacıyla istasyonlar kurulmaktadır. Günümüzde 81 ilimizin tamamında 350 civarında hava kalitesi izleme istasyonları mevcuttur. Bu istasyonlarda kükürtdioksit, azot oksitler, ozon, karbonmonoksit ölçümlerinin yanı sıra PM₁₀ ve PM_{2.5} konsantrasyonları otomatik cihazlar ile ölçülmektedir. Mevzuat gereği 2019 yılından itibaren PM₁₀'a bağlı arsenik, kadmiyum, nikel ve kurşun örnekleme ve analizi yapılmalıydı ancak hala ülkemizde bu elementlerin analizleri ve örnekleme başlamış değil.

Partiküler maddeye bağlı elementel ve iyon konsantrasyonların belirlenebilmesi için çeşitli ön impaktör başlıkları olan cihazlar kullanılarak günlük veya belirli bir zaman diliminde teflon, kuartz, polikarbonat veya selüloz filtreler üzerine toplanan örneklerin belirli şartlandırma aşamalarından sonra XRF, ICP-MS veya IC gibi cihazlarla analiz edilmesi ile element ve iyonların konsantrasyonları tespit edilmektedir. Tüm bu işlemler oldukça zaman alıcı ve yüksek maliyetlidir.

Ayrıca, bu örnekleme cihazlarının konulacağı yerlerin seçimi, o bölgedeki altyapı ve güvenlik çok önemli olmaktadır. Cihazlar pahalı oldukları için standartlarla belirlenen yerlerde güvenli olarak kurulmasında sıkıntı çekilmektedir. Cihazların önemli bir ihtiyacı da düzgün ve devamlı bir elektrik altyapısıdır. Cihazlara gelen elektrik akımındaki veya voltajındaki farklılık cihazlarda tamiri güçleştiren etmenler olarak karşımıza çıkmaktadır. Elektrik akımının düzgün ayarlanması için ek yatırımlarla kesintisiz güç kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Konvansiyonel cihazlar ile gerçekleştirilen örnekleme çalışmaları genel olarak 24 saatlik olmaktadır. Bu sürenin uzaması, cihazlarda kullanılan filtrelerin tıkanmasından dolayı cihaz performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Sürenin kısaltılması ise yeterli hava filtreden geçirilemediği için hedeflenen elementlerin tayini için yeterli konsantrasyonun belirlenememesine sebep olmaktadır. Yıllık olarak bir elementin konsantrasyonu belirlenmek istendiğinde bunun için hemen her gün filtre değişikliğine gitme gerekliliği bulunmaktadır. Dolayısıyla elde edilen örnek sayısı çok fazla olmaktadır.

Bu iş yükü ve mevzuat gereksinimini aşmak için bu tez ile doğa tabanlı ve uygun fiyatlı bir çözüm geliştirilmiştir. Bu çözüme göre, filtre olarak karayosunu kullanılacak olup, geliştirdiğimiz örnekleyici ile rüzgarla taşınan partiküllerin PM₁₀'dan büyüklerinin örnekleyici içerisine girmesi engellenmekte ve böylece sadece PM₁₀ örnekleme gerçekleştirilmektedir.

Karayosunları, sadece ortam havasından beslenerek büyüyen, kökleri olmayan canlılardır. Bunlar dayanıklı canlılar oldukları için sıklıkla hava kirliliği örnekleme çalışmalarında biyo-izleyici olarak kullanılmıştır. Ancak yakın tarihimize kadar geçerli bir standart kullanım tanımlanmadığı için elde edilen sonuçlara yönelik kapsamlı bir karşılaştırma gerçekleştirilememiştir. Yıllar süren araştırmaların sonucunda elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve genel olarak örnekleme bir standart (örnekleme öncesi yıkama, devitalizasyon ve örnekleme sonrası saklama) oluşturulmuştur (Ares vd. 2012). Bu çalışmada söz konusu standart yaklaşım uygulanmış olup, örnekleyici tasarımında siklon tipi hava kirliliği kontrol ekipmanından ilham alınmıştır.

Bu tez başlıca beş bölümden oluşmaktadır. Tezin birinci bölümünde çalışmanın amacına ve genel yaklaşıma değinilmiştir. İkinci bölümde literatür özeti sunulmuştur. Tezin üçüncü bölümünde, geliştirilen örnekleyici tasarım parametreleri, örnekleme ve örneklerin analize hazırlanması, analizinin yapılması ve kalite kontrollerin takibinden bahsedilmiştir. Tezin dördüncü bölümünde, bulgular ortaya konmuş ve tartışılmıştır. Beşinci bölümde ise elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Partiküler Maddenin Konvansiyonel Örnekleme Yöntemleri ile Tayini

Partiküler maddenin sebep olduğu sağlık etkisi, görüş mesafesinde düşüş, dünya enerji dengesini etkilemesi ve bulut oluşturma çekirdeği gibi özellikler taşıyıp taşıması kimyasal içeriği kadar boyutuyla da ilgilidir. Bu nedenle 1980’lerden itibaren PM₁₀ ölçümü gerçekleştirilmesi için çalışmalar gerçekleştirilmektedir (Tuncel vd. 2019). Günümüzde PM_{2.5} ve PM₁ üzerine de çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiş olmasına rağmen henüz ulusal mevzuatımızda PM_{2.5} ve PM₁ üzerine bir sınır değeri belirlenmemiştir. Bununla beraber ulusal mevzuatımızda PM₁₀’a bağlı kadmiyum, arsenik, nikel ve kurşunun yıllık ortalama konsantrasyonlarının belirlenmesi ve sınır değerleri aşmaması için çalışmalar gerçekleştirilmesi talep edilmektedir. Bu kapsamda ülkemizde ÇŞİD Bakanlığı’na bağlı Temiz Hava Bölge Müdürlüklerinde henüz sistematik bir çalışma gerçekleştirilmediği bilinmektedir.

Genel olarak PM₁₀ konsantrasyonunu veya PM₁₀’a bağlı metallerin konsantrasyonunu belirlemek amacıyla kullanılan cihazlar “EN12341 Determination of the PM₁₀ fraction of suspended particulate matter-Reference method and field test procedure to demonstrate reference equivalence of measurement methods” standardına uygun veya eşdeğer örnekleme sistemleridir. Bu sistemlere göre aerodinamik çapı 10 mikrometre olan partiküllerin %50 verim ile tutulduğu bir ön impaktör bulunması gerekmektedir. Bu ön impaktör cihazın kullanım amacına ve kullanılan yere göre değişiklik göstermektedir.

Dünya’da PM’e bağlı metalleri konvansiyonel yolla örnekleme için yüksek hacimli ya da düşük hacimli örnekleyiciler kullanılmaktadır. Yüksek hacimli örnekleyiciler daha ziyade kırsal bölgelerde, geri plan konsantrasyonunun düşük olduğu ve dolayısıyla bir örnekte bir metalin konsantrasyonunu belirlemek amacıyla yüksek hacimde havanın bir filtre üzerinde geçirilmesiyle filtre üzerinde PM’in tutulması ilkesine dayalıdır. Düşük hacimli örnekleyicilerin ise kentsel atmosferde ve kirletici konsantrasyonu yüksek bölgelerde kullanılması tercih edilmektedir.

Partiküler madde örnekleme yapıldığı yerden bağımsız olarak, örneklenmek istenen parametrenin özelliğine ve analiz yöntemine bağlı olarak filtre tercihleri de gündeme gelmektedir. PM çalışmalarında teflon, kuartz, polikarbonat veya selüloz filtreler kullanılmaktadır. Bu filtrelerin hepsi yurtdışı menşelidir. Hem maliyetleri yüksek hem de tedarik süreci uzundur. COVID-19 pandemisi gibi sıra dışı şartlarla karşılaşıldığı durumlarda tedarik süresi 3-4 ayı bulmaktadır. Filtrelerin türünden bağımsız olarak örnekleme gönderilmeden önce ve örneklemeden sonra tartılmadan önce temiz odada sabit nem altında tartılmaları gerekmektedir.

Konvansiyonel örnekleyiciler de yurt dışı menşeli olduğu için yine tedarik sürecinde ve devamında bakım-onarım ihtiyacı olduğunda araştırmacılar ciddi maliyetlerle karşılaşmaktadır. Bu durum proje bütçelerinde önemli bir yer tutmaktadır.

Örnekleme cihazının çalıştırılması için düzgün bir elektrik alt yapısına sahip bölgede gerekirse kesintisiz güç kaynağı desteği ile çalıştırılması bakım onarım maliyetlerinin azalmasına ve fakat ilk yatırım maliyetinin artmasına sebep olmaktadır.

Örneklemenin devamlılığını sağlamak için sürekli olarak filtre değişimi ve kontrol eden personel ihtiyacı da bulunmaktadır. Düşük hacimli cihazlarda 14 filtrenin bir seferde konulmasına ve 14 gün boyunca kesintisiz örnek alınmasına olanak sağlayan üniteler bulunmaktadır. Ancak yüksek hacimli örnekleyiciler için böyle bir imkân bulunmamaktadır. En iyi ihtimalle 14 günde bir de olsa bir personelin araziye gidip önceden şartlandırılan filtreleri araziye götürmesi ve örneklenen filtreleri araziden geri getirmesi gerekmektedir.

Herhangi bir örnekleme istasyon verisinin kıyaslanabilir ve karşılaştırılabilir olması için mevzuat gereği zamanın %90'ında örnek toplanması gerekmektedir. Dolayısıyla, her gün örnek toplamak sene sonunda ciddi bir örnek yükü anlamına gelmektedir. Çünkü her gün toplanan örnekler ile kalite kontrol için laboratuvar şahit numuneleri, arazi şahit numuneleri ve tekrarlı numunelerin hazırlanması gerekmektedir. Bu da arazi yüküne ek olarak laboratuvar ve analizde ek yük anlamına gelmektedir. Ancak kimi ülkeler maliyetleri azaltmak için uzun süreli çalıştırılan hava kalitesi izleme istasyonlarında farklı teknikler gerçekleştirmişlerdir. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki (The Ambient Air Monitoring Program) ve Kanada'daki (National Air Pollution Survey) bazı ulusal ve IADN (ABD ve Kanada ortak programı, Integrated Atmospheric Deposition Network) gibi uluslararası örnekleme ağlarında, örnekler her üç günde bir kesintisiz 24 saat ya da her altı günde bir kesintisiz 24 saat olarak toplanmaktadır. Fakat Avrupa İzleme ve Değerlendirme Programı (EMEP) çerçevesinde Avrupa'nın kırsal bölgelerinde yapılan çalışmalarda günlük veya haftada bir gün örnekleme yapılmaktadır (Ebas 2023).

Konvansiyonel yöntemler ile yapılan çalışmalarda kullanılan örnekleyiciler pahalı olmaktadır. Dolayısıyla, pek çok noktada yapılabilecek olan bir metal çalışmasının alt yapı maliyeti çok fazla olmaktadır. Cihazlar özellikleri itibariyle, sıcaklık kontrolü, hacim akış kontrolü, kütle akış kontrolü, çoklu filtre tutucu gibi farklı özelliklere sahip olabilmektedir. Bu özellikler cihazların fiyatlarını çok yüksek meblağlara çıkarabilmektedir. Dolayısıyla, kapsamlı araştırmalar yürütülememektedir.

Konvansiyonel yöntemler ile yapılan çalışmalarda örnekleyicinin konulduğu yerdeki alt yapı ayrı bir problem teşkil etmektedir. Örnekleyici düzenekte yaşanabilecek bir problemin giderilmesi 1-3 ay arasında bir zaman alabilmekte, özellikle kısa süreli örnekleme dönemlerinin bulunduğu projelerde, bu durum ciddi veri sıkıntısının yaşanmasına sebep olmaktadır (Tuncel vd. 2007). Örneklemenin sağlıklı yapılabilmesi için cihaz bakımından başka olmazsa olmaz iki şart güvenlik ve elektriktir. Örnekleyici maliyeti yüksek olduğu için dış etkilere (çalınma, vandalizm, yerel emisyonlar gibi) korumak gerekmektedir. Cihazın özel güvenli bir alana konulması, etrafının çevrilmesi ve gerekli hallerde bir platformun üzerine yerleştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca hem örnekleyiciyi korumak hem de örneklemenin kesintiye uğramasını engellemek için düzgün bir elektrik şebekesinin olduğu yerler tercih edilmelidir. Bu durumun sağlanamadığı yerlerde kesintisiz güç kaynağına ya da voltaj düzenleyicilere ihtiyaç duyulmaktadır ki bu da ek maliyet anlamına gelmektedir.

Örnekleme cihazının sigortalatılması mümkündür. Ancak sigortalatmak, işletim maliyetini olumsuz yönde etkilemektedir. Kocaeli'nde geçmişte yapılan araştırmalar, sigorta şirketleri örnekleyicinin konulduğu noktanın, sigorta yaptırmak isteyen daimî ikametgâhı içerisinde olması durumunda sigortalama işlemi yapmaktadır (Pekey vd.

2008). Bir başka deyişle, örneğin üniversite adına yapılan örneklemelerde, örnekleyiciyi sigortalatmak için örnekleme yapılan bölgenin üniversite arazisi olması gerekliliği bulunmaktadır.

Araziden laboratuvara getirilen örneklerde yönetmelik gereği ölçülmesi gereken dört ağır metali ölçmek için ön hazırlık gerekmektedir. Günümüzde mikrodalga çürütme ve asit uzaklaştırma olarak kullanılan yöntemlere ilave olarak Atomik Absorpsiyon Spektrometresi veya Endüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi veya ön işleme gerek duyulmadan X-Işını Floresans Spektrometresi ile örneklerin analiz edilmesi gerekmektedir. Bu cihazların her biri için uzmanlık gerekmektedir. Dolayısıyla, örnekleme yüküne ek olarak sonuçlara ulaşmak için en az bir uzmanın daha dahil olduğu bir çalışma gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Burada cihazlarda çıkabilecek aksaklıkların giderilmesi bazı durumlarda uzmanın ve teknik servisin kabiliyetine göre kısa sürmekte iken bazı durumlarda 3-6 ay arasında sürebilmektedir.

Konvansiyonel yöntem ile kentlerimizdeki ağır metal konsantrasyonunu belirlemek, tüm bu zorluklar dikkate alındığında hem maliyetli hem de iş yükü yoğun bir hal almaktadır.

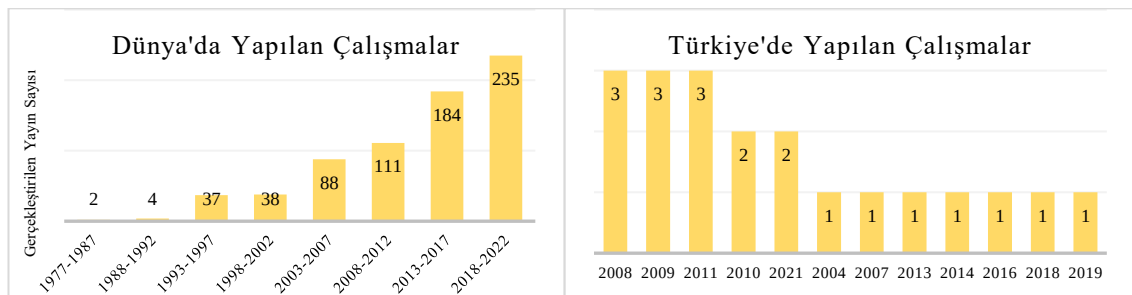
2.2. Biyo-izleyiciler ile Örnekleme

Hava kalitesi izleme programlarında, genellikle fiziko-kimyasal yöntemler kullanılarak atmosferik kirleticiler belirlenmektedir. Karbon monoksit (CO), kükürt oksitler (SO_x), azot oksitler (N_xO_y), poliaromatik hidrokarbonlar (PAH) ve partiküler madde (PM) gibi kirleticilerin kısa süreli (saatlik veya günlük) ölçümlerinde oldukça etkili olan bu yöntemlerin, aynı zamanda potansiyel toksisiteye yol açtığı da bilinmektedir (Yang ve Omaye 2009; Ares vd. 2012). Dolayısıyla hem alternatif bir izleme yöntemi olması hem de pek çok kirleticinin (özellikle metal ve metaloitler, PAH, radyonüklitler vb.) izlenmesine olanak sağlaması açısından karasal kaynaklı likenler ve biyo-filtreler (karayosunları, ciğerotları) biyo-izleyici olarak değerlendirilmeye başlanmıştır. Konvansiyonel yöntemlere göre daha sade, güvenilir, ekonomik oluşu ve elektrik tüketimi yönünden daha az enerjiye ihtiyaç duyması gibi avantajları nedeniyle biyo-izleyicilerin kullanımı gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Literatür incelendiğinde biyo-izleyici olarak likenlerin yoğun bir şekilde kullanıldığı görülmektedir. Ülkemizde ise sınırlı sayıda araştırılarda likenler (Cayir vd. 2008; Uyar vd. 2008; Yıldız vd. 2008; Icel ve Çobanoğlu 2009; Kinalıoğlu vd. 2010; Öztetik ve Cicek 2011; Demiray vd. 2012) ve karayosunları (Coskun vd. 2009a; Coşkun vd. 2009b; Coskun vd. 2011) metal kirliliğini tespit etmek amacıyla, özellikle endüstriyel faaliyetlerin yoğun olarak uygulandığı bölgelerde biyo-izleyici olarak kullanılmıştır. Antalya ve çevresinde karayosunu ve likenler kullanılarak gerçekleştirilmiş herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak Antalya'da Aksoy ve Öztürk (1997) tarafından zakkumlardaki metaller üzerine bir çalışma yapılmış olup toplanan örneklerde Pb, Cd, Zn ve Cu elementlerinin konsantrasyonlarına bakılmıştır. Likenlerin çevresel strese karşı dayanıklılık, biyo-izleyici olarak kullanıldıkları sürede canlılıklarını koruma ve metabolik fonksiyonlarını geri kazanabilme gibi özelliklerinin olmasına rağmen, özellikle yüzey yapılarındaki farklılıklar (Adamo vd. 2003; Adamo vd. 2007) nedeniyle hava kaynaklı kirleticileri tutma ve biriktirme açısından karayosunlarına göre daha düşük kapasiteye sahip olduğu görülmüştür (Spagnuolo vd. 2011; Augusto vd. 2013).

Yeryüzünde yaklaşık olarak 9000 adet karayosunu türü yaşamını sürdürmektedir. Ancak her karayosunu türü hava kirliliğinin tespiti için kullanıma uygun değildir. Havadaki kirleticilerin karayosunu tarafından etkili bir şekilde kullanımı karayosununun yüzey alanı ile yakından ilişkilidir. Bu nedenle hava kirliliği çalışmalarında genellikle akrokarpus (küçük yapılı tek bir filizden oluşan) türleri yerine yüzey alan/kuru ağırlık oranı daha yüksek olan pilokarpus türleri tercih edilmektedir. Çalışma kapsamında öncelikle Akdeniz ve civarında doğal yaşam alanı bulmuş karayosunu türleri incelenmiş, bunlardan hava kirliliği tespit çalışmalarında daha çok kullanılıp etkinliği gösterilmiş 6 adet potansiyel karayosunu türü tespit edilmiştir. Söz konusu türler sırasıyla *Schistidium apocarpum* (Bertuzzi vd. 2013), *Tortella nitida* (Bertuzzi vd. 2013), *Fontinalis antipyretica* Hedw. (Augusto vd. 2013), *Scorpiurium circinatum* (Basile vd. 2009; Basile vd. 2012), *Homalothecium sericeum* (Špirić vd. 2013; Vučković vd. 2013) ve *Hypnum cupressiforme* Hedw.'dir (Acar 2006; Adamo vd. 2011; Bertuzzi vd. 2013; Cucu-Man ve Steinnes 2013; Špirić vd. 2013; Tarcau vd. 2013; Vučković vd. 2013).

Dünya çapında karayosunları ile yapılan çalışmaların yıllara göre değişimini anlayabilmek için "webofscience" veri tabanında-"air quality" OR "air pollution" AND "moss"- anahtar kelimeleri aratılarak 1976 -2022 yılları arası yapılan toplam 699 yayına ulaşılmıştır. Bu yayınların 639 tanesinin makale, 40 tanesinin proceeding paper ve 20 tanesinin de review olduğu görülmüştür. Bu makalelerin 97 tanesinde *Hypnum cupressiforme* (%15) karayosunu türünün diğer türlere göre en fazla tercih edildiği görülmüştür. Bu türün dışında sıklıkla *Hylocomium splendens* (%14), *Pleurozium schreberi* (%12) ve *Sphagnum* (%12) türleri de kullanılmaktadır. Hava kirliliği ve/veya kalitesi çalışmalarının yürütüldüğü alanlar incelendiğinde ağırlıklı olarak kentsel alanlar (%30) ve endüstriyel alanlarda (%19) ağır metal kirliliğinin (%66) incelendiği görülmüştür. Daha sonra aynı kelimelere ek olarak adres arama kısmına "Turkey" kelimesi yazılmış ve aynı yıllarda Türkiye'de yapılan çalışmalar incelenmiştir. 2008 - 2022 yılları arası 19 tanesi makale ve 1 tanesi bildiri olmak üzere toplam 20 yayına ulaşılmıştır. Yayınlar 5'er yıllık dönemler halinde incelendiğinde Dünya genelinde yayın sayıları düzenli olarak artış gösterirken, Türkiye'de benzer bir artıştan söz edilememektedir. Toplam yayın sayıları incelendiğinde sırasıyla İspanya, Rusya, İtalya, Polonya, Norveç ve Amerika Birleşik Devletleri ilk 6 sırayı oluşturmaktadır.

Yıllara göre Dünya'da ve ülkemizde gerçekleştirilen yayın sayıları Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Genel olarak bakıldığında ise Dünya'da hızla artan bir çalışma alanı olmasına karşın ülkemizde yeterli ilgiyi görememektedir. Bu açığı kapatmak için bu alanda daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir.



Şekil 2.1. Dünya'da ve Türkiye'de karayosunları üzerine yapılan çalışmaların yıllara göre dağılımı

Literatür incelendiğinde, atmosferik kirleticilerin belirlenmesinde karayosunlarının biyo-izleyici olarak kullanımının (i) pasif biyo-izleme, belirli bir alanda doğal halde bulunan karayosunlarının kullanımı, (ii) aktif biyo-izleme, farklı bölgelerden çalışma alanına karayosunu transplantasyonu olmak üzere iki şekilde gerçekleştirildiği görülmektedir. Bölgesel ve ulusal boyuttaki geniş çerçeveli çalışmalarda genellikle pasif biyo-izleme uygulanırken, kentsel veya endüstriyel alanlardaki daha yoğun çalışmalarda aktif biyo-izlemenin tercih edildiği tespit edilmiştir (Ares vd. 2012). Aktif biyo-izlemede, nispeten kirlenmemiş bölgelerden toplanan karayosunları, temizlenip, ön işleme tabi tutulduktan sonra farklı çalışma alanlarına yerleştirilir.

Söz konusu karayosunu transplantasyon uygulamasının, çalışmaların sürdürülebilirliği açısından pek çok avantajı bulunmaktadır: (i) özellikle çalışma alanında karayosunu türlerinin bulunmaması veya yetersiz olması gibi bir durumun ortadan kalkmasını sağlamaktadır, (ii) çalışma bölgesinde mevcut halde bulunan karayosunu türünün önceden tutmuş olduğu kirleticilerin etkisini azaltmak açısından fayda sağlamaktadır, (iii) çalışma alanında karayosunu torbalarının (KT) (moss bag) kullanılması durumunda, kirleticilerin başlangıç konsantrasyonu ve maruziyet periyodu bilinmektedir, dolayısıyla çalışma sonuçlarında meydana gelebilecek geçici değişkenliğin açıklanmasına katkı sağlamaktadır, (iv) karayosununun toprakla olan ilişkisi en aza indirileceği için bazı kirletici elementlerin karayosunları üzerindeki olası edafik etkileri (toprak kaynaklı etki) oldukça sınırlı hale gelmektedir (Bargagli vd. 1995; Aboal vd. 2006; Varela vd. 2010; Boquete vd. 2011). Ares vd. (2012)'nin 112 makale üzerinden hazırladıkları derlemede, aktif biyo-izleme yönteminin çoğunlukla inorganik kirleticilerin tespit edilmesi amacıyla kullanıldığı bildirilmektedir. Buna göre çalışmaların %86'sı metal ve metaloitler (Pb, Zn, Cu, Cd, Fe, Ni), %4'ü PAH gibi organik kirleticiler, %1'i poliklorlu bifeniller (PCB) ve %9'u da diğer kirleticilerin belirlenmesini içermektedir.

İlk defa Goodman ve Roberts (1971) tarafından önerilen KT yönteminde, hava kirliliğine maruz kalacak canlı karayosunlarının ağ torbalar içinde tutulması esas gösterilmiştir. Ancak yöntemin uygulanması kapsamında herhangi bir standart protokol bulunmamaktadır. Söz konusu protokolün oluşturulabilmesi için uygun karayosunu türünün tespiti, transplantların hazırlanması, transplantların çalışma alanında kirleticilere maruz bırakılması ve izleme çalışması sonunda transplantların incelenmesi aşamalarından oluşması gerekmektedir. Bununla beraber KT içinde uygun koşullarda kirleticilerin tutulmasının sağlanması ve karayosunu kaybının en aza indirilebilmesi için karayosunlarının yerleştirileceği torbaların da uygun bir tasarıma sahip olması gerektiği tespit edilmiştir. Literatürde KT uygulayan çalışmalar incelendiğinde küresel ve kare/dikdörtgen şeklindeki torbaların sıklıkla kullanıldığı görülmüştür (Adamo vd. 2007; Tretiach vd. 2007; Giordano vd. 2009; Rivera vd. 2011; Ares vd. 2012). Ancak çalışmalarda söz konusu KT'lerin tasarım özellikleri net bir şekilde tanımlanmamış olup, kirleticileri tutma verimliliklerine ilişkin soru işaretleri bulunmaktadır.

Biyo-izleyici olarak kullanılacak karayosunu türünün geniş bir alanda yayılmış, pilokarpus yapıda (dallı yapıya sahip, yayılmış ana gövde) ve atmosferdeki kirleticileri tutabilecek fizikokimyasal özelliklere ve yapıya sahip olması gerekmektedir. Özellikle ana gövdeden uzanan filizlerin yüzey alanlarının (m^2/kg) büyük olması hem partikülleri tutabilme hem de gaz ve su transferine olanak sağlama gibi özellikler kazandırmaktadır. Örneğin Adamo vd. (2007), 81-136 m^2/kg arasında yüzey alanına sahip *H. cupressiforme*

karayosunu türünün daha düşük yüzey alanına sahip *P. furfuracea* liken türüne göre daha fazla metal tutma kapasitesine sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Biyo-izleyiciler ile yapılan çalışmalarda, biyo-izleyici üretmek için kurulacak laboratuvar alt yapısının hazırlanması başlangıçta önem arz ederken, ilerleyen safhalarda işletimin zorluk derecesi düşmektedir. Örneklemelerde zamansal çözünürlük 4-6 haftayı bulurken, örnekleme onlarca yerde aynı anda yapılabilir. Yıllık ortalama değerleri gerekli olan kirleticilerin belirlenmesinde günlük olarak elde edilen kirletici konsantrasyonlarının bir avantajı olmamaktadır.

Biyo-izleyiciler ile yapılacak bir çalışmada en önemli husus, örnekleyicinin herhangi bir yerel noktasal kaynağın etkisinde olmamasıdır. Bir bölgedeki pek çok noktada ölçüm yapılabilirdiğinden, bölgesel kirlilik haritaları bu yöntem ile az maliyetle hazırlanmaktadır. Örneklerin konulduğu yerlerdeki alt yapı konvansiyel sistemlerdeki kadar önemli değildir. Örnekleme noktasında elektriğe gerek yoktur. Örnekler küçük olduğundan, vandalizmden korumak için doğrudan erişilemeyen yerlere örneklerin konulması yeterlidir. Örnekleyici ucuz olduğundan, kaybolması ekonomik külfet getirmemekte; sadece veri kaybına sebep olmaktadır.

Dünya'nın değişik özelliklerdeki farklı noktalarında, son yıllarda çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir. Özellikle son 5 yılda önemli ölçüde çalışma yapılmıştır. Bunlardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Lazo vd. (2019) bir Akdeniz ülkesi olan Arnavutluk'ta yaptıkları çalışmada ülkenin tamamını 55 bölgeye ayırarak Ağustos ve Eylül 2015 tarihlerinde eser element analizleri için *Hypnum cupressiforme* (Hedw.) türü yosun örnekleri toplamışlardır. Her bir bölgede 50x50 m'lik alt alanlardan 10 adet alt örnek toplanıp karıştırılarak bir örnek elde edilmiştir. Toplanan örnekler kâğıt torbalara konularak laboratuvara götürülmüştür. Temizlenip oda sıcaklığında sabit tartıma gelene kadar kurutulmuşlardır. Hazırlanan numuneler 19 adet element için ICP-AES, ETAAS ve CV-AAS ile analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile faktör analizi yapılmış ve 5 adet faktör belirlenmiştir. Bunlar sırasıyla; toprak, madencilik, trafik, lokal toprak (Arnavutluk'un kuzeydoğusundaki serpantin kayaçlarından) ve çöl tozu olarak adlandırılmıştır. Çalışmanın sonucunda yosunlar ile biyo-izleme yönteminin ucuz ve efektif bir yöntem olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda bitki örtüsünün belirli hava kirleticilerini uzaklaştırmadaki potansiyel rolü de araştırılmaya değer bulunmuştur.

Stafilov vd. (2018) Makedonya'da yaptıkları çalışmada ülkenin tamamını 17x17 km'lik 72 bölgeye ayırarak Ağustos ve Eylül 2015 tarihlerinde eser element analizleri için çoğunluğu *Camptothecium lutescens* (37 bölge) ve *Hypnum cupressiforme* (Hedw.) (15 bölge) türü yosunlar olmak üzere 72 bölgede 6 farklı tür yosuna ait örnekleri toplamışlardır. Her bir bölgede 50x50 m'lik alt alanlardan 5-10 adet alt örnek toplanıp karıştırılarak bir örnek elde edilmiştir. Laboratuvara getirilen örnekler toprak, yaprak parçaları vb. malzemelerden temizlenerek oda sıcaklığında sabit tartıma gelene kadar birkaç gün bekletilmişlerdir. Hazırlanan numuneler 22 adet element için ICP-AES, ETAAS ve CV-AAS ile analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile kümeleme analizi yapılmış ve toplam 4 faktör belirlenmiştir (kümeleme analizi yapılırken 6 element diğer elementler ile aralarındaki kötü korelasyon sebebiyle dikkate alınmamışlardır). Elde

edilen faktörler; toprak, endüstriyel, ferronikel işleme tesisi/bölgeye ait toprak, volkanik olarak adlandırılabilirler.

Hu vd. (2018) Çin'in Zhejiang bölgesinden topladıkları *Sphagnum junghuhnianum* türü yosunları laboratuvarda distile su ile temizledikten sonra oda sıcaklığında kurutup 2 g tartarak 18x14 cm boyutunda ve 2 mm² gözenek boyutuna sahip yosun torbalarına yerleştirmişlerdir. Her bir örnekleme noktasına 5 adet yosun torbası yerleştirilmiştir (örnekleme noktalarından 1 tanesi kontrol amacıyla ormanlık alan, diğer 4'ü ise ana yol kenarları olarak belirlenmiştir). Yosun torbaları yerleştirilirken yerden 3-4 m yüksekte olacak şekilde konumlandırılmalarına özen gösterilmiştir. Örnekleme 29 Şubat – 27 Mayıs 2012 tarihleri arasında 6 haftalık bir periyod için yapılmıştır. Toplanan örnekler 80 °C'de 12 saat bekletilerek kurutulmuş ve toz haline getirilmiştir. Toz haline getirilmiş numunelerden 0.5 g tartılarak ICP-AES analizleri öncesi çeşitli ön işlemlere tabii tutulmuşlardır. Analize hazır olan örnekler Cr, Cu, Pb, V, Zn olmak üzere 5 ağır metal için analiz edilmişlerdir. Çalışmanın sonucunda yosun torbalarının ağır metal kirliliklerinin izlenmesi için kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bununla beraber daha kesin sonuçlar elde edilebilmesi adına yosunların laboratuvar ortamında yetiştirilmesi çalışmalar için oldukça önemlidir.

Zinicovscaia vd. (2018) Moldova'nın başkenti Kişinev'de gerçekleştirdikleri çalışmada, kirliliğe maruz kalmayan bir bölgeden *Sphagnum girgensohnii* Russow (*S. girgensohnii*) türü yosunları toplamışlardır. Toplanan yosunlar herhangi bir ön işlem uygulanmadan, yosun torbalarına yerleştirilmişlerdir. Hazırlanan bu yosun torbaları seçilen 3 örnekleme alanına (2 tanesi potansiyel olarak kirlendiği düşünülen, bir tanesi ise temiz alan olarak değerlendirilen) her bir noktaya 15 tane olacak şekilde yerleştirilmişlerdir. Ekim 2016 ve Mart 2017 tarihleri arasındaki 5 aylık süreçte gerçekleştirilen örneklemeler boyunca her ay yerleştirilen yosun torbalarının 3 tanesi sökülerek laboratuvarda kâğıt ve plastik torbalarda saklanmışlardır. Örnekleme bittikten sonra numuneler NAA ve AAS analizleri için hazır hale getirilmiş ve yosun örneklerinde toplam 30 elemente bakılmıştır. Yapılan faktör analizi sonucunda ana kirleticiler kaynaklarının trafik emisyonları, termik santral ve endüstrilerden kaynaklandığı tespit edilmiştir.

Kłos vd. (2018) Güney ve kuzeydoğu Polonya'daki ormanlık alanlarda yaptıkları çalışmada, *Pleurozium schreberi* türü yosun ve *Hypogymnia physodes* türü liken kullanmışlardır. Örneklerin toplandığı alanları 30x30 m'lik 56 bölgeye ayırmışlardır. 2014-2016 yılları arasında her bir bölgeden her yıl üç tane olmak üzere (ilkbahar, yaz, sonbahar) toplam 18 adet örnek çifti toplanmıştır (9 adet yosun ve 9 adet liken). Liken örnekleri ladin ve karaçam ağaçlarının 1.5-2 m yükseklikteki dallarından toplanmış olup, yosun örnekleri de liken örneklerinin toplandığı ağaçlara yakın noktalardan alınmıştır. Her bir bölgeden bir seferde 6 alt örnek toplanmış ve bunlar karıştırılarak bir örnek haline getirilmiştir. Böylece 3 yılda toplam 1008 örnek çifti elde edilmiştir. Toplanan örnekler manuel olarak temizlenip 50 °C'de kurutulduktan sonra agalit havanlarda toz haline getirilerek polietilen konteynırlarda saklanmışlardır. Ağır metal analizleri için örneklerden 0.4 g tartılarak HNO₃ ve H₂O₂ ile mikrodalgada mineralize edilmiş ve AAS ile ağır metal analizleri gerçekleştirilmiştir (Mn, Ni, Cu, Zn, Cd, Hg, Pb). Hg analizleri için AMA 254 model Hg analizörü kullanılmıştır. Yapılan çalışmanın sonuçları yosunlar ve likenler ile yapılan biyo-izleme çalışmalarının, klasik yöntemlerle yapılan çalışmaların tamamlayıcısı olarak oldukça verimli olabileceklerini göstermiştir.

2.3. Avrupa Birliği'ndeki ve Ülkemizdeki Ortam Havasındaki Ağır Metal Kirliliğinin Standartlarının Değerlendirilmesi

Avrupa Birliği (AB), 1996 yılında ortam hava kalitesinin değerlendirilmesi ve yönetimi hakkında 96/62/EC nolu Konsey Direktifi yayınlamıştır. Ortam hava kalitesinin insan sağlığı ve bir bütün olarak çevre üzerindeki zararlı etkilerini önlemek, engellemek veya azaltmak için tanımlamaları ve hedefleri belirtmeyi amaçlayan direktif kapsamında üye ülkelerin hava kalitesi ölçümleri yapması ve bu yapılan ölçümlerin sonuçlarının halk ile paylaşılması gerekmektedir. Bu direktif 2008 yılında ortam hava kalitesi ve Avrupa için daha temiz hava hakkındaki 2008/50/EC nolu Konsey Direktifi ile yenilenmiştir. Ancak bu süre zarfında, 96/62/EC nolu Konsey Direktifi temel alınarak halen geçerli olan 4 direktif hazırlanmıştır. Bunlardan ilki 1999 yılında yürürlüğe girmiştir. 1999/30/EC nolu Konsey Direktifi'nin amacı ortam havasındaki kükürt dioksit, azot dioksit, azot oksitler, partikül madde ve kurşun için limit değerleri tanımlamaktır. 2000 yılında hazırlanan ikinci direktifte ise ortam havasında benzen ve karbon monoksit için limit değerler tanımlanmıştır (Konsey Direktifi 2000/69/EC). 2002/3/EC nolu üçüncü direktif, ortam havasında ozon limit değerini tanımlamak için 2002 yılında hazırlanmıştır (Konsey Direktifi 2002/3/EC). Dördüncü direktifte ise 2004 yılında ortam havasında ağır metallerden arsenik, kadmiyum, nikel, cıva ile çok halkalı aromatik hidrokarbonlardan Benzo(a)piren'in limit değerleri tanımlanmıştır (Konsey Direktifi 2004/107/EC). Bu direktifte belirtilen ağır metaller ile 99/30/EC direktifinde belirtilen kurşunun insanlar üzerinde kanserojen etki yaptığı belirtilmiş olup, bu metallerin insan sağlığı için risk teşkil etmediği tanımlanabilir bir eşik değer olmadığı vurgulanmış ve bu metallerin atmosferde hiç bulunmaması gerektiği belirtilmiştir. Ancak, kimi ortamlarda bu metallerin bulunmasından kaçınılamayacağına değinilmiş ve hem insan sağlığı hem de bir bütün olarak çevre üzerindeki zararlı etkileri azaltmak amacıyla bu metaller için sınır değer tanımlanması gerekliliğine değinilmiştir. Bu ağır metaller için direktiflerde aerodinamik yarıçapı 10 µm'den küçük partiküler madde (PM₁₀) fraksiyonundaki Çizelge 2.1'de verilen hedef, üst değerlendirme eşiği ve alt değerlendirme eşiği değerleri tanımlanmıştır. Burada "hedef değer" insan sağlığı ve bir bütün olarak çevre üzerindeki zararlı etkilerden kaçınmak, bunları önlemek veya azaltmak amacıyla belirlenen ve öngörülen süre sonunda mümkün olan yerlerde ulaşılması amaçlanan seviyeyi; "üst değerlendirme eşiği" altına düşüldüğünde, hava kalitesini değerlendirmek için ölçümlerin ve modelleme tekniklerinin birlikte kullanılabileceği seviyeyi; "alt değerlendirme eşiği" ise altına düşüldüğünde, hava kalitesini değerlendirmek üzere modelleme veya nesnel tahminleme tekniklerinin tek başına kullanılabileceği seviyeyi ifade etmektedir. Konsey direktiflerinde, ayrıca örnekleme noktalarının seçimi, örnekleme ve örneklerin analizi ile ilgili kısıtlara da yer verilmiştir.

Çizelge 2.1. Ağır metaller için AB Konsey Direktiflerindeki hedef değerler, üst değerlendirme eşikleri ve alt değerlendirme eşikleri

Metaller	Hedef Değer	Üst Değerlendirme Eşiği	Alt Değerlendirme Eşiği
Arsenik	6 ng/m ³	3.6 ng/m ³	2.4 ng/m ³
Kadmiyum	5 ng/m ³	3 ng/m ³	2 ng/m ³
Nikel	20 ng/m ³	14 ng/m ³	10 ng/m ³
Kurşun	0.5 µg/m ³	0.35 µg/m ³	0.25 µg/m ³

Ülkemizdeki hava kirliliğinin çevre ve insan sağlığı üzerindeki zararlı etkilerini azaltmak ve önlemek amacıyla 02/11/1986 tarihli ve 19269 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği, AB uyum süreci kapsamında 06/06/2008 tarihli ve 26898 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi (HKDY) Yönetmeliği ile değiştirilmiştir. Yeni yönetmelik, AB’nin 96/62/EC, 99/30/EC, 2000/69/EC, 2002/3/EC ve 2004/107/EC sayılı direktiflerine paralel olarak hazırlanmıştır. Ancak uyum süreci çerçevesinde 2008 yılındaki yönetmelikte verilen limit veya hedef değerlere kademeli olarak ulaşılması hedeflenmiştir. Ağır metallerden kurşun için 01/01/2014 tarihinden sonra Çizelge 2.1’de AB direktiflerinde hedef değer olarak belirtilen değere ulaşılması HKDY Yönetmeliği’nde belirtilmiştir. Kurşun için 2014 tarihinden itibaren uzun vadeli sınır değer (yıllık ortalama) $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak belirlenmiştir. Arsenik, kadmiyum ve nikel için ise 01/01/2020 tarihinde AB direktifleri ile belirtilen hedef değerlere ulaşılacağı taahhüt edilmiştir. Yine AB direktiflerinde yer alan örnekleme noktalarının seçimi, örnekleme ve örneklerin analizi ile ilgili kıstaslar aynen yeni yönetmelikte yer bulmuştur. Yönetmeliğin Hava Kalitesi Hedeflerine Ulaşılması, Uygulaması ve Yürütülmesi başlıklı 3. Bölümü, 01/01/2014 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Bu bölüm çerçevesinde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ile Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüklerinin yönetmeliğe uyumluluğun sağlanması için gerekli önlemleri alması, temiz hava planı oluşturması, gerekli hallerde eylem planı oluşturması ve istisnai hallerde yapması gereken işlemleri yapması belirtilmiştir. Bu bölümün, sağlıklı yürütülebilmesi için farklı kaynaklardan açığa çıkan emisyonların ortam havasına olan etkilerinin bilinmesi gerekmektedir. Bunun için ise kapsamlı bir kaynak belirleme çalışması yapılmalıdır.

2.4. Hava Kirliliği Çalışmalarında Kaynak Belirleme ve Önemi

Ortam hava kalitesi verisi analizleri ve alıcı ortam kaynak belirleme modelleri, hava kalitesi yönetiminde giderek daha önemli bileşen olmaktadır. Emisyon kaynaklarının tanımlanması ve kaynakların hava kirliliğine katkılarının belirlenmesi, hava kirliliğinin azaltılması için en etkili kontrol mekanizmasının oluşmasına yardımcı olmaktadır.

Alıcı ortam modelleri, alıcı ortamdaki kaynak katkılarını tanımlamak ve ölçmek için teorik ve matematiksel bir çerçeve sağlar. Alıcı ortam modellemelerinde temel varsayım, kirleticilerin kaynaktan çıktıktan sonra fiziksel ya da kimyasal değişikliğe uğramadığıdır (Sharma 2010). Alıcı ortam modellemelerinde (i) kaynak odaklı modeller (Kimyasal Kütle Dengesi) ve (ii) alıcı ortam odaklı modeller (Faktör Analizi, Pozitif Matris Faktörizasyonu (PMF)) olmak üzere iki farklı yaklaşım vardır.

Birinci türde, alıcı ortamı etkileyen tüm kaynakların ve kaynakların kimyasal profillerinin tam olarak bilinmesi gerekmektedir. Kaynak odaklı modelleme çalışmalarında, tüm kaynaklar hakkında ön bilgi gerekmektedir. Kaynak odaklı modelleme çalışması sonucunda her kaynağın her kimyasala olan katkısı bulunur (Watson vd. 2001).

İkinci tür modelleme tekniği ile kaynak belirleme çalışması gerçekleştirmek için sadece ortam havası ölçüm sonuçlarına gerek duyulmaktadır. Bu modeller verilerin iç değişkenliklerine dayanarak kaynak profilleri ve kaynakların örneğe katkılarını belirler. Daha sonra söz konusu kaynak profilleri belirli kaynaklarla ilişkilendirilir. Bu tür bir

çalışmayı verimli gerçekleştirebilmek için kaynak sayısından çok daha fazla örneğe ve yine fazla sayıda eser elementin/bileşiğin konsantrasyon verisine ihtiyaç duyulmaktadır (Hopke 2009).

Kaynak belirleme çalışmaları aşağıdaki hedeflerden birine ya da birden fazlasına ulaşmak için yapılabilir:

- Belirli bir kaynağın emisyonunun bir alıcı ortamdaki etkisini nicel olarak belirlemek.
- Bir zaman aralığında, kontrol stratejilerinin etkinliğini değerlendirmek.
- Emisyon envanterlerini geliştirmek ve doğrulamak.
- Özellikle bölgesel ve yerel seviyelerde çevre yönetimini güçlendirmek.
- Belirli emisyon kaynakları ile ortam hava kalitesi arasında ilişki kurmak.
- Veri sağlayarak, bütünleşmiş stratejiler ile emisyonların azaltılmasını sağlamak

Kaynak belirleme aşamalarında PMF kullanan hava kalitesi çalışmaları literatürde taranmış ve bazıları aşağıda özetlenmiştir;

Betsou vd. (2021) yaptıkları çalışmada 2016 yılında Yunanistan'ın kuzeyinde toplam 105 adet yosun örneğini deniz seviyesinden yüksekliği 30 m ve 1450 m aralığında değişen ve ana yollardan en az 300 m ve yerleşim alanlarından en az 200 m uzakta olan bölgelerden toplamışlardır. Çalışmada 4 farklı yosun türü kullanılmıştır (*Hypnum cupressiforme* Hedw., *Pseudoscleropodium purum* (Hedw.) M. Fleisch, *Camptothecium lutescens* (Hedw.) Schimp., ve *Homalothecium sericeum* (Hedw.) Schimp.). Toplanan örneklerde nötron aktivasyon analizi (NAA) ile 30 elemente bakılmıştır. EPA PMF 5.0 modeli çalıştırılmadan önce belirsizliği yüksek olan elementler modelden çıkartılmış, bunun yanı sıra ilk model denemelerinde “residual” değerleri yüksek çıkan 4 element de modelde “zayıf” olarak işaretlenmiştir. Gerekli ön işlemler yapıldıktan sonra model 105 örnek için 4 ve 10 arasında değişen kaynak sayıları ile çalıştırılmış, G skorları ve Q değerleri gibi farklı kriterlere de bakılarak 5 kaynak faktörü belirlenmiştir. Bunlar; Toprak, kirlenmiş deniz tuzu, yol tozu, termik santral ve Mn-zengini olarak adlandırılmıştır. Sonuçlara bakıldığında yosunlarda bulunan eser elementlerin büyük çoğunun toprak tozu ile ilişkili olduğu belirlenmiştir.

Olise vd. (2019) üniversite kampüsünün yeşil alanlarından topladıkları yosun ve likenleri, Botanik bölümünde kontrollü bir ortamda olgunlaştırmışlardır. Daha sonra olgunlaştırdıkları bu yosun ve likenleri Güneybatı Nijerya'da iki tane geri dönüşüm demir ve çelik döküm fabrikası yakınlarına yerleştirmişlerdir. Çalışmada örnekleme süresi olarak ıslak ve kuru dönemi kapsayan 3 aylık bir periyod seçilmiştir. Toplanan örnekler toz ve toprak partiküllerinin uzaklaştırılması için distile su ile yıkanmış ve oda sıcaklığında kurutulmuştur. Bu işlemler sonrasında örnekler toz haline getirilmiş ve sonra peletleme makinesi ile pelet haline getirilerek XRF analizine gönderilmiş ve 17 elementin analiz işlemleri gerçekleştirilmiştir. EPA PMF modeli çalıştırılmadan önce örneklerin “signal-to-noise” oranlarına bakılmış ve hepsi ikiden büyük olduğu için elementlerin tamamı modelde kullanılmıştır. Herhangi bir element “zayıf” olarak işaretlenmemiştir. Model yosun ve liken örnekleri için ayrı ayrı 4 ve 7 arasındaki kaynak faktörleri için çalıştırılmıştır. Kaynak katkıları ve kaynak profilleri incelendiğinde her ikisi için de en iyi sonucu 4 kaynak faktörünün verdiği tespit edilmiştir. Liken örnekleri için elde edilen kaynaklar; Yol tozu, kömür yakma, toprak elementleri, demir kaynağı olarak adlandırılmıştır. Yosun örnekleri için elde edilen kaynaklar ise; yol tozu, metal işleme,

toprak ve demir kaynağı olarak adlandırılmıştır. Çalışmanın sonucunda yosunların metal işleme prosesleri kaynağını tespit etmekte iyi olduğu, likenlerin ise eser element izleme için iyi olduğu belirlenmiştir. Her ikisinin de metal döküm fabrikaları yakınındaki bölgelerin kaynaklarının belirlenebilmesi için kullanışlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Zhou vd. (2021) yaptıkları çalışmada *Haplocladium microphyllum* (Hedw.) Broth. türü yosunu kullanarak Çin'in Yancheng şehrindeki ağır metal kaynaklarını tespit etmeye çalışmışlardır. Yancheng Çin'in orta batısında bulunan ve toplamda 8,5 milyon insana ev sahipliği yapan bir bölgedir. Yaklaşık 16,931 km² alana sahip bu bölge 15x15 km'lik 68 parçaya bölünerek, her bir parçadan Temmuz ve Ağustos 2017 tarihleri arasında yosun örnekleri toplanmıştır. Örneklerin toplandığı noktaların köylere, ana yollara ve endüstriyel tesislere en az 300 m, binalardan ve yan yollardan ise 100 m mesafede olmasına dikkat edilmiştir. Bununla birlikte örneklerin ağaç gölgelerinden de en az 3 metre uzakta olmasına ve çalılık alanlar yerine kayaların üstlerinden toplanmasına dikkat edilmiştir. Her bir parça kendi içinde de 50x50 m'lik alt alanlara bölünerek her bir parça için toplam 5 alt alandan örnek toplanmıştır ve bu toplanan örnekler karıştırılarak o parçanın örneğini oluşturmuştur. Toplanan örnekler laboratuvarda temizlenmiş ve 40 °C'de kurutularak toz haline getirilmişlerdir. Toplanan örneklerin ağır metal analizleri ICP-AES cihazı ile yapılmış ve toplamda 9 ağır metal analiz edilmiştir. Bu analizlerin dışında ICP-MS cihazı ile yosun örneklerindeki Pb izotopları (²⁰⁶Pb, ²⁰⁷Pb ve ²⁰⁸Pb) belirlenmiştir. Toplanan 68 örnek için 3, 4 ve 5 kaynak faktörü için EPA PMF 5.0 modeli çalıştırılmış ve optimum sonuca 4 kaynak faktörü ile ulaşılmıştır. Bu kaynaklar sırasıyla; Metal işleme, tarımsal aktivite, doğal kaynaklar/inşaat ve trafik emisyonları olarak isimlendirilmiştir. PMF çalışmasının yanı sıra yapılan Pb izotop analizleri de Pb'nin Yancheng'teki en önemli iki kaynağının trafik ve metal işleme tesisleri olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonuçları, yosunlardaki ağır metallerin tespitinin hava kirliliğinin izlenmesinde etkili bir yöntem olabileceğini göstermiştir.

Chatoutsidou ve Lazaridis (2022) Girit adasının kuzeybatısında bulunan Girit teknik üniversitesinin kampüsünde yaptıkları çalışmada Mayıs 2020 – Eylül 2021 tarihleri arasında ilkbahar (05/05/20-03/06/20), kış (12/10/20-17/12/20) ve yaz (19/07/21-17/09/21) olmak üzere 3 ayrı dönemde PM₁₀ ve PM_{2.5} örnekleri toplamışlardır. Çalışma süresince toplam 100 örnek çifti elde edilmiştir. Toplanan örnekler ED-XRF cihazı ile analiz edilmiş ve toplamda 24 element incelenmiştir. Sonuçlara EPA PMF 5.0 modeli uygulanırken sadece örneklerin en az %50'sinde görülen elementler modele girilmiştir (>25). Eksik değerlerin yerine belirleme limitinin yarısı girilmiş ve belirsizlik olarak da yine belirleme limitinin 5/6'sı kullanılmıştır. Model PM_{2.5} ve PM₁₀ için ayrı ayrı çalıştırılmış ve her ikisi için de 2-6 arası kaynak faktörü denenmiş ve yine her ikisi için de en uygun kaynak faktörü sayısının 4 olduğu sonucuna ulaşılmıştır. PM₁₀ için bulunan kaynak faktörleri; İkincil kükürt/trafik, yol tozu, deniz tuzu ve mineral toz olarak isimlendirilmiştir. PM_{2.5} için ise; kirlenmiş deniz tuzu, biyokütle yanması, mineral toz, ikincil kükürt/trafik olarak adlandırılmıştır. Her iki partikül boyutunun kaynakları oldukça benzer olmakla beraber, PM₁₀' da tespit edilen yol tozu kaynağı PM_{2.5}'ta gözlenmemiştir. PM_{2.5}'ta tespit edilen biyokütle yanması kaynağı ise PM₁₀'da tespit edilmemiştir. Bu durum kaynakların partikül boyutunun farklılıkları nedeniyle beklenen bir durumdur.

2.5. Türkiye’de *Hypnum cupressiforme* Hedw. türü yosun kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalar.

Türkiye’de *Hypnum cupressiforme* Hedw. yosunu kullanılarak yapılan çalışmaları tespit edebilmek için “webofscience” veri tabanında sadece -" *Hypnum cupressiforme*" AND “Turkey”- anahtar kelimeleri kullanılarak herhangi bir zaman kısıtı koyulmadan arama yapılmış ve arama sonucunda 37 çalışma ile karşılaşmıştır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde 13 tanesinin hava kirliliği ile ilgili olduğu tespit edilmiş ve 11 tanesi aşağıda özetlenmiştir. Yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunda Rühling (1994); Rühling ve Steinnes (1998) tarafından önerilen metodoloji kullanılmıştır. Web of science’ta taranan ve Türkiye’de gerçekleştirilen hiçbir çalışmada, bu çalışmadaki gibi yosun transplantasyonu ile yosun torbaları kullanılmamış, aksine seçilen örnekleme alanında hali hazırda bulunan yosunlar doğrudan bulundukları bölgelerden alınarak analiz edilmişlerdir. Yine incelenen çalışmaların hiçbirisinde yosun örneklerine herhangi bir yıkama işlemi uygulanmamıştır.

Kılıç vd. (2021) Türkiye’nin Avrupa kıtasında kalan bölümü için yaptıkları çalışmada, Ekim-Kasım 2017 tarihleri arasında 44 noktadan örnek toplamışlardır. Örnek toplama noktaları seçilirken, “canopy” etkisinden kaçınmak için ağaçlardan 5 metre, trafik etkisinden kaçınmak için ise ana yollardan en az 500 m, yan yollardan ise en az 200 m uzakta olunmasına dikkat edilmiştir. Toplanan örneklerin üzerinden yabancı maddeler (toprak parçaları, yapraklar vb.) temizlendikten sonra sabit tartıma gelene kadar 30-40 °C’de 48 saat bekletilmişlerdir. Örneklerden 0.3 g tartılarak pelet haline getirilmiştir. Ön işlemlerden sonra NAA ve AAS analizleri ile 34 element belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlara elementlerin kaynaklarını belirleyebilmek adına zenginleştirme faktörü (EF) ve temel bileşen analizleri (PCA) uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda Cd, Cu, Zn elementlerinin konsantrasyonlarının ortalanca değerlerinin, Avrupa ülkelerinin ortalanca değerlerinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra As, Ni, Pb, Sb elementlerinin ortalanca değerleri ise Avrupa ülkelerinden elde edilen ortalanca değerlerden daha yüksek tespit edilmiştir.

Akçay vd. (2016) Çamlıhemşin/Rize’de yaptıkları çalışmada, bölgenin en önemli turizm merkezlerinden birisi olan Zilkale’nin çevresinden *Hypnum cupressiforme* Hedw.’nin de aralarında bulunduğu 5 yosun türüne ait örnekler toplamışlardır. Toplanan örnekler laboratuvarda sabit tartıma getirilmiş ve peletlenerek analize hazır hale getirilmişler ve As, Cd, Cr, Pb ve Hg elementlerinin EDXRF ile analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara detaylı bir analiz yapılmamış olup elde edilen konsantrasyonlara bakılarak çalışmada kullanılan yosun türlerinin biyoizleyici olarak atmosferdeki ağır metallerin belirlenmesi çalışmalarında kullanılabileceği çıkarımı yapılmıştır.

Çabuk vd. (2014) yaptıkları çalışmada Türkiye’nin en büyük demir çelik fabrikasına sahip olan Ereğli’de 21 ve Kömür madenciliği ile bilinen Zonguldak’ta 17 noktadan yosun örnekleri toplamışlardır. Örnekler toplanırken ana yollardan ve köylerden en az 300 m, yan yollardan ve binalardan ise en az 100 m uzakta olacak noktalar seçilmiştir. Laboratuvara getirilen örnekler yabancı maddelerden temizlenip oda sıcaklığında sabit tartıma getirildikten sonra analizlere kadar -18 °C’de polietilen torbalarda saklanmışlardır. Hazırlanan örneklerden 5 g tartılmış ve homojenize edilmişlerdir. Çeşitli ön işlemlerden sonra HPLC analizine hazır hale gelen numuneler 11

farklı PAH konsantrasyonunun tespiti için analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile literatür karşılaştırılarak PAH'ların olası kaynakları ile ilgili bilgi sahibi olunmaya çalışılmıştır. Ayrıca PAH'ların alansal dağılımlarına bakılarak da kaynak bölgeler tespit edilmeye çalışılmıştır. PAH konsantrasyonlarının şehir merkezinden uzaklaştıkça kademeli olarak düştüğü tespit edilmiştir. Bu nedenle PAH kirliliğine etki eden kaynakların uzun mesafeli değil bölgesel olduğu düşünülmüştür.

Koz ve Cevik (2014) yaptıkları çalışmada 6 yosun türünün Pb tutma kapasitelerini incelemiştir. Çalışmada kullanılan örnekler Haziran 2007 yılında, Sarp-Samsun otoyolu boyunca değişik bölgelerden toplanmıştır. Toplanan örnekler FAAS cihazı ile analiz edilmiştir. Çalışmanın sonucunda Pb tutma kapasitesi en yüksek olan iki yosun türü sırasıyla *Eurhynchium striatulum* ve *Hypnum cupressiforme* Hedw. olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte yüzey alanları ile Pb tutma kapasiteleri arasında da bir pozitif korelasyon olduğu anlaşılmıştır. Sonuç olarak yosunların ağır metal kirliliğinin araştırılmasında biyo-izleyici olarak kullanılmasının uygun olduğu düşünülmektedir.

Coskun vd. (2011) Batı ve Güney Marmara bölgesinde Eylül 2004 tarihinde 125 noktadan (çalışma alanını 20x20 km'lik parçalara bölüp her parçanın merkezinden 5 alt örnek toplayıp birleştirerek) yosun örnekleri toplayarak, ICP-AES cihazıyla örnekleri 11 elementin konsantrasyon değerlerinin tespiti için analiz etmişlerdir. Örneklerin toplandığı noktaların ana yollardan 300 m, yan yollardan 100 m ve ağaçlardan en az 3 m uzakta olmasına özen gösterilmiştir. Örnekler analiz öncesinde laboratuvarında 40 °C'de sabit tartıma getirilmiş, temizlenmiş ve toz haline getirilerek homojenize edilmiş ve plastik torbalarda saklanmışlardır. Elde edilen sonuçlara PCA ve EF uygulanmış ve olası kaynaklar hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır. Bu analizler sonucunda 5 olası kaynak belirlenmiş ve Pb, Cu, Cd, Zn elementlerinin çoğunlukla antropojenik ve endüstriyel kaynakları olduğu, diğer elementlerin ise çoğunlukla doğal kaynaklardan salındığı tespit edilmiştir.

Coskun vd. (2009a) Eylül 2001 tarihinde yaptıkları çalışmada, *Hypnum cupressiforme* Hedw. türü yosun ve *Cladonia rangiformis* Hoffm. türü likenlerin atmosferdeki metal kirliliğinin tespitinde biyo-izleyici olarak kullanımlarını karşılaştırmışlardır. Örneklem noktaları seçilirken yukarıda detayları verilen ve yine Coskun vd. (2011) tarafından yapılan çalışmadaki metodoloji uygulanmış ve toplam 68 yosun ve 25 liken örneği toplanmıştır. 68 yosun örneğine karşılık aynı noktalarda sadece 25 adet liken örneği toplanabilmiş olması, likenlerin iklimsel koşullara ve hava kirliliğine karşı yosunlardan daha hassas oldukları ile ilişkilendirilmiştir. AAS analizleri ile elde edilen element konsantrasyonlarının tamamının yosun örneklerinde liken örneklerinden daha yüksek olduğu tespit edilirken elementlerin korelasyonları ise genellikle liken örneklerinde yüksek bulunmuştur. Elde edilen bulgular sonucunda metal kirliliğinin tespitinde yosunların likenlerden daha uygun olduğu düşünülmektedir.

Coşkun vd. (2009b) Bulgaristan'ın Güneydoğu'su ve Türkiye'nin Avrupa kıtasında kalan kısmını kapsayan 35736 km²'lik bir alanda yosunların atmosferik ağır metal kirliliğine sınırlar arası tepkilerini değerlendirmişlerdir. Toplanacak örnek sayıları belirlenirken Avrupa yosun araştırmalarında belirtilen 100 km²'ye 1.5 yosun örneği değeri baz alınmıştır. Böylece Eylül 2001 tarihinde, 40'ı Bulgaristan'da ve 74 tanesi de Türkiye'de olmak üzere toplam 114 alandan örnek toplanmıştır. Örneklem alanları 50X50 m'lik parçalara ayrılmış ve örneklerin toplandığı noktaların ana yollardan 300 m,

yan yollardan 100 m ve ağaçlardan en az 3 m uzakta olmasına özen gösterilmiştir. Toplanan örneklerle herhangi bir yıkama işlemi uygulanmamış, doğrudan elle homojenize edilmişlerdir. Örnekler ICP-AES cihazı ile analiz edilmiş ve toplam 10 adet ağır metalin tespiti yapılmıştır. Önceki çalışmalarla yapılan karşılaştırmalarda özellikle Pb ve As konsantrasyonlarında büyük düşüş gözlenmiştir. Bunun en önemli nedeninin Türkiye’de 2000 yılında kurşunlu benzin’in yasaklanması olduğu düşünülmüştür. Bununla birlikte As konsantrasyonlarındaki düşüşe çalışmanın yapıldığı dönemin öncesindeki 5 yılda belirlenen şartları sağlamayan kömür kullanımının yasaklanmasının katkı sağladığı da belirtilmiştir. Bu çalışma ile aynı tarihlerde yine Coşkun vd. (2005) tarafından aynı bölgede başka bir çalışma daha yapılmış, bu çalışmada örnekler NAA ile analiz edilmiştir.

Uyar vd. (2009) Zonguldak’taki ağır metal kirliliğini tespit edebilmek için Eylül 2006’da yaptıkları çalışmada 16 noktadan yosun örnekleri toplamışlardır. Örnekleme noktaları seçilirken ana yollardan 300 m, yan yollardan ise 100 m uzak olunmasına dikkat edilmiş fakat yine de şehir merkezine yakın ve trafik gibi kirlletici kaynağı olduğu düşünülen alanlara uzak olmayan bölgeler seçilmiştir. Yosun örnekleri toplanırken çalışma alanı 50X50 m’lik parçalara bölünmüş ve her bir parçadan 1-5 arası alt örnek toplanıp birleştirilmiştir. 16 örnekleme noktasının dışında 8 tane de kirlilik kaynaklarından uzak bölge seçilerek aynı tarihlerde bu noktalardan da yosun örnekleri toplanmış ve geriplan istasyonu verisi olarak kullanılmışlardır. Örnekleme yapılan noktalar; trafik, endüstriyel bölge, yerleşim bölgesi ve görece kırsal alan olmak üzere 4 kategoriye ayrılmışlardır. Toplanan yosun örnekleri ICP-OES cihazı ile analiz edilmiş ve Fe, Pb, Cu, Ni, Cr, As ve Co ağır metallerinin konsantrasyonları belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda yosun örneklerinde tespit edilen ağır metallerin en önemli kaynaklarının sırasıyla Çatalağzı termik santrali, Ereğli demir çelik fabrikası, evsel ısınma ve trafik olduğu sonucuna varılmıştır.

Uyar vd. (2008) yılında yaptıkları çalışmada kararlı hal Gauss dispersiyon modeli olan ISC-ST modelini kullanarak Ereğli demir çelik fabrikasının emisyonlarının en çok kirlettiği bölgeleri teorik olarak hesaplamışlardır. Model sonucunda 22x15 km’lik toplam 27 alan belirlenmiştir. Belirlenen bu alanlarda Mayıs 2003 ve Ekim 2004 yılları arasında *Hypnum cupressiforme* Hedw. türünün yanı sıra *Scleropodium purum* türü yosun da kullanılmıştır. Örnekleme süresi içerisinde 27 alanın sadece 12’sinden toplam 21 örnek toplanabilmiştir. Örneklerle herhangi bir yıkama prosedürü uygulanmamıştır. GFAAS analizi ile Fe, Pb, Ni, Cr, As, Cu ve Co ağır metallerinin konsantrasyon değerleri belirlenmiştir. *Hypnum cupressiforme* türü daha bütün örnekleme alanında rahatça bulunabilmesine rağmen *Scleropodium purum* türü her noktada tespit edilememiştir. İki yosun türü arasında karşılaştırma yapıldığı zaman, *H. Cupressiforme* örneklerinde Fe ve Ni elementleri daha yüksek konsantrasyonlarda tespit edilirken, Pb, Cu ve Co elementleri ise *S. Purum* örneklerinde daha yüksek konsantrasyonlarda tespit edilmiştir. İki yosun türünün konsantrasyonları arasında Fe hariç diğer elementlerin hiçbirisinde anlamlı bir korelasyona rastlanmamıştır (Karşılaştırılan örnekler aynı noktalardan alınmamış olmakla birlikte birbirlerine yakın bölgelerden temin edilmişlerdir).

Türkan vd. (1995) İzmir’de bulunan bir demir çelik fabrikasının 0.25, 1 ve 2.5 km uzağından 26/02/1992 ve 13/8/1992 tarihleri arasında *Hypnum cupressiforme* türü yosun ve Kızılcım ağacı örnekleri toplamışlardır. Örnekler Pb, Cd, Zn, Cr, Mn ve Fe konsantrasyonlarının belirlenmesi için AAS ile analiz edilmişlerdir. Elde edilen sonuçların aritmetik ortalamaları her zaman yosun örneklerinde, kızılcım örneklerine

göre çok daha yüksek bulunmuştur. Ağır metal kirliliğinin izlenmesinde yosunların kullanımının daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca elde edilen konsantrasyon değerleri tesisin 2.5 km uzağının bile oldukça fazla ağır metal kirliliğine maruz kaldığını göstermiştir.

2.6. Antalya ve Civarında Önceden Yapılan Hava Kalitesi Belirleme Çalışmaları

Antalya şehir merkezini oluşturan dört belediye (Muratpaşa, Kepez, Konyaaltı ve Döşemealtı) sınırları dahilinde bugüne kadar ortam havasında ağır metal ölçümüne yönelik sadece bir akademik çalışma gerçekleştirilmiştir. Ancak, 2014 Mart ayında Dr. Güray Doğan ve Dr. Çiğdem Moral tarafından, Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne sunulan iki proje önerisi ile Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'ne yakın bir noktada Stack Filter Unit kullanarak örnek toplanmıştır. PM_{2.5} ve PM_{2.5-10} arası PM toplanan bu çalışmalar bir takvim yılı sürmüştür. Filtreler XRF ile 13'er element için analiz edilmiştir. Sonuçların tamamlanmış olması gerekmektedir. Ancak sadece kış mevsimine ait veriler değerlendirilmiş olup, kömür yanmasının ve yerel toprak tozunun sırasıyla PM_{2.5} ve PM_{2.5-10} arası PM için önemli birer kaynak olduğu belirlenmiştir. Ayrıca yerel toprağın ağır metaller ile yoğun şekilde kirlendiği tespit edilmiştir.

Antalya şehir merkezinde hava kalitesini izlemek amacıyla Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na bağlı olarak Antalya Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nce işletilen bir, Antalya Büyükşehir Belediyesi'nce işletilen üç olmak üzere toplam dört noktada sabit PM₁₀ ve kükürt dioksit ölçümleri yapılmaktadır. Ayrıca Antalya Büyükşehir Belediyesi bünyesinde bir adet kükürt dioksit, azot oksitler, ozon ve PM₁₀ ölçümü yapan mobil araç bulunmaktadır.

Antalya-Kemer yolu üzerinde 1993-2001 yılları arasında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nce yüksek hacimli örnekleyici ile örnekleme yapılmış ve örnekler 48 element, 4 iyon ve siyah karbon için analiz edilmiş olup, söz konusu dönemde elde edilen veriler ile 1 yüksek lisans, 2 doktora çalışması tamamlanmıştır (Güllü 1996; Doğan 2005; Öztürk 2009). Bu çalışmalarda asıl amaç, kentsel hava kirliliğine sebep olan metalleri ölçmekten ziyade, uzun mesafeli taşınım ile ülkemize ulaşan kirlilikleri ve kaynaklarını tespit etmeye yöneliktir. Öztürk vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada, bölgeyi etkileyen kaynakların toprak, deniz taşımacılığından kaynaklı yakıt yanması, kömür yanması, trafik emisyonları ve deniz tuzu olduğu sonucuna varılmıştır. Daha önce Gullu vd. (2005a) tarafından yapılan çalışmada bölgeyi etkileyen antropojenik kaynakların Türkiye'nin batısı, Ukrayna, Yunanistan, Romanya, Fransa ve İspanya'nın kıyı kesimleri ile Rusya'nın Karadeniz'e kıyısı olan kesimler olduğu belirlenmiştir. Doğan vd. (2008)'de yaptığı kaynak belirleme çalışmasında, bölgeyi etkileyen iki ayrı toprak kökenli kaynak bulmuştur. Bu kaynaklardan birisinin bölgedeki yerel toprağı temsil ettiği ve diğer toprak kaynağının ise Sahra'dan taşınan çöl tozu olduğu belirtilmiştir. Bu üç çalışmada da denizden kaynaklı deniz tuzu faktörü doğal bir kaynak olarak belirlenmiştir. Ayrıca, antropojenik kaynaklı olarak bilinen sülfat ve nitrat iyonlarının potansiyel kaynak bölgelerini belirlemeye yönelik yapılan çalışmada, Türkiye'nin batı kıyılarının, Yunanistan'ın, Rusya'nın ve Ukrayna'nın Karadeniz kıyılarının önemli kaynak bölgeler olduğu belirlenmiştir (Doğan vd. 2010).

Bu çalışma serisinden başka, aynı örnekleme noktasında 1993-1994 yılları arasında, eser elementlerin ve iyonların parçacık boyut dağılımları incelenmiştir (Kuloglu ve Tuncel 2005). Deniz kaynaklı elementlerin kütle orta çapı 4.6 – 5.3 μm arasındayken, toprak kaynaklı elementlerin kütle orta çapı 3.0-3.5 μm olarak belirlenmiştir. Sahra tozundan etkilenen örneklerdeki toprak kökenli elementlerin kütle orta çapının %30 daha düşük olduğu belirlenmiştir. Antropojenik kaynaklı elementlerden As, Cd, Mo, Pb, Se, ve Zn'nin kütle orta çapları 1.01-1.25 μm arasında değişiklik göstermiştir. Bu elementlerin %10-30'u arasındaki kütlelerin partiküler çaplarının 2.1 μm 'den büyük olduğuna değinilmiş ve bunun en önemli sebebinin bu elementlerin topraktan da kaynaklanabilecek olması olduğu vurgulanmıştır. Br, Cr, Ni ve V'nin bi-modal (çift tepeli) partiküler kütle dağılımına sahip olduğu belirlenmiştir. Bu elementlerin ince kısmının antropojenik faaliyetlerden kaynaklandığı, Br'nin kaba kısmının denizden, Cr, Ni ve V'nin kaba kısımlarının ise topraktan kaynaklandığı belirtilmiştir (Kuloglu ve Tuncel 2005).

1992-1994 yılları arasında aynı bölgede yağmur suyu örnekleri toplanmış ve yağmurun elementel ve iyon kompozisyonu belirlenmiştir. Doğu Akdeniz bölgesinin en önemli karakteristiğinin, topraktan atmosfere salınan CaCO_3 partiküllerinin yağmur suyundaki asitliği nötralize etmesi olduğu vurgulanmıştır. Toprak kökenli elementler haricindeki metallerin konsantrasyonlarının kış aylarında istatistiksel olarak daha yüksek olduğu, toprak kökenli elementlerin konsantrasyonlarının ise yaz aylarında daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Al-Momani vd. 1998).

Antalya bölgesinde 2005 yılında tamamlanan bir çalışma ortam havasındaki ozon kirliliğinin ağaçlar üzerine olan etkisi üzerinedir. Bu çalışma kapsamında, Mayıs 2003-Ekim 2004 tarihleri arasında Akdeniz bölgesi ormanlık alanında pasif örnekleme tekniği ile yer seviyesi ozon ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bölgedeki ozon konsantrasyonlarının 13-410 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ arasında olduğu ölçülmüştür. Genel olarak en yüksek ozon konsantrasyonları ilkbahar ve yaz aylarında yüksek rakımlı bölgelerde tespit edilmiştir. Örnekleme bölgelerinden toplanan doğal bitki türlerinin yapraklarında gözle yapılan incelemeler, stoma yoğunluğunun ve fotosentetik pigment kayıplarının incelenmesi sonucunda, bölge genelinde incelenen 41 farklı doğal tür arasında 11 türün ozon biyo-indikatörü olarak kullanılabileceğini göstermiştir (Güllü vd. 2005b).

Akdeniz Üniversitesi Kampüsünde yapılan çalışmada, Temmuz 2014 – Temmuz 2015 tarihleri arasında iki günde bir 24 saat kesintisiz olacak şekilde PM_{2.5} (ince fraksiyon) ve PM_{2.5-10} (kaba fraksiyon) örnekleri toplanmıştır. Toplanan örnekler EDXRF cihazı ile analiz edilmiş ve 15 elemente bakılmıştır. Elde edilen sonuçlarla ince ve kaba fraksiyon için ayrı ayrı PMF modeli çalıştırılmıştır. PMF analizi sonucunda hem ince hem de kaba partikül boyutu için beşer faktör belirlenmiştir. İnce partikül boyutu için belirlenen faktörler Mn madeni emisyonları, ikincil kükürt, yanma kaynaklı emisyonlar, deniz emisyonları ve toprak emisyonları; kaba partikül boyutu kaynaklar ise toprak emisyonları, yanma kaynaklı emisyonlar, deniz tuzu, Mn maden emisyonları ve yol tozu olarak adlandırılmıştır. İnce partikül boyutunda yanma, kaba partikül boyutunda ise yol tozu en önemli faktörler olarak belirlenmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Çalışma Bölgesi

Antalya ili Türkiye'nin güneybatı kesiminde yer almaktadır. İlin kara sınırlarını Toros Sıradağları meydana getirmektedir. Antalya'nın güneyinde Akdeniz, kuzeyinde Isparta ve Burdur, doğusunda Mersin, Karaman ve Konya, batısında Muğla illeri yer almaktadır. Toplam yüzölçümü 20,791 km²'dir. İklim tipini etkileyen yer şekilleri, bakı, yükselti ve denize olan mesafe gibi fiziki özellikler Antalya ilinin farklı bölgelerinde iklimsel farklılıklar yaratmaktadır. Bütün iklim özellikleri birlikte değerlendirildiğinde, yazların sıcak ve kurak geçtiği, kışların ise genelde ılık ve yağışlı olduğu görülmektedir. Bununla birlikte kış aylarında daha iç kesimlerde sıcaklıklar kıyı kesimlerine göre daha düşük seviyelerde ve don olaylarının sıklığı daha fazladır. Coğrafi özelliklerden ortaya çıkan bu yerel farklılıklar göz ardı edilirse Antalya'nın iklimi genel olarak Akdeniz iklim tipine girmektedir. Fakat ilin iç kesimlerinde Akdeniz ikliminin bir "geçiş tipi" Soğuk Yarı - Kara İklim görülmektedir. Tipik Akdeniz ikliminin görüldüğü kesimlerde maki ve kızılcam ormanları egemendir. 2000 metreye kadar olan kesimlerde karaçam, sedir ve göknar ormanları yaygındır. Teke Yöresinde 2000 metrenin üzerinde step bitkileri yetişmektedir (Sarı ve Koçak 2012).

Anadolu'da bilinen yerleşim alanlarından en eskisi il merkezinin 30 km kuzeybatısında Korkuteli yolunda bulunan Karain Mağarası'dır. Tarihlendirilmesi Alt Paleolitik Çağa uzanan bu mağarada yapılan kazılar sonucunda elde edilen Homo sapiens'e ait kalıntılar yaklaşık olarak M.Ö. 220 bin yılından bugüne kadar kesintisiz bir uygarlığın varlığını ortaya çıkarmıştır (Sarı ve Koçak 2012).

Antalya'nın 2022 yılı sonu itibarıyla nüfusu 2,688,004'tür. Son beş yıllık dönemde yıllık ortalama %2.57'lik nüfus artışı ile dikkat çeken Antalya, nüfusu en çok artan iller sıralamasında Yalova'nın ardından 2. şehir olmuştur (Türkiye İstatistik Kurumu 2023a). Ayrıca, nüfus artışına paralel olarak, şehirdeki motorlu kara taşıtı yıllık artış hızı %8 olmuş ve ülkemizdeki araç sayısındaki yıllık artış hızı olan %4.9 değerinin üzerinde olmuştur (Türkiye İstatistik Kurumu 2023b).

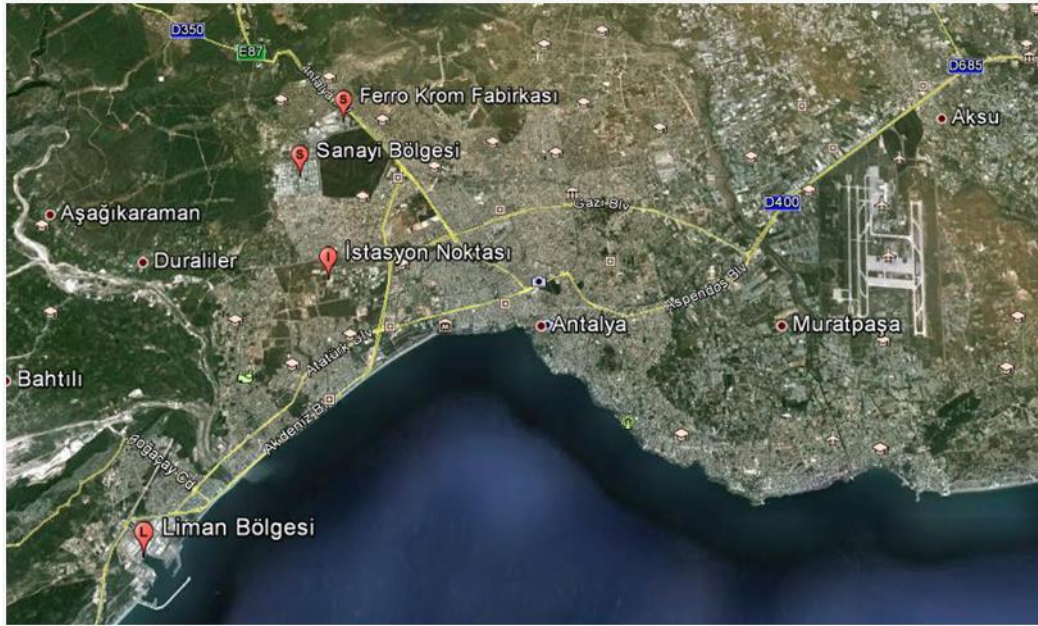
Antalya ilinde tarım çok önemli bir gelir kaynağı olup 2022 yılı itibarıyla toplam yüzölçümünün yaklaşık %17.2'sinde tarımsal faaliyet gerçekleştirilmiştir. Her ne kadar söz konusu alanın Türkiye'deki toplam tarımsal alan içerisindeki oranı %1.46 seviyesinde olsa da tarımsal faaliyetlerin ülkemiz toplam üretim değerine oranı %6.32'dir. Bu veriler incelendiğinde, Antalya'da birim alanda sürdürülen tarımsal faaliyetin Türkiye geneline göre 5.4 kat daha değerli olduğu sonucu çıkmaktadır. Tarımsal faaliyetlerin ekonomik olarak değerli olmasındaki en önemli parametre, Türkiye'deki toplam örtü altı sebze ve meyve üretiminin yaklaşık %46'sının Antalya'da gerçekleşmesidir. Ülkemizde üretilen tahıl ve diğer bitkisel ürünlerin, sebzelerin ve meyvelerin, sırasıyla %0.85'i, %15.6'sı ve %7.13'ü Antalya'da üretilmektedir (Türkiye İstatistik Kurumu 2023c).

Antalya, sağlamış olduğu kültür, deniz, spor, sağlık, kış, golf, kongre, yayla, doğa, mağara, kamp ve karavan, av ve inanç turizmle alanlarında ülkemizin en önde gelen cazibe merkezidir. 2022 yılında ülkemizi ziyaret eden 43,642,647 yabancı turistin yaklaşık %29'u (12,793,283 kişi) Antalya'dan yurda giriş yapmıştır. Bu oranla Antalya, Türkiye'nin İstanbul'dan (15,757,950 kişi) sonra en çok ziyaret edilen ikinci şehri

olmuştur (Türkiye İstatistik Kurumu 2023d). Devlet Hava Meydanları (2023) verilerine göre, Antalya Havalimanı'nı kullanan yolcu sayısı 2007 yılında 17,710,385 iken, bu sayı 2013 yılında 27,003,712, 2018 yılında ise 31,703,864 olmuştur. COVID-19 pandemisi ile bu sayılarda dramatik bir düşüş yaşanmış ve 2020 yılında bu sayı 9,711,195 seviyelerine kadar gerilemiştir. 2022 yılı sonu itibarıyla da pandemi öncesi seviyelerine dönerek 31,210,119 olmuştur.

3.2. Örneklem Alanı

Bu çalışmada, örneklem Akdeniz Üniversitesi Kampüsü'nde bulunan üç katlı Mühendislik Fakültesi binasının çatısında yapılmıştır (36.88°K, 30.63°D). İstasyonun yeri ve etrafındaki yerleşim yerleri hakkındaki bilgiler Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Örneklem istasyonu, yerden 15 m yukarıda bulunmaktadır. Deniz seviyesinden yüksekliği 30 m ve denizden uzaklığı 2.5 km'dir. İstasyonun yakınında herhangi bir noktasal ya da alansal önemli antropojenik kaynak olmaması, bununla birlikte kentsel konsantrasyonları temsil edici bir noktada yer alması örneklem için bu noktanın seçilmesinde önemli rol oynamıştır. Bununla birlikte aynı noktada 2016 yılında PM_{2.5} ve PM_{2.5-10} örneklemesi yapılmış olması (Tepe 2016) nedeniyle örneklem noktasındaki elementel konsantrasyonlar ile ilgili bilgi sahibi olunması da yine örneklem için bu noktanın seçilmesindeki bir başka kriter olmuştur.



Şekil 3.1. İstasyonun bulunduğu kampüs çevresinin görüntüsü

3.3. Geliştirilen Örnekleyici

3.3.1. Çalışma yöntemi

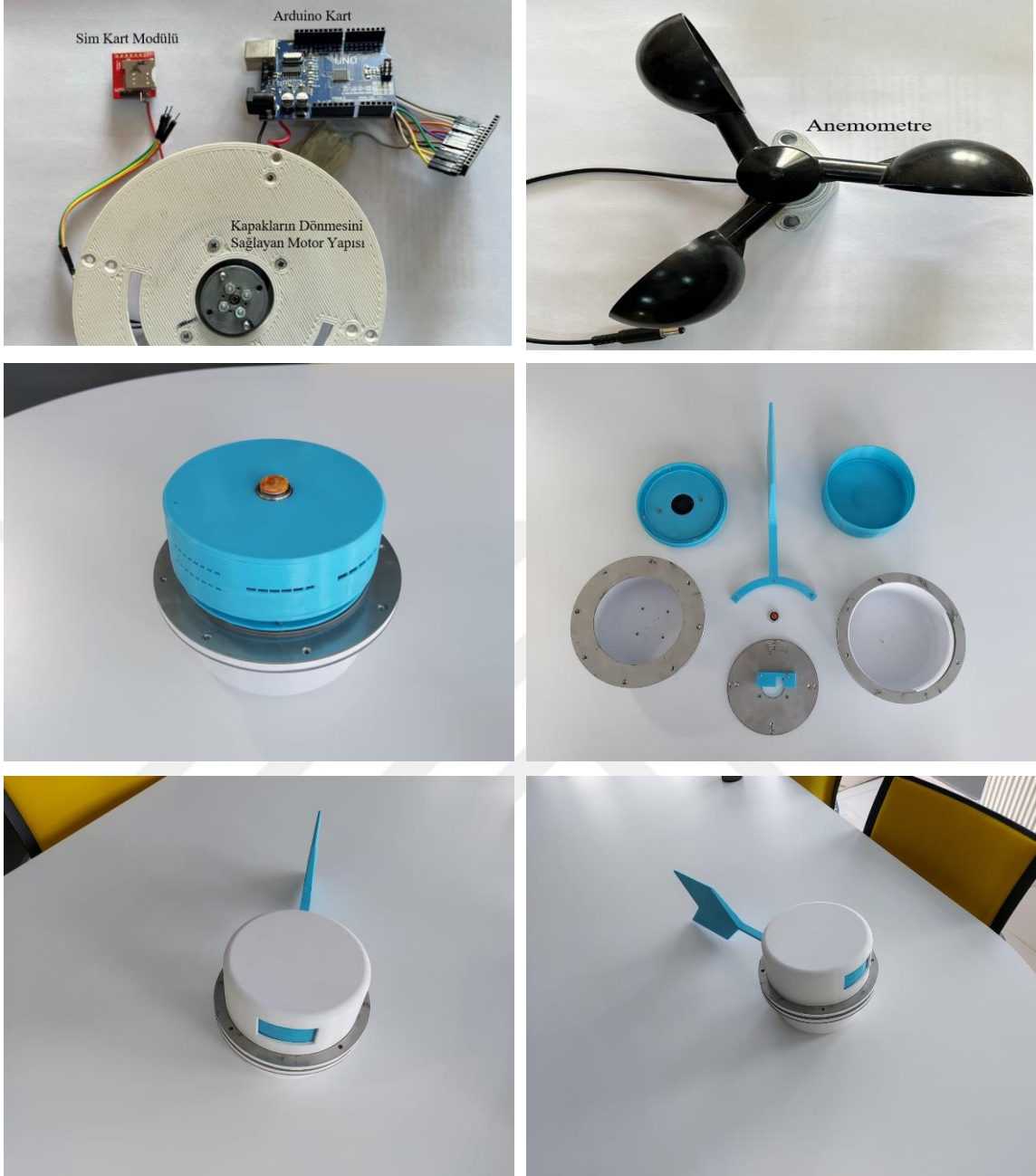
Örnekleyici birbiri içine geçmiş 3 katmandan oluşmaktadır. En dış katmana, rüzgâra sürekli olarak bir yönünün dönük kalması için bir kuyruk eklenmiştir. Bu katmanda ayrıca silindirik yüzeyin bir kısmının açık kalacağı ön yüzey bulunmaktadır. Orta katmanda rüzgâr hızlarına göre dönecek yapı tasarımı bulunmaktadır. Bu katmanın

8 farklı yüzey yapısı vardır. Bunlardan 7'si Çizelge 3.2'de verilen çeşitli rüzgâr hızlarında örnek toplamak içindir. 8. yüzey ise rüzgâr hızının fazla olduğu dönemlerde örnekleyiciyi korumak için kapalı tutacak bölgedir. Örnekleyicinin iç kısmında ise karayosunu, motor ünitesi ve kontrol kartı bulunmaktadır.

Örnekleyicinin üst kısmında dış katmana sabit bir şekilde duracak olan anemometre yer almaktadır. Bu sayede rüzgâr hızı anlık olarak görülmektedir. Ancak 1.5 m ile 4 m arasına yerleştirilmesi planlanan örnekleyicide anlık rüzgâr hızları çok değişken olabileceği için örnekleyicinin motor ünitesini fazla zorlamamak adına, hareketli dakikalık ortalama rüzgâr hızı verisi kullanılarak örnekleyicinin orta kısmının ilgili bölmesinin rüzgâra dik konuma gelmesi sağlanmaktadır.

Bu örnekleyicide, motor yardımıyla rüzgâr hızına göre örnek içeri doğru çekileceği için, havanın izokinetik örnekleme yapılması amaçlanmıştır. Motorun avantajı, örnekleyici yapısından kaynaklı hava hareketindeki sapmaları ve örnekleyiciye girişte hava hareketindeki hız düşüşünü engellemek ve örnekleme cihazı içerisinde negatif basınç oluşturmaktır.

Geliştirilen örnekleyici temel olarak üç ana parçadan oluşmaktadır. Rüzgâr hızını hesaplamada kullanılan anemometre, toplanan verilerin internet üzerinden gönderilmesine olanak sağlayan sim kart modülü ve belirlenen rüzgâr hızlarında örnekleyicinin hangi yüzeyinin açık olacağının kontrol edilmesini ve toplanan verilerin ne sıklıkla gönderileceğinin ayarlanmasını sağlayan programın yazıldığı Arduino kart (Şekil 3.2). Örnekleyicinin farklı açılardan çekilmiş fotoğrafları da Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Farklı açılardan örnekleyicinin görüntüleri

3.3.2. Dizayn Parametreleri

Örnekleyici tasarlamaya başlamadan önce, ne tür bir hava hareketi ile örneklerin toplanacağı belirlenmiştir. Bunun için hava kirliliğinde partikül madde kontrol cihazlarından olan siklon (santrifüj) tipi ayraçların etkili bir yöntem olabileceği düşünülmüştür. Bu tip bir ayraç ile 10 μm çapındaki partiküllerin %50'sinin etkin bir şekilde tutulması için gerekli koşulların sağlanması üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Siklon tipi ayraçların çalışma prensibi, belirli bir hızda siklona giren hava kütlesindeki partiküllerin momentumlarından dolayı hava hareketini takip edemeyip siklon duvarına çarptırılması ile ayrıştırılması esasına dayanmaktadır. Duvara çarptırarak tutma esasına dayalı olarak tasarlanan tutucularda tutma verimi iki farklı akış varsayımlarıyla hesaplanmaktadır: blok akış ve karışık akış varsayımları. Blok akış varsayımına göre, partiküller birbirleriyle etkileşime geçmeden hem hareket yönünde hem de harekete dik yönde homojen şekilde karıştığı varsayılarak ayrışmaktadır. Türbülansın etkisiyle, akışa dik yönde tam karışımın olduğunu ancak akış yönünde karışımın olmadığını varsayan karışık akış metodolojisi ile verim hesaplamak daha gerçekçi görülmektedir. Çünkü hava akış yönünde hareket ettikçe siklondan partiküller ayrıştığı için konsantrasyonları da azalmaktadır (De Nevers 2000). Dolayısıyla, bu çalışmada da karışık akış varsayımı kullanılarak tasarım parametreleri netleştirilmiştir. Karışık akışta tutma verimi (η) şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{\pi N V_c D^2 \rho_{part}}{9 W_i \mu}\right) \quad (3.1)$$

Bu denklemde, N siklon içerisindeki dönme sayısını, V_c gaz giriş hızını, D partikül çapını, ρ_{part} partikül öz kütlesini, W_i siklon girişinin hava hareketine dik düşey genişliğini ve μ ise havanın viskozitesini göstermektedir. Denklemde hesaplama yaparken tutma verimi, η , 0.5, partikül çapı, D, 10 μ m, partikül öz kütlesi, ρ_{part} , 2000 kg/m³ olarak alınmıştır. Havanın viskozite değeri sıcaklık ile değişiklik göstermektedir. Havanın viskozitesi 0°C'de 1.7x10⁻⁵ kg/m.s iken, 50°C'de 1.95x10⁻⁵ kg/m.s olmaktadır. Ancak tasarım hesaplamalarında Antalya'nın ortalama hava sıcaklığı olan 15°C'deki viskozite değeri 1.8x10⁻⁵ kg/m.s alınmıştır. Bu varsayımın diğer parametreler (gaz giriş hızı ve siklon içerisindeki dönme sayısı) göz önüne alınarak tutma verimi üzerine etkisinin %3 civarında olduğu hesaplanmıştır. Siklon içerisinde havanın dönme sayısı, N, bu çalışmada yapılabirlik ile düşünülerek 45°'ye karşılık gelen 0.125 değeri alınmıştır. Yani hava giriş yaptıktan sonra 45°'lik bir kavis çizip karayosunlarının bulunduğu ortama girmektedir. Gaz giriş hızı ile ilgili yapılan çalışma ise aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

Antalya'da en uzun süreli meteorolojik ölçüm verisi Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait Konyaaltı meteoroloji istasyonunda bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında tasarlanan örnekleyici için bu meteoroloji istasyonuna ait veriler kullanılmıştır. Bu kapsamda 1965-2013 yılları arasındaki saatlik rüzgâr hızı verilerinin dağılımları incelenmiştir. Toplamda yaklaşık 407000 saatlik rüzgâr hızı verisi değerlendirilmiştir. Bu dönem içerisindeki verinin %95'i raporlanmıştır. Raporlanan verideki rüzgâr hızları 0 ile 24 m/s arasında değişmektedir. Burada Hava Kalitesi Değerlendirmesi ve Yönetimi (HKDY) Yönetmeliği açısından kullanılabilir bir sonuç alabilmek için mümkün olduğunca geniş rüzgâr hızı aralığının örnekleyici içerisine giriş yapması hedeflenmiştir. Verinin dağılımı incelenmiş ve rüzgâr verisinin 7 farklı hızı karakterize edecek şekilde örnekleyici içerisine alınmasının 10 μ m çapındaki partikül maddenin %50±5 verimle örneklenmesi açısından gerekli olduğu görülmüştür. Bu rüzgâr aralıkları dağılımı Error! Reference source not found. ve Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Rüzgâr hızının 0 ile 6.9 m/s arasında olduğu dönemde örnekleyici çalışacak ancak rüzgâr hızının daha da yükselmesi (7 m/s ve üzeri) halinde örnekleyici çalışmayacaktır. Bu durumda örnekleyici teorik olarak zamanın %96'sında örnek toplayacaktır. HKDY Yönetmeliği'ne göre verinin kullanılabilir olması için zamanın %90'ını temsil etmesi

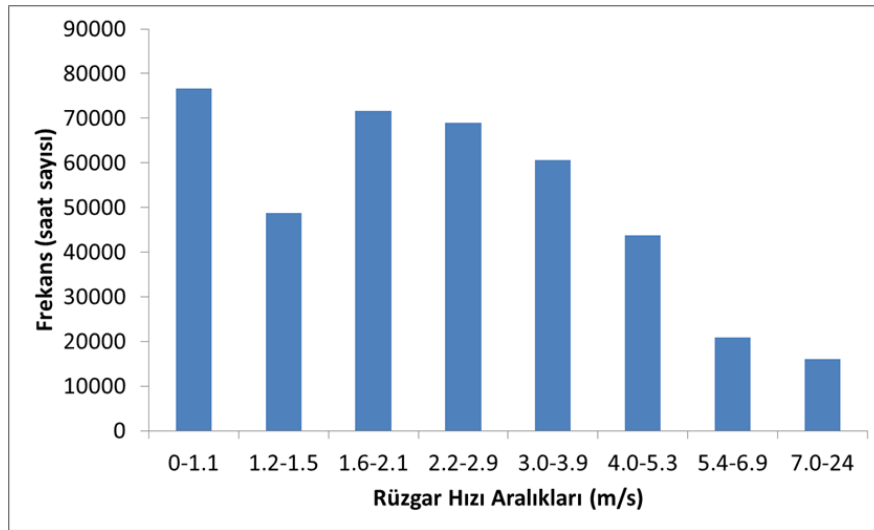
diğer bir deyişle zamanın %90'ında örnek toplanması gerekmektedir. Ancak şu da unutulmamalıdır ki, bu örnekleyici, yerden 1.5 m yükseğe yerleştirilmiştir. Fakat Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen rüzgâr verisi 10 m'den toplanmıştır. Dolayısıyla, yerden kaynaklı sürtünme etkisi ile aslında rüzgâr hızı daha az olacaktır. Bu durum göz önüne alındığında, daha uzun süre örnek toplanacağı düşünülmektedir.

Örnekleyicide 7 ayrı rüzgâr hızı aralığı için 7 ayrı giriş tasarlamak ve bunların rüzgâr hızına (V_c) göre değişik zamanlarda hava girişine olanak sağlaması gerekmektedir. Yukarıdaki verim hesabından ve belirlenen rüzgâr aralıklarından yola çıkarak siklon girişinin hava hareketine dik yatay genişliği, W_i , hesaplanmıştır. Her bir rüzgâr hızı aralığı için hesaplanan ve tasarım için yuvarlanan W_i değerleri ile o aralıktaki medyan, minimum ve maksimum rüzgâr hızları için hesaplanan 10 μm çapındaki partikül maddenin tutma verimi (η) Çizelge 3.2'de gösterilmiştir. Her ne kadar verim değişkenlik gösteriyor olsa da 10 μm çapındaki partikül madde için %50 $\pm$ 5 verim teorik olarak sağlanmıştır.

Siklon girişinin hava hareketine dik düşey genişliğine (W_i) göre siklonun açıklığının yatay genişliği (H) ve siklon çapı (D_o) De Nevers (2000)'e göre hesaplanmış olup Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Örneklemme sisteminde 10 μm partikül maddenin %50 $\pm$ 5 verimle örneklenmesi için gerekli rüzgâr hızı aralıkları

Rüzgâr Hızı (m/s)	Frekans (saat sayısı)	Frekans (%)
0-1.1	76653	19
1.2-1.5	48785	12
1.6-2.1	71693	18
2.2-2.9	68915	17
3.0-3.9	60611	15
4.0-5.3	43721	11
5.4-6.9	20912	5
7.0-24	16078	4
(Örnek Toplanmayacak)		
Toplam	407368	100



Şekil 3.3. Rüzgâr hızı aralıklarının frekans dağılımı

Çizelge 3.2. Rüzgâr hızı aralıkları için hesaplanan W_i Değeri ve 10 μ m çapındaki partikül maddenin tutma verimi (η)

Rüzgâr Hızı (m/s)	W_i (mm)	Medyan Rüzgâr Hızı (m/s) Verim (%)	Minimum Rüzgâr Hızı için Verim (%)	Maksimum Rüzgâr Hızı için Verim (%)
0-1.1	0.7	0.9-46	-	53
1.2-1.5	0.9	1.2-48	48	55
1.6-2.1	1.3	1.8-49	45	54
2.2-2.9	1.8	2.5-49	45	54
3.0-3.9	2.4	3.4-50	45	55
4.0-5.3	3.2	4.5-49	45	55
5.4-6.9	4.2	5.9-49	46	55

Çizelge 3.3. Rüzgâr hızına göre hava giriş kanallarının düşey, yatay genişlikleri ve siklon çapları

Rüzgâr Hızı (m/s)	W_i (mm)	H (mm) $2 \times W_i$	D_o (mm) $4 \times W_i$
0-1.1	0.7	1.4	2.8
1.2-1.5	0.9	1.8	3.6
1.6-2.1	1.3	2.6	5.2
2.2-2.9	1.8	3.6	7.2
3.0-3.9	2.4	4.8	9.6
4.0-5.3	3.2	6.4	12.8
5.4-6.9	4.2	8.4	16.8

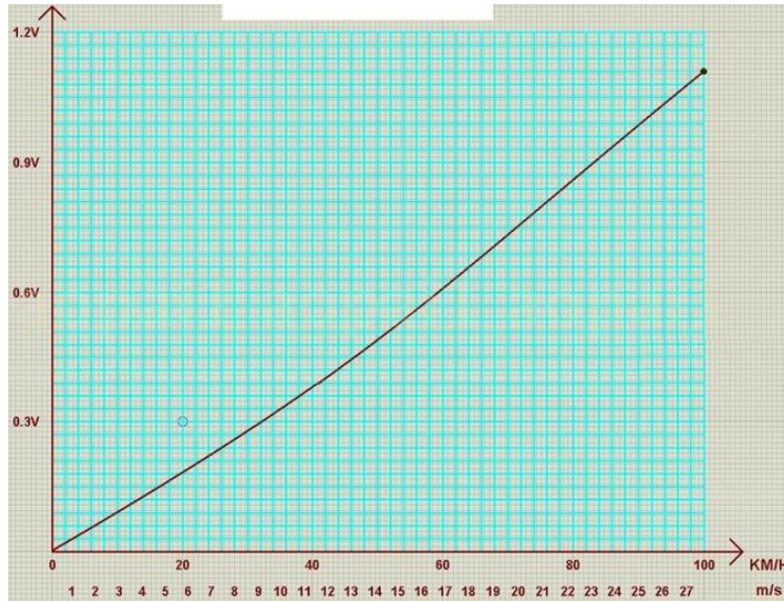
Öte yandan örnekleyicide hesaplanması gereken ve karşılaştırma açısından da kullanılabilecek en önemli unsur hacimdir. Konvansiyonel sistemlerde hacim ölçülmektedir ve sonuçlar birim hacimdeki kütle olarak rapor edilmektedir. Bununla beraber, yönetmeliklerde de birim hacimdeki kütleler sınır değer olarak belirlenmiştir. Bu nedenle tasarlanan 7 ayrı girişin her birisinin üzerindeki delik sayısı sisteme girecek hacim miktarlarını hesaplayacak şekilde belirlenmiştir.

3.3.3. Programlama

Örnekleyicide rüzgâr hızlarına göre hangi yüzeyin açılacağı ve toplanan verilerin ne sıklıkla online sisteme aktarılacağı için Arduino kontrol kartı kullanılmıştır. Kontrol kartı üzerine yazılan kod ile anemometreden gelen veriler 10 saniyelik aralıklarla ölçülmüş (data_measure_interval) ve dakikalık ortalamaları alınarak (data_send_interval) sim kart modülü yardımıyla online olarak verilerin toplandığı web sitesine aktarılmıştır. Aynı program ile çeşitli rüzgâr hızlarında örnekleyicinin hangi yüzeyinin açık kalacağı da beşer dakikalık ortalamalar (motor_position_interval) ile belirlenecek şekilde ayarlanmıştır.

Anemometreden gelen değerin okunması ve hesaplanması (anemometer_value, wind_average), fan hızının okunması (fan speed) ve motor pozisyonunun ayarlanması için (rotate motor) yine aynı kod kullanılmıştır.

Kullanılan anemometre rüzgâr şiddetini voltaj olarak ölçmektedir. Anemometre voltaj çıkışı 0-1.2V; rüzgâr etkisi altında maksimum 1.2V'a kadar voltaj çıkışı vermektedir. Ürün iki parçadan oluşur. Üst kısma takılan parça rüzgarla birlikte döner ve alt parçadaki dc jeneratörü döndürür, böylece dc gerilim elde edilir. Rüzgâr hızı ne kadar yüksek olursa çıkış gerilimi o kadar yükselir. Rüzgâr hızları m/s cinsinden hesaplanırken Şekil 3.4'te görülen grafik kullanılmıştır. Hesaplanan değerlerin Uni-T UT363 marka mini anemometre ile doğrudan m/s olarak ölçülerek sağlaması yapılmış ve değerlerin doğruluğu test edilmiştir. Kod ekler kısmına eklenmiştir (EK-1).



Şekil 3.4. Kullanılan anemometrenin rüzgâr şiddeti-voltaj grafiği

3.3.4. Kurulum

PM₁₀'a bağı metal örneklenmesi için tasarlanan örnekleyici, Akdeniz Üniversitesi Kampüsü'nde bulunan üç katlı Mühendislik Fakültesi binasının üst katına kurulmuştur. Örneklemeye yeri olarak, örneklemeye cihazında hava akışını etkileyen hiçbir engel olmayacak şekilde, normal binalardan, balkonlardan, ağaçlardan ve diğer engellerden birkaç metre uzakta ve bina çizgisinde, hava kalitesini temsil eden bir örneklemeye noktası seçilmiştir. Örnekleyicilerin örneklemeye noktasına kurulumu ve kurulum sonrası görüntüleri Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Cihazların örneklemeye noktasına yerleştirilmesi

Örneklemeye aşamasında cihazlarla ilgili iki temel problem yaşanmıştır. Bunlardan ilki cihazların elektrik ve anten kablolarının cihazın sürekli hareket halinde olmasından dolayı birbirine dolanması ve cihazın devrilmesine sebep olması, ikinci problem ise yüksek rüzgâr hızlarında uçayaklara asılan ağırlıklara rağmen cihazlarda yaşanan devrilme problemidir. (Şekil 3.6).

Kabloların dolanma probleminin çözülmesi için cihazların yanına koyulan askılık ile elektrik ve anten kablolarının birbirine karışması önlenmiştir. Yüksek rüzgâr hızlarında yetersiz kalan ağırlık problemi de uçayakların üç tarafından halatlar ile sabitlenmesi ile çözülmüştür.



Şekil 3.6. Örneklem sırasında yaşanan problemler

3.4. Örneklem

Ön hazırlıklar tamamlandıktan sonra hem konvansiyonel yöntem ile hem de biyo-izleyiciler ile örneklem işlemine 21 Eylül 2021 tarihinde başlanmıştır. Birinci kampanya periyodunda toplam 3 ay örneklem yapılmış ve 21 Aralık 2021 tarihinde son örnekler toplanıp filtre tartımları için filtrelerin örneklemmeden önce boş ağırlıklarını belirlemek için de tartımlarının yapıldığı ODTÜ'deki temiz odaya (sabit sıcaklık ve nemde tutulan, aynı zamanda kontaminasyonun önüne geçilmesi için HEPA filtreler ile içerideki havada partikül maddelerin %99.9 oranında tutulduğu oda) gidilip tartımlar gerçekleştirilmiştir. İkinci kampanya periyoduna ise 19 Ocak 2022 tarihinde başlanmış toplam 5 ay örneklem yapılmış ve 19 Haziran 2022 tarihinde son örnekler toplanmıştır. Birinci kampanya periyodu ile aynı şekilde toplanan örneklerin tartımları ODTÜ'deki temiz odada gerçekleştirilmiştir. Her ne kadar ikinci kampanya periyodunda 5 ay örneklem yapılmış olsa da yeterli elementel analiz bütçesi bulunmaması nedeniyle sadece 21 Mart 2022 ve 19 Haziran 2022 tarihleri arasındaki 3 aylık dönemde toplanan örneklerin elementel içerikleri belirlenmiştir. Tezin buradan sonraki kısımlarında da ikinci kampanya periyodu olarak yapılan değerlendirmeler sadece analizi gerçekleştirilmiş olan 3 aylık dönemi kapsamaktadır.

3.4.1. Örneklerin hazırlanması

Konvansiyonel yöntem ile yapılacak örneklemelerden önce, filtreler sabit nem (%25-%35) ve sıcaklıktaki (25°C) temiz odada 24 saat kapakları açık petri kaplarında tutulup daha sonra mikro terazide iyon üfleyici eşliğinde tartılmışlardır. Tartımdan sonra filtreler, plastik petri kaplarına yerleştirilip hava ile temas etmeyecek şekilde parafilm sarılarak paketlenmiştir. Bu işlem için Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre

Mühendisliği Bölümü'nde yer alan Temiz Oda kullanılmıştır. Örneklemeye gerçekleştirildikten sonra, yine Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde yer alan Temiz Oda'da örnekler ilk seferle tamamen aynı koşullarda 24 saat tutulmuş ve sonra mikro terazide iyon üfleyici eşliğinde tartım işlemi gerçekleştirilmiştir. İlk tartım ile son tartım arasındaki fark filtreden geçen toplam hacme bölünerek $PM_{2.5}$ ve $PM_{2.5-10}$ boyutlarındaki PM konsantrasyonları hesaplanmıştır.

Bu tez kapsamında daha önce yapılan çalışmalarda hava kirliliğinin tespiti uygulamalarında kullanılan biyo-izleyiciler incelenmiş ve *Hypnum cupressiforme* türü kara yosunu örneklemede kullanılmak üzere seçilmiştir. Yıkama prosedürü aşağıda belirtildiği gibi iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısım suyla yıkama ve ikinci kısım ise asitle yıkama işlemleridir. Yıkama metodolojisi Ares vd. (2012)'nin yayınladığı derleme makale incelenerek oluşturulmuştur. Bu çalışmada incelenen makalelerin suyla yıkama prosedüründe, (1) yıkama sayısı, (2) yıkama süresi, (3) karıştırma işlemi uygulanıp uygulanmadığı, (4) kullanılan suyun niteliği ve (5) yosun kütlesi ile yıkama işlemi için kullanılan suyun hacminin oranı olmak üzere beş kritere bakılmıştır. İncelenen makalelerin %53'ünde yıkama sayısı belirtilmiş ve 1 ile 7 arasında değişmektedir. En çok kullanılan yıkama sayısı %47'lik oranı ile 3 olarak bulunmuştur. Yıkama süresi incelenen çalışmaların sadece %10'luk bir kısmında belirtilmiş ve 1 dakika ile 24 saat arasında değişen büyük bir aralıkta olduğu görülmüştür. Karıştırma işlemi uygulanıp uygulanmadığı da çalışmaların %12'sinde belirtilmiş bununla birlikte karıştırma işleminin şiddeti herhangi bir çalışmada belirtilmemiştir. Kullanılan suyun niteliği çalışmaların %25'inde belirtilmiş ve bu çalışmaların %80'inde distile su kullanıldığı görülmüştür. Son olarak, kullanılan yosun ve yıkama işlemi için harcanan suyun hacminin oranı ile ilgili bilginin verildiği oldukça kısıtlı çalışmada da 100 g kuru ağırlığa 10 litre su kullanılarak işlemin tamamlandığı belirtilmiştir (Adamo vd. 2007; Tretiach vd. 2007; Giordano vd. 2009).

Yine Ares vd. (2012)'nin yayınladığı çalışma incelendiği zaman cansız yosunların kullanıldığı çalışmaların %78'inde asit yıkama prosedürlerinin uygulandığı görülmüştür. Asitle yıkama işlemi çalışmada kullanılacak yosun materyalinin bir asit ortamının içerisinde bekletilmesi ile hücre duvarlarındaki metal iyonlarının yosundan uzaklaştırılması ve biyolojik membran yapılarını bozmak amacıyla yapılmaktadır. Bu işlem hücre duvarında bulunan katyon değişim bölgelerini yeniden oluşturarak işleme maruz kalan yosunun biyo-konsantrasyon kapasitesini arttırmayı amaçlamaktadır. Yapılan çalışmalar *Hypnum cupressiforme* türüne asit yıkama işlemi uygulandığı zaman Pb konsantrasyonlarının hiçbir yıkama işlemi uygulanmayıp sadece etüvde kurutulmuş yosunlara göre %96, sadece su ile yıkama prosedürü uygulanmış yosunlara göre ise %94 seviyelerinde azaldığı görülmüştür (Adamo vd. 2007). Asitle yıkama prosedüründe de su ile yıkama prosedürüne benzer şekilde; yıkama sayısı, süresi, karıştırma işlemi uygulanıp uygulanmadığı incelenmiştir. Bununla birlikte kullanılan asidin türü ve konsantrasyonu ile yosun ve kullanılan asidin hacminin oranı da incelenmiştir. Yapılan çalışmalardaki yıkama sayıları incelendiğinde, çoğunlukla tek adımlı bir yıkama işlemi yapıldığı görülmüştür. Çalışmaların %11'lik kısmında ise yosunlar 3 kere yıkanmıştır. Asitte bekletme süreleri çalışmaların sadece %19'unda açıkça belirtilmiştir ve 1 ile 96 saat arasında değişen çok farklı bekletme süreleriyle karşılaşmıştır. Yosunların yıkama işlemi sırasında karıştırılıp karıştırılmadığı incelenen hiçbir çalışmada belirtilmemiştir. Çalışmaların büyük çoğunluğunda HNO_3 kullanılmış ve asit konsantrasyonu da 0.025 ve

1 M arasında değişkenlik göstermiştir. HNO_3 kullanılan çalışmaların %54'ünde asit konsantrasyonunun 0.5 M olduğu belirlenmiştir (Ares vd. 2012).

İncelenen çalışmalar sonucunda birinci kampanya periyodunda yıkama prosedürünün aşağıdaki gibi yapılmasına karar verilmiştir;

Doğal ortamından toplanan kara yosunları laboratuvarında ilk önce 100 g kuru ağırlığa 10 litre su olacak şekilde 4 kez yıkanmıştır. Birinci yıkama süresi 20 dakika, diğer yıkamalar da kademeli olarak azaltılarak sırasıyla 15, 10 ve 5 dakika seçilmiştir. Su ile yıkama işlemi bittikten sonra yosunlar 105 °C'de 24 saat Etüvde kurumaya bırakılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Su ile yıkama işleminden sonra Etüvde kurumaya bırakılan kara yosunları

Kurutma işlemi bittikten sonra yıkama işleminin ikinci aşaması olan asitle yıkama prosedürüne geçilmiştir. Bu işlem sırasında 2 mg yosun için 1 ml 1 N HNO_3 kullanılmıştır. Kurutma işleminden çıkan yosunlar 1 saat asit çözeltisinin içerisinde bekletilmiş (Şekil 3.8) ve daha sonra 2 gr yosun için 1 litre su olacak şekilde 30 dakika durulama işlemine tabii tutulmuşlardır. Bu işlemler toplamda iki kere tekrarlanmıştır. Yıkama işlemi biten yosunlar tekrar 105 °C'de 24 saat Etüvde kurumaya bırakılmıştır.



Şekil 3.8. Asitte yıkamaya bırakılan kara yosunları

İkinci kampanya periyodu içerisindeki üç aylık dönemde yosun örnekleri aylık olarak toplanmaya devam edilmiştir. Üç aylık bu ikinci dönemin birinci ayının sonunda birinci kampanya periyodu kimyasal analiz sonuçları elimize ulaşmış ve her ne kadar literatürden alınarak bu çalışmada ön yıkama işlemi gerçekleştirilmiş olsa da kara yosunlarını geri plan toprak kompozisyonundan arındırmak için ek çaba sarf etmek gerektiği sonucuna varılmıştır ve ikinci kampanya periyodunun son iki aylık kısmında yeni bir yıkama prosedürü oluşturulmasına karar verilmiştir.

Değişiklik yapılan yıkama prosedüründe kara yosunları laboratuvarında birinci kampanya periyodunda kullanılan yıkama prosedürü ile aynı şekilde 100 g kuru ağırlığa 10 litre su kullanılarak 4 kez yıkanmıştır. Yıkama süreleri değiştirilerek, birinci yıkama süresi 40 dakika, diğer yıkamalar da kademeli olarak azaltılarak sırasıyla 30, 20 ve 10 dakika olarak belirlenmiştir. Su ile yıkama işlemi bittikten sonra yine kullanılan ilk prosedür ile aynı şekilde yosunlar 105 °C’de 24 saat Etüvde kurumaya bırakılmıştır.

Kurutma işlemi bittikten sonra yıkama işleminin ikinci aşaması olan asitle yıkama prosedürüne geçilmiştir. Bu işlem sırasında da birinci kampanya periyodunda kullanıldığı şekilde 2 mg yosun için 1 ml 1 N HNO₃ kullanılmıştır. Halihazırda literatürde bulunan en yüksek konsantrasyona sahip çalışma baz alınarak asitle yıkama işlemi gerçekleştirildiği için asit konsantrasyonunda bir değişikliğe gidilmeme kararı alınmıştır. Kurutma işleminden çıkan yosunlar asitte bekletme süreleri uzatılarak 2 saat asit çözeltisinin içerisinde bekletilmiş ve daha sonra 2 gr yosun için 1 litre su olacak şekilde 30 dakika durulama işlemine tabii tutulmuşlardır. Yine kullanılan ilk prosedürün aksine bu işlemler toplamda iki kere değil üç kere tekrarlanmıştır. Yıkama işlemi biten yosunlar tekrar 105 °C’de 24 saat Etüvde kurumaya bırakılmıştır.

Yıkama prosedürü değiştirildikten sonra elde edilen şahit numuneler ile yıkama prosedürü değiştirilmeden önceki şahit numunelerin kimyasal analiz sonuçları karşılaştırıldığında geri plan toprak konsantrasyonlarından ayırıştırma işleminin sağlanamadığı tekrar görülmüştür. Her örnekleme dönemi öncesinde örneklemede kullanılacak olan yosunlarla birlikte şahit numuneler de hazırlanmıştır. Bu numunelerden elde edilen sonuçlar Çizelge 3.4’de sunulmuştur. Aynı metodoloji aynı kişi tarafından

uygulanmış olmasına rağmen, yıkama işlemleri sırasında aynı geri plan konsantrasyonlarına erişilememesi önemli bir belirsizliği beraberinde getirmiştir. Bu durum aslında aynı geri plan konsantrasyonuna sahip standart malzeme üretilmesinin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Geri plan konsantrasyonlarının atmosferdeki konsantrasyonlara oranla oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. As ve Ni için dönemsel bazda geri plan konsantrasyonları arasında %20’lik bir fark belirlenmişken, Cd ve Pb için dönemsel geri plan konsantrasyonlarında önemli farklılıklar tespit edilmiştir.

Çizelge 3.4. Her dönemde elde edilen geri plan konsantrasyonları (µg/g)

Elementler	Birinci Kampanya Periyodu			İkinci Kampanya Periyodu		
	21/09/2021- 20/10/2021	21/10/2021- 20/11/2021	21/11/2021- 21/12/2021	21/03/2022- 20/04/2022	21/04/2022- 20/05/2022	21/05/2022- 19/06/2022
	Birinci Dönem	İkinci Dönem	Üçüncü Dönem	Altıncı Dönem	Yedinci Dönem	Sekizinci Dönem
Li	0.45	0.77	0.71	1.23	1.55	1.57
Ti	70	124	105	104	116	123
V	3.53	5.35	4.72	3.73	3.58	3.97
Mn	17	11	11	15	13	17
Co	0.29	0.40	0.41	0.95	1.00	1.77
Ni	3.91	3.36	3.04	17	21	32
Zn	11	8.21	9.44	47	68	53
As	0.36	0.50	0.44	0.35	0.37	0.40
Mo	0.14	0.19	0.21	7.92	3.17	4.23
Cd	0.03	0.35	0.02	0.00	0.02	0.02
Sb	0.12	0.12	0.10	0.07	0.10	0.12
Cs	0.09	0.18	0.13	0.13	0.17	0.18
La	0.33	0.61	0.51	0.60	0.65	0.78
Pb	1.30	6.44	0.92	0.55	0.60	0.97
Ce	0.65	1.20	1.01	-	-	-
Eu	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Yb	0.03	0.05	0.04	-	-	-
Si	3605	5447	4744	5532	5404	5548
P	429	498	569	345	373	377
S	611	549	576	1115	1173	1179
Na	100	162	141	150	206	210
Mg	189	291	266	264	263	270
Al	1045	1839	1563	3569	1866	1899
K	225	377	331	303	295	307
Ca	211	127	137	149	305	266
Fe	629	1112	965	1154	1155	1287
Ba	5.10	7.16	6.40	-	-	-
Y	-	-	-	0.27	0.42	0.45
Cr	-	-	-	4.78	12	39

Geri plan konsantrasyonlarındaki değişkenliği daha iyi anlayabilmek adına literatürde, *Hypnum Cupressiforme* türü yosun kullanılan ve örnekleme öncesi gerçekleştirilen su ve asitle yıkama prosedürü bu çalışma ile aynı olan üç çalışmanın sonuçları (Adamo vd. 2007; Giordano vd. 2009; Giordano vd. 2013) ile bu çalışmada elde edilen geri plan konsantrasyonlarının ortalamaları karşılaştırılmıştır (Çizelge 3.5).

Karşılaştırma yapılan üç çalışmada da kullanılan yosunlar farklı zamanlarda fakat İtalya’nın kuzeybatı kısmında yer alan aynı bölgeden toplanmıştır (Tretiach vd. 2007).

Toplanan yosunlara üç farklı yıkama metodu uygulanmıştır. Birincisi WM olarak adlandırılan ve sadece bu çalışmada da aynı su ile yıkama işlemine tabii tutulan yosunlar, ikincisi su ile yıkandıktan sonra etüvde 120 °C'de 24 saat kurutulan yosunlar (OM) ve son olarak bu çalışmada yosunlara uygulanan birinci yıkama prosedürünün aynısını kullanan ve AM olarak adlandırılan yıkama prosedürleri uygulanmıştır.

Asitle yıkama işleminin yosunların hücre duvarlarından metal iyonlarını güçlü bir şekilde süzdüğü literatürde birçok çalışmada belirtilmiştir (Gailey ve Lloyd 1986; Castello 1996). Burada incelenen bu üç çalışmanın sonuçlarında da özellikle Pb, Mg, K, Ca elementlerinin geri plan konsantrasyonlarının AM olarak adlandırılan asitle yıkama prosedüründe, diğer yıkama prosedürlerinin sonucunda elde edilen konsantrasyon değerlerinden %90'dan daha düşük belirlendikleri göze çarpmaktadır.

Bununla birlikte yine bu üç çalışma kendi içerisinde karşılaştırıldığında bütün yosun örnekleri aynı bölgeden toplanmasına rağmen, farklı dönemde toplanan örneklerin geri plan konsantrasyonlarına bakıldığında, Giordano vd. (2009)'nin yaptıkları çalışmada elde edilen sonuçların diğer iki çalışmadan neredeyse her element için yaklaşık iki kat yüksek olduğu görülebilmektedir. Bu çalışmanın hedef elementleri olan Cd, Ni, Pb ve As'in geri plan konsantrasyonları, diğer çalışmaların asitle yıkanmış örneklerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda Ni hariç diğer hedef elementlerin konsantrasyon değerleri oldukça benzer bulunmuştur. Ni konsantrasyonları arasında ise yaklaşık beş katlık bir fark gözlenmiştir. Bu farkın yosunun toplandığı bölgenin karakteristik yapısı ile ilgili olabileceği düşünülmektedir. Bu bulgular eşliğinde, bu çalışma kapsamında özellikle toprakta yoğun olarak bulunabilen Al, Fe, K gibi elementlerinin geri plan konsantrasyonlarında tespit edilen yüksek değerlerin yıkama prosedüründeki bir eksiklikten değil, yosunların toplandığı bölgenin karakteristik özellikleriyle ilgili olma ihtimali daha yüksek görülmektedir.

Çizelge 3.5. Bu çalışmada elde edilen ortalama geri plan konsantrasyonlarının literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırılması ($\mu\text{g/g}$)

Elementler	Bu Çalışma*	Adamo vd. 2007			Giordano vd. 2009			Giordano vd. 2013		
		WM	OM	AM	WM	OM	AM	WM	OM	AM
Li	1.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ti	107	-	-	-	13.2	12.5	12.9	8.8	9.2	8.8
V	4.15	2.41	2.45	1.07	5.4	4.4	3.4	4	4.7	6.5
Mn	14	58	51	10	64	69.4	6.9	60.3	67	2.8
Co	0.80	-	-	-	0.36	0.34	0.19	0.2	0.23	0.1
Ni	13	1.38	1.31	1.27	2.7	3.1	3.6	1.7	1.8	0.6
Zn	33	37	30	21	36.5	37.3	4.5	27	21	4
As	0.40	-	-	-	-	-	-	0.48	0.67	0.35
Mo	2.64	-	-	-	0.32	0.32	0.13	0.27	0.27	0.15
Cd	0.07	0.33	0.19	0.10	0.28	0.3	0.03	0.29	0.26	0.08
Sb	0.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cs	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
La	0.58	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	1.80	3.41	4.77	0.19	7.3	8.1	1.3	5.3	5.4	0.3
Ce	0.95	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eu	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Yb	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Si	5047	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P	432	-	-	-	998	905	856	-	-	-
S	867	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Na	162	66	14	26	60	75.5	35	-	-	-
Mg	257	888	890	90	1022	1112	231	1093	1138	90
Al	1964	356	400	303	625	609	658	280	300	267
K	306	3656	5020	61	3717	3518	142	4167	4433	103
Ca	199	6420	4048	155	7358	7473	492	6933	7300	267
Fe	1050	465	354	329	658	666	603	335	398	273
Ba	6.22	-	-	-	13.8	13.8	2	8.2	8.9	0.9
Y	0.38	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cr	19	1.68	1.35	2.88	3.47	3.42	3.64	3.8	5.4	2.9

*6 dönem için ayrı ayrı elde edilen geri plan konsantrasyonlarının ortalama değeri

** WM = sadece suyla yıkanan, OM= suyla yıkandıktan sonra etüvde kurutulan ve AM = suyla yıkama işlemi sonrası asit yıkama işlemi de yapılan örnekler.

3.4.2. Konvansiyonel örnekleme yöntemi

Bu çalışmada örnekleme “GENT” Stacked Filter Unit (SFU) marka sıralı filtreler yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Bu cihazda PM_{10} ’dan büyük partiküllerin filtre sistemine girmesini engellemek amacıyla bir ön-impaktör yer almaktadır. Hava ön-impaktörden geçtikten sonra sıralı iki filtre sistemine girmektedir. Önce, aerodinamik çapı $10\ \mu\text{m}$ ile $2.5\ \mu\text{m}$ arasındaki partiküller $47\ \text{mm}$ çapında, $8\ \mu\text{m}$ gözenekli polikarbonat nüklepore

filtre ile tutulmakta, sonra, aerodinamik çapı $2.5 \mu\text{m}$ 'den daha küçükler 47 mm çapında, $0.4 \mu\text{m}$ gözenekli polikarbonat nükleopore filtrede tutulmaktadır.

Çalışmada da vakum pompası dakikada yaklaşık 16.7 litre hava çekecek şekilde ayarlanmıştır. Bu akış hızı PM_{10} 'dan büyük partiküllerin sisteme girmesini önlemektedir. Örneklemme cihazının fotoğrafları Şekil 3.9'de gösterilmiştir.

Birinci kampanya periyodu 21 Eylül 2021 ve 21 Aralık 2021 tarihleri arasında her gün kesintisiz 24 saat olarak gerçekleştirilmiştir. Her örneklemede $\text{PM}_{2.5}$ (ince) ve $\text{PM}_{2.5-10}$ (kaba) ayrı ayrı toplanmıştır. Örneklemme süresi boyunca toplam 95 örnek çifti toplanmıştır. İkinci kampanya periyodunda ise analizi gerçekleştirilen örneklemeler 21 Mart 2022 ve 19 Haziran 2022 tarihleri arasında her üç günde bir kesintisiz 72 saat olarak gerçekleştirilmiştir. İkinci kampanya periyodu örneklemme süresi boyunca toplam 60 örnek çifti toplanmıştır.



Şekil 3.9. Örneklemme Cihazı

3.4.3. Geliştirilen örneklemme yöntemi

Yıkama ve kurutma işlemleri tamamlanan kara yosunları, hazırlanan yosun torbalarının içerisine yerleştirilmiş (her bir torbanın içinde 3.5 gram olacak şekilde) ve örneklemme cihazına yerleştirilmiştir (Şekil 3.10).

Karayosunu ile yapılan örneklemme çalışması her iki kampanya periyodunda da 4 haftalık örneklemme süresi ile gerçekleştirilmiştir (her dönemde 1 örnek olacak şekilde). Her dönemde örnekler paralel çalışan 3 cihazla gerçekleştirilmiştir. Her bir cihazdan elde edilen yosun örnekleri 5 parçaya bölünüp her bir parçadan 0.3 mg tartılarak elementel analiz işlemleri için hazırlanmaktadır (Bu işlemler sonucunda geliştirilen örneklemme yöntemi ile her cihazdan 5 örnek olmak üzere, dönemlik 15 örnek elementel analize gönderilmiş olmaktadır).



Şekil 3.10. Yosun torbalarına yerleştirilen yosunlar ve örnekleme cihazına yerleştirilmeden öncesi

3.4.4. Örnekleme sonrası numunelere uygulanan işlemler

ICP-MS ve ICP-OES analizleri için örneklerin hazırlanması en önemli aşamalardan bir tanesidir. Polikarbonat filtreler üzerine toplanan partikül madde örnekleri ve biyo-izleyiciler ile toplanan örnekler iz element analizleri için HNO_3 ve HF karışımı kullanılarak Milestone start D mikrodalga cihazı ile çürütme işlemine sokulmuş ve Çizelge 3.6'da gösterilen üç aşamalı çürütme programı ile örnekler sıvı çözelti haline getirilmiştir.

Çizelge 3.6. Üç aşamalı çürütme programı

Zaman (dakika)	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	Güç (W)
9	100	350
10	140	450
15	180	550

Çürütme işlemi için önce filtreler ve yosunlar teflon kaplara koyulmuş ve daha sonrasında üzerlerine 5 ml HNO_3 (0.072 M) ve 1 ml HF (0.023 M) eklenmiştir. Çizelge 3.6'te gösterilen program ile yaklaşık 30 dakika süren bu işlem sonrasında HF'in ICP-MS'in cam ve kuvars olan optik sistemine zarar verme olasılığından dolayı asit çürütme işleminden çıkan örneklere 6 ml %5'lik Borik asit çözeltisi eklenerek tekrardan mikrodalgada 10 dakika 350 W güçte HF söndürme işlemi uygulanmıştır.

HF söndürme işleminden sonra numuneler falkon tüplere alınarak %1'lik HNO_3 çözeltisi ile 50 ml'ye tamamlanmıştır. Hazırlanan numuneler ICP-MS ve ICP-OES

analizine gönderilmeden önce kül karbon kalıntılarından kurtulmak için 0.45 µm PTFE filtrelerden 15 ml'lik falkon tüplere süzölmüştür.

Partiköl madde örneklerinde iz element seviyeleri oldukça düşük olduğu için kullanılan asit ve suyun saflığı kontaminasyonu önlemek açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle örneklerin hazırlanmasında 25 °C'de direnirliği 18.2 MΩ.cm olan ultra saf su kullanılmıştır. Bununla birlikte ISO grade %65'lik HNO₃ kullanılmadan önce SAP-902 model distilasyon ünitesi ile saflaştırılarak içeriğindeki iz elementler uzaklaştırılmıştır.

3.4.5. Verilerin kalite kontrolü

Konvansiyonel yöntem ile yapılan örneklemelerin kalite kontrolünde, kaba ve ince filtrelerde meydana gelen kontaminasyon seviyelerini belirlemek için arazi ve laboratuvar şahitleri kullanılmıştır. Arazi şahitleri sisteme diğör örnekler gibi yerleştirilip beş dakika boyunca içinden hava geçirilmiştir. Daha sonra SFU'dan sökülen filtre diğör örnekler ile aynı şekilde analiz edilmiştir. Böylelikle taşınım veya örnekleme sisteminde oluşan kontaminasyonlar arazi şahitleri ile belirlenmiştir. Laboratuvar şahitleri de filtre değişiminin yapıldığı noktalarda meydana gelen kontaminasyonların belirlenmesi için kullanıldılar. Toplamda 4 laboratuvar şahidi ve 2 arazi şahidi ICP-MS ve ICP-OES metodları ile analiz edildi ve her bir element için ortalama konsantrasyonlar ölçüm değörlerinin doğrulanması için kullanıldı.

Biyo-izleyiciler ile yapılan örneklemelerde aynı noktada 3 cihaz aynı anda örnekleme yapmış ve her bir cihaz için 2 laboratuvar şahidi iki tane de arazi şahidi (arazi şahitleri sisteme diğör örnekler gibi yerleştirilip on dakika boyunca bekletilmiştir.) ICP-MS ve ICP-OES metodu ile analiz edilmiş ve her bir element için ortalama konsantrasyonlar ölçüm değörlerinin doğrulanması için kullanılmıştır. Buna ek olarak Uluslararası atom enerjisi ajansının IAEA-336 kodlu liken referans maddesi 0.3 mg tartılmış ve diğör örnekler ile aynı ön işlemlere tabii tutularak analize gönderilmiştir. Referans madde ile toplam 3 örnek hazırlanmıştır. Örnek toplama işlemi iki kampanya periyodunda gerçekleştirildiğı ve elde edilen örneklerin analizleri iki farklı laboratuvar da gerçekleştirildiğı için hazırlanan bu referans madde örnekleri her iki laboratuvar da analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3.7'de gösterilmiştir. Birinci kampanya periyodunda Cr, Se ve Sc için elde edilen değörler %95 güven aralığında olmadığından ve önerilen değörlerden çok farklı olduklarından çalışma kapsamında çıkarılmışlardır. V, K ve La için elde edilen değörlerde %95 güven aralığında bulunamamıştır. Fakat bu değörler önerilen değörlere yakındır. Özellikle V ve K indikatör olarak kullanılan kirleticiler oldukları için çalışma kapsamında değörlendirilmişlerdir. Bu değörlendirmeler gerçekleştirilirken V, K ve La'nın SRM (standart referans madde) konsantrasyonlarının %95 güven aralığında olmadığı akılda tutulmuştur. İkinci kampanya periyodunda farklı bir laboratuvar da gerçekleştirilen elementel analiz sonuçları ile birinci kampanya periyodu sonuçları karşılaştırıldığında ise çoğunlukla benzer sonuçlar elde edilmiş olup sadece Li, Zn, Cd, Sb, P elementlerin ortalama konsantrasyon değörlerinde farklılıklar tespit edilmiştir. Birinci kampanya periyodunda çalışmada kullanılmasına karar verilen elementler aynı şekilde ikinci kampanya periyodunda da kullanılmıştır.

Çizelge 3.7. SRM Analizi Sonuçları

Elementler	Birinci Kampanya Periyodunda Ölçülen Ortalama SRM Konsantrasyonu (mg/kg)	İkinci Kampanya Periyodunda Ölçülen Ortalama SRM Konsantrasyonu (mg/kg)	Önerilen SRM Konsantrasyonu (mg/kg)	%95 Güven Aralığı (mg/kg)
Li	0.34	0.8		
Ti	54	58.7		
V	1.77	2.4	1.47	1.25 - 1.69
Cr	1.82		1.06	0.89 - 1.23
Mn	62	59.2	63	56 - 70
Co	0.32	0.3	0.29	0.24 - 0.34
Ni	1.81	1.0		
Zn	32	25.2	30.4	27 - 33.8
As	0.67	0.6	0.63	0.55 - 0.71
Se	0.1		0.22	0.18 - 0.26
Mo	0.09	0.1		
Cd	0.11	0.2	0.117	0.1 - 0.134
Sb	0.08	0.1	0.073	0.063 - 0.083
Cs	0.1	0.1	0.11	0.097 - 0.123
La	0.51	0.7	0.66	0.56 - 0.76
Pb	4.56	4.3		
Ce	1.04		1.28	1.11 - 1.45
Eu	0.02	0.02	0.023	0.019 - 0.027
Yb	0.03		0.037	0.025 - 0.049
Si	2248	2417		
P	501	466	610	490 - 730
S	743	1243		
Na	284	311	320	280 - 360
Mg	517	501		
Al	655	716	680	570 - 790
K	1420	1231	1840	1640 - 2040
Ca	2148	2298		
Fe	380	439	430	380 - 480
Ba	6.52		6.4	5.3 - 7.5
Sc	0.01		0.17	0.15 - 0.19

3.4.5.1. Tayin sınırları

Metot belirleme limiti (MBL), bir örneğin içindeki analitin kör örneklerden %99 güven aralığında ayrıştırılabildiği minimum konsantrasyon olarak tanımlanmıştır (U.S. EPA 2017). ICP-MS analizlerinde 10 tekrarlı analiz edilmiş kör örneklerin standart sapmalarının 3 katı her örnek için hesaplanmış ve MBL değeri olarak belirlenmiştir (Lopes vd. 2006). Birinci ve ikinci kampanya periyodunda ICP-MS ve ICP-OES ile gerçekleştirilen analizler için elde edilen tayin sınırları Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.8. Birinci Kampanya Periyodu Tayin Sınırları

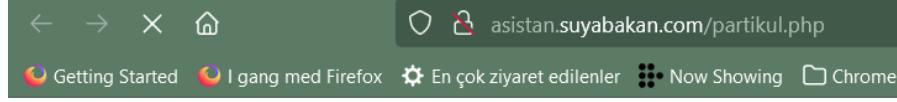
Elementler	Tayin Sınırı(µg/L)	Elementler	Tayin Sınırı(mg/L)
Li	0.02	Si	0.05
Ti	0.2	P	0.5
V	0.02	S	1
Cr	0.4	Na	0.01
Mn	0.01	Mg	0.005
Co	0.04	Al	0.04
Ni	0.3	K	0.03
Zn	1	Ca	0.02
As	0.1	Fe	0.02
Se	3	Sc	0.001
Mo	0.1		
Cd	0.02		
Sb	0.01		
Cs	0.01		
La	0.004		
Pb	0.1		
Ce	0.004		
Eu	0.001		
Yb	0.01		
Ba	0,04		

Çizelge 3.9. İkinci Kampanya Periyodu Tayin Sınırları

Elementler	Tayin Sınırı(µg/L)	Elementler	Tayin Sınırı(mg/L)
Li	0.29	Si	0.01
Ti	0.33	P	0.05
V	0.02	S	0.1
Co	0.01	Na	0.025
Zn	0.05	Mg	0.005
As	0.04	Al	0.01
Mo	0.17	K	0.05
Cd	0.01	Ca	0.05
Sb	0.01	Fe	0.025
Cs	0.00	Cr	0.005
La	0.01	Mn	0.005
Pb	0.02	Ni	0.005
Eu	0.02		
Y	0.03		

3.5. Geliştirilen Örnekleyici ile Toplanan Verilerin Hazırlanması

Geliştirilen Örnekleyici topladığı rüzgâr hızı, pozisyon (cihazın hangi yüzeyinin açık olduğu), kaç numaralı cihazların çalıştığı ve fan hızı verilerini içerisine yerleştirilen sim kart modülü ile Çevrimiçi olarak dakikalık ortalamalar halinde online olarak yollamaktadır. Çevrimiçi sistemin örnek ekran görüntüsü Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Partikul Cihaz Ölçümleri

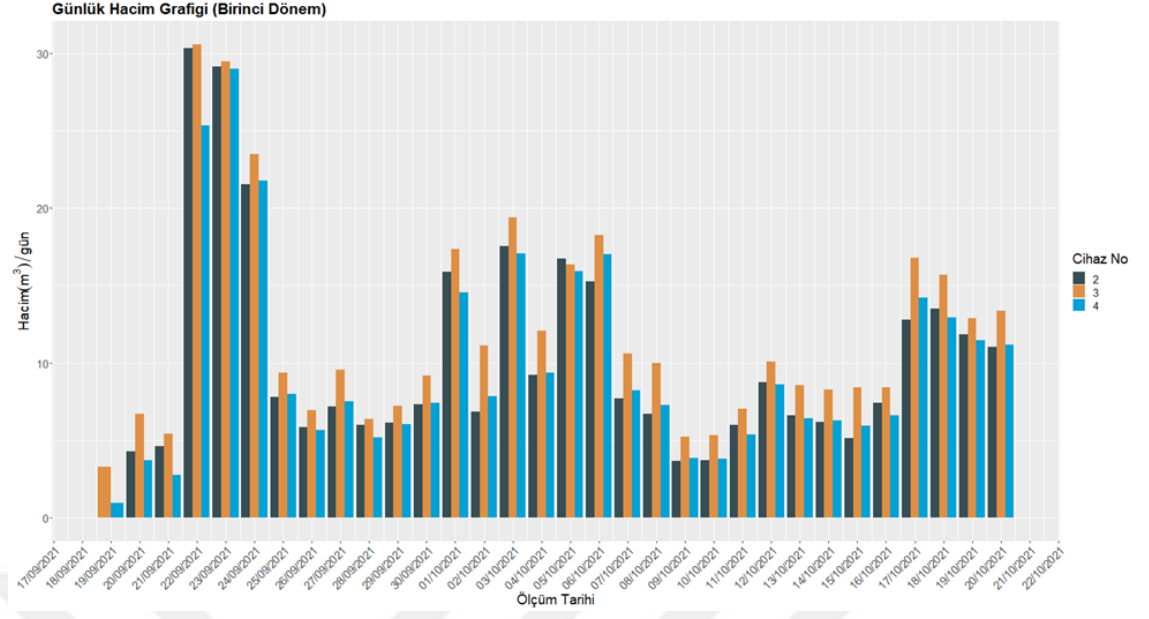
Ölçüm Saati	Cihaz No	Rüzgar Hızı	Fan Hızı	Pozisyon
2022-01-31 14:10:48	3	0	498	6
2022-01-31 14:10:46	2	0	470	6
2022-01-31 14:09:39	3	5	473	6
2022-01-31 14:09:37	2	0	471	6
2022-01-31 14:08:30	3	31	486	6
2022-01-31 14:08:28	2	0	469	6
2022-01-31 14:07:21	3	12	482	6
2022-01-31 14:07:19	2	0	469	6

Şekil 3.11. Verilerin toplandığı web sayfasının ekran görüntüsü

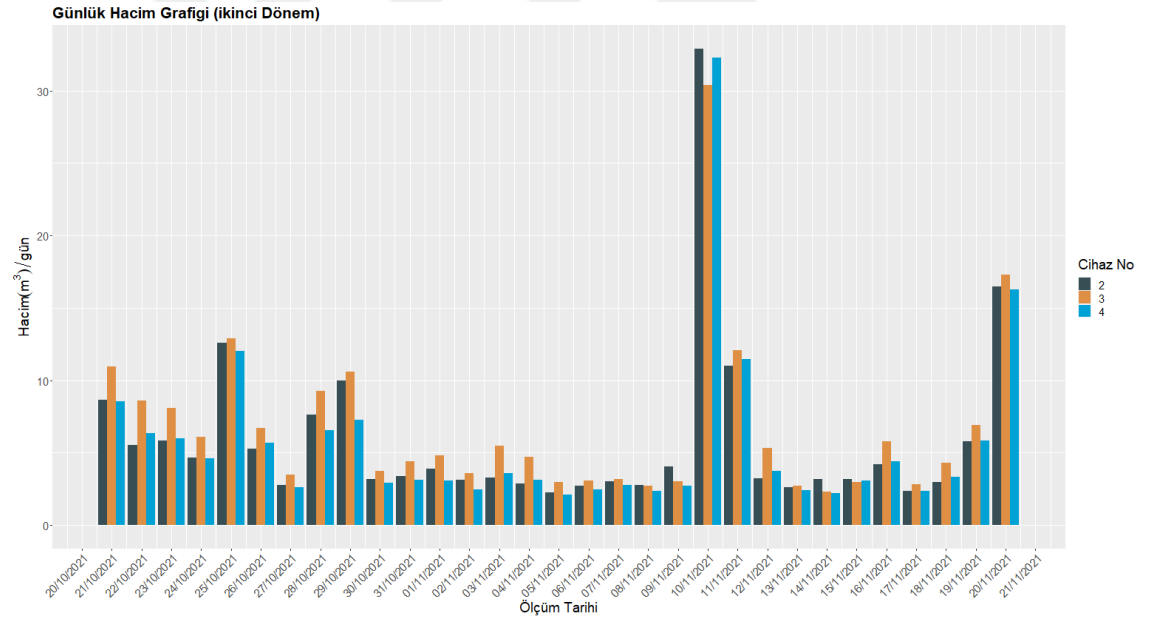
Bu şekilde birinci kampanya periyodunda toplam 307874 satır ve ikinci kampanya periyodunda 252827 satır veri toplanmıştır. Örneklem periyodu boyunca üç farklı cihaz ile örneklem yapılmıştır. İlk olarak bu cihazların topladıkları veriler birbirlerinden ayrılmış ve tekrarlayan veriler (duplicate) varsa veri setinden çıkartılmıştır.

Cihazlarda belirli dönemlerde sim kart modülü ile ilgili yaşanan sorunlar nedeniyle cihazlar örneklemeye devam etmesine rağmen sisteme veri gönderememişlerdir. Bu nedenle veri setinde oluşan boşluklar tespit edilip tarih verileri doldurulmuştur. Daha sonra üç cihazın da verileri tekrar birleştirilip Sim kart modülü sebebiyle sorun çıktığı tespit edilen örneklem dönemlerinde sorun çıkan cihazın boş verileri aynı dönemde sorunsuz çalışan bir cihaz varsa onun elde ettiği veriler ile tamamlanmıştır.

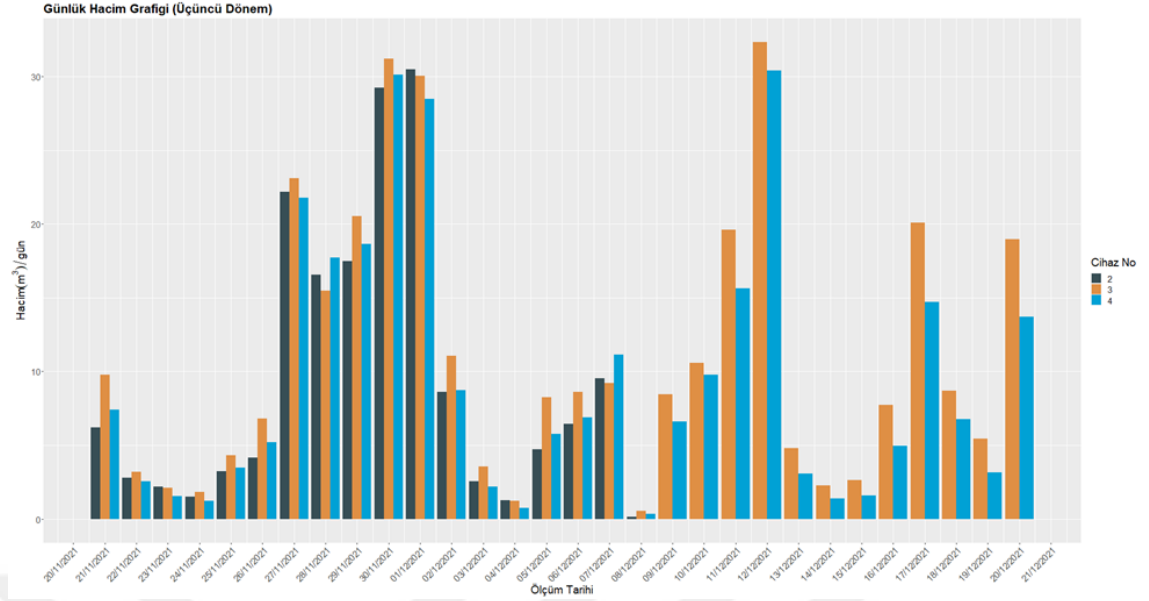
Bu aşamadan sonra veri setine 7 farklı yüzeyin üzerindeki genişlik (W), yükseklik (H), Delik sayısı verileri eklenmiş ve alan (mm^2) ve hacim (m^3)/gün verileri hesaplanmıştır. Birinci kampanya periyodunda hesaplanan günlük hacim verileri ile her bir dönem yapılan örneklemelerde cihazların çektikleri hacim miktarları Şekil 3.12, Şekil 3.13 ve Şekil 3.14’de gösterilmiştir. Birinci kampanya periyodu üçüncü örneklem ayında, 08/12/2021 tarihinde Antalya’da çıkan fırtına nedeniyle cihazlar devrilmiş ve iki numaralı cihaz ile örneklemeye devam edilememiştir. Bu nedenle ilgili tarihten sonra iki numaralı cihazın verisi bulunmamaktadır.



Şekil 3.12. Birinci kampanya periyodu ilk ayına ait rüzgâr verilerinden elde edilen hacim (m³)/gün grafiği

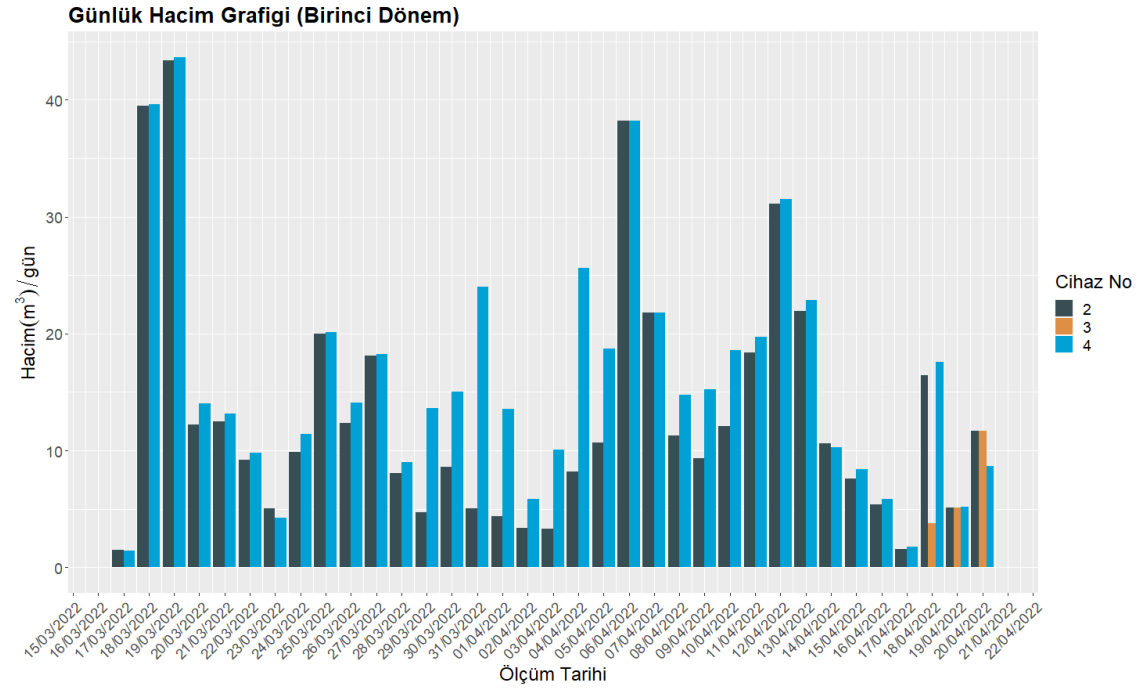


Şekil 3.13. Birinci kampanya periyodu ikinci ayına ait rüzgâr verilerinden elde edilen hacim (m³)/gün grafiği

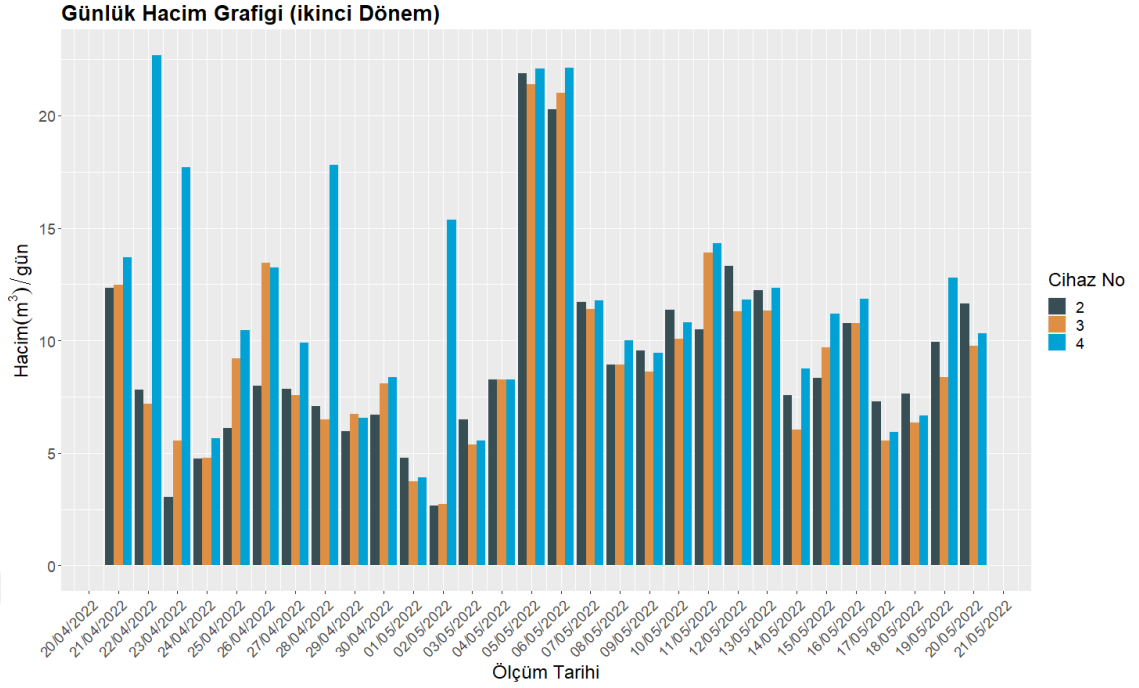


Şekil 3.14. Birinci kampanya periyodu üçüncü ayına ait rüzgâr verilerinden elde edilen hacim (m³)/gün grafiği

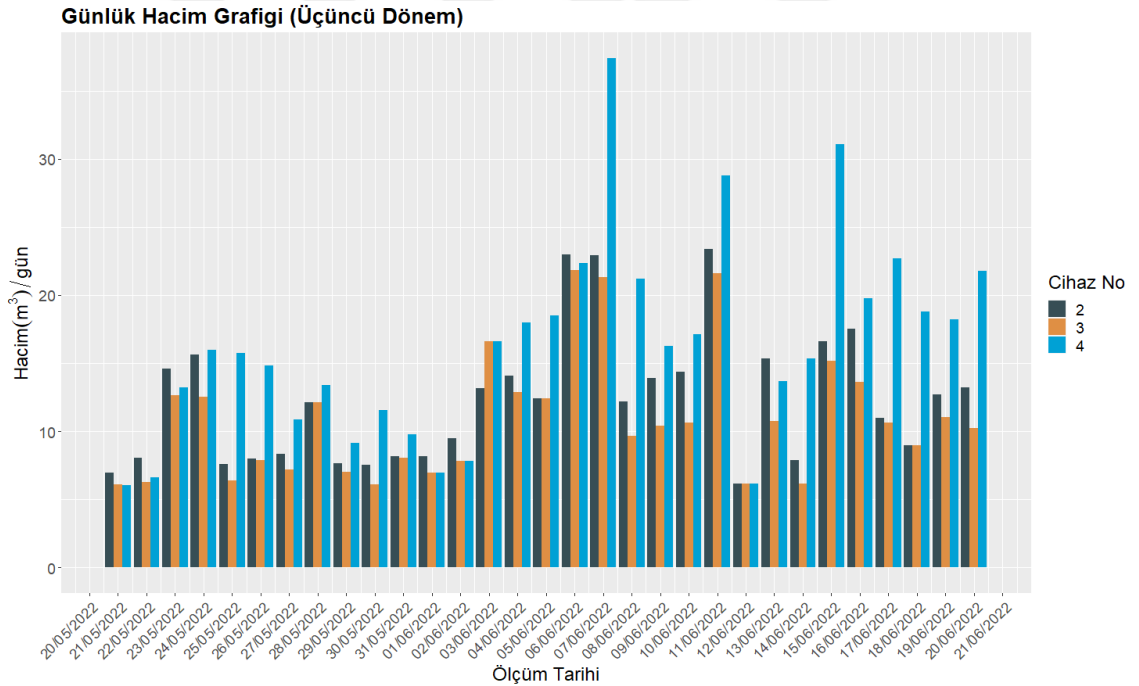
İkinci kampanya periyodunda hesaplanan günlük hacim verileri ile her bir dönem yapılan örneklemelerde cihazların çektikleri hacim miktarları ise Şekil 3.15, Şekil 3.16 ve Şekil 3.17’de gösterilmiştir. Birinci örnekleme dönemine başlanırken üç numaralı cihazın anemometresinde yaşanan arıza nedeniyle yeni parça Çin’den tedarik edilene kadar ilgili cihaz ile veri toplanamamıştır. Bu nedenle 18/04/2022 tarihine kadar üç numaralı cihazın verisi bulunmamaktadır.



Şekil 3.15. İkinci kampanya periyodu ilk ayına ait rüzgâr verilerinden elde edilen hacim (m³)/gün grafiği



Şekil 3.16. İkinci kampanya periyodu ikinci ayına ait rüzgâr verilerinden elde edilen hacim (m³)/gün grafiği

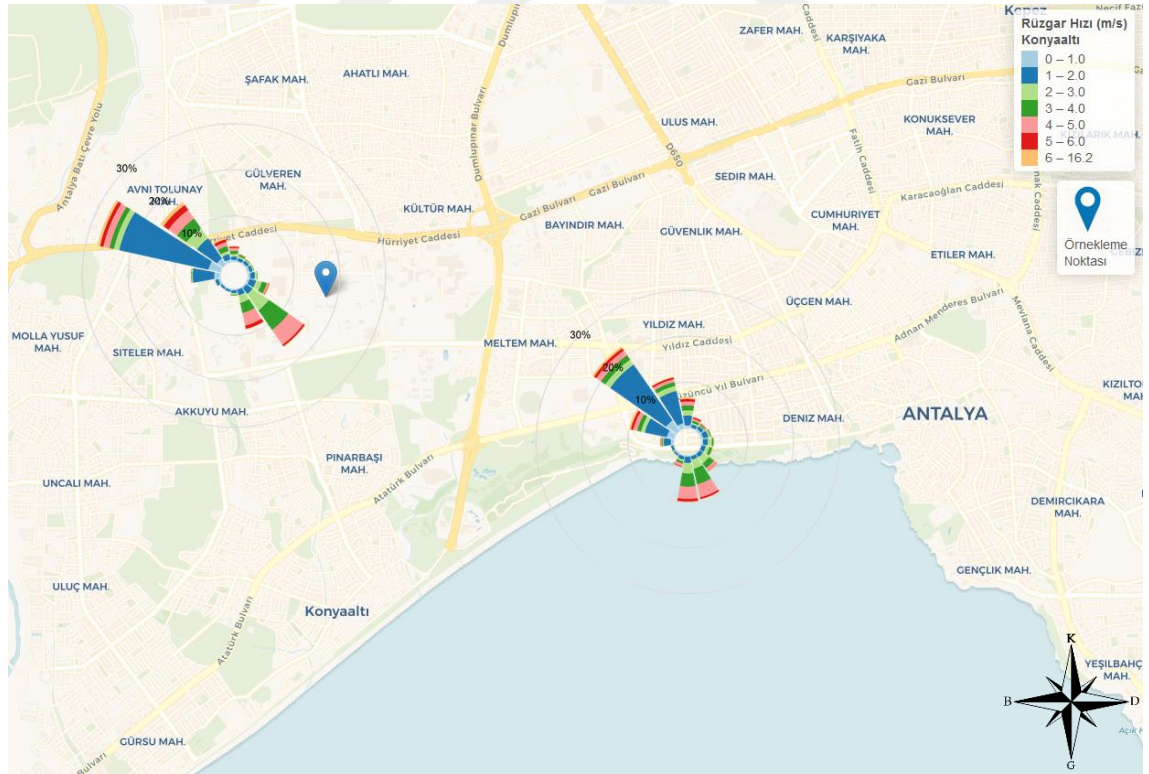


Şekil 3.17. İkinci kampanya periyodu üçüncü ayına ait rüzgâr verilerinden elde edilen hacim (m³)/gün grafiği

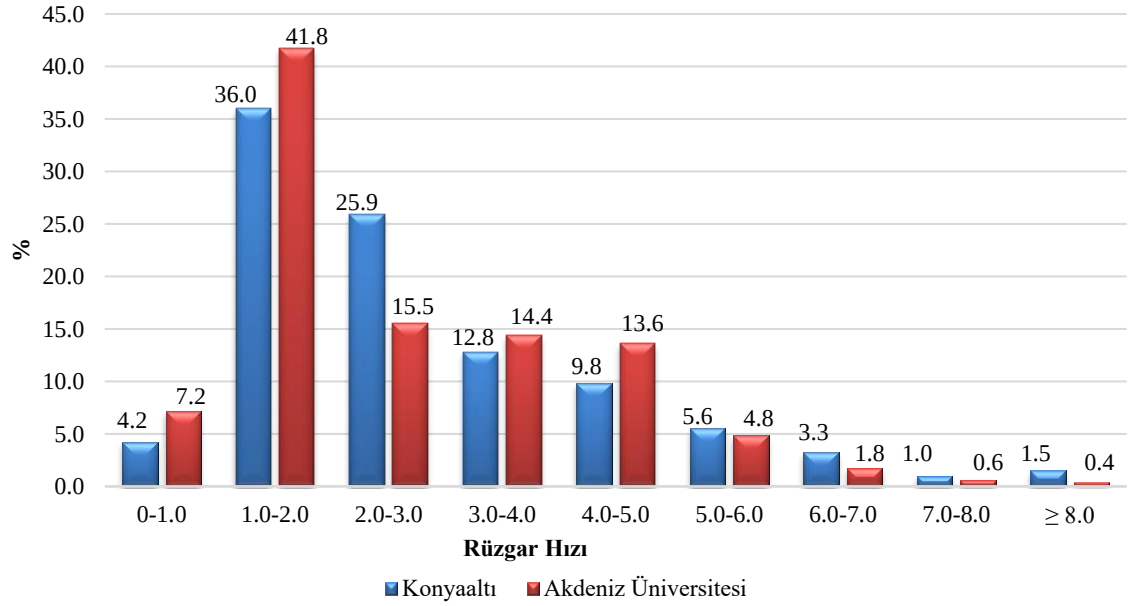
Verilerin analize hazır hale getirilmesi ve grafikler için R programı kullanılmış olup yazılan kod ek kısmına eklenmiştir (EK-2). R Programı C++ programlama dilini kullanmaktadır.

3.6. Meteorolojik Veriler

Bu çalışmanın yapıldığı döneme ait sıcaklık, rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Çalışma kapsamında bir tanesi Akdeniz Üniversitesi kampüsünde, diğeri ise Konyaaltı Sahilinde bulunan iki istasyonun verileri kullanılmıştır. Bu veriler ve kaynak belirleme çalışması sonucunda elde edilen G-skorlar (Örneklerdeki kaynak katkıları) kullanılarak KOF (koşullu olasılık fonksiyonu) grafikleri hazırlanmış ve olası kaynak bölgeleri tespit edilmeye çalışılmıştır. 01/08/2021 – 31/08/2022 tarihleri arasındaki rüzgâr hızı ve yönü verileri ile her iki istasyon için ayrı ayrı hazırlanan yıllık rüzgâr gülleri Şekil 3.18'de gösterilmiştir. Yıllık rüzgâr gülleri incelendiğinde, kuzeyden esen rüzgârın iki istasyon için de oldukça etkili olduğu görülmektedir. Rüzgarların hız dağılımları incelendiğinde, Akdeniz Üniversitesindeki istasyona gelen rüzgârın hızının zamanın yaklaşık %50'sinde, Konyaaltı'ndaki istasyona gelen rüzgârın hızının ise zamanın yaklaşık %40'ında 2 m/s'nin altında kaldığı tespit edilmiştir (Şekil 3.19). Özellikle Akdeniz Üniversitesindeki istasyondan elde edilen veriler incelendiğinde rüzgâr hızları düşük olarak değerlendirilebilir. İstasyonun etrafındaki ağaçların büyümesi buna sebep olabilecek en önemli etken olarak görülmüştür. Her ne kadar kuzeyden esen rüzgâr fazlaymış gibi görünse de rüzgâr gülleri incelendiğinde kuzeyden esen rüzgâr hızı genelde düşük hızlarda (1-2 m/s) kalmaktadır. Bu durumun istasyonların etrafındaki yapılaşma sebebiyle olabileceği düşünülmektedir. Güneyli rüzgarların ise ağırlıklı olarak 2-5 m/s aralığında estiği belirlenmiştir.



Şekil 3.18. Antalya ili Ağustos 2021-Ağustos 2022 arası hazırlanan yıllık rüzgâr gülleri



Şekil 3.19. Rüzgâr hızı sıklık dağılımı

3.7. Zenginleştirme Faktörü

Zenginleştirme Faktörü (EF) ölçülen elementlerin kaynaklarının antropojenik mi yoksa doğal kaynaklı mı olduğunu belirlemek için kullanılan temel bir yöntemdir. Hem deniz kökenli hem de toprak kökenli elementler için hesaplanabilmektedir. Elementlerin deniz (EF_m) ya da toprak (EF_c) kökenli zenginleştirme faktörü aşağıda gösterildiği şekilde hesaplanabilir.

$$EF_{c/m} = \frac{\left(\frac{C}{C_{ref}}\right)_{örnek}}{\left(\frac{C}{C_{ref}}\right)_{toprak/deniz}} \quad (3.2)$$

Bu denklemde $(C/C_{ref})_{örnek}$ oranı EF değeri hesaplanmak istenen element konsantrasyonunun seçilen referans element konsantrasyonuna oranını göstermektedir. $(C/C_{ref})_{toprak/deniz}$ oranı ise elementin konsantrasyonunun deniz veya topraktaki referans element konsantrasyonuna olan oranını göstermektedir.

Bu çalışmada EF_c değerleri, konvansiyonel yöntem ve geliştirilen örnekleyici ile elde edilen sonuçlar için aylık olarak hesaplanmış ve karşılaştırma yapılmıştır. Bunlara ek olarak PMF çalışması sonucu elde edilen faktörlerin toprak kökenli olup olmadığı veya diğer elementlerin toprak kökenli faktörlerde ne kadar zenginleştiğinin belirlenmesi amacıyla da EF_c hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplamalarda referans toprak kompozisyonu olarak Mason (1966) tarafından verilen değerler alınmıştır. Toprak kökenli referans element ise Al olarak kabul edilmiştir. Elde edilen sonuçlarda EF_c değeri 0.1-10 arasında olan elementlerin doğal kaynaklardan geldiği, daha büyük değere sahip elementlerin ise topraktan başka bir kaynak etkisinde olduğu kabulü yapılmıştır.

3.8. Koşullu Olasılık Fonksiyonu

Koşullu Olasılık Fonksiyonu (KOF) yöntemi, rüzgâr yönü verileriyle birleştirilmiş kaynak katkılarını kullanarak çeşitli rüzgâr yönlerinden gelen lokal kaynakların etkilerini değerlendirmek için geliştirilmiştir. Noktasal kaynakların ve/veya emisyonları örnekleme bölgesini etkileyen kaynak alanlarının doğrudan coğrafik konumunu vermez fakat potansiyel kaynakların yönünü belirlemek için güçlü bir yaklaşım sağlar (Ashbaugh vd. 1985; Kim vd. 2003b; Bae vd. 2011; Sofowote vd. 2015). CPF şu şekilde tanımlanabilir:

$$CPF_{\Delta Q} = m_{\Delta Q}/n_{\Delta Q} \quad (3.3)$$

Burada ΔQ , her bir rüzgâr sektörünü, $n_{\Delta Q}$, rüzgâr sektörü $\Delta\theta$ 'den esen tüm saatlik rüzgâr sayısını ve $m_{\Delta Q}$, ise belirlenen eşik konsantrasyonu geçerek rüzgâr sektörü $\Delta\theta$ 'den esen saatlik rüzgâr sayısını temsil etmektedir (Kim vd. 2003b). Rüzgâr sektörü açısı, veri sayısı ve veri çözünürlüğü ile orantılı olarak bu çalışma için 22.5 derece seçilmiştir. Eşik değer olarak en yüksek %20'lik konsantrasyona sahip saatlik verilere karşılık gelen rüzgâr yönleri kullanılarak her sektör için KOF hesaplaması yapılmıştır.

3.9. Potansiyel Kaynak Katkı Fonksiyonu

Potansiyel Kaynak Katkı Fonksiyonu (PKKF) analizi, hava yörüngeleri ile çevrili bölgenin i_{xj} alt alanlarına bölünmesiyle başlar ve daha sonra hava yörüngeleri saatlik segmentlere ayrılarak koordinatlarına göre bir alt alana atanır. N çalışma süresi içindeki toplam segment sayısını temsil ederken, n_{ij} her bir alt alana düşen saatlik segment sayısını gösterir. Böylece segmentlerin kümülatif olasılığı, $P[A_{ij}]$, aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$P[A_{ij}] = \frac{n_{ij}}{N} \quad (3.4)$$

PKKF, kirleticilerin kaynak bölgeleriyle ilişkili coğrafi dağılımını gösteren bir olasılık değeridir. Bu değeri hesaplamak için, her bir alt alanda ölçülen kirletici konsantrasyonlarından belirli bir kirlilik kriterini aşan bölüm tespit edilir. Bu kriteri aşan kısım m_{ij} (kirli) olarak adlandırılır ve bölgedeki toplam segment sayısına oranlanarak alt alanlar içinde kirlilik kriterini aşan segmentlerin olasılığı $P[B_{ij}]$ aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$P[B_{ij}] = \frac{m_{ij}}{N} \quad (3.5)$$

Seçilen parametre için ij alt alanının PKKF değeri ise aşağıdaki gibi belirlenmektedir:

$$PKKF_{ij} = \frac{m_{ij}}{n_{ij}} \quad (3.6)$$

PKKF değeri potansiyel kaynak bölgelerinin coğrafi dağılımını gösteren bir koşullu olasılık olarak tanımlanır. Yüksek PKKF değeri, alt alanın potansiyel bir kaynak bölgesi olduğunu gösterirken, düşük PKKF değeri potansiyel kaynak bölgeleriyle ilişkili olmadığını gösterir.

PKKF modelinde bazı belirsizlikler bulunmaktadır. Eğer n_{ij} segment sayısı küçükse, PKKF sadece bir veya birkaç hava yörüngesini temel alır ve bu hava yörüngeleri kirlendiğinde hesaplanan PKKF değeri çok yüksek olur. Bu yüksek değerler belirsizlik yaratır. Bu durum, o alt alanlar ile kaplı bölgenin potansiyel kaynak bölgesi olduğunu kesin bir şekilde göstermez. Bu problemin üstesinden gelmek için iki farklı yaklaşım kullanılır.

Bunlardan biri, içerdikleri segment sayısına bağlı olarak ağırlıklandırılmış PKKF değeri hesaplaması metodudur (Plaisance vd. 1997; Polissar vd. 1999). Diğer ise çalışma alanındaki her bir PKKF değerinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığının test edildiği parametrik olmayan bootstrap tekniğidir (Hopke vd. 1995; Lupu ve Maenhaut 2002). Bu çalışmada ağırlıklandırılmış PKKF metodu kullanılmıştır. Ağırlıklandırılmış PKKF metodunda amaç küçük sayıdaki n_{ij} değerlerinin etkisini azaltmak için rastgele seçilmiş bir ağırlıklandırma fonksiyonu, $W(n_{ij})$, kullanılarak bu alt alanlardaki belirsizlik azaltılır. Bu amaçla, her bir ij için hesaplanan PKKF değeri, tanımlanan ağırlıklandırma fonksiyonu olan $W(n_{ij})$ ile çarpılır. Ağırlıklandırma fonksiyonu, aşağıdaki denklemle hesaplanır (Zhao ve Hopke 2006):

$$W(n_{ij}) = \begin{cases} 0,15 & n_{ij} \leq n_{avg}/2 \\ 0,5 & n_{avg}/2 < n_{ij} \leq n_{avg} \\ 0,75 & n_{avg} < n_{ij} \leq 2 \times n_{avg} \\ 1 & n_{ij} > 2 \times n_{avg} \end{cases} \quad (3.7)$$

Denklemde, n_{avg} her bir alt alanın saatlik segmentlerinin ortalama değerini temsil eder.

Bu çalışmada, kirli olarak kabul edilen değerler (m_{ij}) elde edilen geçerli sonuçların en yüksek %40'lık dilimine karşılık gelmektedir.

3.10. Geri Hava Yörüngesi Modeli

Hava yörüngeleri analizi, uzun mesafeler boyunca taşınan kirleticilerin kaynağını belirlemek ve hava kirliliği kontrol stratejileri geliştirmek için önemli bir araçtır. Bu analizler, atmosferdeki hava hareketlerini ve taşınım süreçlerini anlamamıza yardımcı olur. Reseptör modeller alıcı ortama gelen kirliliğin kaynağını doğrudan belirlemektense kaynağın doğasını tanımlayarak kirliliğe olan katkısının bulunmasına olanak sağlamaktadır. Elimizde nereden salındığı belli olmayan bir kirletici konsantrasyonu varsa hava yörüngeleri kirleticinin muhtemel kaynağı ile ilgili coğrafi bir bilgi vermektedir.

Hava yörüngeleri sıcaklık ve basınç farklılıklarıyla bir hava kütlesi boyunca zaman ile bütünleşik olarak hareket etmektedirler. Geri hava yörüngeleri ise zamanda geriye doğru giderek hava kütlesinin belirli bir zamanda hangi yükseklikte hangi lokasyonda olduğuna dair bilgi vermektedir (Munzur ve Tuncel 2008).

Geri hava yörüngelerinin hesaplanması için bu çalışmada Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi (NOAA) tarafından geliştirilen

HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model (HYSPLIT) kullanılmıştır (Draxler ve Hess 1998). Model hesaplama metodu Lagrangian yaklaşımı, trajektörler veya hava parselleri başlangıç noktalarından hareket ederken adveksiyon ve difüzyon hesaplamalarında hareketli referans çerçevesi kullanımı, ve Euler metodolojisini, kirleticinin hava konsantrasyonunu hesaplayabilmek için sabit üç boyutlu gridi sınır olarak kullanımı, birleştirmektedir (NOAA 2016). HYSPLIT ile geri yörünge hesabı internet üzerinden günlük olarak yapılabileceği gibi bazı programlar yardımıyla da kolayca haftalık veya aylık gerçekleştirilebilmektedir. Bu çalışmada (Carslaw ve Ropkins 2012) tarafından geliştirilen R istatistik programı paketi olan openair ile geri hava yörüngeleri hesaplanmıştır. Openair aynı zamanda geri hava yörüngelerine çeşitli istatistiksel analiz metotlarının uygulanmasına (kümeleme analizi, potansiyel kaynak katkı fonksiyonu) ve haritalandırma için belirli CBS fonksiyonlarının kullanılmasına olanak sağlamıştır. Geri hava yörüngelerini hesaplayabilmek için meteoroloji verisine ihtiyaç duyulmaktadır. HYSPLIT bünyesinde çok çeşitli meteorolojik yaklaşım yer almaktadır. Kullanım kolaylığı açısından kümeleme analizi için Global Reanalysis meteoroloji verisi, PKKf analizi için hassas olan GDAS 0.5 Degree meteoroloji verisi kullanılmıştır. Ayrıca, geri hava yörüngeleri ile atmosferin dikey yapısını daha iyi açıklamak için 100 m, 500 m, 1500 m ve 3000 m olmak üzere dört farklı rakım için ayrı ayrı R programı ve openair paketi yardımı ile çizilmiştir. Alıcı ortama gelen kirleticilerin en iyi şekilde tespit edilebilmesi ve belirsizliklerin önlenmesi için kümeleme analizi için beş günlük, PKKf analizleri için üç günlük geri hava yörüngeleri çizilmiştir.

3.11. Pozitif Matris Faktörizasyonu ile Kaynak Belirleme

Bu çalışmada elde edilen sonuçlara katkısı olan kaynaklar ve bu kaynakların katkılarını belirlemek için alıcı ortam kaynak modellerinden biri olan Pozitif Matris Faktörizasyonu (PMF) modeli kullanılmıştır. PMF modeli literatürde sıklıkla kullanılan çok değişkenli alıcı ortam modellemelerinden en önemlisidir (Paatero ve Tapper 1994; Lee vd. 1999; Chueinta vd. 2000; Polissar vd. 2001; Kim vd. 2003a; Jaekels vd. 2007; Sahu vd. 2011; Seneviratne vd. 2011). PMF temel olarak denklemde gösterilen faktör analizi probleminin çözümüne dayanmaktadır:

$$X = GF + E \quad (3.8)$$

Denklemde veri matrisi (X), kaynakların ortalama profilleri (F), kaynakların katkıları (G) ve modellenemeyen kısım (E) ifade edilmektedir. Faktör analizi modellerinin amacı G ve F değerlerini tahmin etmektir. Her bir veri noktası için denklem şu şekilde yazılabilir:

$$x_{ij} = \sum_{n=1}^N g_{in}f_{nj} + e_{ij} \quad (3.9)$$

Burada x_{ij} , i örneğinde ölçülen j parametresini, g_{in} , n kaynağının i örneğine katkısını, f_{nj} , j parametresinin n kaynağına katkısını ve e_{ij} ise x_{ij} 'in modellenemeyen kısmını göstermektedir.

Pozitif Matris Faktörizasyonu modelinde temel amaç modellenemeyen kısmın her bir veri noktası için tanımlanan belirsizliğe oranını düşük tutmaktır. Bu amaç, bir hedef fonksiyonu olan $Q(E)$ kullanılarak gerçekleştirilir:

$$Q(E) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (e_{ij}/s_{ij})^2 \quad (3.10)$$

Deklemlerde s_{ij} , i örneğinde ölçülen j parametresinin belirsizliğini göstermektedir. İdeal bir modelleme sonucunda hedef fonksiyon Q 'nın sıfır olması beklenir. Ancak hava kalitesi örneklemelerinde çevresel geri plan gürültüsü yüksek olduğu için Q değeri (uyum derecesi) yüksek olabilir. Bu çalışmada Amerikan Ulusal Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından geliştirilen EPA PMF5.0 modeli kullanılmıştır. Bu modelde birbirinden farklı anlamlara gelen Q değerleri kullanıcıya bildirilmektedir. İlk olarak, $Q(\text{true})$ değeri tüm veri noktalarının kullanıldığı uyum derecesini ifade eder. İkinci olarak, rapor edilen Q değeri, $Q(\text{robust})$ olarak adlandırılır. $Q(\text{robust})$, e_{ij}/s_{ij} oranı -4'ten küçük ve +4'ün üzerinde kalanlar hariç tutularak hesaplanan uyum derecesini göstermektedir. Başarılı bir çalışmada $Q(\text{true})$ ve $Q(\text{robust})$ değerleri birbirine yakın olmalıdır, yani tüm veri noktaları için hesaplanan e_{ij}/s_{ij} oranının -4 ile +4 arasında olması beklenir. EPA PMF 5.0 programında, modellenemeyen veya ortalama ölçüm sonucunun belirsizliğe oranının (Signal to Noise ratio) düşük olduğu kimyasallar ile parçaları da modelleme çalışmasının içerisinde olan ve bir bütünü temsil eden parametreler (PM_{10} veya Toplam Uçucu Organik Bileşik konsantrasyonu gibi) “zayıf” olarak tanımlanarak, model içerisinde hesaplanan belirsizlikleri üç ile çarpılıp modele dâhil edilmektedir. Ancak bu parametre ve kimyasallar yine de modellenemez ise modelden çıkartılmaktadır. Modele dâhil edilip de zayıf olarak tanımlanmayan kimyasallar kullanılarak teorik Q değeri denklemdeki gibi hesaplanmaktadır:

$$Q_{(\text{teorik})} = K - (i + j)x(N) \quad (3.11)$$

Bu eşitlikte K , zayıf olmayan ancak modellemede kullanılan veri noktası sayısını (örnek sayısı $\times$ kimyasal sayısı), N ise faktör sayısını, i modelde kullanılan örnek sayısını, j ise modeldeki kimyasal sayısını göstermektedir. Teorik olarak hesaplanan Q değerinin ise $Q(\text{true})$ değerine yakın olması beklenir.

EPA PMF5.0 modelinde her bir kimyasalın ne ölçüde verimli bir şekilde modellenip modellenemediğini göstermesi açısından her kimyasal için ve her bir veri günü/noktası için de yukarıda anlatıldığı üzere $Q/Q(\text{teorik})$ değeri hesaplanmaktadır. Bu hesaplama sonucunun da en fazla 2 olması beklenmektedir.

Her ne kadar Q değerleri önemli bir parametre olsa da Q değerini düşürmek için belirsizlikler yükseltilmektedir. Ancak bu durumda Q değeri bir model performans parametresi olarak kullanılamamaktadır.

Modelin performansını belirleyebilmek için aşağıda açıklanan döngüden optimum şekilde çıkmak gerekmektedir. EPA PMF5.0 modeli, belirlenen kaynak sayısı kadar (en az üç en fazla ise modellemeye çalıştığınız kimyasal sayısı kadar) çalıştırılmaktadır.

Doğru kaynak sayısına ulaşmak için öncelikle hedef ortaya konmalı daha sonrasında ise amaca uygunluğu sağlayıcı makaleler okunup hedefe uygun örnekleme ve analiz metodu oluşturulmalıdır. Hava kalitesi çalışmalarındaki amaçlar genellikle ortam havasına etki eden kaynakların belirlenmesi olduğundan, ortamdaki potansiyel kirletici kaynaklarının tanımlanması ve bu kaynakların birbirlerine göre ayırt edici özellikleri tanımlanmalıdır. Bu özellikler çeşitli kimyasalların bir kaynaktan daha çok salınması şeklinde de olabileceği gibi kaynaktan salınan kimyasalların hafta içi ya da hafta sonu daha çok salınması şeklinde de olabilmektedir. Mesela hafta içi faaliyet gösteren endüstriyel bir işletmenin emisyonlarının hafta içi daha fazla olması beklenmektedir. Kış aylarında kömür kullanımı yüksek olan bir yerleşim yerinde kömür kaynaklı emisyonların yükselmesi beklenmektedir. Bu tarz farklılıkların belirlenmesi ve bu farklılıkları tanımlayabilecek usule uygun şekilde örnek toplanması farklı kaynakların ayırt edilmesine olanak sağlamaktadır. Yapılan örnekleme sonuçlarının bazı analizlere tabii tutulması kaynakları hakkında da bilgi sağlayacağı için önemli olmaktadır. Aylık konsantrasyon analizi, hafta içi - hafta sonu konsantrasyon değişimi, episodik değişimler gibi zamansal değişiklikler kaynaklar hakkında bilgi verebilmektedir. Benzer şekilde EF veya PKKF analizleri de kaynaklar ve kaynak bölgeler hakkında bilgi vermektedir.

EPA PMF5.0 modelinde en uygun sonucu belirleyebilmek için öncelikle her bir kimyasal için elde edilen e_{ij}/S_{ij} oranlarının dağılımlarının ± 3 aralığında normal dağılım göstermesi gerekmektedir. Eğer dağılım sağlıklı görünmüyorsa, ilgili veri noktaları modelleme dışında bırakılmalı veya kaynak sayısı artırılmalıdır. Diğer bir model performans parametresi ise her bir kimyasal için ölçülen konsantrasyonun modellenen konsantrasyona göre dağılım grafiğidir. Bu grafiğin noktalarının 1:1 çizgisi etrafında dağılması beklenir. Ancak ölçülemeyen veya belirleme sınırı altında kalan değerlerin dağılımları farklı olabilir. Üçüncü performans parametresi, ölçülen ve modellenen konsantrasyonların zaman serisi analizleridir. Bu analiz, modelin belirli dönemlerdeki performansını değerlendirmek için önemlidir. Performansı düşük görülen kimyasalların o günlere ait verileri modellemeden çıkartılmalı ya da ilgili kimyasal modelden tamamen çıkartılmalıdır. Bu aşamaya kadar başarılı bir şekilde gelindiye, her bir kimyasal ve veri günü için $Q/Q(\text{teorik})$ değerleri incelenmelidir. Eğer sorun yoksa her bir kaynağın profilleri (F-loading) ve günlük katkıları (G-Skor) içeren grafikler incelenerek kaynaklar tanımlanmalıdır. Kaynaklar tanımlanırken kaynak profillerindeki kimyasal konsantrasyonlar ile günlük katkıları incelenmelidir. Kaynaklar doğru tanımlanamıyorsa kaynak sayısı artırılmalıdır. Ancak kaynak sayısı artırılırken bir kaynağın ikiye bölünmesi önlenmelidir. Bunun için faktörlerin G-skorları arasındaki korelasyon incelenmelidir. Kaynaklar arasında korelasyonun gözlenmemesi gerekmektedir. Beklenenin aksine bazı kaynaklar arasında korelasyon gözlenebilmektedir. Böyle durumların net bir şekilde irdelenmesi gerekmektedir. Mesela kış aylarında evsel ısınma amaçlı odun ve kömür yakılması sıklıkla gözlenen iki farklı kaynaktır. Bu kaynakların bölgesel emisyon farklılıklarından dolayı iki farklı kaynak olarak belirlenebilmektedir. Ancak her iki emisyon da kış aylarında yoğun şekilde gözlenebileceğinden dolayı bu iki faktör arasında korelasyon görülmesi olasıdır. Böyle bir durum olmamasına rağmen kaynakların katkıları arasında korelasyon görüldüğü takdirde F-Peak rotasyonu uygulanarak kaynaklar arasındaki korelasyon kısmen giderilmektedir. Benzer şekilde F-Peak rotasyonu kaynak profilleri arasındaki korelasyonu gidermek için de kullanılmaktadır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Örneklem Sonuçları

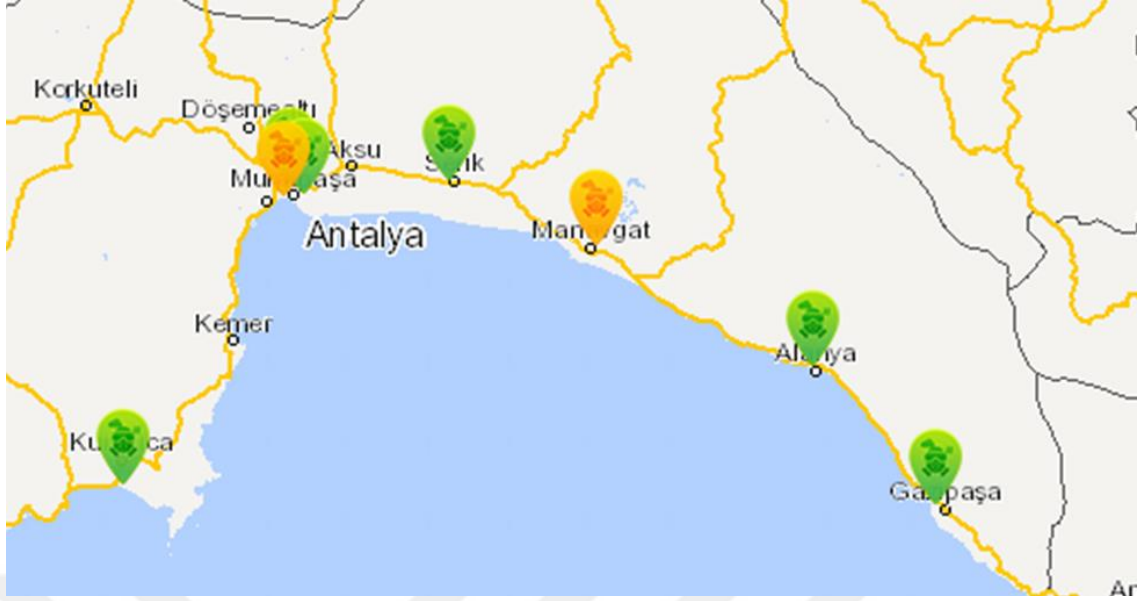
4.1.1. Konvansiyonel yöntem sonuçları

Konvansiyonel yöntem ile gerçekleştirilen çalışma sonucunda iki kampanya periyodunda elde edilen (21/09/2021-20/12/2021 ve 20/03/2022-19/06/2022) konsantrasyon değerleri tek bir veri seti haline getirilmiş ve temel istatistiki bilgileri Çizelge 4.1’de sunulmuştur. Elde edilen değerlere göre iri partikül modundaki konsantrasyonun ince partikül moduna göre yüksek olduğu, yüksek konsantrasyonlu günlerde ulusal mevzuattaki günlük PM_{10} sınır değerlerinin ($50 \mu g/m^3$) aşıldığı görülmektedir.

Çizelge 4.1. Konvansiyonel yöntem ile elde edilen PM konsantrasyon değerleri

Parametre	Ortalama $\pm$ STD	Medyan	Minimum	Maksimum
$PM_{2.5}$	5.17 $\pm$ 5.3	3.88	0.79	43
$PM_{2.5-10}$	15 $\pm$ 14	12	1	104
PM_{10}	20 $\pm$ 16	16	3	126

Antalya genelinde Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından işletilen 8 hava kalitesi izleme istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonların yerleri Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Kent merkezinde yer alan istasyonların dağılımı ise Şekil 4.2’de sunulmuştur. Kent merkezindeki istasyonlardan trafik emisyonlarını takip etmek için Yüzüncüyıl Bulvarı üzerinde bir istasyon kurulmuştur. Kent merkezindeki geri plan konsantrasyonları ölçmek için Muratpaşa ilçesinde Kızıltoprak Mahallesi’nde bir okul bahçesine ve Kepez ilçesinde Karşıyaka Mahallesi’nde anayollardan uzak bir parkın içerisinde ölçümler gerçekleştirilmektedir. Serik, Manavgat ve Alanya’da bulunan istasyonlar yine kentsel hava kalitesini ölçmek amacıyla yerleştirilmiştir. Kumluca’da yer alan istasyon, tarımsal ısınma kaynaklı emisyonları takip etme hedefiyle kurulmuştur. Gazipaşa’da kurulan istasyon ise kırsal geri plan ölçümü gayesi ile kurulmuştur. Ancak, etrafında seralar ve evler bulunmaktadır. İstasyonların hepsinde PM_{10} ve NO_2 parametreleri ölçülmektedir. Diğer parametreler (SO_2 , CO , O_3 ve $PM_{2.5}$) istasyon karakteristiğine göre ölçülmektedir.



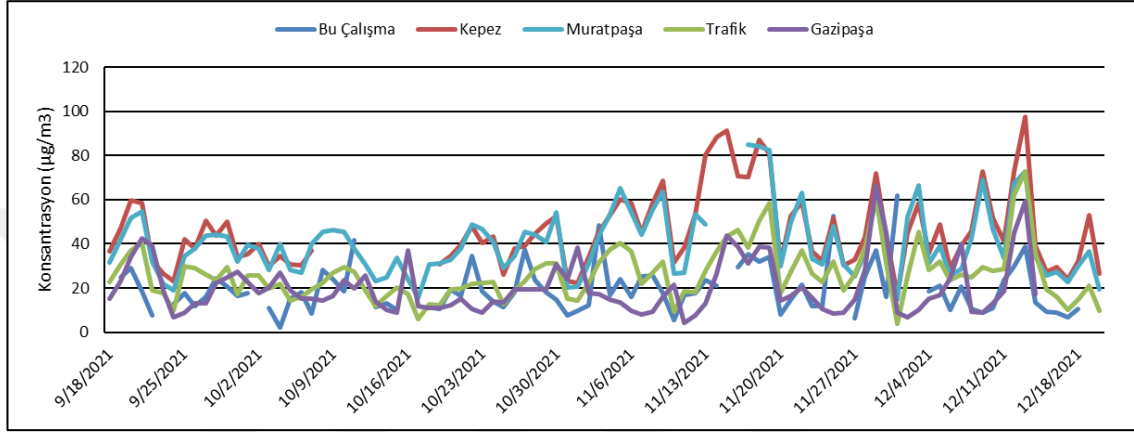
Şekil 4.1. Antalya’da ÇŞİD Bakanlığı tarafından işletilen HKİ istasyonlarının yerleri



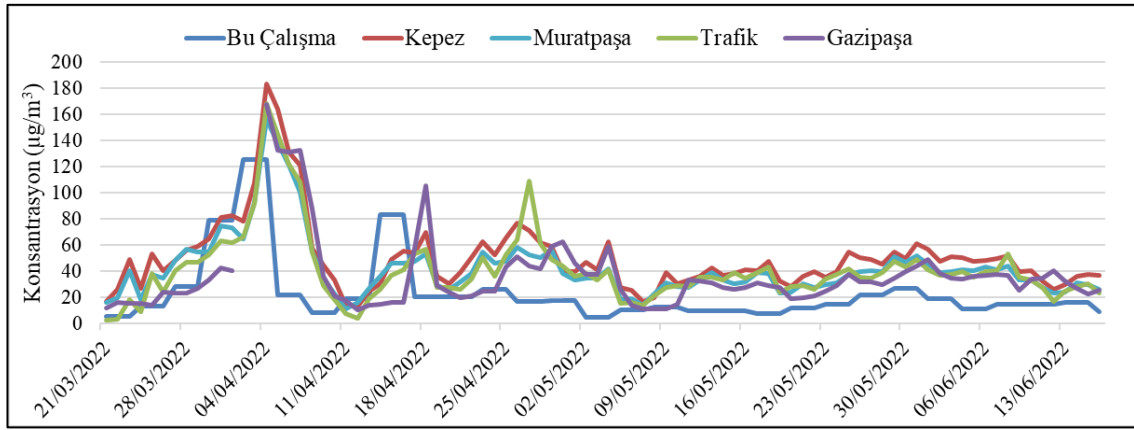
Şekil 4.2. Antalya şehir merkezinde bulunan ÇŞİD Bakanlığı tarafından işletilen HKİ istasyonlarının yerleri

Bu çalışmadaki her iki kampanya dönemini de kapsayan günlere ait 24 saatlik ortalama PM_{10} değerleri Kepez, Muratpaşa, Trafik ve Gazipaşa istasyonu verileri karşılaştırılmıştır. Sağlıklı bir karşılaştırma yapmak için bu çalışmadaki filtre değişim zamanı olan 09.30’dan sonraki ilk tam saatten 24 saat sonraki dilimde elde edilen PM_{10} değerlerinin aritmetik ortalaması ile bu çalışmada elde edilen değerlerin karşılaştırması gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.3 ve Şekil 4.4). Sonuçlardan da görüleceği üzere bu çalışmadan elde edilen PM_{10} değerleri her iki dönemde de genel olarak Kepez ve Muratpaşa’da yer alan istasyon verilerinden düşük kalmıştır. Ancak genel trendi takip

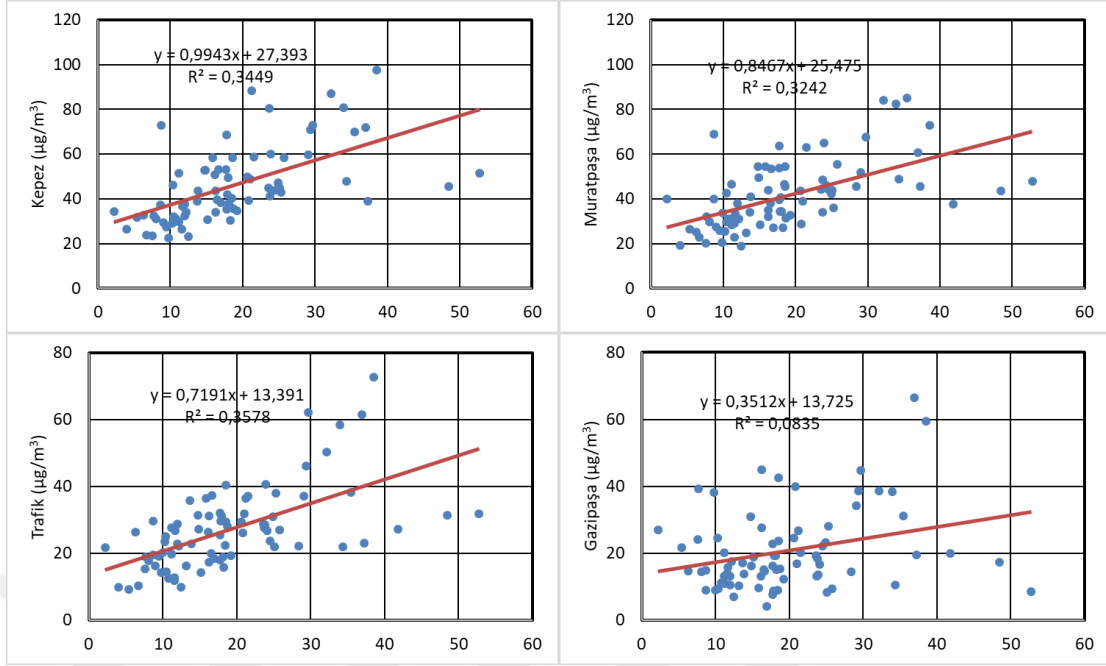
etmiştir. Buradaki en önemli farkı yaratan unsur, Üniversitenin kuzeyinde kapsamlı bir kentsel dönüşümün tamamlanması sonucu bu bölgedeki emisyonların düşmesi olarak değerlendirilmektedir. Kepez ve Muratpaşa’da yer alan istasyonların çevrelerinde ya seralar ya da evsel ısınma amaçlı kömür kullanımı devam etmektedir. Bu dört istasyonla elde edilen değerlerin korelasyon grafikleri Şekil 4.5’te gösterilmiştir. Korelasyon grafikleri de genel trendin takip edildiğini ve fakat genel olarak daha düşük konsantrasyonlar ölçüldüğünü teyit etmektedir. Ancak Gazipaşa ile korelasyonun düşük gözlenmesi sadece bu çalışma sonucuna özgü olmayıp burada sunulmasa da diğer istasyonlarla Gazipaşa istasyonu arasında da düşük korelasyon bulunmaktadır.



Şekil 4.3. Bu çalışmanın birinci kampanya döneminde elde edilen PM₁₀ değerleri ile ÇŞİD Bakanlığı HKİ istasyonlarından aynı tarihler için elde edilen PM₁₀ değerlerinin karşılaştırması



Şekil 4.4. Bu çalışmanın ikinci kampanya döneminde elde edilen PM₁₀ değerleri ile ÇŞİD Bakanlığı HKİ istasyonlarından aynı tarihler için elde edilen PM₁₀ değerlerinin karşılaştırması



Şekil 4.5. Bu çalışmada elde edilen PM₁₀ değerleri ile ÇŞİD Bakanlığı HKİ istasyonlarındaki PM₁₀ değerleri arasındaki korelasyon (x eksen: Bu çalışma (µg/m³))

Gerçekleştirilen analizler sonrasında elde edilen ince (PM_{2.5}) ve kaba (PM_{2.5-10}) partikül madde boyutundaki elementel konsantrasyonlar sırasıyla Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'de gösterilmiştir. İnce PM boyutunda As konsantrasyonları aynı örnekleme noktasında, Tepe (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmadaki değerlere (aritmetik ortalama 0.44 ng/m³ ve medyan 0.28 ng/m³) yakın tespit edilmiştir. Odun yanmasının bir indikatörü olan K elementinin konsantrasyonunda da benzer tablo ile (aritmetik ortalama 137 ng/m³ ve medyan 135 ng/m³) karşılaşılmıştır. Kurşunun aritmetik ortalaması Tepe (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmadaki kış dönemi aritmetik ortalama değeri (10.66 ng/m³) ile benzerlik gösterse de ortanca değerleri (7.81 ng/m³) arasında fark tespit edilmiştir. Bu durum konsantrasyonların dağılımının farklı olduğunu göstermiştir.

Toprak kökenli elementlerden Si ve Ca ince PM boyutunda en yoğun gözlenen elementler olmuştur. Tepe (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmada da kış döneminde Ca en yüksek konsantrasyona sahip toprak kökenli element olarak gözlenmiş ve fakat konsantrasyon değerleri (aritmetik ortalama 385 ng/m³ ve medyan 343 ng/m³) bu çalışmada tespit edilenlere kıyasla oldukça düşük bulunmuştur. Bu duruma örnek alınan dönemlerdeki rüzgâr ve yağış farklılıklarının sebep olabileceği değerlendirilmiştir.

Kaba PM boyutunda Ca ve Si yine en yoğun konsantrasyonlara sahip elementler olarak dikkat çekmektedir. Ca değerleri Tepe (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmada kış dönemi konsantrasyonlarına (aritmetik ortalama 2231 ng/m³ ve medyan 1862 ng/m³) oldukça yakın tespit edilmiştir. Kükürt konsantrasyonları yine az sayıda örnekte rastlanmış ve fakat Tepe (2016) çalışmasında belirtilen değerler (aritmetik ortalama 399 ng/m³ ve medyan 318 ng/m³) ile karşılaştırılabilir sonuçlar elde edilmiştir. Benzer şekilde As değerleri de Tepe (2016) değerleri (aritmetik ortalama 0.50 ng/m³ ve medyan 0.28 ng/m³) ile karşılaştırılabilir bulunmuştur. Ancak Pb konsantrasyonlarının kaba PM

boyutunda özellikle medyan değerlerinin yarı yarıya (aritmetik ortalama 12.62 ng/m³ ve medyan 7.93 ng/m³) farklı olduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen bulgular geçmişte aynı noktada gerçekleştirilen çalışma sonuçlarıyla farklılıklar olmasına rağmen genel olarak benzer elementel konsantrasyon değerlerine sahip olduğunu göstermektedir. Bu farklılıkların, özellikle kükürt için, analiz yöntemlerindeki farklılıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.2. Konvansiyonel yöntem ile elde edilen ince fraksiyon PM'lerin elementel konsantrasyon değerleri (ng/m³)

Elementler	Örnek Sayısı	Aritmetik Ortalama	Geometrik Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum
Li	96	0.42±0.36	0.33	0.31	0.05	2.42
Ti	94	8±11	5.31	5.66	0.41	84
V	100	8.58±4.69	7.33	7.89	0.96	26
Mn	100	4.26±3.69	3.23	3.16	0.50	20
Co	65	0.27±0.39	0.15	0.21	0.00	2.85
Ni	84	23±26	15.46	21	0.06	236
Zn	99	161±172	112	116	12	1484
As	67	0.39±0.27	0.29	0.37	0.01	1.42
Mo	91	1.98±4.89	0.63	0.50	0.01	43
Cd	37	0.21±0.29	0.09	0.07	0.01	1.12
Sb	87	0.47±0.52	0.32	0.37	0.01	4.41
Cs	87	0.06±0.06	0.04	0.05	0.002	0.42
La	100	0.08±0.1	0.05	0.05	0.003	0.66
Pb	98	9.3±23	3.24	3.11	0.06	177
Ce	66	0.15±0.11	0.11	0.14	0.01	0.49
Eu	52	0.02±0.07	0.003	0.002	0.0003	0.45
Yb	69	0.005±0.002	0.004	0.004	0.0004	0.01
Si	69	2081±2225	1146	1423	9.79	13686
P	23	286±217	210	216	46	938
S	33	395±731	206	214	15	4341
Na	100	321±607	198	203	1.81	6088
Mg	66	95±78	71	75	8.13	432
Al	90	510±915	202	270	0.14	4706
K	99	170±95	145	137	32	391
Ca	100	784±564	583	585	76	2962
Fe	88	155±168	102	114	1.09	982
Ba	69	17±17	7.98	5.62	0.36	51
Y	13	0.14±0.12	0.06	0.13	0.0004	0.35
Cr	30	15±25	8.45	7.27	2.92	144

Çizelge 4.3. Konvansiyonel yöntem ile elde edilen kaba fraksiyon PM'lerin elementel konsantrasyon değerleri (ng/m³)

Elementler	Örnek Sayısı	Aritmetik Ortalama	Geometrik Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum
Li	100	0.54±0.35	0.44	0.47	0.05	2.05
Ti	99	34±28	21.92	27.25	0.41	140
V	104	9.1±4.59	7.79	8.33	0.96	23
Mn	104	8.37±5.79	6.52	6.43	1.15	25
Co	92	0.34±0.38	0.21	0.24	0.01	2.85
Ni	104	24±35	14	19	0.68	269
Zn	103	167±169	122	133	12	1484
As	78	0.65±0.97	0.39	0.42	0.01	7.94
Mo	102	2.15±5.05	0.83	0.71	0.05	43
Cd	34	0.14±0.16	0.06	0.06	0.003	0.55
Sb	93	0.92±0.95	0.60	0.78	0.01	7.96
Cs	94	0.09±0.08	0.06	0.08	0.01	0.55
La	104	0.2±0.14	0.15	0.17	0.003	0.74
Pb	102	7.49±12	3.46	3.48	0.04	78
Ce	74	0.45±0.28	0.36	0.38	0.07	1.44
Eu	81	0.02±0.05	0.01	0.01	0.0003	0.45
Yb	74	0.01±0.01	0.01	0.01	0.001	0.05
Si	87	2068±2228	1310	1553	10.50	13686
P	27	288±221	178	283	7	843
S	35	301±358	177	211	5	1900
Na	104	527±590	321	322	10	2834
Mg	98	186±141	136	149	11	697
Al	103	658±899	369	381	15	4706
K	104	201±106	176	172	66	602
Ca	104	1836±1263	1199	1802	76	4999
Fe	104	296±201	239	247	43	939
Ba	74	31±25	22	21	1.21	126
Y	13	0.14±0.12	0.06	0.13	0.00	0.35
Cr	30	15±25	8.45	7.27	2.92	144

4.1.2. Geliştirilen örnekleyici ile elde edilen sonuçlar

4.1.2.1. Örnek/şahit oranı karşılaştırması

Geliştirilen örnekleyici ile elde edilen sonuçlar farklı açılardan değerlendirilmiştir. Bunlardan ilki örnekleyicinin örnek toplama performansını gösteren örnekteki element konsantrasyonunun şahitteki element konsantrasyonuna oranıdır. Tüm örnekleme dönemleri için yapılan örnek şahit oranı (S/B) hesaplamaları Çizelge 4.4'de gösterilmiştir. Genel olarak ilk dört dönemde S/B oranlarının 1'den yüksek olduğu, son iki dönemde ise S/B oranlarının 1'den küçük değerlerden oluştuğu belirlenmiştir. S/B oranlarının 1'den yüksek olduğu dönemlerde örnekleme sürecinin yeterli olduğu değerlendirilmiştir. Bununla birlikte S/B oranının 1'den küçük olduğu iki dönemde ise üç husus ön plana çıkmaktadır. Bunlardan ilki son iki dönemde gerçekleştirilen karayosunu ön yıkama sürecindeki değişikliklerdir. Bu değişikliğin örnekleri kontamine ettiği örnekleme süresi yetersiz kalmış olabileceği değerlendirilebilir ancak Çizelge 3.4'te de görüleceği

üzere belirgin bir kontaminasyondan söz etmek mümkün değildir. İkinci husus olarak bu ön yıkamada yapılan değişiklik karayosunlarının örnek tutma kapasitesini düşürmesine sebep olmalıdır. Her ne kadar literatürde bu tür bir değerlendirmeye rastlanmamış olsa da karayosunlarının içerdikleri topraktan arındırma ve homojen bir geri plan konsantrasyonu elde etmek için yoğun şekilde yıkanması bu duruma sebep olabileceği değerlendirilmiştir. Son olarak, 5. ve 6. dönemlerde ilkbahar ve yaz aylarına ait örnekler toplanmıştır. Bu dönemlerde hava genel olarak yağışlı ve kentsel kirlilik kaynağı pek bulunmamaktadır. Bu dönemlerde örnekleme süresinin yetersiz kalma ihtimali de değerlendirilmektedir.

Çizelge 4.4. Örneklerdeki ortalama element konsantrasyonlarının şahitlerdeki ortalama element konsantrasyonlarına oranı

Elementler	Yosun Örnekleri					
	1. Kampanya Periyodu			2. Kampanya Periyodu		
	1.Dönem	2.Dönem	3.Dönem	4.Dönem	5.Dönem	6.Dönem
Li	1.3	1.1	1.1	1.1	0.9	0.9
Ti	1.3	1.0	1.1	1.1	0.9	0.8
V	1.3	1.0	1.2	1.2	1.0	0.8
Mn	1.9	1.4	1.1	1.1	0.7	1.1
Co	1.3	1.1	1.1	1.2	0.9	0.5
Ni	1.0	1.3	1.2	1.0	0.8	0.8
Zn	1.4	1.6	1.3	1.1	0.7	0.9
As	1.2	1.1	1.1	1.1	0.9	0.4
Mo	1.2	1.0	1.0	1.0	2.0	0.9
Cd	1.1	0.1	0.8	2.5	0.1	0.1
Sb	1.2	1.4	1.3	1.3	0.7	0.5
Cs	1.3	1.1	1.2	1.2	0.7	0.8
La	1.3	2.0	1.2	1.2	1.0	0.8
Pb	1.0	0.2	0.9	1.5	1.0	0.5
Ce	1.3	1.3	1.2			
Eu	1.2	1.1	1.1	1.1	0.6	0.0
Yb	1.4	1.1	1.1			
Si	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	0.9
P	1.2	1.1	1.2	1.3	1.0	0.9
S	1.2	1.1	1.2	1.1	0.9	0.9
Na	1.4	1.1	1.2	1.3	0.7	1.0
Mg	1.2	1.1	1.1	1.2	1.0	0.9
Al	1.3	1.1	1.1	0.9	1.1	0.9
K	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	0.9
Ca	1.2	2.0	1.2	2.1	0.6	1.1
Fe	1.3	1.1	1.1	1.2	0.9	0.9
Ba	1.2	1.1	1.2			
Y				1.2	0.7	0.5
Cr				1.5	0.5	0.6

Örnekleme süresi değerlendirilmesi gereken bir diğer önemli husustur. Avrupa Komisyonu ve Ulusal mevzuatımıza göre yeterli temsiliyet için zamanın %90'ında örnek toplama gereksinimi bulunmaktadır. Geliştirilen örnekleme cihazı, rüzgâr hızının zamanın %96'sında 0.0 ile 6.9 m/s arasında değişeceği öngörülerek geliştirilmiştir. Farklı örnekleme dönemlerine ait veriler Çizelge 4.5, Çizelge 4.6, Çizelge 4.7, Çizelge 4.8, Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10'da gösterilmiştir. Genel olarak örnekleme sürecinde elektrik kesintisi ve GSM ile veri aktarım kesintisi sebepleriyle zamanın %1-13 arasında örnek toplanamadığı belirlenmiştir. Ancak 3. dönemde cihaz 2'de ve 6. dönemde cihaz 3'te yüksek rüzgâr hızı sonucu cihazların düşmesi ve bozulması gibi sebeplerle veri kaybının sırasıyla %54 ve %93 gibi daha uzun sürelerle ulaştığı görülmüştür. Dolayısıyla cihazların elektronik optimizasyonu ve yüksek rüzgâr hızlarında kararlı örnekleme için sabitleme gibi sorunların çözümünün gerekli olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 4.5. Rüzgâr hızlarına göre birinci dönemdeki örnekleme süreleri ve yüzdeleri

1.Dönem						
	Cihaz2		Cihaz3		Cihaz4	
Rüzgâr Hızı	Frekans (saat sayısı)	Frekans (%)	Frekans (saat sayısı)	Frekans (%)	Frekans (saat sayısı)	Frekans (%)
0-1.1	26206	61	25101	58	27083	63
1.2-1.5	3953	9	3877	9	3607	8
1.6-2.1	4542	11	4424	10	4187	10
2.2-2.9	3678	9	3565	8	3337	8
3.0-3.9	2323	5	2679	6	2362	5
4.0-5.3	1180	3	1804	4	1172	3
5.4-6.9	350	1	692	2	414	1
>6.9	114	0.3	204	0.5	184	0.4
NA*	824	2	824	2	824	2

*NA = Ölçüm yapılamayan dönem

Çizelge 4.6. Rüzgâr hızlarına göre ikinci dönemdeki örnekleme süreleri ve yüzdeleri

2.Dönem						
	Cihaz2		Cihaz3		Cihaz4	
Rüzgâr Hızı	Frekans (saat sayısı)	Frekans (%)	Frekans (saat sayısı)	Frekans (%)	Frekans (saat sayısı)	Frekans (%)
0-1.1	34634	78	33431	75	35001	78
1.2-1.5	3531	8	3406	8	3253	7
1.6-2.1	3072	7	3343	7	2875	6
2.2-2.9	1548	3	2037	5	1695	4
3.0-3.9	867	2	1251	3	949	2
4.0-5.3	508	1	692	2	441	1
5.4-6.9	149	0.3	150	0.3	101	0.2
>6.9	23	0.1	22	0.0	17	0.0
NA*	277	1	277	1	277	1

*NA = Ölçüm yapılamayan dönem

Çizelge 4.7. Rüzgâr hızlarına göre üçüncü dönemdeki örnekleme süreleri ve yüzdeleri

3.Dönem						
	Cihaz2		Cihaz3		Cihaz4	
Rüzgâr Hızı	Frekans (saat sayısı)	Frekans (%)	Frekans (saat sayısı)	Frekans (%)	Frekans (saat sayısı)	Frekans (%)
0-1.1	16163	32	23767	55	25898	60
1.2-1.5	1472	3	2878	7	2548	6
1.6-2.1	1595	3	3705	9	3101	7
2.2-2.9	1670	3	3219	7	2850	7
3.0-3.9	1369	3	2460	6	2331	5
4.0-5.3	916	2	1779	4	1424	3
5.4-6.9	235	0	594	1	364	1
>6.9	37	0.1	176	0.4	62	0.1
NA*	27512	54	4592	11	4592	11

*NA = Ölçüm yapılamayan dönem

Çizelge 4.8. Rüzgâr hızlarına göre altıncı dönemdeki örnekleme süreleri ve yüzdeleri

6.Dönem						
	Cihaz2		Cihaz3		Cihaz4	
Rüzgâr Hızı	Frekans (saat sayısı)	Frekans (%)	Frekans (saat sayısı)	Frekans (%)	Frekans (saat sayısı)	Frekans (%)
0-1.1	24692	55	2205	5	21114	47
1.2-1.5	2211	5	173	0.4	2719	6
1.6-2.1	2857	6	223	0.5	3523	8
2.2-2.9	3056	7	210	0.5	3593	8
3.0-3.9	2458	6	137	0.3	2855	6
4.0-5.3	1935	4	116	0.3	2327	5
5.4-6.9	993	2	38	0.1	1348	3
>6.9	863	2	12	0.03	1586	4
NA*	5544	12	41495	93	5544	12

*NA = Ölçüm yapılamayan dönem

Çizelge 4.9. Rüzgâr hızlarına göre yedinci dönemdeki örnekleme süreleri ve yüzdeleri

7.Dönem						
	Cihaz2		Cihaz3		Cihaz4	
Rüzgâr Hızı	Frekans (saat sayısı)	Frekans (%)	Frekans (saat sayısı)	Frekans (%)	Frekans (saat sayısı)	Frekans (%)
0-1.1	24909	58	24222	56	22124	51
1.2-1.5	2275	5	2865	7	2948	7
1.6-2.1	3169	7	3705	9	3790	9
2.2-2.9	3201	7	3197	7	3521	8
3.0-3.9	2097	5	1840	4	2036	5
4.0-5.3	1265	3	1039	2	1301	3
5.4-6.9	460	1	432	1	808	2
>6.9	241	1	317	1	1089	3
NA*	5553	13	5553	13	5553	13

*NA = Ölçüm yapılamayan dönem

Çizelge 4.10. Rüzgâr hızlarına göre sekizinci dönemdeki örnekleme süreleri ve yüzdeleri

8.Dönem						
	Cihaz2		Cihaz3		Cihaz4	
Rüzgâr Hızı	Frekans (saat sayısı)	Frekans (%)	Frekans (saat sayısı)	Frekans (%)	Frekans (saat sayısı)	Frekans (%)
0-1.1	22908	53	23146	54	19753	46
1.2-1.5	2314	5	2826	7	2669	6
1.6-2.1	2986	7	3582	8	3365	8
2.2-2.9	2943	7	3061	7	2971	7
3.0-3.9	2574	6	2174	5	2281	5
4.0-5.3	1913	4	1260	3	1682	4
5.4-6.9	921	2	648	2	1479	3
>6.9	1117	3	979	2	3476	8
NA*	5494	13	5494	13	5494	13

*NA = Ölçüm yapılamayan dönem

4.1.2.2. Birinci dönemde (21/09/2021-20/10/2021) geliştirilen örnekleme ile elde edilen sonuçlar

Örneklerde, örnekleme cihazları arası kararlılığın ve numune üzerinde homojenliğin olup olmadığını test etmek için tüm dönemlerde her bir cihazda toplanan örnekler beşe ayrılarak analize tabi tutulmuştur. Elde edilen analiz sonuçlarından önce o döneme ait şahit numune konsantrasyonu çıkartılmış ve daha sonra dönemsel olarak örneklenen hacim değerine (Başlık 3.5'te anlatıldığı şekilde önceden hesaplanan) bölünmüştür.

Çizelge 4.11'te gösterilen birinci dönem sonuçları incelendiğinde, örnekleme karayosunları üzerinde homojen bir şekilde yapılamadığı belirlenmiştir. Elementlerin konsantrasyonlarının minimum ve maksimum değerleri arasında 2 (V) ile 22 (Ca) kat

arasında fark olduğu gözlenmiştir. Bu farkların hedef element olan Ni, As, Cd ve Pb için sırasıyla 10.5, 5.5, 13 ve 19.5 kat olduğu tespit edilmiştir. Ancak elementlerin ortalama konsantrasyonlarının ortanca değerlere yakın olması bazı değerlerin sıra dışı olarak değerlendirilmesine yol açmaktadır.

Geliştirilen örnekleyicilerle elde edilen sonuçlar, konvansiyonel yolla yapılan örneklemelerle karşılaştırılmıştır. Oransal olarak elde edilen sonuçlar incelendiğinde birinci dönemde, Li, Ti, Mn, Co, As, Cs, La, Ce, Eu, Yb, Si, P, S, Mg, Al, K ve Fe konvansiyonel yöntem ile elde edilen değerlere göre daha yüksek konsantrasyonlarda tespit edilmiştir. Öte yandan, V, Ni, Zn, Mo, Cd, Sb, Pb, Na, Ca ve Ba elementlerinin konsantrasyonlarının ise olduğundan daha düşük ölçüldüğü görülmüştür (Çizelge 4.12).

Geri yörüngeler, atmosferde gözlenen elementel kompozisyonun nasıl şekillendiğine yönelik geçmiş bilgiyi barındırdığından önemli görülmektedir. Her örneklemme günü için 100 m, 500 m, 1500 m ve 3000 m’de biten geri yörüngeler hesaplanmış olup örneklemme dönemlerine göre gruplandırılmışlardır. Her ne kadar 4 farklı yükseklikte biten geri yörüngeler çizilmiş olsa da değerlendirmeler yapılırken, her dönem için o dönemi en çok temsil ettiği düşünülen yükseklikteki geri yörüngeler ile ilgili yorum yapılmıştır.

Birinci örneklemme döneminde 100 m ve 500 m’de biten hava kütleleri iki ana gruptan oluşmaktadır (Şekil 4.6). Bunlardan ilki Akdeniz üzerinde hareket etmekte ve bir kısmı Kuzey Afrika üzerinden geçerek gelmiştir. İkinci grubun ise Ukrayna ile Rusya’dan başlayarak Orta Anadolu üzerinden geçerek örneklemme noktasına ulaştığı görülmüştür. Bu iki farklı karaktere sahip hava kütlelerinden Akdeniz üzerinden geçerek gelenlerde Na, Mg ve S gibi deniz tuzu kökenli elementler zenginleşmiştir. Bu hava kütleleri Sahra üzerinden geçmeleri halinde ise toprak kökenli elementlerin zenginleşmesi söz konusu olmaktadır. Ukrayna ve Rusya üzerinden başlayarak Orta Anadolu’yu geçip Antalya’ya ulaşan hava kütlelerinde ise kükürt konsantrasyonu yüksek oranda gözlenmektedir (Tepe ve Doğan 2021).

Çizelge 4.11. Birinci dönem (19.09-20.10.2021 arası) için geliştirilen örnekleyici sonuçları (ng/m³)

Elementler	Örnek Sayısı*	Aritmetik Ortalama	Ortanca	Minimum	Maksimum
Li	14	0.70 ± 0.21	0.70	0.31	1.10
Ti	14	134 ± 31	138	73	186
V	14	7.01 ± 1.33	6.91	4.59	9.38
Mn	14	73 ± 24	64	29	127
Co	14	0.47 ± 0.11	0.48	0.23	0.63
Ni	5	2.89 ± 1.65	2.31	0.46	4.85
Zn	14	20 ± 8	19	6	36
As	14	0.53 ± 0.19	0.52	0.16	0.88
Mo	14	0.14 ± 0.14	0.10	0.03	0.60
Cd	7	0.05 ± 0.04	0.03	0.01	0.13
Sb	14	0.15 ± 0.06	0.15	0.05	0.26
Cs	14	0.16 ± 0.04	0.16	0.07	0.24
La	14	0.67 ± 0.21	0.71	0.31	1.00
Pb	8	0.71 ± 0.52	0.69	0.08	1.56
Ce	14	1.28 ± 0.4	1.24	0.61	1.90
Eu	14	0.02 ± 0.01	0.02	0.01	0.03
Yb	14	0.05 ± 0.02	0.05	0.03	0.09
Si	13	4997 ± 1954	5020	2057	10154
P	13	493 ± 127	464	335	736
S	14	733 ± 343	689	218	1605
Na	13	227 ± 56	231	125	302
Mg	13	231 ± 83	213	75	391
Al	13	1611 ± 472	1744	708	2441
K	13	292 ± 101	323	115	467
Ca	11	399 ± 439	199	74	1629
Fe	13	943 ± 286	934	366	1500
Ba	13	5 ± 1.65	5	1.98	7

*Birinci dönem için 15 örnek analize gönderilmiş olsa da bazı elementlerin konsantrasyon değerleri her örnekte tespit edilememiştir. Bu nedenle örnek sayıları değişkenlik göstermektedir.

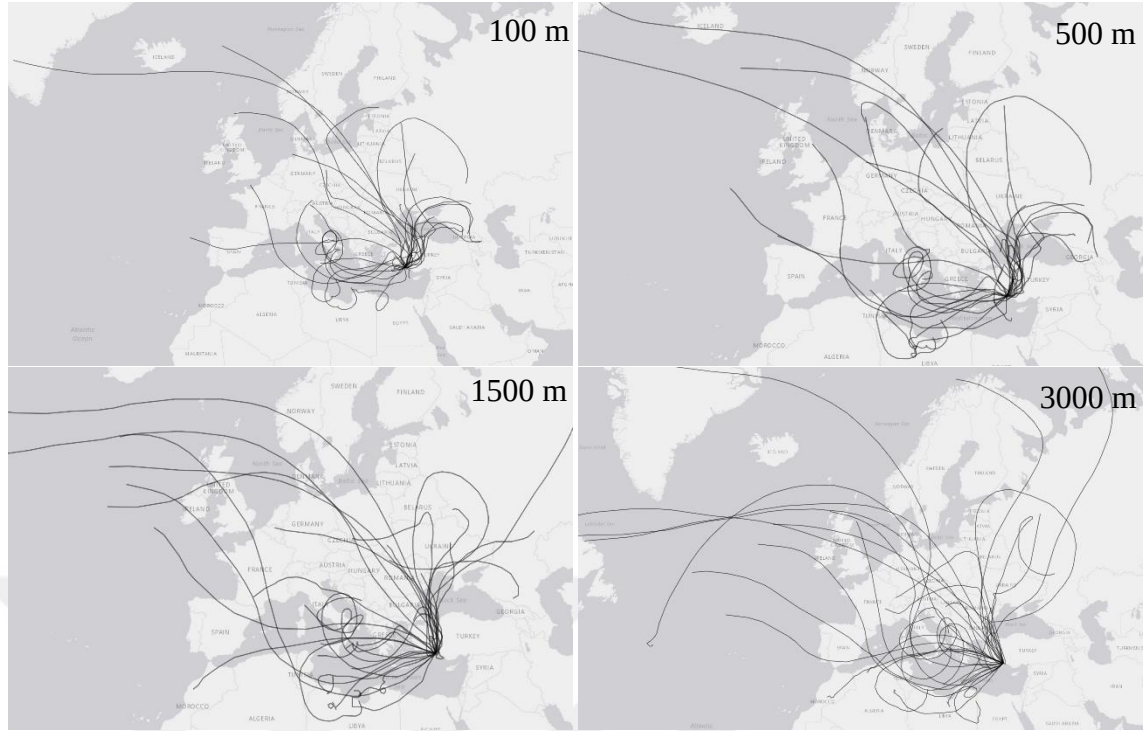
Çizelge 4.12. Birinci dönem sonuçlarının karşılaştırılması (ng/m³)

Elementler	Cihaz 2	Cihaz 3	Cihaz 4	GÇ Ortalama*	PM ₁₀ ** (Konvansiyonel)	Oran***
Li	0.81	0.52	0.79	0.71	0.35	0.5
Ti	146	106	155	136	16.7	0.1
V	7.76	5.87	7.52	7.05	9.49	1.3
Mn	66.6	84.2	66.6	72.5	5.51	0.1
Co	0.49	0.44	0.50	0.48	0.22	0.5
Ni	4.85	2.47	2.21	3.18	26.5	8.3
Zn	24.4	19.8	14.4	19.5	134	6.9
As	0.60	0.53	0.45	0.53	0.45	0.8
Mo	0.23	0.10	0.09	0.14	0.49	3.5
Cd	0.02	0.07	0.05	0.05	0.21	4.4
Sb	0.18	0.12	0.15	0.15	0.66	4.4
Cs	0.18	0.13	0.18	0.17	0.13	0.8
La	0.75	0.46	0.83	0.68	0.13	0.2
Pb	0.65	0.14	0.91	0.57	1.82	3.2
Ce	1.46	0.89	1.53	1.30	0.35	0.3
Eu	0.02	0.01	0.02	0.02	0.004	0.2
Yb	0.06	0.05	0.06	0.06	0.01	0.2
Si	5016	4854	5203	5024	1115	0.2
P	599	446	395	480	276	0.6
S	743	550	949	747	271	0.4
Na	264	183	237	228	411	1.8
Mg	265	188	246	233	159	0.7
Al	1895	1209	1809	1638	573	0.3
K	332	218	348	299	165	0.6
Ca	575	184	318	359	2060	5.7
Fe	1105	732	1024	954	218	0.2
Ba	6.55	4.24	5.01	5.27	9.79	1.9

*: Geliştirilen cihazlardan elde edilen ortalama elementel konsantrasyon.

** : Konvansiyonel yöntemle elde edilen PM_{2.5} ve PM_{2.5-10}'a bağlı elementel konsantrasyonların toplanması ile elde edilen PM₁₀ sonucu

***: Konvansiyonel yöntem ile elde edilen PM₁₀'a bağlı element konsantrasyonunun geliştirilen cihazlardan elde edilen ortalama elementel konsantrasyona bölünmesi ile elde edilen oran.



Şekil 4.6. Birinci örnekleme dönemi geri yörüngeleri

4.1.2.3. İkinci dönemde (21/10/2021-20/11/2021) geliştirilen örnekleyici ile elde edilen sonuçlar

Çizelge 4.13’de gösterilen ikinci dönem sonuçları incelendiğinde minimum ve maksimum değerler arasında daha büyük bir oransal fark olduğu belirlenmiştir (Ti-3.8 ile La-445). İkinci dönemde geri plan konsantrasyonlarında da gözlenen yüksek değerler bu döneme ait sonuçları önemli ölçüde gölgelemektedir. İkinci dönemde Cd ve Pb için herhangi bir değer tespit edilememiştir. Bunun asıl sebebinin geri plan konsantrasyonlarındaki yüksek değerler olduğu düşünülmektedir. Minimum ve maksimum Ni ve As konsantrasyon değerleri arasında sırasıyla 8.3 ve 57.7 kat fark olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.14’de gösterilen oransal sonuçlar incelendiğinde ikinci dönemde, birinci dönemle benzer şekilde Li, Ti, Mn, Co, As, Cs, La, Ce, Eu, Yb, Si, P, S, Mg, Al, K, Fe elementleri ve bunlara ek olarak Na ve Ba konvansiyonel yöntem ile elde edilen değerlere göre daha yüksek konsantrasyonlarda tespit edilmiştir. V, Ni, Zn, Mo, Sb, Ca elementlerinin konsantrasyonlarının ise olduğundan daha düşük ölçüldüğü görülmüştür.

İkinci örnekleme döneminde hava kütleleri genelde Anadolu üzerinde zaman geçirmişlerdir (Şekil 4.7). Bu grupta antropojenik emisyonların ve özellikle yurdumuzun batısında yer alan termik santrallerin etkisi gözlenmektedir.

Çizelge 4.13. İkinci dönem (21.10-20.11.2021 arası) için geliştirilen örnekleyici sonuçları (ng/m³)

Elementler	Örnek Sayısı	Aritmetik Ortalama	Ortanca	Minimum	Maksimum
Li	12	1.62 ± 0.72	1.79	0.53	2.84
Ti	10	207 ± 80	231	78.41	301
V	12	6.65 ± 3.84	7	0.53	13
Mn	13	75 ± 54.19	59	0.54	168
Co	13	1.01 ± 0.43	0.98	0.24	1.66
Ni	13	15 ± 11	12	6	50
Zn	14	68 ± 37	64	17	151
As	12	0.88 ± 0.49	0.96	0.03	1.73
Mo	11	0.3 ± 0.26	0.20	0.05	0.98
Cd					
Sb	13	0.83 ± 1.18	0.55	0.14	5
Cs	12	0.36 ± 0.17	0.38	0.07	0.60
La	13	10 ± 26	2.48	0.22	98
Pb					
Ce	13	5 ± 3	5.9	0.3	9.4
Eu	10	0.04 ± 0.02	0.03	0.01	0.08
Yb	11	0.08 ± 0.05	0.08	0.02	0.16
Si	13	9653 ± 4191	10659	2744	16484
P	13	1089 ± 538	1048	49	2045
S	14	1205 ± 482	1263	99	1964
Na	14	218 ± 112	222	35	411
Mg	12	566 ± 267	540	118	1049
Al	12	2920 ± 1534	3112	428	5230
K	12	635 ± 280	607	222	1117
Ca	15	1756 ± 889	1767	611	4606
Fe	12	2124 ± 1052	2222	389	3788
Ba	13	17 ± 7	17	3	28

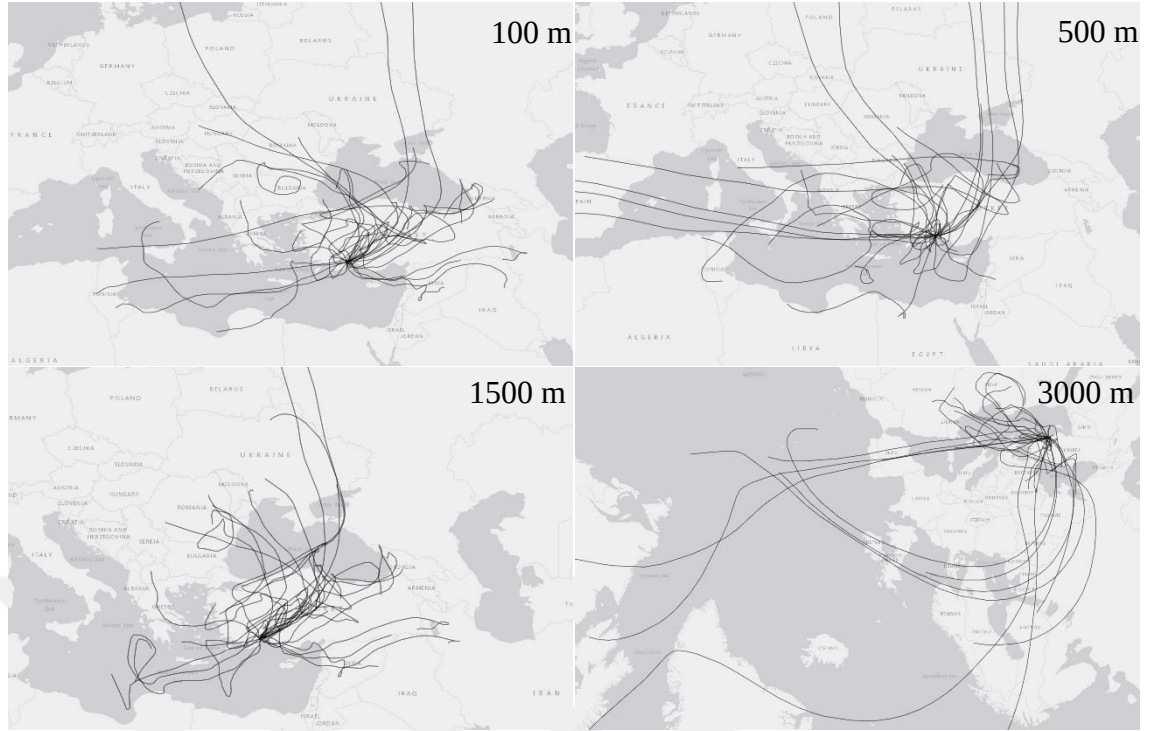
Çizelge 4.14. İkinci dönem sonuçlarının karşılaştırılması (ng/m³)

Elementler	Cihaz 2	Cihaz 3	Cihaz 4	GÇ Ortalama*	PM ₁₀ ** (Konvansiyonel)	Oran**
Li	1.00	1.85	2.00	1.62	0.56	0.3
Ti	178	231	199	202	30.1	0.1
V	4.14	8.24	7.56	6.65	13.48	2.0
Mn	71.6	69.3	82.2	74.3	8.7	0.1
Co	0.75	1.13	1.23	1.04	0.37	0.4
Ni	14.6	11.8	18.9	15.1	29.6	2.0
Zn	53.6	60.3	88.0	67.3	117	1.7
As	0.88	1.03	0.75	0.89	0.83	0.9
Mo	0.19	0.48	0.22	0.30	0.54	1.8
Cd					0.23	
Sb	0.62	0.36	1.38	0.79	1.00	1.3
Cs	0.25	0.45	0.37	0.36	0.10	0.3
La	0.86	3.55	21.84	8.75	0.15	0.0
Pb					10.39	
Ce	1.49	8.15	5.85	5.17	0.32	0.1
Eu	0.03	0.04	0.05	0.04	0.01	0.2
Yb	0.07	0.10	0.07	0.08	0.01	0.1
Si	7452	12326	9274	9684	1767	0.2
P	1210	969	1059	1079	281	0.3
S	1006	1274	1349	1210	284	0.2
Na	164	278	223	222	190	0.9
Mg	477	627	596	566	165	0.3
Al	1995	3625	3141	2920	401	0.1
K	511	795	600	635	132	0.2
Ca	1924	10545	2289	1756	1886	1.1
Fe	1519	2680	2175	2124	281	0.1
Ba	13.5	22.0	17.8	17.8	10.5	0.6

*: Geliştirilen cihazlardan elde edilen ortalama elementel konsantrasyon.

** : Konvansiyonel yöntemle elde edilen PM_{2.5} ve PM_{2.5-10}'a bağlı elementel konsantrasyonların toplanması ile elde edilen PM₁₀ sonucu

***: Konvansiyonel yöntem ile elde edilen PM₁₀'a bağlı element konsantrasyonunun geliştirilen cihazlardan elde edilen ortalama elementel konsantrasyona bölünmesi ile elde edilen oran.



Şekil 4.7. İkinci örnekleme dönemi geri yörüngeleri

4.1.2.4. Üçüncü dönemde (21/11/2021-20/12/2021) geliştirilen örnekleyici ile elde edilen sonuçlar

Üçüncü dönem sonuçlarında elementlerin minimum ve maksimum değerleri arasında 2.5 (P) ile 64 (Mo) kat fark olduğu gözlenmiştir (Çizelge 4.15). Bu farkların hedef element olan Ni, As, Cd ve Pb için sırasıyla 13, 8, 10.5 ve 11 kat olduğu tespit edilmiştir. Bu durum birinci kampanya periyodundaki her üç dönemde de örnekleyiciler üzerinde homojen bir örneklemenin henüz gerçekleştirilemediğine işaret etmektedir.

Çizelge 4.16’da gösterilen oransal sonuçlar incelendiğinde üçüncü dönemde, ilk iki dönemle benzer şekilde Li, Ti, Mn, Co, As, Cs, La, Ce, Eu, Yb, Si, P, Mg, Al, K, Fe elementleri ve bunlara ek olarak Ni, Cd ve V konvansiyonel yöntem ile elde edilen değerlere göre daha yüksek konsantrasyonlarda tespit edilmiştir. Zn, Mo, Sb, Pb, Na, S, Ca, Ba elementlerinin konsantrasyonlarının ise olduğundan daha düşük ölçüldüğü görülmüştür.

Üçüncü örnekleme döneminde hava kütleleri genel olarak Akdeniz ve Sahra’dan gelmektedir (Şekil 4.8). Dolayısıyla çöl tozu ve deniz tuzu kaynaklı elementlerin konsantrasyonlarında bu dönem artış beklenmektedir.

Çizelge 4.15. Üçüncü dönem (21.11-20.12.2021 arası) için geliştirilen örnekleyici sonuçları (ng/m³)

Elementler	Örnek Sayısı	Aritmetik Ortalama	Ortanca	Minimum	Maksimum
Li	15	1.27 ± 0.74	1.09	0.46	3.20
Ti	14	178 ± 98	156	57	397
V	15	11 ± 6	10	5	24
Mn	14	16 ± 9	12	6	43
Co	14	0.37 ± 0.31	0.29	0.05	1.24
Ni	15	6 ± 5	5	1.31	17
Zn	15	27 ± 24	19	2.49	100
As	13	0.63 ± 0.38	0.58	0.16	1.34
Mo	6	0.54 ± 0.65	0.25	0.03	1.92
Cd	3	0.19 ± 0.17	0.10	0.04	0.42
Sb	15	0.39 ± 0.14	0.40	0.12	0.60
Cs	15	0.26 ± 0.13	0.24	0.12	0.62
La	15	1.13 ± 0.62	1.02	0.26	3
Pb	3	2.27 ± 2.13	1.11	0.45	5
Ce	15	1.9 ± 1.05	1.71	0.33	5
Eu	15	0.03 ± 0.01	0.02	0.00	0.06
Yb	14	0.05 ± 0.04	0.03	0.01	0.14
Si	14	7400 ± 3329	7154	2162	15292
P	15	1143 ± 268	1118	688	1733
S	15	1651 ± 728	1669	526	3322
Na	15	378 ± 196	313	155	902
Mg	14	382 ± 187	381	23	831
Al	14	2708 ± 1422	2657	787	6622
K	15	541 ± 322	518	35	1427
Ca	15	336 ± 239	262	90	871
Fe	14	1398 ± 733	1356	300	3294
Ba	15	15 ± 8	14	3	32

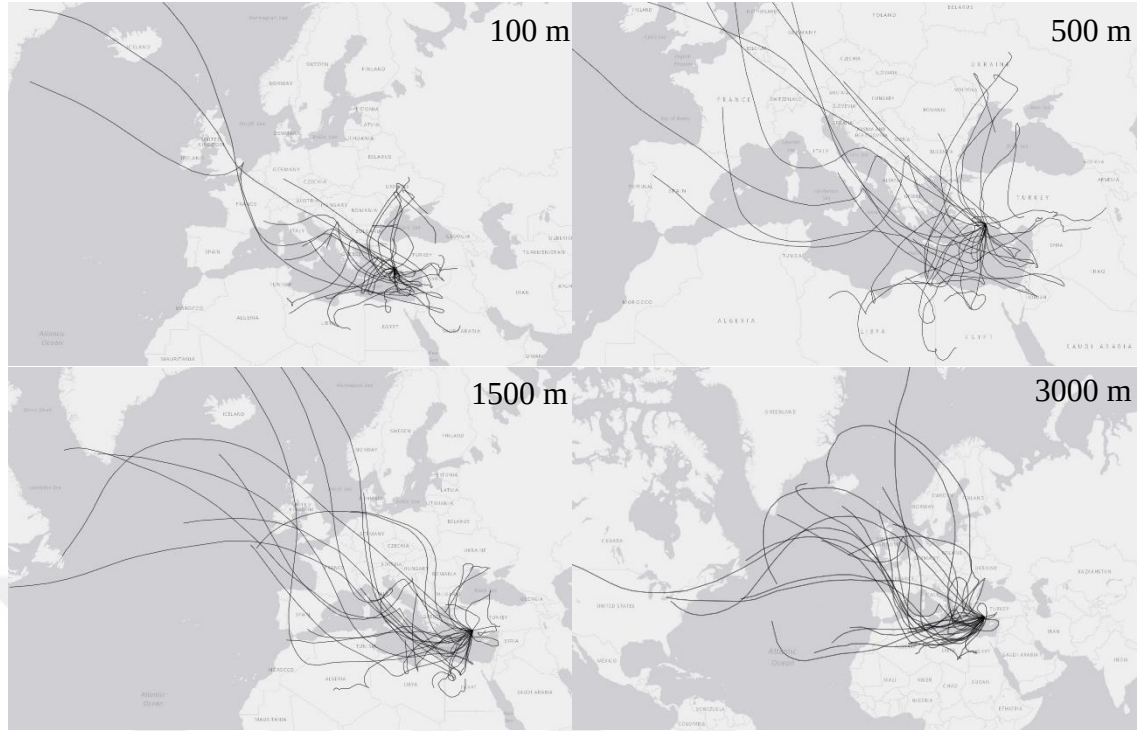
Çizelge 4.16. Üçüncü dönem sonuçlarının karşılaştırılması (ng/m³)

Elementler	Cihaz 2	Cihaz 3	Cihaz 4	GÇ Ortalama*	PM ₁₀ ** (Konvansiyonel)	Oran**
Li	1.94	0.89	0.98	1.27	0.33	0.3
Ti	303	116	140	187	20.3	0.1
V	17.9	8.2	7.9	11.3	8.5	0.7
Mn	27.9	10.4	11.9	16.8	5.06	0.3
Co	0.60	0.25	0.24	0.36	0.15	0.4
Ni	9.80	5.17	4.30	6.42	5.78	0.9
Zn	37.5	14.2	28.3	26.7	53.6	2.0
As	1.12	0.39	0.43	0.65	0.35	0.5
Mo	0.91	0.24	0.03	0.39	0.95	2.4
Cd	0.10	0.04	0.42	0.19	0.13	0.7
Sb	0.50	0.29	0.39	0.39	0.73	1.9
Cs	0.37	0.18	0.22	0.26	0.03	0.1
La	1.59	0.79	0.99	1.13	0.12	0.1
Pb	1.11		2.85	1.98	7.96	4.0
Ce	2.66	1.37	1.67	1.90	0.26	0.1
Eu	0.03	0.02	0.02	0.03	0.01	0.4
Yb	0.10	0.03	0.03	0.05	0.01	0.2
Si	10871	4841	7181	7631	886.7	0.1
P	1284	885.3	1260	1143	476.8	0.4
S	2309	881.8	1764	1651	2255	1.4
Na	568	281	285	378	881	2.3
Mg	545	264	369	393	190	0.5
Al	4293	1722	2425	2813	459	0.2
K	748	376	498	541	305	0.6
Ca	466	263	277	336	1256	3.7
Fe	2169	913	1266	1449	229	0.2
Ba	18.7	14.6	11.4	14.9	46.6	3.1

*: Geliştirilen cihazlardan elde edilen ortalama elementel konsantrasyon.

** : Konvansiyonel yöntemle elde edilen PM_{2.5} ve PM_{2.5-10}'a bağlı elementel konsantrasyonların toplanması ile elde edilen PM₁₀ sonucu

***: Konvansiyonel yöntem ile elde edilen PM₁₀'a bağlı element konsantrasyonunun geliştirilen cihazlardan elde edilen ortalama elementel konsantrasyona bölünmesi ile elde edilen oran.



Şekil 4.8. Üçüncü örnekleme dönemi geri yörüngeleri

4.1.2.5. Altıncı dönemde (21/03/2022-20/04/2022) geliştirilen örnekleyici ile elde edilen sonuçlar

İlk kampanya periyodunda konsantrasyon değerleri ölçülen Ce ve Yb elementleri ikinci kampanya periyodunda, ikinci kampanya periyodunda konsantrasyon değerleri ölçülen Y ve Cr elementleri ise birinci kampanya periyodunda ölçülmemiştir. Bu durum analizler için iki kampanya periyodunda farklı laboratuvarların kullanılmış olması ile alakalıdır.

Çizelge 4.17’de gösterilen altıncı dönem sonuçları incelendiğinde, elementlerin konsantrasyonlarının minimum ve maksimum değerleri arasında 1.34 (Al) ile 77 (As) kat fark olduğu gözlenmiştir. Hedef elementlerden biri olan As’nin ortalama konsantrasyonunun ortanca değere yakın olması bazı değerlerin sıra dışı olarak değerlendirilmesine yol açmaktadır. Diğer hedef elementler olan Ni, Cd ve Pb için bu farkların sırasıyla 3.32, 3.36 ve 2.15 kat olduğu tespit edilmiştir.

Oransal olarak elde edilen sonuçlar incelendiğinde altıncı dönemde, Li, Ti, Mn, Co, Cd, Cs, La, Si, S, Mg, Al, K, Fe ve Y konvansiyonel yöntem ile elde edilen değerlere göre daha yüksek konsantrasyonlarda tespit edilmiştir. Öte yandan, V, Ni, Zn, As, Mo, Sb, Pb, Eu, Na, Ca ve Cr elementlerinin konsantrasyonlarının ise olduğundan daha düşük ölçüldüğü görülmüştür (Çizelge 4.18).

Altıncı örnekleme döneminde hava kütleleri genel olarak Akdeniz, Rusya ve Balkan ülkeleri üzerinden gelmektedir (Şekil 4.9). Akdeniz üzerinden geçerek gelen hava kütlelerinde Na, Mg ve S gibi deniz tuzu kökenli elementler zenginleşmiştir.

Çizelge 4.17. Altıncı dönem (21.03-20.04.2022 arası) için geliştirilen örnekleyici sonuçları (ng/m³)

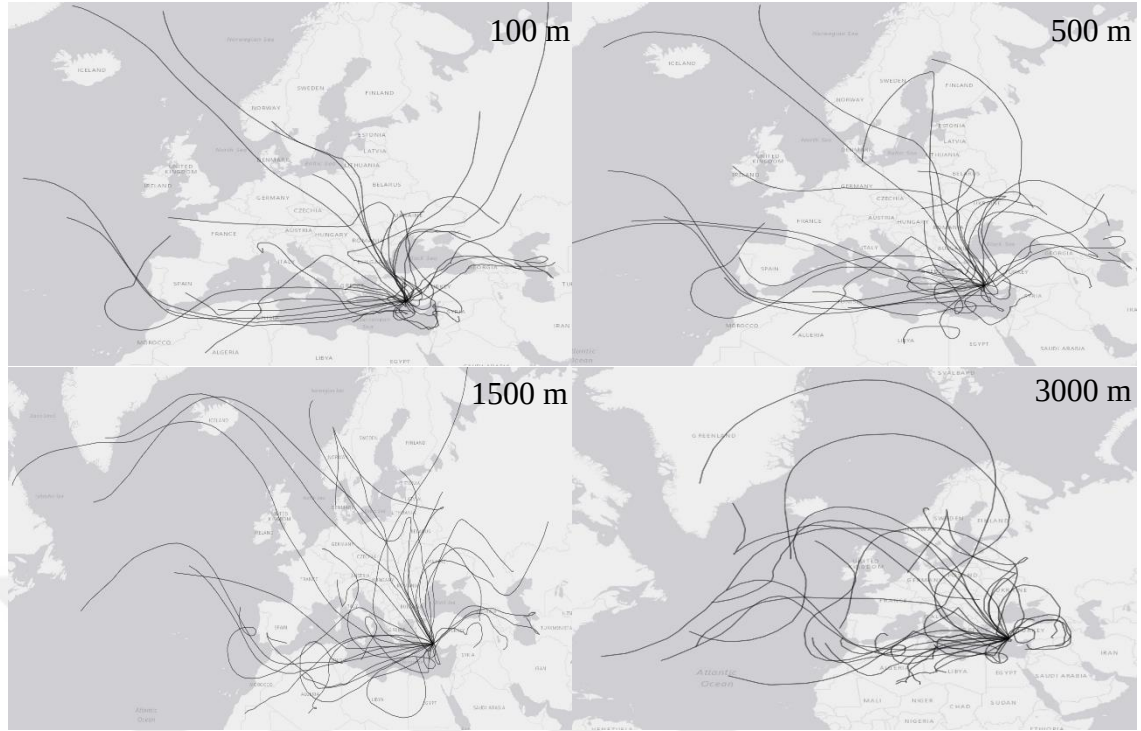
Elementler	Örnek Sayısı	Aritmetik Ortalama	Ortanca	Minimum	Maksimum
Li	8	1.83±0.84	1.73	0.85	3.47
Ti	9	122±55	102	66	233.52
V	10	5.19±2.82	4.73	0.92	11.16
Mn	4	52±29	59.91	5.50	83.99
Co	10	1.68±0.64	1.61	0.79	2.96
Ni	10	6.57±2.32	5.96	3.14	10.44
Zn	10	43±27	35.84	10.74	95.38
As	8	0.47±0.41	0.54	0.02	1.25
Mo	7	2.9±0.82	2.75	1.64	4.17
Cd	10	0.07±0.03	0.07	0.03	0.11
Sb	10	0.19±0.03	0.19	0.14	0.23
Cs	10	0.19±0.09	0.20	0.07	0.35
La	8	1.31±0.58	1.28	0.53	2.25
Pb	10	2.34±0.49	2.42	1.45	3.13
Ce	-	-	-	-	-
Eu	7	0.02±0.01	0.02	0.01	0.04
Yb	-	-	-	-	-
Si	10	6242±3257	6249.25	1129.07	11093.79
P	10	928±209	873.48	718.41	1416.20
S	8	920±377	969.01	230.96	1532.62
Na	10	335±108	324.63	136.93	551.15
Mg	9	495±190	479.83	141.52	776.71
Al	3	14902±1768	15032.51	12674.97	16998.85
K	10	310±144	319.14	74.61	549.55
Ca	10	1377±766	1151.03	614.85	2925.72
Fe	10	1627±626	1713.62	635.65	2440.76
Ba	-	-	-	-	-
Y	9	0.48±0.35	0.44	0.02	1.13
Cr	10	20±14	16.37	2.23	52.50

Çizelge 4.18. Altıncı dönem sonuçlarının karşılaştırılması (ng/m³)

Elementler	Cihaz 2	Cihaz 3	Cihaz 4	GÇ Ortalama*	PM ₁₀ ** (Konvansiyonel)	Oran**
Li	1.00		2.32	1.83	0.82	0.45
Ti	79		149	123	56	0.46
V	4.38		5.84	5.19	6.89	1.33
Mn	60		45	52	11	0.22
Co	1.48		1.88	1.68	1.05	0.62
Ni	5.84		7.30	6.57	33	4.98
Zn	27		59	43	426	9.96
As	0.02		0.74	0.47	0.62	1.31
Mo	2.88		2.93	2.90	7.41	2.55
Cd	0.06		0.09	0.07	0.05	0.74
Sb	0.18		0.19	0.19	0.51	2.77
Cs	0.13		0.26	0.19	0.16	0.82
La	1.32		1.30	1.31	0.43	0.33
Pb	2.56		2.12	2.34	20	8.66
Ce						
Eu	0.02		0.02	0.02	0.07	3.40
Yb						
Si	3984		8501	6242	4159	0.67
P	941		915	928		
S	914		926	920	416	0.45
Na	401		270	335	530	1.58
Mg	391		624	495	354	0.72
Al	13854		16999	14902	732	0.05
K	256		364	310	279	0.90
Ca	971		1783	1377	1978	1.44
Fe	1387		1868	1627	309	0.19
Ba						
Y	0.26		0.65	0.48	0.34	0.72
Cr	11		30	20	75	3.66

*: Geliştirilen cihazlardan elde edilen ortalama elementel konsantrasyon.

: Konvansiyonel yöntemle elde edilen PM_{2.5} ve PM_{2.5-10}'a bağlı elementel konsantrasyonların toplanması ile elde edilen PM₁₀ sonucu*: Konvansiyonel yöntem ile elde edilen PM₁₀'a bağlı element konsantrasyonunun geliştirilen cihazlardan elde edilen ortalama elementel konsantrasyona bölünmesi ile elde edilen oran.



Şekil 4.9. Altıncı örnekleme dönemi geri yörüngeleri

4.1.2.6. Yedinci dönemde (21/04/2022-20/05/2022) geliştirilen örnekleyici ile elde edilen sonuçlar

Yedinci dönemde elde edilen sonuçlar incelendiğinde, bu dönemde yosun örneklerinde birçok elementin belirlenemediği görülmüştür. Yedinci döneme ait şahit numunesinin sonuçlarına bakıldığında (Çizelge 3.4) sonuçların diğer dönemlerden farklı olmadığı görülmüştür. Bu da bu dönemde belirlenemeyen elementlerin şahit numune değerlerindeki bir değişimden kaynaklanmadığını göstermektedir.

Yedinci örnekleme döneminde sadece V, Mo, La, Pb, P, Al, K ve Mg elementleri birden çok numunede belirlenebilmiştir (Çizelge 4.19). Bu elementlerin minimum ve maksimum değerleri arasında 1.44 (Mo) ile 37 (Al) kat fark olduğu gözlenmiştir. Hedef elementlerden olan As, Ni ve Cd için bu örnekleme döneminde herhangi bir sonuç elde edilememiştir.

Oransal olarak elde edilen sonuçlar incelendiğinde yedinci dönemde konsantrasyon değerleri belirlenebilen elementlerden Pb hariç diğer hepsinin konvansiyonel yöntem ile elde edilen değerlere göre daha yüksek konsantrasyonlarda olduğu görülmüştür (Çizelge 4.20).

Yedinci örnekleme döneminde hava kütleleri genel olarak Rusya üzerinden gelip İç Anadolu bölgesinden geçerek Örnekleme noktasına ulaşmaktadır (Şekil 4.10).

Çizelge 4.19. Yedinci dönem (21.04-20.05.2022 arası) için geliştirilen örnekleyici sonuçları (ng/m³)

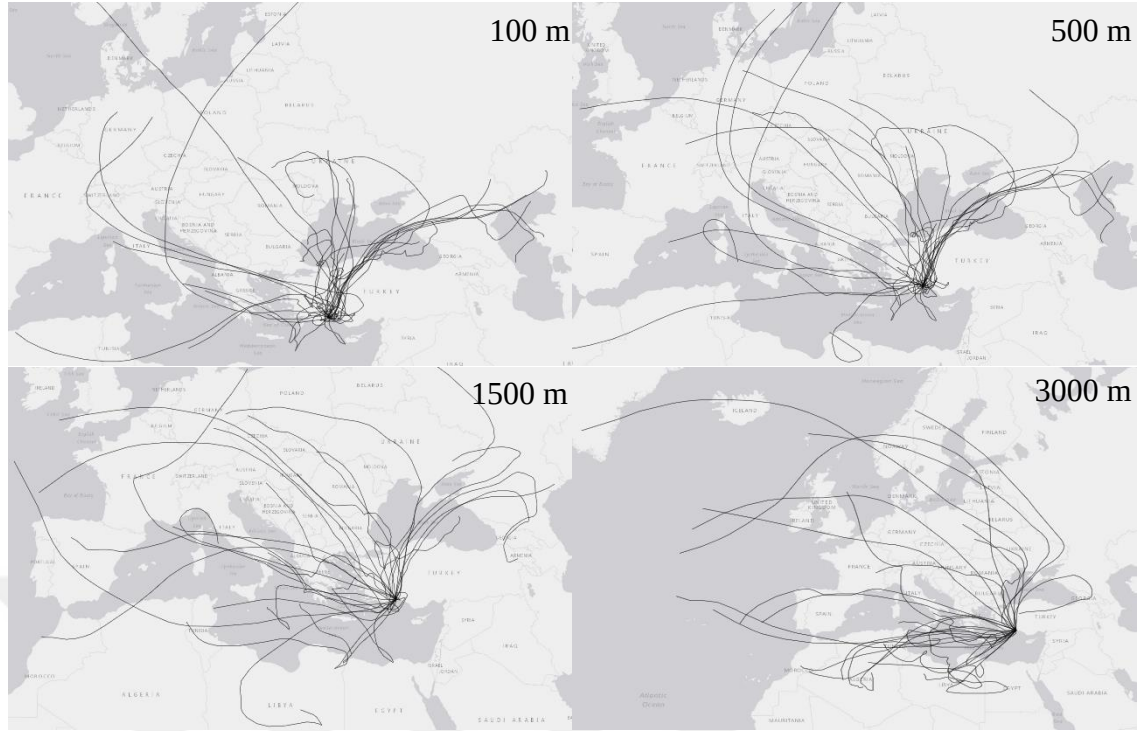
Elementler	Örnek Sayısı	Aritmetik Ortalama	Ortanca	Minimum	Maksimum
Li	1	2.08±0	2.08	2.08	2.08
Ti	1	95±0	94.93	94.93	94.93
V	6	3.47±3.41	1.97	0.38	10.17
Mn	1	27±0	27.28	27.28	27.28
Co	1	2.4±0	2.40	2.40	2.40
Ni	0				
Zn	0				
As	1	0.1±0	0.10	0.10	0.10
Mo	10	63±6	63.15	52.37	75.50
Cd	0				
Sb	0				
Cs	0				
La	5	0.43±0.33	0.21	0.15	0.97
Pb	5	0.8±0.29	0.77	0.49	1.29
Ce					
Eu	0				
Yb					
Si	3	1083±911	935.30	49.50	2265.23
P	7	157±93	169.55	8.52	254.78
S	0				
Na	1	36±0	36.22	36.22	36.22
Mg	3	75±25	70.22	47.71	108.02
Al	7	4753±8046	1522.81	654.43	24421.57
K	3	66±44	54.10	19.75	125.45
Ca	1	345±0	344.69	344.69	344.69
Fe	1	278±0	278.28	278.28	278.28
Ba					
Y	0				
Cr	0				

Çizelge 4.20. Yedinci dönem sonuçlarının karşılaştırılması (ng/m³)

Elementler	Cihaz 2	Cihaz 3	Cihaz 4	GÇ Ortalama*	PM ₁₀ ** (Konvansiyonel)	Oran**
Li		2.08		2.08	0.70	0.34
Ti		94.9		95.0	13	0.13
V	5.44	5.28	1.60	3.47	3.23	0.93
Mn	27			27	6.08	0.22
Co		2.40		2.40	0.31	0.13
Ni					30	
Zn					263	
As		0.10		0.10	0.29	3.08
Mo	65.3	61.4		63.3	2.85	0.04
Cd					0.14	
Sb					0.24	
Cs					0.07	
La	0.15	0.81	0.21	0.43	0.21	0.48
Pb	0.63	0.93	0.90	0.80	4.57	5.69
Ce						
Eu					0.04	
Yb						
Si		1600	50	1083	2194	2.03
P	88	248	89	157		
S					155	
Na			36	36	201	5.55
Mg		89	48	75	119	1.58
Al	12538	1639		4753	1494	0.31
K		73	54	66	114	1.71
Ca			345	345	670	1.94
Fe		278		278	229	0.82
Ba						
Y					0.06	
Cr					21	

*: Geliştirilen cihazlardan elde edilen ortalama elementel konsantrasyon.

: Konvansiyonel yöntemle elde edilen PM_{2.5} ve PM_{2.5-10}'a bağlı elementel konsantrasyonların toplanması ile elde edilen PM₁₀ sonucu*: Konvansiyonel yöntem ile elde edilen PM₁₀'a bağlı element konsantrasyonunun geliştirilen cihazlardan elde edilen ortalama elementel konsantrasyona bölünmesi ile elde edilen oran.



Şekil 4.10. Yedinci örnekleme dönemi geri yörüngeleri

4.1.2.7. Sekizinci dönemde (21/05/2022-19/06/2022) geliştirilen örnekleyici ile elde edilen sonuçlar

Sekizinci dönem sonuçları incelendiğinde, elementlerin konsantrasyonlarının minimum ve maksimum değerleri arasında 2.6 (P) ile 226 (Ni) kat fark olduğu gözlenmiştir. Yedinci dönemdeki gibi olmasa da bu dönemde de özellikle hedef elementler olan As, Cd, Co ve Pb konsantrasyonları yosun örneklerinde belirlenememiştir. Yine bir hedef element olan Ni'nin ise yosun örneklerindeki konsantrasyon değerleri diğer dönemlere göre oldukça yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.21).

Çizelge 4.22'da gösterilen oransal değerler incelendiğinde sekizinci dönemde Pb ve Zn hariç diğer bütün elementlerin konvansiyonel yöntem ile elde edilen değerlere göre daha yüksek konsantrasyonlarda olduğu görülmüştür.

Sekizinci örnekleme döneminde hava kütleleri genel olarak Orta Avrupa üzerinden ve Yedinci döneme benzer şekilde Rusya üzerinden gelip İç Anadolu bölgesinden geçerek Örnekleme noktasına ulaşmaktadır (Şekil 4.11).

Çizelge 4.21. Sekizinci dönem (21.05-19.06.2022 arası) için geliştirilen örnekleyici sonuçları (ng/m³)

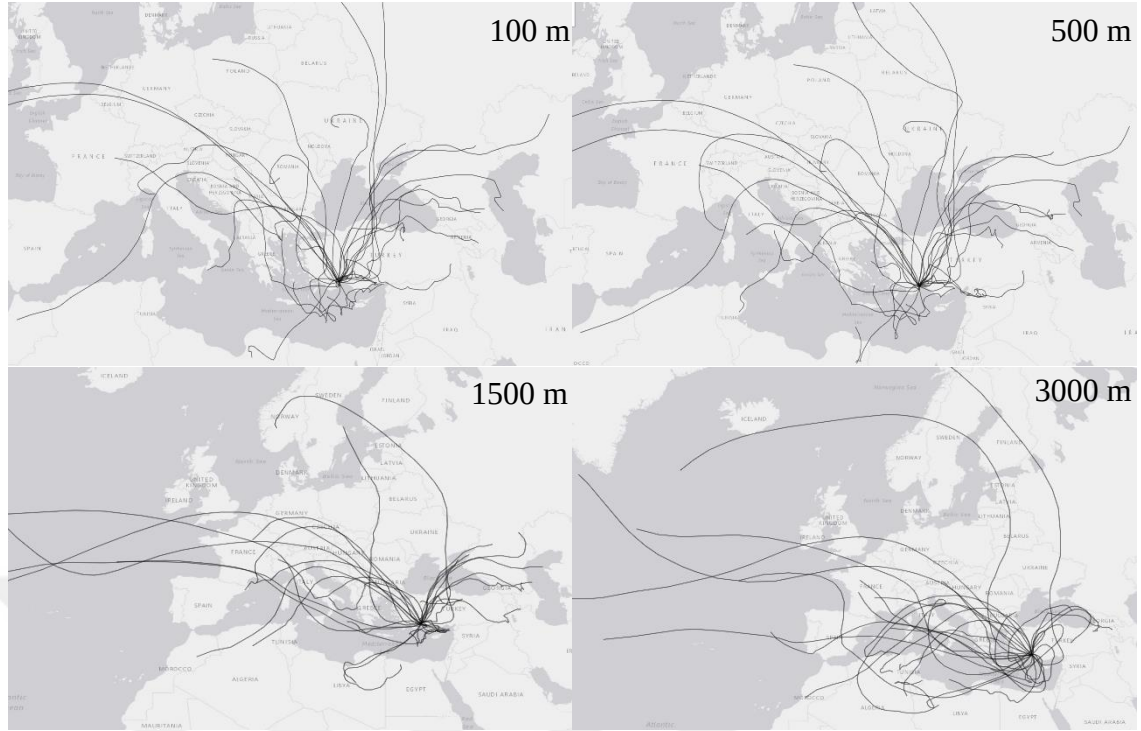
Elementler	Örnek Sayısı	Aritmetik Ortalama	Ortanca	Minimum	Maksimum
Li	13	3±2	2.32	1.03	7.83
Ti	13	224±89	226.40	55.81	402.02
V	13	8±3	8.27	1.70	11.88
Mn	14	43±59	21	2.47	208.89
Co	2	11±7	11.14	4.58	17.70
Ni	11	36±84	8.12	1.27	287.06
Zn	15	90±32	90.61	22.98	150.96
As	0				
Mo	10	8±10	4.03	0.74	33.62
Cd	0				
Sb	1	0.28±0	0.28	0.28	0.28
Cs	13	0.32±0.26	0.17	0.02	0.88
La	13	1.2±0.51	1.25	0.35	2.02
Pb	2	1.68±1.28	1.68	0.40	2.96
Ce					
Eu	0				
Yb					
Si	13	15239±4305	15617.22	6924.72	22380.46
P	13	1099±303	1052.27	725.49	1883.10
S	13	3293±1037	3285.85	1994.23	5304.28
Na	13	706±289	732.43	261.14	1281.96
Mg	13	769±212	753.39	393.90	1201.58
Al	13	5555±1556	5798.84	2618.41	8399.34
K	13	870±268	912.95	370.74	1330.63
Ca	13	985±674	1127.33	129.53	2299.44
Fe	13	3023±1017	3163.12	1179.43	4775.00
Ba					
Y	4	0.33±0.17	0.34	0.10	0.54
Cr	1	627±0	626.94	626.94	626.94

Çizelge 4.22. Sekizinci dönem sonuçlarının karşılaştırılması (ng/m³)

Elementler	Cihaz 2	Cihaz 3	Cihaz 4	GÇ Ortalama*	PM ₁₀ ** (Konvansiyonel)	Oran**
Li	2.67	2.35	4.54	2.98	0.99	0.33
Ti	247	271	105	224	20	0.09
V	9.96	8.18	3.41	7.76	4.54	0.58
Mn	8	23.2	104	43	8.52	0.20
Co			11.1	11.1	0.23	0.02
Ni	11.4	3.45	145.67	35.85	22	0.63
Zn	103	94.6	71	90	237	2.65
As					0.26	
Mo	16.9	3.88	11.0	8.04	3.31	0.41
Cd					0.28	
Sb	0.28			0.28	0.22	0.77
Cs	0.25	0.49	0.15	0.32	0.07	0.22
La	1.25	1.56	0.53	1.20	0.20	0.17
Pb	0.40	2.96		1.68	2.97	1.76
Ce						
Eu					0.45	
Yb						
Si	17517	16856	8749	15239	4101	0.27
P	1018	1346	820	1099		
S	2755	4354	2422	3293	296	0.09
Na	577	831	713	706	404	0.57
Mg	854	862	470	769	163	0.21
Al	6255	6311	3130	5555	1071	0.19
K	1009	969	472	870	148	0.17
Ca	646	1049	1444	985	750	0.76
Fe	3552	3378	1548	3023	257	0.09
Ba						
Y	0.25	0.36		0.33	0.09	0.27
Cr			627	627	15	0.02

*: Geliştirilen cihazlardan elde edilen ortalama elementel konsantrasyon.

: Konvansiyonel yöntemle elde edilen PM_{2.5} ve PM_{2.5-10}'a bağlı elementel konsantrasyonların toplanması ile elde edilen PM₁₀ sonucu*: Konvansiyonel yöntem ile elde edilen PM₁₀'a bağlı element konsantrasyonunun geliştirilen cihazlardan elde edilen ortalama elementel konsantrasyona bölünmesi ile elde edilen oran.



Şekil 4.11. Sekizinci örnekleme dönemi geri yörüngeleri

4.1.2.8. Bütün dönemlerin elementel analiz sonuçlarının genel değerlendirmesi

Bütün dönemler birlikte incelendiğinde oransal olarak elde edilen sonuçlarda Li, Ti, Mn, Co, As, Cs, La, Ce, Eu, Yb, Si, P, Mg, Al, K ve Fe'nin konvansiyonel yöntem ile elde edilen değerlere göre bütün dönemlerde daha yüksek konsantrasyonlara sahip oldukları görülmektedir (Örnekleme sayıları çok düşük olduğu için bu karşılaştırmada yedinci dönem sonuçları göz ardı edilmiştir). Bu durum bu elementlerin daha ziyade yüzey toprağının havalandırılması sonucu atmosferde olduğunu düşündürmektedir. Öte yandan, Zn, Mo, Sb, Pb ve Ca elementlerinin konsantrasyonlarının olduğundan daha düşük ölçüldüğü görülmüştür. S, V, Ni, Cd, Ba ve Na'nın elementlerinin yosunlarda tutumunda ise konvansiyonel yöntemlere göre dönemsel olarak farklılıklar olduğu gözlenmiştir. Kükürt üçüncü dönemde konvansiyonel yöntem ile sadece bir iri bir de ince partikül modunda belirlenmiştir.

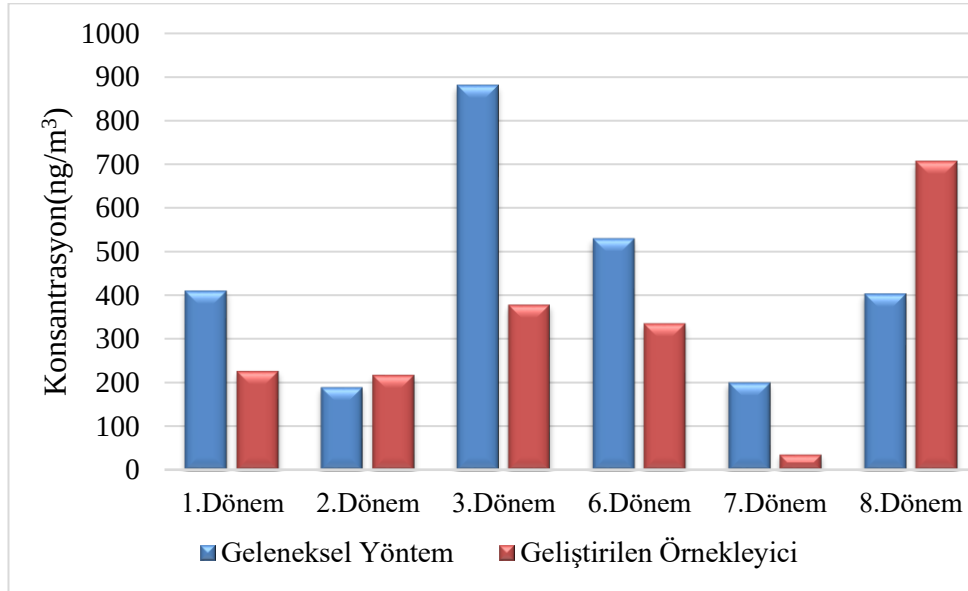
Bu farklılıkların önemli bir kısmı geliştirilen örnekleyicide PM₁₀ impaktörü olarak görev yapan kapakların ve pompa görevi üstlenen fanın verimli olamamasından kaynaklanabileceği gibi toz taşınımının rüzgâr hızıyla artmasından dolayı yüksek rüzgârlı günlerde geliştirilen örnekleyicinin daha fazla örnek toplamasından da kaynaklanabileceğinden düşünülmektedir.

Deniz tuzu kaynaklı elementlerin en önemlilerinden olan Na'un, konvansiyonel örnekleme cihazı ile yapılan çalışmanın sonuçlarında da beklendiği gibi ilk dönemde ikinci döneme göre yüksek ve üçüncü dönem en yüksek seviyede konsantrasyona sahip olduğu gözlenmiştir. Geliştirilen örnekleyici ile yapılan çalışmada ise Na ilk iki dönemde önemli bir değişim göstermemiş ancak üçüncü dönemde konsantrasyon değerinde belirgin bir yükseliş gözlenmiştir. Sekizinci dönemde ise en yüksek konsantrasyon

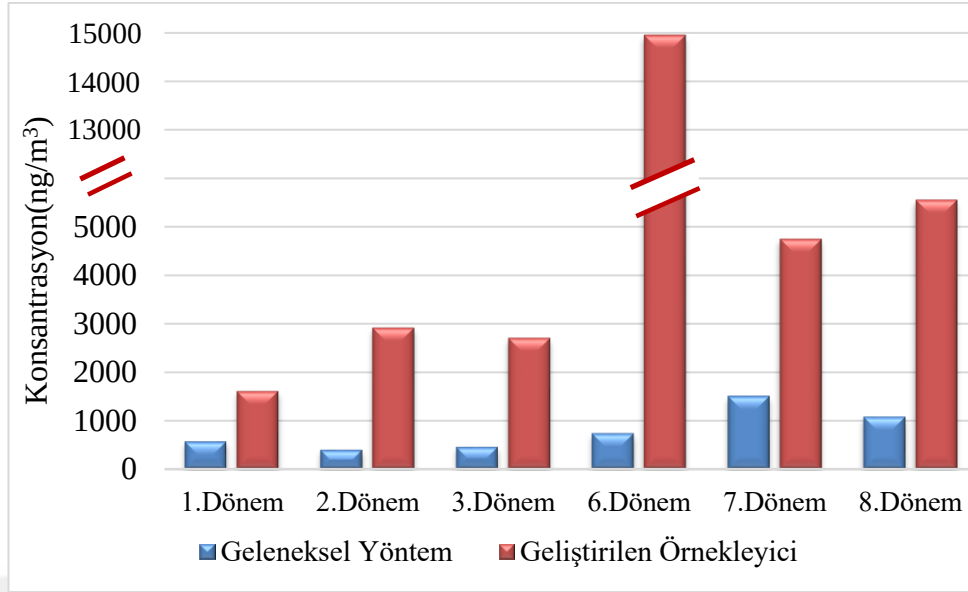
seviyeleri belirlenmiştir. Geliştirilen örnekleyici ile yedinci dönem elde edilen sonuçlarda Na konsantrasyonları sadece bir örnekte belirlenebilmiştir, bu nedenle bu dönemdeki düşük konsantrasyon değeri anlamlı görülmemiştir. Na konsantrasyonlarının dönemsel değişimi Şekil 4.12’de gösterilmiştir.

Toprak kökenli elementlerin indikatörü olan Al konsantrasyonlarındaki değişim Şekil 4.13’da gösterilmiştir. İlk dönem ve üçüncü dönem hava hareketlerinden beklenildiği kadarıyla daha yüksek konsantrasyon değerleri gözlenmesi gerekmektedir. Konvansiyonel yöntemle elde edilen sonuç hava kütlelerinin hareketiyle uyumlu iken geliştirilen örnekleyiciden elde edilen sonuçlar benzerlik göstermemektedir. Bunun en temel sebebinin, yosunlardaki toprak materyalinin örnekleme için yosuna uygulanan işlemler sırasında yosundan tam ve homojen bir şekilde ayrıştırılamaması olduğu düşünülmektedir.

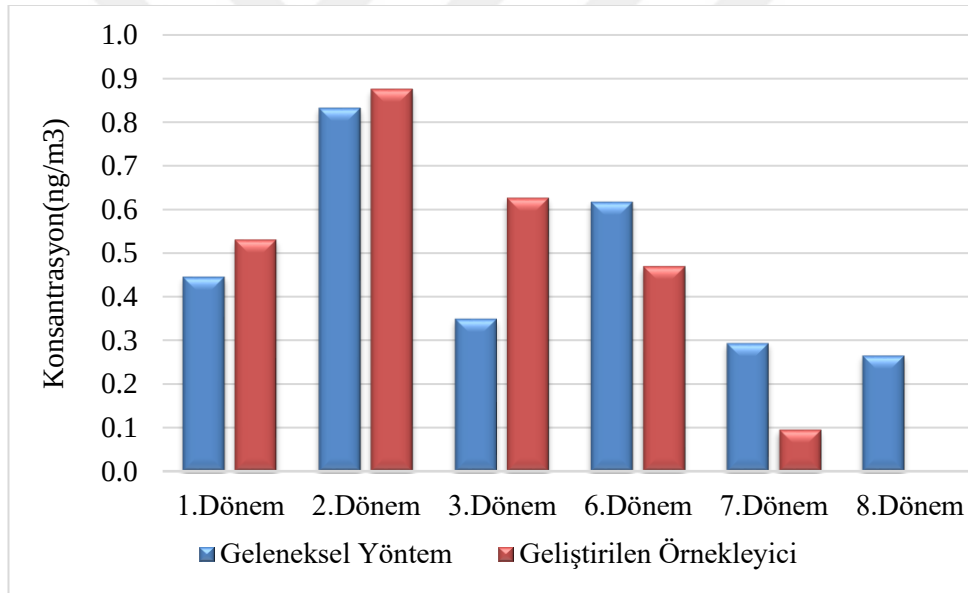
Arsenik, tipik bir antropojenik elementtir ancak toprak da önemli bir kaynağıdır. Her dönemde gözlenen As konsantrasyonlarındaki değişim Şekil 4.14’da gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere bir, iki ve altıncı dönemde geliştirilen örnekleyici genel olarak iyi bir örnekleme performansı sergilemiştir, sekizinci dönemde ise yosun örneklerinde As konsantrasyonları belirlenememiştir. Üçüncü dönemdeki farklılık incelendiğinde Ni, Cd ve Pb değerlerinde düşük benzerlikler tespit edilmiştir. Ni, Cd ve Pb toprakta da bulunan elementlerdir. Toprağın yosundan iyi ayrıştırılamamış olmasının bu duruma sebep olmuş olabileceği düşünülmektedir. Pb ve Cd Antalya’da pek sık rastlanan elementler değildir. Bu iki elementin örneklerde belirlenme oranları düşüktür. Yosun örneklerinde ise sonuç bulunmasına rağmen tespit edilen değerlerde değişimin kaynağının bu elementler mi yoksa toprağın yosun ortamından iyi temizlenememiş olmasından mı olduğu belirlenememiştir.



Şekil 4.12. Sodyum konsantrasyonunun dönemsel değişimi



Şekil 4.13. Alüminyum konsantrasyonunun dönemsel değişimi



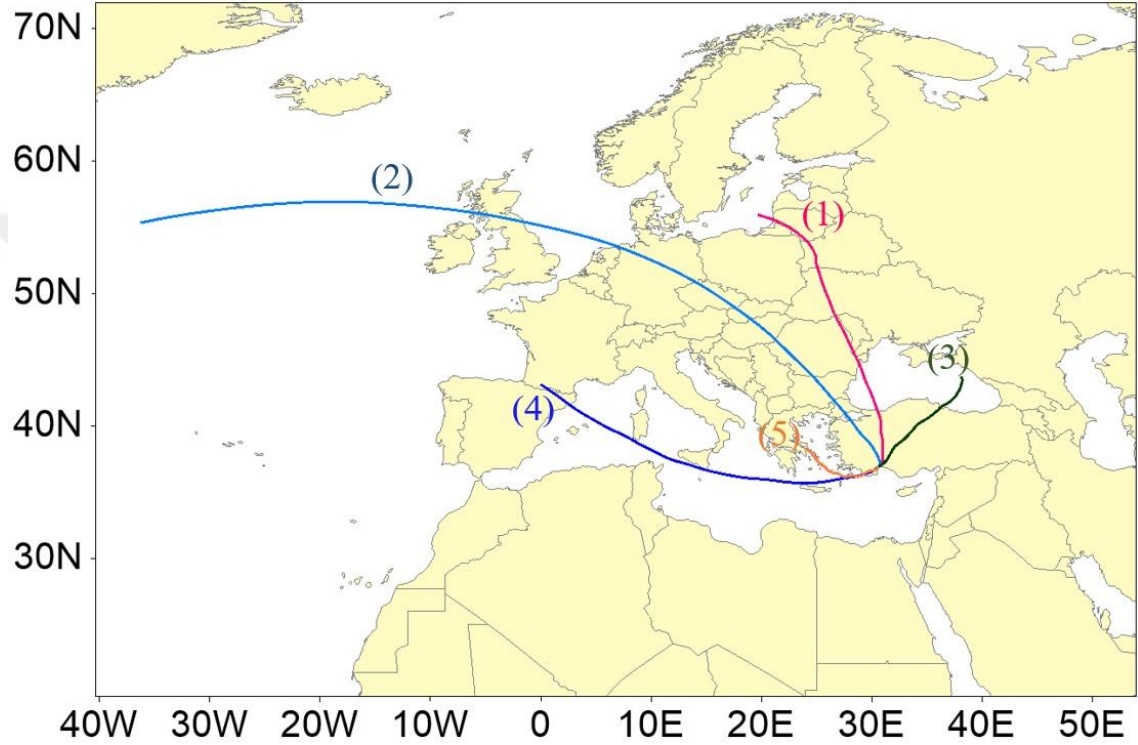
Şekil 4.14. Arsenik konsantrasyonunun dönemsel değişimi

2016 yılında yapılan kümeleme çalışmasında 5 farklı küme belirlenmiştir (Şekil 4.15). Bunlar (1) Kuzey Avrupa kümesi, (2) Orta Avrupa kümesi, (3) Anadolu ve Orta Doğu kümesi, (4) Akdeniz ve Kuzey Afrika kümesi, (5) Ege ve Doğu Akdeniz kümesidir (Tepe 2016; Tepe ve Doğan 2021).

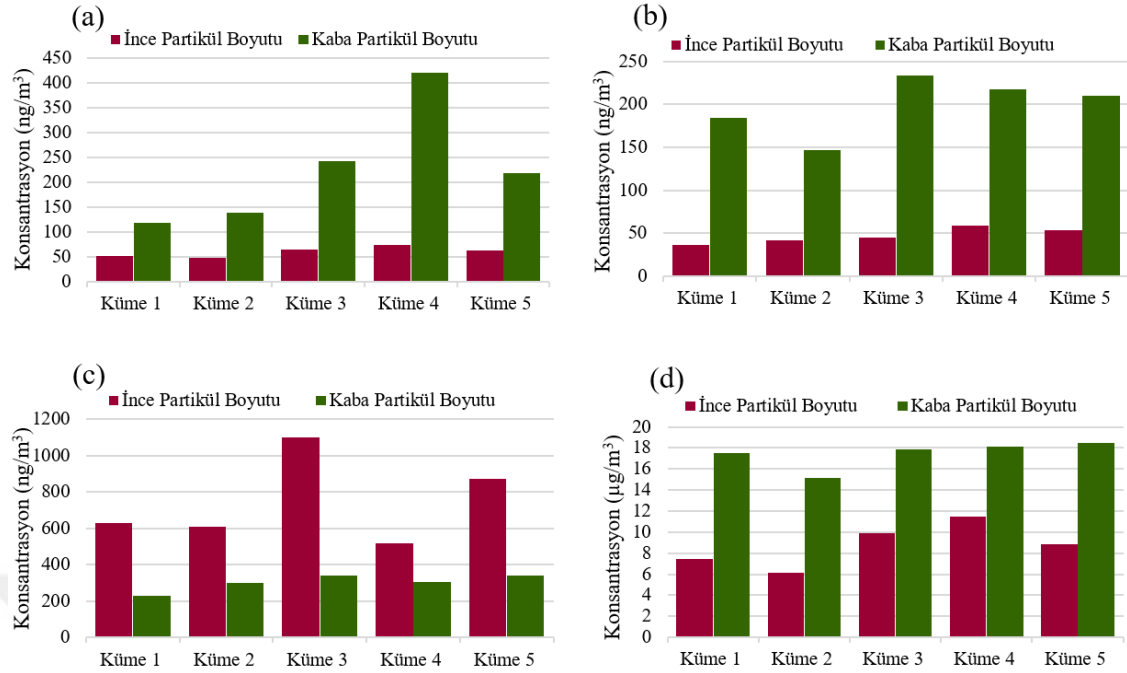
2016 yılında yapılan çalışmada bütün elementlerin her bir küme içindeki konsantrasyonlarının ortalanca değerleri ince ve kaba fraksiyonlar için hesaplanmış ve seçilen elementlerin her bir küme içindeki konsantrasyonlarının ortalanca değerleri Şekil 4.16'de gösterilmiştir. Ana kaynağının deniz tuzu olduğu düşünülen Na elementinin konsantrasyonları beklendiği gibi (4) numaralı Akdeniz ve Kuzey Afrika kümesinde diğer kümelerle göre yüksek çıkmıştır. PM_{2.5-10} konsantrasyonlarının bütün kümelerde hemen

hemen eşit olduğu görülmüştür. Kaba fraksiyondaki partiküllerin atmosferde kalma sürelerinin kısa olmasından dolayı uzun mesafe taşınım ile gelmeleri beklenmemektedir. Bu durum $PM_{2.5-10}$ konsantrasyon değerlerinin kümelere göre farklılık göstermemesini açıklamaktadır.

Bu çalışma özelinde hazırlanan dönemlik geri yörünge grafipleri de incelendiğinde 2016 yılında yapılan çalışmaya benzer sonuçlar elde edilmiş ve geri yörüngelerin geldiği noktalara göre kirletici konsantrasyonu miktarlarındaki beklenen artış ve azalışlar önceki çalışmanın kümeleme çalışması ile birlikte yorumlanabilmektedir.



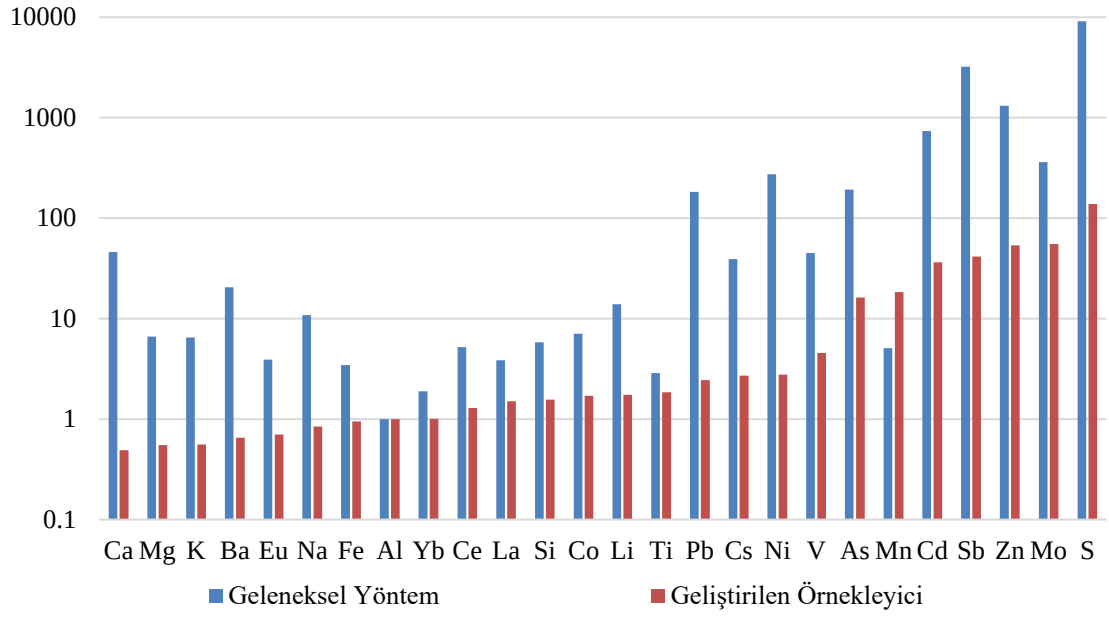
Şekil 4.15. Örneklem alanına ulaşan geri hava kütlelerinin yörüngelerine uygulanan kümeleme çalışması (Tepe 2016)



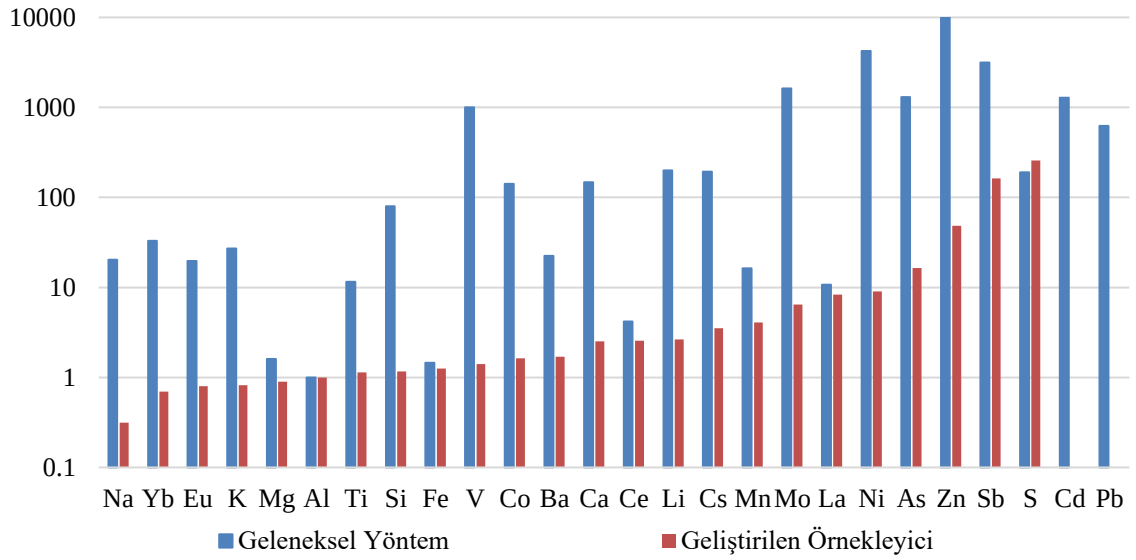
Şekil 4.16. Her bir kümede kaba ve ince partikül fraksiyonunda (a) Na, (b) Al, (c) S ve (d) PM'in günlük ortalanca konsantrasyon değerleri (Tepe 2016)

4.2. Sonuçların Zenginleştirme Faktörü ile Değerlendirilmesi

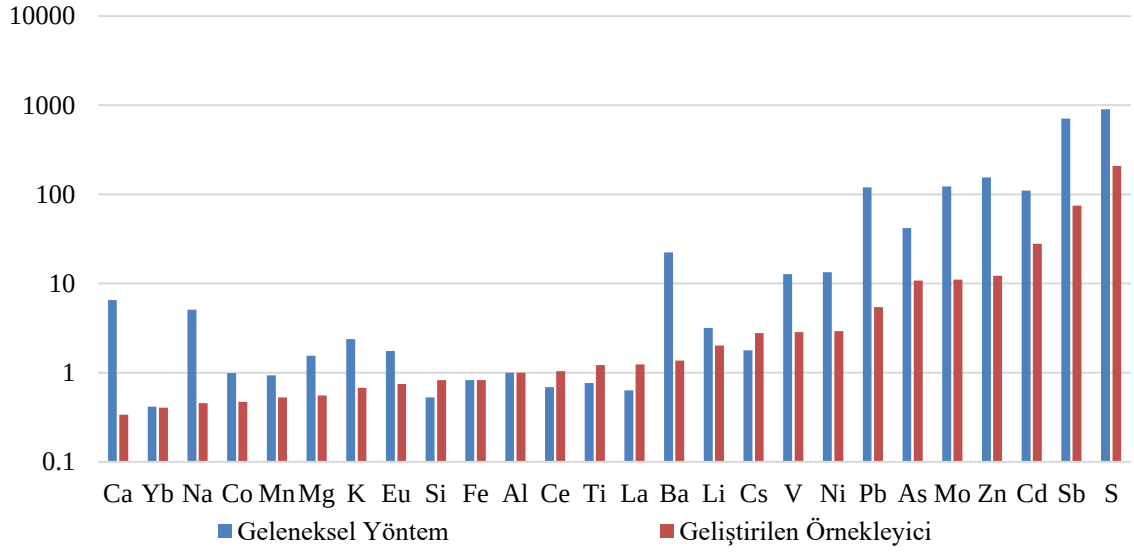
Zenginleştirme faktörü 40 yılı aşkın süredir kullanılan en temel kaynak belirleme aracıdır. Bu metotta referans toprak kompozisyonuna göre toprakta zenginleşen elementler belirlenmeye çalışılmakta böylece toprak harici kaynakların varlığı tespit edilmektedir. Bölgeden bölgeye toprak kompozisyonları değişiklik gösterdiği için genel olarak elementlerdeki 0.1 ile 10 arasında değişen zenginleşmeler göz ardı edilmektedir (Tepe ve Doğan 2021). Bu çalışmada elde edilen dönemsel sonuçlarla toprak kökenli zenginleştirme faktörü hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler sırasıyla Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19, Şekil 4.20, Şekil 4.21 ve Şekil 4.22'de sunulmuştur. Genel olarak geliştirilen örnekleyicide toprak zenginleştirme faktörleri daha düşük oranda tespit edilmiştir. Bu durum önceki bulguları destekler nitelikte: toprağın yosunlardan fazla ayrıştırılmadığını ve/veya örnekleyici impektörünün PM₁₀'u süzmede yetersiz kaldığını göstermektedir. Ancak her iki durumda da antropojenik elementlerin (Sb, Zn, As, Mn ve Mo gibi) geliştirilen örnekleyicide de zenginleştiği belirlenmiş olup hem toprak hem de antropojenik kaynaklardan salınan V, Pb, Cd, Ni, Mn gibi elementlerin zenginleşmesinin konvansiyonel yöntem ile elde edilen zenginleşmeden sığ kaldığı belirlenmiştir.



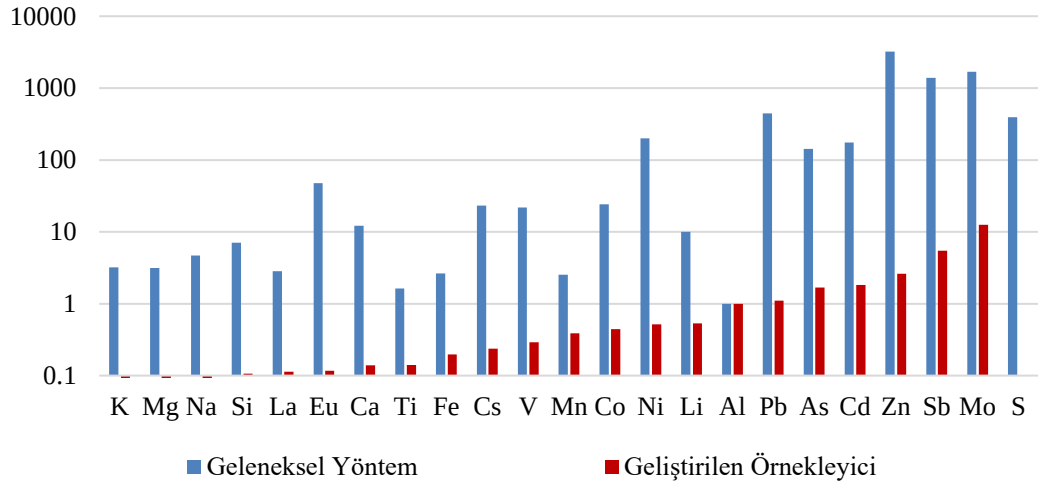
Şekil 4.17. Birinci dönem zenginleştirme faktörü



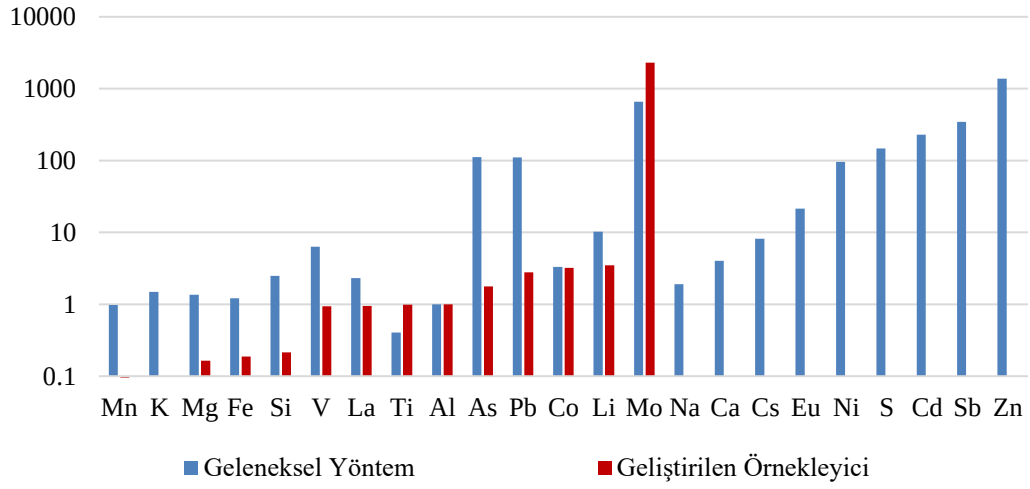
Şekil 4.18. İkinci dönem zenginleştirme faktörü



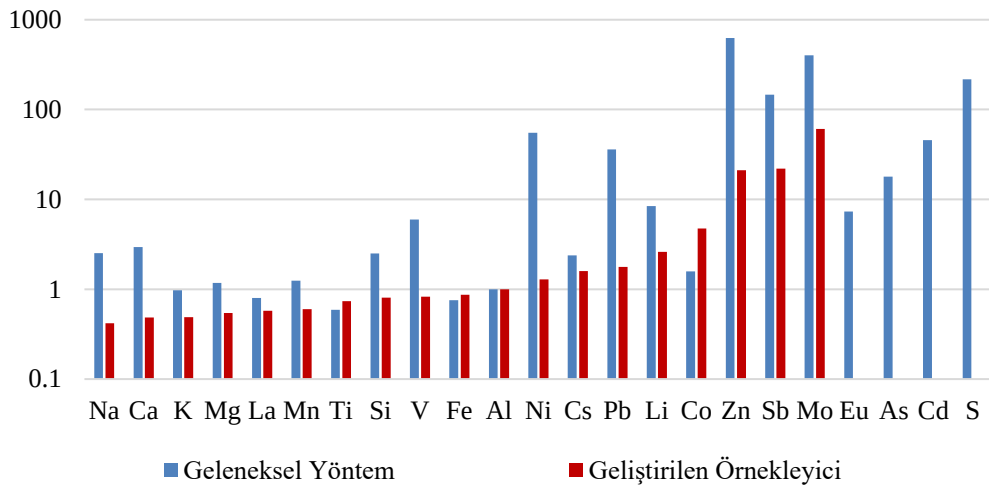
Şekil 4.19. Üçüncü dönem zenginleştirme faktörü



Şekil 4.20. Altıncı dönem zenginleştirme faktörü



Şekil 4.21. Yedinci dönem zenginleştirme faktörü

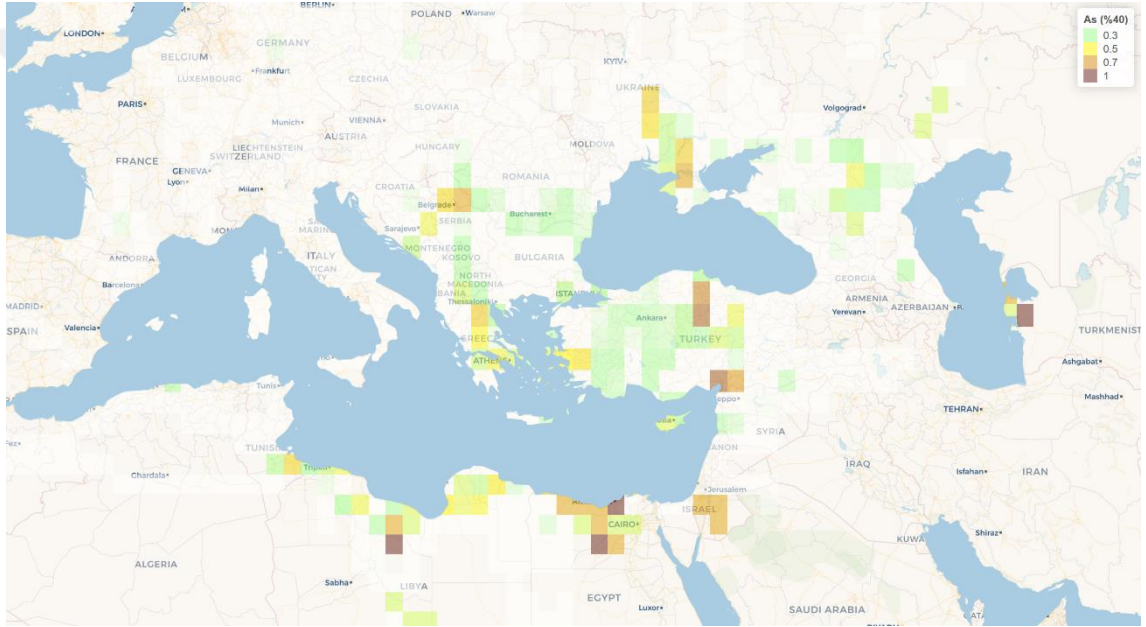


Şekil 4.22. Sekizinci dönem zenginleştirme faktörü

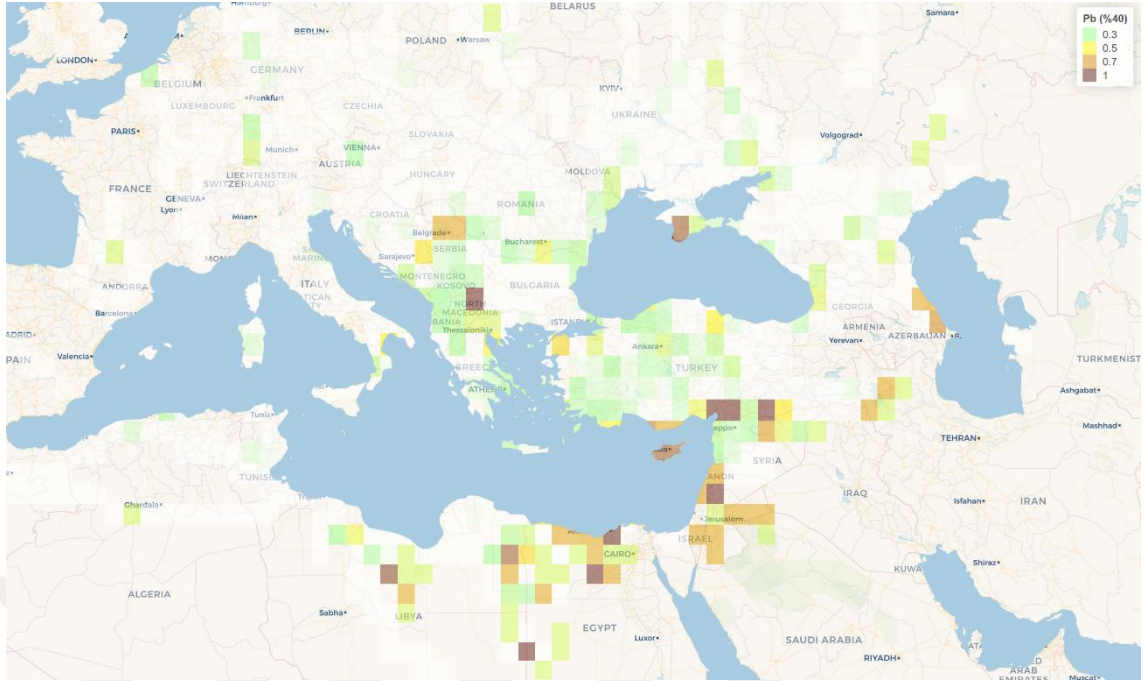
4.3. Sonuçlarının Potansiyel Kaynak Katkı Fonksiyonu ile Değerlendirilmesi

Potansiyel kaynak katkı fonksiyonu (PKKF) uzun mesafe ile taşınarak alıcı ortama gelen kirleticilerin olası kaynak bölgelerinin belirlenmesi için kullanılan konsantrasyon ile coğrafi koordinatı birleştiren bir istatistiksel yöntemdir. PKKF analizinin anlamlı sonuç verebilmesi ancak yüksek sayıda ve farklı mevsimlerde örnek toplanması ve toplanan örneklerin bir uzun mesafeli kaynak iz elementi veya bileşiği için analiz edilmesi durumunda mümkün olmaktadır. Bu çalışmada Eylül-Aralık 2021 ve Mart-Haziran 2022 tarihleri arasında 6 ay boyunca örnek toplanmış ve örnekler sadece sınırlı sayıda iz element için analiz edilmiştir. PKKF hesaplamasında sadece

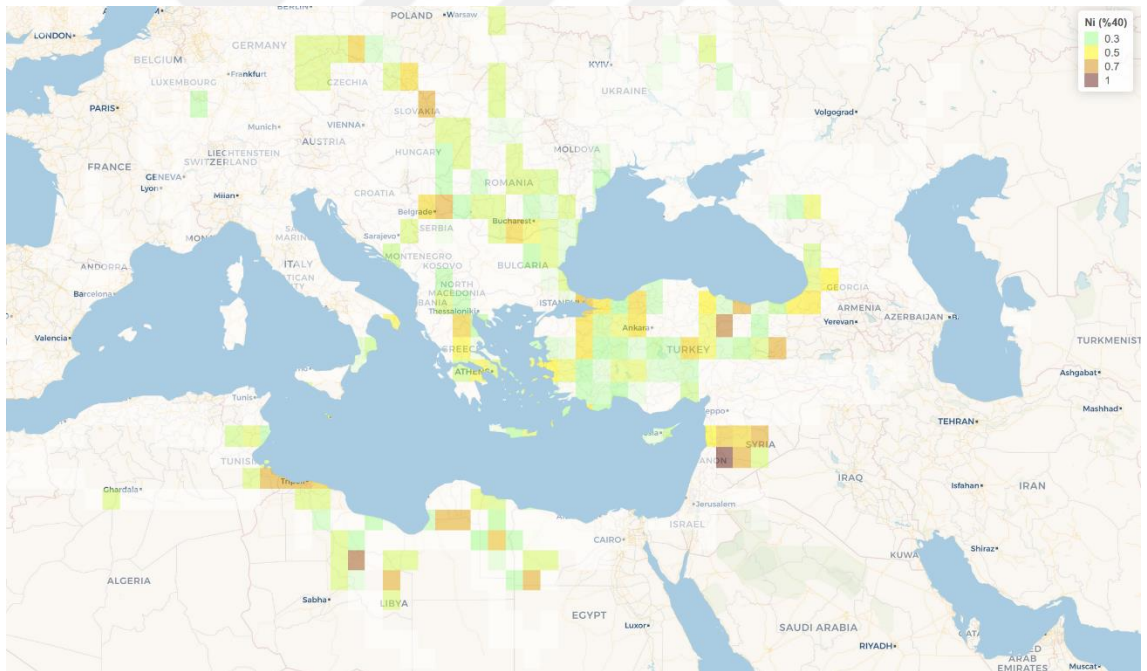
konvansiyonel yöntem ile elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. PKKF çalışmalarında genelde kükürt gibi uzun mesafeli taşınım indikatörü olan elementler tercih edilmektedir. İnce partikül boyutunda tespit edilen antropojenik elementlerden As, Pb, Ni ve Cd için hesaplanan PKKF değerleri ile oluşturulan haritalar sırasıyla Şekil 4.23, Şekil 4.24, Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'de sunulmuştur. Ancak bu metallerin konsantrasyonlarına yerel kaynaklarının da önemli boyutlarda katkı sunabileceği düşünülmüştür. Şekillerden görüleceği üzere As'nin Akdeniz'in doğusu, Ürdün, Mısır, Libya ve Batı Karadeniz'de öne çıkan kaynaklardan salınmış olabileceği görülmüştür. Pb'nin Doğu Akdeniz ve Mısır'ın kuzeyinde yer alan bölgeden salınmış olabileceği belirlenmiştir. Ni'nin kaynakları ise Gürcistan'ın Karadeniz sahili ile yurdumuzun Doğu Karadeniz sahili, Suriye, Orta ve Batı Anadolu bölgeleri olarak tespit edilmiştir. Cd için ise Libya ve Ürdün haricinde önemli bir kaynak bölge tespit edilememiştir. İnce partikül boyutundaki diğer elementlerin en yüksek konsantrasyona sahip %40'lık kısımları için çizilen PKKF grafikleri EK-3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.23. As için hesaplanan PKKF sonuçları



Şekil 4.24. Pb için hesaplanan PKKF sonuçları



Şekil 4.25. Ni için hesaplanan PKKF sonuçları



Şekil 4.26. Cd için hesaplanan PKKF sonuçları

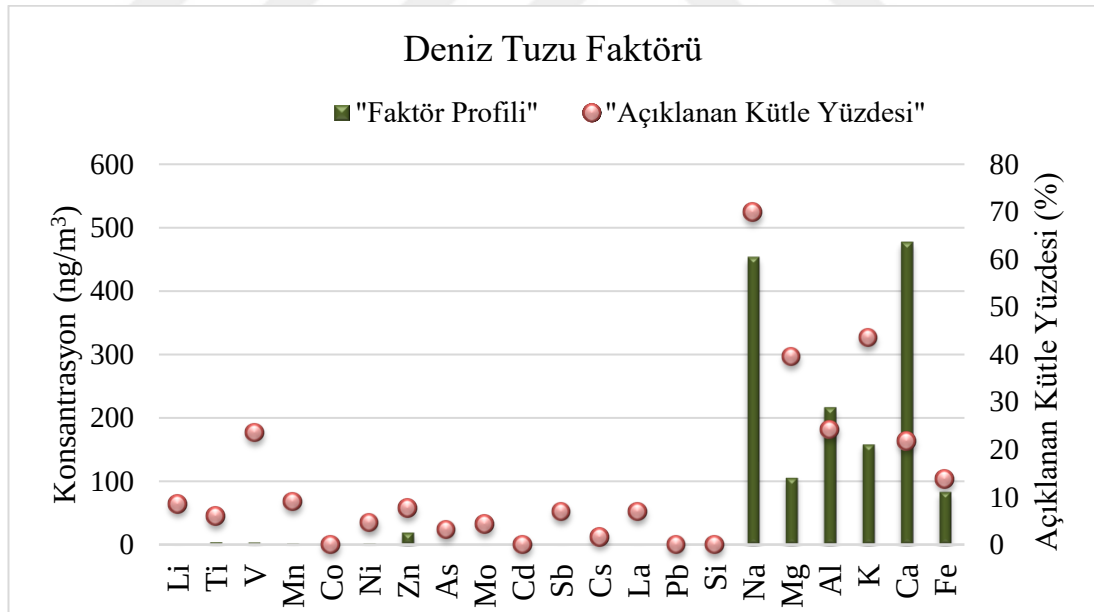
4.4. Kaynak Belirleme Çalışması

Bu çalışmada kaynak belirleme çalışmasının yapılma amacı farklı kaynak türlerinin geliştirilen örnekleyicide ne kadar tutulduğunu gözlemlemektir. Kaynak belirleme çalışmalarında veri sayısını arttırmak ve aynı çalışma içerisinde karşılaştırılabilir sonuçlar elde etmek için konvansiyonel yöntem ile elde edilen veri seti ile geliştirilen yöntem ile elde edilen veri setleri birleştirilmiştir. Geliştirilen yöntem ile elde edilen veri setini sadeleştirmek için her bir cihaz için aylık ortalama elementel konsantrasyon değerleri alınmıştır. Böylece bir dönem hariç her dönem için üç, toplamda 17 veri satırı elde edilmiş ve konvansiyonel yöntem ile elde edilen veriseti altına eklenmiştir. Konvansiyonel yöntem ile elde edilen PM_{10} değerlerin ortanca değeri geliştirilen örnekleme yöntemi ile elde edilen veri satırlarına yazılmıştır. Bu veri satırlarına karşılık gelen belirsizlik değerlerine ise ortanca değerin dört katı yazılmıştır. PM_{10} , kullanma kılavuzunda belirtildiği üzere zayıf (weak) alınmıştır. Gerçekleştirilen 3-6 arasındaki faktör çalışması sonrasında yüksek sayıda tayin sınırı altında değere sahip olan kükürt ve fosfor çalışmadan çıkartılmıştır. Bunların yanı sıra sadece bir kampanya periyodunda ölçümleri yapılan Ce, Yb, Ba, Y, Cr elementleri de modelden çıkartılmıştır. Her denemede önce 100 çalıştırma (run) gerçekleştirilmiş ve minimum Q değeri için rastgelelik testi Bootstrap 100 kez tekrarlanmıştır. Bootstrap ile 90-100 arasında ilk faktörler ile minimum 0.6 oranında (minimum R-value) benzerlik saptanan beş faktör çıktısı optimum sonuç olarak değerlendirilmiştir. Diğer faktör sayılarında bootstrap değerleri model kullanım kılavuzunda belirtilen en az %80'lik ilk faktöre benzerlik kriterini sağlamadığından elenmişlerdir. İki farklı metot ile elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirildiğinden kaynak katkılarının zamansal karşılaştırılması gerçekleştirilmiş olup kaynakların ne kadarlık bir örneklenen kütle fraksiyonunu açıkladığı incelenmiştir.

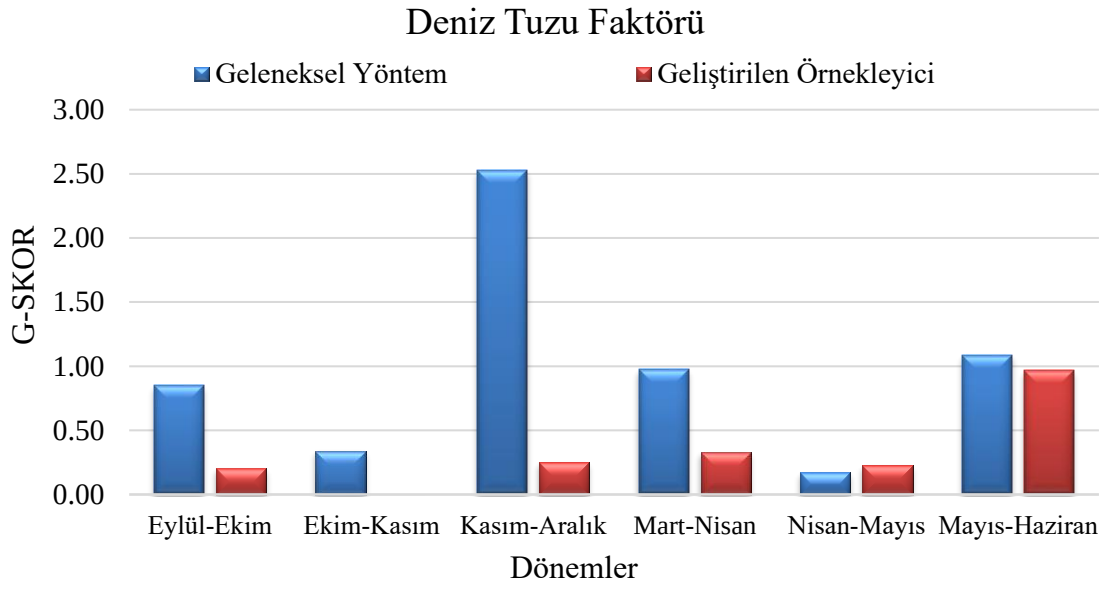
Birinci faktörde, Na, Mg ve K'nin %40-80 arasında varyansı açıklanmıştır. Bu elementler literatürde birçok çalışmada deniz tuzu faktörü ile bağdaştırılmışlardır

(Nicolás vd. 2008; Koçak vd. 2011; Calzolari vd. 2015; Paraskevopoulou vd. 2015). Bu faktörde V gibi antropojenik bir elementin yanı sıra tipik toprak elementleri olan Al, Ca gibi elementlerin de %20'lik varyansı açıklanmıştır (Şekil 4.27). Bu faktör elementel kütlelerin %17.6'sını açıklamaktadır. Bu bir deniz tuzu faktörüdür. Ancak faktörde bir miktar yerel toprak ile toprakta zenginleştiği tahmin edilen antropojenik V elementi de tespit edilmiştir (Hwang ve Hopke 2007; Betsou vd. 2021) (Şekil 4.29). G-skorerin zamansal değişimi incelendiğinde özellikle üçüncü örnekleme döneminde yüksek deniz tuzunun örnekleme bölgesinde görüldüğü tespit edilmiştir. Geliştirilen örnekleme yöntemi ile elde edilen sonuçların oldukça düşük miktarlarda G-skor değerlerine sahip oldukları belirlenmiştir (Şekil 4.28).

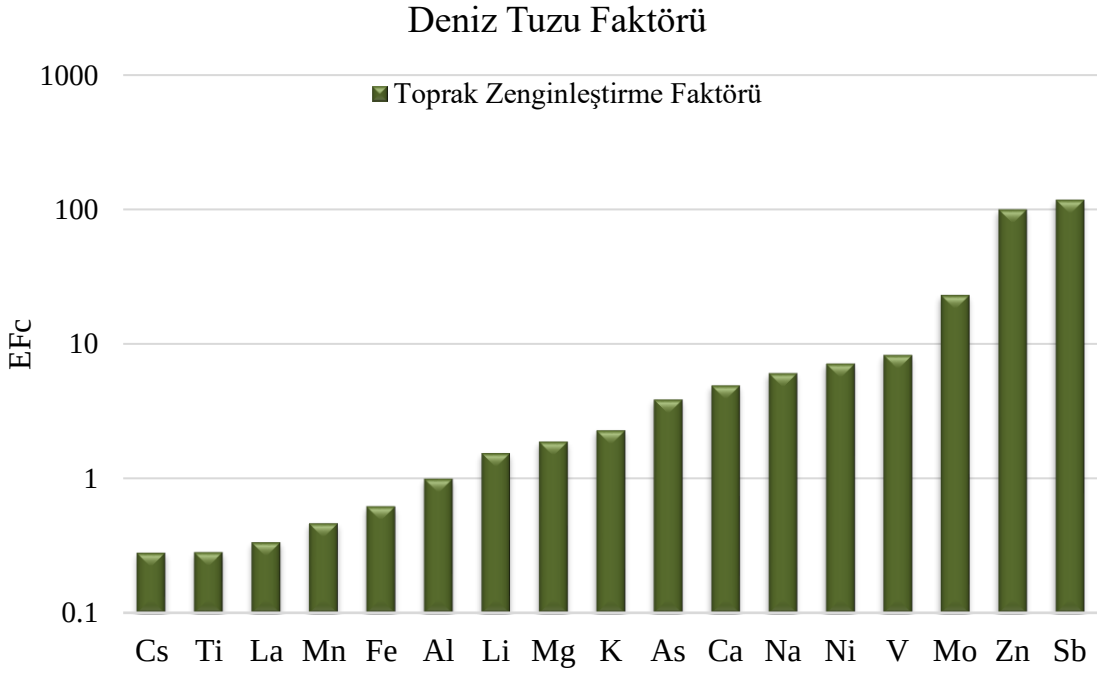
Birinci faktör için hem Konyaaltı Caddesi'nde Antalya Meteoroloji Bölge Müdürlüğü bahçesinde bulunan meteoroloji istasyonu hem de Akdeniz Üniversitesi'ndeki meteoroloji istasyonu verileri kullanılarak hazırlanan KOF grafikleri Şekil 4.30'da gösterilmiştir. Yaz aylarında her üç günde bir örnek değiştirildiği için iki meteoroloji istasyonu için saatlik olarak temin edilen rüzgâr verilerinde her saat için aynı G-skor değeri kullanılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla, özellikle yaz aylarına üç günün birinde bile kaynak bölgeden yapılan bir transferin etkisi diğer günlerin de katkısıyla gölgelenebileceği unutulmamalıdır. Konyaaltı Caddesi'nde bulunan meteoroloji istasyonu verileri faktörün deniz tuzu olduğunu onaylasa da Akdeniz Üniversitesi'ndeki meteoroloji istasyonundan elde edilen veriler, rüzgârın kuzey doğudan, güney doğudan ve güney batıdan estiği dönemlerde bu faktörün yüksek sonuçlar verdiğini göstermektedir.



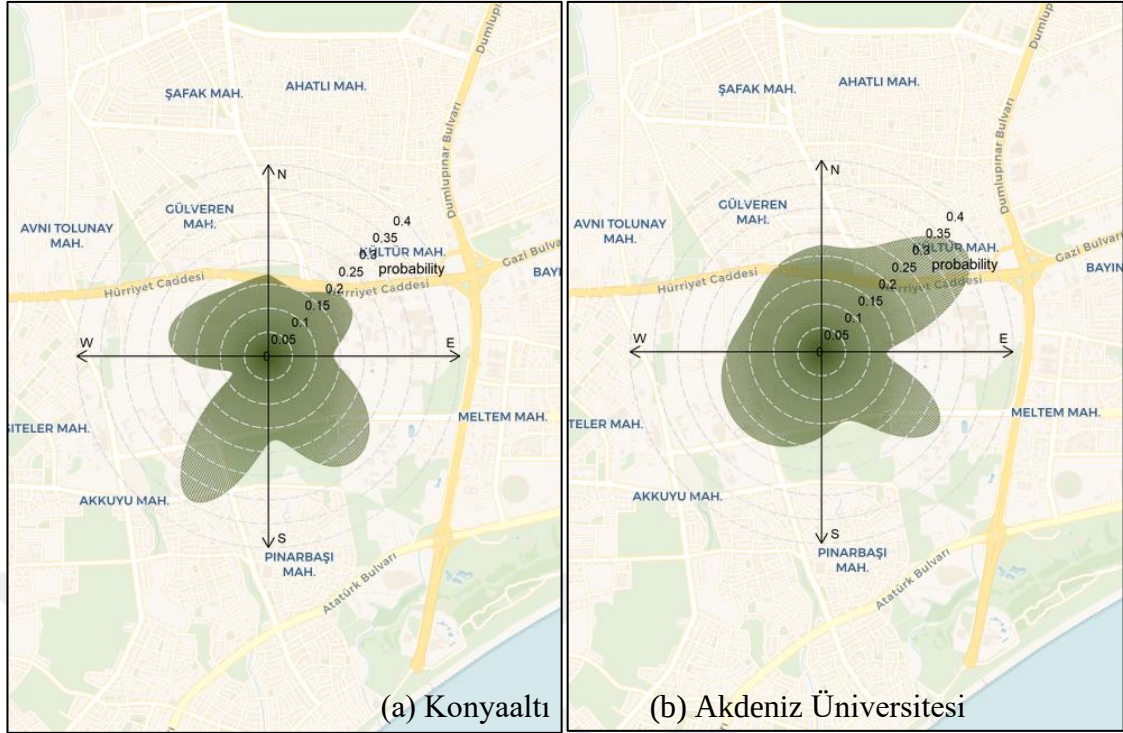
Şekil 4.27. Deniz tuzu faktörü, faktör profili ve elementlerin açıklanan kütle yüzdeleri



Şekil 4.28. Deniz tuzu faktörü G-skor karşılaştırması

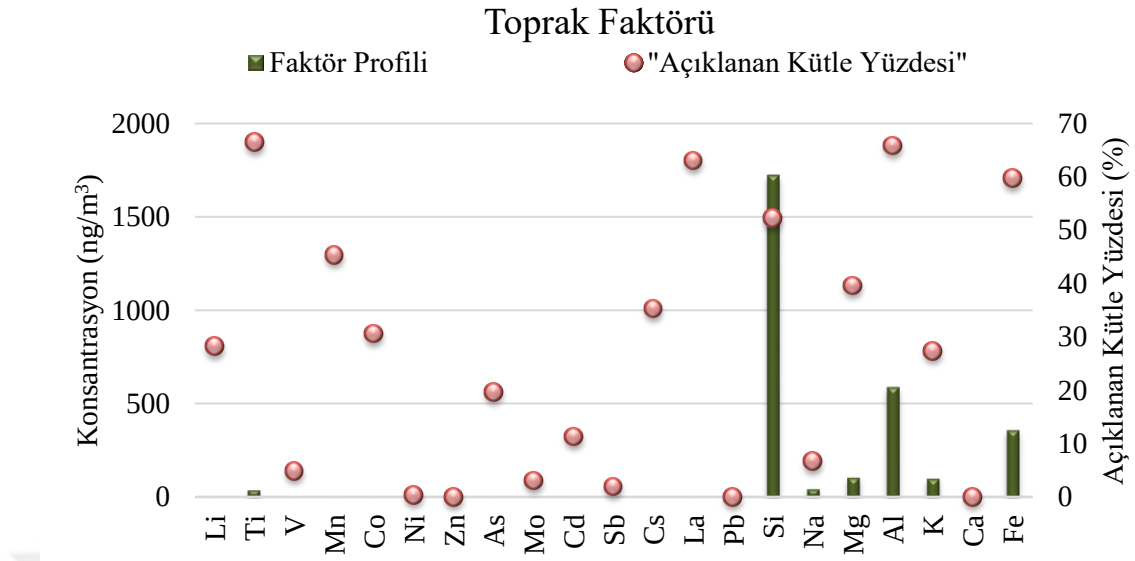


Şekil 4.29. Deniz tuzu faktörünün profili ile hazırlanan EF_C değerleri

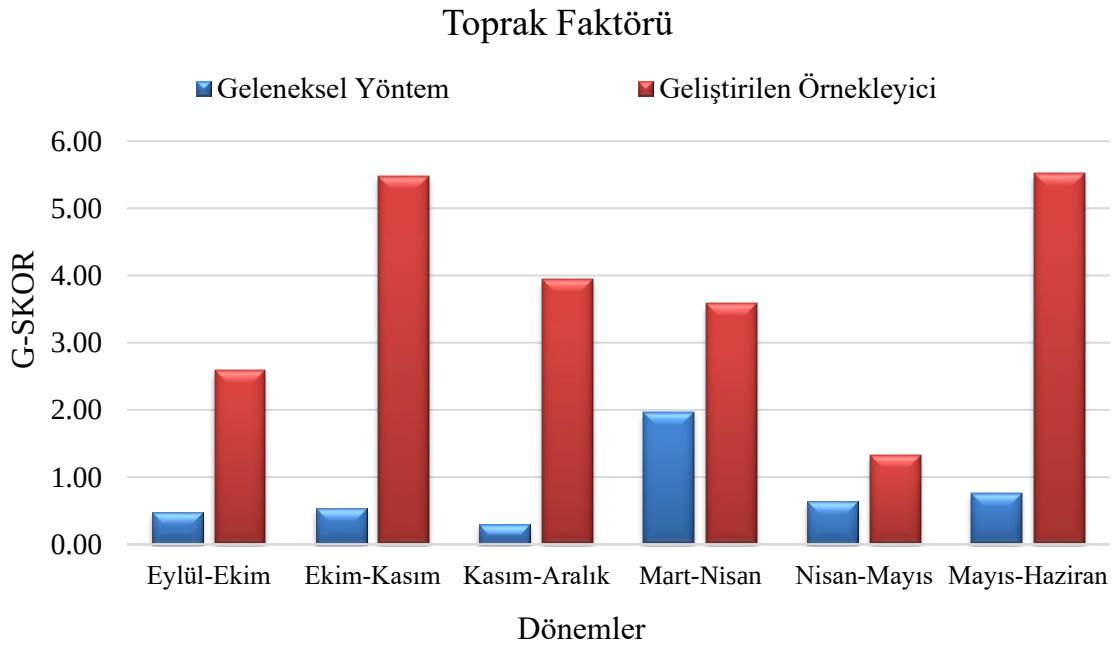


Şekil 4.30. Deniz tuzu faktörünün (a) Konyaaltı ve (b) Akdeniz Üniversitesi meteoroloji istasyonlarından alınan veriler ile çizilen KOF grafiği

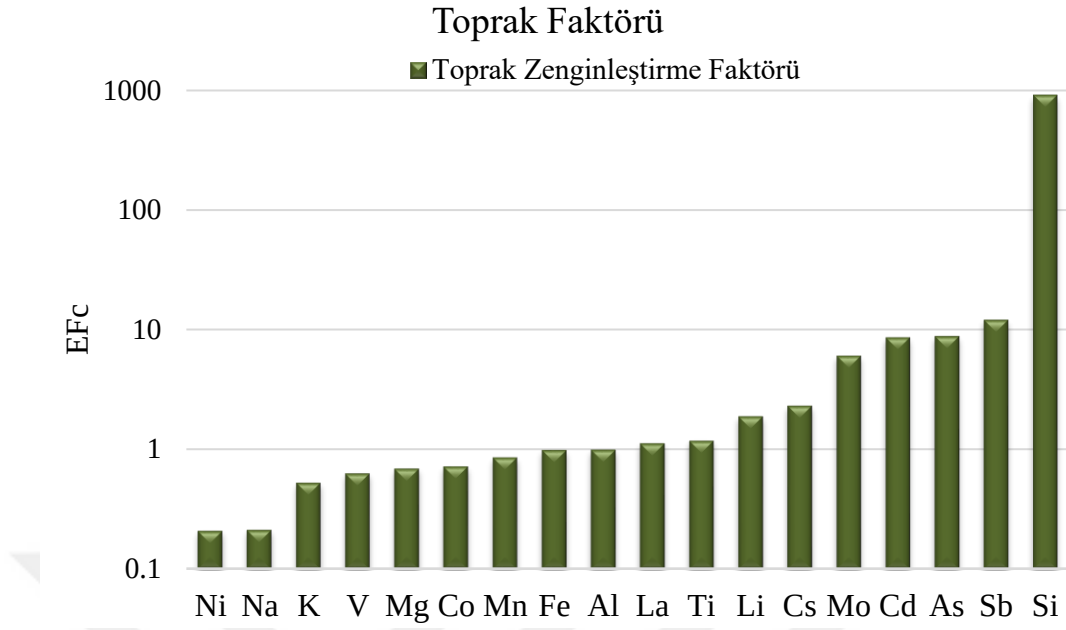
İkinci faktör, PM_{10} 'un önemli bir kısmını, Al, Si, Fe, Mg, La, Ti ve Mn gibi toprak kökenli elementlerin (Xie vd. 1999; Chueinta vd. 2000; Heo vd. 2009; Jain vd. 2020) varyanslarının %50 ile %70 arasındaki kısmını açıklamaktadır (Şekil 4.31). Bu faktör elementel kütlenin %34.2'sini açıklamaktadır. G-skor değerlerinin zamansal değişimi incelendiğinde hemen hemen tüm örnekleme dönemi boyunca gözlemlendiği belirlenmiştir. Bu tipik bir toprak faktörüdür. Her bir örnekleme dönemi için elde edilen kaynak katkı değerleri Şekil 4.32'de sunulmuştur. Geliştirilen örnekleyicinin EFc değerlendirmesinde olduğu gibi toprak kökenli elementleri her örnekleme döneminde konvansiyonel yöntemle göre daha fazla tuttuğu tespit edilmiştir. İkinci faktöre ait KOF grafikleri Şekil 4.33'de sunulmuştur. Konyaaltı istasyonu güneybatı ve güney yönlerinin önemli kaynak bölge olduğunu gösterirken, Akdeniz Üniversitesi istasyonu güneybatı ve güneydoğu yönlerinin önemli kaynak bölgeleri olduğunu işaret etmektedir.



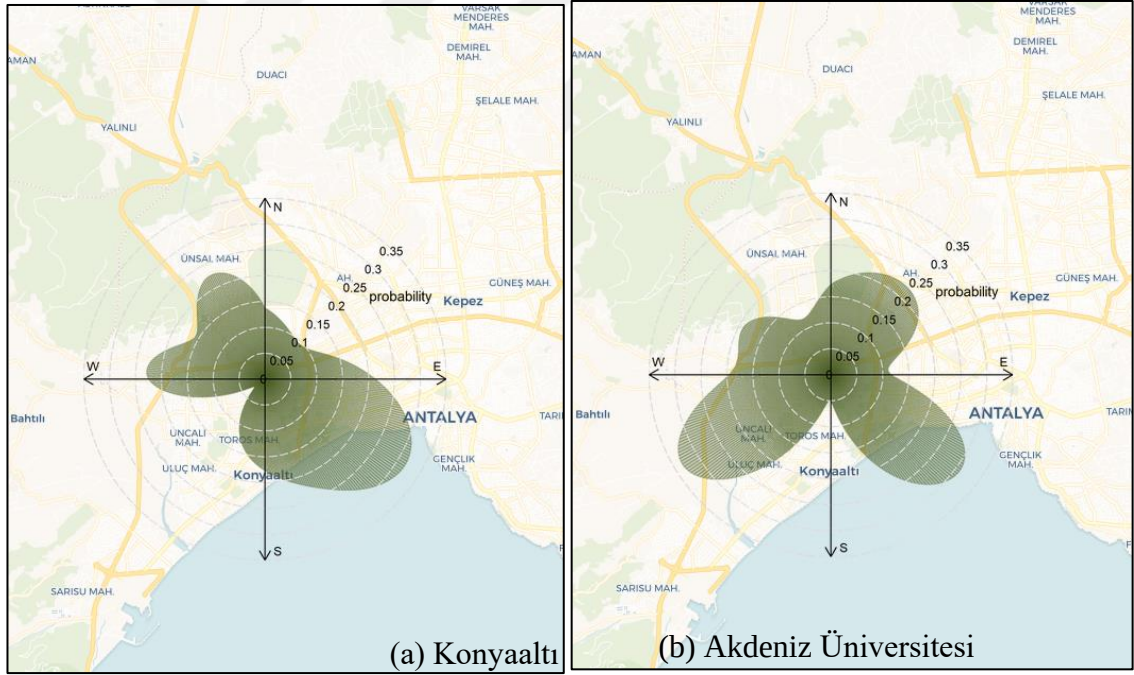
Şekil 4.31. Toprak faktörü, faktör profili ve elementlerin açıklanan kütle yüzdeleri



Şekil 4.32. Toprak faktörü G-skor karşılaştırması



Şekil 4.33. Toprak emisyonları faktörünün profili ile hazırlanan EF_c değerleri



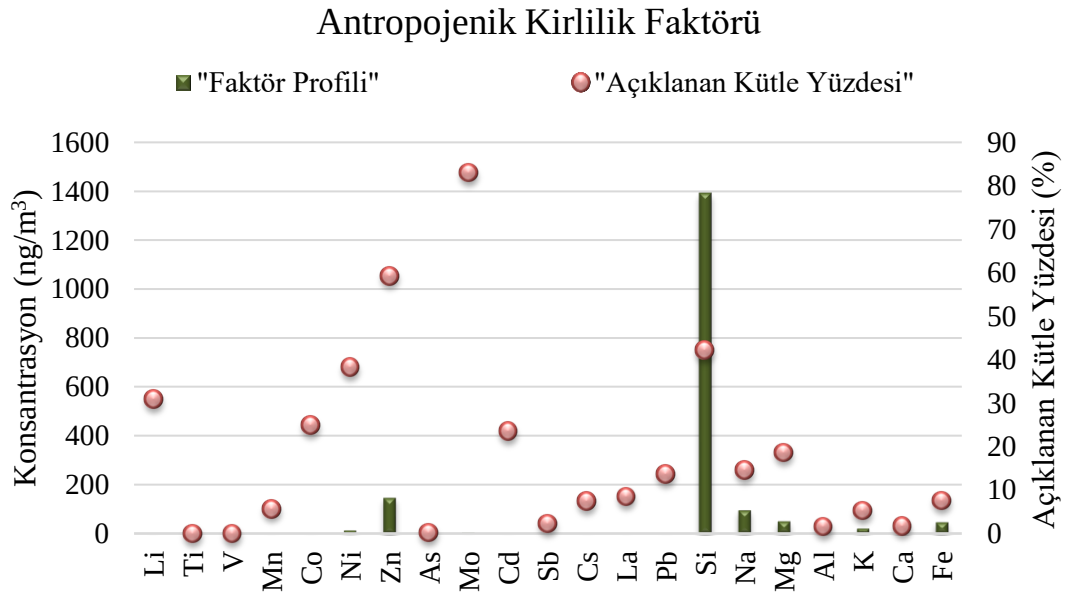
Şekil 4.34. Toprak emisyonları faktörünün (a) Konyaaltı ve (b) Akdeniz Üniversitesi meteoroloji istasyonlarından alınan veriler ile çizilen KOF grafiği

Üçüncü faktör Mo, Zn, Ni, Li, Si, Co, Cd gibi ağırlıklı olarak antropojenik elementlerin (Cusack vd. 2020) varyanslarının %20 ile %90 arasındaki kısmını açıklamaktadır (Şekil 4.35). Bu faktör elementel kütlelerin %21'ini açıklamaktadır. G-skor değerlerinin zamansal değişimi incelendiğinde bu faktörün özellikle daha sıcak döneme denk gelen ikinci kampanya periyodu boyunca gözlemlendiği belirlenmiştir. Akdeniz bölgesinde yapılan önceki bazı çalışmalarda da yazın antropojenik elementlerin, kış

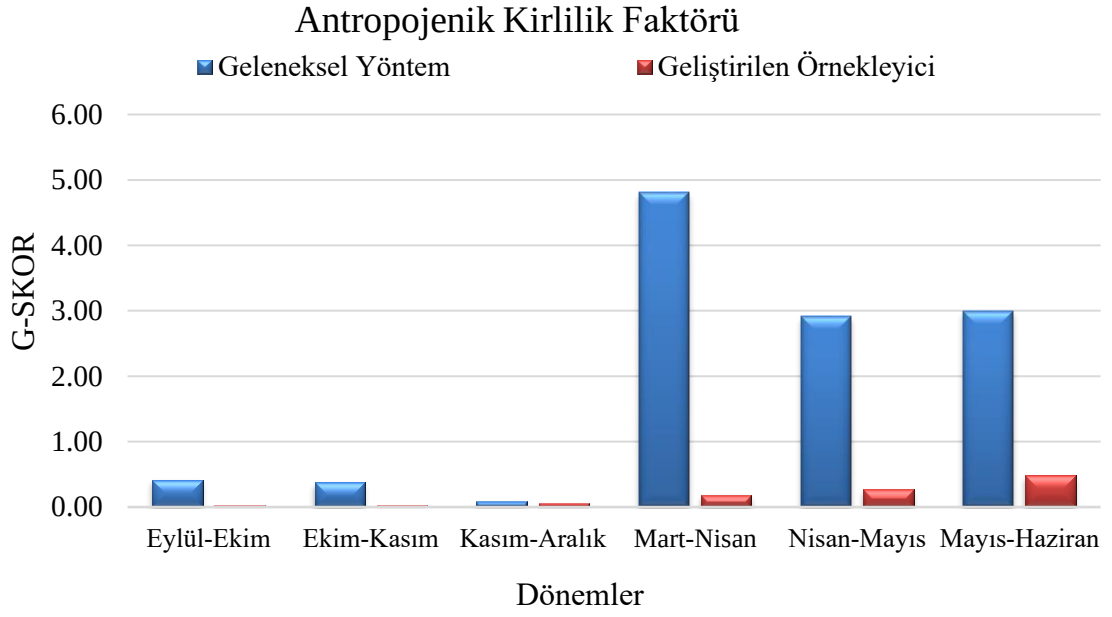
aylarına göre biraz daha yüksek olduğu faktörler gözlenmiştir (Güllü vd. 1998; Ozturk vd. 2012). Her bir örnekleme dönemi için elde edilen kaynak katkı değerleri Şekil 4.36’te sunulmuştur. Bu faktöre katkıları yüksek olan elementlerin, EF_c değerlerine bakıldığında oldukça zenginleşmiş olması da bu kaynağın antropojenik bir kaynak olduğunu desteklemektedir (Şekil 4.37).

Faktöre ait KOF grafikleri Şekil 4.39’de gösterilmiştir. Akdeniz Üniversitesi istasyonu güneydoğu ve güney batı yönlerini kaynak bölge olarak gösterirken, Konyaaltı istasyonu kentsel emisyonun etkili olabileceğini göstermiştir. G-skor değerleri yaz aylarında arttığı, faktörün içinde antropojenik elementler olduğu ve yaz aylarında uzun mesafeli taşınımın yağış azlığı sebebiyle daha fazla görülmesinden dolayı bu faktör için PKKf grafiği hazırlanmış ve Şekil 4.38’de sunulmuştur. Faktörün Rusya’nın Karadeniz sahillerinden, orta ve batı Anadolu’dan gerçekleştirilen emisyonlardan etkilendiği değerlendirilmiştir. Benzer kaynak alanlarını açıklayan bir faktörün (Tepe 2016) kömür yakan termik santrallerinden kaynaklandığı ve yaz aylarında yüksek değerlere ulaştığı tespit edilmiştir.

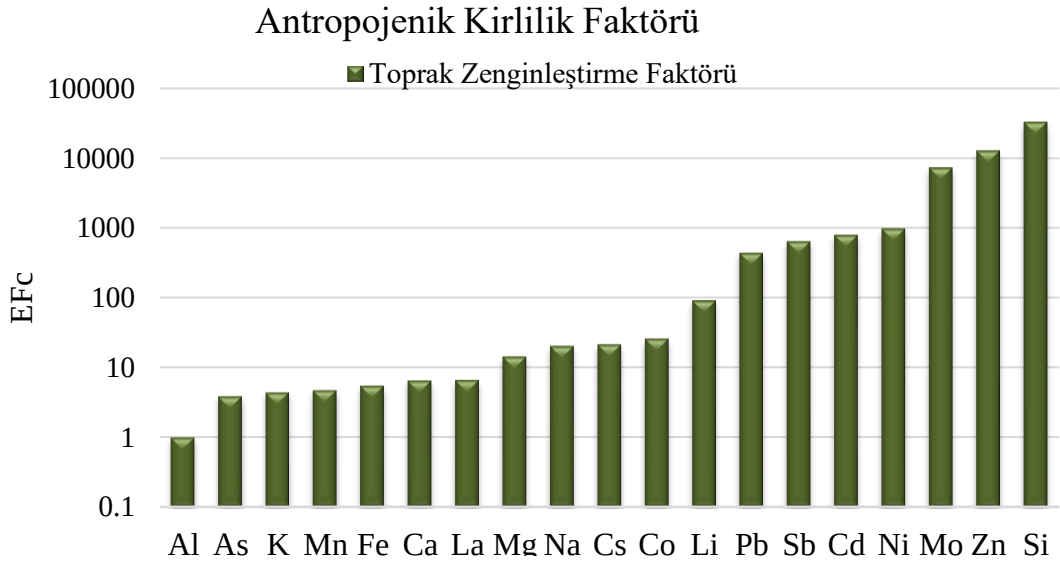
Bu faktörün G-skorlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde geliştirilen örnekleycinin her ne kadar son iki dönemde bir miktar G-skorlarda artış olduğunu tespit edilse de konvansiyonel örnekleme yöntemlerine göre yeteri kadar gözlemlenemediği belirlenmiştir (Şekil 4.35).



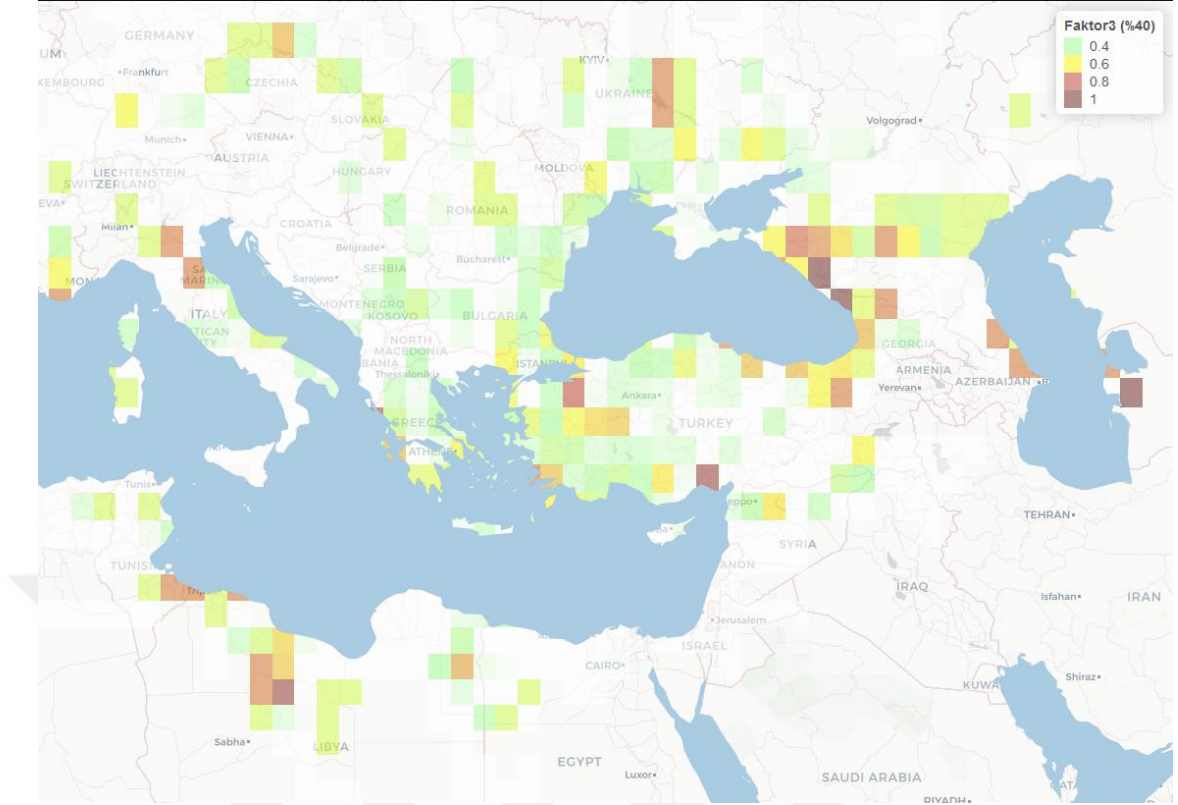
Şekil 4.35. Antropojenik kirlilik faktörü, faktör profili ve elementlerin açıklanan kütle yüzdeleri



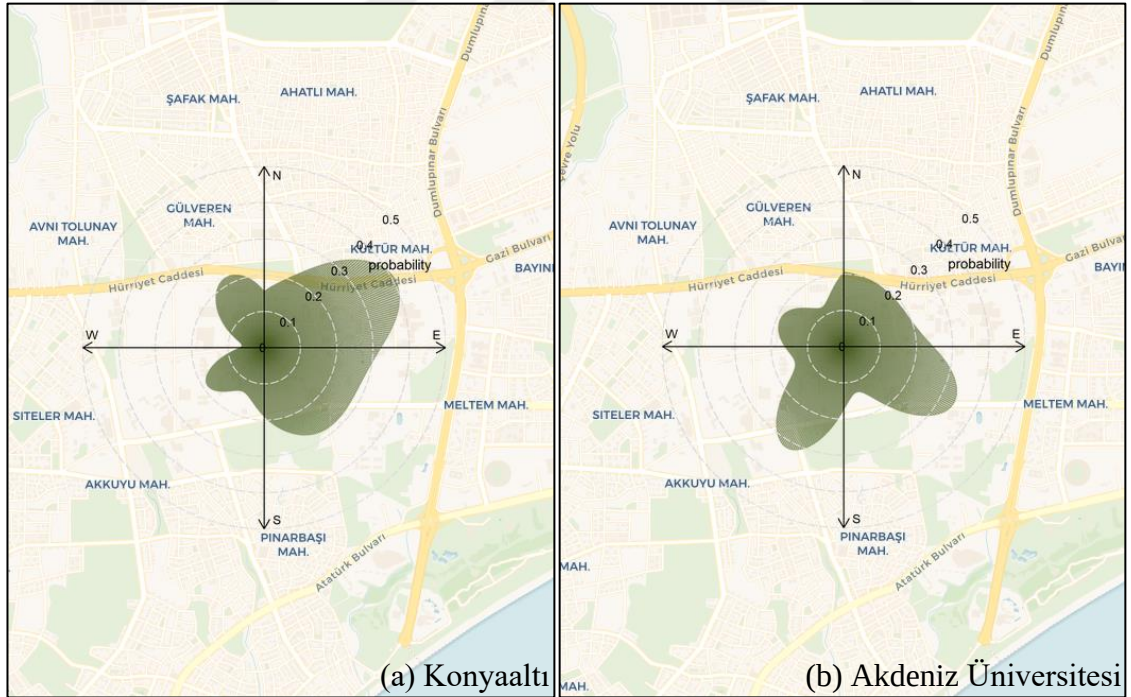
Şekil 4.36. Antropojenik kirlilik faktörü G-skor karşılaştırması



Şekil 4.37. Antropojenik kirlilik faktörünün profili ile hazırlanan EF_c değerleri



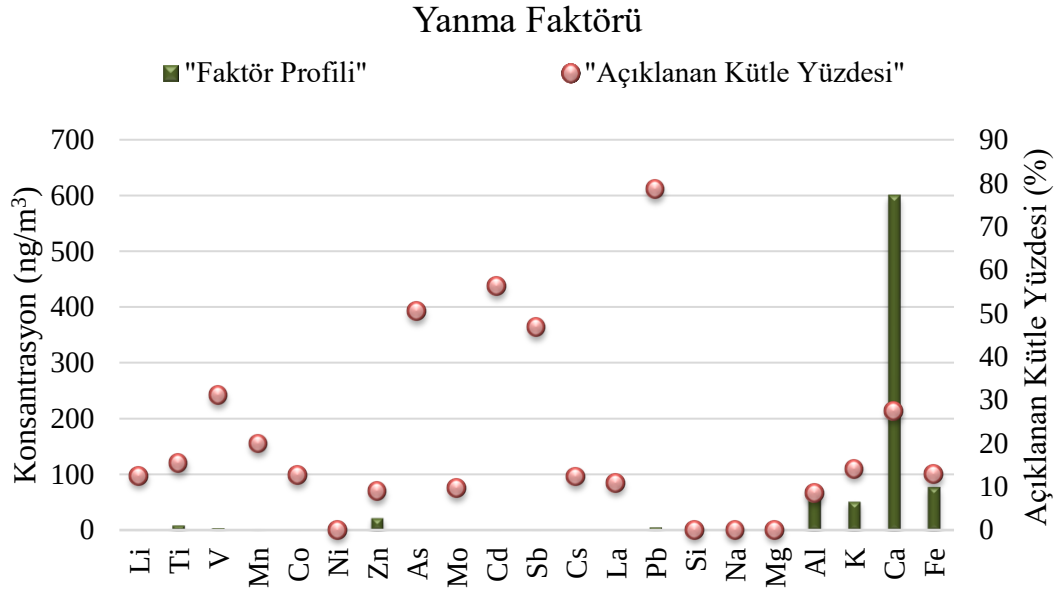
Şekil 4.38. Antropojenik kirlilik faktörünün G-skorları ile hazırlanan PKKF sonuçları



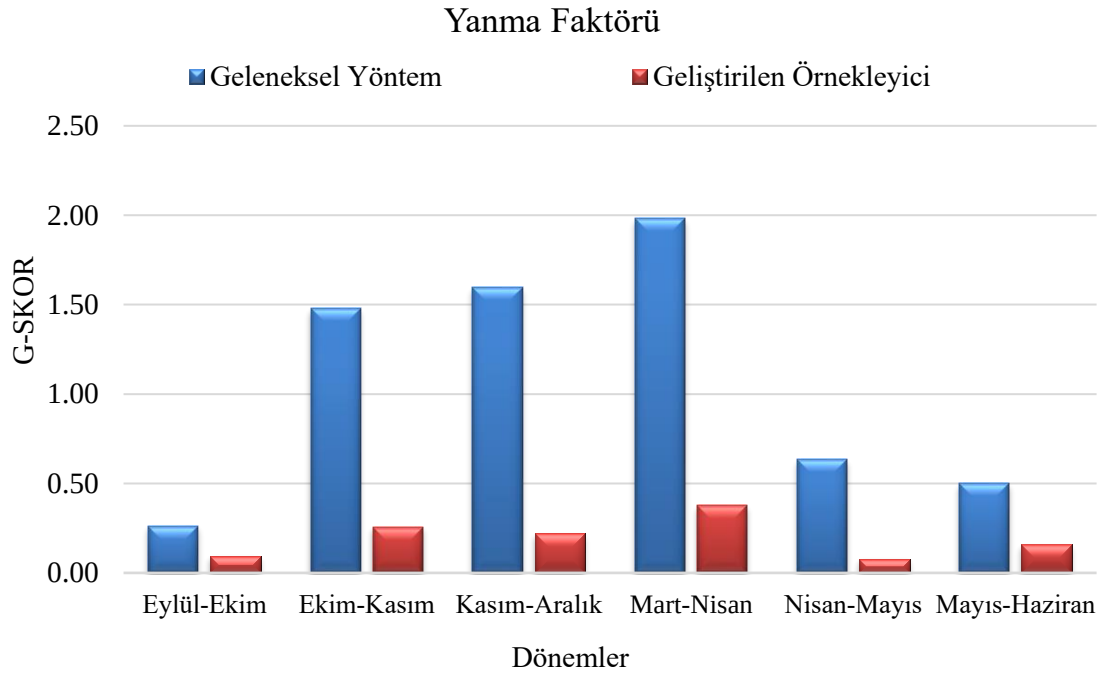
Şekil 4.39. Antropojenik kirlilik faktörünün (a) Konyaaltı ve (b) Akdeniz Üniversitesi meteoroloji istasyonlarından alınan veriler ile çizilen KOF grafiği

Dördüncü faktöre ait faktör profili ve elementlerin açıklanan yüzde kütleleri Şekil 4.40'de gösterilmiştir. Bu faktörde Pb, Cd, As gibi antropojenik kökenli elementlerin varyanslarının %50 ile %90 arasındaki kısmı açıklanmaktadır. Sb, V, Ca elementlerinin de %20-30'luk kısımları bu faktörde açıklanmıştır. Bu elementler literatürde özellikle kömür yakılmasının başlıca kaynakları olarak görülmektedir (Mokhtar vd. 2014; Hsu vd. 2016). Elementel kütlenin %9.8'i bu faktörde açıklanmıştır. G-skorların zamansal değişimi incelendiğinde özellikle Ekim ve Mart ayları arasındaki örnekleme döneminde yüksek faktör katkısı tespit edilmiştir (Şekil 4.41). Farklı örnekleme yöntemleri açısından incelendiğinde, geliştirilen örnekleyicinin genel olarak eksik kaldığı ancak konvansiyonel yöntemle elde edilen G-skor trendini takip ettiği belirlenmiştir. EF_c değerlerine bakıldığında zenginleşmiş olması da bu kaynağın antropojenik bir kaynak olduğunu desteklemektedir (Şekil 4.42).

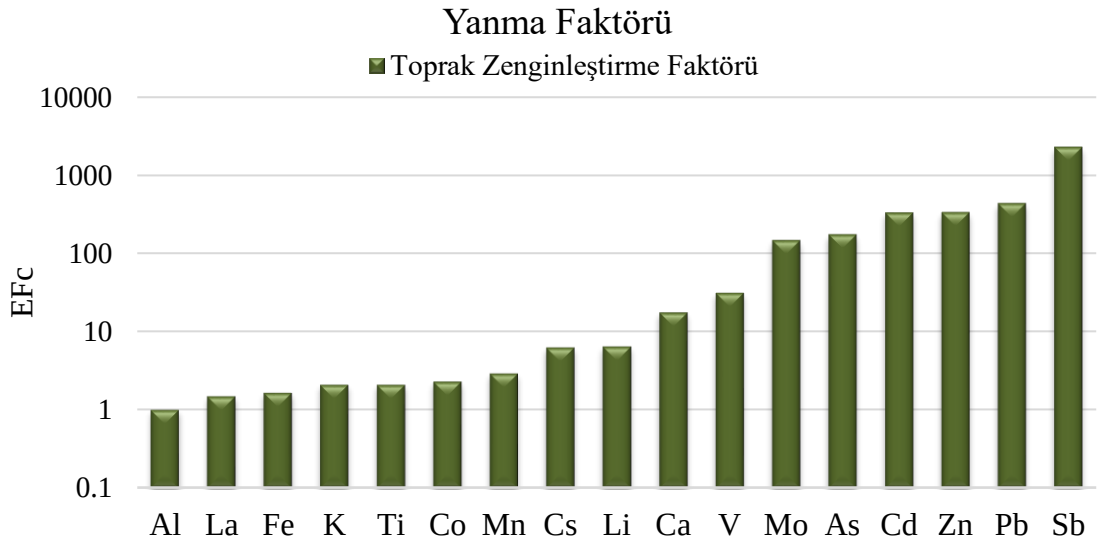
Dördüncü faktörün KOF grafikleri incelendiğinde her iki istasyon için de ağırlıklı olarak evsel ısınmada kömür kullanımının yaygın olduğu örnekleme istasyonunun kuzeyinde yer alan Kepez bölgesini işaret ettiği gözlenmiştir (Şekil 4.43).



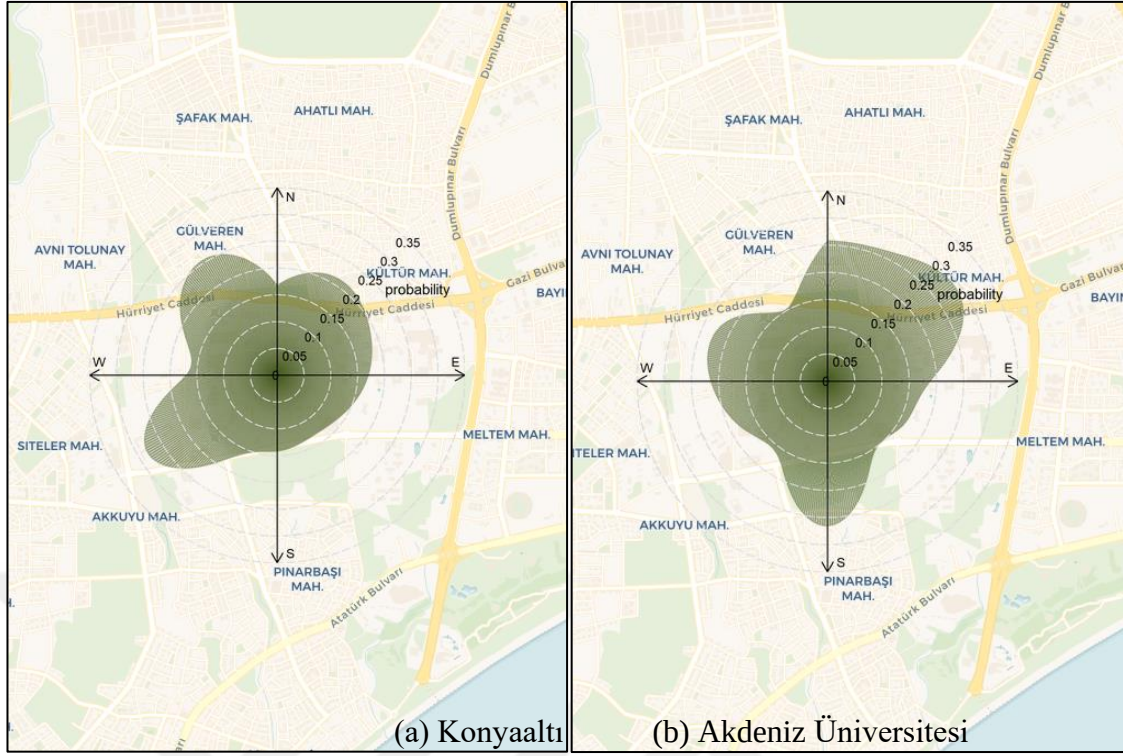
Şekil 4.40. Yanma faktörü, faktör profili ve elementlerin açıklanan kütle yüzdeleri



Şekil 4.41. Yanma Faktörü G-skor karşılaştırması

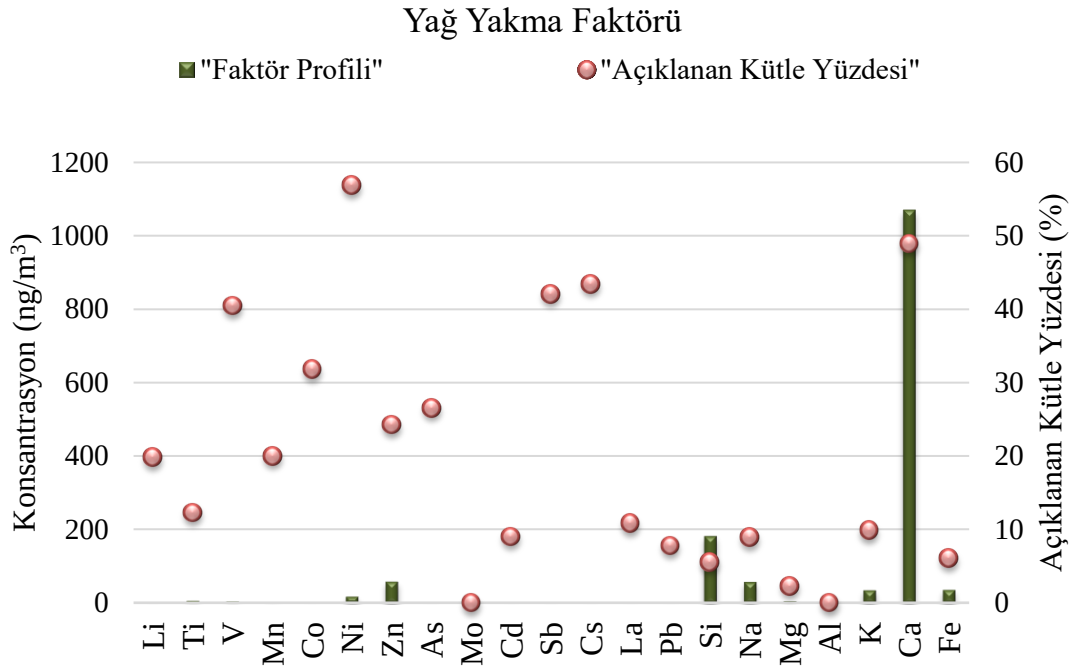


Şekil 4.42. Antropojenik kirlilik faktörünün profili ile hazırlanan EF_C değerleri

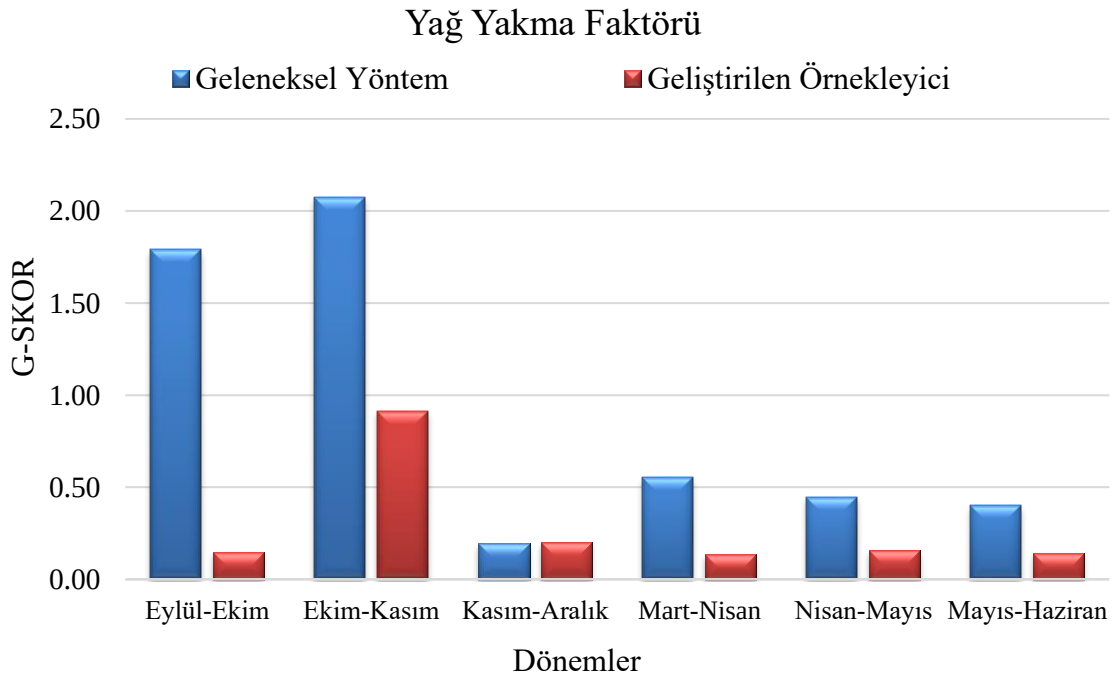


Şekil 4.43. Yanma emisyonları faktörünün (a) Konyaaltı ve (b) Akdeniz Üniversitesi meteoroloji istasyonlarından alınan veriler ile çizilen KOF grafiği

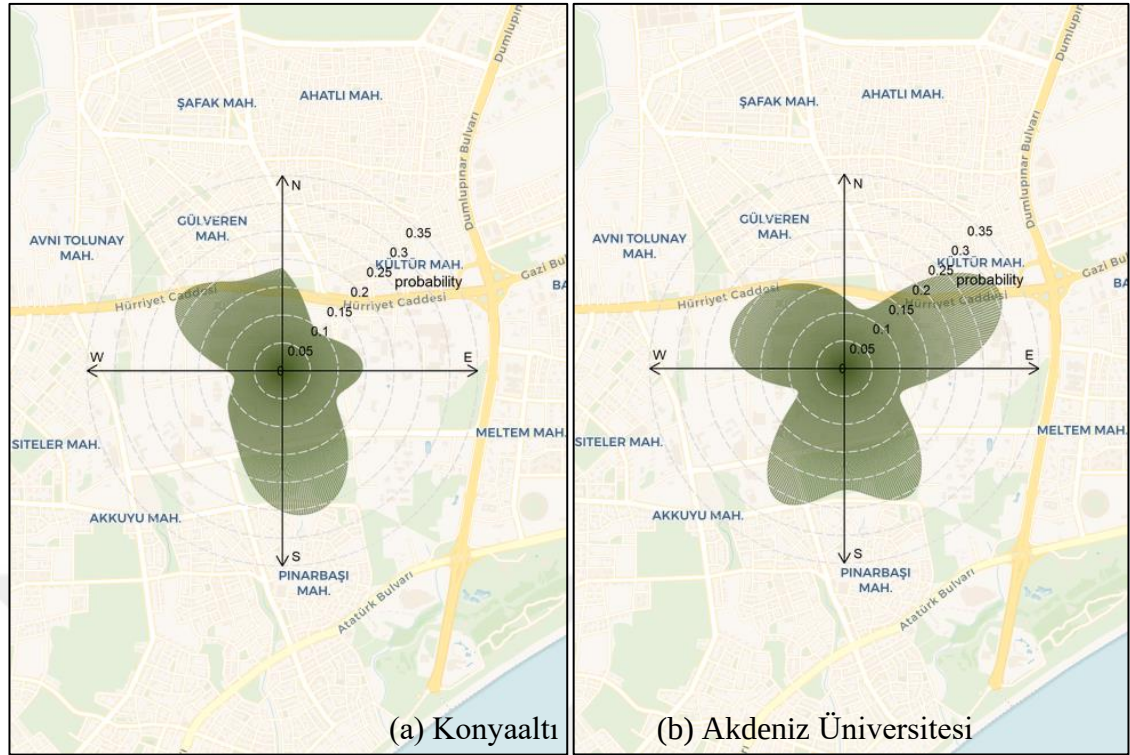
Beşinci faktör bir diğer antropojenik faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu faktöre ait faktör profili ve elementlerin açıklanan yüzde kütleleri Şekil 4.44’de gösterilmiştir. Bu faktörde V, Ni, Co, Sb, Cs, Ca gibi elementlerin varyanslarının %30 ile %60 arasındaki kısmı açıklanmaktadır. Elementel kütlenin % 17.2’si bu faktörde açıklanmıştır. G-skorların zamansal değişimi incelendiğinde özellikle Eylül ve Ekim ayları arasındaki örnekleme döneminde yüksek faktör katkısı tespit edilmiştir (Şekil 4.45). Geliştirilen örnekleyici diğer toprak harici faktörlerde olduğu gibi bu faktörde de genel trendi takip etmekte ve fakat konvansiyonel örnekleyiciye göre daha düşük katkı sunmaktadır. Bu faktörün belirleyici elementleri V ve Ni’dir ve bu iki element yağ yanması için iyi belgelenmiş indikatör elementlerdir (Pey vd. 2013; Waked vd. 2014; Pérez vd. 2016; Saraga vd. 2019; Javed ve Guo 2021) ve Akdeniz bölgesinde yapılan çalışmalarda denizcilik aktiviteleri ile ilişkilendirilmişlerdir (Uzunpınar vd. 2023). Bu faktör için hazırlanan KOF grafikleri Şekil 4.46’de sunulmuştur. Her iki istasyon için hazırlanan grafiklerin ağırlıklı olarak Antalya Limanı ve Akdeniz’i işaret ettiği belirlenmiştir.



Şekil 4.44. Yağ yakma faktörü, faktör profili ve elementlerin açıklanan kütle yüzdeleri



Şekil 4.45. Yağ yakma Faktörü G-skor karşılaştırması



Şekil 4.46. Yağ yanması emisyonları faktörünün (a) Konyaaltı ve (b) Akdeniz Üniversitesi meteoroloji istasyonlarından alınan veriler ile çizilen KOF grafiği

5. SONUÇLAR

İnsanoğlu tarih boyunca PM kirliliğine maruz kaldı. Çok uzun yıllar boyunca bu kirliliğe, rüzgarla taşınan kumlar, toprak ve kayaların erozyonu, volkanik patlamalar gibi doğal kaynaklar sebep oldu. İnsanoğlunun ateşi bulması ile başlayan doğayı kirlileme serüveni özellikle sanayi devrimi ile birlikte artan endüstriyel aktiviteler, fosil yakıtların yakılması vb. birçok antropojenik kaynağın doğal kaynaklara eklenmesi sonucu göz ardı edilemez bir duruma geldi. Günümüzde özellikle kentsel atmosferlerde PM emisyonlarının boyutlarını ve kimyasal içeriklerini bilmek, doğanın, iklimin ve toplumun bu emisyonlardan nasıl etkileneceği hakkında bilgi sahibi olabilmemiz için oldukça önemli.

Bu amaç doğrultusunda hem dünyada hem de ülkemizde ölçümler gerçekleştirilmektedir. Çeşitli ön impaktör başlıkları olan cihazlar ile belirli bir zaman dilimi boyunca (saatlik, günlük vb.) çeşitli filtreler (selüloz, polikarbonat, teflon vb.) üzerine toplanan örnekler şartlandırıldıktan sonra IC, ICP-MS, XRF gibi cihazlar ile analizlerinin gerçekleştirilmesi sonrasında PM'e bağlı elementel ve iyon konsantrasyonları tespit edilebilmektedir. Bu işlemler hem oldukça maliyetli olmakta hem de çok fazla zaman almaktadır.

Bununla birlikte yüksek maliyetli bu cihazlar kullanılarak örnekleme yapılacak noktalarda bölgenin altyapısının kalitesi ve güvenliği, örnekleme noktasının seçiminde önemli kriterler olarak karşımıza çıkmaktadır. Herhangi bir çalınma ya da cihazda altyapı kaynaklı (elektrik akımı ve voltajlardaki dalgalanmalar vb.) meydana gelebilecek tamiri güç problemlerin önüne geçmek için zaten oldukça maliyetli olan bu cihazlara ek yatırımlar yapılması zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.

Konvansiyonel cihazlar ile yapılan örnekleme çalışmaları çoğunluk 24 saatlik olmaktadır. Daha uzun süreli örneklemler cihazlarda kullanılan filtrelerin tıkanmasına dolayısıyla da cihaz performansının olumsuz etkilenmesine sebep olmaktadır. Daha kısa süreli örneklemlerde ise bu sefer karşımıza filtreden yeterli hava geçirilemediğinden hedeflenen elementlerin tayini için yeterli konsantrasyonların belirlenememesi sorunu çıkmaktadır. Bir elementin yıllık konsantrasyonu belirlenmek istendiğinde, hemen hemen her gün filtre değiştirmek gerekecek ve bu da örnek sayısının çok fazla olmasına sebep olacaktır. Ancak mevzuat gereği yıllık ortalama PM₁₀'a bağlı arsenik, kadmiyum, nikel ve kurşun konsantrasyonlarının belirlenmesi gerekmektedir.

Bu tez ile yukarıda anlatılan sebeplerin sonucu olarak ortaya çıkan iş yükü ve mevzuat gereksinimini aşmak için doğa tabanlı ve uygun fiyatlı bir çözüm geliştirilmiştir. Filtre olarak karayosunu kullanılabilecek olan bu çözümde, geliştirdiğimiz örnekleyici ile rüzgarla taşınan partiküllerin PM₁₀'dan büyüklerinin örnekleyici içerisine girmesi engellenmekte ve böylece sadece PM₁₀ örnekleme gerçekleştirilmektedir.

Karayosunları, sadece ortam havasından beslenerek büyüyen, kökleri olmayan canlılardır. Bunlar dayanıklı canlılar oldukları için sıklıkla hava kirliliği örnekleme çalışmalarında biyo-izleyici olarak kullanılmıştır.

Tezin ikinci kısmının amacı geliştirilen örnekleyici ile konvansiyonel yöntemi karşılaştırmak idi. Bu noktada elektrik ihtiyacı olmayan, rüzgâr ile momentum kazanan

PM₁₀'ları tutan ve çok düşük hacim ile uzun süre örnekleme gerçekleştiren pasif PM₁₀ cihazı geliştirme hedeflerinin bazılarında taviz verilmiştir. Örneğin kablo karmaşası ve pillerin güneş altında şişmesi nedeniyle kullanılamaz hale gelmesi nedeniyle elektrik ihtiyacını karşılamak üzere pil ve güneş paneli sisteminin kullanılması çalışmadan çıkarılmıştır. Cihazların geliştirilmesinde üç boyutlu yazıcılar kullanılmış ancak tüm cihazlar kusursuz bir uyum içerisinde çalışması sağlanamamıştır. Bu süreçte her ne kadar 6 cihaz ile örneklenmeye başlanmak istense de cihazların karmaşık iç yapısı sebebiyle senkronize hareket edememeleri sonucunda sadece 3 cihaz ile örnekleme işlemine başlanmıştır.

Geliştirilen örnekleyici ile birlikte aynı noktada konvansiyonel yöntem ile de örnekleme yapılmıştır. Örneklemeler 21/09/2021-21/12/2021 ve 19/01/2022-19/06/2022 tarihlerinde olmak üzere iki ayrı periyotta tamamlanmıştır. Birinci kampanya periyodunda örnekler günlük ve 24 saat kesintisiz olarak toplanmış ve toplanan bütün örnekler ICP-MS ve ICP-OES cihazları ile analiz edilmişlerdir. İkinci kampanya periyodunda ise örnekler her üç günde bir 72 saat kesintisiz olacak şekilde toplanmış ve analiz bütçesindeki eksiklik nedeniyle sadece 21/03/2022 ve 19/06/2022 tarihleri arasında toplanan örnekler ICP-MS ve ICP-OES cihazları ile analiz edilmiştir. Analizler sonucunda toplam 29 elementin konsantrasyonları belirlenmiştir.

Örnekleme sürecinde geliştirilen örnekleyici ile yapılan örneklemin rüzgârlı havalar yüzünden sekteye uğraması ve bazı parçaların kırılması, kullanılmayan cihazlardaki parçaların yedek parça olarak değerlendirilmesine yol açmıştır.

Geliştirilen örnekleyicide örneklenen hava miktarı gün gün hesaplanmıştır. Günlük 2 ile 30 m³ arasında havanın örneklendiği belirlenmiştir. Özellikle rüzgâr hızının yüksek olduğu dönemlerde yüksek konsantrasyonlu bir elementin örnekleyici içerisine daha fazla ulaşacağı ve konsantrasyonunun daha baskın olarak (over estimate) ölçülmesine yol açtığı tahmin edilmektedir. Günümüzde özellikle PAH ve UOB örneklemelelerinde kullanılan pasif örnekleyicilerde rüzgâr hızı ve sıcaklığa bağlı denklemler kullanılmakta iken bu varyasyon sorun olarak görülmemektedir.

Örneklerin elementel analiz sonuçları incelendiğinde konvansiyonel yöntem ile elde edilen sonuçların geçmişte yine aynı yerde gerçekleştirilen çalışmalarındaki sonuçlarla benzer varyasyon gösterdiği ancak genel olarak toprak kökenli elementler hariç olmak üzere konvansiyonel yöntem ile tespit edilen değerlerden daha düşük konsantrasyon değerlerine sahip oldukları belirlenmiştir. Bu hususun homojen karayosunu yapısının oluşturulamaması ve/veya karayosunlarının örnekleyici içerisinde homojen örnek toplayamaması ve/veya örnekleyicinin PM₁₀'u süzmede başarısız kalması gibi sebeplerden ötürü olabileceği değerlendirilmiştir.

Kirlilik kaynaklarının belirlenmesi amacıyla PMF uygulanmış, veri sayısını arttırmak ve aynı çalışma içerisinde karşılaştırılabilir sonuçlar elde etmek için konvansiyonel yöntem ile elde edilen veri seti ile geliştirilen yöntem ile elde edilen veri setleri birleştirilmiştir. PMF analizi sonucunda deniz tuzu, toprak, antropojenik kirlilik, yanma ve yağ yakma olmak üzere 5 faktör bulunmuştur. Geliştirilen yöntem ile tüm faktörlerin izleri belirlenmiş olsa da özellikle toprak faktörünün baskınlığının bir sapmaya (bias) sebep olduğu görülmüştür. Diğer faktörlerin de genel olarak daha düşük ve benzer trendde katkılarının olduğu görülmüştür. Genel olarak sonuçlar değerlendirildiğinde

daha sonraki çalışmalarda aşağıdaki hususların dikkate alınarak örnekleyicinin geliştirilmesi gerekliliği görülmektedir:

- Karayosunlarının geri plan konsantrasyonunda homojenizasyon gerekmektedir.
- Karayosunlarının örnekleyici içerisinde homojen örnek toplaması için giriş yapısı geliştirilmelidir.
- Örneklem süresinin daha uzun tutulmasının S/B oranına olan etkisinin incelenmesi gerekmektedir.
- Geliştirilen örnekleyicinin her rüzgâr hızında benzer hava örnekleme yapması için örnekleyicinin optimize edilmesi gerekmektedir.
- Geliştirilen örnekleyicinin PM₁₀ süzme kapasitesinin yeterliliği test edilmelidir.

Geliştirilen örnekleme sisteminin kentsel atmosfer yapısında bulunan PAH ve PCB gibi yarı uçucu bileşiklerin tayininde de kullanılabileceği değerlendirilmelidir.

6. KAYNAKLAR

- Aboal, J.R., Couto, J.A., Fernández, J.A. ve Carballeira, A. 2006. Definition and number of subsamples for using mosses as biomonitors of airborne trace elements. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 50 (1): 88-96.
- Acar, O. 2006. Biomonitoring and annual variability of heavy metal concentration changes using moss (*hypnum cupressiforme* L. Ex. Hedw.) in canakkale province. *Journal of Biological Sciences*, 6: 38-44.
- Adamo, P., Giordano, S., Vingiani, S., Castaldo Cobianchi, R. ve Violante, P. 2003. Trace element accumulation by moss and lichen exposed in bags in the city of naples (italy). *Environmental Pollution*, 122 (1): 91-103.
- Adamo, P., Crisafulli, P., Giordano, S., Minganti, V., Modenesi, P., Monaci, F., Pittao, E., Tretiach, M. ve Bargagli, R. 2007. Lichen and moss bags as monitoring devices in urban areas. Part ii: Trace element content in living and dead biomonitors and comparison with synthetic materials. *Environmental Pollution*, 146 (2): 392-399.
- Adamo, P., Giordano, S., Sforza, A. ve Bargagli, R. 2011. Implementation of airborne trace element monitoring with devitalised transplants of *hypnum cupressiforme* hedw.: Assessment of temporal trends and element contribution by vehicular traffic in naples city. *Environmental Pollution*, 159 (6): 1620-1628.
- Akçay, N., Batan, N. ve Çinar, Y. 2016. Investigate of atmospheric arsenic, cadmium, chromium, lead, and mercury levels in moss species found around zilkale, by edxrf spectrometry. *AIP Conference Proceedings*, 1726 (1):
- Aksoy, A. ve Öztürk, M.A. 1997. *Nerium oleander* L. As a biomonitor of lead and other heavy metal pollution in mediterranean environments. *Science of the Total Environment*, 205 (2): 145-150.
- Al-Momani, I.F., Aygun, S. ve Tuncel, G. 1998. Wet deposition of major ions and trace elements in the eastern mediterranean basin. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 103 (D7): 8287-8299.
- Ares, A., Aboal, J.R., Carballeira, A., Giordano, S., Adamo, P. ve Fernández, J.A. 2012. Moss bag biomonitoring: A methodological review. *Science of the Total Environment*, 432: 143-158.
- Ashbaugh, L.L., Malm, W.C. ve Sadeh, W.Z. 1985. A residence time probability analysis of sulfur concentrations at grand canyon national park. *Atmospheric Environment* (1967), 19 (8): 1263-1270.
- Augusto, S., Máguas, C. ve Branquinho, C. 2013. Guidelines for biomonitoring persistent organic pollutants (pops), using lichens and aquatic mosses – a review. *Environmental Pollution*, 180: 330-338.

- Bae, M.-S., Schwab, J.J., Chen, W.-N., Lin, C.-Y., Rattigan, O.V. ve Demerjian, K.L. 2011. Identifying pollutant source directions using multiple analysis methods at a rural location in new york. *Atmospheric Environment*, 45 (15): 2531-2540.
- Bargagli, R., Brown, D.H. ve Nelli, L. 1995. Metal biomonitoring with mosses: Procedures for correcting for soil contamination. *Environmental Pollution*, 89 (2): 169-175.
- Basile, A., Sorbo, S., Aprile, G., Conte, B., Castaldo Cobianchi, R., Pisani, T. ve Loppi, S. 2009. Heavy metal deposition in the italian “triangle of death” determined with the moss *scorpiurum circinatum*. *Environmental Pollution*, 157 (8): 2255-2260.
- Basile, A., Sorbo, S., Pisani, T., Paoli, L., Munzi, S. ve Loppi, S. 2012. Bioaccumulation and ultrastructural effects of cd, cu, pb and zn in the moss *scorpiurum circinatum* (brid.) fleisch. & loeske. *Environmental Pollution*, 166: 208-211.
- Bertuzzi, S., Candotto Carniel, F., Pipan, G. ve Tretiach, M. 2013. Devitalization of poikilohydric lithobionts of open-air monuments by heat shock treatments: A new case study centred on bryophytes. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 84: 44-53.
- Betsou, C., Diapouli, E., Tsakiri, E., Papadopoulou, L., Frontasyeva, M., Eleftheriadis, K. ve Ioannidou, A. 2021. First-time source apportionment analysis of deposited particulate matter from a moss biomonitoring study in northern greece. *Atmosphere*, 12 (2): 208.
- Boquete, M.T., Fernández, J.A., Aboal, J.R. ve Carballeira, A. 2011. Analysis of temporal variability in the concentrations of some elements in the terrestrial moss *pseudoscleropodium purum*. *Environmental and Experimental Botany*, 72 (2): 210-216.
- Çabuk, H., Kılıç, M.S. ve Ören, M. 2014. Biomonitoring of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban and industrial environments of the western black sea region, turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186 (3): 1515-1524.
- Calzolari, G., vd. 2015. Characterization of pm_{10} sources in the central mediterranean. *Atmos. Chem. Phys.*, 15 (24): 13939-13955.
- Carslaw, D.C. ve Ropkins, K. 2012. Openair — an r package for air quality data analysis. *Environmental Modelling & Software*, 27-28: 52-61.
- Castello, M. 1996. Monitoring of airborne metal pollution by moss bags: A methodological study. *Studia Geobotanica*, 15: 91-103.
- Cayir, A., Coskun, M. ve Coskun, M. 2008. Concentrations of some elements in the bioindicator organism *cladonia rangiformis* collected at the vicinity of canakkale. *Ekoloji*, 18: 7-13.

- Chatoutsidou, S.E. ve Lazaridis, M. 2022. Mass concentrations and elemental analysis of pm_{2.5} and pm₁₀ in a coastal mediterranean site: A holistic approach to identify contributing sources and varying factors. *Science of the Total Environment*, 838: 155980.
- Chueinta, W., Hopke, P.K. ve Paatero, P. 2000. Investigation of sources of atmospheric aerosol at urban and suburban residential areas in thailand by positive matrix factorization. *Atmospheric Environment*, 34 (20): 3319-3329.
- Coskun, M., Steinnes, E., Coskun, M. ve Cayir, A. 2009a. Comparison of epigeic moss (*hypnum cupressiforme*) and lichen (*cladonia rangiformis*) as biomonitor species of atmospheric metal deposition. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 82 (1): 1-5.
- Coskun, M., Cayir, A., Coskun, M. ve Kilic, O. 2011. Heavy metal deposition in moss samples from east and south marmara region, turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 174 (1): 219-227.
- Coşkun, M., Frontasyeva, M.V., Steinnes, E., Çotuk, A.Y., Pavlov, S.S., Coşkun, M., Sazonov, A.S., Çayır, A. ve Belivermis, M. 2005. Atmospheric deposition of heavy metals in thrace studied by analysis of moss (*hypnum cupressiforme*). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 74 (1): 201-209.
- Coşkun, M., Yurukova, L., Çayır, A., Coşkun, M. ve Gecheva, G. 2009b. Cross-border response of mosses to heavy metal atmospheric deposition in southeastern bulgaria and european turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 157 (1): 529-537.
- Cucu-Man, S.-M. ve Steinnes, E. 2013. Analysis of selected biomonitors to evaluate the suitability for their complementary use in monitoring trace element atmospheric deposition. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185 (9): 7775-7791.
- Cusack, M., Arrieta, J.M. ve Duarte, C.M. 2020. Source apportionment and elemental composition of atmospheric total suspended particulates (tsp) over the red sea coast of saudi arabia. *Earth Systems and Environment*, 4 (4): 777-788.
- De Nevers, N. 2000. Air pollution control engineering. McGraw-Hill, U.S., 586 s.
- Demiray, D., Yolcubal, A., Akyol, I., Nihat, H. ve Cekicoglu, G. 2012. Biomonitoring of airborne metals using the lichen *xanthoria parietina* in kocaeli province, turkey. *Ecological Indicators*, 18: 632-643.
- Devlet Hava Meydanları 2023. İstatistikler. <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/Istatistikler.aspx> [Son erişim tarihi: 08.05.2023]

- Doğan, G. 2005. Comparison of the rural atmosphere aerosol compositions at different parts of turkey. Middle East Technical University, Ankara, 195-195 s.
- Doğan, G., Güllü, G. ve Tuncel, G. 2008. Sources and source regions effecting the aerosol composition of the eastern mediterranean. *Microchemical Journal*, 88 (2): 142-149.
- Doğan, G., Güllü, G., Karakas, D. ve Tuncel, G. 2010. Comparison of source regions affecting so₄²⁻ and no₃⁻ concentrations at the eastern mediterranean and black sea atmospheres. *Current Analytical Chemistry*, 12 (6): 66-71.
- Draxler, R.R. ve Hess, G.D. 1998. An overview of the hysplit₄ modelling system for trajectories, dispersion and deposition. *Australian Meteorological Magazine*, (47): 295-308.
- Ebas 2023. The emep database for observation data of atmospheric chemical composition and physical properties. [Son erişim tarihi: 08.05.2023]
- Gailey, F.a.Y. ve Lloyd, O.L. 1986. Methodological investigations into low technology monitoring of atmospheric metal pollution: Part 3—the degree of replicability of the metal concentrations. *Environmental Pollution Series B, Chemical and Physical*, 12 (2): 85-109.
- Giordano, S., Adamo, P., Monaci, F., Pittao, E., Tretiach, M. ve Bargagli, R. 2009. Bags with oven-dried moss for the active monitoring of airborne trace elements in urban areas. *Environmental Pollution*, 157 (10): 2798-2805.
- Giordano, S., Adamo, P., Spagnuolo, V., Tretiach, M. ve Bargagli, R. 2013. Accumulation of airborne trace elements in mosses, lichens and synthetic materials exposed at urban monitoring stations: Towards a harmonisation of the moss-bag technique. *Chemosphere*, 90 (2): 292-299.
- Goodman, G.T. ve Roberts, T.M. 1971. Plants and soils as indicators of metals in the air. *Nature*, 231 (5301): 287-292.
- Griffin, R.D. 2006. Principles of air quality management, second edition. CRC Press, USA, s.
- Gullu, G., Dogan, G. ve Tuncel, G. 2005a. Atmospheric trace element and major ion concentrations over the eastern mediterranean sea: Identification of anthropogenic source regions. *Atmospheric Environment*, 39 (34): 6376-6387.
- Güllü, G. 1996. Long range transport of pollutants. Middle East Technical University, Ankara, s.
- Güllü, G., Tıpırdamaz, R., Başaran, S., Sarıbaşak, H., Akkoyunlu, E. ve Özkum, D. 2005b. Akdeniz bölgesinde ozon kirliliği ve ormanlara olan etkilerinin incelenmesi. TÜBİTAK, 102I049, Ankara, 83-83.

- Güllü, G.H., Ölmez, I., Aygün, S. ve Tuncel, G. 1998. Atmospheric trace element concentrations over the eastern mediterranean sea: Factors affecting temporal variability. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 103 (D17): 21943-21954.
- Heo, J.B., Hopke, P.K. ve Yi, S.M. 2009. Source apportionment of $pm_{2.5}$ in seoul, korea. *Atmos. Chem. Phys.*, 9 (14): 4957-4971.
- Hopke, P.K., Li, C.L., Ciszek, W. ve Landsberger, S. 1995. The use of bootstrapping to estimate conditional probability fields for source locations of airborne pollutants. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 30 (1): 69-79.
- Hopke, P.K. 2009. Chapter 1 theory and application of atmospheric source apportionment. In: Legge, A.H. (Ed.), *Developments in environmental science*, Elsevier, pp. 1-33.
- Hsu, C.Y., Chiang, H.C., Lin, S.L., Chen, M.J., Lin, T.Y. ve Chen, Y.C. 2016. Elemental characterization and source apportionment of pm_{10} and $pm_{2.5}$ in the western coastal area of central taiwan. *Science of the Total Environment*, 541: 1139-1150.
- Hu, R., Yan, Y., Zhou, X., Wang, Y. ve Fang, Y. 2018. Monitoring heavy metal contents with sphagnum junghuhnianum moss bags in relation to traffic volume in wuxi, china. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15 (2): 374.
- Hwang, I. ve Hopke, P.K. 2007. Estimation of source apportionment and potential source locations of $pm_{2.5}$ at a west coastal improve site. *Atmospheric Environment*, 41 (3): 506-518.
- Icel, Y. ve Çobanoğlu, G. 2009. Biomonitoring of atmospheric heavy metal pollution using lichens and mosses in the city of istanbul, turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 18: 2066-2071.
- Jaeckels, J.M., Bae, M.-S. ve Schauer, J.J. 2007. Positive matrix factorization (pmf) analysis of molecular marker measurements to quantify the sources of organic aerosols. *Environmental Science & Technology*, 41 (16): 5763-5769.
- Jain, S., Sharma, S.K., Vijayan, N. ve Mandal, T.K. 2020. Seasonal characteristics of aerosols ($pm_{2.5}$ and pm_{10}) and their source apportionment using pmf: A four year study over delhi, india. *Environmental Pollution*, 262: 114337.
- Javed, W. ve Guo, B. 2021. Chemical characterization and source apportionment of fine and coarse atmospheric particulate matter in doha, qatar. *Atmospheric Pollution Research*, 12 (2): 122-136.
- Kılıç, Ö., Belivermiş, M., Sıkdokur, E., Sezer, N., Erentürk, S.A., Hacıyakupoglu, S., Chaligava, O., Frontasyeva, M., Zinicovscaia, I. ve Madadzada, A. 2021.

- Temporal changes of atmospheric deposition of major and trace elements in european turkey, thrace region. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 329 (1): 371-381.
- Kim, E., Hopke, P.K. ve Edgerton, E.S. 2003a. Source identification of atlanta aerosol by positive matrix factorization. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 53 (6): 731-739.
- Kim, E., Larson, T.V., Hopke, P.K., Slaughter, C., Sheppard, L.E. ve Claiborn, C. 2003b. Source identification of pm2.5 in an arid northwest u.S. City by positive matrix factorization. *Atmospheric Research*, 66 (4): 291-305.
- Kinalioglu, K., Ozbucak, T., Kutbay, G., Huseyinova, R., Bilgin, A. ve Demirayak, A.L.I. 2010. Biomonitoring of trace elements with lichens in samsun city, turkey. *Ekoloji*, 19: 64-70.
- Kłos, A., vd. 2018. Using moss and lichens in biomonitoring of heavy-metal contamination of forest areas in southern and north-eastern poland. *Science of the Total Environment*, 627: 438-449.
- Koçak, M., Theodosi, C., Zarmas, P., Im, U., Bougiatioti, A., Yenigun, O. ve Mihalopoulos, N. 2011. Particulate matter (pm10) in istanbul: Origin, source areas and potential impact on surrounding regions. *Atmospheric Environment*, 45 (38): 6891-6900.
- Koz, B. ve Cevik, U. 2014. Lead adsorption capacity of some moss species used for heavy metal analysis. *Ecological Indicators*, 36: 491-494.
- Kuloglu, E. ve Tuncel, G. 2005. Size distribution of trace elements and major ions in the eastern mediterranean atmosphere. *Water Air and Soil Pollution*, 167 (1-4): 221-241.
- Lazo, P., Stafilov, T., Qarri, F., Allajbeu, S., Bekteshi, L., Frontasyeva, M. ve Harmens, H. 2019. Spatial distribution and temporal trend of airborne trace metal deposition in albania studied by moss biomonitoring. *Ecological Indicators*, 101: 1007-1017.
- Lee, E., Chan, C.K. ve Paatero, P. 1999. Application of positive matrix factorization in source apportionment of particulate pollutants in hong kong. *Atmospheric Environment*, 33 (19): 3201-3212.
- Lopes, F., Appoloni, R.C., Nascimento, F.V., Melquiades, L.F. ve Almeida, C.L. 2006. Chemical characterization of particulate matter suspended in the atmosphere by energy dispersive x-ray fluorescence (edxrf). *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 270 (1): 43-46.
- Lupu, A. ve Maenhaut, W. 2002. Application and comparison of two statistical trajectory techniques for identification of source regions of atmospheric aerosol species. *Atmospheric Environment*, 36 (36-37): 5607-5618.

- Mason, B.H. 1966. Principles of geochemistry. Wiley, London, 329 s.
- Mokhtar, M.M., Taib, R.M. ve Hassim, M.H. 2014. Understanding selected trace elements behavior in a coal-fired power plant in malaysia for assessment of abatement technologies. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 64 (8): 867-878.
- Munzur, B. ve Tuncel, G. 2008. Chemical composition of atmospheric particles in the aegean region. Middle East Technical University, Ankara, 107-107 s.
- Nicolás, J., Chiari, M., Crespo, J., Orellana, I.G., Lucarelli, F., Nava, S., Pastor, C. ve Yubero, E. 2008. Quantification of saharan and local dust impact in an arid mediterranean area by the positive matrix factorization (pmf) technique. *Atmospheric Environment*, 42 (39): 8872-8882.
- Noaa 2016. Hysplit basic tutorial contents. <https://ready.arl.noaa.gov/documents/Tutorial/html/index.html> [Son erişim tarihi: 05/06/2023]
- Olise, F.S., Ogundele, L.T., Olajire, M.A., Owoade, O.K., Oloyede, F.A., Fawole, O.G. ve Ezech, G.C. 2019. Biomonitoring of environmental pollution in the vicinity of iron and steel smelters in southwestern nigeria using transplanted lichens and mosses. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191 (11): 691.
- Oztetik, E. ve Cicek, A. 2011. Effects of urban air pollutants on elemental accumulation and identification of oxidative stress biomarkers in the transplanted lichen pseudovernia furfuracea. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 30 (7): 1629-1636.
- Ozturk, F., Zararsiz, A., Dutkiewicz, V.A., Husain, L., Hopke, P.K. ve Tuncel, G. 2012. Temporal variations and sources of eastern mediterranean aerosols based on a 9-year observation. *Atmospheric Environment*, 61: 463-475.
- Öztürk, F. 2009. Investigation of short and long term trends in the eastern mediterranean aerosol composition. Middle East Technical University, Ankara, 451-451 s.
- Öztürk, F., Zararsız, A., Dutkiewicz, V.A., Husain, L., Hopke, P.K. ve Tuncel, G. 2012. Temporal variations and sources of eastern mediterranean aerosols based on a 9-year observation. *Atmospheric Environment*, 61 (0): 463-475.
- Paatero, P. ve Tapper, U. 1994. Positive matrix factorization - a nonnegative factor model with optimal utilization of error-estimates of data values. *Environmetrics*, 5 (2): 111-126.
- Paraskevopoulou, D., Liakakou, E., Gerasopoulos, E. ve Mihalopoulos, N. 2015. Sources of atmospheric aerosol from long-term measurements (5 years) of chemical composition in athens, greece. *Science of the Total Environment*, 527: 165-178.

- Pekey, H., vd. 2008. Kocaeli’de evlerde, ofislerde ve okullarda İç ortam hava kalitesinin belirlenmesi. TÜBİTAK ÇAYDAG, 375.
- Pérez, N., Pey, J., Reche, C., Cortés, J., Alastuey, A. ve Querol, X. 2016. Impact of harbour emissions on ambient pm10 and pm2.5 in barcelona (spain): Evidences of secondary aerosol formation within the urban area. *Science of the Total Environment*, 571: 237-250.
- Pey, J., Pérez, N., Cortés, J., Alastuey, A. ve Querol, X. 2013. Chemical fingerprint and impact of shipping emissions over a western mediterranean metropolis: Primary and aged contributions. *Science of the Total Environment*, 463-464: 497-507.
- Plaisance, H., Galloo, J.C. ve Guillermo, R. 1997. Source identification and variation in the chemical composition of precipitation at two rural sites in france. *Science of the Total Environment*, 206 (1): 79-93.
- Polissar, A.V., Hopke, P.K., Paatero, P., Kaufmann, Y.J., Hall, D.K., Bodhaine, B.A., Dutton, E.G. ve Harris, J.M. 1999. The aerosol at barrow, alaska: Long-term trends and source locations. *Atmospheric Environment*, 33 (16): 2441-2458.
- Polissar, A.V., Hopke, P.K. ve Poirot, R.L. 2001. Atmospheric aerosol over vermont: Chemical composition and sources. *Environmental Science & Technology*, 35 (23): 4604-4621.
- Rivera, M., vd. 2011. Monitoring of heavy metal concentrations in home outdoor air using moss bags. *Environmental Pollution*, 159 (4): 954-962.
- Rühling, Å. 1994. Atmospheric heavy metal deposition in europe—estimations used on moss analysis. Nord 1994:9, Copenhagen, 53.
- Rühling, Å. ve Steinnes, E. 1998. Atmospheric heavy metal deposition in europe 1995-1996. Nord 1998:15, Copenhagen, 66.
- Sahu, M., Hu, S., Ryan, P.H., Le Masters, G., Grinshpun, S.A., Chow, J.C. ve Biswas, P. 2011. Chemical compositions and source identification of pm2.5 aerosols for estimation of a diesel source surrogate. *Science of the Total Environment*, 409 (13): 2642-2651.
- Saraga, D.E., Tolis, E.I., Maggos, T., Vasilakos, C. ve Bartzis, J.G. 2019. Pm2.5 source apportionment for the port city of thessaloniki, greece. *Science of the Total Environment*, 650: 2337-2354.
- Sarı, C. ve Koçak, İ. 2012. Dünden bugüne antalya. T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, Ankara, s.
- Seinfeld, J.H. ve Pandis, S.N. 2006. Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change. Wiley, New Jersey, s.

- Seneviratne, M.C.S., Waduge, V.A., Hadagiripathira, L., Sanjeewani, S., Attanayake, T., Jayaratne, N. ve Hopke, P.K. 2011. Characterization and source apportionment of particulate pollution in colombo, sri lanka. *Atmospheric Pollution Research*, 2 (2): 207-212.
- Sharma, V.K. 2010. Importance of source apportionment modeling in air pollution abatement policy. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 12 (1): 3-4.
- Sofowote, U.M., Su, Y., Dabek-Zlotorzynska, E., Rastogi, A.K., Brook, J. ve Hopke, P.K. 2015. Sources and temporal variations of constrained pmf factors obtained from multiple-year receptor modeling of ambient pm2.5 data from five speciation sites in ontario, canada. *Atmospheric Environment*, 108 (0): 140-150.
- Spagnuolo, V., Zampella, M., Giordano, S. ve Adamo, P. 2011. Cytological stress and element uptake in moss and lichen exposed in bags in urban area. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74 (5): 1434-1443.
- Špirić, Z., Vučković, I., Stafilov, T., Kušan, V. ve Frontasyeva, M. 2013. Air pollution study in croatia using moss biomonitoring and icp-aes and aas analytical techniques. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 65 (1): 33-46.
- Stafilov, T., Šajn, R., Barandovski, L., Andonovska, K.B. ve Malinovska, S. 2018. Moss biomonitoring of atmospheric deposition study of minor and trace elements in macedonia. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 11 (2): 137-152.
- Tarcau, D., Cucu-Man, S., Boruvkova, J., Klanova, J. ve Covaci, A. 2013. Organochlorine pesticides in soil, moss and tree-bark from north-eastern romania. *Science of the Total Environment*, 456-457: 317-324.
- Tepe, A.M. 2016. Antalya ortam havasındaki pm2,5 ve pm10'a bağlı metal konsantrasyonlarının ve kaynaklarının belirlenmesi. Yüksek Lisans, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 127 s.
- Tepe, A.M. ve Doğan, G. 2021. Chemical characterization of pm2.5 and pm2.5-10 samples collected in urban site in mediterranean coast of turkey. *Atmospheric Pollution Research*, 12 (1): 46-59.
- Tretiach, M., Adamo, P., Bargagli, R., Baruffo, L., Carletti, L., Crisafulli, P., Giordano, S., Modenesi, P., Orlando, S. ve Pittao, E. 2007. Lichen and moss bags as monitoring devices in urban areas. Part i: Influence of exposure on sample vitality. *Environmental Pollution*, 146 (2): 380-391.
- Tuncel, G., Civan, M., Yücel, G. ve Koçak, E. 2019. Atmosferdeki parçacık sayısal konsantrasyonu ile kütleli konsantrasyonu arasındaki ilişkinin kurulması ve parçacık sayısal boyut dağılımlarının atmosferik olaylardan ne kadar etkilendiğinin incelenmesi. TÜBİTAK ÇAYDAG, 115Y252, 141.

- Tuncel, S.G., Müezznoğlu, A. ve Tuncel, S., Bayram, A., Odabaşı, M., Elbir, T., Sofuoğlu, S., Pekey, B., Pekey, H., Seyfioğlu, R., Zararsız, A., Dumanoglu, Y., Kırmaz, R., Abdulkarım, S., Doğan, G., & Yılmaz, M. 2007. İzmir aliaga endüstri bölgesinde hava kirliliğine neden olan organik ve inorganik kirleticilerin düzeylerinin, kaynaklarının ve sağlık etkilerinin belirlenmesi. TÜBİTAK ÇAYDAG, 104Y276, Ankara,
- Türkan, I., Henden, E., Çelik, Ü. ve Kivilcim, S. 1995. Comparison of moss and bark samples as biomonitors of heavy metals in a highly industrialised area in izmir, turkey. *Science of the Total Environment*, 166 (1): 61-67.
- Türkiye İstatistik Kurumu 2023a. Temel İstatistikler nüfus ve demografi. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=nufus-ve-demografi-109&dil=1> [Son erişim tarihi: 08.05.2023]
- Türkiye İstatistik Kurumu 2023b. Ulaştırma ve haberleşme. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=ulastirma-ve-haberlesme-112&dil=1> [Son erişim tarihi: 08.05.2023]
- Türkiye İstatistik Kurumu 2023c. Tarım. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111&dil=1> [Son erişim tarihi: 08.05.2023]
- Türkiye İstatistik Kurumu 2023d. Turizm İstatistikleri. <https://biruni.tuik.gov.tr/turizmapp/menuturizm.zul> [Son erişim tarihi: 08.05.2023]
- U.S. Environmental Protection Agency. 2012. Regulatory impact analysis for the final revisions to the national ambient air quality standards for particulate matter. EPA Report, EPA-452/R-12-005, North Carolina, 455-455.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2017. Method detection limit - frequent questions. Retrieved from. <https://www.epa.gov/cwa-methods/method-detection-limit-frequent-questions> [Son erişim tarihi: 08.05.2023]
- Uyar, G., Ören, M., Yildirim, Y. ve Öncel, S. 2008. Biomonitoring of metal deposition in the vicinity of eregli steel plant in turkey. *Environmental Forensics*, 9 (4): 350-363.
- Uyar, G., Avcil, E., Ören, M., Karaca, F. ve Öncel, M.S. 2009. Determination of heavy metal pollution in zonguldak (turkey) by moss analysis (hypnum cupressiforme). *Environmental Engineering Science*, 26 (1): 183-194.
- Uzunpınar, S., Balcılar, I., Imamoglu, I., Zararsız, A., Kalayci, Y. ve Tuncel, G. 2023. "Trace element composition of fine and coarse particles at a background mountain station in eastern mediterranean: Assessment aerosol components and their source regions. *Atmospheric Environment*, 307: 119847.

- Varela, Z., Fernández, J.A., Aboal, J.R., Real, C. ve Carballeira, A. 2010. Determination of the optimal size of area to be sampled by use of the moss biomonitoring technique. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 65 (1): 37-48.
- Vučković, I., Špirić, Z., Stafilov, T. ve Kušan, V. 2013. Moss biomonitoring of air pollution with chromium in croatia. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 48 (7): 829-834.
- Waked, A., vd. 2014. Source apportionment of pm_{10} in a north-western europe regional urban background site (lens, france) using positive matrix factorization and including primary biogenic emissions. *Atmos. Chem. Phys.*, 14 (7): 3325-3346.
- Watson, J.G., Chow, J.C. ve Fujita, E.M. 2001. Review of volatile organic compound source apportionment by chemical mass balance. *Atmospheric Environment*, 35 (9): 1567-1584.
- Xie, Y., Hopke, P.K., Paatero, P., Barrie, L.A. ve Li, S.-M. 1999. Identification of source nature and seasonal variations of arctic aerosol by the multilinear engine. *Atmospheric Environment*, 33 (16): 2549-2562.
- Yang, W. ve Omaye, S.T. 2009. Air pollutants, oxidative stress and human health. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 674 (1): 45-54.
- Yildiz, A., Aksoy, A., Tug, G.N., Islek, C. ve Demirezen, D. 2008. Biomonitoring of heavy metals by *pseudevernia furfuracea* (L.) zopf in ankara (turkey). *Journal of Atmospheric Chemistry*, 60 (1): 71-81.
- Zhao, W. ve Hopke, P.K. 2006. Source investigation for ambient $pm_{2.5}$ in indianapolis, in. *Aerosol Science and Technology*, 40 (10): 898-909.
- Zhou, X., Hu, R. ve Fang, Y. 2021. Source and spatial distribution of airborne heavy metal deposition studied using mosses as biomonitors in yancheng, china. *Environmental Science and Pollution Research*, 28 (24): 30758-30773.
- Zinicovscaia, I., Urošević, M.A., Vergel, K., Vieru, E., Frontasyeva, M.V., Povar, I. ve Duca, G. 2018. Active moss biomonitoring of trace elements air pollution in chisinau, republic of moldova. *Ecological Chemistry and Engineering S*, 25 (3): 361-372.

7. EKLER

Ek-1. Arduino Kontrol Kartının İçine Yazılan Kod

Arduino Kontrol Kartları programlama kod tabanı C++ olmaktadır. Örnekleyicilerin içerisine yerleştirilen kartlara kapakları rüzgâr hızlarına göre açabilmek, pompa hızını kontrol edebilmek ve veri transferi yapabilmeleri için aşağıdaki kod kullanılmıştır.

```
// CONFIGURATION //////////////////////////////////////

unsigned int deviceId = 2;
//unsigned int servoPosition[] = {970,810,646,490,340,180,1}; // 0-1023
unsigned int servoPosition[] = {990,830,666,510,360,200,21}; // 0-1023 // device=2
için konumlar
//unsigned int servoPosition[] = {1010,850,686,530,380,220,51}; // 0-1023 // device=3
için konumlar
unsigned int coverPosition[] = {33,44,61,82,110,146,166}; // anemometer speed for
coverPosition
unsigned int fanSpeed      = 10; // 0-79

unsigned int data_measure_interval = 10;    // second
unsigned int data_send_interval = 6;        // times data_measure_interval, ex: 10
seconds x 6 times = 60 seconds
unsigned int motor_position_interval = 30;  // times data_measure_interval, ex: 10
seconds x 30 times = 300 seconds

#define debug 0
#define motor_test 1
#define gsm_work 1
////////////////////////////////////

#include "XL320.h"
#include <SoftwareSerial.h>

int servoID = 1;
XL320 motor;
SoftwareSerial motorSerial(11, 12); // (RX, TX)
SoftwareSerial gsm(2, 3); // (RX, TX)

unsigned int motorPosition = 6;
unsigned int lastMotorPosition = 6;

unsigned int data_send_counter = 1;
unsigned int motor_rotate_counter = 1;
unsigned int motor_rotate_counter2 = 1;

unsigned int wind_average = 0;
unsigned int wind_average_count = 0;
```

```

unsigned int wind_average_motor = 0;
unsigned int wind_average_count_motor = 0;

#define anemometer_analog_pin A0
#define anemometer_power_pin 13
unsigned int anemometer_value=0;
unsigned int anemometer_value_motor=0;

unsigned long time;
unsigned int rpm;

void setup() {
  pinMode(anemometer_power_pin, OUTPUT);
  analogReference(INTERNAL);

  // generate 25kHz PWM pulse rate on Pin 10
  pinMode(10, OUTPUT); // OCR1B sets duty cycle
  // Set up Fast PWM on Pin 10
  TCCR1A = 0x23; // COM1B1, WGM11, WGM10
  // Set prescaler
  TCCR1B = 0x1A; // WGM13,WGM12, Prescaler = /8
  // Set TOP and initialize duty cycle to zero(0)
  OCR1A = 79; // TOP DO NOT CHANGE, SETS PWM PULSE RATE
  OCR1B = fanSpeed; // duty cycle for Pin 10 (0-79) generates 1 500nS pulse even
when 0 :
  digitalWrite(8, HIGH); // Starts reading

  motorSerial.begin(115200);
  motor.begin(motorSerial);
  delay(1000);
  motor.TorqueON(servoID);
  delay(1000);
  motor.setJointSpeed(servoID, 100); // 0-1023
  delay(1000);

  if (debug) {
    Serial.begin(9600);
    Serial.println("Cihaz Basladi");
  }

  // MOTOR LED TEST ///////////

  // motor.LED(servoID, "r" ); // r-red g-green b-blue y-yellow p-purple c-cyan w-
white o-off
  // delay(100);

  // MOTOR TEST ///////////

  if (motor_test) {
    if (debug) {
      Serial.println("Motor Test");
    }
  }

```

```

    motor.moveJoint(servoID, servoPosition[6]);
    delay(3000);
    motor.moveJoint(servoID, servoPosition[5]);
    delay(3000);
    motor.moveJoint(servoID, servoPosition[4]);
    delay(3000);
    motor.moveJoint(servoID, servoPosition[3]);
    delay(3000);
    motor.moveJoint(servoID, servoPosition[2]);
    delay(3000);
    motor.moveJoint(servoID, servoPosition[1]);
    delay(3000);
    motor.moveJoint(servoID, servoPosition[0]);
    delay(3000);
} else {
    motor.moveJoint(servoID, servoPosition[0]);
    delay(3000);
}

motor.moveJoint(servoID, servoPosition[6]);
delay(1000);

// GSM INITIALIZE ///////////
if (gsm_work) {
    gsm.begin(9600);
    modem_init();
}
}

void loop() {

    // READ WIND ///////////

    anemometer_value = analogRead(anemometer_analog_pin);
    wind_average = (wind_average*wind_average_count + anemometer_value) /
(wind_average_count+1);
    wind_average_count++;

    anemometer_value_motor = analogRead(anemometer_analog_pin);
    wind_average_motor = (wind_average_motor*wind_average_count_motor +
anemometer_value_motor) / (wind_average_count_motor+1);
    wind_average_count_motor++;

    if (debug) {
        Serial.print("Wind: ");
        Serial.println(anemometer_value);
        Serial.print("Wind Average: ");
        Serial.println(wind_average);
        Serial.print("Wind Average Count: ");
        Serial.println(wind_average_count);
    }

    // READ FAN SPEED ///////////

```

```

time = pulseIn(8, HIGH);
rpm = (1000000 * 60) / (time * 4);
if (rpm > 5000) {
    rpm = 100;
}
if (debug) {
    Serial.print("Fan Config: ");
    Serial.println(fanSpeed);
    Serial.print("Fan Speed: ");
    Serial.println(rpm);
}

// ROTATE MOTOR ///////////

if (motor_rotate_counter >= motor_position_interval) {

    motor_rotate_counter = 1;
    // wind_average_motor = wind_average_motor;
    // wind_average_count_motor = 6;

    if (wind_average_motor < coverPosition[0]) {
        if (motorPosition != 6) {
            lastMotorPosition = motorPosition;
            motorPosition = 6;
        }
    } else if (wind_average_motor < coverPosition[1]) {
        if (motorPosition != 5) {
            lastMotorPosition = motorPosition;
            motorPosition = 5;
        }
    } else if (wind_average_motor < coverPosition[2]) {
        if (motorPosition != 4) {
            lastMotorPosition = motorPosition;
            motorPosition = 4;
        }
    } else if (wind_average_motor < coverPosition[3]) {
        if (motorPosition != 3) {
            lastMotorPosition = motorPosition;
            motorPosition = 3;
        }
    } else if (wind_average_motor < coverPosition[4]) {
        if (motorPosition != 2) {
            lastMotorPosition = motorPosition;
            motorPosition = 2;
        }
    } else if (wind_average_motor < coverPosition[5]) {
        if (motorPosition != 1) {
            lastMotorPosition = motorPosition;
            motorPosition = 1;
        }
    } else if (wind_average_motor < coverPosition[6]) {
        if (motorPosition != 0) {

```

```

        lastMotorPosition = motorPosition;
        motorPosition = 0;
    }
    } else {
        if (motorPosition != 6) {
            lastMotorPosition = motorPosition;
            motorPosition = 6;
        }
    }

    if (motorPosition != 0 && lastMotorPosition > motorPosition) {
        motor.moveJoint(servoID, servoPosition[motorPosition] - 80);
        delay(10000);
    }

    motor.moveJoint(servoID, servoPosition[motorPosition]);

    if (debug) {
        Serial.print("Motor Position: ");
        Serial.println(motorPosition);
    }

    } else {
        motor_rotate_counter++;
    }

    // SEND DATA ///////////

    if (data_send_counter >= data_send_interval ) {
        if (gsm_work) {
            Send_data();
        }
        data_send_counter = 1;
        wind_average = 0;
        wind_average_count = 0;
        if (gsm_work) {
            if (debug) {
                Serial.println("Data Sended");
            }
        }
    } else {
        data_send_counter++;
    }

    if (motor_rotate_counter2 >= motor_position_interval) {

        motor_rotate_counter2 = 1;
        wind_average_motor = 0;
        wind_average_count_motor = 0;
    } else {
        motor_rotate_counter2++;
    }

```

```

    if (debug) {
        Serial.println("");
    }

    // WAIT FOR MEASURE

    delay((data_measure_interval*1000));

}

void modem_init()
{

    send_command("AT", 1000, 0);
    send_command("AT+CMGF=1", 1000, 0);

    // send_command("AT+CPIN?");
    // send_command("AT+CREG?");
    // send_command("AT+CGATT?");
    // send_command("AT+CSQ ");
    send_command("AT+SAPBR=3,1,\"Contype\",\"GPRS\"", 1000, 0);
    send_command("AT+SAPBR=3,1,\"APN\",\"internet\"", 1000, 0);
    // send_command("AT+SAPBR=3,1,\"USER\",\"\"");
    // send_command("AT+SAPBR=3,1,\"PWD\",\"\"");
    send_command("AT+SAPBR=1,1", 1000, 0);
    send_command("AT+SAPBR=2,1", 1000, 0);

    // delay(10000);
    send_command("AT+HTTPIPINIT", 1000, 0);

}

void Send_data()
{

    send_http_request_command();
    send_command("AT+HTTPPARA=\"CID\",1", 1000, 0);
    send_command("AT+HTTPACTION=0", 5000, 1);
    send_command("AT+HTTPREAD", 1000, 1);
}

void send_command(const String& text, int delaytime, int response) {
    if (debug) {
        Serial.println("X: "+text);
    }

    gsm.println(text);
    delay(delaytime);

    if (debug) {
        while (gsm.available()>0) {
            Serial.write(gsm.read());
        }
    }
}

```

```
        Serial.println("");
    }
}

void send_http_request_command() {
    if (debug) {
        Serial.println("X:
AT+HTTTPARA=\"URL\", \"http://asistan.suyabakan.com/olcum.php");
    }
    gsm.print("AT+HTTTPARA=\"URL\", \"http://asistan.suyabakan.com/olcum.php?");
    gsm.print("c=1");
    gsm.print("&i=");
    gsm.print(deviceId);
    gsm.print("&w=");
    gsm.print(wind_average);
    gsm.print("&f=");
    gsm.print(rpm);
    gsm.print("&p=");
    gsm.print(motorPosition);
    gsm.println("");
    delay(1000);

    if (debug) {
        while (gsm.available()>0) {
            Serial.write(gsm.read());
        }
        Serial.println("");
    }
}
```

Ek-2. Geliştirilen Cihaz ile Toplanan Verilerin İşlenmesinde Kullanılan Kod

R programlama dili kullanılarak yine R ortamında elde edilen veriler işlenmiştir. Kullanılan program ile cihazlardaki rüzgâr hızı verileri derlenmiş ve hesaplanmıştır.

Biyo İzleyiciler Hacim Hesaplaması

İhtiyaç duyulan kütüphaneler

```
library(readxl)
library("writexl")
library(tidyverse)
library(dplyr)
library(padr)
library(lubridate)
library(ggplot2)
library(wesanderson)
library("ggsci")
library("splitr")
library(here)
library(data.table)
library(scales)
```

Çalışma klasörünün belirlenmesi

```
setwd("D:/OneDrive - Akdeniz
Üniversitesi/Akademik_isler/Universite_Dosyaları/Doktora/DR.5.3/KariyerProjesiSonucRaporu
")
```

1. Ham verinin okutulması ve format ayarlamalarının yapılması

```
Yosun_ham_veri <- read_excel("veriler_secondpart.xlsx")
Yosun_ham_veri$Ölçüm.Saati <- format(Yosun_ham_veri$Ölçüm.Saati,
format='%m/%d/%Y %H:%M')

Yosun_ham_veri$Ölçüm.Saati <- mdy_hm(Yosun_ham_veri$Ölçüm.Saati, tz="UTC")
```

```
Yosun_ham_veri$Rüzgar.Hizi <- as.numeric(Yosun_ham_veri$Rüzgar.Hizi)
Yosun_ham_veri$Fan.Hizi <- as.numeric(Yosun_ham_veri$Fan.Hizi)
```

2. Rüzgar hızı ve fan hızı sorunlu olan satırların veri setinden çıkartılması

```
Yosun_ham_veri <- subset(Yosun_ham_veri, !(Rüzgar.Hizi > 300)) #300'den daha büyük
rüzgar hızları silindi
Yosun_ham_veri <- subset(Yosun_ham_veri, !(Fan.Hizi == 100 & Rüzgar.Hizi == 0)) #fan
hızı 100 ve rüzgar hızı 0 olan veriler silindi!
```

3. Üç farklı cihazın verilerinin birbirinden ayrılması

```
Cihaz_2 <- filter(Yosun_ham_veri, Cihaz.No=="2")
Cihaz_3 <- filter(Yosun_ham_veri, Cihaz.No=="3")
```

```
Cihaz_4 <- filter(Yosun_ham_veri,Cihaz.No=="4")
```

```
##### 3. İki den fazla tekrar eden verilerin silinmesi #####
```

```
Cihaz_2_uni <- Cihaz_2[!duplicated(Cihaz_2$Ölçüm.Saati), ] #unique veriler
```

```
Cihaz_2_multipcted <- Cihaz_2[duplicated(Cihaz_2$Ölçüm.Saati), ]
```

```
Cihaz_2_duplicated <- Cihaz_2_multipcted[!duplicated(Cihaz_2_multipcted$Ölçüm.Saati), ]
```

```
#2'den daha fazla tekrar eden değerlerin çıkarılması
```

```
Cihaz_2 <- rbind(Cihaz_2_uni, Cihaz_2_duplicated)
```

```
Cihaz_3_uni <- Cihaz_3[!duplicated(Cihaz_3$Ölçüm.Saati), ] #unique veriler
```

```
Cihaz_3_multipcted <- Cihaz_3[duplicated(Cihaz_3$Ölçüm.Saati), ]
```

```
Cihaz_3_duplicated <- Cihaz_3_multipcted[!duplicated(Cihaz_3_multipcted$Ölçüm.Saati), ]
```

```
#2'den daha fazla tekrar eden değerlerin çıkarılması
```

```
Cihaz_3 <- rbind(Cihaz_3_uni, Cihaz_3_duplicated)
```

```
Cihaz_4_uni <- Cihaz_4[!duplicated(Cihaz_4$Ölçüm.Saati), ] #unique veriler
```

```
Cihaz_4_multipcted <- Cihaz_4[duplicated(Cihaz_4$Ölçüm.Saati), ]
```

```
Cihaz_4_duplicated <- Cihaz_4_multipcted[!duplicated(Cihaz_4_multipcted$Ölçüm.Saati), ]
```

```
#2'den daha fazla tekrar eden değerlerin çıkarılması
```

```
Cihaz_4 <- rbind(Cihaz_4_uni, Cihaz_4_duplicated)
```

```
##### 4. Veri setlerinin tarihlere göre sıralanması #####
```

```
Cihaz_2 <- Cihaz_2[order(Cihaz_2$Ölçüm.Saati), ]
```

```
Cihaz_3 <- Cihaz_3[order(Cihaz_3$Ölçüm.Saati), ]
```

```
Cihaz_4 <- Cihaz_4[order(Cihaz_4$Ölçüm.Saati), ]
```

```
##### 5. While loop (duplicate verileri silmek için) #####
```

```
##### Cihaz 2 #####
```

```
i=1
```

```
while(Cihaz_2$Ölçüm.Saati[i] < max(Cihaz_2$Ölçüm.Saati)){
```

```
if(Cihaz_2$Ölçüm.Saati[i] == Cihaz_2$Ölçüm.Saati[i+1]){
```

```
Cihaz_2$Ölçüm.Saati[i+1] <- Cihaz_2$Ölçüm.Saati[i+1] + 1*60
```

```
i <- i+1
```

```
print(i)
```

```
}
```

```
##### Cihaz 3 #####
```

```

i=1

while(Cihaz_3$Ölçüm.Saati[i] < max(Cihaz_3$Ölçüm.Saati)){

if(Cihaz_3$Ölçüm.Saati[i] == Cihaz_3$Ölçüm.Saati[i+1]){

    Cihaz_3$Ölçüm.Saati[i+1] <- Cihaz_3$Ölçüm.Saati[i+1] + 1*60
}

i <- i+1

print(i)

}

##### Cihaz 4 #####

i=1

while(Cihaz_4$Ölçüm.Saati[i] < max(Cihaz_4$Ölçüm.Saati)){

    if(Cihaz_4$Ölçüm.Saati[i] == Cihaz_4$Ölçüm.Saati[i+1]){

        Cihaz_4$Ölçüm.Saati[i+1] <- Cihaz_4$Ölçüm.Saati[i+1] + 1*60
    }

    i <- i+1

    print(i)

}

##### Hala duplicate kalan veri varsa kontrol edilip silinmesi için #####

Cihaz_2_check <- Cihaz_2[duplicated(Cihaz_2$Ölçüm.Saati), ]
Cihaz_2 <- Cihaz_2[!duplicated(Cihaz_2$Ölçüm.Saati), ]

Cihaz_3_check <- Cihaz_3[duplicated(Cihaz_3$Ölçüm.Saati), ]
Cihaz_3 <- Cihaz_3[!duplicated(Cihaz_3$Ölçüm.Saati), ]

Cihaz_4_check <- Cihaz_4[duplicated(Cihaz_4$Ölçüm.Saati), ]
Cihaz_4 <- Cihaz_4[!duplicated(Cihaz_4$Ölçüm.Saati), ]

##### 6. Verilerdeki eksik tarihlerin tamamlanması #####

Cihaz_2 <- complete(Cihaz_2, Ölçüm.Saati = seq(min(Ölçüm.Saati),

```

```

max(Ölçüm.Saati), by = "1 min"), fill = list(Cihaz.No = 2))

Cihaz_3 <- complete(Cihaz_3, Ölçüm.Saati = seq(min(Ölçüm.Saati),
max(Ölçüm.Saati), by = "1 min"), fill = list(Cihaz.No = 3))

Cihaz_4 <- complete(Cihaz_4, Ölçüm.Saati = seq(min(Ölçüm.Saati),
max(Ölçüm.Saati), by = "1 min"), fill = list(Cihaz.No = 4))

##### Kullanılmayacak dataframe'lerin silinmesi #####

rm(list=setdiff(ls(), c("Cihaz_2", "Cihaz_3", "Cihaz_4")))

##### 7. İşlenmiş verilerin tekrar birleştirilmesi ve tarihe göre sıralanması #####

Yosun_islenmis <- do.call("rbind", list(Cihaz_2, Cihaz_3, Cihaz_4))

Yosun_islenmis <- Yosun_islenmis[order(Yosun_islenmis$Ölçüm.Saati), ]

##### 8. Eksik verilerin olduğu satırların aynı anda çalışan bir cihazın verileri ile
tamamlanması #####

Yosun_islenmis <- Yosun_islenmis %>% group_by(Ölçüm.Saati) %>%
  fill(c(Rüzgar.Hizi, Fan.Hizi, Pozisyon), .direction = "downup") %>%
  ungroup()

##### Veri tiplerinin düzenlenmesi #####

Yosun_islenmis <- Yosun_islenmis[-c(369133), ]
Yosun_islenmis$Rüzgar.Hizi <- as.numeric(Yosun_islenmis$Rüzgar.Hizi)
Yosun_islenmis$Fan.Hizi <- as.numeric(Yosun_islenmis$Fan.Hizi)
Yosun_islenmis$Pozisyon <- as.numeric(Yosun_islenmis$Pozisyon)

##### 9. While loop (Arduino karttaki kodun verdiği hata dolayısıyla ters yazılan kapak
numaralarının düzeltilmesi için) #####

j=1

while(Yosun_islenmis$Ölçüm.Saati[j] < "2021-09-21 17:46:00"){

  if(isTRUE(Yosun_islenmis$Pozisyon[j] == 0)){

    Yosun_islenmis$Pozisyon[j] <- Yosun_islenmis$Pozisyon[j] + 6

  } else if(isTRUE(Yosun_islenmis$Pozisyon[j] == 1)){

    Yosun_islenmis$Pozisyon[j] <- Yosun_islenmis$Pozisyon[j] + 4

```

```

    } else if(isTRUE(Yosun_islenmis$Pozisyon[j] == 2)){

        Yosun_islenmis$Pozisyon[j] <- Yosun_islenmis$Pozisyon[j] + 2

    } else{}

j = j+1
print(j)

}

##### 10. Kapakların, Genişlik (W), Yükseklik (H) ve Delik sayılarının veri setine eklenmesi #####

Yosun_islenmis <- Yosun_islenmis %>% mutate("W" = case_when((Pozisyon == 6) ~ 0.7,
(Pozisyon == 5) ~ 0.9, (Pozisyon == 4) ~ 1.3,
(Pozisyon == 3) ~ 1.8, (Pozisyon == 2) ~ 2.4, (Pozisyon == 1) ~ 3.2,
(Pozisyon == 0) ~ 4.2))

Yosun_islenmis <- Yosun_islenmis %>% mutate("H" = case_when((Pozisyon == 6) ~ 1.4,
(Pozisyon == 5) ~ 1.8, (Pozisyon == 4) ~ 2.6,
(Pozisyon == 3) ~ 3.6, (Pozisyon == 2) ~ 4.8, (Pozisyon == 1) ~ 6.4,
(Pozisyon == 0) ~ 8.4))

Yosun_islenmis <- Yosun_islenmis %>% mutate("delik_sayisi" = case_when((Pozisyon ==
6) ~ 90, (Pozisyon == 5) ~ 70,
(Pozisyon == 4) ~ 36, (Pozisyon == 3) ~ 18, (Pozisyon == 2) ~ 16,
(Pozisyon == 1) ~ 5, (Pozisyon == 0) ~ 5))

##### 11. Alan ve hacim hesaplarının yapılması ve birim dönüşümleri #####

Yosun_islenmis <- mutate(Yosun_islenmis, Rüzgar_m_s = Rüzgar.Hizi/(852.5*0.009*3.6))

Yosun_islenmis <- mutate(Yosun_islenmis, Alan_mm2 = W*H*delik_sayisi)

Yosun_islenmis <- mutate(Yosun_islenmis, Hacim_m3_dk = Alan_mm2*Rüzgar_m_s*(10^
6)*60)

##### 12. Günlük hacim hesabının yapılması #####

Yosun_islenmis_gunluk <- Yosun_islenmis %>%
    mutate(Ölçüm.Günü = floor_date(Ölçüm.Saati, "day")) %>%
    group_by(Ölçüm.Günü, Cihaz.No, .add = TRUE) %>%
    summarize(Hacim_m3_gün = sum(Hacim_m3_dk, na.rm = TRUE))
%>% ungroup()

```

13.ggplot2 grafikleri

```
Yosun_islenmis_gunluk$Cihaz.No <- as.character(Yosun_islenmis_gunluk$Cihaz.No)
```

```
BirinciDönem <-
```

```
ggplot(data=Yosun_islenmis_gunluk[which(Yosun_islenmis_gunluk$Ölçüm.Günü<"2022-04-21"),], aes(x=as.Date(Ölçüm.Günü), y=Hacim_m3_gün, fill=Cihaz.No)) +
  geom_bar(stat="identity", position=position_dodge(), na.rm = TRUE)+
  #scale_fill_brewer(palette="Terrain") +
  #scale_fill_manual(values = cbp1) +
  scale_fill_jama() +
  #scale_fill_simpsons() +
  ggtitle("Günlük Hacim Grafiği (Birinci Dönem)") +
  xlab("Ölçüm Tarihi") + ylab(bquote(Hacim (m^3)/gün)) +
  scale_x_date(labels=date_format("%d/%m/%Y"), breaks=date_breaks("1 day")) +
  theme(plot.title = element_text(lineheight=.8, face="bold", size = 20), axis.text.x =
  element_text(angle = 45, hjust=1)) +
  theme(text = element_text(size=18))
```

```
BirinciDönem + labs(fill = "Cihaz No")
```

```
İkinciDönem <-
```

```
ggplot(data=Yosun_islenmis_gunluk[which(Yosun_islenmis_gunluk$Ölçüm.Günü<"2022-05-21" & "2022-04-21"<Yosun_islenmis_gunluk$Ölçüm.Günü),], aes(x=as.Date(Ölçüm.Günü),
y=Hacim_m3_gün, fill=Cihaz.No)) +
  geom_bar(stat="identity", position=position_dodge(), na.rm = TRUE)+
  #scale_fill_brewer(palette="Terrain") +
  #scale_fill_manual(values = cbp1) +
  scale_fill_jama() +
  #scale_fill_simpsons() +
  ggtitle("Günlük Hacim Grafiği (ikinci Dönem)") +
  xlab("Ölçüm Tarihi") + ylab(bquote(Hacim (m^3)/gün)) +
  scale_x_date(labels=date_format("%d/%m/%Y"), breaks=date_breaks("1 day")) +
  theme(plot.title = element_text(lineheight=.8, face="bold", size = 20), axis.text.x =
  element_text(angle = 45, hjust=1)) +
  theme(text = element_text(size=18))
```

```
İkinciDönem + labs(fill = "Cihaz No")
```

```
ÜçüncüDönem <-
```

```
ggplot(data=Yosun_islenmis_gunluk[which(Yosun_islenmis_gunluk$Ölçüm.Günü<"2022-06-21" & "2022-05-21"<Yosun_islenmis_gunluk$Ölçüm.Günü),], aes(x=as.Date(Ölçüm.Günü),
y=Hacim_m3_gün, fill=Cihaz.No)) +
  geom_bar(stat="identity", position=position_dodge(), na.rm = TRUE)+
```

```

#scale_fill_brewer(palette="Terrain") +
#scale_fill_manual(values = cbp1) +
scale_fill_jama() +
#scale_fill_simpsons() +
ggtitle("Günlük Hacim Grafiği (Üçüncü Dönem)") +
xlab("Ölçüm Tarihi") + ylab(bquote(Hacim (m^3)/gün)) +
scale_x_date(labels=date_format("%d/%m/%Y"), breaks=date_breaks("1 day")) +
theme(plot.title = element_text(lineheight=.8, face="bold", size = 20), axis.text.x =
element_text(angle = 45, hjust=1)) +
theme(text = element_text(size=18))

```

ÜçüncüDönem + labs(fill = "Cihaz No")

13. Verisetlerinin Excel'e atılması

```

write_xlsx(Yosun_islenmis,"D:/OneDrive - Akdeniz
Üniversitesi/Akademik_isler/Universite_Dosyalari/Doktora/DR.5.3/KariyerProjesiSonucRaporu
/Yosun_islenmis2.xlsx")

```

```

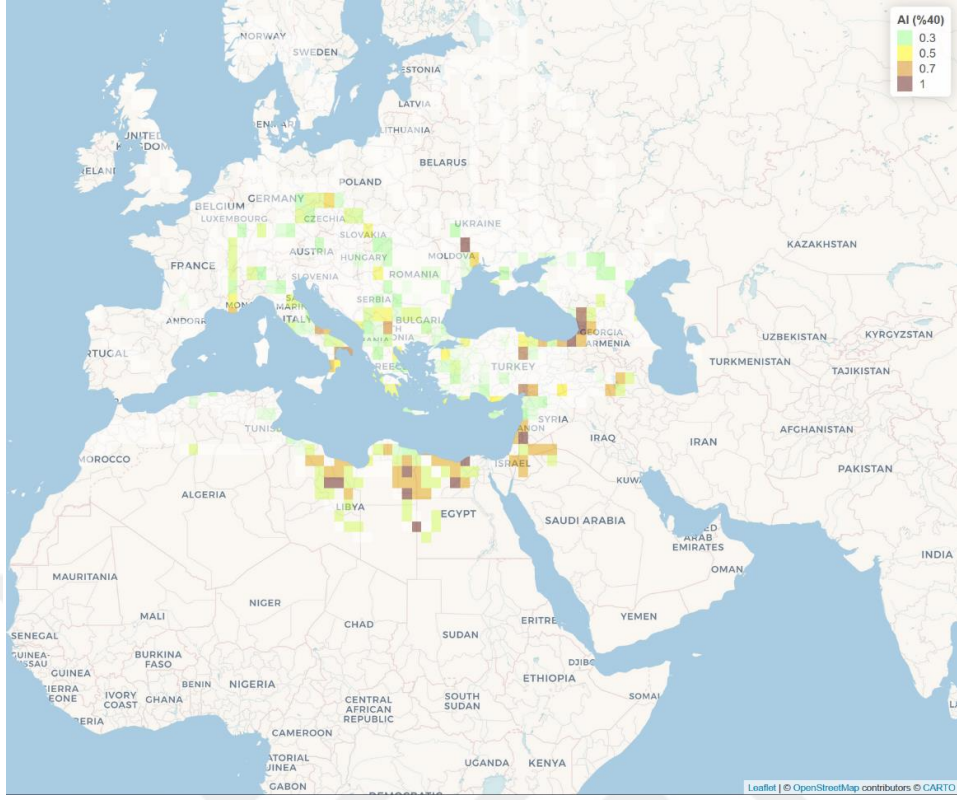
write_xlsx(Yosun_islenmis_gunluk,"D:/OneDrive - Akdeniz
Üniversitesi/Akademik_isler/Universite_Dosyalari/Doktora/DR.5.3/KariyerProjesiSonucRaporu
/Yosun_islenmis_gunluk2.xlsx")

```

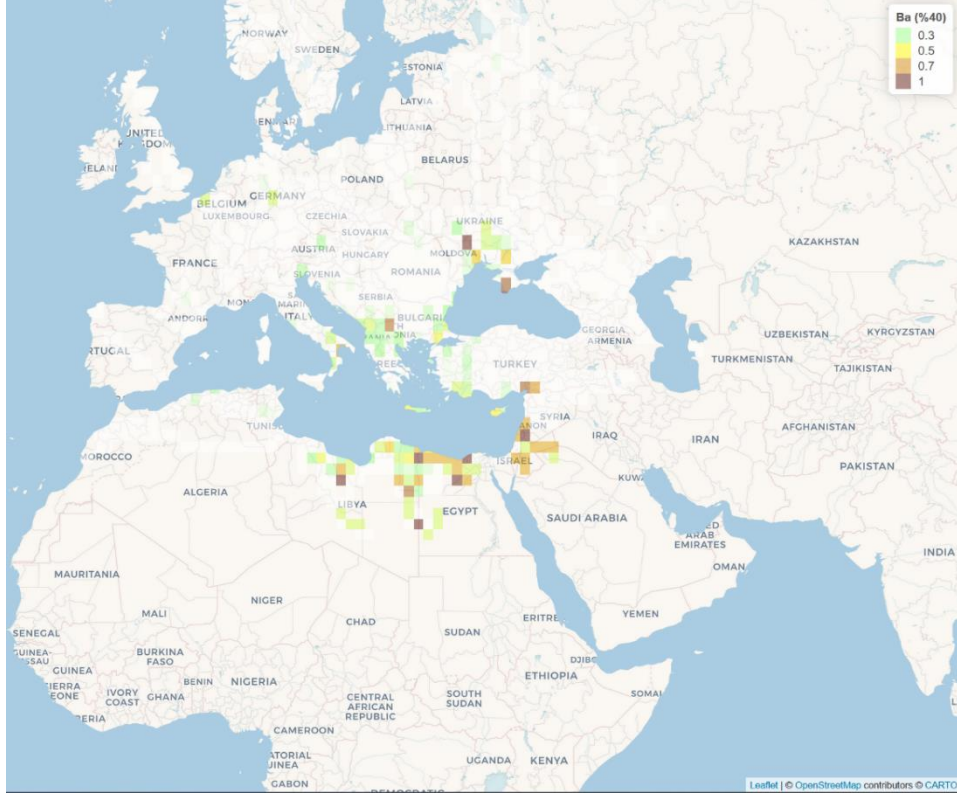
Ek-3. İnce Partikül Boyutundaki Elementlerin PKKF Grafikleri

Ek-3 Şekiller Dizini

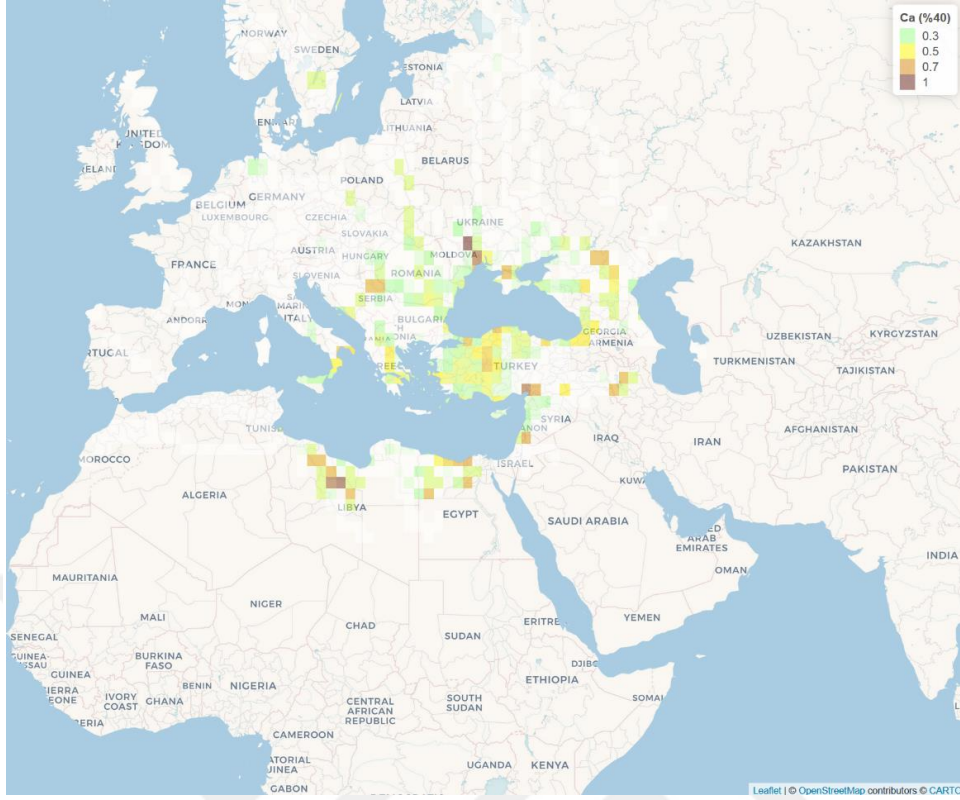
Şekil_Ek 1. Al için hesaplanan PKKF sonuçları	132
Şekil_Ek 2. Ba için hesaplanan PKKF sonuçları	132
Şekil_Ek 3. Ca için hesaplanan PKKF sonuçları	133
Şekil_Ek 4. Ce için hesaplanan PKKF sonuçları	133
Şekil_Ek 5. Co için hesaplanan PKKF sonuçları	134
Şekil_Ek 6. Cr için hesaplanan PKKF sonuçları	134
Şekil_Ek 7. Cs için hesaplanan PKKF sonuçları	135
Şekil_Ek 8. Eu için hesaplanan PKKF sonuçları	135
Şekil_Ek 9. Fe için hesaplanan PKKF sonuçları	136
Şekil_Ek 10. K için hesaplanan PKKF sonuçları	136
Şekil_Ek 11. La için hesaplanan PKKF sonuçları	137
Şekil_Ek 12. Li için hesaplanan PKKF sonuçları	137
Şekil_Ek 13. Mg için hesaplanan PKKF sonuçları	138
Şekil_Ek 14. Mn için hesaplanan PKKF sonuçları	138
Şekil_Ek 15. Mo için hesaplanan PKKF sonuçları	139
Şekil_Ek 16. Na için hesaplanan PKKF sonuçları	139
Şekil_Ek 17. P için hesaplanan PKKF sonuçları	140
Şekil_Ek 18. Sb için hesaplanan PKKF sonuçları	140
Şekil_Ek 19. Si için hesaplanan PKKF sonuçları	141
Şekil_Ek 20. Ti için hesaplanan PKKF sonuçları	141
Şekil_Ek 21. V için hesaplanan PKKF sonuçları	142
Şekil_Ek 22. Y için hesaplanan PKKF sonuçları	142
Şekil_Ek 23. Yb için hesaplanan PKKF sonuçları	143
Şekil_Ek 24. Zn için hesaplanan PKKF sonuçları	143



Şekil_Ek 1. AI için hesaplanan PKKF sonuçları



Şekil_Ek 2. Ba için hesaplanan PKKF sonuçları



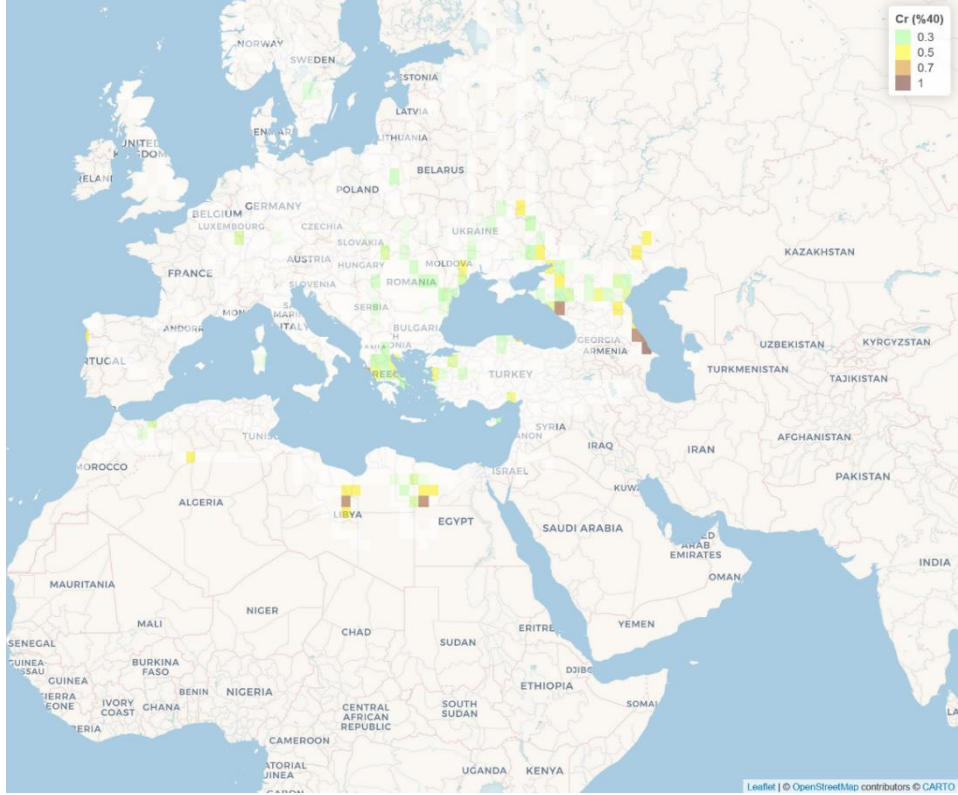
Şekil_Ek 3. Ca için hesaplanan PKKF sonuçları



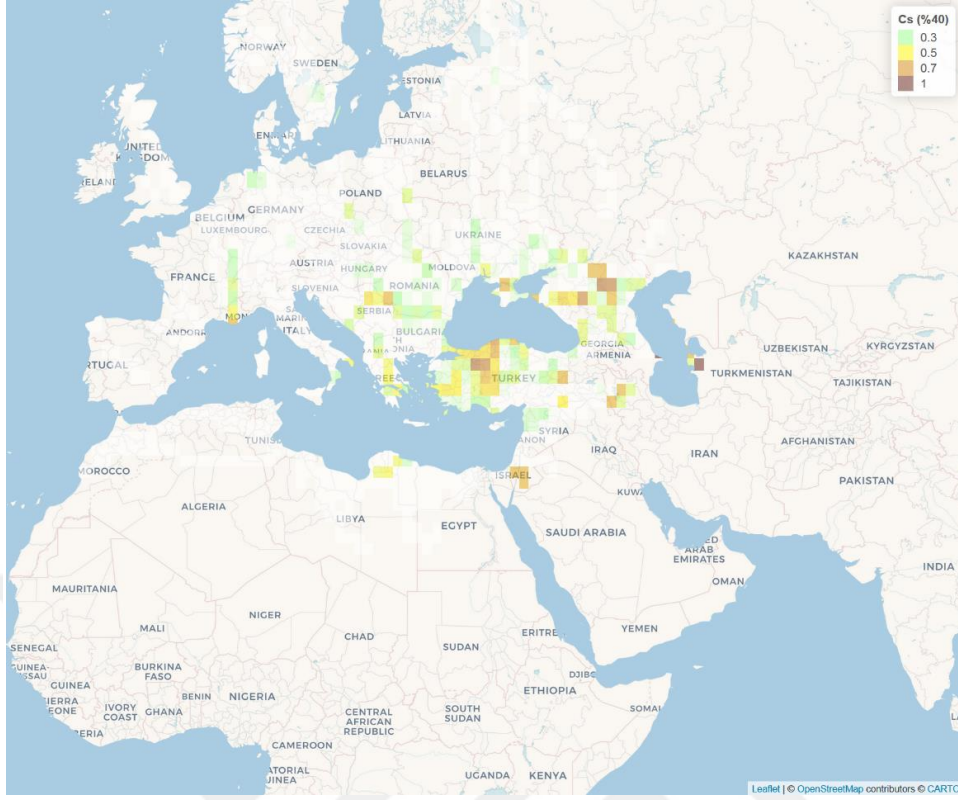
Şekil_Ek 4. Ce için hesaplanan PKKF sonuçları



Şekil_Ek 5. Co için hesaplanan PKKF sonuçları



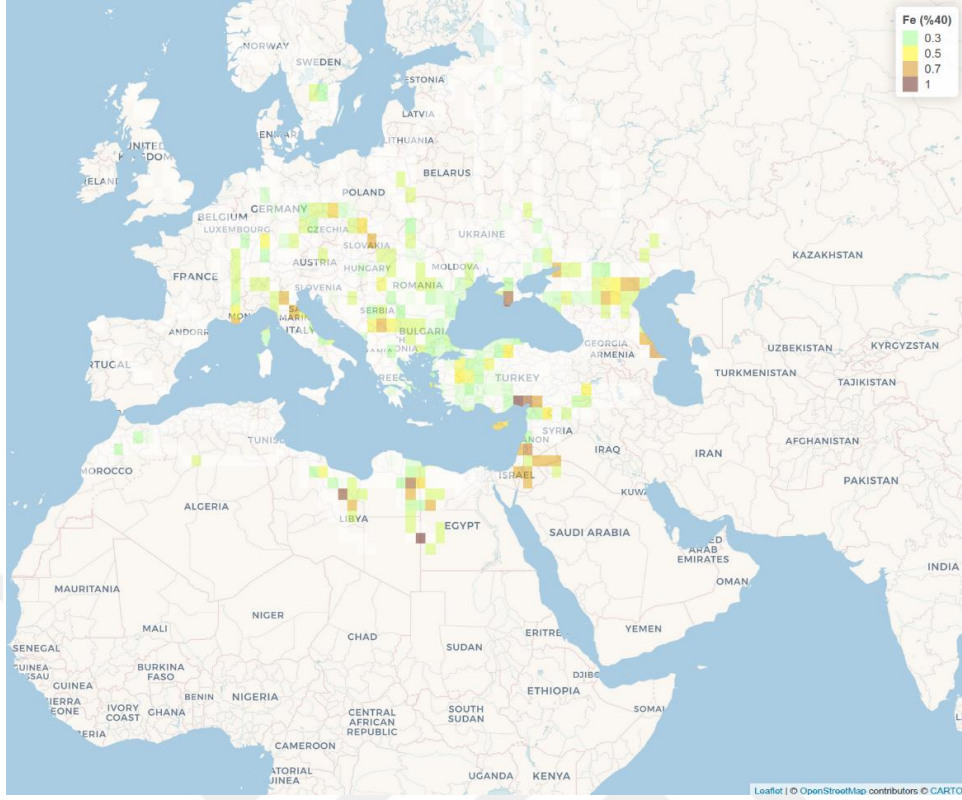
Şekil_Ek 6. Cr için hesaplanan PKKF sonuçları



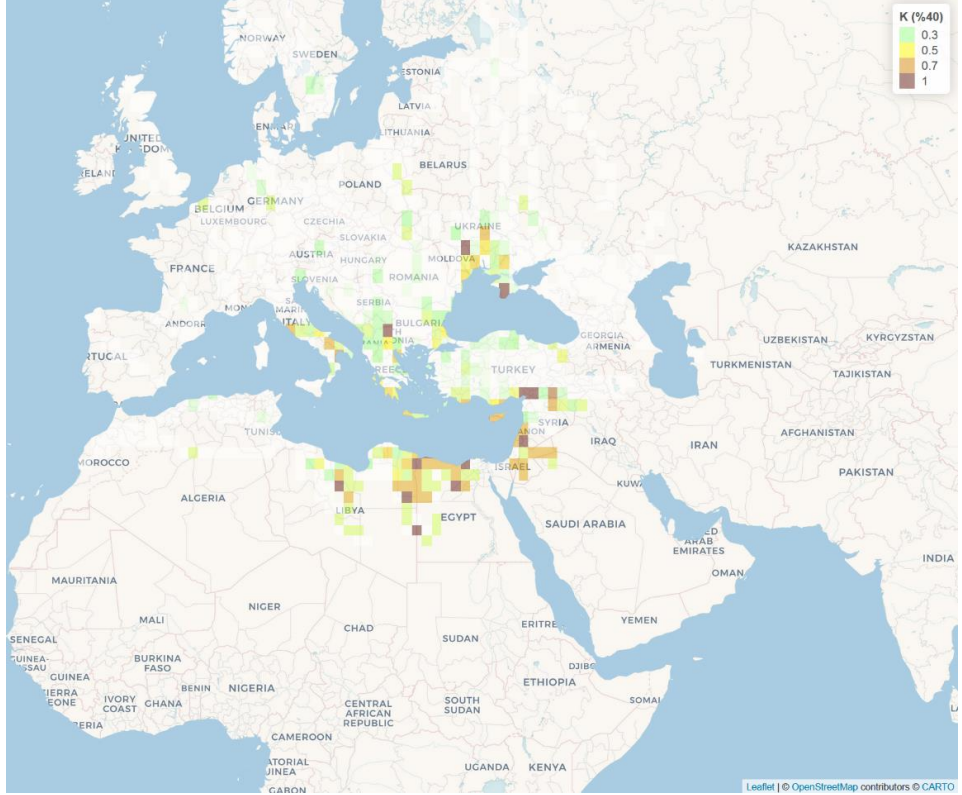
Şekil_Ek 7. Cs için hesaplanan PKKF sonuçları



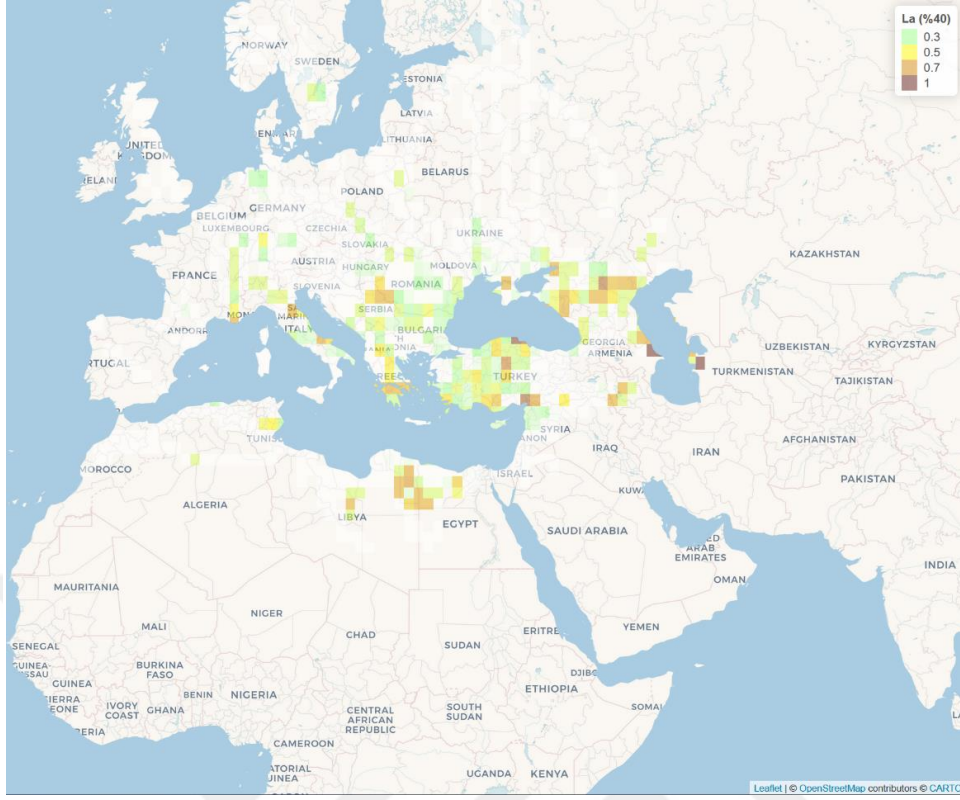
Şekil_Ek 8. Eu için hesaplanan PKKF sonuçları



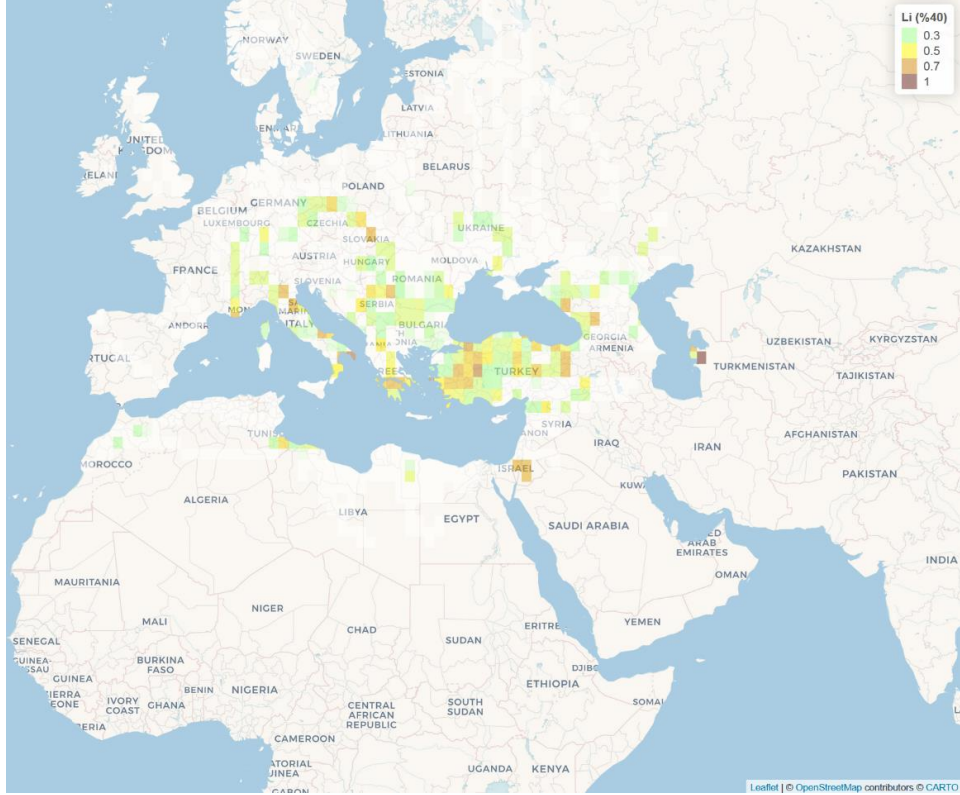
Şekil_Ek 9. Fe için hesaplanan PKKf sonuçları



Şekil_Ek 10. K için hesaplanan PKKf sonuçları



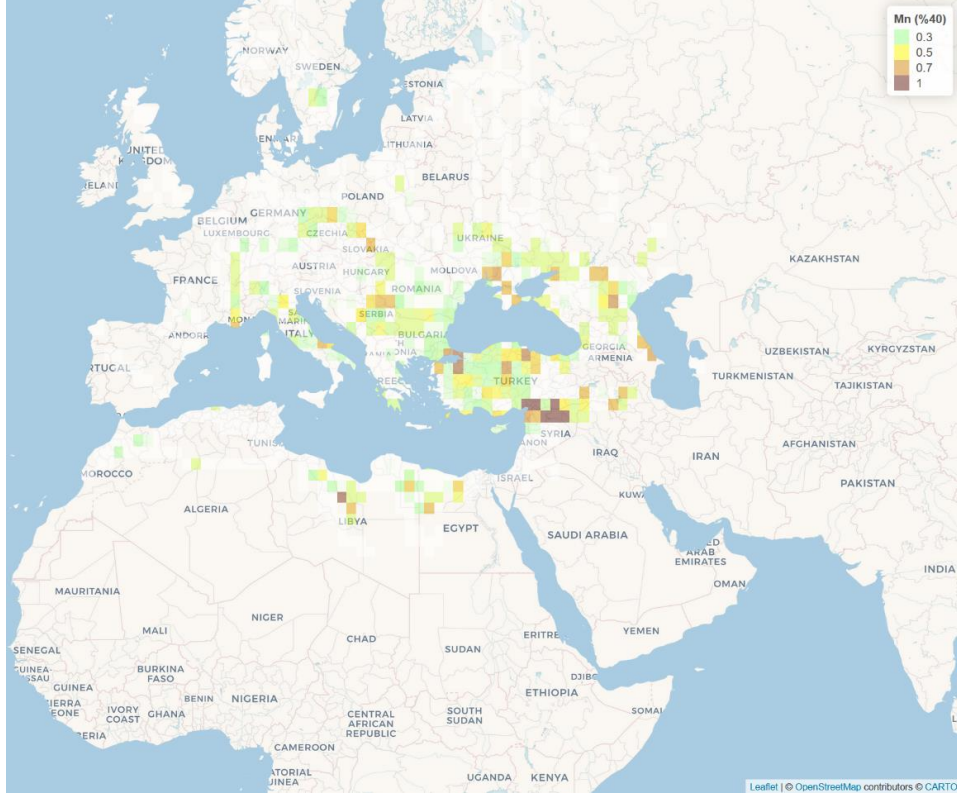
Şekil_Ek 11. La için hesaplanan PKKF sonuçları



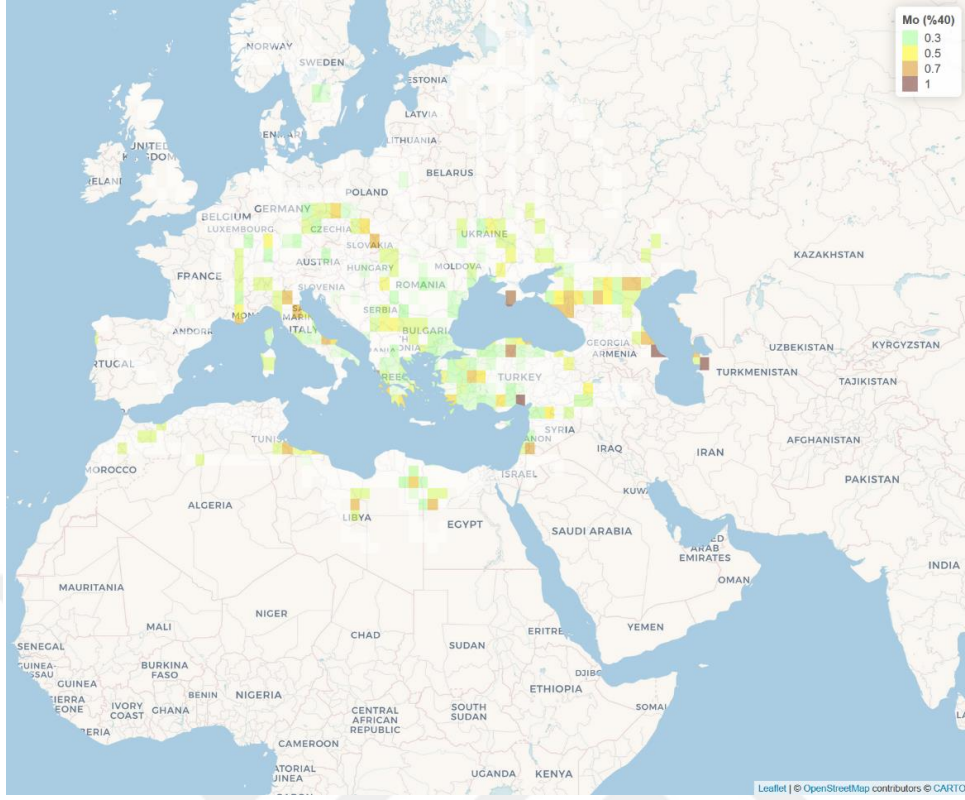
Şekil_Ek 12. Li için hesaplanan PKKF sonuçları



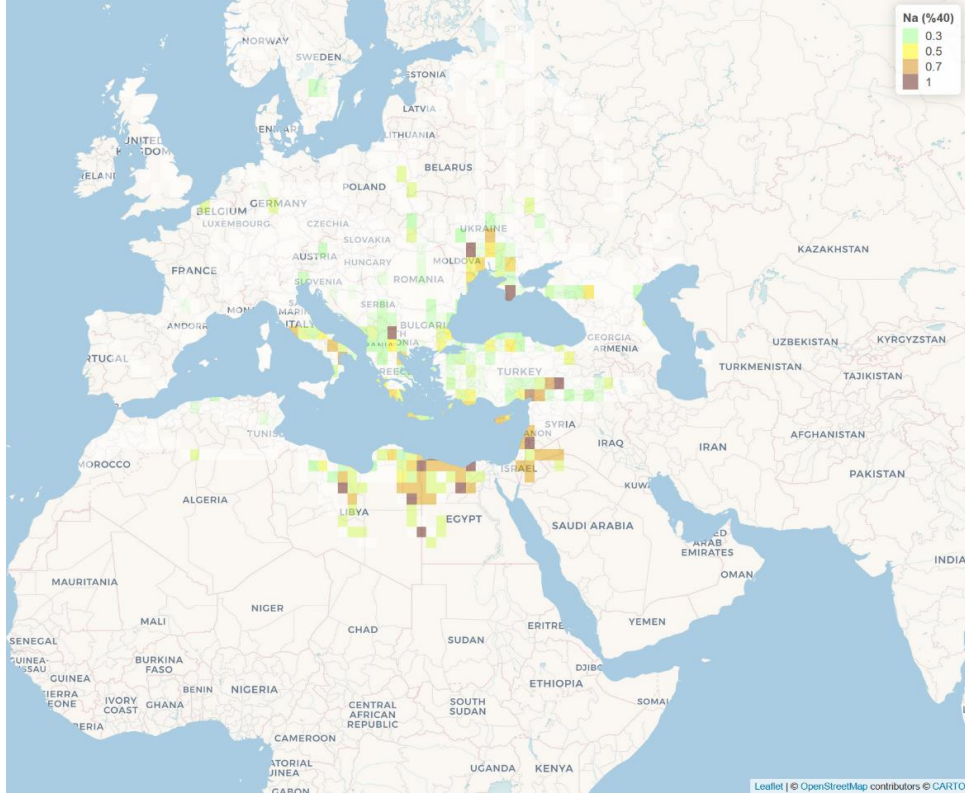
Şekil_Ek 13. Mg için hesaplanan PKKF sonuçları



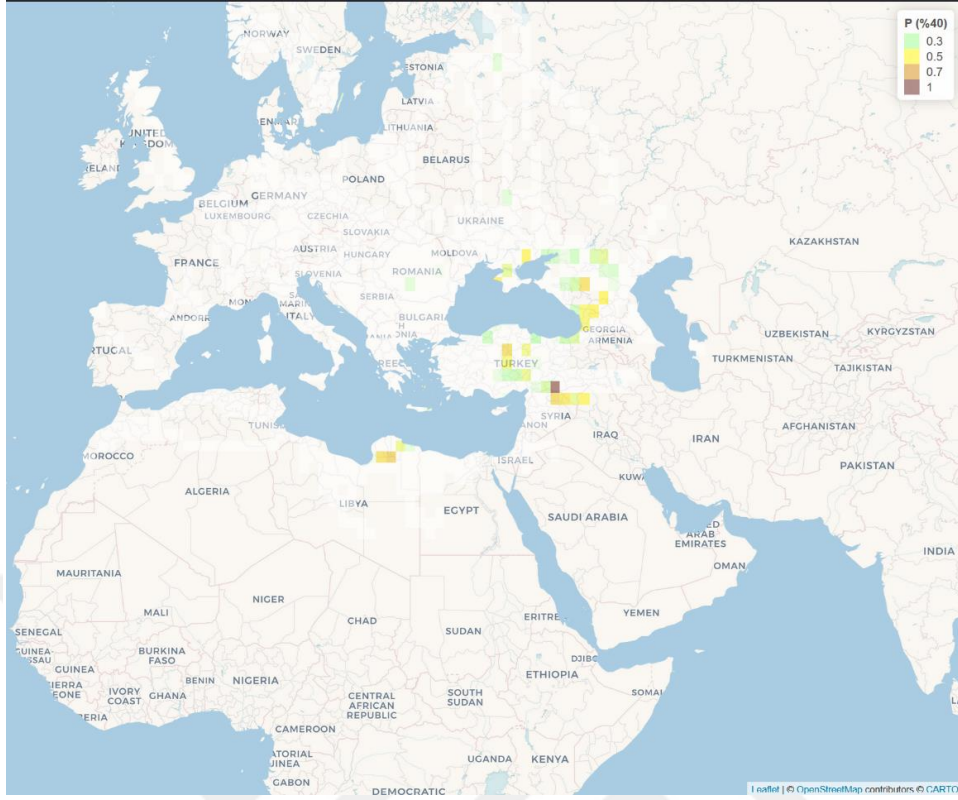
Şekil_Ek 14. Mn için hesaplanan PKKF sonuçları



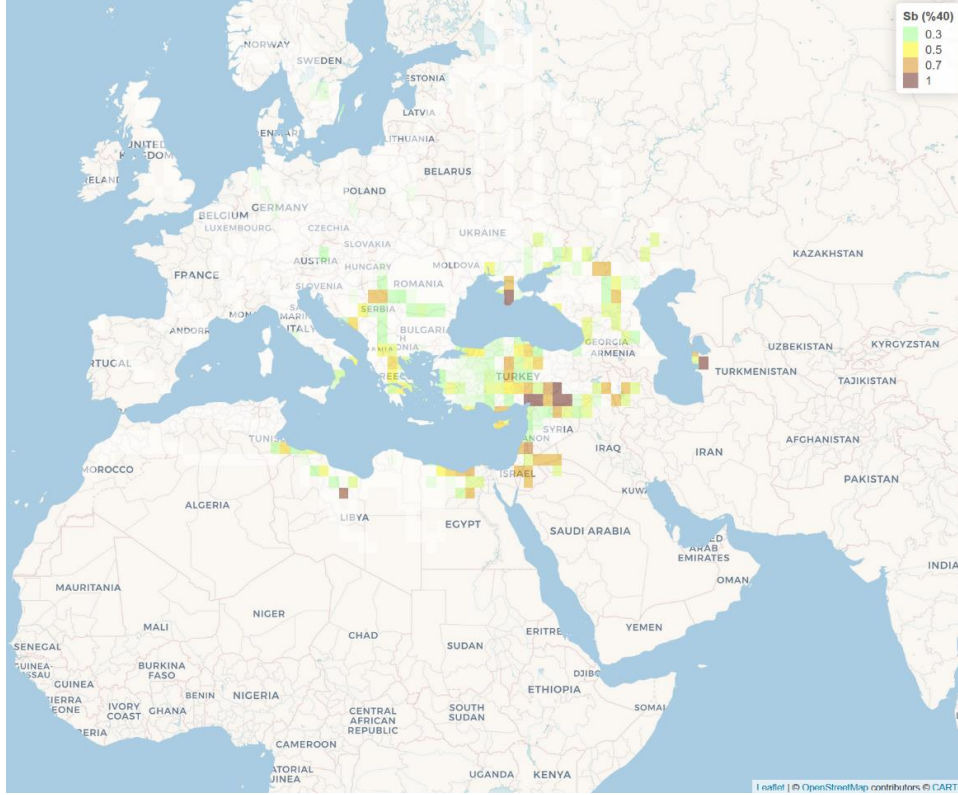
Şekil_Ek 15. Mo için hesaplanan PKKF sonuçları



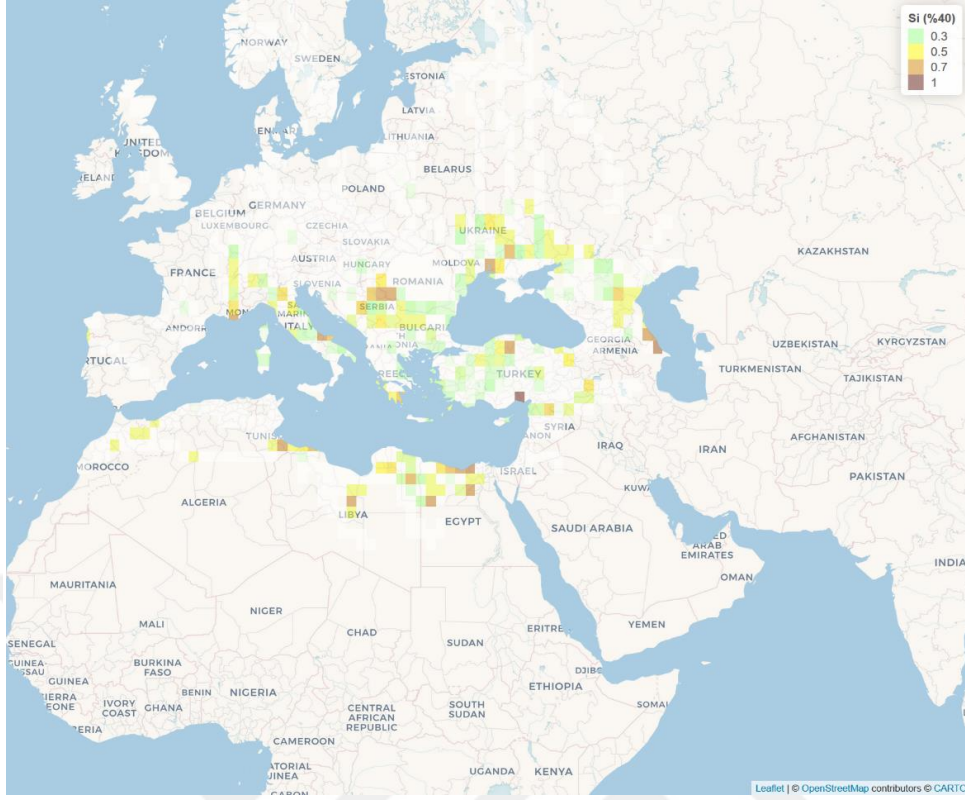
Şekil_Ek 16. Na için hesaplanan PKKF sonuçları



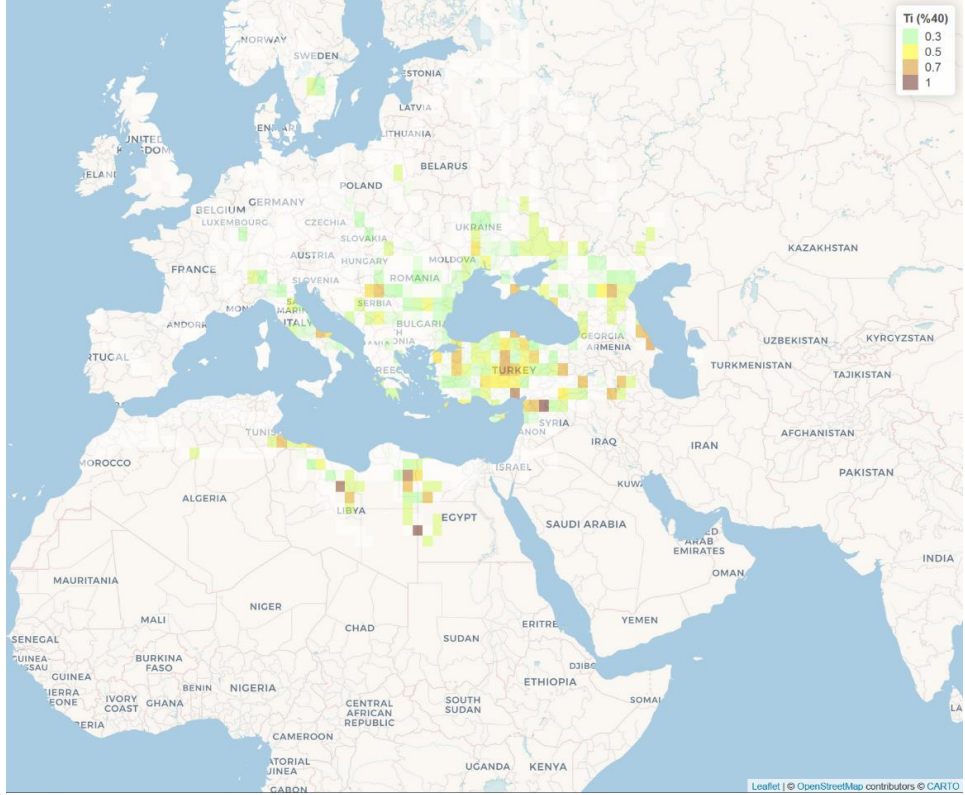
Şekil_Ek 17. P için hesaplanan PKKf sonuçları



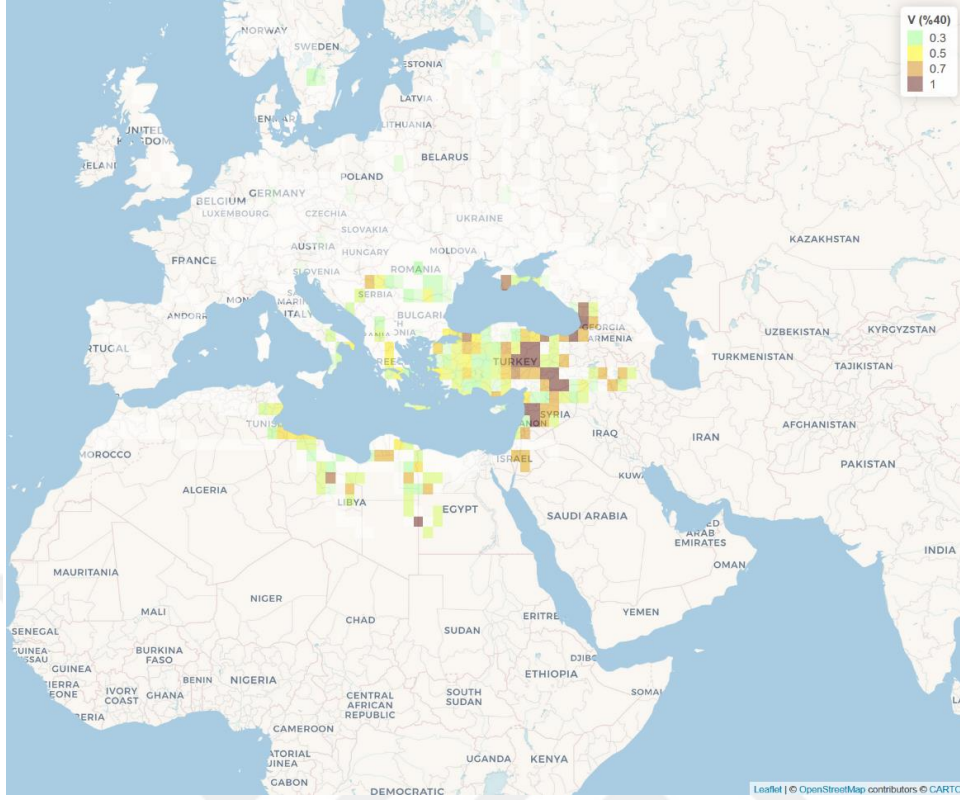
Şekil_Ek 18. Sb için hesaplanan PKKf sonuçları



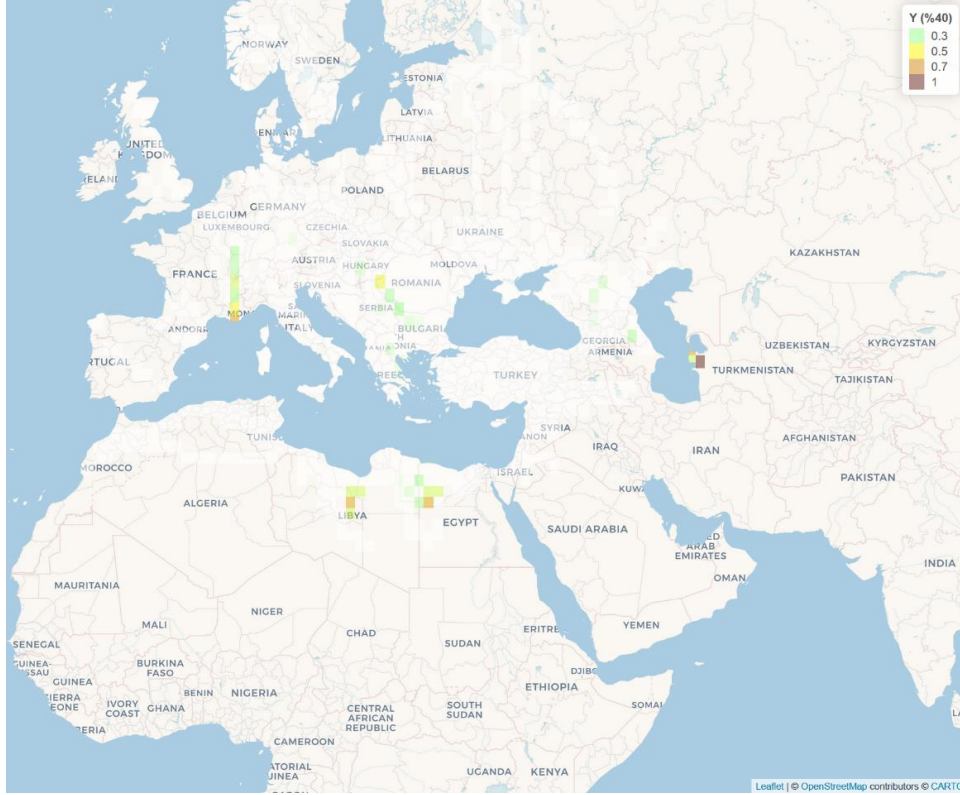
Şekil_Ek 19. Si için hesaplanan PKKF sonuçları



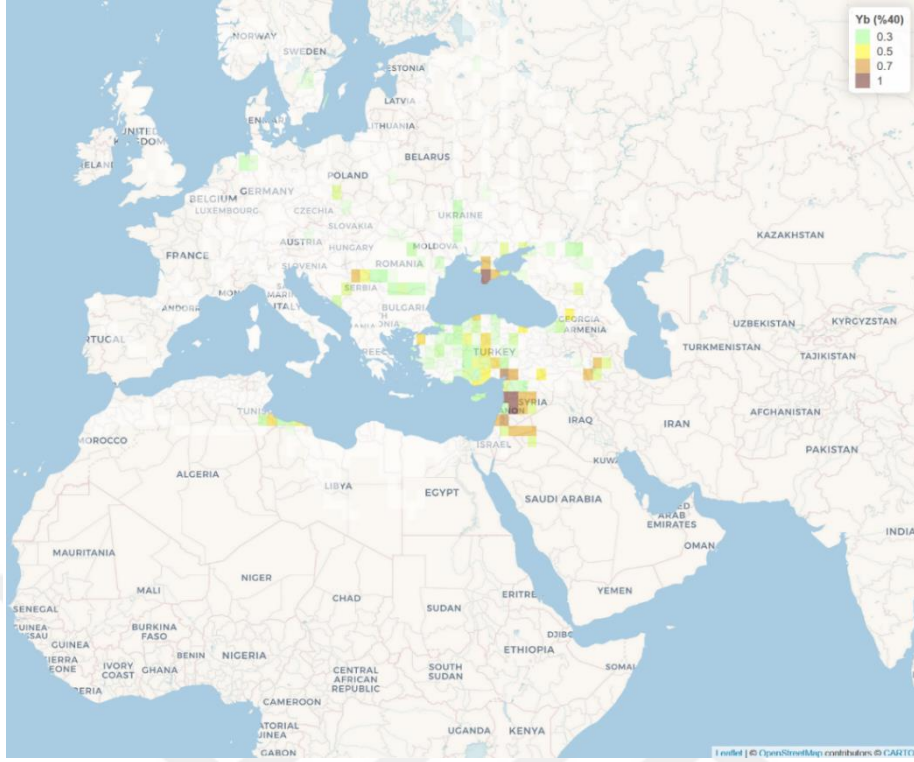
Şekil_Ek 20. Ti için hesaplanan PKKF sonuçları



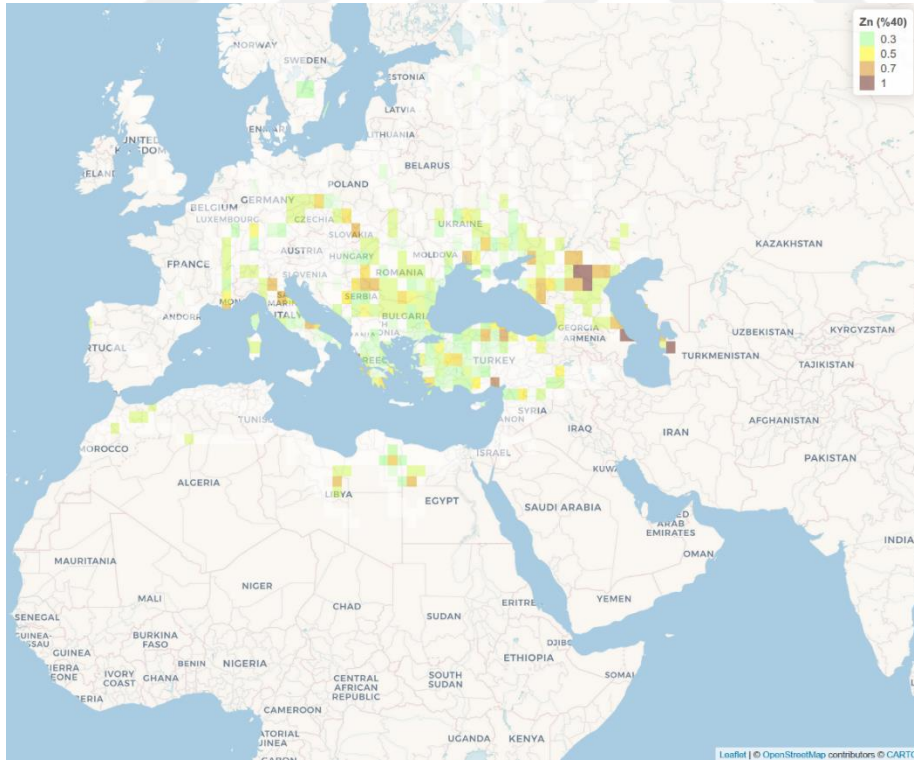
Şekil_Ek 21. V için hesaplanan PKKF sonuçları



Şekil_Ek 22. Y için hesaplanan PKKF sonuçları



Şekil_Ek 23. Yb için hesaplanan PKKf sonuçları



Şekil_Ek 24. Zn için hesaplanan PKKf sonuçları

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet Mustafa TEPE

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Doktora	Akdeniz Üniversitesi
2016-2023	Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği ABD, Antalya
Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2013-2016	Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği ABD, Antalya
Lisans	İstanbul Teknik Üniversitesi
2007-2012	İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Araştırma Görevlisi	Akdeniz Üniversitesi
2013-Devam Ediyor	Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Antalya

ESERLER

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

1. **Tepe, A.M.** & Doğan, G. 2021. Chemical characterization of PM_{2.5} and PM_{2.5-10} samples collected in urban site in mediterranean coast of turkey. *Atmospheric Pollution Research*, 12 (1): 46-59. DOI: 10.1016/j.apr.2020.08.012

Ulusal hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

1. Yalcın, F., **Tepe, A. M.**, Doğan, G. & Çizmeci, N. (2021). Spatial Regression Models for Explaining AQI Values in Cities of Turkey. *Kocaeli Journal of Science and Engineering*, 4 (1), 1-15. DOI: 10.34088/kojose.803949
2. **Tepe, A. M.** & Doğan, G. (2019). Türkiye'nin Güney Sahilinde Yer Alan Dört Şehrin Hava Kalitelerinin İncelenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7 (3), 585-595. DOI: 10.21923/jesd.535124

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

1. **Tepe A. M.**, Akbaş M., Avcı M. N., Doğan G. (2022). The Use of Maquis as Bio-monitors in Air Pollution Monitoring: The Case Study of Antalya. 4th International Chemistry Congress (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)
2. **Tepe, A. M.** & Doğan, G. (2020). Use of rain data in backtrajectories to estimate desert dust transport to a city located on northeast Mediterranean. 18th World Clean Air Congress (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)
3. **Tepe, A. M.** & Doğan, G. (2019). Effect of Rainfall on Desert Dust Transport to a City Located on Mediterranean Coast of Turkey. 9th International Symposium on Atmospheric Sciences, 1(1), 553-562. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
4. Yalcın, F., **Tepe, A. M.**, Doğan, G. & Çizmeci, N. (2019). Investigation of Air Quality Index by Spatial Data Analysis: A Case Study on Turkey. The 2nd International Conference of Pure Applied Mathematics and Related Areas (MICOPAM 2019), 23-27. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
5. Yalcın, F., **Tepe, A. M.**, Doğan, G. & Çizmeci, N. (2018). Regression analysis of the effect of meteorological parameters on air quality in three neighboring cities located on the Mediterranean coast of Turkey. International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics 2018, 2116, 100015-100015., DOI: 10.1063/1.5114091 (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
6. **Tepe, A. M.**, Zararsız, A. & Doğan, G. (2017). Determination of elemental composition of particulates in Antalya urban atmosphere. European Aerosol Conference (Özet Bildiri/Poster)
7. **Tepe, A. M.**, Balcılar, I. & Doğan, G. (2016). Determination of Elemental Composition of Winter Season Particulates in Antalya Urban Atmosphere. 1st

International Black Sea Congress on Environmental Sciences, 2, 914-922. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)

8. **Tepe, A. M.** & Doğan, G. (2016). Comparison of Effect of Sharan Dust Transport to Cities Located on Black Sea and Mediterranean Coasts of Turkey. 1st International Black Sea Congress on Environmental Sciences (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)
9. **Tepe, A. M.**, Doğan, G. (2015) & Balcılar, I. Comparison of influence of dust transport to PM10 concentrations in different cities located on Mediterranean coast of Turkey. 18th International Symposium on Environmental Pollution and its Impact on Life in the Mediterranean Region, 136-136. (Özet Bildiri/Poster)
10. **Tepe, A. M.**, Doğan, G. & Moral, Ç. (2014). Investigation of the Influence of Meteorological Parameters on PM10 Levels in Antalya Turkey. 2nd International Symposium on Environment and Morality, 503-509. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
11. Doğan, G., **Tepe, A. M.** & Moral, Ç. (2014). Comparison Of PM₁₀ And SO₂ Concentrations in The Cities Located at The Mediterranean Coast of Turkey. 2nd International Symposium on Environment and Morality, 495-502. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
12. Doğan, G. & **Tepe, A. M.** (2014). Investigation Of Particulate Matter Pollution In Antalya, Turkey. 12th International Conference on Protection and Restoration of the Environment, 292-292. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

1. **Tepe, A. M.**, Aksoy, A. & Doğan, G. (2017). Trabzon İli Hava Kalitesinin İncelenmesi. 7. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, 183-183. (Özet Bildiri/Poster)
2. **Tepe, A. M.** & Doğan, G. (2017). Antalya Ortam Havasındaki PM_{2,5} ve PM_{2,5-10} Kaynaklarının Belirlenmesi. 7. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, 203-219. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
3. Ecer, A., Sarıkaya, B., **Tepe, A. M.** & Doğan, G. (2017). Mardin İli Hava Kalitesinin Değerlendirilmesi. 7. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, 853-862. (Tam Metin Bildiri/Poster)
4. Olgun, B., **Tepe, A.M.**, Moral, Ç., Erdem, A. & Doğan, G. (2017). Karayosunları ile Hava Kalitesi Örnekleme: Bitmiş mi Başlıyor mu?. VII. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu (Özet Bildiri/Poster)
5. **Tepe, A. M.** & Doğan, G. (2016). Antalya Şehir Havasındaki PM_{2,5} ve PM_{2,5-10} Sonuçlarının Değerlendirilmesi. 3. Ulusal Çevre Kongresi, 6-6. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)

6. **Tepe, A. M. & Doğan, G. (2016).** Türkiye'nin Karadeniz'de Kıyı Şeridindeki İllerdeki PM10 Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi. 3. Ulusal Çevre Kongresi, 32-32. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)
7. **Tepe, A. M. & Doğan, G. (2015).** Akdeniz kıyısındaki iki şehirdeki ortam havasındaki PM10 değerlerinin ve sebeplerinin araştırılması. 11. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, 1, 674-687. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
8. **Tepe, A. M. & Doğan, G. (2015).** Türkiye'nin Akdeniz Sahilinde Yer Alan Şehirlerindeki PM10 ve SO2 Konsantrasyonlarının İncelenmesi. 6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, 607(620) (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
9. **Tepe, A. M. & Doğan, G. (2015).** Antalya'daki PM10 Kirliliğinin Değerlendirilmesi. 6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, 1-11. (Tam Metin Bildiri/Poster)
10. **Tepe, A. M. & Doğan, G. (2015).** Hatay'daki Hava Kirliliğinin İncelenmesi. Hatay Çevre Sorunları ve Çözüm Önerileri Sempozyumu, 19-19. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)