T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ATMOSFERİK PARTİKÜL MADDELERİN (PM) KİMYASAL KARAKTERİZASYONUNUN BELİRLENMESİ VE KAYNAKLARININ TESPİT EDİLMESİ: ŞANLIURFA ÖRNEĞİ

Muhammed YEŞİLDAĞ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2022

T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ATMOSFERİK PARTİKÜL MADDELERİN (PM) KİMYASAL KARAKTERİZASYONUNUN BELİRLENMESİ VE KAYNAKLARININ TESPİT EDİLMESİ: ŞANLIURFA ÖRNEĞİ

Muhammed YEŞİLDAĞ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ v
1. GİRİŞ 1
1.1. Hava Kirliliği 3
1.1.1. Hava kirliliği kaynakları 5
1.1.2. Hava kirleticileri 5
1.1.3. Hava kirliliğinin taşınımı ve birikimi 7
1.2. Çöl Tozları 9
1.3. Partikül Maddeler 11
1.3.1. Partikül maddelerin boyutlandırılması 12
1.3.2. Partikül maddelerde metal ve ağır metal varlığı 14
1.4. Hava Kirliliğinin İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri 17
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 24
3. MATERYAL ve YÖNTEM 34
3.1. Materyal 34
3.1.1. Çalışma alanı 34
3.1.2. PM örneklemesi 35
3.2. Yöntem 38
3.2.1. ICP-MS analizi 38
3.2.2. HYSPLIT model ve MODIS uydu görüntüsü 40
3.2.3. Pozitif matriks faktörizasyonu (PMF) 41
3.2.4. Zenginleştirme faktörü (EF) 43
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 44
4.1. $PM_{2.5}$ ve PM_{10} Konsantrasyonları 44
4.2. $PM_{2.5}$ ve PM_{10} Elementel Konsantrasyonları 48
4.2.1. $PM_{2.5}$ 49
4.2.2. PM_{10} 51
4.3. Meteorolojik Veriler 53
4.4. HYSPLIT geri yörünge analizi ve MODIS uydu görüntüleri 55
4.5. Pozitif Matriks Faktörizasyonu (PMF) 89
4.5.1. $PM_{2.5}$ kesrinde Orta Doğu-Arap Yarımadası için kaynakların belirlenmesi 92
4.5.2. $PM_{2.5}$ kesrinde Sahra ve Akdeniz için kaynakların belirlenmesi 95
4.5.3 $PM_{2.5}$ kesrinde Doğu Avrupa ve Türkiye için kaynakların belirlenmesi 97
4.5.4. PM_{10} kesrinde Orta Doğu-Arap Yarımadası için kaynakların belirlenmesi 99
4.5.5. PM_{10} kesrinde Sahra ve Akdeniz için kaynakların belirlenmesi 102
4.5.6. PM_{10} kesrinde Doğu Avrupa ve Türkiye için kaynakların belirlenmesi 104
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 107
5.1. Sonuçlar 107
5.2. Öneriler 112
KAYNAKLAR 113
ÖZGEÇMİŞ 127

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ATMOSFERİK PARTİKÜL MADDELERİN (PM) KİMYASAL KARAKTERİZASYONUNUN BELİRLENMESİ VE KAYNAKLARININ TESPİT EDİLMESİ: ŞANLIURFA ÖRNEĞİ

Muhammed YEŞİLDAĞ

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Tuba RASTGELDİ DOĞAN
İkinci Danışman: Doç. Dr. Melik KARA
Yıl:2022, Sayfa: 127

Yer yüzünün 1/5 'i çöllerle kaplı olup meteorolojik etkilerle çöllerde bulunan partikül maddeler (PM) atmosferik olarak farklı bölgelere taşınmaktadır. Bu taşınım sürecinde, Kuzey Afrika kökenli Sahra çöl tozları PM'lerin en önemli kaynağı olarak bilinmektedir. PM'ler farklı bileşimlere sahip olan ve solunabilir boyutlarda olması nedeniyle insan sağlığının yanı sıra iklim üzerinde etkileri yüksek olan önemli bir kirleticidir. Şanlıurfa, coğrafi konumu ve jeolojik yapısı nedeniyle başta Sahra olmak üzere Suriye, Arap Yarımadası ve Ortadoğu çöl bölgelerinden gelen PM'lerden etkilenmektedir. Bu çalışmada; i)Şanlıurfa Harran Üniversitesi Çevre Mühendisliği bina çatısında bulunan Partisol 2025 ID örnekleme cihazı ile toplanan 248 adet ince partikül madde ($PM_{2.5}$) ve 248 adet kaba partikül madde (PM_{10}) filtrelerinin elementel kompozisyonunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda $PM_{2.5}$ ve PM_{10} filtreleri bünyesindeki Ag, Al, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Ga, Gd, Ge, Hf, Hg, Ho, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Nd, Ni, P, Pb, Pd, Pr, Pt, Rb, Rh, Sb, Sc, Se, Si, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Yb, Zn, Zr olmak üzere toplam 62 element ICP-MS cihazı kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonucunda toplam PM filtrelerindeki toprak kökenli element konsantrasyonları yüksek ölçülmüştür. Ca, Fe, Al, Mg, Na ve K elementlerinin ortalama konsantrasyonları sırasıyla 3535, 640, 626, 316, 228 ve 224 ng/m^3 olarak hesaplanmıştır. Bu elementlerin toplam ortalama konsantrasyonları toplam element konsantrasyonunun %53,9'unu oluşturmuştur. Ayrıca Si elementi bu elementler arasında 3361 ng/m^3 ile en yüksek konsantrasyon değerine sahip element olmuştur. ii) Çalışma kapsamında bölgedeki hava hareketleri HYSPLIT geri yörünge analizi ile belirlenmiştir. Geri yörünge ve kümeleme analizi sonucuna göre bölgeye ulaşan 5 yörüngeden ikisinin aynı yönden geldiği tespit edilmiş ve nihai olarak Orta Doğu-Arap Yarımadası Bölgesi, Sahra-Akdeniz Bölgesi, Doğu Avrupa-Türkiye Bölgesi yörüngeleri olmak üzere toplamda 3 adet yörünge belirlenmiştir. iii) PM'lerin olası kaynak faktörlerini ve katkı oranlarını belirlemek amacıyla Pozitif Matris Faktorizasyon (PMF) modeli kullanılmıştır. PMF modeli $PM_{2.5}$ ve PM_{10} filtreleri için uygulanmış; çalışmada belirlenen 3 yörünge için kaynak belirlemesi gerçekleştirilmiştir. Yüksek toz oranına sahip günler için PMF modellemesi sonucunda toprak (%38), toz taşınımı (%35), trafik-bölgesel (%18), bölgesel veya taşınım (%7) ve endüstriyel (%2) olmak üzere 5 ana kaynak belirlenmiştir. Sonuç olarak; bu çalışmada Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde ölçülen PM konsantrasyonlarının muhtemel ana kaynakları ve bu kaynakların katkı oranları tespit edilmiştir. Çalışmada belirlenen 3 farklı yörünge için PM'lerin kimyasal kompozisyonu belirlenmiştir. Bu çalışma, PM'lerin kimyasal içerik ve konsantrasyonlarının bölgede yaşayan insanların sağlığı üzerine, ziraai faaliyetlere ve güneş panellerine etkileri gibi birçok multidisipliner çalışmalara imkan sağlayacaktır.

ANAHTAR KELİMELER: Partikül madde, Atmosferik taşınım, Kimyasal karakterizasyon, PMF, Şanlıurfa

ABSTRACT

MSc Thesis

DETERMINING THE CHEMICAL CHARACTERIZATION OF ATMOSPHERIC PARTICULATE MATTERs (PM) AND SOURCE APPOINTMENT: THE CASE OF SANLIURFA

Muhammed YEŞİLDAĞ

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Tuba RASTGELDİ DOĞAN
Co-supervisor: Assoc. Prof. Dr. Melik KARA
Year: 2022, Page: 127

1/5 of the earth's surface is covered with deserts, and particulate matter (PM) in deserts is atmospherically transported to different regions with meteorological effects. In this transport process, Saharan desert dust from North Africa is known to be the largest source of PM. PMs are a major pollutant that has significant impacts on climate and human health because of their respirable sizes and different compositions. Due to its geographical location, and geological structure, Sanliurfa is affected by PMs from mainly Sahara, Syria, Arabian Peninsula and desert regions of the Middle East. In this study; i) It is aimed to determine the elemental composition of 248 fine particulate matter ($PM_{2.5}$) and 248 coarse particulate matter (PM_{10}) filters collected with the Partisol 2025 ID sampling device located on the roof of the Environmental Engineering Building of Sanliurfa Harran University. For this purpose analyses of 62 trace elements in both $PM_{2.5}$ and PM_{10} filters including Ag, Al, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Ga, Gd, Ge,Hf, Hg, Ho, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Nd, Ni, P, Pb, Pd, Pr, Pt, Rb, Rh, Sb, Sc, Se, Si, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Yb, Zn, Zr were carried out using Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS). Following the analysis, it was measured that the concentrations of soil-derived elements in the PM samples were higher. Mean Ca, Fe, Al, Mg, Na and K concentrations were calculated as 3535, 640, 626, 316, 228 and 224 ng/m^3, respectively. The total concentrations of these elements composed 53.9% of the total element concentrations on average. Additionaly, Si (3361 ng/m^3) was the element measured at the highest concentrations among these elements. ii) Within the scope of the study, the air movements affecting the area were determined by the HYSPLIT return trajectory analysis. As a result of this analysis, the 5 trajectories reaching the area in the same direction were decided to combined, and finally 3 trajectories were determined as Middle East-Arabian Peninsula, Saharan-Mediterranean, Eastern Europe-Turkey. iii) Positive Matrix Factorization (PMF) model was applied to identify possible sources of $PM_{2.5}$ and PM_{10} filters. The PMF model was applied for 3 trajectories determined separately for $PM_{2.5}$ and PM_{10} filters. As a result of PMF modeling for days with high dust content, 5 main sources were determined as soil (38%), dust transport (35%), traffic-regional (18%), regional or transport (7%), and industrial (2%). Hereby, the possible main sources of PM concentrations measured in the Southeastern Anatolia Region and the contribution rates of these sources were determined The chemical composition of PMs was determined in 3 different trajectories. This study will enable many multidisciplinary studies such as the effects of chemical content and concentrations of PMs on public health living in the region, agricultural activities and solar panels.

KEYWORDS: Particulate matter, Atmospheric transport, Chemical characterization, PMF, Sanliurfa

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamı yürüttüğüm süre zarfında hiçbir zaman desteğini esirgemeyen ve tecrübesini aktaran hocam Sayın Dr. Öğretim Üyesi Tuba RASTGELDİ DOĞAN'a, bilgi birikimi ve tecrübelerinden faydalandığım ikinci danışmanım Sayın Doç. Dr. Melik KARA'ya, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği bölümü laboratuvar çalışanlarına, bu çalışmaya (121Y344) katkılarından dolayı TUBİTAK'a, yardımlarından dolayı bölümümüz doktora öğrencisi Abdullah İzzettin KARABULUT'a, tezimde bilgi birikimini benden esirgemeyen ve desteğini her daim hissettiğim Çevre Yüksek Mühendisi Bedia ÇALIŞ'a ve her zaman arkamda olup beni destekleyen AİLEME teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Atmosferin su buharı haricindeki bileşimi 4
Şekil 1.2. Afrika kıtasında bulunan Sahra çölünün haritada gösterimi 10
Şekil 1.3. PM'nin virüs, bakteri ve kan hücresi ile boyut olarak karşılaştırılması 13
Şekil 1.4.İnhalasyon yoluyla PM maruziyetinin solunum ve sistemik etkisi için yolların şematik gösterimi 20
Şekil 3.1. Çalışma alanının konumu.....34
Şekil 3.2. Partisol 2025 ID örnekleme cihazı 35
Şekil 3.3. Cihazda kullanılan filtre örnekleri.....35
Şekil 3.4. UV-cleaner Box 36
Şekil 3.5. Filtrelerin desikatörde bekletilmesi.....36
Şekil 3.6. Filtrelerin ağırlıklarının ölçüldüğü hassas terazi 37
Şekil 3.7. A) Örneklerin Teflon kaplara yerleştirilmesi, B) Örneklerin ICP-MS cihazında analizi 39
Şekil 4.1. PM'lerin ilkbahar mevsimine ait konsantrasyonları.....45
Şekil 4.2.PM'lerin yaz mevsimine ait konsantrasyon değerleri 46
Şekil 4.3. PM'lerin sonbahar mevsimine ait konsantrasyon değerleri 47
Şekil 4.4. PM'lerin kış mevsimine ait konsantrasyon değerleri 48
Şekil 4.5. Örnekleme dönemine ait rüzgâr yönü ve hızları 54
Şekil 4.6. Örnekleme dönemi mevsimsel rüzgâr yönü ve hızları 55
Şekil 4.7. İlkbahar dönemi için seçilen günlere ait veriler A) MODIS uydu görüntüleri, B)HYSPLIT modeli.....61
Şekil 4.8. Yaz dönemi için seçilen günlere ait veriler A) MODIS uydu görüntüleri, B)HYSPLIT modeli.....63
Şekil 4.9. Sonbahar dönemi için seçilen günlere ait veriler A) MODIS uydu görüntüleri, B)HYSPLIT modeli.....65
Şekil 4.10. Kış dönemi için seçilen günlere ait veriler A) MODIS uydu görüntüleri, B)HYSPLIT modeli.....67
Şekil 4.11. Nisan ayı verileri, A) MODIS uydu görüntüleri, B)HYSPLIT modeli 69
Şekil 4.12. Mayıs ayı verileri, A) MODIS uydu görüntüleri, B)HYSPLIT modeli 63
Şekil 4.13. Haziran ayı verileri, A) MODIS uydu görüntüleri, B)HYSPLIT modeli.....65
Şekil 4.14. Temmuz ayı verileri, A) MODIS uydu görüntüleri, B)HYSPLIT modeli 67
Şekil 4.15. Ağustos ayı verileri, A) MODIS uydu görüntüleri, B)HYSPLIT modeli 61
Şekil 4.16. Eylül ayı verileri, A) MODIS uydu görüntüleri, B)HYSPLIT modeli.....63
Şekil 4.17. Ekim ayı verileri, A) MODIS uydu görüntüleri, B)HYSPLIT modeli.....81
Şekil 4.18. Kasım ayı verileri, A) MODIS uydu görüntüleri, B)HYSPLIT modeli 83
Şekil 4.19. Aralık ayı verileri, A) MODIS uydu görüntüleri, B)HYSPLIT modeli 85
Şekil 4.20. Ocak ayı verileri, A) MODIS uydu görüntüleri, B)HYSPLIT modeli 87
Şekil 4.21. Şubat ayı verileri, A) MODIS uydu görüntüleri, B)HYSPLIT modeli 89
Şekil 4.22. Yüksek toz oranına sahip günlerde kaynakların katkı oranları 91
Şekil 4.23. Orta Doğu - Arap Yarımadası yörüngesinde kaynakların katkı oranları ($PM_{2,5}$).....93
Şekil 4.24. Sahra ve Akdeniz yörüngesinde kaynakların katkı oranları ($PM_{2,5}$) 95
Şekil 4.25. Doğu Avrupa ve Türkiye yörüngesinde kaynakların katkı oranları ($PM_{2,5}$) 98
Şekil 4.26. Orta Doğu - Arap Yarımadası yörüngesinde kaynakların katkı oranları (PM_{10}).....100
Şekil 4.27. Sahra ve Akdeniz yörüngesinde kaynakların katkı oranları (PM_{10}).....102
Şekil 4.28. Doğu Avrupa ve Türkiye yörüngesinde kaynakların katkı oranları (PM_{10}).....105

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Birincil ve ikincil kirleticiler 6
Çizelge 1.2. Çöl tozlarının içeriğinde yer alan bileşikler ve değerleri 16
Çizelge 1.3. Eser elementler ve kaynak türleri 17
Çizelge 1.4. Hava kirleticiler ve potansiyel sağlık etkisi 18
Çizelge 1.5. Uzun ve kısa vadeli hava kalitesi için oluşturulan geçici hedef kılavuz değerleri 21
Çizelge 1.6. WHO tarafından küresel çapta kullanılan ve yeniden düzenlenen kılavuz değerleri 21
Çizelge 3.1. Sarf malzemelere ve analitik standartlara ait detaylar.....40
Çizelge 4.1. $PM_{2.5}$ için ölçülen element konsantrasyonları (ng/m^3) (* birimsiz).....49
Çizelge 4.2. PM_{10} kesrinde ölçülen element konsatrasyonları (ng/m^3) (* birimsiz).....51
Çizelge 4.3. Üç farklı yörünge için $PM_{2.5}$ kesrinde element konsatrasyonları (ng/m^3) 56
Çizelge 4.4. Üç farklı yörünge için PM_{10} kesrinde element konsatrasyonları (ng/m^3).....58
Çizelge 4.5.Yüksek toz oranına sahip günlerde elementlerin faktör profillerindeki dağılımı (%).....91
Çizelge 4.6. $PM_{2.5}$ kesrinde Elementlerin faktör profillerindeki yüzdesel dağılımı (%) 93
Çizelge 4.7. $PM_{2.5}$ için Sahra ve Akdeniz yörüngesinde elementlerin faktör profillerindeki dağılımı (%).....95
Çizelge 4.8. $PM_{2,5}$ için Doğu Avrupa ve Türkiye yörüngesinde elementlerin faktör profillerindeki dağılımı (%).....98
Çizelge 4.9. PM_{10} kesrinde Elementlerin faktör profillerindeki yüzdesel dağılımı (%) 100
Çizelge 4.10. PM_{10} için Sahra ve Akdeniz yörüngesinde elementlerin faktör profillerindeki dağılımı (%).....102
Çizelge 4.11. PM_{10} için Doğu Avrupa ve Türkiye yörüngesinde elementlerin faktör profillerindeki dağılımı (%).....105
Çizelge 5.1. Literatürde PMF modeli ile ilgili yapılan bazı çalışmalar.....110

1. GİRİŞ

Son yıllarda, iklim değişikliği üzerindeki etkisi ile birlikte aynı zamanda morbidite ve mortalite oranlarındaki artışa neden olan, başta insan sağlığı olmak üzere bütün canlılara zararlı etkisi ispatlanan en önemli problemlerden birisi hava kirliliğidir (Manisalidis ve ark., 2020). Hava Kirliliği; atmosferde bulunan kükürt oksitler (SO_x), partikül maddeler (PM_x), nitrojen oksitler (NO_x) ve ozon (O_3) gibi çeşitli kirleticilerin insan ve çevreye zararlı olabilecek miktar ve sürede var olması olarak tanımlanmaktadır (Dörtbudak ve ark., 2006; Seven ve ark., 2018).

Hava kirleticiler kendi içerisinde gazlar ve aerosol olarak ikiye ayrılabilir. En temel gaz kirleticileri karbon monoksit (CO), kükürt dioksit (SO_2), azot dioksit (NO_2) ve uçucu organik bileşikler (UOB) olarak sıralanır. Solunma risklerinden dolayı PM'ler ($PM_{2.5}$ ve PM_{10}) aerosol kirleticileri içerisinde en zararlı ve tehlikeli olarak kabul edilmektedir (Zeydan, 2021). Kentsel bölgelerde havadaki PM'ler güçlü bir hava kirleticisi olarak kabul edilir (Khan,2010; Liu,2014; Özbeyaz, 2016). Partikül maddelerin tanımlaması yapılırken rüzgar, deniz ve volkanik olaylarla veya antropojenik aktiviteler sonucu meydana gelen gazın içerisinde var olan ince, katı veya sıvı taneciklerin oluşturduğu süspansiyon olarak ifade edilmekte ve literatürde aerosol olarak tanımlanmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USEPA) tarafından 10 μm' ye kadar olan parçacıklar PM_{10} ve 2,5 μm'ten küçük olan parçacıklar $PM_{2.5}$ olarak sınıflandırılmıştır. En genel anlamda PM_{10} ifadesi kaba partikül, $PM_{2.5}$ ifadesi ise ince partikülleri temsil etmektedir. Partikül maddelerin meydana geldiği kaynak ve bileşimleri çok karışıktır. Troposferde bulunan partikül maddelerin büyük kısmı insan aktiviteleri sonucu oluşmakta ve içeriğinde iz metal elementleri, karbonlu maddeler, sülfat, amonyum, klor ve çeşitli toprak elementleri içerebilmektedir (Seinfeld ve Pandis, 2006; Rastgeldi, 2014).

PM'ler, çevre ve sağlık üzerine olan olumsuz etkileri göz önüne alındığında çaplarına ve bileşimlerine göre farklılıklar gösterebilmektedirler. Özellikle ince ve solunabilir boyuttaki $PM_{2.5}$ başta insan sağlığı olmak üzere, ekolojik çevre üzerinde de olumsuz etkilere neden olmaktadır. PM'ler kirletici kaynaklarına ve oluşum süreçlerine bağlı olarak atmosferde değişik boyut ve bileşimlerde var olabilmektedir

(Co, 2014; Munir 2017; Bozkurt, 2018). PM çapı ile havada asılı kalma süresi arasında bir doğru orantı bulunmaktadır. PM_{10} atmosferde dakikalarca ve saatlerce kalabilirken $PM_{2.5}$'e göre daha büyük olan çapa sahip olması sebebiyle daha kısa mesafeler boyunca taşınabilmektedir. $PM_{2.5}$ ise havada haftalarca kalabilirken, küçük olan çapı ve daha hafif olması nedeniyle atmosferde çok uzun yollar kat edebilmektedir (Özbeyaz ve ark., 2016).

PM maruziyeti başta solunum olmak üzere dolaşım sistemi rahatsızlıkları ile de ilişkilendirilmiştir (Polichetti ve ark., 2009; Kim ve ark., 2015; Zeydan, 2021). İnsan vücudundaki rahatsızlıkların ana sebepleri arasında birçok kirletici mevcuttur. Örneğin çeşitli çaplarda bulunabilen PM'ler vücuda solunum yoluyla giriş yaparak başta merkezi sinir sisteminde işlev bozuklukları olmak üzere; kansere, kardiyovasküler hastalıklara ve üreme sisteminin zarar görmesine kadar çeşitli bozukluklara sebep olabilmektedir (Manisalidis ve ark., 2020). Güncel araştırmalara göre PM maruziyeti ile beyin ve sinir sisteminin etkilendiği (Chew ve ark., 2020), bebeklerin düşük kilo ile dünyaya geldiği (Kim ve ark., 2016) ve obezite ile birlikte metabolik sendrom riskinin arttığı bilimsel olarak kanıtlanmıştır (Wei ve ark., 2016). Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ)'nün yapmış olduğu araştırmalara göre dünya nüfusunu oluşturan popülasyonun %91'i yaşamlarını sürdürdükleri alanlarda hava kalitesi sınır değerlerinin aşıldığı havaya maruz kaldıkları ve her sene 4.2 milyon bireyin hava kirliliğine bağlı olarak yaşamını yitirdiği belirtilmektedir (WHO, 2020; Zeydan, 2021).

İnce solunabilir ve kaba solunabilir PM'lerin değişik kaynaklardan gelmesi ve farklı kimyasal ve fiziksel özellikler barındırması sebebiyle $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranları, PM oluşumu, PM'lerin insan sağlığına etkileri ve partiküllerin kaynakları ile ilgili önemli bilgiler verebilmektedir. Örneğin herhangi bir noktadan alınan numunelerde $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranlarının yükselmesi, trafik emisyonların ve antropojenik kaynakların atmosferik kirlenmeye katkılarını gösterirken; ikincil oluşumların katkısının azalması, toprağın resirküle olması ve toz emisyonlarının artması ise doğal kaynakların katkılarının olduğunu göstermektedir. Buna ek olarak $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranlarında zamansal ve mekansal değişiklikler de görülebilmektedir (Evagelopoulos, 2013; Xu, 2017; Bozkurt, 2018).

Atmosferdeki PM'lerin sebep olduğu hava kirliliği, dikkat edilmesi gereken önemli çevre sorunları arasındadır. Dünyadaki birçok şehirde bu problemin görülmesinde hızlı sanayileşme ve kentleşmenin etkisi görülmektedir. Bu nedenlerden dolayı hava kalitesi yönetimi programlanırken PM'lerin izlenmesi, modellenmesi, elementel bileşiminin araştırılması, sağlık ve çevresel etkilerinin çalışılması hava kalitesi açısından oldukça önemlidir (Habeebullah, 2016; Bozkurt, 2018).

Bu çalışmada, Türkiye'nin hava kalitesinin iyileştirilmesine, hava kirliliği ile mücadelesinde ulusal ve yerel yönetimlerin planlamalarına, hava kalitesi ölçüm verilerinin iyi bir şekilde modellenerek alınabilecek önlemlerin tespitine ve güncel mevzuatlara katkı sağlaması amacıyla; Şanlıurfa ili atmosferindeki $PM_{2.5}$ ve PM_{10} hava kirletici parametreleri, PMF modeli ile analiz edilerek kimyasal karakterizasyon çalışması yapılmıştır.

Atmosferdeki kirliliğe neden olan PM'lerin elementel yapısı analiz edilerek metal ve ağır metal içeriği incelenmiş olup, $PM_{2.5}$ ve PM_{10} numunelerinin elementel konsantrasyonları belirlenip bu konsantrasyonların mevsimsel ve mekânsal değişimleri kirlilik kaynaklarıyla ilişkilendirilmiştir. PM'lerin kaynak belirlemeleri çeşitli uydu programları aracılığı ile tespit edilerek bu sonuçların literatüre katkı sağlaması amaçlanmıştır.

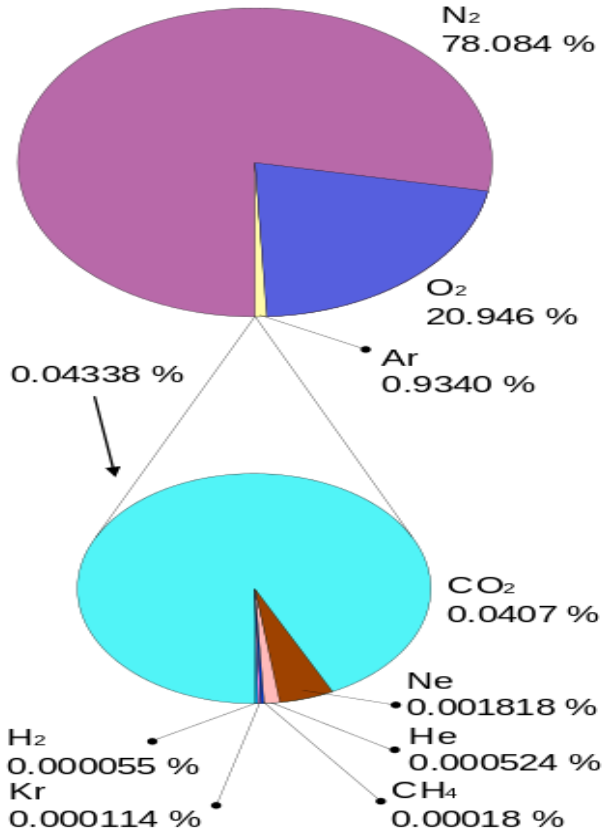
1.1. Hava Kirliliği

Hava kirliliği, başta insan sağlığı olmak üzere canlı yaşamına zarar veren, eşya ve yüzey materyallerini bozunuma uğratan, ekolojik dengenin sarsılmasına neden olan katı, sıvı ve gaz formuna sahip çeşitli kirleticilerin atmosferde var olması olarak tanımlanabilmektedir. Hava kirliliğinin oluşum nedenleri arasında, orman yangınları, sık yaşanan depremler, volkanik faaliyetler ve bataklıklar gibi doğal nedenler olabildiği gibi sanayi, ısınma, çeşitli ulaşım araçları ve enerji üretimi gibi insan aktiviteleri ile de meydana gelebilmektedir. Nüfusun hızla artması ve bununla birlikte artan şehirleşme ve sanayileşme oranı hava kirliliğini beraberinde getirmektedir. İklimsel özellikler ile birlikte çeşitli topografik koşullar ve çağımızın önemli problemi olan kuraklık da hava kirliliği seviyesini etkilemektedir (Teker,

2020). Başta insan olmak üzere canlı yaşamını ilgilendiren en temel çevresel oluşumlardan birisi de havadır (Chen ve ark., 2009; Demir, 2012). İnsanlık için temel birkaynak olan hava kirliliği, SO_x, NO_x ve PM_x gibi hava kirleticilerinin olumsuz etki yaratacak seviyelere ulaşması ile meydana gelmektedir (Bayram ve ark., 2006; Demir, 2012).

Normal şartlarda atmosferi oluşturan gazlar azot (%78,09), oksijen (%20,95), argon (%0,93), karbondioksit (%0,03) ve çok düşük miktarda var olan diğer gazlardır. Kirletici unsurların yüksek derişimlere ulaşması ile hava bileşim oranları bozulmakta ve canlı yaşamı için tehlikeli bir hale gelmektedir (Kocataş, 2006; Kaygaldurak, 2010).

Atmosferi meydana getiren çeşitli gazlar Şekil 1.1.'de yüzdelik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1 1. Atmosferin su buharı haricindeki bileşimi (Wikipedia, 2022)

Hava kirliliği üzerine yapılan çalışmaların başlangıç noktası, 1934'te Belçika'nın Meuse Vadisi'nde yaşanan ve binlerce kişinin ölümüyle sonuçlanan

yüksek PM emisyonlarıdır. 1947'de ABD'de bir eyalet ilçesi olan Donora'da ve 1952'de Londra'da da yüksek PM emisyon kaynaklı binlerce ölüm yaşanmıştır (Bayram ve ark., 2006; Teker, 2020). Ülkemizde endüstrileşmenin hızlandığı 1950 yıllarından itibaren büyük şehirlerdeki nüfus artışı ile hava kirliliği fark edilmeye başlanmıştır. Isınma amacıyla kullanılan yakıt çeşitleri, endüstri ve ulaşımın sebep olduğu hava kirliliği; rüzgar, basınç, nem ve sıcaklık gibi çeşitli meteorolojik parametrelerle taşınmış ve etki yüzdesi artmıştır (Tecer, 2011; Demir, 2012).

1.1.1. Hava kirliliği kaynakları

Hava kirliliğinin kaynak belirlemesi doğal ve yapay etkenlere göre sınıflandırılmaktadır. Doğal kaynaklar; çiçek polenleri ve mantar sporları, orman yangınları ve volkan faaliyetlerini içerirken; yapay kaynaklar ham maddelerin insan kullanımına sunabilmek için gereken süreçler sonucunda oluşan antropojenik kaynaklar olarak tanımlanabilmektedir. Yapay kaynaklar kendi içerisinde Sabit ve Hareketli Kaynaklar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

- **Sabit kaynaklar**: Bir üretim süreci sırasında katı, sıvı ve gaz formundaki yakıtların yakılmasıyla meydana gelen kirleticilerin baca yoluyla atmosfere yayılan emisyonun kaynaklarını ifade etmektedir.

- **Hareketli kaynaklar**: Çeşitli ulaşım araçlarının egzozlarından çıkan ve atmosfere salınan kirleticiler olarak tanımlanabilmektedir (Erbaslar ve ark., 2006; Kaygaldurak, 2010).

Hava kirliliğinin oluşumu temel olarak ele alındığında volkanik olaylar ve orman yangınları gibi doğal yollarla ortaya çıkmasının yanı sıra insan aktivitelerinin neden olduğu yapay yollarla da meydana gelebilmektedir (Ay ve ark., 2010; Orhun, 2013).

1.1.2. Hava kirleticileri

Atmosferde yer alışına göre sınıflandırılan kirletici grubu birincil ve ikincil olarak kategorize edilebilmektedir:

- **Birincil kirleticiler:** Atmosfere kaynağından direk olarak verilen kirleticilerdir (CO, SO_2 vb.).

- **İkincil kirleticiler:** Bazı kimyasal reaksiyonlar sonucu sonradan oluşan ve atmosfere salınan kirleticilerdir (SO_3, Aldehitler, Asitler vb.) (Gökmen, 2012; Orhun, 2013).

Birincil ve ikincil hava kirleticiler Çizelge 1.1.'de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Birincil ve ikincil kirleticiler (Gökmen, 2012; Orhun, 2013)

Sınıf	**Birincil Kirleticiler**	**İkincil Kirleticiler**
Kükürtlü bileşikler	SO_2, H_2S	SO_3, H_2SO_4, SO_X
Organik bileşikler	C_1-C_5 bileşikleri	Ketonlar, aldehitler,asitler
Azot bileşikleri	NO, NO_3	NO_2, NO_3 bileşikleri
Karbonlu bileşikler	CO, CO_2	-
Halojenler	HC_1, HF	- Fotokimyasal oksidantlar (Ozon, PAN, NO_2)

Kirleticileri fiziksel vaziyet ve boyutlarına göre sınıflandırmak mümkündür. Katı ve sıvı parçacıkları olan partikül kirleticiler ve gaz formundaki kirleticiler olarak kategorize edilmektedir. Kimyasal yapılarına göre sınıflandırma yapılırken hava kirleticileri organik ve inorganik maddeler olarak ayrılmaktadır.

- **Organik Kirleticiler:** Bu grupta yer alan hidrokarbonlar, benzen ve aldehitler organik kirleticiler olarak kabul edilmektedir.

- **İnorganik Kirleticiler:** Bu grupta yer alan kirleticiler ise azot oksitler, kükürt oksitler ve karbon oksitlerdir. Ağır metaller, florür ve amonyak gibi bileşikler de inorganik kirleticiler sınıfına girmektedir (Bayram ve Dikensoy, 2006; Orhun, 2013).

1.1.3. Hava kirliliğinin taşınımı ve birikimi

Çıkış noktası belli olan doğal ve antropojenik kaynaklardan atmosfere bırakılan PM'ler, rüzgarlar vasıtasıyla atmosferde uzun yollar kat ederek hem bölgesel hem de küresel olarak hava kalitesini olumsuz etkilemektedir. Çapları 50 μm'den ufak olan partiküller rüzgarın etkisiyle yeryüzünden havalanarak atmosferde uzak menzillere taşınmaktadır. Bununla birlikte mikroskop ile ancak görülebilecek kadar küçük olan partiküller, her sene açığa çıktığı kaynaklardan çok uzak mesafelere taşınmaktadırlar (Ertas, 2011).

Yoğunluklarının az olması sebebiyle hareket kabiliyeti çok hızlı olan hava kirleticileri hareket ederek dağılabilmektedir. Meteorolojik şartlar uygun olduğu zaman kaynaktan ortama yayılan toz ve gazlar hava akımları tarafından dağıtılmaktadır. Hava hareketleri ile birlikte dağılan toz ve kirleticiler şehirler, ülkeler ve hatta kıtalar arasında taşınabilmektedir. Bu transfer sırasında toz ve kirleticiler taşınım güzergahındaki alanlara da etki etmektedir. İlk etapta kirlilik taşınımının kısa mesafelerdeki alanlarda etkili olduğu düşünülse de bu taşınımın binlerce kilometre uzaklıklara kadar yetiştiği belirlenmiştir. Kaynağından atmosfere salınan kirleticiler, çeşitli hava hareketleri vasıtasıyla önce bulunduğu kentsel alanda birkaç saat içerisinde dağılmaktadır. Kirletici, bulunduğu kentten başka bir kente ise birkaç günlük süre zarfında ulaşabilmektedir. Bulunduğu ülkeden başka bir ülkeye varışı birkaç yılı bulan kirleticilerin dünya üzerindeki transferi ise 10 yıllık periyotlarda seyredebilmektedir. Uzun mesafeli toz ve kirletici transflerinin içeriği; radyoaktif madde içeren bulut grupları, orman yangınlarının neden olduğu tozlar, volkanik faaliyetler sonucu oluşan dumanlar ve çöl tozları örnek olarak sıralanabilmektedir. Atmosferdeki bulunma süreleri günler ile haftalar arasında değişen kirleticilere ise PM_x, NO_x ve SO_x örnek olarak verilebilir. Atmosferde belirli bir zaman diliminde taşınan kirleticiler bir süre sonra çökelme, seyrelme ve bazı kimyasal reaksiyonlar gibi çeşitli proseslerle bulundukları atmosferden uzaklaşıp yeryüzünde toplanmaktadır. Kirleticinin çökelerek yeryüzünde toplanması birikim olarak ifade edilmektedir. Birikim kendi içerisinde yaş ve kuru olarak sınıflandırılmaktadır. Kirleticilerin transferi fiziksel olarak nitelendirilen kuru birikim şeklinde olabildiği gibi kimyasal olarak ifade edilen yaş birikim şeklinde de gerçekleşebilmektedir (Kaygaldurak, 2010).

Hava kalitesinin bozulması genellikle insan faaliyetleriyle yakından ilişkilidir. Hava kirliliğinin insanlar, hayvanlar ve bitkiler üzerindeki zararlı etkilerinin yanı sıra (Lacressonnière ve ark., 2016 , Ho ve ark., 2016) çevresel estetik (Chameides ve ark., 1999), iklim değişikliği (Menon ve ark., 2002) ve tarımsal üretim üzerinde de olumsuz etkileri olabilmektedir (Adams ve ark., 1986; Westenbarger ve Frisvold, 1995).

Hava kirliliğinin özellikle ozonun tarımsal üretim üzerindeki olumsuz etkileri birçok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Çalışmalar, ozonun mahsulün büyümesine zararlı olduğunu ve üretim verimini önemli ölçüde azaltabileceğini göstermiştir. Örneğin, ozon (31–50 ppb) buğday verimini %9,7 azaltabilir (Feng ve Kobayashi, 2009 veya ozonda %1'lik bir azalma kışlık buğday verimini %0,68 artırabilir (Yi ve ark., 2016). Ozon, bitkilerin yapraklarını tahrip edebilmekte ve solunumu etkileyerek metabolizmalarını engelleyebilmektedir (Young ve Aidun, 1993). Ozon ayrıca karbondioksiti kullanarak bitki yapraklarının fotosentez mekanizmasını etkilemekte bunun sonucunda üretim verimini düşürmektedir (Sirotenko ve ark., 1997). Eerden ve ark. (1988) hava kirliliğinin Hollanda'da mahsul veriminde %3,4'ü ozondan, %1,2'si kükürt dioksitten ve %0,4'ü hidrojen florürden kaynaklanan %5'lik bir azalma olduğunu bulmuştur. Wei ve ark. (2014), 899 ilçenin toplam tarımsal katma değerinin yaklaşık %0,66'sını oluşturan Çin'deki endüstriyel kükürt dioksit kirliliğinin 1,43 milyar dolarlık bir tarımsal kayba neden olduğunu bildirmişlerdir.

Atmosferik aerosollerin uzak menzillere taşınımı, son 15 yıllık zaman zarfında önem kazanmıştır. Eser elementlerin büyük çoğunluğu çıkış kaynaklarından sonra PM'lerin üzerinde atmosfere geçmekte ve bu süre zarfında PM'lerin üzerinde kalmaktadır. Bölgenin meteorolojik koşulları ve topoğrafik şartları da kirleticilerin dağılımını etkilemektedir. Canlı sağlığını önemli ölçüde etkileyen PM'ler özellikle çapları 10 μm'den küçük oldukça solunabilir olmaya müsait olmaktadırlar. 2009 yılının ocak ayında ve 2010 yılının mart ayı içerisinde belirli bazı günlerde Ankara üzerine sarımsı bir renge sahip çamur yağdığı görülmüştür. Ankara'da bu olayın sık yaşanması nedeniyle yapılan bilimsel çalışmalar bu toz transferinin Sahra Çölü kaynaklı olduğunu göstermiştir (Saydam, 2008; Özdemir, 2011).

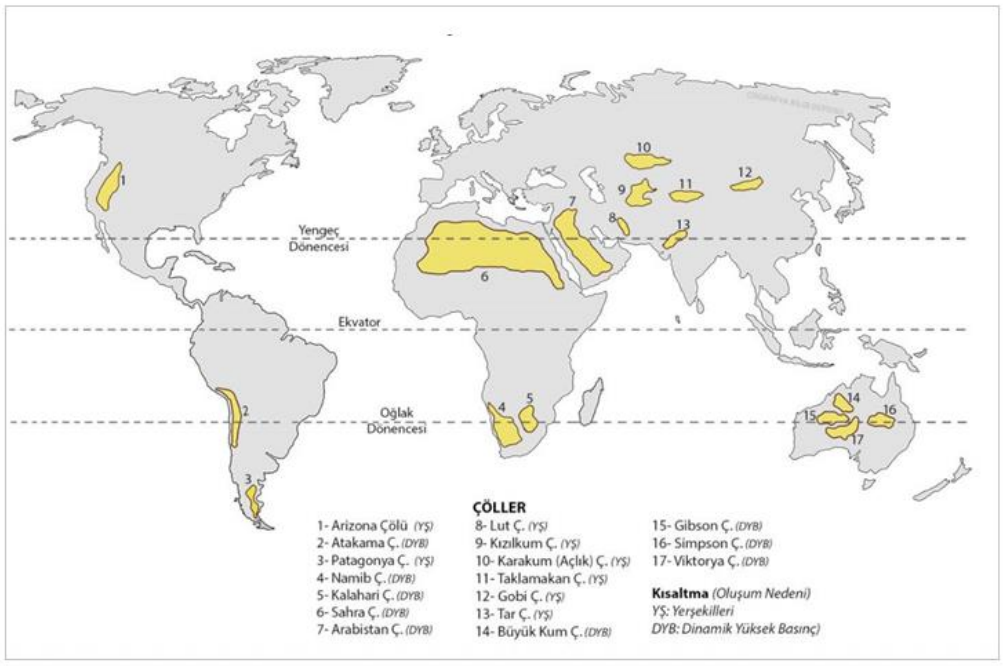
1.2. Çöl Tozları

Çöl tozu emisyonları, küresel tozun yaklaşık %60-95'ine katkıda bulunmaktadır. Atmosferik sirkülasyon, atmosferin küresel taşınmasında ve birikmesinde kritik bir rol oynar (Huang ve ark., 2020). Küresel atmosferik toz yükü, büyük ölçüde Kuzey Afrika'dan gelen emisyonlar (Sahra Çölü, %50-70) ve Asya çölleri (%10-25) ile oluşmaktadır (Tegen ve Schepanski, 2009; Huang ve ark., 2020). Dünyanın bazı bölgelerinde bir yıl boyunca sık sık toz fırtınaları meydana gelebilmektedir. Toz fırtınaları dünyanın pek çok kurak bölgesinden kaynaklanabilmektedir. Bu toz fırtınalarıyla beraber gelen kirleticiler, alerjenler ve partiküller binlerce kilometre uzaklığa taşınabilmektedir. Gelen tozların kaynakları Sahra, Orta ve Doğu Asya, Orta Doğu ve batı ABD'nin bazı bölgeleri olabilmektedir. Dünyanın bazı bölgelerinde arazi kullanımına ve iklim değişikliklerine bağlı olarak toz fırtınalarının sıklığı değişmektedir. Toz fırtınasının etkisinin arttığı bu tür yerlerde sağlık etkileri daha şiddetli hale gelebilir. PM_{10} ve $P_{2.5}$ toz yükleri çeşitli kirleticileri (ağır metaller, pestisitler vb.) ve biyolojik bileşenleri (sporlar, mantar, bakteri vb.) bünyesinde barındırmaktadır (Goudie, 2014). Çeşitli etkenlerle meydana gelen ve atmosferdeki tozun büyük bir kısmının kaynağı durumundaki çöllerin havaya bıraktığı toz miktarları değişiklik göstermektedir. Kuzey Afrika orjinli Sahra çölü bu alanda yılda yaklaşık olarak 1 milyar ton tozu atmosfere salarak ilk sırayı almaktadır (Saydam, 2010; Bağcı, 2013). Çöl tozlarının etkisi dünya üzerindeki bölgeleri aynı oranda etkisi altına almaz. Yapılan çalışmalarla elde edilen bulgular göstermiştir ki aktif tozlar taşkın yataklarında, nehirlerin birbirleriyle karıştığı bölgelerde ve ufalanmanın pik yaptığı çöl bölgelerinde yoğun olarak görülmektedir. Yoğun olarak çöl tozlarının oluşması için o bölgenin kurak iklim türüne sahip olması gerekmektedir. Bunun yanında flüvyal aşamaların yoğun olduğu, topografik rölyefe sahip olan kuaterner alüvyon depolarınada sahip olunması gerekmektedir (Engelbrecht ve Derbyshire, 2010; Bağcı, 2013).

Toz zerrecikleri günlük yaşamsal faaliyetleri etkileyen önemli bir doğal afet olarak kabul görmektedir. Atmosferdeki hava sirkülasyonlarının yardımıyla çöl tozlarının içerisinde yer alan aerosol mineraller, meydana gelen toz fırtınalarıyla birlikte çıkış kaynağından binlerce km uzağa taşınmaktadır. Rüzgarlar yardımıyla

taşınan tozun en önemli kaynağı arasında Sahra çölü olduğu bilinmektedir (Goudie ve Middleton, 2001; Baltacı, 2016).

Şekil 1.2.'de dünya genelindeki çöl bölgeleri gösterilmiştir. Dünya üzerinde güney ve kuzey yarım kürenin 30° enlemlerinde yer alan Afrika kıtası, kurak bölgeleri bünyesinde bulundurması açısından oldukça zengindir. Neredeyse dünya üzerinde yer alan kurak bölgelerin üçte birini bünyesinde bulunduran Afrika'nın kuzey kesimlerinde Sahra ve Somali-Chalbi çölleri bulunurken; güney kesimlerde ise Madagaskar, Karo, Namib ve Kalahari çölleri bulunmaktadır (Laity, 2008; Bağcı, 2013).



Şekil 1.2. Dünya çöl bölgeleri (Coğrafyalar, 2022)

Sahra Çölü bulunduğu konum itibari ile dört ana bölgeden oluşmaktadır. Bodele Depresyonu, Batı Sahra, Libya-Mısır-Sudan ile Atlas dağlarının güney kısımları bu dört ana bölgeyi oluşturmaktadır. Bu alanlar içerisinde Bodele depresyonunun önemi büyüktür. Sadece sahra bölgesi ile sınırlı kalmayarak dünyanın en önemli toz kaynağı olarak düşünülmektedir (Goudie ve Middleton, 2006). Afrika kıtasında bulunan Sahra-Sahel bölgesinde oluşan toz koridoru Atlantik'e kadar taşınıp bir haftalık süre boyunca varlığını sürdürmektedir (Castillo ve ark., 2006). Arabistan yarımadası subtropikal kuşakta yer alması dolayısıyla toz

olaylarının sık yaşandığı önemli bir bölgedir. Bünyesinde barındırdığı Dahna ve Rubulhali çölleri ile ilkbahar ve yaz aylarında Akdeniz havzasına doğru transfer olan toz kütlesinin kaynak noktası görevini üstlenmektedir. İran, Irak, Ürdün ve Suriye çölleri, Türkiye'nin güneydoğu bölgesinde yer alan başta Şanlıurfa olmak üzere Diyarbakır, Elazığ ve Adıyaman şehirlerine taşınan yoğun tozun kaynağını oluşturmaktadır (Şengün ve Kıranşan, 2012; Bağcı, 2013).

Uydu görüntüleri, meteorolojik veriler ve gerçekleştirilen PM ölçümleri çöl üzerinden gelen tozların atmosferdeki yüzdesel oranının ve transferinin mevsimden mevsime değişiklik gösterdiğini ortaya çıkarmıştır. Yaz mevsiminde Afrika, ilkbaharda ise Asya üzerinden gelen tozun artması, toz transferinin mevsimsel etkilerden dolayı güçlü bir şekilde etkilendiği görülmüştür. Çöl tozlarının transferinin dönemsel bazda olması mevsimsel ve meteorolojik faktörlerin etkisini göstermektedir (Harrison ve ark., 2001; Bağcı, 2013). Çöl tozlarının etkisinin arttığı zaman dilimi yapılan araştırmalara göre mevsim geçişlerine denk gelmektedir. İlkbahar ve sonbahar ayları özelinde çöl tozlarının varlığının arttığı kabul edilmiştir (Özsoy, 1999; Bağcı, 2013).

1.3. Partikül Maddeler

Partikül maddeler son derece küçük parçacıklardan oluşan bünyesinde çeşitli asitleri, metalleri, organik kimyasalları ve toz parçacıklarını barındırabilen, sıvı damlacıklarından oluşan hava kirliliğine neden olan bir kirletici grubudur. Boyutlarına göre ayrı ayrı sınıflandırılan PM'ler insan hastalıkları ile güçlü bir şekilde ilişkilendirilmekte ve hava kirliliğinin önemli bir parçası olmaya devam etmektedir. Kardiyovasküler ve serebrovasküler hastalıklarına katkı yaptığı düşünülen PM'ler aynı zamanda sistemik dolaşma, pıhtılaşma aktivasyonuna da etki etmektedir. PM'lerin kardiyovasküler sistem üzerindeki etkileri oldukça açıktır. Uzun bir müddet boyunca PM maruziyetine uğrayan popülasyonlarda yüksek oranda kardiyovasküler ve ölüm oranları ortaya çıkmaktadır. Kirliliğin arttığı günler baz alındığında akut maruziyetlerin arttığı görülmüştür. PM maruziyetine kalmak solunum yolu hastalıklarını şiddetlendirdiği gibi oksidatif stres ve solunumsal morbidite ve mortaliteye sebebiyet vermektedir (Anderson ve ark., 2012).

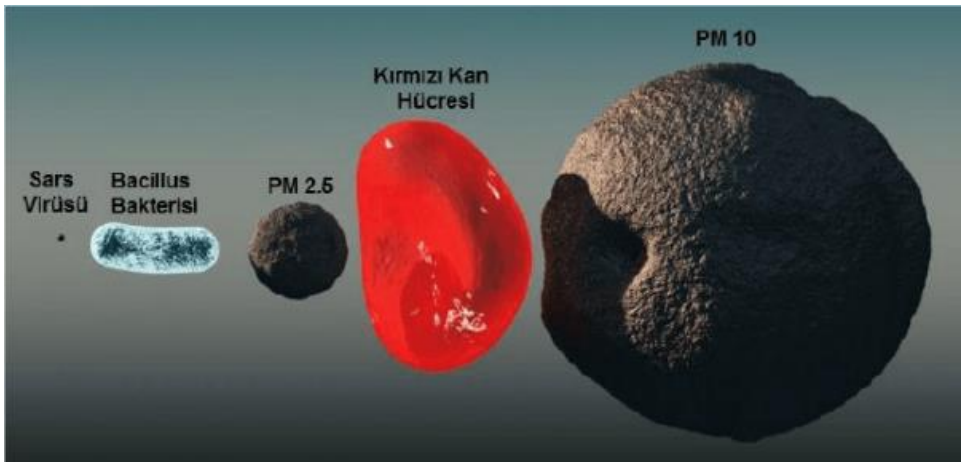
Dünya Sağlık Örgütü'nün raporlarına göre iç ve dış hava kirliliğinin ilişkili olduğu ve sebebiyet verdiği hastalıklar, 2016 yılı içerisinde küresel çapta 7 milyon insanın ölümüne neden olmuştur. Çapı 2.5 μm veya daha küçük PM'ler için yıllık ortalama hava kalitesi standardı 5 μg/m^3 iken DSÖ, 2021 yılı için günlük ortalama sınır eşiğini 10 μg/ m^3 'e yükseltmiştir (WHO, 2021; Park ve ark., 2022).

1.3.1. Partikül maddelerin boyutlandırılması

Atmosfere çeşitli kaynaklardan salınan PM'ler çok farklı boyutlara sahiptir. 40 μm çapın üstünde olan PM'ler yerçekimi ile beraber hızlı bir şekilde çöktükleri için bu boyuttaki partiküllere atmosferde çok fazla rastlanılmamaktadır. PM'lerin çap olarak alt sınır değeri 0,001 μm boyutlarındaki partiküllerdir. Bu alt sınırdan daha küçük olan parçacıklar gaz formunda hareket ettiklerinden dolayı dikkate alınmamaktadır. Canlı sağlığı bakımından çapı 10 μm'den ufak olan PM'ler (PM_{10}) daha ehemmiyetlidir. Bunun sebebi 10 μm'den küçük olan PM'lerin burun vasıtasıyla solunum yoluna ulaşabilmesinden kaynaklanmaktadır. Çapı 5 μm'den büyük PM'ler üst solunum yolunda tutunabilirken; 3 μm'den küçük olan PM'ler ($PM_{2.5}$) solunum yolunu da geçmeyi başararak akciğerlere ulaşıp canlı sağlığını olumsuz yönde etkilemektedirler (Vallero, 2014; Tepe, 2016). PM'nin büyüklüğü ve kimyasal bileşimi, herhangi bir yerde hava kalitesini etkileyen önemli faktörlerdir. $PM_{2.5}$'in bölgesel veya uzak kaynaklardan taşınımı yerel hava kalitesine büyük katkıda bulunmaktadır (Van Donkelaar ve ark., 2010).

Rüzgarlar 50 mikrondan daha ufak boyut ve katı normundaki parçacıkların yeryüzünden havalanmasına ve atmosferde km'lerce uzaklıktaki mesafelere taşınmasına neden olabilmektedir. Bununla birlikte gözle görülemeyecek çapta ve atmosferdeki milyarlarca ton tozun bir yıl içerisinde birçok kez bu yolla kaynak bölgelerinden taşınımını yine rüzgarlar aracılığı ile gerçekleştirmektedir (Delfino, 2005).

PM boyutlarının ne kadar hassasiyet taşıdığı ve kan hücresi ile olan boyut ilişkisi Şekil 1.3.'te gösterilmektedir.



Şekil 1.3. PM'nin virüs, bakteri ve kan hücresi ile boyut olarak karşılaştırılması (Uvcfan, 2022)

Aerodinamik çapı 0,08 µm ile 2.5 µm aralığında olan PM'ler akümülasyon aralığı ifadesi ile tanımlanmaktadır. Yanma sonucu atmosfere salınan partiküller, büyük toprak partiküllerinin aşınarak dağılması, küçük partiküllerin topaklaşması ve uçucu gazların yoğunlaşmasıyla oluşmaktadır. Çapı 2.5 µm'den ufak olan PM'ler ''ince partiküller'' olarak isimlendirilmektedir. ''Kaba partiküller'' ifadesi ise çapı 2.5 µm'den büyük olan PM'ler için kullanılmaktadır. Bu kaba partiküller genel olarak doğal kaynaklardan alıcı ortama salınmaktadır. Atmosferde havalanan biyolojik emisyonlar, polenler, toprak ve deniz tuzları kaba partiküllerin en önemli kaynakları konumundadırlar. İçeriğinde silikat, metal oksit ve kalsiyum karbonat barındıran toprak, kuru ve yarı-kurak iklimlerin sahip olduğu bölgelerde dikkate değer bir doğal kaynak konumunda bulunmaktadırlar. Partiküllerin atmosferdeki kalış süreleri boyutları ile birebir ilişki halindedir. Yerçekimi kuvveti ile birlikte kaba partikül olarak tabir edilen parçacıklar birkaç saat zarfında atmosferde ayrışmaktadırlar. Partikül çapının küçülmesi ile partikülün uğradığı yer çekimi etkisi azalmakta ve partiküller gazlar gibi rastgele hareket etmeye başlamaktadır. Brown hareketi olarak tanımlanan bu hareketle birlikte akümülasyon aralığındaki partiküller atmosferde uzun müddet zarfı boyunca kalabilmektedir. Akümülasyon aralığındaki partiküller genel olarak suyu seven ve suda çözünen yapıya sahip oldukları için atmosferden ayrılmaları yağış olaylarına bağlıdır. Suyun atmosferde bulunma süresi 10 gün olduğu için bu süre akümülasyon aralığındaki partiküllerinde atmosferde kalış süresi olmaktadır. Akümülasyon aralığındaki bazı PM'ler içeriğinde karbonlu yapılar barındırdığı için hidrofobik bir yapıya bürünürler. Hidrofobik yapıdaki partiküllerin atmosferden ayrışması için yüzeylerinde oksidasyon olayının

gerçekleşmesi gerekmektedir. Bu olay gerçekleştikten sonra partiküller hidroskopik yapıya dönüşüp atmosferden ayrışabilmektedir. İçeriğinde karbon ve organik madde barındıran partiküllerin atmosferdeki süreleri 46 güne kadar çıkabilmektedir (Gaffney ve ark., 2002; Tepe, 2016). Partikül maddelerin sahip oldukları boyutlar kategorize edilmesi için kullanılan parametrelerden bir tanesidir. Partikül maddenin sahip olduğu aerodinamik çap nanometre (nm) ve mikrometre (µm) arasında değişmektedir. PM_x ifadesindeki x, partikül maddenin çapının x µm'den küçük olduğunu göstermektedir. PM'ler çoğu zaman x değeri olarak 10 µm, 2.5 µm veya 1 µm gibi değerlerle ifade edilmektedirler. Kaba PM'ler çapı 2.5 µm'den büyük olan partikülleri kapsarken ince partiküller ifadesi çapı 2.5 µm'den ufak olan PM'ler için kullanılmaktadır. Yine çapı 1 µm'den küçük olan partiküller ise çok ince partiküller olarak ifade edilmektedir. Toplam asılı partikül ifadesi 50 µm'den küçük olan partikül maddelerin kütle konsantrasyonlarıdır (Seinfeld ve Pandis, 1998; Süren, 2007). Partiküller kendi içerisinde katı ve sıvı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Katı formundaki partiküllere toz, kül, kurşun, duman, asbest ve karbon örnekleri verilebilir. Sıvı formundaki partiküllere ise yağ, asitler ve sis örnekleri verilebilir. Hava kirleticileri kendi içerisinde sınıflandırılırken dikkat edilen en önemli parametre fiziksel yapıları ve kaynaklarıdır (Bayram ve Dikensoy, 2006; Orhun, 2013).

İnsan sağlığı üzerindeki ciddi etkilerinin yanı sıra PM kirliliği, çökelme yoluyla toprak bünyesine geçebilmekte ve toprak ekosisteminde değişikliklere neden olabilmektedir. Buna ek olarak yine bitki kök ve yapraklarında birikerek bitkinin gelişimini ve fotosentez yapabilme oranını etkilemektedir (Rai, 2016; Zeydan, 2021). PM'lerin bir diğer etki alanı ise güneş enerji sistemleridir. Panellerin üzerinde biriken partiküller verimin düşmesine neden olmaktadır (Sarver ve ark., 2013; Zeydan, 2021).

1.3.2. Partikül maddelerde metal ve ağır metal varlığı

Yer bilimi içerisinde yer alan toz tanecikleri rüzgar veya antropojenik faaliyetler sonucunda oluşan, direk olarak üst kıtasal kabuk tarafından meydana gelen ve sahip olduğu parçacıkların havaya salınmasına neden olan mineral aerosol ve toprak tozu ile birlikte katı haldeki inorganik parçacıkları tanımlamak için

kullanılmaktadır (Gill ve ark., 2006; Abbasi ve ark., 2021). Küresel olarak meydana gelen toz oluşumuna özellikle bazı bölgelerin katkısı fazla olmaktadır. Sahra çölü (Zhao ve ark., 2018), Amerikan Loess yatakları (Yang ve ark., 2017) ve Çin Loess Platasou (Chen ve ark., 2007; Li ve ark., 2018) fazla katkı veren bölgeler arasında gösterilebilmektedir (Abbasi ve ark., 2021). Karasal ve okyanusal ortamlarda havanın kimyasını ve iklim süreçlerini etkileyen toz parçacıkları aynı zamanda jeomorfoloji ve toprağın sahip olduğu özellikleri, besin değerlerini ve biyojeokimyasal döngüyü de tetiklemektedir (Goudie ve Middleton, 2006; Abbasi ve ark 2021). Sahip olduğu fizikokimyasal özelliklerinden dolayı toz partikülleri insan sağlığı içinde önemli bir tehdit meydana getirmektedir. Parçacıkların fiziksel ve kimyasal özellikleri sağlığı etkileyen kritik faktörler arasında gösterilmektedir (Meyer ve ark., 1996; Abbasi ve ark., 2021).

Kent merkezlerinde çapları 1 μm ile 10 μm arasında değişen partikül madde fraksiyonları o merkezin hava kalitesinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Cohen ve ark., 2005; Petkova ve ark., 2013; Talbi ve ark., 2018). Partikül maddeye ait olan bu fraksiyonlar karbon halkaları, ikincil partiküller ve toprağın yeniden süspansiyonu ile alakalı mineral elementler barındırmaktadır. Bu sebeple ağır metallerin aerosol toksisitesinde önemli bir yeri vardır (Brunekreef ve ark., 1997; Van Vliet ve ark., 1997; Bremner ve ark., 1999; Hoek ve ark., 2000; Talbi ve ark., 2018).

Şehir merkezlerinin havasında bulunan PM'ler çeşitli bileşenlerden oluşan ve farklı boyutlara sahip karmaşık bir karışım olarak tanımlanabilmektedir. PM'lerde bulunabilen Demir (Fe), Vanadyum (V), Nikel (Ni) ve Bakır (Cu) gibi bazı geçiş metallerinin kardiyovasküler ve solunum yolu şikayetleri sebebiyle hastaneye yapılan başvuru sayılarını ve ölüm oranlarını etkilediği bulunmuştur (Bell ve Health Review Komite, 2012; Lippmann ve ark., 2013; Zhou ve ark., 2011; Liu ve ark., 2018).

Aşağıda verilen Çizelge 1.2.'de çöl tozlarının içerisinde yer alan temel bileşikler görülmektedir.

Çizelge 1.2. Çöl tozlarının içeriğinde yer alan bileşikler ve değerleri (Goudie ve Middleton, 2006)

Bileşikler	Değerler
SiO_2	%59.99
Al_2O_3	%14.13
FeO_3	%6.85
CaO	%3.94
MgO	%2.60
K_2O	%2.35

PM'lerin atmosfere yayıldığı kaynaklar çok çeşitli doğal ve antropojenik kaynaklardır (Poschl, 2005; Tepe, 2016). Havaya yükselen yerel toprak, kaynağı deniz suyu olan tuz kristalleri, çöl bölgesinden transfer olmuş toz tanecikleri, volkanik olaylar ve orman yangınları sonucu salınan partiküller doğal yollarla meydana gelen partiküllerdir. Volkanik olaylar sonucu ortaya çıkan partiküller kükürt dioksit gazı olarak salınan ve atmosferde çeşitli reaksiyonlarla sülfat partiküllerine dönüşen partiküllerdir (Seinfeld ve Pandis, 2006). Atmosfere doğru havalanan toprakta ve çöl bölgesinden taşınan tozlarda Al, Ca, Fe, Si, Ti gibi minerallerin bağlı olduğu partiküller bulunmaktadır. Deniz sularının püskürttüğü tuz kristalleri ise Na^+, Cl^-, Mg^{2+}, SO_4^{2-} ve K^+ içermektedir (Keene ve ark., 1986; Song ve Carmichael, 1999).

Her kaynağın emisyonu kendisine özgüdür. Kaynaklardaki emisyonlar sahip olduğu kimyasal bileşik ve elementler sayesinde tanımlanabilir. Duce ve ark. (1975) yaptıkları bir çalışmalarda PM'de bulunan V'un V-porfirin içeren ağır yakıttan kaynaklandığını ve bunun antropojenik aktiviteler sonucu atmosfere bırakıldığını ortaya çıkarmışlardır. Atmosferde bulunan eser elementlerin doğal kaynakları arasında havalanan yüzey tozları vardır. Bu kaynaklar ile ilgili belirli bir hesaplama olmamakla birlikte küresel çapta yüzey tozlarının doğal kaynaklarının %50 sinden fazla kısmını Cr, Mn ve V elementleri oluştururken %20'den fazlasını ise Cu, Mo, Ni, Pb, Sb ve Zn elementleri meydana getirmektedir. Volkanik olaylar sonucu yüzey tozlarının %20'lik kısmında Cd, Hg, As, Cr, Cu, Ni, Pb ve Sb elementleri bulunurken, denizlerdeki dalga hareketleri ile meydana gelen deniz tuzu aerosolleri ile birlikte deniz serpintisi eser element sürümlerinin %10'unu meydana getirmektedir (Allen ve ark., 2001; Tepe, 2016).

Çizelge 1.3.'te verilen bazı eser metal elementleri ve bu elementlerin kaynakları verilmiştir.

Çizelge 1.3. Eser elementler ve kaynak türleri (Gone ve ark., 2000)

KAYNAK	ELEMENTLER
Toprak kaynaklı materyaller	Al, Sc, Mn, Fe, NTE*, Th, U
Deniz eelementleri	Na, Cl
Kömür Ykımı	As, Se, Hg, Be, Co, Mo, Sb
Yağ yakımı	V, La, La/Sm
Rafineriler	NTE
Motorlu taşıtlar	Br, Zn, Sb
Odun yakımı	K
Yakma fırınları	Na, K, Cl, In, Hg
Klor- alkali tesisleri	Cl, Hg
Değerli ve normal metal endüstrileri	Co, Zn, Au
Alüminyum tesisleri	Al, Mg
Endüstriyel kentsel alanlar	V, Zn, As, Se, Br, Sb
Demir-çelik endüstrileri	Fe, Zn, Se, Mo, Sb
Bölgesel taşınım	İnce kütle, As, Se, Hg
Zn, Pb, Cd izabe tesisleri	In, Zd, Cd, Pb, Sb
Ni, Cu izabe tesisleri	Ni, Cu, Hg, As, As/Se

NTE: Nadir toprak elementleri La, Ce, Sm vb.

Eser miktardaki bu metal elementlerinin sağlık üzerine etkileri başta olmak üzere dünya yüzeyine birikim miktarının belirlenmesi ve atmosferde hangi elementin taşınım ile transfer olabileceğini tespit etmek için elementlerin boyut dağılımlarının belirlenmesi büyük bir öneme sahiptir. İnce partikül boyutlarında bulunan eser elementler Pb, Zn, Cd, As, Sb, Ag, In, La, Mo, I ve Sm elementleri iken; kaba partikül boyutundaki elementler ise Ca, Al, Ti, Mg, Sc, La, Lu, Hf ve Th olarak belirlenmiştir (EMEP, 1999).

1.4. Hava Kirliliğinin İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri

Hava kirliliği kavramı günümüzün en önemli sorunlarından bir tanesidir. 2015 yılında meydana gelen 6.4 milyon kişinin ölümünden hava kirliliğinin sorumlu olduğu bilinmektedir. Bu sayının 2.8 milyonu iç ortam hava kirliliğine bağlı olarak gelişirken 4 milyonun üzerindeki ölümler ise dış ortam hava kirliliğine bağlı olarak meydana gelmiştir. Bulaşıcı olmayan hastalıklar kategorisinde hava kirliliğine bağlı

olarak gerçekleşen ölümlerin oranı %70'tir. Hava kirliliği bulaşıcı olmayan hastalıkların başlıca sebebi arasında olmasına rağmen yeterince değerlendirilmeyen önemli bir sorundur (Lancet, 2016; WHO, 2016; Landrigan, 2017).

2015 yılında yapılan araştırmalarda hava kirliliği tüm kardiyovasküler ölümlerin %19'undan, kalp hastalığına bağlı ölümlerin %24'ünden, inmeye bağlı ölümlerin %21'inden ve akciğer kanserine bağlı ölümlerin %23'ünden sorumlu olduğu belirtilmiştir (Lancet, 2016, Landrigan, 2017).

Ortam hava kirliliğinin insan sağlığına olan etkileri, küresel çapta birçok epidemiyolojik çalışma ile tutarlı bir biçimde belgelenmiş ve ispatlanmıştır. Yılda en az 7 milyon ölümün hava kirliliğine bağlı olarak gerçekleştiği belirlenmiştir. Bir dizi doğal ve aynı zamanda insan faaliyetleri nedeniyle atmosfere salınan başlıca hava kirleticileri arasında nitrojen oksitler, uçucu organik bileşikler ve PM'ler mevcuttur (Mannucci ve Franchini, 2017).

Bu kirleticilerin sağlık üzerindeki potansiyel etkileri aşağıdaki Çizelge 1.4.'te belirtilmiştir.

Çizelge 1.4. Hava kirleticiler ve potansiyel sağlık etkisi (ÇMO, 2019)

Kirletici	Ana kaynak	Sağlık etkisi
Kükürtdioksit (SO_2)	Fosil yakıt yanması, taşıt Emisyonları	Solunum yolu hastalıkları, Asit yağmurları
Azot oksitler (NO_X)	Taşıt emisyonları, yüksek Sıcaklıkta yakma prosesleri	Göz ve solunum yolu Hastalıkları, asit yağmurları
Partikül Madde (PM)	Sanayi, taşıt emisyonları, Fosil yakıt yanması, tarım ve ikincil kimyasal reaksiyonlar	Kanser, kalp problemleri, Solunum yolu hastalıkları, Bebek ölüm oranlarında artış
Ozon (O_3)	Trafikten kaynaklanan azot Oksitler ve uçucu organik Bileşiklerin (voc) güneş Işığıyla değişimi	Solunum sistemi Problemleri, göz ve Burunda irritasyon, astım, Vücut direncinde azalma
Karbonmonoksit (CO)	Eksik yanma ürünü, taşıt Emisyonları	Kandaki hemoglobin ile Birleşerek oksijen taşınma Kapasitesinde azalma, ölüm

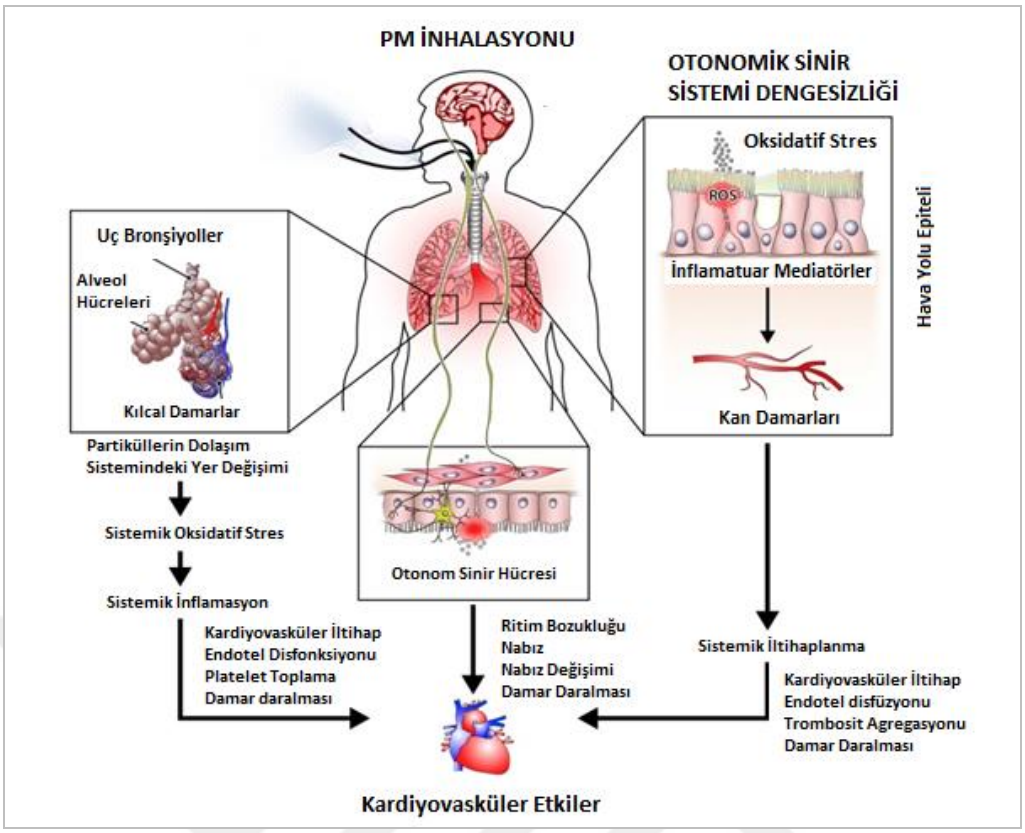
İklim değişikliği ve çölleşmenin de neden olduğu küresel çapta kurak arazilerin genişlemesi insanları sürekli olarak çöl tozlarının olumsuz etkilerine maruz bırakmaktadır. Toksikolojik çalışmaların neticesinde kum tozu parçacıkları ve kaynaktan uzak yerlerde örneklenen toz fırtınası sonucu oluşan parçacıklar, enflamatuvar akciğer hasarına neden olmaktadır. Ayrıca alerjene bağlı nazal ve pulmoner eozinofiliyi şiddetlendirerek kardiyovasküler ve solunum sağlığı üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır (Fussell ve Kelly, 2021).

Wu ve ark. (2018), yapmış oldukları çalışmada insan akciğerine farklı kaynaklardan giriş yapan PM'lerin birikimini tahmin etmek için bir çalışma yapmıştır. Farklı kaynaklardan gelen, farklı boyut ve yoğunluktaki parçacıkların insan akciğerinde birikmesini sayısal olarak araştırmış ve düşük yoğunluklu kaba parçacıklar ile yüksek yoğunluklu ince parçacıklar için benzer bir biriktirme modeli elde ederek kaba parçacıkların sağlık risklerinin göz ardı edilemeyeceğini göstermişlerdir.

Querol ve ark. (2019), yapmış oldukları çalışmada çöl tozunun özelliklerini gözden geçirerek insan sağlığı üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. Toz fırtınaları sırasında sağlık etkilerinin PM'nin fraksiyonuna göre ayırt edilmesini sağlayacak yöntemleri, çöl tozu izleme ve uyarı sistemlerine yönelik strateji önermişlerdir.

İnsanların bir gün içerisindeki kaliteli hava gereksinimi 20 metreküpe yakındır. Havadaki kirleticilerin vücuda girişi ağız yoluyla başlamakta, burun ve nefes borusu ile devam edip buradan da akciğerlere taşınarak vücuda girmektedir. Akciğerlerden sonraki aşamada kana karışarak dolaşım yoluyla vücutta yayılabilmektedir (Öztürk, 2008; TTB, 2011; Demir, 2012).

Aşağıdaki Şekil 1.4.'te inhalasyon yoluyla PM maruziyetinin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 1.4. Solunum yoluyla PM maruziyetinin sistematik etki şemasının gösterimi (Wu ve ark., 2018)

Günümüzde insan sağlığı üzerindeki ispatlanmış etkileri göz önüne alınan atmosferik aerosol araştırmaları önemli bir ilgiye sahiptir. Birçok epidemiyolojik çalışma, atmosferik PM'lerin solunum ve kalp rahatsızlıklarının bir sonucu olarak günlük hastaneye yatış ve ölüm sayıları ile ilişkili olduğunu ortaya çıkarmıştır (Karanasiou ve ark., 2012).

Sağlık risk değerlendirmesi için, maruziyetler farklı zaman dilimlerinde; (i) farklı ortamlarda meydana gelen maruz kalmaların toplamı olan ömür boyu maruz kalma (bu özellikle kanserojen kirleticiler için önemlidir), (ii) bir veya birkaç yılın ortalaması olarak ölçülen uzun süreli maruz kalma, (iii) dakikalardan günlere kadar ölçülen kısa süreli maruz kalma olarak tanımlanmaktadır (WHO, 2021).

22 Eylül 2021 tarihinde Dünya Sağlık Örgütü'nün önerdiği kılavuz değerlerini aşağıya çektiğini duyurmuş olmasına rağmen hava kalitesi mevzuatında Türkiye hala kanserojen olan $PM_{2,5}$ için günlük ve yıllık sınır değerler belirlenmemiştir (Kara Rapor, 2020).

Bu kılavuz güncellemesinde, hava kalitesi kılavuz değerleri seviyelerine ilişkin tavsiyeler, aşağıdaki kirleticiler için geçici hedefler doğrultusunda yeni değerler belirlenmiştir: $PM_{2.5}$, PM_{10}, ozon, nitrojen dioksit, kükürt dioksit ve karbon monoksit (Çizelge 1.5.).

Çizelge 1.5. Uzun ve kısa vadeli hava kalitesi için oluşturulan geçici hedef kılavuz değerleri (WHO, 2021)

Kirletici	Ortalama zaman	Geçici hedef			
		1	2	3	4
$PM_{2.5}$ µg/m³	Yıllık	35	25	15	10
	24 saatlik	75	50	37.5	25
PM_{10} µg/m³	Yıllık	70	50	30	20
	24 saatlik	150	100	75	50
O_3 µg/m³	Pik mevsimi	100	70	-	-
	8 saatlik	160	120	-	-
NO_2 µg/m³	Yıllık	40	30	20	-
	24 saatlik	120	50	-	-
SO_2 µg/m³	24 saatlik	125	50	-	-
CO mg/m³	24 saatlik	7	-	-	-

DSÖ tarafından küresel ölçekte belirlenen 2005 yılı sınır değerleri ile 2021 yılında revize edilen sınır konsantrasyon değerleri Çizelge 1.6.'da verilmiştir.

Çizelge 1.6. DSÖ tarafından küresel çapta kullanılan ve yeniden düzenlenen kılavuz değerleri (WHO, 2021)

Kirletici	Ortalama zaman	Küresel değerler (WHO, 2005)	Revize değerler WHO, 2021)
$PM_{2.5}$ µg/m³	Yıllık	10	5
	24 saatlik	25	15
PM_{10} µg/m³	Yıllık	20	15
	24 saatlik	50	45
O_3 µg/m³	Pik mevsimi	-	60
	8 saatlik	100	100
NO_2 µg/m³	Yıllık	40	10
	24 saatlik	-	25
SO_2 µg/m³	24 saatlik	20	40
CO mg/m³	24 saatlik	-	4

Küresel güncelleme 2005'ten bu yana, bu güncelleme için yürütülen sistematik incelemelerin tamamlanmasından sonra yayınlanan yeni çalışmalar da dahil olmak üzere, hava kalitesi ve sağlıkla ilgili çalışmaların sayısı önemli ölçüde artmıştır. Birlikte ele alındığında, kılavuzlar, bu tür ilişkilerin şekilleri de dahil olmak üzere klasik hava kirleticileri için konsantrasyon-yanıt ilişkilerinin hem alt hem de üst

sınırlarında hava kirliliğine maruz kalma risklerine ışık tutan çok sayıda epidemiyolojik çalışma tarafından bilgilendirilmiştir (WHO, 2021).

USEPA (United States Environmental Protection Agency) PM kirliliğine ilk olarak 1971 yılında düzenleme getirmiştir. Ajans, standartlarını 1987, 1997, 2006 ve 2012 yıllarında halkın sağlık ve yaşam kalitesini korumak adına toplamda 4 defa yenilemiştir (USEPA, 2020).

EPA, $PM_{2.5}$ için yıllık maruziyet değerini (12 $\mu g/m^3$) 2012 yılında belirlemişken; 24 saatlik maruziyet standart değerini (35$\mu g/m^3$) 2006 yılından beri değiştirmemiştir (USEPA, 2020). PM_{10} için ise mevcut 24 saatlik (50 $\mu g/m^3$) birincil standardını korumaktadır ve mevcut PM_{10} standardı 1987'den beri yürürlüktedir. EPA'ya göre bir alan, üç yıllık bir süre boyunca yılda ortalama bir defadan fazla 150 $\mu g/m^3$ seviyesini aşmıyorsa, 24 saatlik PM_{10} standardını karşılamış olmaktadır (USEPA, 2020).

Dış ve iç mekanda var olan PM'ler sağlık problemleri arasında önemli bir yeri olan biyolojik bileşenleri ve kimyasal maddeleri bünyesinde barındırmaktadır. Bakteri, mantar ve virüsleri de içeren PM'ler karmaşık bir yapıya sahip olabilmektedirler (Gong ve ark., 2020; Wang ve ark., 2020; Domingo ve Rovira, 2020; Yu ve ark., 2018; Onat ve ark., 2016; Kayalar, 2021).

Yapılan çalışmalarda PM'lerde bulunan ajanların, uzun mesafeler boyunca taşınarak bulaşıcı hastalıkların bulaşma evresinde başlangıç olabileceği düşünülmektedir (Chen ve ark., 2010; Domingo ve Rovira, 2020; Wei ve ark., 2019; Kayalar, 2021).

PM'lerin biyolojik bileşen içerebilmesinden ötürü Aralık 2019'da Çin'de (Wuhan, Hubei Eyaleti) COVID-19 hastalığı olarak adlandırılan SARS-CoV-2 virüsünün taşınımı ve yayılmasında hava kirleticilerinin etkisinin olabildiğini gösteren çalışmalar literatürde yerini almıştır. Meteorolojik veriler, sanayileşme düzeyi ve bölgesel topografya gibi faktörlerin bir kombinasyonundan kaynaklanan hava kirliliğinin bu enfeksiyonun taşıyıcısı olabildiği hipotezi, yapılmış birçok çalışmayla gittikçe artmıştır.

Dünya çapında bir veri kümesine dayanan analiz, Aralık 2019 ile 30 Eylül 2021 arasında küresel literatürden alınan bilgiler bir araya getirilmiştir. Çeşitli bölgeler için küresel ölçekte yapılmış bir değerlendirmede, hava kirleticileri, COVID-19 vakaları ve ölümlerine dayanan yirmi altı çalışma, neredeyse tüm dünyayı temsil eden kirlilik kriterlerini karşılamıştır. Bilimsel çalışmaların sentezine dayanarak, $PM_{2.5}$ ve PM_{10}'un sırasıyla %15.08, %11.44 oranında artan COVID-19 vakaları ve %9.26 ve %0.75 oranında COVID-19 ölümleri ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir (Meo ve ark., 2021).

Buna ek olarak Kayalar ve ark. (2021), Türkiye'de SARS-CoV-2 virüsünün PM'ler yoluyla bulaşması hakkında bir inceleme çalışması yürütmüştür. Çalışmada, 13 Mayıs ve 14 Haziran 2020 tarihleri arasında Türkiye genelinde 10 şehirde kentsel ve kentsel-arka konumlar ve hastane bahçeleri dahil 13 bölgeden çeşitli boyut aralıklarında alınan ortam PM'leri örneklerinin SARS-CoV-2'nin, özellikle enfeksiyon sıcak noktalarına yakın bölgelerde ortamdaki partiküller tarafından taşınabileceği öne sürülmüştür.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yapılan birçok araştırma sonucu ortaya çıkan makalelerde ve çalışmalarda atmosferik $PM_{2.5}$ ve PM_{10}' un kimyasal karakterizasyonu birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Bu çalışmaların kısa bir özeti aşağıda verilmiştir.

Kuzu (2010), Yapmış olduğu çalışma ile kentsel atmosferdeki PM kirliliğini incelemiştir. Basamaklı ayrıştırıcı kullanarak PM'leri örneklemiş ve boyut analizlerini yapmıştır. ICP'de element analizine tabi tutulan örneklerde partiküller içerisinde Na, K, Mg, Ca gibi toprak elementlerinin var olduğunu gözlemlemiştir.

Theodosi ve ark. (2011), Atina'da 2005 yılının Eylül ayından başlayıp 2006 yılının ağustos ayına kadar (kentsel ve kırsal) yapmış oldukları çalışma ve 2004 yılının temmuz ayından başlayıp 2006 yılının temmuz ayına kadar Girit'te (bölgesel geri plan) olmak üzer yapmış oldukları çalışmalarda PM_1 $PM_{2.5}$ ve PM_{10} boyutlarındaki örnekleri toplayıp IC VE ICP-MS ile analiz etmişlerdir.

Seneviratne ve ark. (2011), Sri lanka'nın başkenti Colombo'da 2000-2008 seneleri arasında 500 adet $PM_{2.5}$ ve PM_{10} numunelerini toplamışlardır. $PM_{2.5}$ için 0,4 µm gözenek boyutunda nuclepore filtreler, PM_{10} örnekleri için ise 8 µm gözenek boyutlarında nuclepore filtreler tercih edilmiştir. Kaynak belirlemek amacıyla PMF modelinin kullanıldığı çalışmada 18 elementel içerik belirlenmiştir.

Tuna ve ark. (2013), İzmir Aliağa'da ağaçlar üzerinde biriken çeşitli iz elementlerin mekânsal dağılımlarını incelemişlerdir. Yaprak ve ağaç kabukları üzerinde toplanan örnekler ICP-MS ile analiz edilerek 48 elementin (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Ga, Gd, Hg, Ho, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Nd, Ni, P, Pb, Pr, Rb, Sb, Se, Sm, Sn, Sr, Tb, Th, Tl, U, V, Y, Yb, Zn) konsantrasyonunu değerlendirmişlerdir.

Tepe (2016), Antalya'da yapmış olduğu çalışmada 2014 yılının temmuz ayından, 2015 yılının temmuz ayına kadar $PM_{2.5}$-PM_{10} numunelerini örnekleyici yardımıyla toplamış ve bu numunelere yapılan analizlerle beraber Na, Mg, Al, Si, S,

K, Ca, Ti, V, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Pb olmak üzere toplam 15 elementi incelemiştir. PMF modelinin tercih edildiği çalışmada bölgesel ve uzun mesafeli toz transferi ile taşınan kirleticiler ortaya çıkarılmıştır.

Talbi ve ark. (2018), Cezayir'de yapmış oldukları çalışmada kent merkezi ve yol kenarında olmak üzere iki adet istasyonda 1 μm, 2.5 μm, 10 μm' den küçük olan PM'lerin konsantrasyonlarına ve ağır metal muhtevalarına bakmışlardır. Analiz sonuçlarına göre PM'lerde ağır metal içeriğine rastlanılmıştır. Antropojenik ve doğal kökenli on dokuz elementin varlığını göstermiş ve Kurşun elementi maksimum %5 (ağırlık yüzdesi) oranı ile bulunmuştur. Sahra bölgesinden başlayan hava kütlelerinin arka yörüngeleri incelenerek çöl tozunun Cezayir'de ölçülen PM'nin konsantrasyonunu ve bileşimini etkilediğini göstermişlerdir.

Torghabeh ve ark. (2020) tarafından İran'ın güneyinde yer alan Şiraz kentinde yapılan çalışmada atmosferik toz parçacıklarının jeokimyasal özellikleri araştırılmıştır. Kuru toplayıcı yöntemi tercih edilen çalışmada elementler ICP-OES ile analiz edilmiştir. Meteorolojik verilerle en tozlu günlerin sıklıkla ilkbahar ve yaz aylarını kapsadığı, Nisan ayının özellikle pik yaptığı belirtilmiştir. HYSPLIT modeli kullanılarak örnekleme tarihinde geriye doğru yörünge simülasyonları yapılmış ve sonuçlarda atmosferdeki toz kaynaklarının Huzistan Eyaleti, Kuveyt, Suudi Arabistan'ın doğu çölü ve Irak'ın doğusu olduğu belirlenmiştir. Bu durumda ana mineral toz kaynakları çöl kalsisollerinin varlığını açıklamaktadır. Yapılan analizlerle V, Mo, Pb, Sr, Cu ve Zn elementleri için jeojenik kaynaklar işaret edilirken, As, Cd, Cr ve Ni için ise antropojenik kaynak sonucuna varılmıştır.

Nava ve ark. (2020), İtalya, Floransa'da (Toskana) $PM_{2.5}$ bileşimini araştırmak ve kaynaklarını belirlemek için, bir yıl boyunca eş zamanlı olarak 3 farklı noktadan numune toplayarak kapsamlı bir saha çalışması yürütmüştür. Toplanan örneklere PIXE (Parçacık Kaynaklı X-ışını Emisyonu) analizi ve PMF Metodu uygulanmıştır. PMF analizi sonuçları; trafik, biyokütle yakma, ikincil sülfat, ikincil nitratlar, kentsel toz, Sahra tozu ve deniz aerosolü olmak üzere 7 ana kaynak belirlemiştir. Biyokütle yakmak sekonder sülfat bileşiği Floransa'da bölgesel ölçekte önemli bir $PM_{2.5}$ kaynağı iken; Ortalama olarak, "doğal" bileşenlerin (örn. mineral tozu ve deniz aerosolleri) $PM_{2.5}$'e katkısı orta düzeyde bulunuştur.

Wang ve ark. (2020), Çin'in Wuhan şehrinden 2018 yılında atmosferik $PM_{2.5}$ numunelerinin ana inorganik bileşenlerin davranışını ve özelliklerini incelemek üzere kış dönemi ve yaz dönemi olacak şekilde toplamıştır. HYSPLIT modeli ile hava yörüngeleri hesaplanmış, IC yöntemi ile metal iyonları belirlenmiş, 17 elemental türün (Na, Mg, Al, K, Ca, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Se, Cd, Pb ve Sb) $PM_{2.5}$'teki %95'in üzerindeki konsantrasyonu ICP-MS yöntemi ile analiz edilmiştir. Zenginleştirme faktörleri (EF'ler) ve elementel oranlar, bu tehlikeli elementlerin esas olarak kömür ve petrol yakma, benzin ve dizel araçlar gibi antropojenik kaynaklardan geldiğini göstermiştir.

Zhang ve ark. (2020), Çin'in kuzeybatısındaki Lanzhou'daki bir kentsel alanda, üç kesintili bir aylık dönem boyunca (Ocak, Nisan ve Temmuz) farklı boyutta PM örnekleri (PM_1, $PM_{2.5}$ ve PM_{10}) toplayıp karbonlu aerosollerin konsantrasyonlarını ve potansiyel taşıma yollarını analiz etmişlerdir. PM_1, $PM_{2.5}$ ve PM_{10}'daki ortalama OC (organik karbon) ve EC (temel karbon) konsantrasyonları sırasıyla; 6.98 +/- 3.71 ve 2.11 +/- 1.34 $\mu g/m^3$, 8.6 +/- 5.09 ve 2,55 +/- 1,44 $\mu g/m^3$ ve 11,6 +/- 5,72 ve 4,01 +/- 1,72 $\mu g/m^3$ olarak bulunmuştur. OC/EC oranları ve temel bileşen analizi (PCA), Lanzhou'daki PM'lerdeki karbon bileşenlerinin temel kirlilik kaynaklarının biyokütle yakma, kömür yakma ve dizel ve benzinli araç emisyonları olduğunu, geriye doğru yörünge ve konsantrasyon ağırlık yörüngesi (CWT) analizi ise; Lanzhou'daki EC'nin birincil kirlilik kaynağının yerel fosil yakıt yanması olduğunu ileri sürmüştür.

Hristova ve ark. (2020), Sofya'da Ocak 2019-Ocak 2020 döneminde örneklenen PM_{10}'a kaynak katkılarının belirlenmesi için PMF modelini kullanmıştır. 200'den fazla filtre, X-Işını Floresan (XRF), Endüktif Olarak Eşleştirilmiş Plazma Kütle Spektrometrisi (ICP-MS) ve kimyasal elementler ve çözünür iyonlar için İyon kromatografisi ile analiz edilmiştir. PM_{10} kütlesi ve element konsantrasyonunun mevsimsel desenleri minimum yaz aylarında, maksimum ise soğuk dönemde gözlenmiştir. PMF tarafından PM_{10} kirletici kaynakları; Yeniden Süspansiyon (RES:25%), İkincil (SEC: 16%), Biyokütle yakma (BB: 23%), Trafik (TR: 9%), Endüstri (IND: 4%), Nitrat bakımından zengin (4%), Fuel oil yakma (YAKIT: 0.4%) ve Karışık SO_4^{2-} (19%) olmak üzere 8 kaynak olarak belirlenmiştir.

Saggu ve ark. (2020), yarı kentsel alanda mahsul artıklarının yanmasından kaynaklanan hava kirliliği kaynaklarını belirlemek için 7 Mayıs 2015-9 Haziran 2016 arasında kaynak paylaştırma çalışması yapmıştır. 18 farklı içeriğe sahip (NO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^-, Na^+, K^+, Al, Ti, Mn, Fe, Mg, V, Ni, Cu, Zn, Ba, Pb, Cr, Ca) PM_{10} numunelerini analiz etmişlerdir.

Juda-Rezler ve ark. (2020), Polonya'da bir ilk olarak bir yıl boyunca $PM_{2.5}$ numunelerini suda çözünür element, organik karbon, inorganik içerik ve 21 tane iz element içeriğini belirlemek için kimyasal karakterizasyon çalışması yapmıştır. Yıllık ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyonu 18.8 μg/m^3 iken, en düşük seviyeler yaz aylarında (ortalama 11.5 μg/m^3) ve en yüksek seviyeler kış aylarında (27.5 μg/m^3) olmuştur ve birkaç dönem 80 μg/m^3'ün üzerine çıkmıştır. Zenginleştirme faktörlerinin analiziyle desteklenen PMF yönteminin kullanımıyla kaynak paylaştırma; konutlarda yanma (taze ve eskitilmiş aerosol) ($PM_{2,5}$ kütlesinin %46'sı), trafik egzozu (%21) ve egzoz dışı emisyonlar (%10), mineral toz/inşaat işleri (%12), yüksek sıcaklık süreçleri (%8) ve çelik işleme (%3) olmak üzere altı ana kaynak tanımlamıştır.

Soni ve ark. (2020), Himalayaların eteklerinde yer alan Dehradun'da PM karakterizasyonu ve PMF metodunu kullanarak kaynak çalışması yapmıştır. Atmosferik PM_{10} ve $PM_{2.5}$, 2014-2015 yılları arasında, Shivalik aralığı ile daha küçük Himalayalar arasındaki Doon vadisinde yer alan Dehradun'daki yarı kentsel bir alanda ölçülmüştür. Atmosferik PM, kış mevsiminde maksimum (PM_{10}: 90±32 μg/m^3; $PM_{2.5}$: 63±27 μg/m^3) ve yaz mevsiminde minimum (PM_{10}: 87±40 μg/m^3; $PM_{2.5}$: 39±19 μg/m^3) mevsimsel bir döngü göstermiştir. Kaynakların mevsimsel değişimi, yaz aylarında toprak/yol tozunun (%56) PM_{10}'un baskın kaynağı olduğunu, buna karşın $PM_{2.5}$ için ise endüstriyel faaliyetlerin (%50) olduğunu ortaya koymuşlardır. Kış aylarında, araç faaliyetlerinden, biyokütleden ve antropojenik yanmadan (%62) kaynaklanan emisyonlardan oluşan karışık aerosoller PM_{10}'un baskın kaynaklarıyken, $PM_{2.5}$ için ise endüstriyel faaliyetler (%42) olmuştur.

Ramirez ve ark. (2020), Kolombiya'nın Bogota kentinde PM_{10} örnekleri toplamış ve 12 eser element (Cd, Cr, Pb, Zn, Cu, Ni. Sn, Ba, Co, As, V ve Sb) içeriğini incelemişlerdir. Sonuçlara göre özellikle kurak mevsimde Cu (52ng/m^3), Zn

(44ng/m^3), Pb (25ng/m^3) ve Ba (20ng/m^3) en yüksek konsantrasyona sahip eser elementler olarak ölçülmüştür. PMF metoduna göre kaynak sınıflandırması, fosil yakıt yanması ve orman yangınları (%60), yol tozu (%19), trafikle ilgili emisyonlar (%9), bakır eritme (%8), demir-çelik endüstrisi (%2) ve tanımlanamayan bir sanayi sektörü (%2) olmak üzere sonuçlanmıştır.

Nghiem ve ark. (2020), Viyetnam, Hanoi 'de toplanan $PM_{0.1}$ örneklerinin kimyasal içeriğini ve PMF metodunu kullanarak kaynak dağılımını araştırmışlardır. PMF modeli, trafik benzin ve dizel emisyonları (%46.28), ikincil emisyonlar (%31.18), yerleşik/ticaret (%12.23), sanayi (%6.05) ve yol/inşaat (%2.92) olmak üzere $PM_{0.1}$ kütlesine 5 ana kaynağın katkılarını ortaya koymuşlardır.

Soleimani ve ark. (2021) tarafından İran'da gerçekleştirilen bir çalışmada, $PM_{2.5}$'a bağlı PAH'ların (Poliaromatik Hidrokarbonlar) kaynaklarını belirlemek için PMF metotu kullanılmıştır. Çalışma sonucunda PAH bileşiklerinin kaynakları PMF modeli tarafından, benzin yanması (%23,8 ila %33,1), ardından dizel yanması (%20,6 ila 24,8), doğal gaz yanması (%9,5 ila %28,4), buharlaşmalı-yanmamış (%9,5 ila 23,0), endüstriyel faaliyetler (%8,4 ila %13,5) ve bilinmeyen kaynaklar (%2,8 ila %15,7) olduğu sonucuna varılmıştır. $PM_{2.5}$'teki PAH'ların ana kaynakları olarak ulaşım, endüstriyel faaliyetler ve doğal gazın (hem konut-ticari hem de endüstriyel sektörlerde) yakılmasının metropoliten alanda, özellikle soğuk mevsimlerde yönetilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Li ve ark. (2021), Peru'nun Arequipa kentindeki dört bölgeden (bir sanayi sitesi, bir kentsel site ve iki kırsal alan) Şubat 2018 ile Aralık 2018 arasında PM_{10} örnekleri toplamış ve her bölge ve PM_{10} emisyon kaynaklarının mekansal dağılımı için, PM_{10}'un ana ve eser element konsantrasyonlarını ICP-MS ile analiz etmiştir. Örnekleme dönemi sırasında Arequipa'da gözlemlenen günlük PM_{10} konsantrasyonlarının %91'i, DSÖ'nün 24 saatlik ortalama PM_{10} kılavuz değerini aşarak, yükselen PM10'un Arequipa'daki hava kalitesini güçlü bir şekilde etkilediğini düşündürmektedir. Mn ve Mo gibi bazı iz elementler mineral tozdan kaynaklanırken, Pb, Sr, Cu, Ba, Ni, As ve V dahil olmak üzere diğer iz elementler ek antropojenik kaynaklardan elde edildiği sonucuna varılmıştır. Sanayi bölgesi Rio Seco'daki endüstriyel faaliyetler, önemli Pb, Cu ve muhtemelen Sr emisyonlarına katkıda

bulunmuştur. İki kırsal alanda, Tingo Grande ve Yarabamba'da güçlü Cu emisyonları gözlemlenmiş, muhtemelen madencilik faaliyetleri ile ilişkilendirilmiştir. Ni, V ve As, Avenida Independencia kentsel bölgesinde en güçlü olan fosil yakıt yanma emisyonlarına bağlanmıştır. Kentsel alanda, muhtemelen şehirdeki yoğun trafikten ve araç fren aşınma emisyonlarından kaynaklanan yüksek Ba ve Cu konsantrasyonları da gözlemlenmiştir.

Mbazima ve ark. (2021), emisyon kaynaklarını paylaştırmak için Meyerton'daki bir ferromangan döküm tesisinin yakınındaki üç yerleşim bölgesinde iç ve dış $PM_{2.5}$ arasındaki benzerlikleri araştırmıştır. $PM_{2.5}$'in elementel bileşimini analiz etmek için SEM ve ICP-MS analizleri kullanılmıştır. Ortalama iç ve dış $PM_{2.5}$ kütle konsantrasyonları sırasıyla 10.99 ve 24.95 ng/m^3 olarak bulunmuştur. İç mekan $PM_{2.5}$'e manganez, silikon ve demir hakimken, dış mekan $PM_{2.5}$'in tüm elementlerin en yüksek konsantrasyonuna sahip olduğu, ferromangan döküm tesisinin farklı fizikokimyasal özelliklere sahip $PM_{2.5}$'in potansiyel ana katkı kaynağı olarak tanımlandığı sonucuna varılmıştır.

Rahman ve ark. (2021), Bangladeş'in başkenti Dakka Şehrindeki atmosferik kirleticilerin mevsimsel değişimini ve potansiyel ana kaynaklarını araştırmıştır. Toplamda, 2016 yılında Ocak-Aralık ayları arasında 89 $PM_{2.5}$ numunesi toplamış ve $PM_{2.5}$'te bulunan 18'den fazla elementin konsantrasyonu hızlandırılmış tabanlı iyon ışını analizi ile incelenmiştir. Al, Si ve Fe dışında, Zn ve Pb konsantrasyonları Dhaka atmosferinde anormal bir şekilde zenginleşmiş, bu da $PM_{2.5}$'teki bu elementlerin antropojenik kökenini düşündürmüştür. PCA-APCS-MLR alıcı modeli kullanılarak yapılan kaynak dağılımı, Dhaka Şehri'nin hava kalitesindeki bozulmanın, toprak tozu, motorlu taşıt egzozu, deniz tuzu, endüstriyel emisyon ve boya pili dahil olmak üzere beş olası faktörden etkilendiğini göstermiştir.

Huang ve ark. (2021), Çin'in güneybatısındaki Chengdu'da 2016-2017 yılları arasında PM içeren suda çözünür iyonlar ve ağır metallerdeki değişimler ve ikincil iyonların dağılımı analiz etmiştir. $PM_{2.5}$'teki suda çözünür iyonlar, sırasıyla %43.02, %24.23 ve %23.50'yi oluşturan Sülfat-Nitrat-Amonyum olarak hesaplanırken; PM_{10}'da SO_4^{2-}, NO_3^-, NH_4^+ sırasıyla %34.56, %27.43, %19.18 olarak bulunmuştur.

Quénel ve ark. (2021), Kuzey Afrika toz olaylarından periyodik bir şekilde etkilenen Fransız Batı Hint Adaları'nın kimyasal maruziyetini incelemek için PM_{10}'un kapsamlı karakterizasyonunu araştırmıştır. PM_{10} örnekleri, 2017'de Nisan ve Ekim ayları arasındaki beş bölüm boyunca bir kırsal ve bir kentsel alanda günlük olarak toplanmıştır. 51 element ve seçilen 57 organik tür dahil olmak üzere kimyasal bileşenlerin miktar tayini için IC (İyon Kromatografisi) ve ICP-MS yöntemlerini kullanmışlardır. Kuzey Afrika toz olayları sırasındaki örneklerle kontrol numuneleri arasında ayırt edici 16 element tanımlanmış, bunlardan sadece 2 tanesi (Mn ve V) kirletici olarak sınıflandırılırken; diğerleri için sınır değeri belirlenmemiştir.

Li ve ark. (2021), Tayvan'ın merkezinde endüstrinin yoğun olduğu bir bölgede, 2017-2018 arasında MOUDI (Micro Orifice Uniform Deposit Impactor) kullanarak PM örneklemelerini gerçekleştirmiş PM'lerin kaynaklarını belirlemek için Temel Bileşen Analizi (PCA) kullanmışlardır. PM'lerin metalik içeriklerinin çoğu farklı parçacık boyutlarında Na, Fe, Ca, Al ve Mg den oluştuğu, PM'lere katkının deniz tuzu, ikincil kirleticiler ve endüstriyel süreçle ilişkili olduğunu ortaya koymuşlardır.

Liu ve ark. (2021), Çin'in kuzey Nanjing kentinde Haziran 2017-Mayıs 2018 arasında atmosferik $PM_{2.5}$ saha örneklerini toplayarak suda çözünebilen organik azot bileşimlerini ve kaynaklarını belirlemek için SP-AMS (Aerodyne kurum partikül aerosol kütle spektrometresi) ve PMF Metodu kullanmışlardır. Amonyum, sülfat ve nitrattan oluşan inorganik iyonların $PM_{2.5}$ kütlesine %58.7, organik maddelerin %22.6 ve elementel karbonun %2.1 oranında hakim olduğu sonucuna varmışlardır. PMF analizi sonuçları, suda çözünebilen organik azotun iki birincil kaynağını (trafik, biyokütle yakma) ve iki ikincil kaynağını (daha az oksitlenmiş ve daha çok oksitlenmiş faktörler) belirlemiştir.

Zhang ve ark. (2021), yol kenarı ortamlarında 2015 yazında Tianjin'de PM'ye bağlı ağır metallerin boyut dağılımını ve kaynak tanımlamasını belirlemek için dört farklı partikül boyutunda (<0.2 μm, 0.2-0.5 μm, 0.5-1.0 μm ve 1.0-2.5 μm) numune toplamış, BD, FK, JY ve WH olmak üzere dört yol kenarı noktaları belirlemişlerdir. PM numunelerindeki ağır metal elementlerinin konsantrasyonları sırasıyla; 597 ± 251 ng/m^3, 546 ± 316 ng/m^3, 518 ± 310 ng/m^3 ve 640 ± 237 ng/m^3 olarak ölçülmüştür. Temel bileşen analizi (PCA) ise; yol kenarındaki ortamlarda araç

egzozu, fren balatası aşınması ve lastik aşınması dahil olmak üzere çeşitli ağır metal kaynaklarını ortaya çıkarmıştır.

Han ve ark. (2021), Güneybatı Çin'de bulunan Kunming Şehrinde yoğun trafik ortamlarındaki havadaki ağır metallerin kütle konsantrasyon seviyelerini ve sağlık risklerini araştırmışlardır. 10 ağır metal (V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd ve Pb) ICP-MS ile analiz edilmiş ve sonuçlar $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının ilkbahar ve kış aylarında, yaz ve sonbahardakinden önemli ölçüde daha yüksek olduğunu göstermiştir. Zenginleştirme faktörü analizi ile, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Cd ve Pb'nin başlıca antropojenik kaynaklardan geldiğini, V ve Co'nun ise hem antropojenik hem de doğal olabileceği belirlenmiştir. Korelasyon ve temel bileşen analizi (PCA), Ni, Cu, Zn, Cd ve Pb'nin esas olarak araç emisyonlarından ve metalurji endüstrilerinden; Cr ve Mn'ın araç emisyonları ve yol tozundan; As'nin ise esas olarak kömür yanmasından kaynaklandığını göstermiştir.

Park ve ark. (2022), Kore- Seul'de saatlik olarak alınan 8760 $PM_{2.5}$ numunesinin %69.4'ünü PMF modellemesi için analiz etmiştir. PMF modellemesi sonucunda, ikincil nitrat (%22.8), ikincil aerosol (%21.3), değişken (%18.4), toprak (%5.5), yakma (%5.5), deniz tuzu (%5.3), sanayi (%4.7), kömür yakma (%4.4), biyokütle yakma (%3,6), yağ yakma (%3,0), fren ve lastik aşınması (%2,8) ve bromla ilgili yanma (%2,6) olmak üzere 12 kaynak belirlemişlerdir.

Ge ve ark. (2022), partikül organik nitratın $PM_{2.5}$ ile ilişkisini araştırmak için yüksek çözünürlüklü aerosol kütle spektrometresi tabanlı tahminler kullanılarak doğrulanan bir kısıtlı PMF yöntemini her mevsim için uygulamışlardır. Sonuçlar, partikül organik nitratın kirli Yangtze Nehri Deltası'ndaki aerosol nitrata önemli ölçüde katkıda bulunduğunu ve partikül organik nitratın toplam nitrata oranının yaz, ilkbahar ve sonbaharda>%21 ve kışın>%13 olduğu sonucuna varmışlardır. Toplam nitrata partikül organik nitratın katkısı, $PM_{2.5}$ yüklemesi arttıkça azalmış, partikül organik nitratın kentsel alanlarda atmosferik $PM_{2.5}$'in potansiyel olarak önemli bileşenleri olduğunu göstermiştir.

Khobragade ve ark. (2022), Hindistan'ın Raipur kentindeki bir kentsel şehirde PM_{10} aerosollerindeki mevsimsel değişimi ve ilişkili eser metal konsantrasyonlarını

incelemiştir. On sekiz eser element (Al, Ba, Ca, Cr, As, Mn, Sb, Se, Sr, Cu, Fe, Ga, Mg, Ni, Ti, V, Pb, Zn) ve (EC ve OC), atomik absorpsiyon spektroskopisi ve termal optik geçirgenlik tekniği kullanılarak analiz etmiştir. Olası kaynakları belirlemek için PMF metodu kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, demir-çelik endüstrisi (%30), biyokütle ve atık yanması (%28,7), araç emisyonları (%21), ağır petrol yanması (%17,4) ve kabuk tozu (%2,9) olmak üzere beş kaynak tespit edilmiştir.

Sun ve ark. (2022), 20 Nisan 2018'den 18 Mayıs 2018'e kadar doğu Çin Denizi (OECS) üzerinde bir gemiden $PM_{2.5}$ örnekleri toplamıştır. Çalışmada, 26 metal element, zenginleştirme faktörlerine göre doğal, antropojenik veya karışık kaynaklar olarak sınıflandırılmış ve bu elementlerin %60'ından fazlası antropojenik (%78) kaynaklardan etkilendiği ortaya konmuştur. PMF analizi ise; deniz kaynakları da dahil olmak üzere araç egzozu, kabuklu kaynaklar, ikincil oluşum ve yanma kaynakları, antropojenik kaynaklar (araç egzozu, ikincil oluşum ve yanma kaynakları) olmak üzere $PM_{2.5}$ için 5 potansiyel kaynak faktörünü tanımlamıştır.

Furu ve ark. (2022), Macaristan'da iki kentin (Budapeşte ve Debrecen) 8 Aralık 2009 ile 18 Mart 2010 tarihleri arasında toplanan günlük aerosol ($PM_{2.5}$ ve PM_{10}) numunelerinin kimyasal karakterizasyonunu çalışmıştır. Ortalama $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranı, iki bölge için %70 ve %75 olarak bulunmuştur. PM_{10} için doğal kökenli elementler (Al, Si, Ca, Ti, Mn, Fe, Ba) ve klor baskın bulunurken, $PM_{2.5}$ için antropojenik kökenli elementler (S, K, Cu, Zn, Pb) karakteristik özellik göstermiştir. EPA Positive Matrix Factorization (PMF) 5.0 reseptör modeli kullanılarak toprak, trafik, yol tozu, ikincil sülfat, biyokütle yakma ve sokakların buzunun çözülmesi olmak üzere 6 temel kaynak belirlenmiştir.

Li ve ark. (2022), Kuzey-Batı Çin'in Urumçi kentinde $PM_{2.5}$ örnekleri toplamış kaynak belirleme çalışması yapmıştır. Al ve Fe $PM_{2.5}$'te en çok rastlanan elementler olarak bulunmuştur. Zenginleştirme faktörü (EF), metal elementlerin çoğunun doğal kaynaklardan geldiğini ve Cd elementinin esas olarak antropojenik kaynaklardan geldiğini göstermiştir. PMF, Urumçi'de kabuklu mineraller (%19.2), biyokütle yanması (%10.2), kömür yanması (%12.1), taşıt taşımacılığı (%8.2) ve ikincil aerosoller (%50.3) dahil olmak üzere beş ana $PM_{2.5}$ kaynağı belirlemiştir.

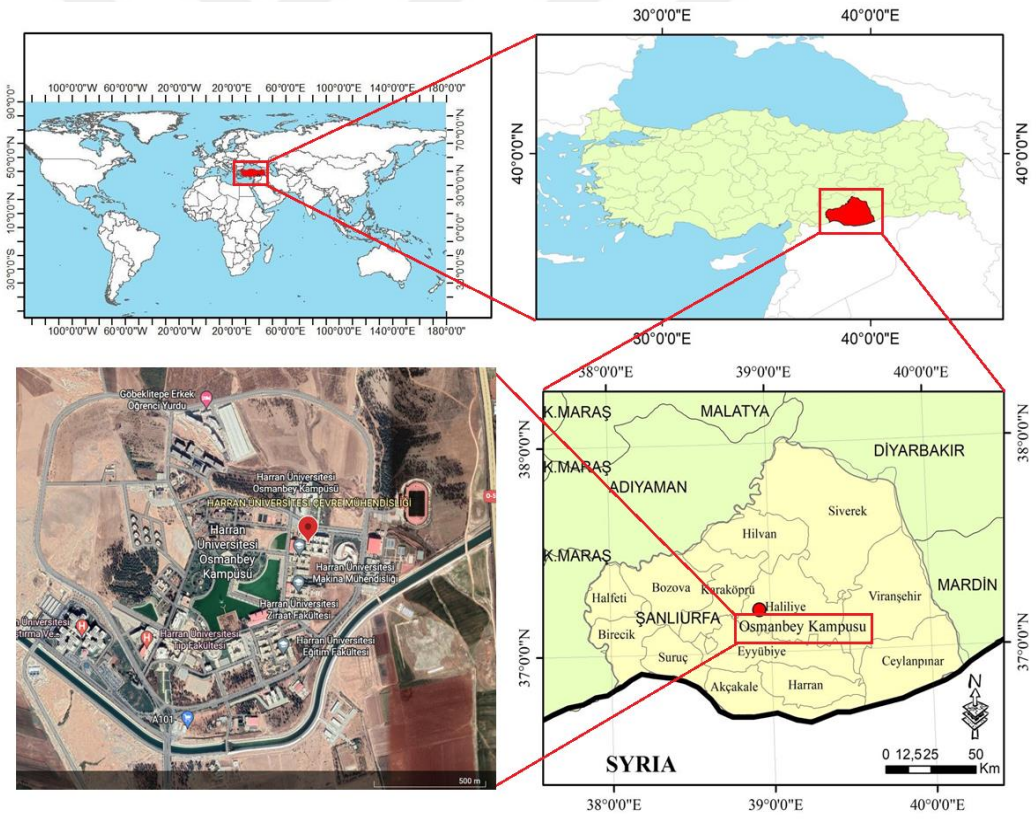
Yang ve ark. (2022), Pekin'de $PM_{2.5}$'e bağlı metallerin kaynakları, sağlık riskleri ve bölgesel taşınması hakkında kapsamlı bir anlayış kazanmak için bir yıllık sürekli ölçüm (K, Fe, Ca, Zn, Pb, Mn, Ba, Cu, As, Sc, Cr ve Ni) Aralık 2016'dan Kasım 2017'ye kadar gerçekleştirmiş ve kaynak paylaştırma için PMF uygulamışlardır. Ca, Ba, As, Sc ve Cr kaynakları, her mevsimde %35'in üzerinde hakim kaynağının katkısıyla çok fazla mevsimsel değişiklik göstermemişken; K, Fe, Zn, Pb, Mn, Cu ve Ni'nin ana kaynakları belirgin mevsimsel farklılıklar sergilemiştir. PMF analizi sonuçları Faktör 1 (yüksek Ca, Ba ve Fe yüklü toz kaynağı), Faktör 2 (Kömür yanması: As, Se, Pb ve Zn), Faktör 3 (Araç egzozu ve biyokütle yakma: yüksek OC, EC, Cu, K, Pb) ve Faktör 4 (Endüstriyel: yüksek Mn, Cr, Ni, Fe ve Zn) olmak üzere 4 kaynak faktörü belirlemiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Çalışma alanı

Çalışma verileri, Şanlıurfa Harran Üniversitesi Osmanbey Kampüsü yerleşkesinden elde edilmiştir. Cihazın kurulduğu lokasyonda dikkat edilen en önemli unsurlardan birisi atmosferik taşınan çöllerden gelen partikül maddelerini ölçebilecek bir alanda bulunmasıdır. Çalışma alanının konumu Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Çalıma alanının konumu

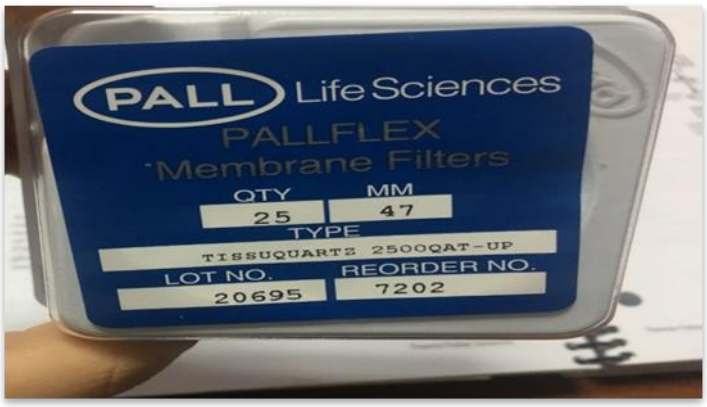
3.1.2. PM örneklemesi

EPA standartına göre çalışan ve aynı anda dış hava ortamından $PM_{2.5}$ ve PM_{10} toplayan Partisol 2025 ID (THERMO SCIENTIFIC, ABD) cihazı Harran Üniversitesi tarafından Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği bina çatısına Şekil 3.2.'deki gibi kurulmuştur. Partisol 2025 ID cihazına 47 mm'lik membran filtreler (PALLFLEX, Membrane Filters) yerleştirilerek 2019-2020 yılları arasında $PM_{2.5}$ ve PM_{10} örnekleri toplanmıştır.



Şekil 3.2. Partisol 2025 ID örnekleme cihazı A-kapalı görünüm, B-Açık görünüm

Partisol 2025 ID cihazına Nisan 2019-Mart 2020 tarihleri arasında günlük olarak Şekil 3.3.'teki 47 mm PM_{10} ve $PM_{2.5}$ PALLFLEX Membrane filtreleri kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Cihazda kullanılan filtre örnekleri

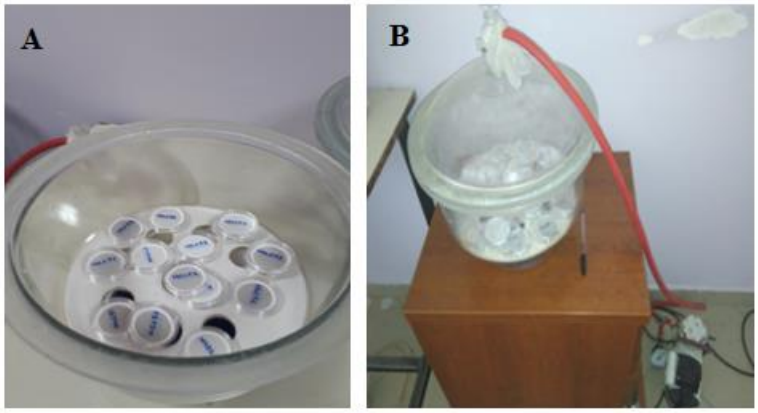
3.2.2. $PM_{2.5}$ ile PM_{10} ölçüm verilerinin alınması

Örnekleme cihazında kullanılan filtreler UV-cleaner box'da (Şekil 3.4.) kendileri için özel olarak tasarlanmış petri kaplarına yerleştirilmiştir. $PM_{2.5}$ için Harran Fine (ince) (HF), PM_{10} için Harran Coarse (kaba) (HC) olarak petri kapları isimlendirilmiştir. Elde edilen numuneler kodlandırılmış şekilde petri kaplarına yerleştirilip UV-cleaner box (BIOSAN, UVC/T-AR) ünitesinde dış etkenlerden uzak kalacak şekilde Şekil 3.4.'teki gibi muhafazalandırılmıştır.



Şekil 3.4. UV-cleaner Box

Kullanılacak Filtrelerin tartımı yapılmadan önce nemini çekmesi için bir desikatörde Şekil 3.5.'teki gibi 3 gün boyunca bekletilmiştir.



Şekil 3.5. Filtrelerin desikatörde bekletilmesi

Desikatörde bekletilip nemi alınan filtrelerin ağırlıkları Shimadzu 6 dijitlik hassas terazide (Şekil 3.6.) ölçülerek veriler elde edilmiştir.



Şekil 3.6. Filtrelerin ağırlıklarının ölçüldüğü hassas terazi

Aşağıda 2025 ID cihazı EPA standartlarına göre verilen hesaplama yöntemi kullanılarak günlük $PM_{2.5}$ ve PM_{10} konsantrasyonları Denklem (3.1)-(3.4) ile belirlenmiştir.

$PM_{2.5}$ için;

$$C_f = M_f / V_f \quad (3.1)$$

PM_{10} için;

$$C_e = M_c / V_t - (V_c / V_t) C_f \quad (3.2)$$

$$C_t = C_f + C_e \quad (3.3)$$

$$C_{tstd} = M_f + M_c / V_{tstd} \quad (3.4)$$

Burada; C_f=ince partikül fraksiyonunun kütle konsantrasyonunu [µg/m³], C_e=Kaba partikül fraksiyonunun kütle konsantrasyonunu [µg/m³], Ct=PM_{10}'un kütle konsantrasyonu [µg/m³], Mf=ince partikül fraksiyon filtresi üzerinde toplanan kütleyi [µg], Mc=Kaba partikül fraksiyon filtresinde toplanan kütleyi [µg], V_f=İnce partikül fraksiyon filtresinden örneklenen havanın hacmi [m³], V_c=Kaba partikül fraksiyon

filtresinden örneklenen havanın hacmi [m³], V_t=Hem ince hem de kaba parçacıktan örneklenen hava hacmini [m³] ifade etmektedir.

3.2. Yöntem

Çalışmada kullanılan PM'lerin elementel içerik araştırması için ICP-MS analizi, PM'lerin atmosferdeki taşınımı ve geliş yönünü belirlemek için HYSPLIT modeli ve MODIS uydu görüntüleri kullanılmış olup son olarak kimyasal içerik analiz sonuçlarına göre olası kirlilik kaynaklarını ve katkı oranlarını belirlemek amacıyla PMF metodu uygulanmıştır.

3.2.1. ICP-MS analizi

Toplanan filtre örneklerinin elementel içeriğinin belirlenmesi amacıyla İndüktif olarak eşleştirilmiş plazma kütle spektrometrisi (ICP-MS) cihazı kullanılmıştır. Toplanan partikül madde filtre örneklerinin element analizine hazır hale getirilmesi için mikrodalga parçalama yöntemi kullanılmıştır. Mikrodalga sistemine ait teflon kaplar içine yerleştirilen filtre örneklerinin üzerine 5 ml nitrik asit (HNO_3) ve 5 ml hidroklorik asit (HCl) eklenerek Mikrodalga parçalama sistemi (MARS 5, CEM Corp.) kullanılarak parçalanmıştır. Mikrodalga sisteminde ilk kademede 800 W güçte 130 °C'de 10 dakika ulaşma zamanı (ramp time) ve 5 dakika tutma zamanı (hold time), ikinci kademede 1600 W güçte 170 °C'de 5 dakika ulaşma zamanı ve 10 dakika tutma zamanı uygulanmıştır. Daha sonra özütler deiyonize saf su ile 20 ml'ye tamamlanmıştır.

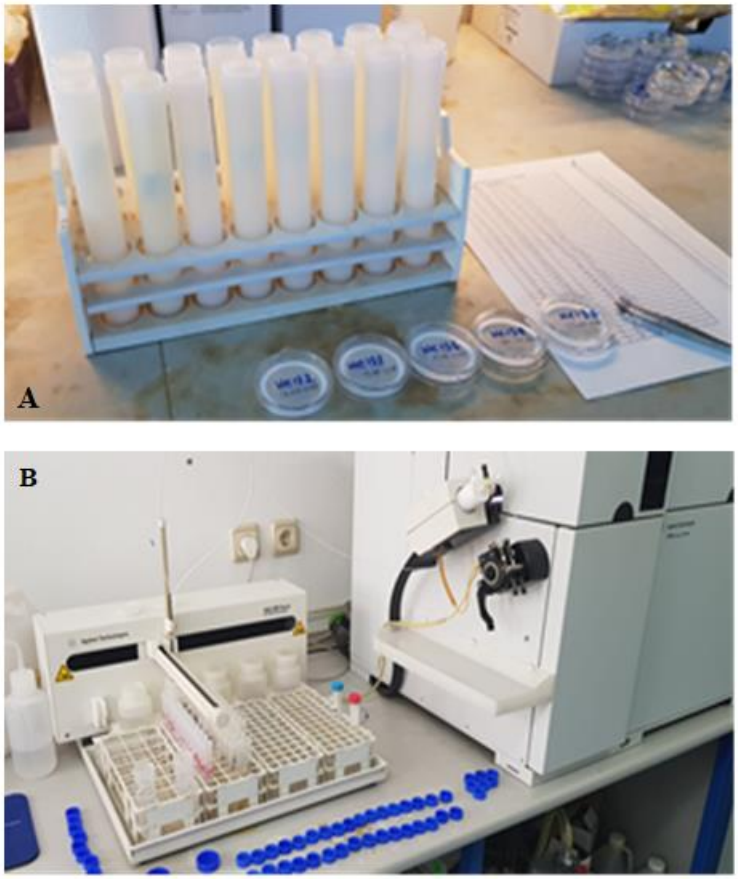
Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan Agilent 7700x (HMI, High Matrix Introduction modüllü) model ICP-MS cihazında 62 adet elementin enstrümental analizleri (Ag, Al, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Ga, Gd, Ge, Hf, Hg, Ho, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Nd, Ni, P, Pb, Pd, Pr, Pt, Rb, Rh, Sb, Sc, Se, Si, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Yb, Zn, Zr) gerçekleştirilmiştir.

Analizler öncesinde cihazın optimum ayarlamalarının sağlanması için ayarlama çözeltisi (Tune solution) analizlenerek yüksek hassasiyet değerlerinin oluşması

sağlanmıştır. Her bir element için kalibrasyon standartları kullanılarak en az 7 noktalı kalibrasyon eğrileri çizilmiş ve doğrulukları doğrulama çözeltisi ile kontrol edilmiştir. Ayrıca eş zamanlı olarak kör numunelerdeki ve reaktiflerdeki değerleri belirlemek için de kör numune analizleri yapılmıştır.

Örneklerin cihazda okunması esnasında cihazın işletme şartları; RF gücü: 1550 W; taşıyıcı gaz akış hızı: 0,90 L/dk; plazma gazı akış hızı: 15 L/dk; plazma örnekleme derinliği: 8 mm; nebulizer akış oranı: 1,01 L/dk; ekstraktör lensi potansiyeli: -160 V; konik sprey odası sıcaklığı: 2 °C; nebulizer pompası: 0,10 devir/saniye; nebulizer tipi: mikromist; iyon lensleri modeli: x-lens olarak ayarlanmıştır.

Örneklerin element analizine hazırlık aşamaları Şekil 3.7.'de verilmiştir.



Şekil 3.7. A) Örneklerin Teflon kaplara yerleştirilmesi, B) Örneklerin ICP-MS cihazında analizi

Analizlerde kullanılan tüm kimyasallar yüksek saflıkta olup spektrofotometrik analizlere uygun olarak seçilmiştir. Asitler MERCK Chemicals (Burlington, MA, USA) ve CARLO ERBA Reagents GmbH (Germany) firmalarından, analitik standartlar ise High-Purity Standards (Güney Carolina, SC, USA) firmasından temin edilmiştir. Çizelge 3.1., kullanılan sarf malzemelere ve analitik standartlara dair detayları içermektedir.

Çizelge 3.1. Sarf malzemelere ve analitik standartlara ait detaylar

KİMYASAL	MARKA	KATALOG NO
Nitrik Asit 65% Suprapur	Merck	100441
Nitrik Asit 67-70%, RS- Superpure	Carlo Erba	CE.408117
Hidroklorik Asit 30% Suprapur	Merck	100318
Hidroflorik Asit 40% Suprapur	Merck	100334
PTFE filtre 0,45 µm gözenek çaplı	Isolab	094.01.002
Argon Gazı, %99.999 saflıkta	Linde Gaz	
Azot Gazı, %99.999 saflıkta	Linde Gaz	
Helyum Gazı, %99.999 saflıkta	Linde Gaz	
ICP-MS Kalibrasyon Standardı-1	High Purity Standards	ICP-MS-68A- Solution A
ICP-MS Kalibrasyon Standardı-2	High Purity Standards	ICP-MS-68A- Solution B
ICP-MS Kalibrasyon Standardı-3	High Purity Standards	ICP-MS-68A- Solution C
ICP Multi-Component Doğrulama Çözeltisi	High Purity Standards	HPS-CCV-3-100
Civa (Hg) ICP Kalibrasyon Standardı	High Purity Standards	SKU: 10-33-1
Partikül madde referans maddesi	National Institute of Standards & Technology (NIST)	Standard Reference Material 1648a (Urban particulate matter)
Toprakta metal referans maddesi	Metals in Soil, PriorityPollutnT ERA-USA	CRM 540

3.2.2. HYSPLIT model ve MODIS uydu görüntüsü

Hibrit Tek Parçacık Lagrange Entegre Yörüngesi (HYSPLIT), ABD Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi'nin (NOAA) ARL'si tarafından geliştirilen bir yazılımdır. HYSPLIT, basit yörüngelerden karmaşık dağılım ve bir nefes ya da

parçacık yaklaşımı kullanan birikme simülasyonlarına kadar geniş hesaplama yeteneklerine sahip bir modelleme sistemidir (Draxler ve Hess, 1998).

Çalışma alanı olarak belirlenmiş olan Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği binasının koordinatları (37.10 N˚, 39.00 E˚) HYSPLIT modeline girilerek tozların kaynakları belirlenmiştir. Hava kirliliği problemini kontrol edebilmek için hava kalitesini takip etmek bir zorunluluk teşkil etmektedir. Önemli hava kirleticilerinden olan PM'leri ölçebilmenin yolu hava kalitesi izleme istasyonlarıdır (Ho ve ark., 2020). Ancak hava kalitesi istasyonlarının kuruluş maliyetlerinin yanında altyapı ve personel giderleri, istasyonun kuruluş alanlarının dar olması, işletme ile bakım maliyetlerinin yüksek olması hava kalitesi izleme istasyonlarını seyrekleştirmektedir. Bu sebeplerden dolayı sınırlı sayıdaki izleme istasyonları ile uzak mesafelerdeki $PM_{2.5}$ ve PM_{10}'un iyi bir şekilde karakterizasyonu sağlanamamaktadır. Uzaktan algılama yapabilen sistemler hava kalitesi izleme istasyonlarının bulunmadığı bölgelerde hava kirliliğinin takip edilmesine imkân tanımaktadır. Bazı uydu sistemleri sağlamış olduğu geniş uzaysal ve kapsama alanı ile düşük maliyetli taleplerinden dolayı uzaktan algılama ve gözlemleme sağlayabilmektedir (Imani, 2020; Imani, 2021).

Uydu sistemlerinin sağlamış olduğu veriler ile PM tahmini yapabilmek için kullanılan en sık yöntemlerden biri Aerosol Optik Kalınlığı (AOT)'dır. Bu sistemin amacı Aerosol Optik Derinliği (AOD) ile PM konsantrasyonu arasındaki ilişkiyi bulmaktır (Xu ve ark., 2014). Küresel ve büyük ölçekli alanlarda PM tahmini yapabilmek için yüksek performans sağlayan Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektroradiometresi (MODIS) olan türetilmiştir (Fu ve ark., 2020; Lv ve ark., 2017).

3.2.3. Pozitif matriks faktörizasyonu (PMF)

Çalışmada olası PM kaynaklarının belirlenmesinde EPA tarafından geliştirilen PMF (v5.0) kaynak paylaştırma modeli kullanılmıştır. PMF, kaynakların belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir alıcı ortam modellemesidir. Bu model bir veya birden fazla örnekleme noktasından toplanan verileri ayrıştırarak işleme yeteneğine sahiptir. Modele, girdi olarak ölçülen element konsantrasyonları tanımlanıp; model çalışmasının ardından elde edilen kaynaklardaki belirleyici

elementlere ve her bir örnekleme noktasındaki kaynak katkısına göre olası kaynakları belirlenmektedir. Faktör analizi gibi kaynak belirleme yöntemlerinden farklı olarak daha fazla veri girdisi (belirsizlik değerleri vb.) ile çalışmaktadır. Bunun yanı sıra PMF modelinin daha anlamlı ve doğru sonuçlar üretmesi için veri setlerinin büyük olması gerekmektedir.

PMF modeli Paatero ve Tapper (1994) tarafından geliştirilmiştir. İleri faktör analiz yöntemi olan PMF modelinin çalışma prensibi en düşük kareler yöntemi (least square methods)'ne dayanır. Bu yöntem ile birlikte, partikül madde veri seti 'n' satır (örnek sayısı) ve 'm' sütun (PM'de belirlenen parametre sayısı) oluşacak biçimde matriks elde edilir. Bir sonraki aşamada PMF modeli çalıştırılarak elde edilen matriks G (nxp) ve F (pxm) olmak üzere iki alt matrikse ayrılır. Burada 'p' model tarafından belirlenen kaynak sayısını göstermektedir. PMF modelinin dayandığı matematiksel model, aşağıda Denklem (3.5)'te verilmektedir.

$$X = G \bullet F + E \tag{3.5}$$

Yukarıda verilen denklemde 'X' (nxm) büyüklüğündeki veri setini, F (pxm) kaynak profilini, G (nxp) kaynak katkısını ve 'E' ise PM'nin PMF modeli tarafından açıklanamayan bölümünü temsil etmektedir. PMF modeline girdi olarak partikül maddeye ait veri seti (X) ve partikül madde kompozisyonunda tespit edilen her bir parametre için hesaplanan analitik belirsizlik giderimi yapılmalıdır.

Model girdi verilerinin düzenlenmesinde eksik ve tespit limitinin altındaki konsantrasyon değerleri Polissar ve ark. (1998) tarafından tanımlanan yöntemle düzenlenmiştir. Tespit limitinin altındaki değerler tespit değerinin yarısı ile değiştirildi ve buna karşılık gelen belirsizlikler aşağıda verilen Denklem (3.6)-(3.8)'de olduğu gibi hesaplanmıştır.

$$\sigma_{(xij<DLj)} = xij + 2/3\,(DLj) \tag{3.6}$$

$$\sigma_{\{DLj<xij<3(DLj)\}} = 0{,}2\,xij + 2/3\,(DLj) \tag{3.7}$$

$$\sigma_{\{xij>3(DLj)\}} = 0{,}1\,xij + 2/3\,(DLj) \tag{3.8}$$

Burada;

x_{ij}: i örneğindeki j türü için belirlenen konsantrasyon, DJ_j: j türü için tespit limitini ifade etmekte olup denklemlerdeki 0,2 ve 0,1 katsayıları ampirik olarak belirlenmiştir.

3.2.4. Zenginleştirme faktörü (EF)

Partikül maddelerdeki elementler için zenginleşme faktörü, doğal (yer kabuksal) veya bu elementlerin antropojenik kökenlerini tanımlamak ve antropojenik etkilerin derecesini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. . Bölgesel jeokimyayı temsil eden yerel arka plan toprağı ve yer kabuğu değerleri kullanılarak PM örnekleri için Enrichment Factor (EF) değerleri Denklem (3.9)'daki gibi hesaplanmıştır.

$$EF_{TE} = \frac{(C_{TE}/C_R)_{numune}}{(C_{TE}/C_R)_{arka\ plan}} \quad (3.9)$$

Denklem 3.9'da $(C_{TE}/C_R)_{numune}$, elementlerin (TE) konsantrasyonunun, PM örneğindeki referans elementin (R) konsantrasyonuna oranını ifade etmektedir. $(C_{TE}/C_R)_{arkaplan}$ ise arka plan toprak numunesinin referans elementin konsantrasyonuna oranıdır. Yerel toprağın ana bileşenlerinden biri olduğu için ve yaygın olarak EF hesaplarında Alüminyum (Al) referans element olarak seçilmiştir. Toprağa antropojenik ve bölgesel olmayan girdinin derecesini değerlendirmek için beş kategori kullanılmıştır. Bu kategoriler; minimum zenginleştirme eksikliği ($EF<2$), orta zenginleştirme ($2<EF\leq5$), şiddetli zenginleştirme ($5<EF\leq20$), çok yüksek zenginleşme ($20<EF\leq40$) ve son derece yüksek zenginleştirme ($40<EF$)'dir (Kara ve ark., 2014).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çalışma sonucunda 1 yıl boyunca toplanan PM örneklerinin yıllık konsantrasyonları, kimyasal karakterizasyonları ve PM kompozisyonunu etkileyen kirleticilerin olası kaynakları belirlenmiş olup çalışmaya ilişkin sonuçlar ayrı başlıklar altında incelenmiştir.

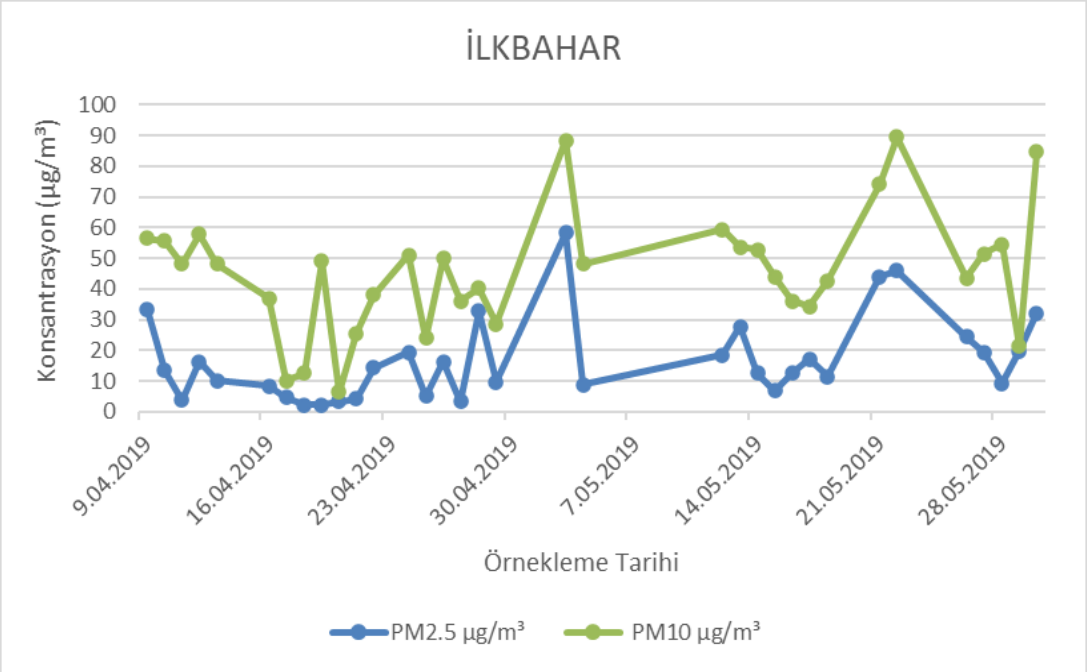
4.1. $PM_{2.5}$ ve PM_{10} Konsantrasyonları

Şanlıurfa Harran Üniversitesi Osmanbey Kampüsü Çevre Mühendisliği bölümü çatısındaki örnekleme noktasından 1 yıl boyunca 248 adet PM_{10} ve 248 adet $PM_{2.5}$ örneği toplanmıştır. Toplanan PM numunelerin mevsimsel ve mekânsal varyasyonları değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucuna göre; $PM_{2.5}$ konsantrasyonu'nun yıllık ortalama değeri 30.51 µg/m³ iken; PM_{10} konsantrasyonunun yıllık ortalama değeri 68.48 µg/m³ olarak tespit edilmiştir.

Türkiye'deki hava kalitesinin sınır değerleri Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği'ndeki belirlenen yıllık ortalama değerler olan $PM_{2.5}$ ve PM_{10} için sırasıyla; 30 µg/m³ ve 40 µg/m³ göz önüne alındığında elde edilen sonuçların sınır değerlerini aştığı görülmektedir. Elde edilen sonuçların Avrupa Hava Kalitesi Direktifinin, 2008/50/EC (Avrupa Birliği, 2008; Kara, 2014) 40 µg/m³ olan sınır değerini aştığı tespit edilmiştir.

Zeydan (2021), Türkiye'de bulunan hava kalitesi izleme istasyonlarında kayıt altına alınan PM_{10} konsantrasyonlarını standartlara göre değerlendirmiştir. Araştırmacı, yeterli miktarda veri üretemeyen istasyonları veri setinden çıkarmıştır. Sonuç olarak 81 il içerisinden 49 adet ilin PM açısından kirli hava soluduğunu bulmuştur.

Şekil 4.1.'de PM'lerin ilkbahar mevsimine ait konsantrasyonları verilmiştir.

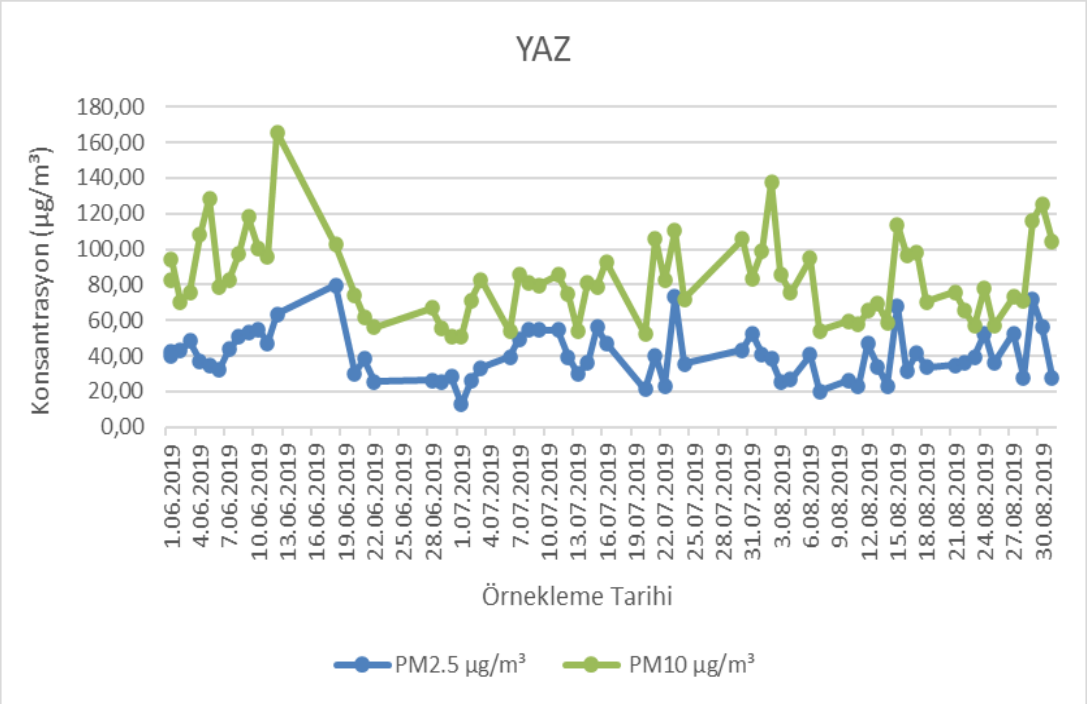


Şekil 4.1. PM'lerin ilkbahar mevsimine ait konsantrasyonları

Şekil 4.1.'e göre nisan ve mayıs aylarında $PM_{2.5}$ ve PM_{10} konsantrasyonlarının standartların üzerinde olduğu görülmektedir. İlkbahar mevsimi için ortalama PM_{10} konsantrasyonu 45.69 µg/m³ iken; $PM_{2.5}$ konsantrasyonu 16.83 µg/m³ olarak bulunmuştur. Bu konsantrasyonların standartları aşmış olmasının en önemli sebepleri arasında mevsim geçişine denk gelmesidir. Çalışma alanındaki tarımsal faaliyetler ve çöl bölgelerinden taşınan çöl tozlarının bu konsantrasyonlara etki ettiği tespit edilmiştir.

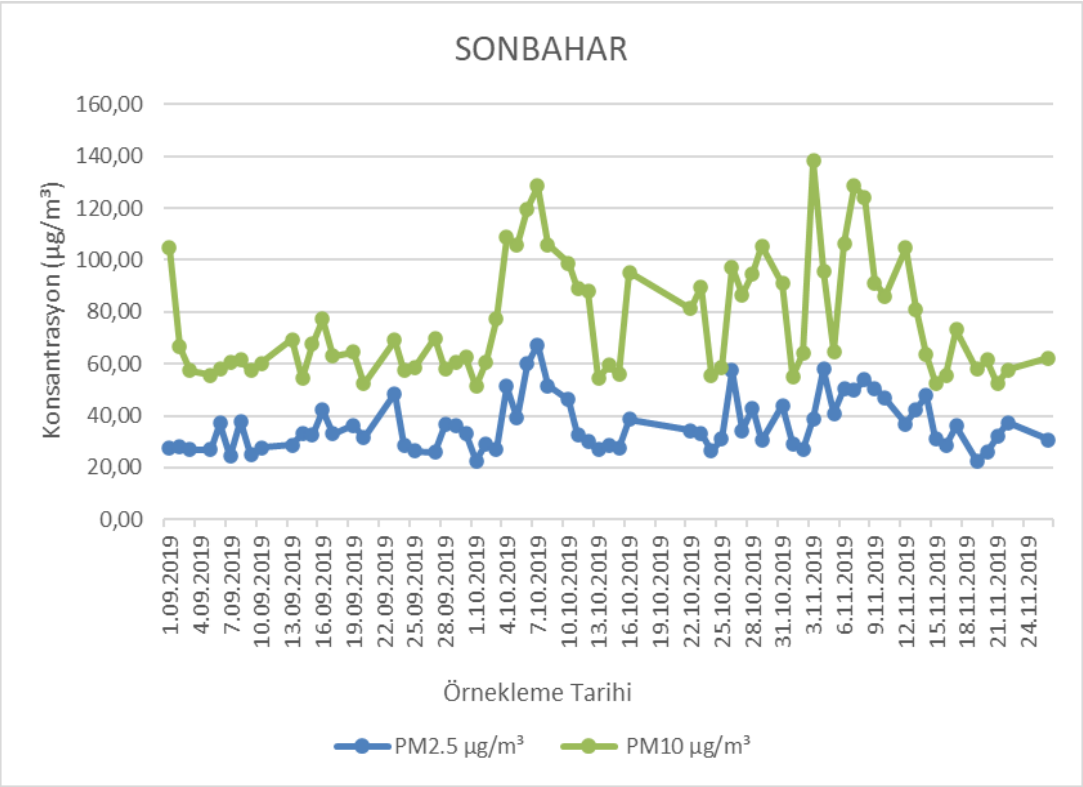
Şekil 4.2.'de PM'lerin yaz mevsimine ait konsantrasyon değerleri verilmiştir. Bu tabloya göre $PM_{2.5}$ ve PM_{10} mevsimsel konsantrasyon değerleri sırasıyla; 39.61 ve 83.63 µg/m³ olarak hesaplanmıştır. Yaz mevsimi içerisindeki konsantrasyonların standartların üzerinde kalmasının yaz aylarındaki yağış miktarının az olması ile tozların atmosferde kalış süresinin artması doğru orantılıdır. Yağışın az olduğu bu mevsimde tozlar yeryüzüne inemeyerek atmosferde kalış süresi artmıştır.

PM konsantrasyonlarını etkileyen önemli meteorolojik faktörlerden biride yağıştır.Bu faktörde yeryüzüne inen yağış ile PM'ler atmosferden uzaklaşır ve toprak ıslanarak PM'lerin tekrar rüzgarlar vasıtasıyla atmosfere karışması azalır.Bu sayede konsantrasyon değerleri düşer (Chaloulakou ve ark, 2003; Yatkın ve Bayram, 2007).



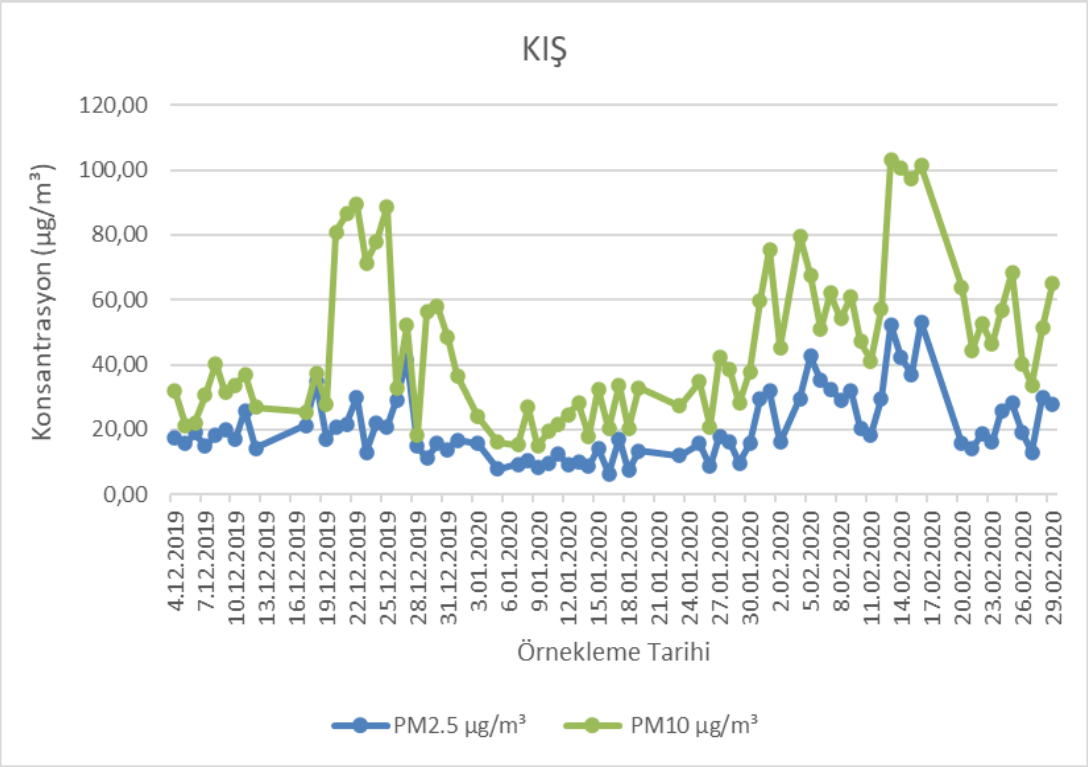
Şekil 4.2. PM'lerin yaz mevsimine ait konsantrasyon değerleri

Sonbahar mevsimine ait PM dağılımları Şekil 4.3.'te gösterilmiştir. Bu tabloya göre $PM_{2.5}$ ve PM_{10} sonbahar mevsimi konsantrasyon ortalama değerleri sırasıyla; 41.81 ve 108.53 µg/m³ olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerin standartları aşmasının en önemli sebebi mevsim geçişine denk gelmesidir. Sahra çöl bölgesinden yoğun olarak toz taşınımının yaşandığı bu mevsimde PM konsantrasyonları artmıştır.



Şekil 4.3. PM'lerin Sonbahar mevsimine ait konsantrasyon değerleri

Mevsimsel PM konsantrasyon ortalamalarında son olarak kış mevsimine ait dağılımlar Şekil 4.4.'de verilmiştir. Bu tabloya göre $PM_{2.5}$ ve PM_{10} kış mevsimi konsantrasyon ortalama değerleri sırasıyla; 25.02 ve 55.60 µg/m³ olarak hesaplanmıştır. Kış aylarında bölgede ısınma faaliyetlerinin artması ve uzak menzil toz taşınımları ortalamaları yükselten etkenler arasındadır.



Şekil 4.4. PM'lerin kış mevsimine ait konsantrasyon değerleri

4.2. $PM_{2.5}$ ve PM_{10} Elementel Konsantrasyonları

ICP-MS, PM'lerde inorganik elementlerin belirlenmesi için kullanılan analitik bir yöntemdir. ICP-MS trilyonda bir parça olarak daha düşük bir algılama limiti sağlamaktadır (Pan ve ark., 2022). ICP-MS Periyodik tablo içerisindeki elementlerin %70'i gibi bir oranın tayini için çok önemli bir belirleyici teknik haline gelmiştir. ICP-MS'in önemli bir teknik olması moleküllerin bileşenlerine tam olarak parçalanması ve meydana getirilen atomların yüksek verimli iyonizasyonundan kaynaklanmaktadır. ICP-MS'in sahip olduğu iyonizasyon ve atomizasyon yetenekleri ise önemli bir teknik olmasının diğer nedenleridir (Becker, 2008; Jörg Bettmer ve ark., 2009).

Bu çalışmada Şanlıurfa atmosferinde var olan kimyasal elementlerin tespit edilmesi amacıyla 248 adet $PM_{2.5}$ ve 244 adet PM_{10} numunesi için 62 adet elementin enstrümental analizleri (Ag, Al, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Ga, Gd, Ge, Hf, Hg, Ho, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Nd, Ni, P, Pb, Pd, Pr, Pt, Rb, Rh, Sb, Sc, Se, Si, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y,

Yb, Zn, Zr) gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları $PM_{2.5}$ ve PM_{10} olarak ayrı başlıklar altında incelenmiştir.

4.2.1. $PM_{2.5}$

Yoğunluğu 5 g/cm³'ten büyük olan, toksisite ve kirliliğe neden olan metaller ağır metal olarak tanımlanmaktadır (Apaydın, 2005; Seven ve ark., 2018). Çinko (Zn), nikel (Ni), kobalt (Co), demir (Fe), cıva (Hg), krom (Cr), bakır (Cu) ve kadmiyum (Cd) gibi metaller bu sınıfa dahil edilmektedir (Özkan, 2009).

Aşağıda verilen Çizelge 4.1.'te $PM_{2.5}$ için elementlerin yıllık konsantrasyon ortalamaları ve standart sapmaları verilmiştir.

Çizelge 4.1. $PM_{2.5}$ için ölçülen element konsantrasyonları (ng/m^3) (* birimsiz)

Element	Ortalama ± Std Sapma	Minimum-Maksimum	Median	Çarpıklık*	Basıklık*
Ag	0,133 ± 0,53	0,008- 5,09	0,028	7,1	55,4
Al	626 ± 631,1	6,4- 4320,4	497,4	2,5	9,3
As	1,47 ± 0,78	0,13 - 4,5	1,38	1,4	2,4
Au	0,133 ± 0,32	0,005 - 1,69	0,020	3,6	13,2
B	5,74 ± 4,37	2,02 - 44,2	4,87	5,5	39,0
Ba	9,42 ± 6,74	0,3 - 47,3	8,07	2,6	9,8
Be	0,055 ± 0,03	0,028 - 0,18	0,047	2,0	4,2
Bi	0,027 ± 0,04	0,006 - 0,42	0,016	5,9	43,4
Ca	3535 ± 2999,3	199,1 - 21565	2898,3	2,4	8,8
Cd	0,085 ± 0,09	0,018 - 1,08	0,063	7,3	75,1
Ce	0,547 ± 0,59	0,01 - 4,3	0,410	3,1	13,5
Co	0,522 ± 0,83	0,03 - 9,4	0,372	7,0	62,2
Cr	23,6 ± 66,4	3,9 - 790,5	10,7	8,7	86,9
Cs	0,042 ± 0,03	0,009 - 0,22	0,033	2,1	6,5
Cu	9,56 ± 25,8	0,78 - 379,4	4,74	12,3	172,7
Dy	0,042 ± 0,04	0,006 - 0,3	0,031	3,0	13,5
Er	0,024 ± 0,02	0,006 - 0,15	0,020	3,2	15,2
Eu	0,016 ± 0,01	0,005 - 0,08	0,011	2,7	9,9
Fe	640 ± 615	52,2 - 4347,6	531,3	2,7	10,4
Ga	0,197 ± 0,29	0,003 - 1,92	0,118	4,1	18,2
Gd	0,047 ± 0,05	0,002 - 0,39	0,036	3,0	13,8
Ge	0,899 ± 0,26	0,27 - 1,9	0,879	0,1	0,4
Hf	0,042 ± 0,05	0,005 - 0,59	0,030	6,4	52,9
Hg	0,046 ± 0,04	0,01 - 0,2	0,033	1,8	3,7
Ho	0,012 ± 0,01	0,005 - 0,06	0,009	3,1	11,7
K	224 ± 209,2	2,2 - 1551,7	177,6	2,7	10,4
La	0,249 ± 0,25	0,004 - 2	0,197	2,8	12,7
Li	0,512 ± 0,59	0,09 - 5,4	0,325	4,3	27,9
Mg	316 ± 330,2	4,7 - 2519,3	272,1	3,0	13,2
Mn	14,1 ± 12,2	0,93 - 93,2	12,7	2,4	9,6
Mo	1,14 ± 0,73	0,28 - 5,5	0,939	2,2	7,3
Na	228 ± 207,3	6,5 - 1499,9	152,0	2,5	9,9
Nb	0,121 ± 0,08	0,007 - 0,49	0,116	1,1	2,5
Nd	0,235 ± 0,25	0,004 - 2	0,179	2,9	13,4
Ni	13,6 ± 31,7	3,14 - 376,6	7,60	8,6	84,4
P	59,6 ± 45	7,5 - 352,6	49,7	2,8	11,4

Çizelge 4.1. **(devam)**

Pb	4,43 ± 8,99	0,18 - 95,9	2,29	6,7	55,4
Pd	0,016 ± 0,01	0,001 - 0,14	0,013	3,4	23,0
Pr	0,061 ± 0,06	0,001 - 0,5	0,044	3,0	13,8
Pt	0,120 ± 0,23	0,007 - 1,61	0,038	4,0	20,2
Rb	0,418 ± 0,40	0,01 - 2,7	0,332	2,0	5,6
Rh	0,008 ± 0,01	0,003 - 0,05	0,006	4,4	29,8
Sb	0,711 ± 0,57	0,1 - 5,4	0,538	3,3	19,0
Sc	0,127 ± 0,09	0,024 - 0,6	0,106	1,9	5,4
Se	0,237 ± 0,15	0,114 - 0,92	0,188	2,5	8,2
Si	3361 ± 1514,6	1358,9 - 19964	3194,3	5,8	58,7
Sm	0,059 ± 0,05	0,007 - 0,38	0,048	2,8	12,1
Sn	1,41 ± 2,77	0,24 - 27,5	0,589	6,3	46,5
Sr	5,42 ± 5,25	0,22 - 38	4,45	2,7	10,5
Ta	0,012 ± 0,02	0,001 - 0,09	0,004	2,6	6,2
Tb	0,009 ± 0,01	0,002 - 0,05	0,006	3,2	13,4
Te	0,034 ± 0,03	0,008 - 0,23	0,026	3,0	16,5
Th	0,066 ± 0,07	0,001 - 0,52	0,049	2,7	11,1
Ti	17 ± 15,2	0,48 - 93,8	14,1	1,6	3,9
Tl	0,063 ± 0,11	0,014 - 0,79	0,035	4,6	25,1
U	0,039 ± 0,02	0,005 - 0,15	0,037	1,3	3,1
V	30,2 ± 13,5	6,6 - 73,6	28,8	1,2	1,6
W	0,062 ± 0,24	0,001 - 3,27	0,025	12,6	168,1
Y	0,160 ± 0,16	0,004 - 1,29	0,129	2,6	11,7
Yb	0,021 ± 0,02	0,006 - 0,14	0,016	3,0	13,3
Zn	137 ± 117	26,7 - 1527,6	107,8	7,3	81,2
Zr	0,723 ± 0,46	0,05 - 4	0,679	2,4	11,7

Çizelge 4.1.'de verilen $PM_{2.5}$ numunelerinin yıllık ortalama element konsantrasyonları içerisinde Fe: 640 ng/m^3, Ca: 3535 ng/m^3, Al: 626 ng/m^3, Mg: 316 ng/m^3, Na: 228 ng/m^3 K: 224 ng/m^3, Zn: 137 ng/m^3, P: 59,6 ng/m^3 ve V: 30,2 ng/m^3 olarak ölçülmüştür.

Kurşun atmosferde bulunan önemli kirletici gruplarındandır. Genel olarak uçucu olan ve çapları 2.5 µm 'nin altındaki kurşun bileşikleri atmosferde en az bir hafta maksimum 30 gün gibi uzun süre zarflarında kalabilirler. Kaynağından çok uzak mesafelere kolayca taşınabilen kurşun bileşiklerinin konsantrasyonları cadde ve sokaklarda, kapalı otoparklarda, ve geçit alanlarında yüksek seviyelerdedir. Kadmiyum ve bileşikleride yüksek derecede zehirli madde sınıfındadırlar. Havadaki kadmiyum elementinin konsantrasyon değeri 1 mg/m³ sınırını aştığında solunumdaki akut etkiler gözlemlenir (Özkan, 2009).

$PM_{2.5}$ için yukarıdaki tabloda verilen elementlerin bir kısmı toksik etkiye sahip oldukları için sınır değerleri hususunda dikkatli bir inceleme yapılmıştır. Pb: 4,43 ng/m^3 Cd: 0,085 ng/m^3 , Hg: 0,046 ng/m^3, As: 1,47 ng/m^3 , Ni: 13,6 ng/m^3 , Co:

0,522 ng/m^3 ve gibi toksik sınıfına giren ve önemli kirleticiler olan Pb ve Ni gibi ağır metallerin değerleri standartları aştığı tespit edilmiştir.

$PM_{2,5}$ kesrinde ölçülen elementler arasında sırasıyla silisyum, kalsiyum, demir, alüminyum, magnezyum, sodyum ve potasyum elementleri sırasıyla 3361, 3535, 640, 626, 316, 228 ve 224 ng/m^3 olarak en yüksek değerlerde ölçülmüştür.

4.2.2. PM_{10}

Aşağıda verilen Çizelge 4.2.'de PM_{10} için elementlerin yıllık konsantrasyon ortalamaları ve standart sapmaları verilmiştir.

Çizelge 4.2. PM_{10} kesrinde ölçülen element konsatrasyonları (ng/m^3) (* birimsiz)

Element	Ortalama ± Std Sapma	Minimum-Maksimum	Median	Çarpıklık*	Basıklık*
Ag	0,160 ± 0,50	0,008 - 5,09	0,047	7,2	57,9
Al	679 ± 690,9	21,3 - 4320,4	521,1	2,6	8,6
As	1,9 ± 0,77	0,36 - 5,3	1,64	1,6	2,7
Au	0,177 ± 0,41	0,005 - 2,74	0,026	3,7	15,7
B	12,2 ± 6,5	2,7 - 55,9	11,7	2,0	9,5
Ba	12,4 ± 7,4	1,9 - 55,1	11,2	2,6	10,0
Be	0,060 ± 0,03	0,026 - 0,19	0,048	1,6	2,6
Bi	0,043 ± 0,05	0,005 - 0,42	0,031	4,2	22,2
Ca	3575 ± 3009,3	261 - 21565	2898,4	2,4	8,8
Cd	0,214 ± 0,16	0,019 - 1,1	0,171	2,0	6,3
Ce	0,651 ± 0,70	0,03 - 4,8	0,493	2,9	11,0
Co	0,587 ± 0,83	0,04 - 9,4	0,419	7,0	62,3
Cr	28,9 ± 65,7	7,7 - 790,5	16,5	8,8	87,9
Cs	0,055 ± 0,05	0,008 - 0,27	0,041	2,2	5,8
Cu	17,4 ± 26,3	3,5 - 379,4	12,1	10,9	145,9
Dy	0,049 ± 0,04	0,006 - 0,32	0,041	2,5	10,1
Er	0,026 ± 0,02	0,006 - 0,16	0,020	3,0	13,1
Eu	0,017 ± 0,01	0,005 - 0,09	0,011	2,5	8,0
Fe	704 ± 640	96,7 - 4347,6	581,6	2,7	9,9
Ga	0,223 ± 0,29	0,016 - 1,92	0,147	3,9	16,8
Gd	0,047 ± 0,05	0,001 - 0,43	0,033	3,0	14,1
Ge	1,12 ± 0,36	0,31 - 2,5	1,09	0,3	0,2
Hf	0,057 ± 0,05	0,013 - 0,59	0,045	5,7	44,9
Hg	0,113 ± 0,79	0,009 - 9,72	0,033	12,3	151,0
Ho	0,012 ± 0,01	0,005 - 0,06	0,009	2,6	8,4

Çizelge 4.2. **(devam)**

K	424 ± 372	6,7 - 2702,9	317,6	2,3	7,8
La	0,283 ± 0,31	0,014 - 2,26	0,216	3,3	14,8
Li	0,578 ± 0,65	0,08 - 5,4	0,375	3,5	17,4
Mg	330 ± 341,2	8,8 - 2519,3	279,7	3,0	13,2
Mn	15,7 ± 12,6	2,1 - 93,2	13,9	2,2	7,8
Mo	1,77 ± 0,84	0,54 - 5,7	1,57	1,7	3,7
Na	291 ± 237,8	26,9 - 1733	214,3	2,6	10,3
Nb	0,184 ± 0,12	0,006 - 0,59	0,177	0,6	-0,2
Nd	0,251 ± 0,28	0,005 - 2,17	0,184	2,9	12,4
Ni	19,4 ± 31,2	6,9 - 376,6	14,2	8,5	84,0
P	71,6 ± 45	19 - 357	60,2	2,8	11,0
Pb	11,4 ± 20,2	0,35 - 257,4	6,40	8,1	90,8
Pd	0,032 ± 0,03	0,001 - 0,14	0,027	1,2	1,8
Pr	0,064 ± 0,07	0,001 - 0,55	0,044	3,0	13,0
Pt	0,173 ± 0,35	0,006 - 2,43	0,033	3,6	15,8
Rb	0,599 ± 0,51	0,02 - 3,1	0,466	1,7	3,7
Rh	0,013 ± 0,01	0,003 - 0,05	0,012	1,4	3,7
Sb	1,6 ± 1,05	0,37 - 11,3	1,38	4,2	31,2
Sc	0,132 ± 0,10	0,021 - 0,65	0,109	2,0	5,2
Se	0,477 ± 0,30	0,104 - 1,86	0,419	1,5	3,3
Si	5187 ± 1634,5	2719,1 - 22133	5017,4	4,9	46,3
Sm	0,063 ± 0,06	0,007 - 0,43	0,048	2,9	12,0
Sn	1,69 ± 2,76	0,33 - 27,5	0,94	6,1	44,8
Sr	5,61 ± 5,44	0,22 - 38	4,48	2,7	9,9
Ta	0,014 ± 0,02	0,001 - 0,18	0,006	4,0	20,6
Tb	0,009 ± 0,01	0,002 - 0,05	0,007	3,0	11,5
Te	0,039 ± 0,03	0,007 - 0,23	0,031	2,2	9,6
Th	0,068 ± 0,08	0,001 - 0,57	0,048	2,8	10,9
Ti	18,1 ± 16,2	1,2 - 95,9	15,0	1,7	4,3
Tl	0,080 ± 0,10	0,012 - 0,79	0,048	3,8	19,2
U	0,045 ± 0,03	0,006 - 0,18	0,041	1,5	3,7
V	40,7 ± 14	10,4 - 86	35,4	1,1	1,1
W	0,061 ± 0,22	0,001 - 3,27	0,030	13,9	205,9
Y	0,172 ± 0,18	0,004 - 1,42	0,132	2,8	13,0
Yb	0,022 ± 0,02	0,005 - 0,14	0,017	2,9	12,0
Zn	150 ± 121,4	48,1 - 1527,6	119,2	6,6	67,9
Zr	0,989 ± 0,54	0,29 - 4,6	0,917	2,2	9,1

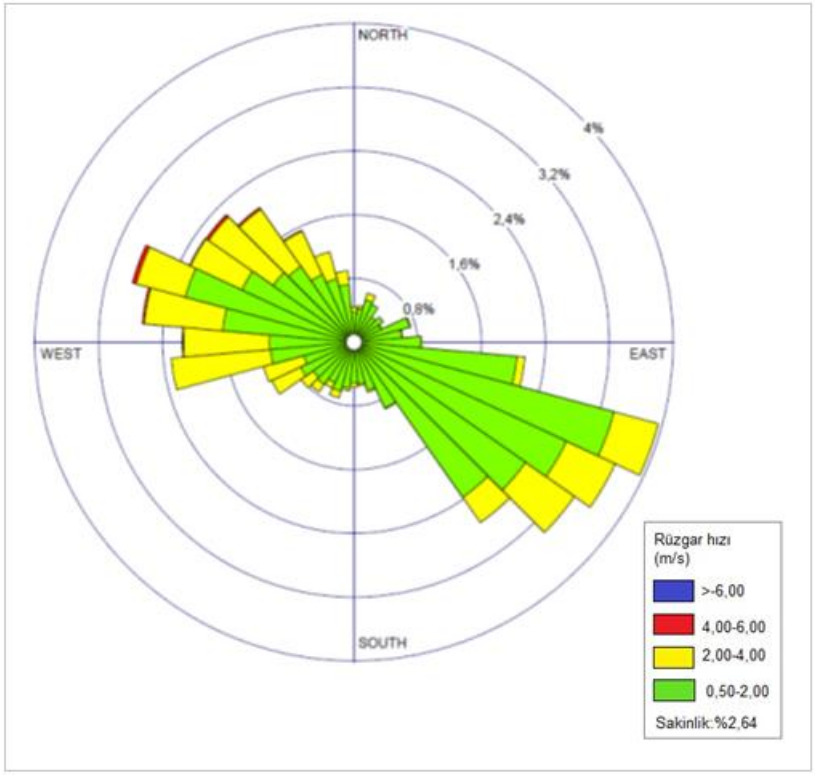
Çizelge 4.2.'de verilen PM_{10} numunelerinin yıllık ortalama element konsantrasyonları içerisinde Fe: 704 ng/m^3 , Ca: 3575 ng/m^3 , Al: 679 ng/m^3 , Mg: 330 ng/m^3, Na: 291 ng/m^3, K: 424 ng/m^3 , Zn: 150 ng/m^3 , P: 71,6 ng/m^3 ve V: 40,7 ng/m^3 olarak hesaplanmıştır.

Pb: 11,4 ng/m^3 Cd: 0,214 ng/m^3 , Hg: 0,113 ng/m^3, As: 1,9 ng/m^3 , Ni: 19,4 ng/m^3 ve Co: 0,587 ng/m^3 gibi toksik sınıfına giren ve önemli kirleticiler olan ağır metallerin değerleri standartları aştığı tespit edilmiştir. Aynı ağır metaller için PM_{10}'daki konsantrasyon değerleri $PM_{2.5}$ için bulunan konsantrasyon değerlerinden yüksek çıkmıştır.

Bozkurt ve ark. (2015), Düzce atmosferindeki PM_{10} konsantrasyonlarını incelemişlerdir. Çalışma kentsel bölgede bulunan Düzce Üniversitesi MYO ve bu üniversitenin diğer bir yerleşkesi olan ve yarı-kırsal özelliğe sahip Konuralp Yerleşkesinde 28 Ocak-25 Mart 2015 tarihlerlerinde gerçekleştirilmiştir. MYO'nda gerçekleştirilen ölçümlerde PM_{10} konsantrasyon ortalamaları 85,67 µg/m^3 olarak ölçülürken yarı kırsal özelliğe sahip alanda PM_{10} ortalaması 27,13 µg/m^3 olarak ölçülmüştür. Kentsel alanda ölçülen konsantrasyonların sınır değer olan 50 µg/m^3 değerini aştığı bulunmuştur. Yarı kırsal özelliğe sahip olan yerleşkede sonuçlar sınır değerlerin altında kalmıştır. PM'lerin eser element içeriğinin incelendiği bu çalışmada en yüksek konsantrasyona sahip elementler Al ve Fe (sırasıyla 5,35; 2,47 µg/m^3) , en düşük konsantrasyona sahip elementler ise Ag, Bi, Cd, Co, Se (sırasıyla 0,133; 0,286; 0,6117; 0,708; 0,879 ng/m^3) elementleri bulunmuştur. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği'nde (HKKDY) eser elementlerin arasında yalnızca Pb (0,5 µg/m^3) için yıllık sınır değeri bulunmaktadır. Avrupa birliği'nin yayınladığı yönetmeliklerde ise Pb, As, Cd, Ni için sırasıyla; 0.5, 0.006, 0.005, 0.02 µg/m^3 yıllık sınır değerleri belirlenmiştir.

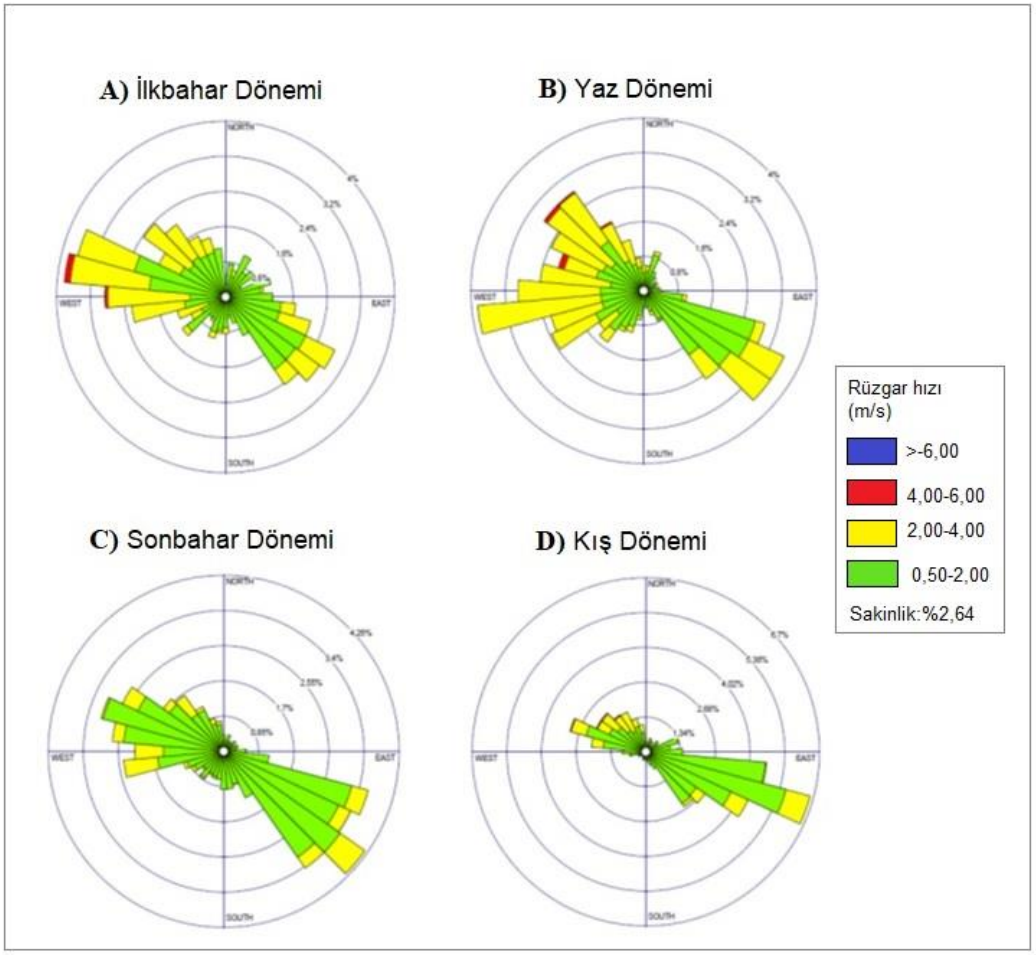
4.3. Meteorolojik Veriler

Örneklemenin gerçekleştirildiği Nisan 2019-Mart 2020 tarihleri arasında hâkim rüzgâr yönü bölgede kuzeybatı ve güneydoğuur (Şekil 4.5.). Rüzgâr hızları ise genel olarak 4 m/sn'yi geçmemektedir. Rüzgâr yönleri mevsimsel olarak değerlendirildiğinde ise temel olarak hâkim yönler çok fazla değişmese de ilkbahar ve yaz döneminde batı yönüne kayarken, sonbahar ve kış aylarında güneybatı yönlü rüzgârlar artmaktadır.



Şekil 4.5. Örnekleme dönemine ait rüzgâr yönü ve hızları

Örneklemelerin yapıldığı zamana ait olan rüzgar yönü ve hızlarının mevsimsel gösterimi Şekil 4.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Örnekleme dönemi mevsimsel rüzgâr yönü ve hızları

Şekil 4.6.'da verilen rüzgar yönü ve hız grafiklerinde ilkbahar ve yaz aylarında batı yönüne kayarken, sonbahar ve kış aylarında güneybatı yönlü rüzgarlar artış göstermiştir.

4.4. HYSPLIT geri yörünge analizi ve MODIS uydu görüntüleri

Hibrit Tek Parçacık Lagrangian Entegre Yörünge modeli (HYSPLIT), ABD Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA) tarafından geliştirilen hem basit hava parsel yörüngelerini hem de karmaşık dağılım ve biriktirme simülasyonlarını hesaplamak için eksiksiz bir sistemdir. Bu simülasyon yardımı ile ön görülen radyoaktif madde salınımı, endüstriyel kaynaklı kirletici izlenimi, duman, volkanik kül ve tozun tahmin edilmesini ve izlenilmesini içermektedir (Chang ve ark., 2022). Bu çalışmada Şanlıurfa'nın içinde bulunduğu jeolojik konum ele alındığı zaman, şehrin toz taşınım güzergahında olduğu, uzak menzil toz taşınımının belirlenmesi

için kullanılan ve HYSPLIT olarak adlandırılan bir bilgisayar modeli ve MODIS uydu görüntüleri ile tespit edilmiştir.

Geri yörünge analizleri sonucunda elde edilen 5 geri yörüngeden Yörünge 1 Orta Doğu-Arap Yarımadası; Yörünge 2 ile 3 aynı yönlerden geldiği için birleştirilerek Sahra-Akdeniz; Yörünge 4 ve 5 yine aynı bölgelerden ulaştığı için birleştirerek Doğu Avrupa-Türkiye yörüngesi olarak isimlendirilmiştir. Çalışmanın buradan sonraki analiz ve değerlendirmelerinde yörüngeler bu şekilde dikkate alınmıştır.

Aşağıdaki Çizelge 4.3.'te belirlenmiş 3 farklı yörünge için $PM_{2.5}$ element konsantrasyonları verilmiştir.

Çizelge 4.3. Üç farklı yörünge için $PM_{2.5}$ kesrinde element konsatrasyonları (ng/m^3)

	ORTA DOĞU- ARAP YARIMADASI		SAHRA VE AKDENİZ		DOĞU AVRUPA VE TÜRKİYE	
Element	**Ort ± Std Sapma**	**Min-Mak**	**Ort ± Std Sapma**	**Min-Mak**	**Ort ± Std Sapma**	**Min-Mak**
Ag	0,074 ± 0,09	0,009 - 0,42	0,073 ± 0,23	0,009 - 1,81	0,224 ± 0,8	0,008 - 5,09
Al	742 ± 718,4	31,5 - 4320	761 ± 736,1	6,4 - 3993	437 ± 385,8	20 - 1951
As	1,54 ± 1	0,13 - 4,4	1,53 ± 0,7	0,19 - 4,5	1,37 ± 0,7	0,22 - 3,5
Au	0,172 ± 0,35	0,005 - 1,69	0,083 ± 0,23	0,005 - 1,08	0,138 ± 0,35	0,005 - 1,54
B	6,45 ± 6,3	2,1 - 44,2	5,87 ± 4,4	2,27 - 35,1	5,14 ± 2	2,02 - 12,1
Ba	10,6 ± 8,8	1,87 - 45,5	10,1 ± 6,7	1,76 - 47,3	8 ± 4,6	0,3 - 36,1
Be	0,056 ± 0,03	0,029 - 0,18	0,055 ± 0,03	0,028 - 0,15	0,055 ± 0,03	0,028 - 0,17
Bi	0,026 ± 0,02	0,006 - 0,09	0,023 ± 0,05	0,006 - 0,42	0,032 ± 0,05	0,006 - 0,28
Ca	3848 ± 3840,7	222,4 – 21565	3910 ± 2897,6	199,1 - 15064	3014 ± 2282,8	364,5 - 15915
Cd	0,095 ± 0,15	0,021 - 1,08	0,078 ± 0,05	0,019 - 0,29	0,083 ± 0,06	0,018 - 0,42
Ce	0,633 ± 0,66	0,017 - 4,1	0,694 ± 0,71	0,014 - 4,28	0,37 ± 0,32	0,023 - 1,73
Co	0,668 ± 1,29	0,042 - 9,37	0,543 ± 0,72	0,045 - 6,12	0,406 ± 0,41	0,034 - 2,95
Cr	32,8 ± 106,1	4,7 - 790	21 ± 55,4	5,6 - 488	19,4 ± 27,2	3,9 - 177
Cs	0,049 ± 0,04	0,01 - 0,18	0,048 ± 0,04	0,010 - 0,22	0,031 ± 0,02	0,009 - 0,11
Cu	9,9 ± 12,3	1,68 - 80,3	13,5 ± 43,5	1,34 - 379,4	6,2 ± 5	0,78 - 26,6
Dy	0,048 ± 0,04	0,009 - 0,21	0,049 ± 0,05	0,008 - 0,30	0,031 ± 0,02	0,006 - 0,14
Er	0,027 ± 0,02	0,007 - 0,11	0,028 ± 0,03	0,007 - 0,15	0,018 ± 0,01	0,006 - 0,05
Eu	0,018 ± 0,01	0,005 - 0,07	0,018 ± 0,02	0,005 - 0,08	0,012 ± 0,01	0,005 - 0,04
Fe	748 ± 804,4	56,2 - 4348	743 ± 646	85,4 - 3803	482 ± 354,8	52,2 - 2130
Ga	0,246 ± 0,38	0,011 - 1,92	0,169 ± 0,14	0,021 - 0,85	0,184 ± 0,32	0,003 - 1,77
Gd	0,054 ± 0,05	0,002 - 0,26	0,055 ± 0,06	0,002 - 0,39	0,034 ± 0,03	0,002 - 0,16
Ge	0,887 ± 0,3	0,3 - 1,7	0,936 ± 0,26	0,31 - 1,9	0,878 ± 0,24	0,27 - 1,4
Hf	0,045 ± 0,06	0,005 - 0,59	0,04 ± 0,04	0,007 - 0,34	0,041 ± 0,05	0,01 - 0,28
Hg	0,053 ± 0,05	0,011 - 0,2	0,041 ± 0,04	0,010 - 0,19	0,045 ± 0,03	0,01 - 0,13

Çizelge 4.3. **(devam)**

Ho	0,013 ± 0,01	0,005 - 0,04	0,013 ± 0,01	0,005 - 0,06	0,008 ± 0	0,005 - 0,02
K	270 ± 264,4	16,8 - 1552	263 ± 206,6	6,7 - 1158	160 ± 143,6	2,2 - 1159
La	0,265 ± 0,25	0,009 - 1,39	0,315 ± 0,32	0,012 - 2	0,185 ± 0,16	0,004 - 0,79
Li	0,647 ± 0,55	0,126 - 2,66	0,539 ± 0,76	0,095 - 5,39	0,385 ± 0,38	0,095 - 2,29
Mg	385 ± 425,7	11,4 - 2519	368 ± 352	4,7 - 2095	225 ± 187,9	6,9 - 1207
Mn	16,7 ± 16,2	0,93 - 93,2	14,9 ± 11,5	1,26 - 60,7	11,6 ± 8,6	1,11 - 49,4
Mo	1,17 ± 0,9	0,34 - 5,5	1,12 ± 0,7	0,33 - 4,6	1,13 ± 0,7	0,28 - 3,7
Na	198 ± 159,4	17,2 - 661	344 ± 274,1	11,7 - 1500	157 ± 117	6,5 - 594
Nb	0,143 ± 0,07	0,007 - 0,4	0,12 ± 0,09	0,008 - 0,49	0,106 ± 0,06	0,008 - 0,29
Nd	0,26 ± 0,25	0,004 - 1,43	0,302 ± 0,32	0,017 - 2	0,164 ± 0,15	0,005 - 0,76
Ni	18,1 ± 51,2	3,2 - 376,6	13 ± 25,4	3,34 - 225,4	10,9 ± 13	3,14 - 87,7
P	68,6 ± 56,6	13,7 - 353	62 ± 43,7	17,1 - 264	51,3 ± 34,7	7,5 - 268
Pb	4,96 ± 6,9	0,3 - 39,6	5,07 ± 11,4	0,41 - 95,9	3,52 ± 8,1	0,18 - 66,4
Pd	0,015 ± 0,01	0,001 - 0,06	0,014 ± 0,01	0,001 - 0,04	0,017 ± 0,02	0,001 - 0,14
Pr	0,071 ± 0,06	0,006 - 0,34	0,075 ± 0,08	0,001 - 0,5	0,043 ± 0,04	0,002 - 0,2
Pt	0,106 ± 0,20	0,007 - 0,74	0,154 ± 0,31	0,007 - 1,61	0,096 ± 0,14	0,009 - 0,71
Rb	0,463 ± 0,42	0,007 - 1,95	0,518 ± 0,47	0,01 - 2,66	0,304 ± 0,26	0,016 - 1,47
Rh	0,008 ± 0	0,003 - 0,02	0,008 ± 0,01	0,003 - 0,05	0,008 ± 0	0,003 - 0,03
Sb	0,714 ± 0,57	0,132 - 2,86	0,696 ± 0,68	0,108 - 5,37	0,72 ± 0,46	0,104 - 2,78
Sc	0,148 ± 0,11	0,027 - 0,55	0,144 ± 0,11	0,027 - 0,60	0,099 ± 0,06	0,024 - 0,36
Se	0,233 ± 0,11	0,114 - 0,49	0,27 ± 0,19	0,114 - 0,92	0,218 ± 0,14	0,114 - 0,63
Si	3559 ± 2394	1358,9 - 19964	3344 ± 1075,2	1460,8 - 8516	3237 ± 910,9	1492,7 - 7140
Sm	0,067 ± 0,05	0,014 - 0,3	0,068 ± 0,06	0,007 - 0,38	0,046 ± 0,03	0,007 - 0,15
Sn	1,91 ± 3,9	0,3 - 27,5	0,94 ± 0,9	0,29 - 5,7	1,44 ± 2,8	0,24 - 18,4
Sr	6,41 ± 6,5	0,24 - 38	6,34 ± 5,4	0,33 - 29,7	4,01 ± 3,6	0,22 - 27,7
Ta	0,011 ± 0,02	0,001 - 0,07	0,009 ± 0,02	0,001 - 0,09	0,015 ± 0,02	0,001 - 0,08
Tb	0,010 ± 0,01	0,003 - 0,04	0,01 ± 0,01	0,002 - 0,05	0,006 ± 0	0,003 - 0,02
Te	0,042 ± 0,03	0,008 - 0,14	0,031 ± 0,02	0,008 - 0,09	0,032 ± 0,03	0,008 - 0,23
Th	0,070 ± 0,07	0,001 - 0,37	0,083 ± 0,09	0,001 - 0,52	0,048 ± 0,04	0,001 - 0,21
Ti	18,6 ± 17,6	0,72 - 93,8	20 ± 17,1	0,76 - 86,7	13,5 ± 10,7	0,48 - 49,1
Tl	0,048 ± 0,03	0,015 - 0,12	0,038 ± 0,07	0,014 - 0,36	0,097 ± 0,16	0,014 - 0,79
U	0,034 ± 0,02	0,006 - 0,12	0,043 ± 0,03	0,008 - 0,14	0,04 ± 0,03	0,005 - 0,15
V	31 ± 15,7	6,74 - 74	30,8 ± 13,3	6,58 - 67	29,1 ± 12	7,1 - 70
W	0,106 ± 0,42	0,007 - 3,27	0,034 ± 0,04	0,001 - 0,15	0,046 ± 0,05	0,003 - 0,27
Y	0,171 ± 0,16	0,004 - 0,84	0,198 ± 0,20	0,004 - 1,29	0,123 ± 0,11	0,006 - 0,52
Yb	0,024 ± 0,02	0,006 - 0,1	0,024 ± 0,02	0,006 - 0,14	0,017 ± 0,01	0,006 - 0,06
Zn	154 ± 183,6	26,7 - 1528	134 ± 75,4	48,1 - 390	128 ± 78,7	46 - 573
Zr	0,74 ± 0,47	0,049 - 2,75	0,823 ± 0,56	0,167 - 3,97	0,63 ± 0,32	0,169 - 1,89

Çizelge 4.3.'te 3 farklı yörünge için verilen $PM_{2.5}$ element konsantrayonlarının belirlenen üç yörünge bölgesindeki konsantrasyonları incelendiğinde Si elementinin üç yörüngedede yüksek çıktığı görülmektedir. Bunun en önemli sebebi ise Si elementinin kumda çok fazla olmasından kaynaklanmaktadır (Wikipedia, 2022).

Buda yapılan çalışmada yörüngeler üzerindeki çöl bölgelerinden tozun uzak menzile taşınımı ile bağlantılıdır.

Ağır metal konsantrasyonlarında dikkat çeken değerler arasında Pb, Ni, Co ve Cd elementleri vardır. Orta Doğu- Arap Yarımadası yörüngesindeki Co, Ni ve Cd gibi ağır metaller diğer yörüngelere göre yüksek çıkmıştır. Co: 0,668 ng/m^3, Ni:18,1 ng/m^3 ve Cd:0,095 ng/m^3 bulunmuştur. Pb elementi ise Sahra-Akdeniz yörüngesinde en yüksek seviyede bulunmuştur. Pb elementi 5,07 ng/m^3 olan değeri ile yıllık ortalamalarda diğer yörüngelerdeki Pb oranlarından yüksek çıkmıştır.

Aşağıdaki Çizelge 4.4.'te belirlenmiş 3 farklı yörünge için PM_{10} element konsantrasyonları verilmiştir.

Çizelge 4.4. Üç farklı yörünge için PM_{10} kesrinde element konsatrasyonları (ng/m^3)

	ORTA DOĞU- ARAP YARIMADASI		SAHRA VE AKDENİZ		DOĞU AVRUPA VE TÜRKİYE	
Element	**Ort ± Std Sap**	**Min-Mak**	**Ort ± Std Sap**	**Min-Mak**	**Ort ± Std Sap**	**Min-Mak**
Ag	0,128 ± 0,16	0,009 - 0,95	0,095 ± 0,22	0,008 - 1,81	0,236 ± 0,76	0,008 - 5,09
Al	798 ± 803,4	66,9 - 4320	840 ± 790,9	21,3 - 4228	467 ± 417,5	32 - 2107
As	1,99 ± 1	0,58 - 5,3	1,91 ± 0,7	0,36 - 4,6	1,83 ± 0,7	0,85 - 4
Au	0,327 ± 0,61	0,005 - 2,74	0,09 ± 0,23	0,005 - 1,08	0,152 ± 0,34	0,005 - 1,54
B	12,25 ± 8,1	2,73 - 55,9	12,59 ± 6,4	3,14 - 38,4	11,85 ± 5,3	3,26 - 25
Ba	13,5 ± 9,1	4,07 - 54,5	13,3 ± 7,6	3,46 - 55,1	11 ± 5,6	1,88 - 40,3
Be	0,058 ± 0,03	0,027 - 0,19	0,067 ± 0,04	0,028 - 0,17	0,056 ± 0,03	0,026 - 0,17
Bi	0,040 ± 0,03	0,005 - 0,19	0,04 ± 0,05	0,005 - 0,42	0,048 ± 0,06	0,006 - 0,34
Ca	3877 ± 3819,9	261 - 21565	3959 ± 2942,2	284,3 - 15678	3054 ± 2294	467,1 - 15915
Cd	0,233 ± 0,17	0,033 - 1,1	0,208 ± 0,13	0,034 - 0,65	0,206 ± 0,16	0,019 - 0,97
Ce	0,682 ± 0,68	0,041 - 4,1	0,81 ± 0,83	0,042 - 4,76	0,501 ± 0,56	0,031 - 4,24
Co	0,704 ± 1,27	0,043 - 9,37	0,621 ± 0,72	0,12 - 6,12	0,477 ± 0,4	0,108 - 2,95
Cr	37 ± 105,2	8,6 - 790	26,3 ± 54,9	8,63 - 488	25,2 ± 26,2	7,67 - 177
Cs	0,067 ± 0,05	0,011 - 0,24	0,065 ± 0,06	0,009 - 0,27	0,038 ± 0,03	0,008 - 0,15
Cu	17,8 ± 14	5,04 - 85,8	19,5 ± 42,7	4,21 - 379,4	15,4 ± 11,5	3,53 - 91,8
Dy	0,054 ± 0,04	0,009 - 0,21	0,057 ± 0,05	0,007 - 0,32	0,039 ± 0,03	0,006 - 0,14
Er	0,027 ± 0,02	0,007 - 0,11	0,03 ± 0,03	0,007 - 0,16	0,019 ± 0,01	0,006 - 0,07
Eu	0,018 ± 0,01	0,005 - 0,07	0,02 ± 0,02	0,005 - 0,09	0,012 ± 0,01	0,005 - 0,04
Fe	792 ± 795,7	100,3 - 4348	835 ± 716,3	112,2 - 4205	537 ± 363,5	96,7 - 2130
Ga	0,272 ± 0,37	0,027 - 1,92	0,202 ± 0,16	0,029 - 0,97	0,205 ± 0,31	0,016 - 1,77
Gd	0,053 ± 0,05	0,001 - 0,26	0,06 ± 0,07	0,001 - 0,43	0,032 ± 0,03	0,001 - 0,18
Ge	1,082 ± 0,36	0,432 - 1,78	1,145 ± 0,32	0,4 - 1,87	1,133 ± 0,38	0,311 - 2,48
Hf	0,060 ± 0,07	0,013 - 0,59	0,056 ± 0,04	0,02 - 0,34	0,056 ± 0,05	0,013 - 0,28
Hg	0,061 ± 0,06	0,009 - 0,29	0,044 ± 0,04	0,01 - 0,19	0,207 ± 1,25	0,01 - 9,72
Ho	0,013 ± 0,01	0,005 - 0,04	0,014 ± 0,01	0,005 - 0,06	0,009 ± 0	0,005 - 0,02
K	514 ± 426,9	46,6 - 1987	476 ± 351,8	6,7 - 1603	319 ± 321,9	13,2 - 2703

Çizelge 4.4. **(devam)**

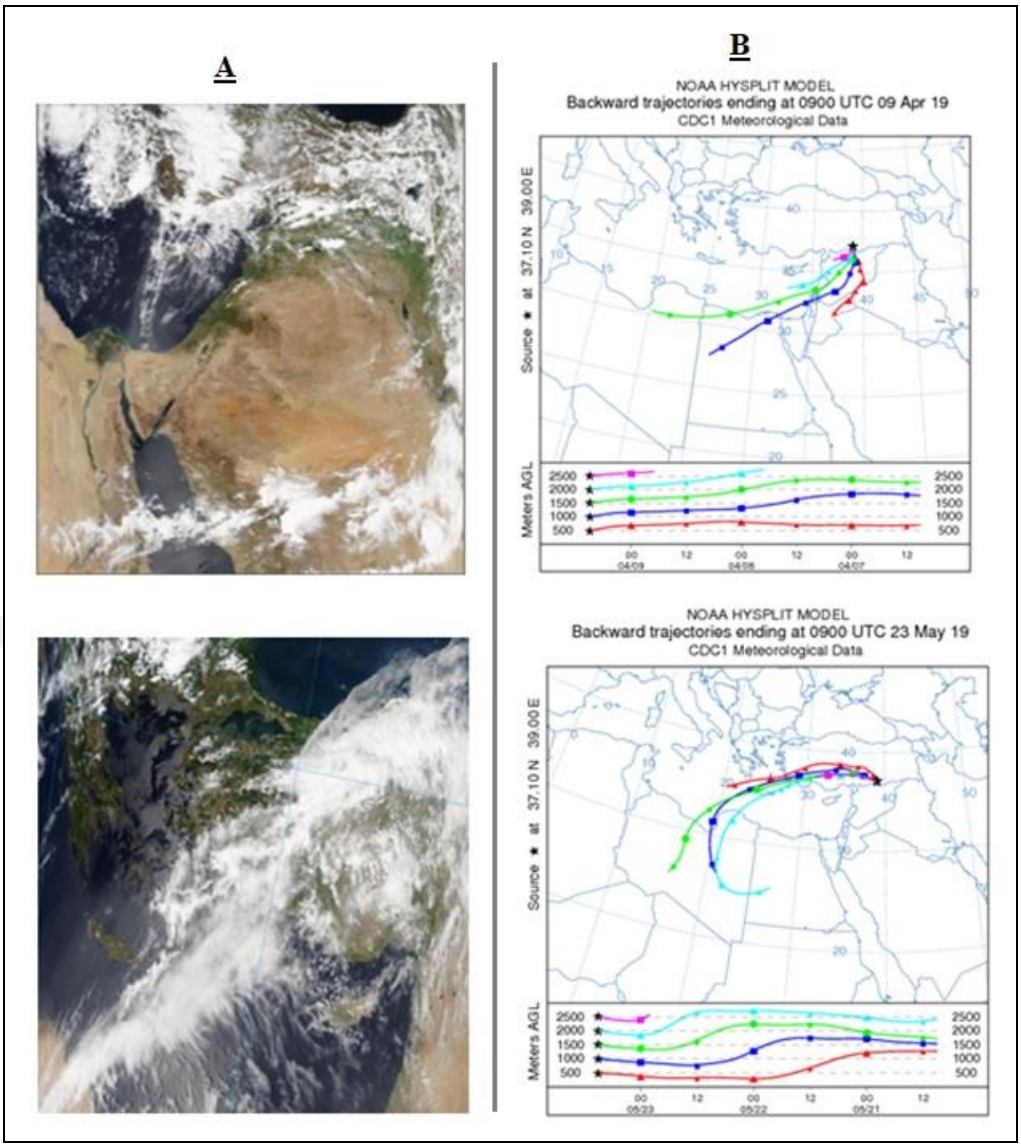
La	0,278 ± 0,25	0,016 - 1,39	0,358 ± 0,38	0,019 - 2,21	0,226 ± 0,27	0,014 - 2,26
Li	0,714 ± 0,73	0,081 - 3,61	0,604 ± 0,76	0,081 - 5,39	0,461 ± 0,43	0,087 - 2,37
Mg	396 ± 426,7	19,4 - 2519	392 ± 377,9	8,8 - 2295	235 ± 191,3	16,6 - 1207
Mn	17,7 ± 16,1	2,08 - 93,2	17,1 ± 12,7	2,14 - 67,1	13,2 ± 8,9	2,24 - 51
Mo	1,84 ± 1	0,69 - 5,7	1,73 ± 0,7	0,55 - 4,8	1,75 ± 0,8	0,54 - 4,9
Na	256 ± 159,1	73,9 - 699	410 ± 285,4	41,8 - 1500	220 ± 203,7	26,9 - 1733
Nb	0,233 ± 0,11	0,028 - 0,52	0,175 ± 0,12	0,013 - 0,59	0,157 ± 0,1	0,006 - 0,43
Nd	0,264 ± 0,26	0,005 - 1,43	0,331 ± 0,37	0,006 - 2,17	0,178 ± 0,18	0,007 - 0,97
Ni	24 ± 50,4	7,14 - 376,6	18,5 ± 24,7	7,36 - 225,4	17 ± 13,2	6,87 - 87,7
P	80,1 ± 54,9	19,7 - 357	73,9 ± 45,5	19 - 301	63,8 ± 35,1	19,6 - 271
Pb	12 ± 12,8	0,72 - 62,4	12,49 ± 14,1	0,35 - 95,9	10,1 ± 27,4	0,42 - 257,4
Pd	0,031 ± 0,03	0,002 - 0,13	0,029 ± 0,02	0,002 - 0,09	0,034 ± 0,03	0,001 - 0,14
Pr	0,071 ± 0,06	0,002 - 0,34	0,081 ± 0,1	0,001 - 0,55	0,044 ± 0,04	0,001 - 0,23
Pt	0,147 ± 0,42	0,007 - 2,43	0,175 ± 0,32	0,006 - 1,61	0,193 ± 0,33	0,006 - 1,31
Rb	0,68 ± 0,54	0,038 - 2,31	0,739 ± 0,58	0,022 - 3,07	0,429 ± 0,36	0,017 - 2,5
Rh	0,012 ± 0,01	0,003 - 0,04	0,012 ± 0,01	0,003 - 0,05	0,015 ± 0,01	0,003 - 0,04
Sb	1,714 ± 1,43	0,5 - 11,3	1,532 ± 0,78	0,37 - 5,7	1,578 ± 0,93	0,49 - 6,8
Sc	0,152 ± 0,11	0,022 - 0,56	0,15 ± 0,12	0,025 - 0,65	0,102 ± 0,07	0,021 - 0,42
Se	0,462 ± 0,25	0,119 - 1,11	0,494 ± 0,32	0,104 - 1,42	0,475 ± 0,32	0,108 - 1,86
Si	5438 ± 2502,1	2719,1 - 22133	5126 ± 1199,6	2874,4 - 9278	5061 ± 1080,1	3157,4 - 8500
Sm	0,069 ± 0,05	0,014 - 0,3	0,074 ± 0,07	0,007 - 0,43	0,048 ± 0,04	0,007 - 0,19
Sn	2,19 ± 3,9	0,38 - 27,5	1,19 ± 0,9	0,39 - 5,7	1,75 ± 2,8	0,33 - 18,4
Sr	6,54 ± 6,6	0,24 - 38	6,68 ± 5,8	0,33 - 31,7	4,11 ± 3,7	0,22 - 27,7
Ta	0,015 ± 0,03	0,001 - 0,13	0,01 ± 0,01	0,001 - 0,09	0,016 ± 0,03	0,001 - 0,18
Tb	0,010 ± 0,01	0,003 - 0,04	0,01 ± 0,01	0,002 - 0,05	0,007 ± 0	0,003 - 0,02
Te	0,042 ± 0,03	0,007 - 0,14	0,034 ± 0,02	0,007 - 0,1	0,04 ± 0,03	0,007 - 0,23
Th	0,072 ± 0,07	0,001 - 0,37	0,088 ± 0,1	0,001 - 0,57	0,048 ± 0,05	0,001 - 0,26
Ti	19,4 ± 17,9	1,21 - 93,8	21,8 ± 19	1,24 - 95,9	14,2 ± 11,1	1,23 - 54,9
Tl	0,081 ± 0,06	0,013 - 0,23	0,052 ± 0,06	0,012 - 0,36	0,102 ± 0,14	0,013 - 0,79
U	0,038 ± 0,02	0,006 - 0,12	0,049 ± 0,03	0,008 - 0,15	0,046 ± 0,03	0,006 - 0,18
V	41,9 ± 16,3	17,6 - 86	41,2 ± 13,9	10,4 - 81	39,4 ± 12,4	20,6 - 85
W	0,106 ± 0,40	0,007 - 3,27	0,034 ± 0,04	0,001 - 0,15	0,051 ± 0,05	0,001 - 0,27
Y	0,176 ± 0,17	0,01 - 0,85	0,219 ± 0,23	0,004 - 1,42	0,132 ± 0,11	0,014 - 0,62
Yb	0,024 ± 0,02	0,006 - 0,10	0,026 ± 0,02	0,006 - 0,14	0,017 ± 0,01	0,005 - 0,06
Zn	168 ± 181,7	52,2 - 1528	144 ± 83,3	48,1 - 464	142 ± 91,1	48,9 - 661
Zr	0,977 ± 0,51	0,285 - 2,98	1,103 ± 0,65	0,358 - 4,59	0,905 ± 0,45	0,313 - 3

Çizelge 4.4.'te üç farklı yörünge için verilen PM_{10} element konsantrasyonları içerisindeki ağır metal konsantrasyonları incelendiğinde Pb ve Ni elementlerinin yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. Pb elementinin konsantrasyon değerleri Orta Doğu-Arap Yarımadası, Sahra-Akdeniz ve son olarak Doğu Avrupa-Türkiye yörüngelerinde sırasıyla 12 ng/m^3 , 12,49 ng/m^3 ve 10,1 ng/m^3 olarak bulunmuştur.
Ni elementinin konsantrasyon değerleri ise Orta Doğu- Arap Yarımadası, Sahra-Akdeniz ve son olarak Doğu Avrupa-Türkiye yörüngelerinde sırasıyla 24 ng/m^3, 18.5 ng/m^3, 17 ng/m^3 olarak bulunmuştur.

İlkbahar dönemi toz taşınımı

Şekil 4.7.'de 09.04.2019 ve 23.05.2019 tarihli HYSPLIT ve MODIS görüntülerine yer verilmiştir. Verilen görsellerde gelen toz taşınımının 2000 ile 2500 metrede Sahra-Akdeniz yörüngesinden geldiği görülmektedir. Bu aylar içerisindeki $PM_{2,5}$ ve PM_{10} anlık değerleri sırasıyla 58,33 µg/m³ 89,44 µg/m³ olarak ölçülmüştür.

Varga ve ark. (2013), HYSPLIT modelinin geriye doğru yörünge hesaplamalarını kullanarak 1979'dan 2011 tarihine kadar gerçekleşen 130 Sahra toz olayının Orta Avrupadaki Karpat Havzası atmosferine ulaştığını göstermişlerdir. Toz olaylarının aylık eğilimleri, toz taşınmasının ana döneminin ilkbaharda olduğunu ve ikinci bir maksimumun yazın (Temmuz ve ağustos aylarında) olduğunu göstermektedir.

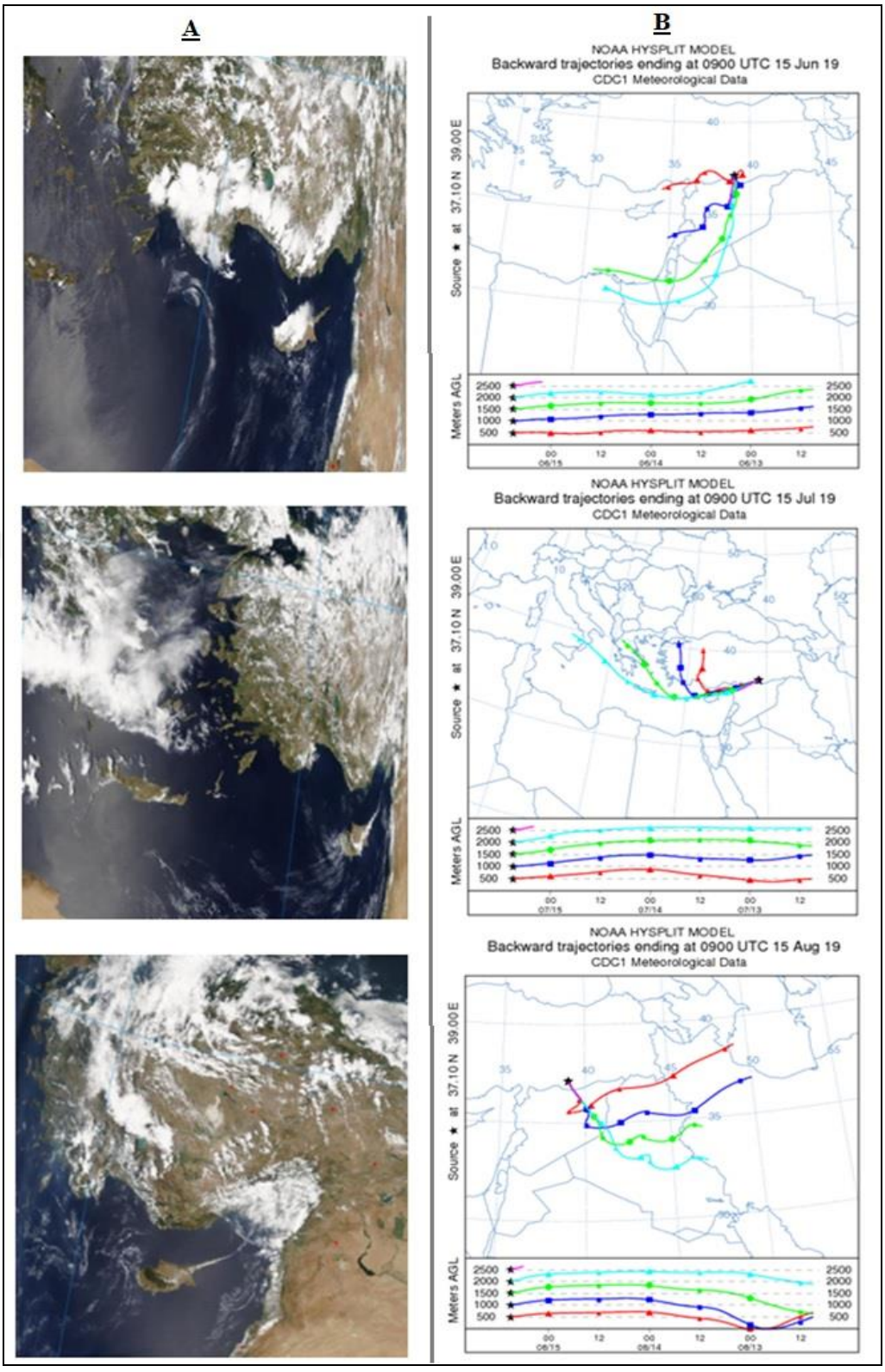


Şekil 4.7. İlkbahar dönemi için seçilen günlere ait veriler A) MODIS uydu görüntüleri, B)HYSPLIT modeli

Yaz dönemi toz taşınımı

Şekil 4.8.'de 15.06.2019, 15.07.2019, 15.08.2019 tarihli yaz aylarını kapsayan HYSPLIT ve MODIS görsellerine yer verilmiştir. Verilen görsellerde gelen toz taşınımının belirlenen yörüngeler içerisindeki Sahra-Akdeniz, Avrupa ve Ortadoğu yörüngelerinden geldiği görülmektedir. Yaz ayları içerisinde $PM_{2,5}$ ve PM_{10} değerleri sırasıyla 79,63 µg/m³ ve 137,96 µg/m³ olarak maksimum seviyede kayda alınmıştır. Yine bu değerlerde DSÖ ve Avrupa birliği hava kalitesi standartlarını aşmaktadır.

Chilinski ve ark. (2016), HYSPLIT geri yörünge analizini kullanarak Sahra tozunun Orta Avrupa/Polonya'ya taşındığını tespit etmiştir. On yıllık toz klimatolojisi, Sahra tozunun Orta Avrupa'ya uzun mesafeli taşınmasının çoğunlukla ilkbahar ve yaz aylarında olduğunu göstermiştir.

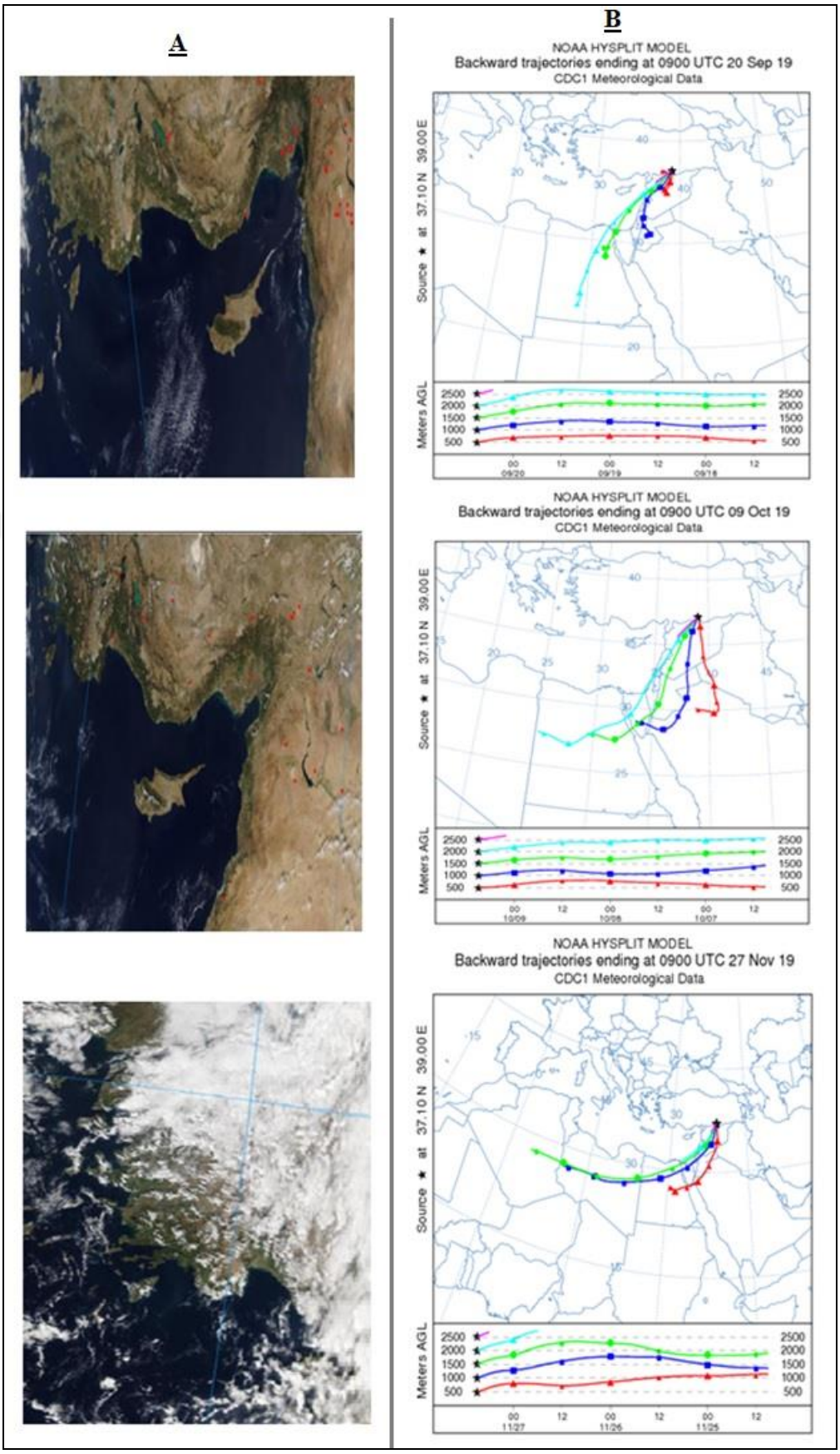


Şekil 4.8. Yaz dönemi için seçilen günlere ait veriler A) MODIS uydu görüntüleri, B)HYSPLIT modeli

Sonbahar dönemi toz taşınımı

Şekil 4.9.'da verilen 20.09.2019, 09.10.2019 ve 27.11.2019 tarihli HYSPLIT ve MODIS görsellerinde sonbahar ayları içerisinde en yüksek seviyelere ulaşan ve sahra bölgesinden çalışma alanına ulaşan toz taşınımları görülmektedir. Bu aylar içerisinde $PM_{2.5}$ ve PM_{10} konsantrasyon değerleri sırasıyla 73,61 µg/m³ ve 288,89 µg/m³'dir. PM_{10} konsantrasyonu yıllık bazda en yüksek seviyesine ulaşmıştır. Verilen değerlerin DSÖ ve Avrupa Birliği standartlarını aştığı tespit edilmiştir.

Doğan ve ark. (2018), 2012 yılı içerisinde Türkiye'nin Şanlıurfa kentindeki toz olayları 500 m, 1000 m ve 1500 m yüksekliklerde HYSPLIT modeli kullanılarak analiz edilmiştir. Türkiye'ye en fazla çöl tozunun taşındığı sonbahar aylarının ardından ilkbahar olduğu bildirilmiştir. Toz taşınımının Ekim ayının ilk günlerine kadar devam ettiği fakat ilerleyen süreçte havanın soğuması nedeniyle taşıma gerçekleşmediği belirlenmiştir.

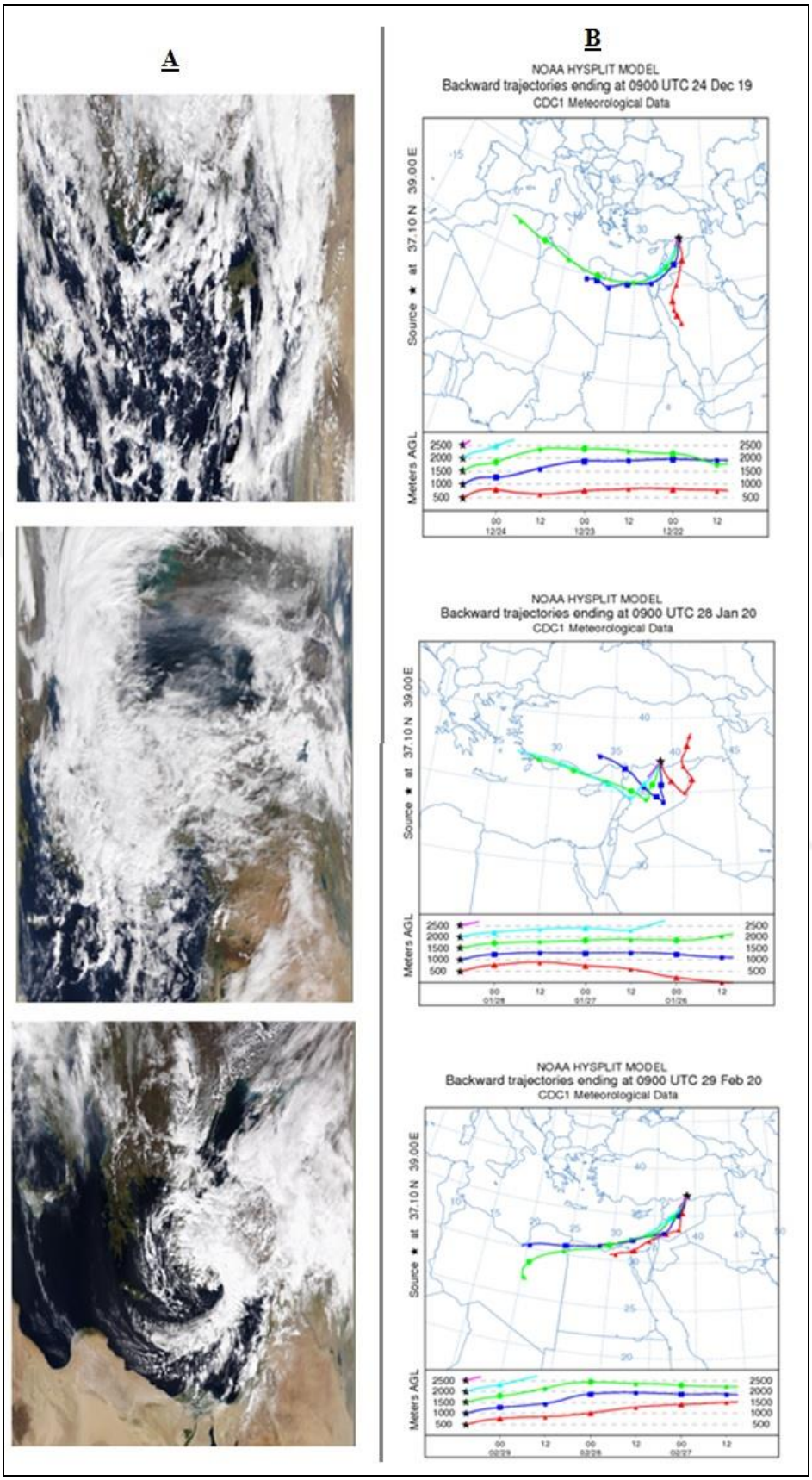


Şekil 4.9. Sonbahar dönemi için seçilen günlere ait veriler A) MODIS uydu görüntüleri, B)HYSPLIT modeli

Kış dönemi toz taşınımı

Şekil 4.10.'da verilen 24.12.2019, 28.01.2020 ve 29.02.2020 tarihli HYSPLIT ve MODIS görüntülerinde Sahra ve Suriye bölgesinden uzak menzil toz taşınımı göze çarpmaktadır. $PM_{2.5}$ ve PM_{10} değerleri kış ayları içerisinde sırasıyla 52,31 µg/m³ ve 103,24 µg/m³ olarak ölçülmüştür. Bu değerler DSÖ ve Avrupa Hava Kalitesi Standartlarının üzerindedir.

Goudarzi ve ark. (2019), 2017 yılında İran'ın güneybatısındaki Ahvaz Şehrinde HYSPLIT modeliyle havadaki partikül madde kaynağının tam olarak belirlemişlerdir. Soğuk-sıcak mevsimde toz taşınımı olaylarını belirlemek için günlük bir veri analizi yapılan çalışmada sonbahar ve kış mevsimlerinde yüksek hacimli hava örnekleyicilerle partikül örnekleri toplanmıştır. Sonuç olarak soğuk ve sıcak mevsimlerde ortalama ortam partikül madde konsantrasyonunun 158 µg/m ve 161 µg/m olduğu bulunmuştur. Ayrıca, soğuk mevsimdeki ortalama partikül madde konsantrasyonu, Ulusal Ortam Hava Kalitesi Standardında sunulan standart seviyeden önemli ölçüde daha yüksek olduğu belirlenmiştir.



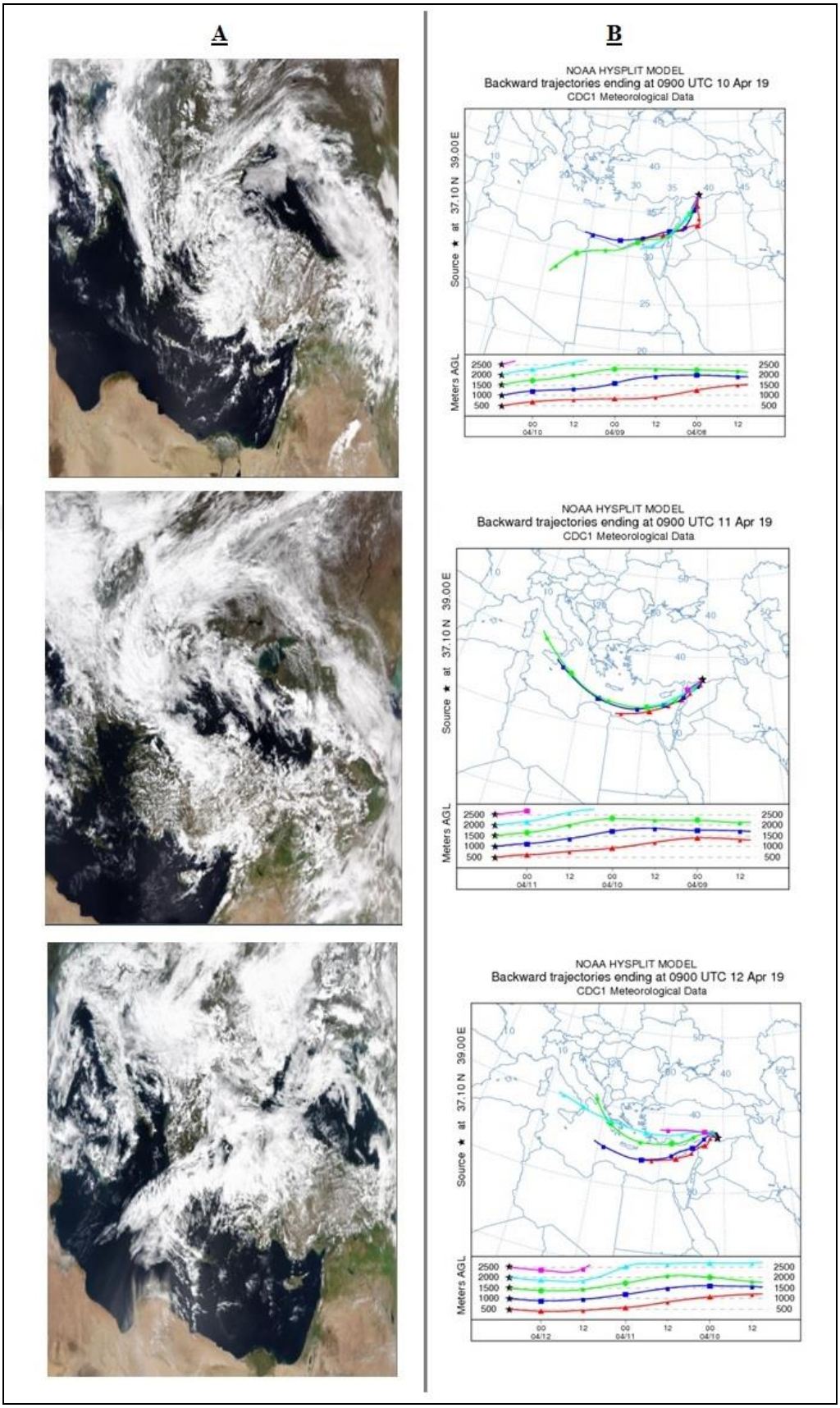
Şekil 4.10. Kış dönemi için seçişlen günlere ait veriler A) MODIS uydu görüntüleri, B)HYSPLIT modeli

Şanlıurfa atmosferi içinde bulunduğu jeolojik konumundan dolayı Sahra, Suriye ve Arap yarımadasından gelen rüzgarların taşıdığı tozlar sebebi ile PM'lere maruz kalmaktadır. Atmosferde taşınan PM'ler HYSPLIT modeli ve MODIS uydu görüntüsü ile geri yörüngeler sistemi çalıştırılarak tespit edilmektedir. Bu atmosferik taşınımla gelen PM'ler bazen şehri 3-7 gün etkisi altına almaktadır. Bu yüzden solunabilir boyutta olan PM'lerin kimyasal içeriğinin bilinmesi canlı sağlığının yanısıra ziraat, enerji ve tarihi eserlerin korunması bakımından büyük önem arz etmektedir. Kentsel atmosferik hava içerisindeki PM, çeşitli boyutlara ve bileşenlere sahip karmaşık bir yapıya sahiptir. PM'de bulunan Nikel (Ni), Vanadyum (V), Bakır (Cu) ve Demir (Fe) gibi bazı geçiş metallerinin kardiyovasküler, solunum yolu rahatsızlıkları ve ölüm oranları ile ilişkili olduğu bulunmuştur (Zhou ve ark., 2011; Bell and HEI Health Review Komite, 2012; Lippmann ve ark., 2013).

- **Nisan-2019**

10-11-12 Nisan 2019 tarihinde $PM_{2.5}$ konsantrasyonları sırasıyla; 13.42, 3.7, 16.2 $\mu g/m^3$ iken PM_{10} konsantrasyonları sırasıyla 55.56, 48.15, 57.87 $\mu g/m^3$ olarak ölçülmüştür. Şekil 4.11., belirtilen tarihlere ait MODIS uydu görüntüleri ve HYSPLIT yörünge analizini göstermektedir. Şekil 4.11.'e göre çalışma alanına gelen PM'lerin Sahra-Akdeniz yörüngesinden geldiği HYSPLIT modeli ve MODIS uydu görüntüleri ile belirlenmiştir.

Yukhymchuk ve ark. (2022), 25 Nisan 2019'daki aşırı toz olayı sırasında atmosferdeki aerosolün özelliklerini analiz etmeyi amaçlamışlardır. 23-25 Nisan 2019 tarihlerinde MODIS uydu görüntüleri ve HYSPLIT programları ile Lefkoşa üzerinde güçlü bir aerosol kirliliği tespit edilmiştir. Optik ve mikrofiziksel özelliklerin analizi, kirliliğin esas olarak Sahra tozu ve kısmen kentsel aerosollerden oluştuğunu desteklemiştir. Bu varsayım, toz parçacıkları içeren hava kütlelerinin Kuzey Afrika ve Avrupa'nın Doğu kısmından geldiği HYSPLIT ve MODIS görüntüleri ile doğrulanmıştır.

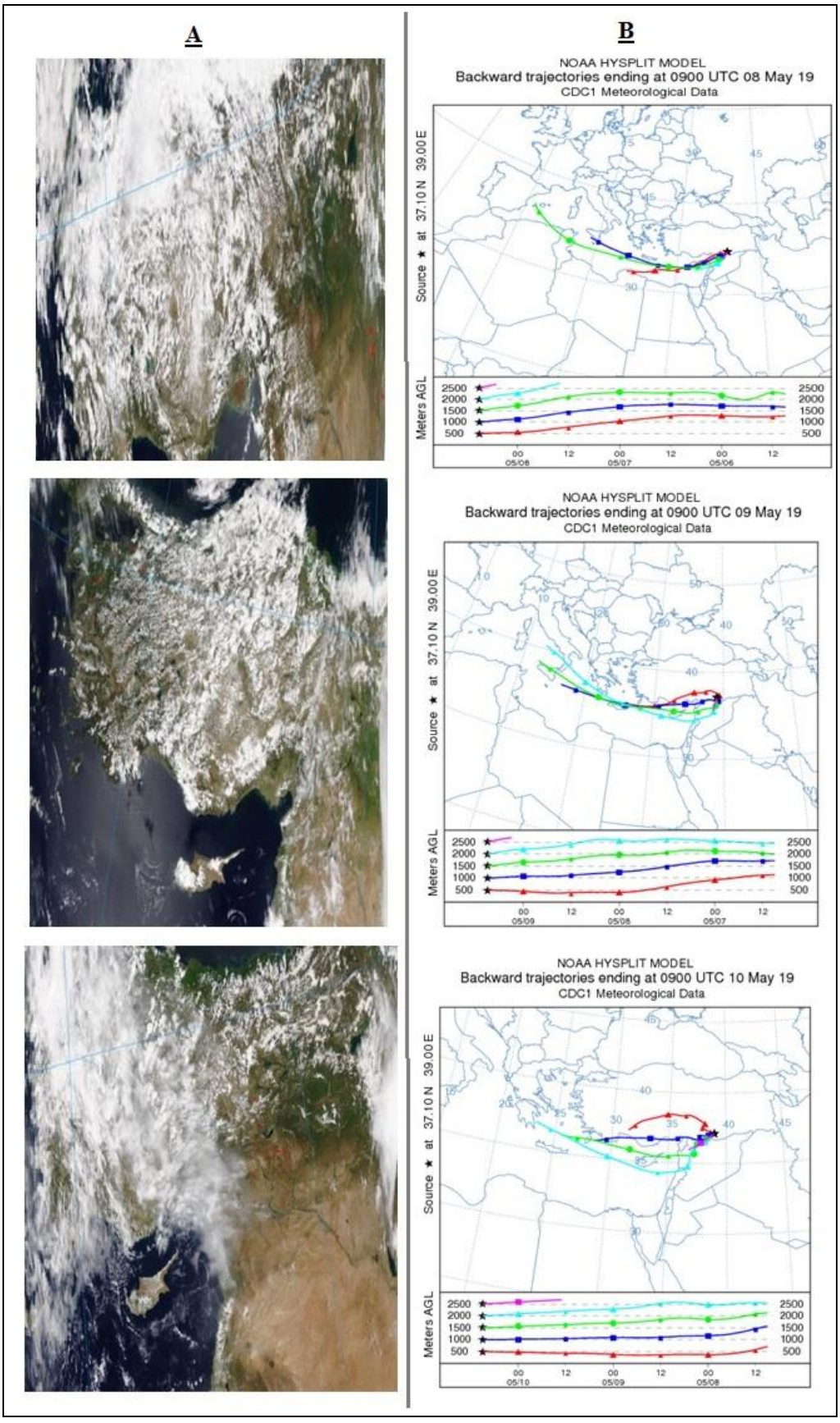


Şekil 4.11. Nisan ayı verileri, A) MODIS uydu görüntüleri, B)HYSPLIT modeli

- **Mayıs-2019**

8-9-10 Mayıs 2019 tarihlerinde $PM_{2.5}$ konsantrasyonları sırasıyla; 13.75, 12.04, 18.06 $\mu g/m^3$ iken PM_{10} konsantrasyonları sırasıyla 56.78, 43.52, 53.24 $\mu g/m^3$ olarak ölçülmüştür. Şekil 4.12.'de verilen MODIS uydu ve HYSPLIT yörünge analizi görüntülerine bakıldığı zaman çalışma alanına gelen tozların Avrupa yörüngesinden (İtalya) geldiği görülmektedir.

Đorđević ve ark. (2019), 2012-2013 tarihleri arasında İzlanda çöllerinden kalkan tozun Balkan bölgelerine taşındığını HYSPLIT geri yörünge modelini kullanarak bulmuşlardır. Taşınan hava kütlelerinin yaklaşık %17'sinin İzlanda topraklarından geçerek Balkan bölgesine ulaştığı tespit edilmiştir. Bu çalışma ile birlikte İzlanda tozunun uzun mesafeler kat edebileceğine dair kanıtlar sağlanmıştır.

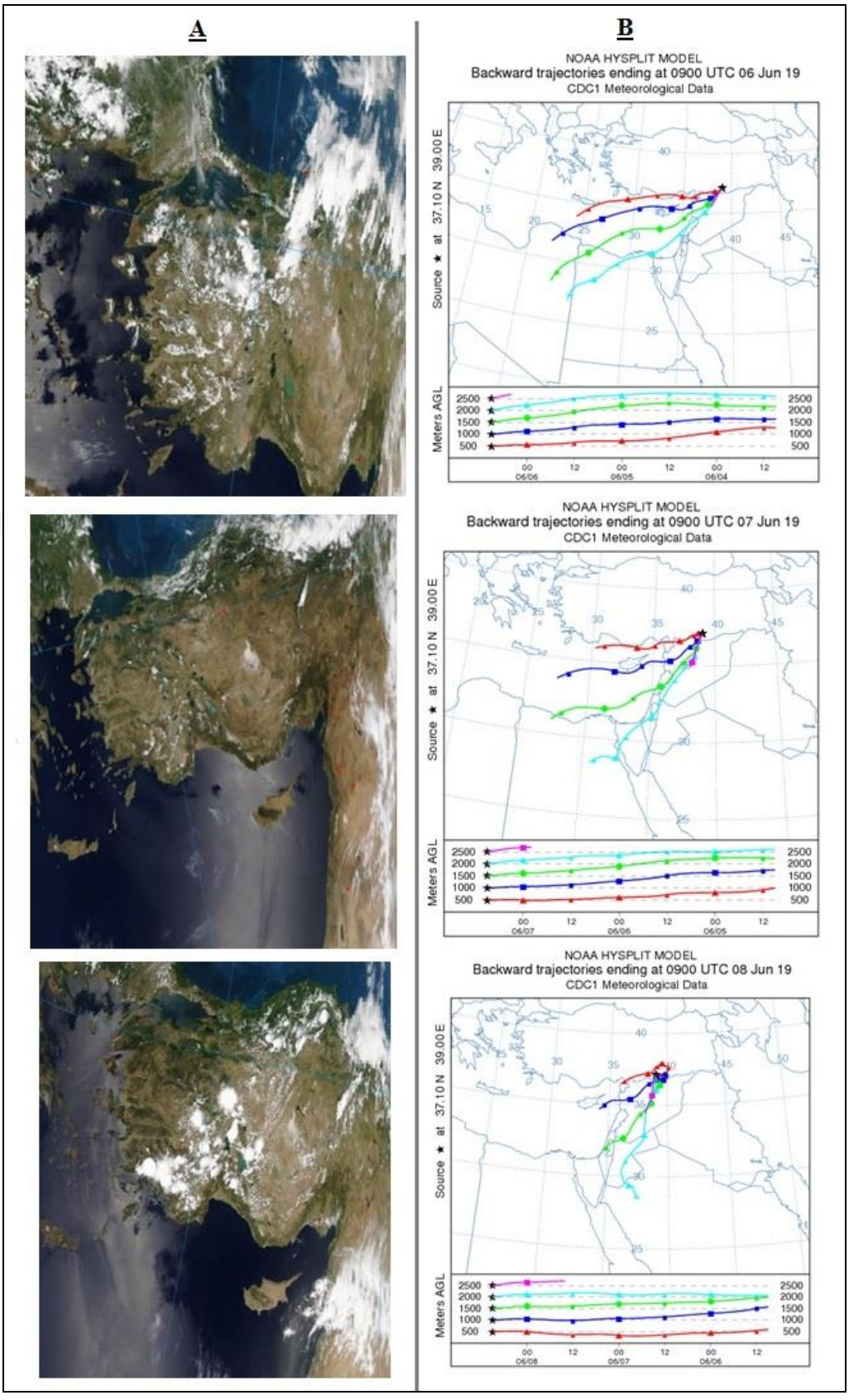


Şekil 1.12. Mayıs ayı verileri, A) MODIS uydu görüntüleri, B)HYSPLIT modeli

- **Haziran-2019**

6-7-8 Haziran 2019 tarihlerinde $PM_{2.5}$ konsantrasyonları sırasıyla; 32.50, 43.89, 50.65 $\mu g/m^3$ iken PM_{10} konsantrasyonları sırasıyla 78.43, 82.31, 97.69 $\mu g/m^3$ olarak ölçülmüştür. Şekil 4.13., haziran ayına ait MODIS uydu ve HYSPLIT yörünge görüntüsünü ifade etmektedir. Bölgeye taşınan tozların Şekil 4.13.'e göre Sahra-Akdeniz yörüngesinden geldiği belirlenmiştir.

Elham Borna ve arkadşaları (2021), 2000-2014 yılları arasında Batı İran'ı etkileyen toz, kum ve toz fırtınalarının kaynağını, taşınımını ve birikmesini araştırmışlardır. 2008 yılından itibaren tozlu gün sayısında anlamlı artışların olduğunu gösteren sonuçlarda HYSPLIT ve MODIS verileri ile tozun hem ulusal hemde uluslararası kaynaklara sahip olduğu bulunmuştur. En yaygın ve güçlü kaynak olarak Akdeniz'den gelen hava kütleleri tespit edilmiştir.

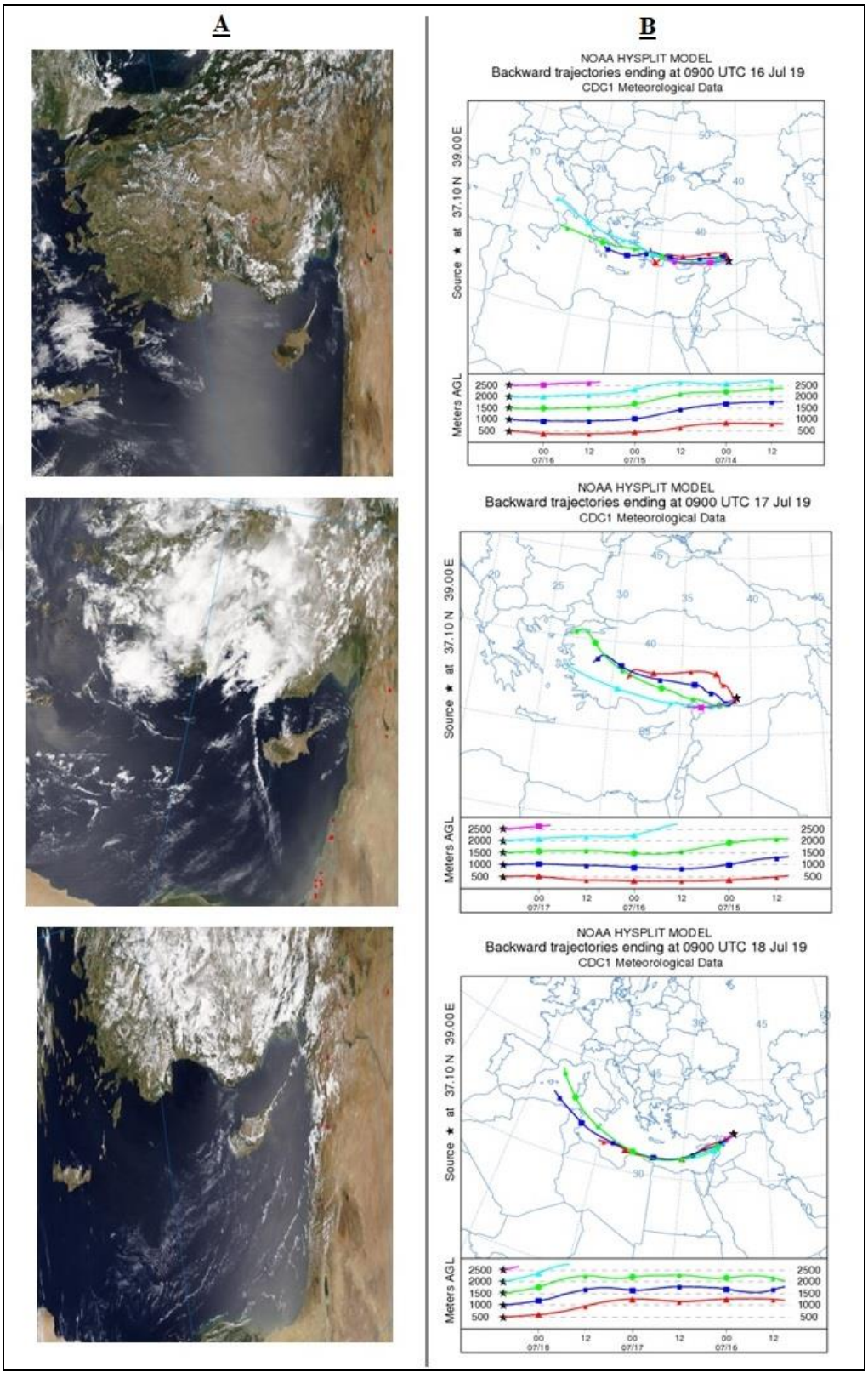


Şekil 4.13. Haziran ayı verileri, A) MODIS uydu görüntüleri, B)HYSPLIT modeli

- **Temmuz-2019**

16-17-18 Temmuz 2019 tarihlerinde $PM_{2.5}$ konsantrasyonları sırasıyla; 47.39, 40.28, 42.21 $\mu g/m^3$ iken PM_{10} konsantrasyonları sırasıyla 92.78, 68.52, 68.32 $\mu g/m^3$ olarak ölçülmüştür. Şekil 4.14.'te bölgeye gelen tozun Doğu Avrupa yörüngesinden taşındığı HYSPLIT modeli ve MODIS uydu görüntüleri ile gösterilmiştir.

Juda-Rezler ve ark. (2011), Ocak 2006 tarihinde çapı 10 μm'den ufak olan PM'lerin sebep olduğu hava kirliliğini Orta Doğu Avrupanın kentsel alanlarında araştırmışlardır. Hava kütlesi geri yörünge analizi ile Kuzeydoğu kökenli (Rusya-Belarus-Ukrayna) ve Güney kökenli şehirlerin (Slovakya, Çek Cumhuriyeti) uzak menzil toz taşınımının etkisi altında olduğunu bulmuşlardır.

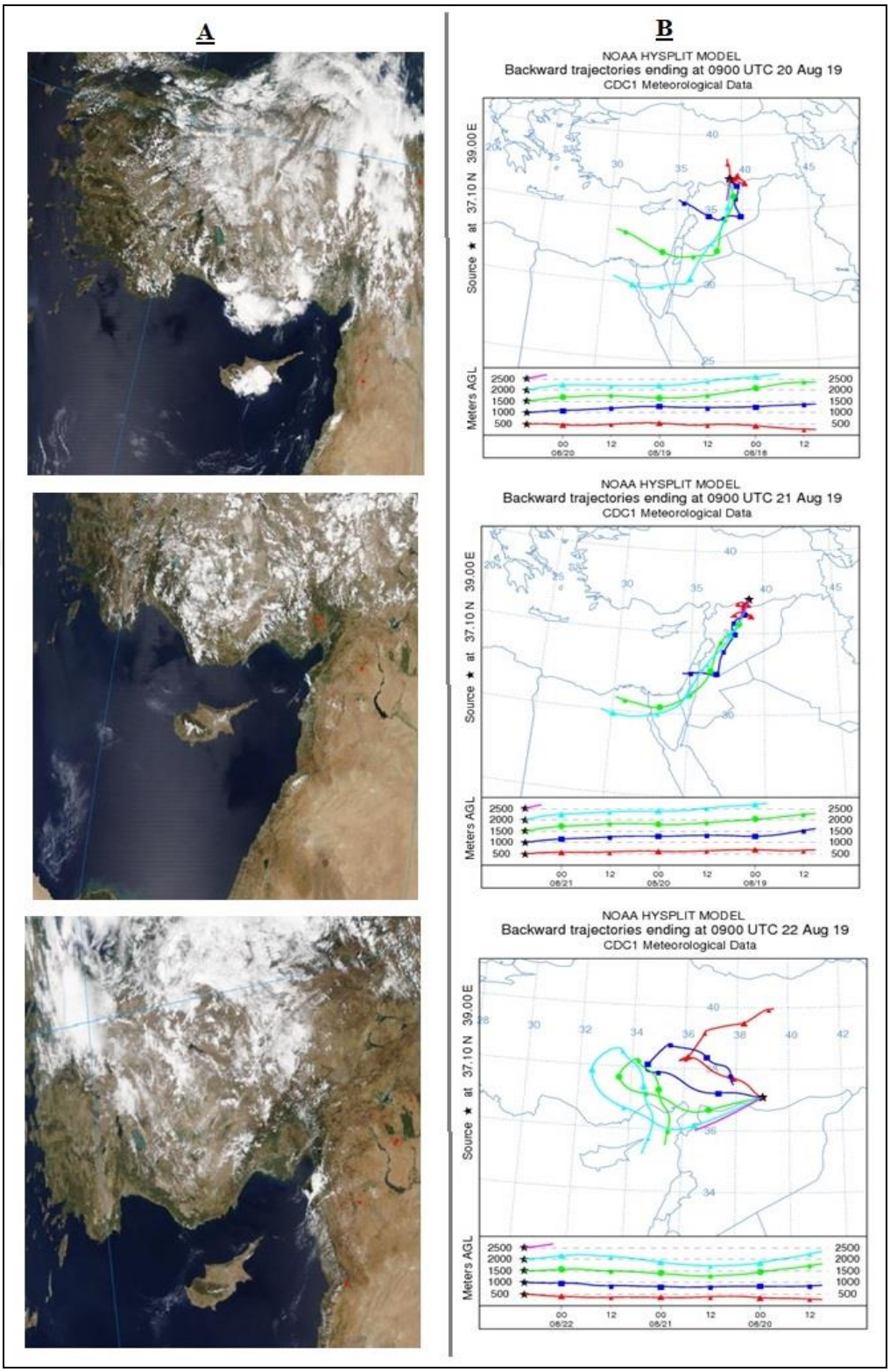


Şekil 4.14. Temmuz ayı verileri A) MODIS uydu görüntüleri, B)HYSPLIT modeli

- **Ağustos-2019**

20-21-22 Ağustos 2019 tarihlerinde $PM_{2.5}$ konsantrasyonları sırasıyla; 21.54, 34.72, 36.57 $\mu g/m^3$ iken PM_{10} konsantrasyonları sırasıyla 46.98, 75.93, 65.28 $\mu g/m^3$ olarak ölçülmüştür. Yaz döneminin son ayı olan ağustos ayında bölgeye taşınan tozun Şekil 4.15.'te gösterilidiği gibi Sahra-Akdeniz-Suriye yörüngesinden taşındığı görülmektedir.

Bencherif ve ark. (2022), Güney Fas'ta 2018 Ağustos ayı başlarındaki Aerosol Dağılımlarını ve Sahra Tozu Taşınmasını incelemişlerdir. Yer tabanlı ve uydu gözlemleri ile desteklenen çalışmada hava kütlelerinin geri yörüngelerini simüle etmek için HYSPLIT modeli kullanılmıştır. Fas'taki aerosol popülasyonlarının özellikle yaz mevsiminde, Sahra çölü tozunun hakim olduğunu bulmuşlardır.

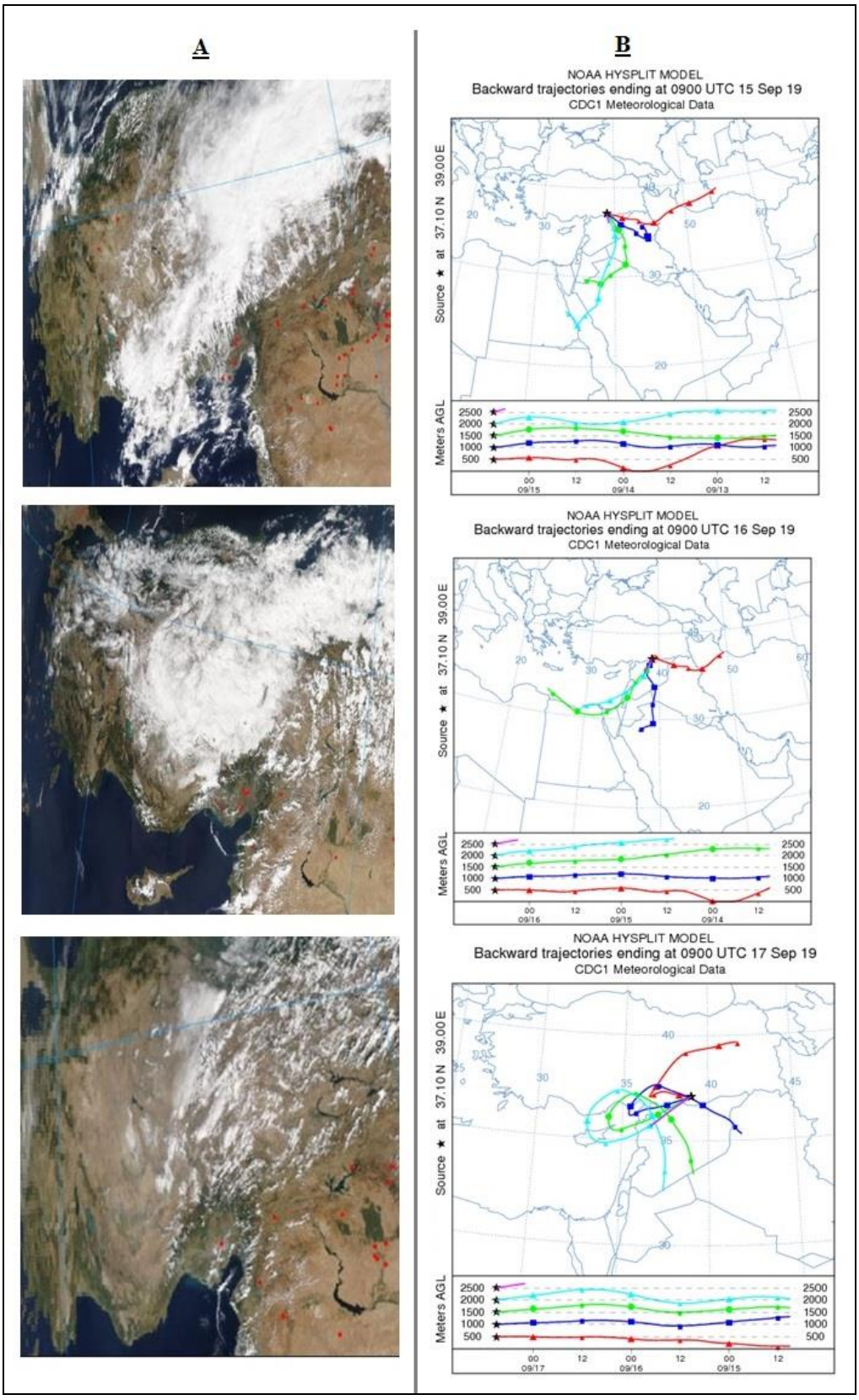


Şekil 4.15. Ağustos ayı verileri, A) MODIS uydu görüntüleri, B)HYSPLIT modeli

- **Eylül-2019**

15-16-17 Eylül 2019 tarihlerinde $PM_{2.5}$ konsantrasyonları sırasıyla; 42.13, 32.96, 36.39 $\mu g/m^3$ iken PM_{10} konsantrasyonları sırasıyla 77.31, 62.94, 64.44 $\mu g/m^3$ olarak ölçülmüştür. Şekil 4.16.'te görüldüğü gibi bölgeye taşınan tozun Ortadoğu yörüngesinden geldiği görülmektedir. Özbekistan, İran yarımadası ve Suriye çöl bölgesi üzerinden toz taşınımı gerçekleşmiştir.

Konstantinos Dimitriu ve ark. (2022) Doğu Akdeniz havzasını etkileyen aerosol yayıcıların konumunu ve 3 farklı yükseltideki PM_1 ve PM_{10} (0 m ≤ Katman 1 < 1000 m (yere yakın katman), 1000 m ≤ Katman 2 < 2000 m (ara katman), 2000m ≤ Katman 3 (üst katman)) değerlerini karekterize etmişlerdir. Katman 1 ve 2'deki Doğu kıtasal hava akımlarını (Orta Doğu bölgeleri) ile ilişkilendirmişlerdir. Sıcak dönemlerde (16 Nisan-15 Ekim), başta Türkiye olmak üzere tüm katmanlardaki Kuzey hava akışlarının yaygınlığı, özellikle Batı - Kuzeybatı Akdeniz hava akımları tarafından taşındığını tespit ettikleri bu çalışmaya HYSPLIT modelini eklemişlerdir.

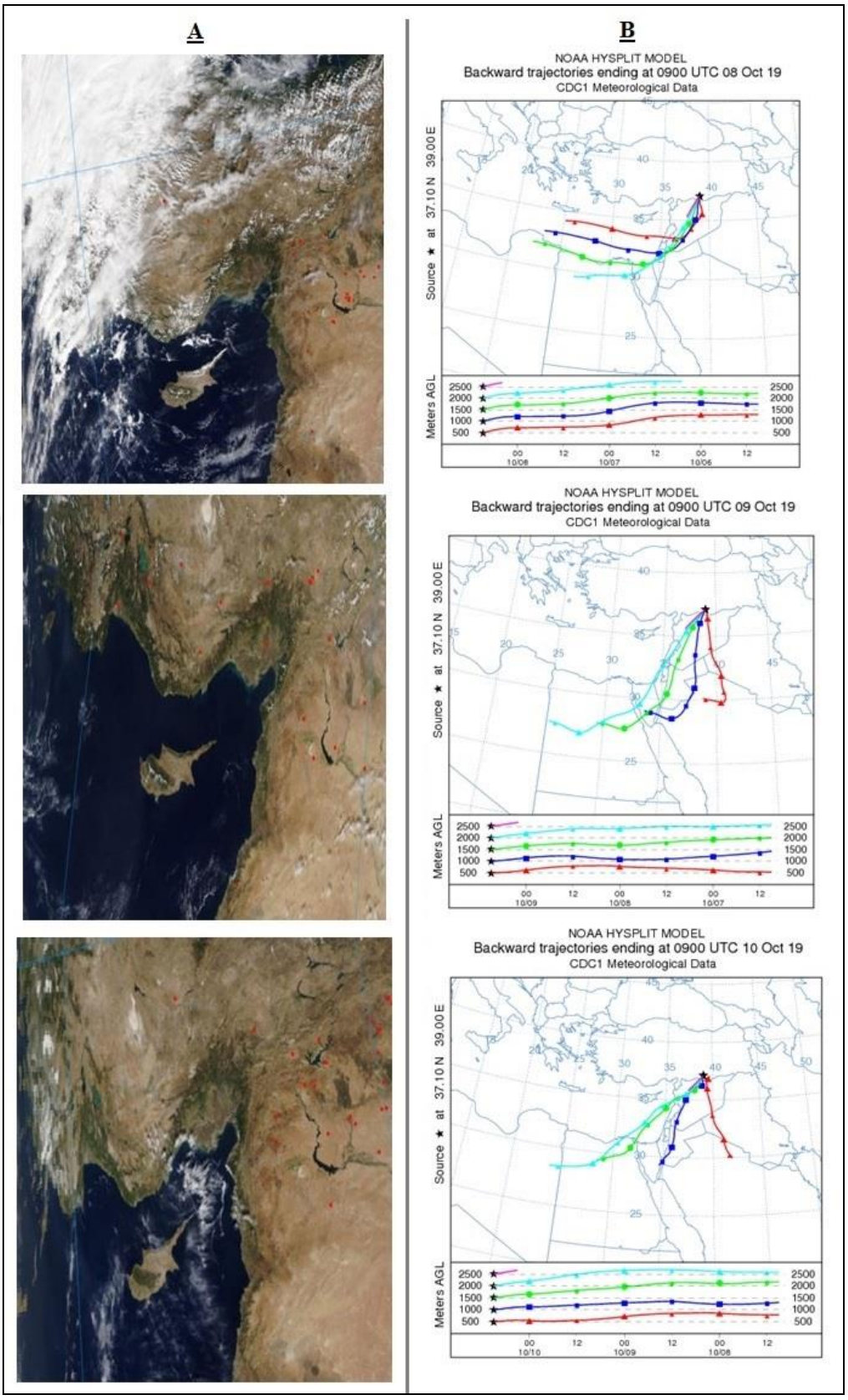


Şekil 4.16. Eylül ayı verileri, A) MODIS uydu görüntüleri, B)HYSPLIT modeli

- **Ekim-2019**

8-9-10 Ekim 2019 tarihlerinde $PM_{2.5}$ konsantrasyonları sırasıyla; 46.20, 54.32, 32.41 $\mu g/m^3$ iken PM_{10} konsantrasyonları sırasıyla 98.89, 95.80, 88.98 $\mu g/m^3$ olarak ölçülmüştür. Bölgeye taşınan tozun Şekil 4.17.'de gösterilidiği gibi Sahra-Akdeniz yörüngesinden geldiği görülmektedir.

Parnis ve ark. (2022), 2016 ile 2020 yılları arasındaki tarihlerde Maltada belirlemiş oldukları 6 istasyona sahra tozunun katkısını araştırmışlardır. Malta kuruluşu olan Çevre ve Kaynaklar Kurumu tarafından derlenen verilere başvurarak desteklenen çalışmada Malta adalarında Sahra tozunun yaşandığı tarihleri belirlemeye yardımcı olmak için HYSPLIT modelini kullanmışlardır.

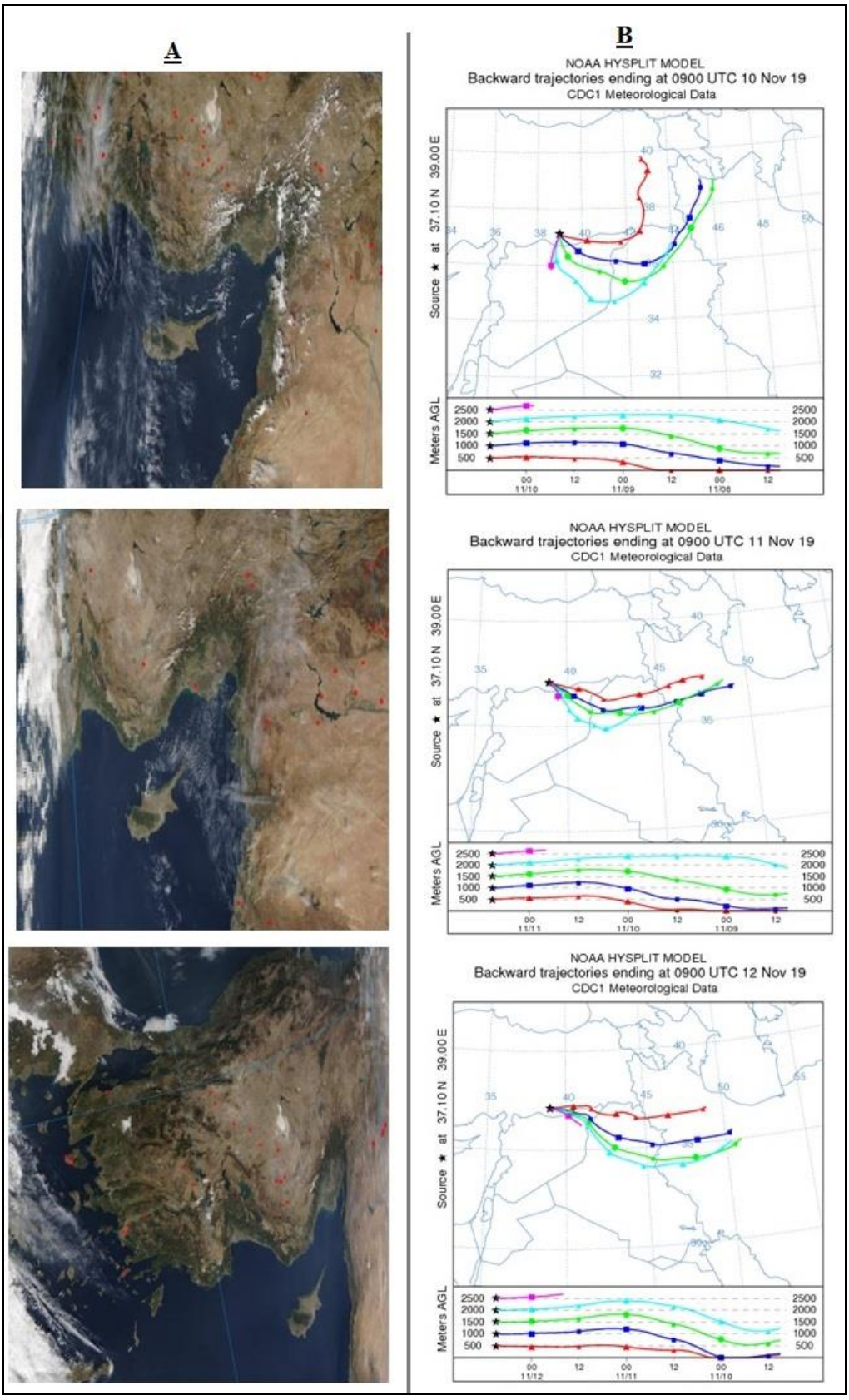


Şekil 4.17. Ekim ayı verileri, A) MODIS uydu görüntüleri, B)HYSPLIT modeli

- **Kasım-2019**

10-11-12 Kasım 2019 tarihlerinde $PM_{2.5}$ konsantrasyonları sırasıyla; 36.85, 38.09, 42.39 $\mu g/m^3$ iken PM_{10} konsantrasyonları sırasıyla 104.54, 97.12, 81.11 $\mu g/m^3$ olarak ölçülmüştür. Bu ay içerisinde gerçekleşen toz taşınımının Ortadoğu Yörüngesi üzerinden olduğu Şekil 4.18.'de gösterilmektedir. İran yarımadası üzerinden toz taşınımı gerçekleşmiştir.

Dehshiri ve ark. (2022), Orta Doğu ve Orta Asya'daki toz kaynağı bölgesinde yer alan İran'daki Yezd şehrinde PM_{10}'u araştırmışlardır. Çalışma meteroloik veriler dikkate alınarak 2012-2019 yıllarındaki toz olayları ile ilgili HYSPLIT modeli kullanılarak hava parsellerinin geriye dönük yörünge modellemesini içermektedir. Orta Doğu toz kaynaklarının Orta İran'daki toz olayları üzerinde en büyük etkiye sahip olduğunu gösterdi.

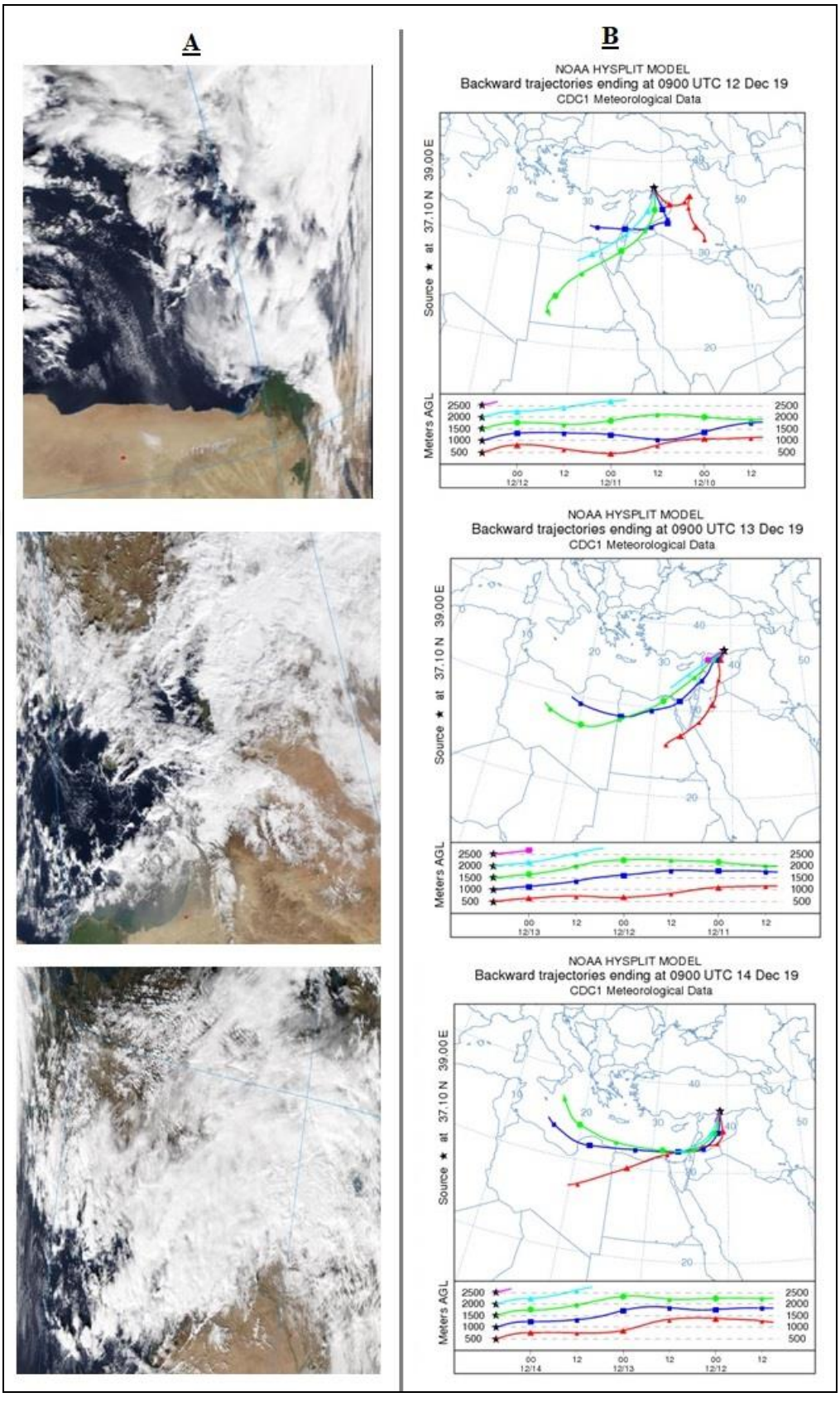


Şekil 4.18. Kasım ayı verileri, A)MODIS uydu görüntüleri, B)HYSPLIT modeli

- **Aralık-2019**

12-13-14 Aralık 2019 tarihlerinde $PM_{2.5}$ konsantrasyonları sırasıyla; 14.35, 15.28, 16.20 $\mu g/m^3$ iken PM_{10} konsantrasyonları sırasıyla 26.85, 25.0, 22.69 $\mu g/m^3$ olarak ölçülmüştür. Bölgede gerçekleşen toz taşınımının Şekil 4.19.'da HYSPLIT modeli ve MODIS uydu görüntüleri ile gösterildiği gibi Sahra-Akdeniz yörüngesinden geldiği görülmektedir.

Liu ve ark.nın (2022)'de yapmış oldukları çalışmada 2007'den 2020'ye kadar olan süre zarfında Sahra tozunun Doğu Asya üzerinden uzun mesafeli taşınmasını HYSPLIT yörünge analizini kullanarak sistematik olarak araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre 2007–2020 döneminde Doğu Asya'daki toz olaylarının dörtte birinin Sahra Çölü'nden kaynaklandığını bulmuşlardır.

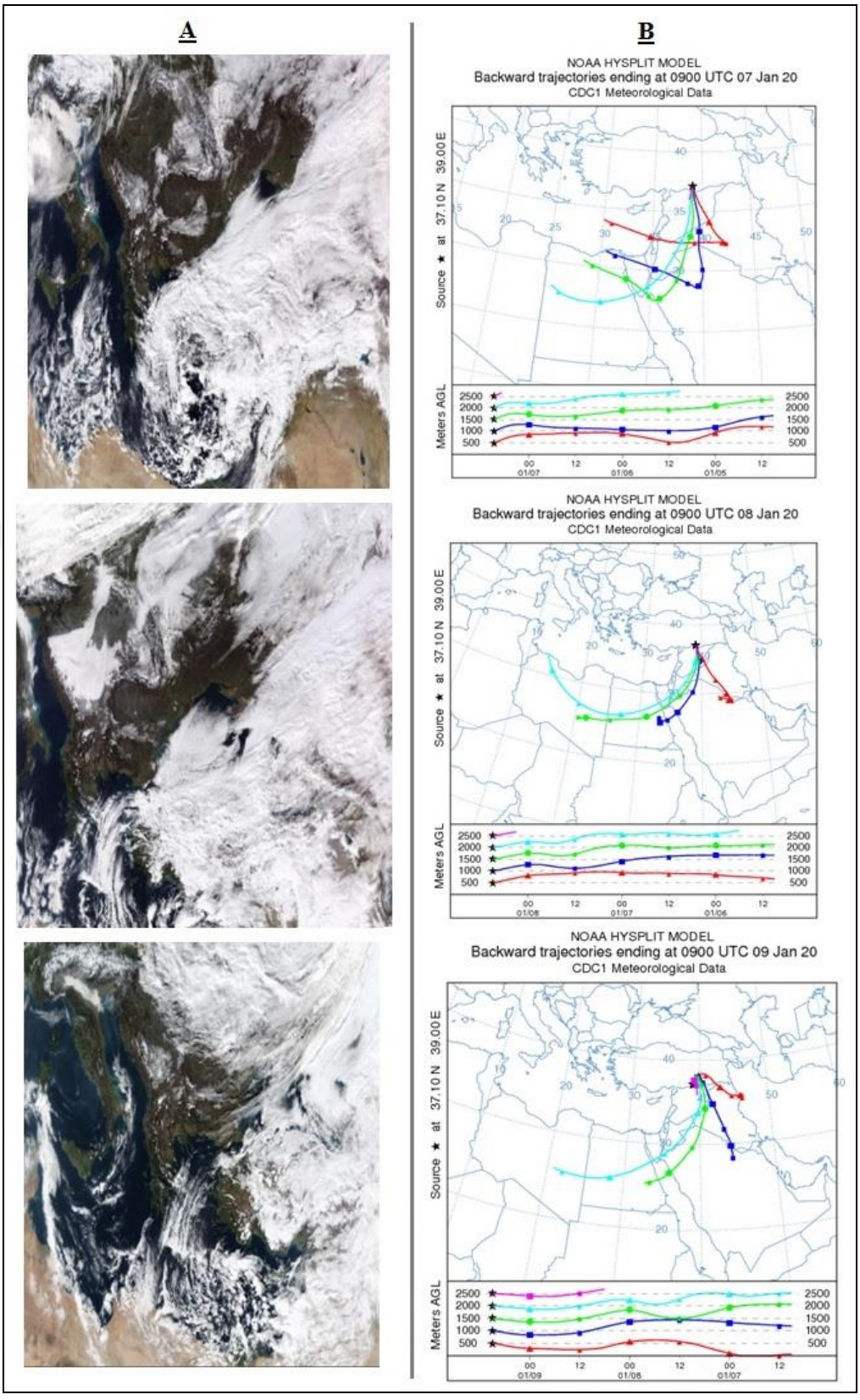


Şekil 4.19. Aralık ayı verileri, A)MODIS uydu görüntüleri, B)HYSPLIT modeli

- **Ocak-2020**

7-8-9 Ocak 2020 tarihlerinde $PM_{2.5}$ konsantrasyonları sırasıyla; 9.26, 10.65, 8.33 $\mu g/m^3$ iken PM_{10} konsantrasyonları sırasıyla 15.28, 26.85, 14,81 $\mu g/m^3$ olarak ölçülmüştür. Bölgeye taşınan tozun Sahra-Akdeniz yörüngesinden geldiği Şekil 4.20.'de verilen HYSPLIT modeli ve MODIS uydu görüntüleri ile gösterilmiştir.

Kaskaoutis ve ark. (2010) MODIS uydu görüntüleri ve HYSPLIT modeli aracılığıyla Yunanistan'ın Atina kentindeki hava kütlelerinde Sahra tozu varlığından bahsetmişlerdir.

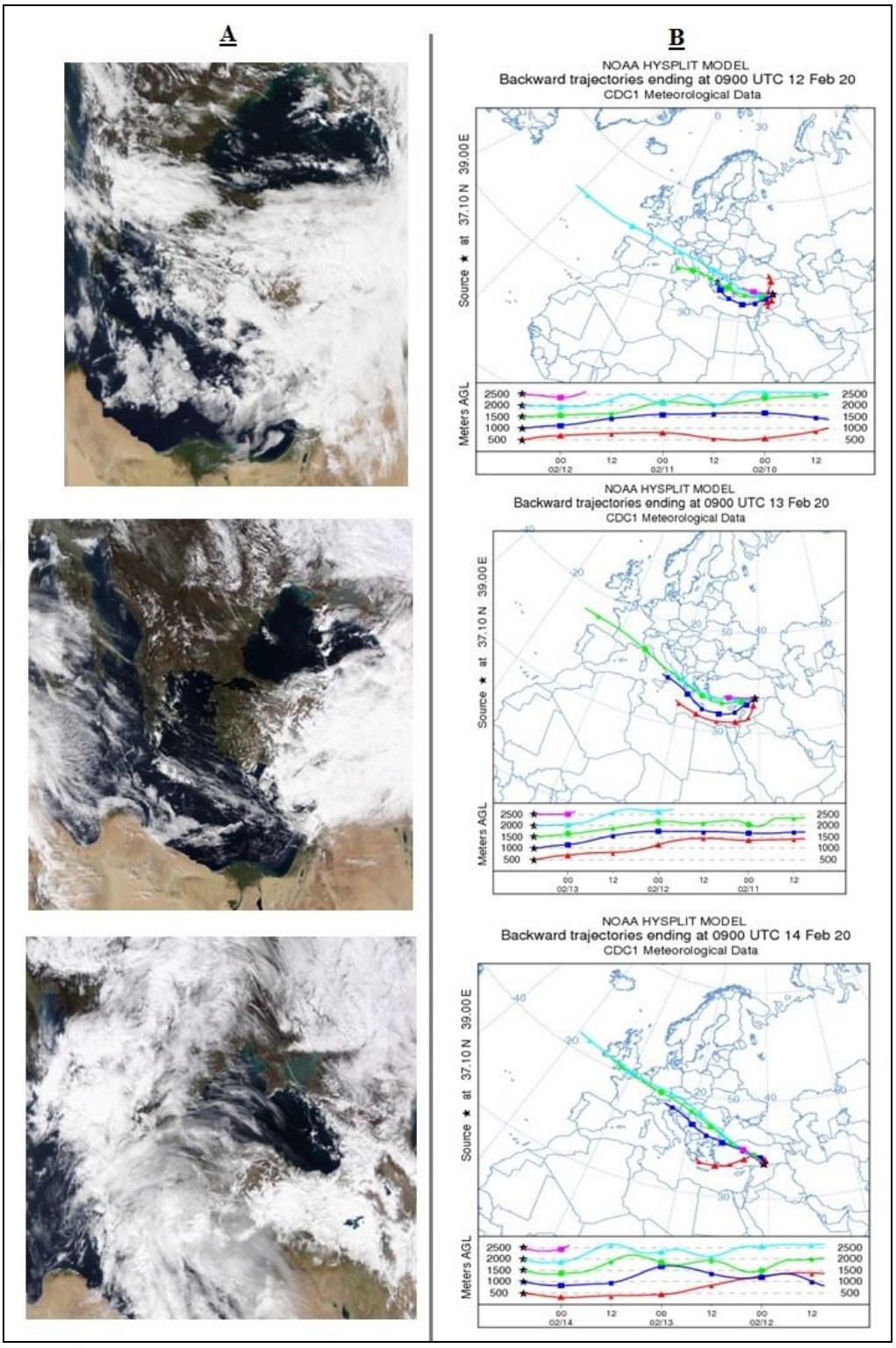


Şekil 4.20. Ocak ayı verileri, A)MODIS uydu görüntüleri, B)HYSPLIT modeli

- **Şubat-2020**

12-13-14 Şubat 2020 tarihlerinde $PM_{2.5}$ konsantrasyonları sırasıyla; 29.63, 52.31, 42.13 $\mu g/m^3$ iken PM_{10} konsantrasyonları sırasıyla 57.41, 103.24, 100.46 $\mu g/m^3$ olarak ölçülmüştür. Bölgeye taşınan tozun Doğu Avrupa yörüngesinden geldiği Şekil 4.21.'de verilen HYSPLIT modeli ve MODIS uydu görüntüleri ile gösterilmiştir.

Makra ve ark. (2011), farklı enlemlerdeki üç Avrupa şehrindeki (Selanik, Szeged ve Helsinki) PM_{10} seviyeleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilecek uzun menzilli ulaşım modellerini belirlemeyi amaçlamışlardır. 2001'den 2005'e kadar 5 yıllık bir süre boyunca HYSPLIT modeli kullanılarak yapılan çalışmada Selanik için, başlıca PM_{10} taşımacılığı, Orta ve Güney Avrupa'dan gelen hava kütleleriyle, Szeged için Orta Avrupa, Güney Avrupa ve Orta Doğu Avrupa'dan gelen PM_{10} kütleleriyle ve son olarak Helsinki için yüksek PM_{10} konsantrasyonları, Kuzeybatı Rusya da dahil olmak üzere Kuzey ve Doğu Avrupa'dan gelen hava kütleleri ile açıkça ilişkilendirilmiştir. Yunanistan üzerinde ara sıra Kuzey Afrika toz girişlerine de rastlamışlardır.



Şekil 4.21. Şubat ayı verileri, A)MODIS uydu görüntüleri, B)HYSPLIT modeli

4.5. Pozitif Matriks Faktörizasyonu (PMF)

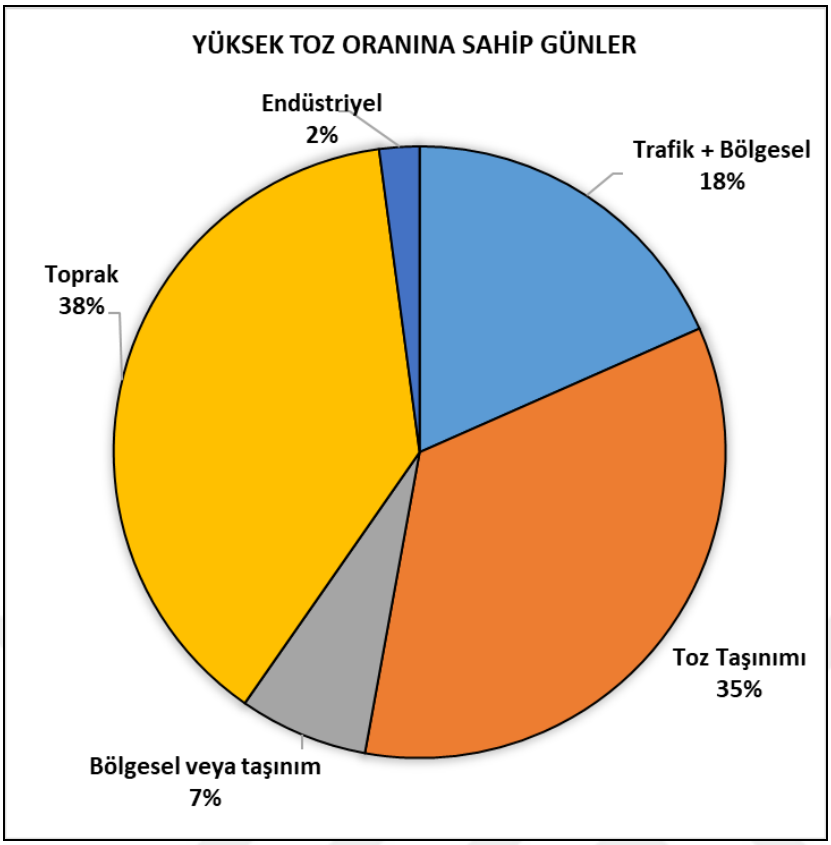
PMF modeli reseptör modellemesi olarak sık kullanılan bir yöntemdir (Jorquera ve Rappenglück, 2004; Brown ve ark., 2007; Lee ve ark., 2008; Chan ve

ark., 2011; Habre ve ark., 2011; Mansha ve ark., 2012; Wang ve ark., 2012; Dumanoglu ve ark., 2014). PMF modeli, toplanan PM örneklerinin kimyasal bileşimlerini, kaynaklarını ve miktarlarını belirlemek için kullanılan çok değişkenli bir faktör analiz aracıdır (In't Veld, 2021).

Çalışmada PMF modeli kullanılarak hem PM_{10} hem de $PM_{2.5}$ kesrinde HYSPLIT geri yörünge analizi ile elde edilen 3 farklı geri yörünge için olası kaynaklar ve katkı oranları belirlenmiştir. Bunun yanı sıra toz taşınımının olduğunun göstergesi olan yüksek toz oranı (Dust Ratio) değerlerinin olduğu günler için de ayrıca PMF modeli çalıştırılarak olası kaynaklar ve katkı oranları elde edilmeye çalışılmıştır.

PM kaynaklarının element kompozisyonunun çözümlenmesinde PMF modeli kullanılmıştır. Optimum kaynak sayısının belirlenmesi için 3 ila 7 faktör incelenmiştir. Model, Q değerlerinin kararlılığını belirlenmek için rastgele olacak şekilde 20 kez çalışmıştır. Kararlı ve yakınsayan Q değerleri için işlem gerçekleştirildi. Q değerleri (Q values), elde edilen kaynak profilleri (factor profile) ve ölçeklendirilmiş kalıntı dağılımları (scaled residuals distributions) incelenerek ortaya çıkan profillerin yorumlanabilirliğine dayalı olarak 5 faktörlü çözüm belirlenmiştir (Belis ve ark., 2013; Wang ve ark., 2013b). Ölçeklendirilmiş kalıntı dağılımların tümü, gözlemlenen ve tahmin edilen değerler arasında iyi bir uyumun göstergesi olarak -3 ile +3 aralığında ve yaklaşık olarak simetrik bir dağılım göstermiştir (Friend ve ark., 2012; Li ve ark., 2013).

PMF modeli $PM_{2.5}$ ve PM_{10} için belirlenen 3 yörünge için uygulanmıştır. Buna ek olarak yüksek toz oranına sahip günler için de PMF modellemesi yapılarak 5 kaynak belirlenmiştir. Bu kaynaklar Şekil 4.22.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Yüksek toz oranına sahip günlerde kaynakların katkı oranları

Yüksek toz oranına sahip günlerde bu kaynakların belirlenmesindeki elementler tablosu aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.5.).

Çizelge 4.5. Yüksek toz oranına sahip günlerde elementlerin faktör profillerindeki dağılımı (%)

Element	Trafik + Bölgesel	Toz Taşınımı	Bölgesel ve/veya taşınım	Toprak	Endüstriyel
Ag	**20**	11	**43**	**19**	7
Al	12	**16**	2	**70**	0
As	**18**	**62**	6	13	0
B	13	**55**	**15**	**15**	1
Ba	**23**	**29**	7	**39**	1
Bi	**42**	**18**	**20**	**19**	1
Ca	**28**	**22**	2	**47**	1
Cd	**47**	**24**	10	15	4
Ce	7	9	9	**75**	0
Co	10	**18**	0	**37**	**35**
Cr	0	**22**	9	2	**67**
Cu	**47**	10	**24**	9	10
Dy	9	8	0	**82**	1
Fe	11	**19**	1	**60**	9
Gd	4	9	5	**80**	1
Ge	0	**62**	**22**	**15**	1
Hf	3	10	**33**	**53**	0
Hg	12	**34**	**35**	0	**19**
K	**31**	**16**	0	**51**	2

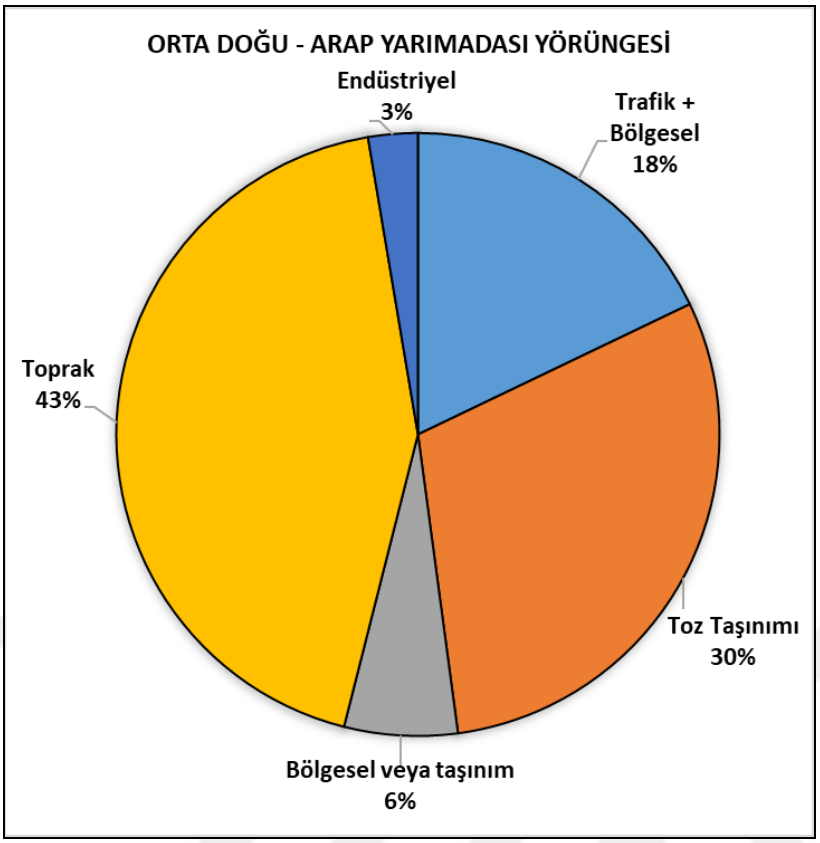
Çizelge 4.5. **(devam)**

La	6	9	8	**76**	1
Li	**21**	14	0	**63**	1
Mg	**16**	12	4	**67**	1
Mn	14	14	5	**60**	7
Mo	**23**	**38**	**20**	3	**16**
Na	**36**	**26**	4	**34**	1
Nb	**18**	0	**25**	**50**	7
Nd	6	10	6	**78**	0
Ni	3	**26**	6	7	**58**
P	**27**	**35**	6	**30**	2
Pb	**65**	11	4	**18**	2
Pr	0	8	6	**85**	1
Rb	15	15	1	**68**	2
Sb	**29**	**45**	**25**	0	2
Sc	3	**19**	1	**76**	1
Si	9	**62**	**15**	12	2
Sm	4	0	15	**80**	1
Sn	**43**	11	**35**	7	3
Sr	**21**	**16**	0	**62**	1
Te	10	**41**	11	**34**	5
Th	2	8	6	**83**	1
Ti	9	**15**	3	**72**	1
U	10	14	**21**	**54**	2
V	**15**	**63**	11	10	0
Y	9	**16**	2	**73**	1
Zn	**26**	**39**	**29**	3	4
Zr	2	**28**	**17**	**53**	1

Çizelge 4.5.'te verilen elementlerde V, As, Ge ve Si elementlerin kaynağının yüksek oranlarda toz taşınımı olduğu belirlenmiştir. V, As, Ge ve Si elementlerin toz taşınım kaynaklı olduğunu gösteren yüzdelik dilimleri sırasıyla % 63, % 62, % 62 ve % 62'dir. Pb elementinin kaynağının % 65 ile Trafik ve Bölgesel olduğu görülmektedir.

4.5.1. $PM_{2.5}$ kesrinde Orta Doğu-Arap Yarımadası için kaynakların belirlenmesi

HYSPLIT geri yörünge analizi sonucunda belirlenen Orta Doğu - Arap Yarımadası yörüngesine ait 70 günlük (adet) partikül madde örneğindeki element konsantrasyonları kullanılarak PMF modeli çalışılmıştır. Orta Doğu - Arap Yarımadasından çalışma bölgesine ulaşan yörünge için 5 kaynak faktörü tanımlanmıştır. Bu yörüngedeki kaynakların katkı oranları Şekil 4.23.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.23. Orta Doğu - Arap Yarımadası yörüngesinde kaynakların katkı oranları ($PM_{2.5}$)

$PM_{2.5}$ için Orta Doğu- Arap Yarımadası yörüngesindeki kaynakların oranlarını belirleyen element içeriği Çizelge 4.6.'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. $PM_{2.5}$ kesrinde Elementlerin faktör profillerindeki yüzdesel dağılımı (%)

Element	Trafik + Bölgesel	Toz Taşınımı	Bölgesel ve/veya Taşınım	Toprak	Endüstriyel
Ag	**49**	13	**28**	8	2
Al	5	10	13	**72**	0
As	**29**	**52**	0	**18**	0
B	**27**	**44**	10	**18**	1
Ba	**34**	**21**	7	**38**	0
Bi	**49**	11	**19**	**21**	0
Ca	**22**	**16**	3	**59**	1
Cd	**45**	11	**19**	**23**	2
Ce	6	6	**17**	**70**	0
Co	10	0	4	**45**	**41**
Cr	9	5	6	10	**70**
Cu	**53**	**24**	10	6	7
Dy	1	5	7	**86**	1
Fe	8	10	4	**64**	14
Gd	3	7	7	**83**	1
Ge	0	**73**	8	**18**	2
Hf	5	**36**	**23**	**36**	0
Hg	**30**	**50**	0	0	**20**
K	**23**	14	3	**59**	1

Çizelge 4.6. **(devam)**

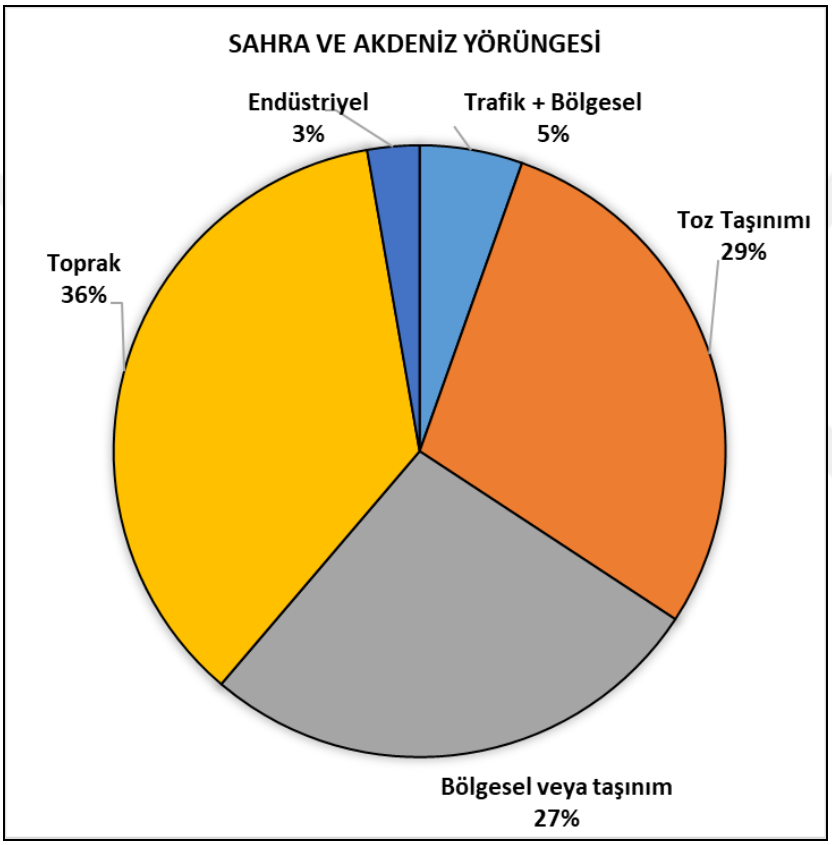
La	6	6	**17**	**72**	0
Li	**34**	0	0	**64**	1
Mg	10	7	12	**71**	0
Mn	11	6	13	**61**	9
Mo	**19**	**33**	**27**	4	**17**
Na	**40**	**21**	6	**31**	2
Nb	**30**	**30**	**19**	**18**	4
Nd	5	7	10	**77**	1
Ni	12	9	3	14	**62**
P	**30**	**31**	3	**35**	1
Pb	**68**	0	10	**22**	0
Pr	4	2	13	**80**	1
Rb	4	13	6	**76**	1
Sb	**41**	**46**	11	0	2
Sc	0	9	6	**84**	2
Si	**17**	**58**	8	14	2
Sm	2	0	**25**	**73**	0
Sn	**65**	**24**	7	1	2
Sr	**18**	10	2	**68**	1
Te	15	**36**	7	**39**	3
Th	2	7	9	**81**	1
Ti	0	14	8	**77**	1
U	2	**21**	**32**	**43**	2
V	**24**	**60**	3	12	0
Y	1	12	7	**78**	1
Zn	**34**	**55**	9	0	2
Zr	0	**32**	**19**	**49**	1

Çizelge 4.6.'ya göre çalışma alanında en yüksek kirliliği toprak (%43) oluşturmaktadır. Çalışmanın gerçekleştiği il olan Şanlıurfa'nın geniş tarım alanları, tarımsal faaliyetleri ve konumundan dolayı toprak kaynaklı kirlilik diğer belirlenen kaynaklara baskın gelmiştir. Sahra ve Akdeniz yörüngesinden ulaşan yörünge için 5 faktör tanımlanmıştır. Bu faktörler Toprak (%36) > Toz taşınımı (%29) > Bölgesel/taşınım (%27) > Trafik (%5) > Endüstriyel (%3) olarak sıralanmaktadır. Şekil 4.24.'de bu oranları gösteren grafik verilmiştir.

Christodoulou ve ark. (2022) Orta Doğu'dan gelen uzun menzilli taşınan kirlilik ve aerosol kaynaklarının Kıbrıs üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. PMF metodu kullanılan bu çalışmada yüksek sülfat konsantrasyonları (3 μg m^{-3}'e yakın) sürekli olarak kaydedilmiş ve kirlilik kaynaklarının Orta Doğu bölgesinden geldiği tespit edilmiştir.

4.5.2. $PM_{2.5}$ kesrinde Sahra ve Akdeniz için kaynakların belirlenmesi

HYSPLIT geri yörünge analizi sonucunda belirlenen Sahra ve Akdeniz yörüngesine ait 79 günlük (adet) partikül madde örneğindeki element konsantrasyonları kullanılarak PMF modeli çalışılmıştır. Model sonucunda Sahra ve Akdeniz bölgesinden ulaşan yörünge için 5 faktör tanımlanmıştır. Bu yörüngedeki kaynakların katkı oranları Şekil 4.24.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.24. Sahra ve Akdeniz yörüngesinde kaynakların katkı oranları ($PM_{2.5}$)

$PM_{2.5}$ için Sahra ve Akdeniz yörüngesindeki kaynakların oranlarını belirleyen element içeriği Çizelge 4.7.'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. $PM_{2.5}$ için Sahra ve Akdeniz yörüngesinde elementlerin faktör profillerindeki dağılımı (%)

Element	Trafik + Bölgesel	Toz Taşınımı	Bölgesel ve/veya taşınım + Deniz tuzu	Toprak	Endüstriyel
Ag	**42**	**32**	11	14	1
Al	6	10	14	**70**	0
As	10	**52**	**23**	**15**	0

Çizelge 4.7. **(devam)**

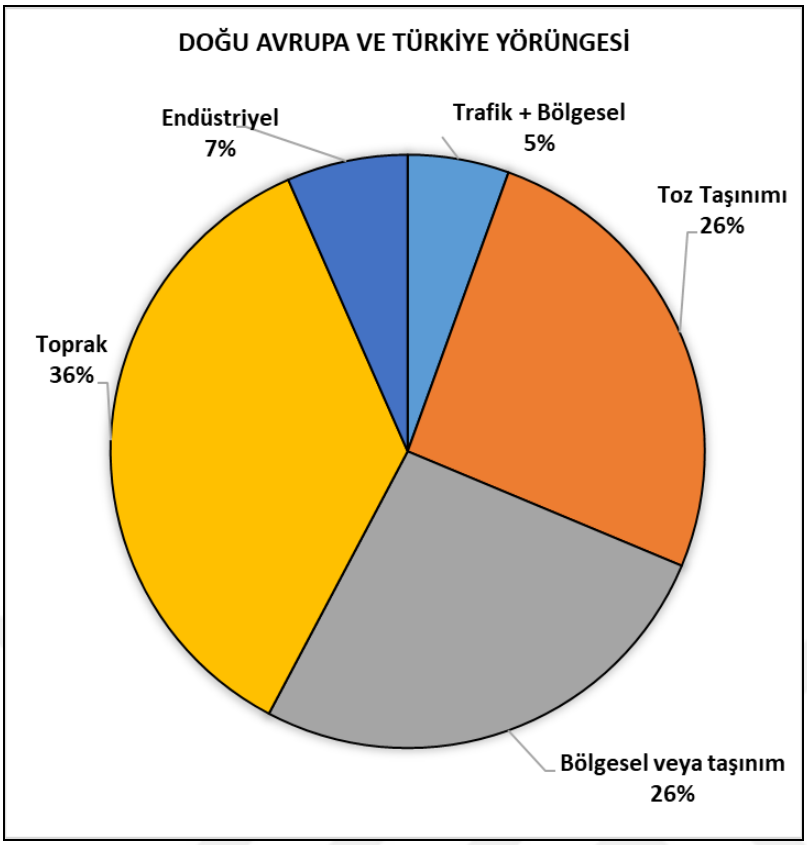
B	**19**	**39**	**27**	14	1
Ba	9	**26**	**25**	**38**	2
Bi	**31**	**23**	**26**	**20**	0
Ca	3	13	**39**	**43**	2
Cd	**17**	**26**	**34**	**16**	7
Ce	10	13	4	**73**	0
Co	1	0	**23**	**37**	**40**
Cr	0	0	**21**	0	**79**
Cu	**53**	**20**	**16**	4	7
Dy	1	6	4	**89**	0
Fe	1	10	**19**	**60**	10
Gd	1	8	4	**87**	1
Ge	6	**71**	4	**18**	1
Hf	9	**38**	4	**49**	1
Hg	**26**	**36**	0	7	**31**
K	9	9	**30**	**51**	2
La	1	**15**	4	**79**	0
Li	11	8	14	**66**	1
Mg	2	9	**25**	**62**	1
Mn	4	9	**23**	**56**	8
Mo	9	**39**	**31**	6	**16**
Na	**17**	2	**61**	**17**	3
Nb	**26**	9	0	**53**	12
Nd	2	11	4	**82**	0
Ni	0	8	**21**	5	**66**
P	12	**33**	**25**	**29**	2
Pb	**74**	2	14	10	0
Pr	1	6	4	**89**	0
Rb	1	14	4	**80**	1
Sb	**18**	**40**	**30**	8	4
Sc	2	13	4	**81**	0
Si	7	**59**	**16**	**16**	2
Sm	0	9	4	**86**	0
Sn	**38**	**35**	**16**	9	3
Sr	3	8	**30**	**58**	1
Te	0	**43**	**24**	**30**	3
Th	1	5	4	**89**	1
Ti	1	15	4	**81**	0
U	4	**30**	9	**54**	2
V	8	**55**	**23**	14	0
Y	0	13	4	**82**	0
Zn	**17**	**53**	**17**	10	3
Zr	3	**36**	4	**57**	1

Sahra ve Akdeniz yörüngesindeki kaynakların en yükseği %36'lık dilimle toprak kirliliğidir. Bunu takip eden diğer kaynak ise % 29'luk orana sahip olan toz taşınımıdır. Şanlıurfa'nın sahra-akdeniz bölgesinden taşınan uzak menzil tozların güzergahında olması sebebiyle toz taşınım yüzdesi içinde bulunan elementler incelenmiştir. Ge elementinin % 71, As elementinin % 52 ve Hg elementinin % 36'lık kısmı toz taşınımı ile geldiği tespit edilmiştir.

Mantas ve ark. (2014), Atina Ulusal Teknik Üniversitesi kampüsündeki kentsel bir alanda üç yıllık bir süre boyunca (Şubat 2010'dan Nisan 2013'e kadar) $PM_{2.5}$ numunesi toplamışlardır. Toplanan numunelerde toplam kükürt, kabuk kökenli elementler ve ana kabuk bileşeninin elementleri (Al, Si, Fe, Ca, K, Mg, Ti) eser elementler (Zn, Pb, Cu, Ni, P, V, Cr, Mn) ve suda çözünür iyonlar (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , NH_4^+, Ca^{2+} , Mg^{2+}) PTFE numunelerini belirlemişlerdir. Kaynak paylaştırma analizi, PMF ile gerçekleştirilmiştir. Her iki veri seti tarafından elde edilen PMF sonuçlarının kombinasyonu, altı faktör olarak bulunmuştur. Bu faktörlerden birisi olan Sahra Bölgesinden gelen tozların içerisinde Si, Al, Ti, Ca, Fe elementleri tespit etmişlerdir.

4.5.3 $PM_{2.5}$ kesrinde Doğu Avrupa ve Türkiye için kaynakların belirlenmesi

HYSPLIT geri yörünge analizi sonucunda belirlenen Doğu Avrupa ve Türkiye yörüngesine ait 100 günlük partikül madde örneğindeki element konsantrasyonları kullanılarak model çalışılmıştır. Model sonucunda Doğu Avrupa ve Türkiye bölgesinden ulaşan yörünge için diğer yörüngelerde olduğu gibi 5 faktör tanımlanmıştır.Doğu Avrupa ve Türkiye yörüngesinden ulaşan yörünge için 5 faktör tanımlanmıştır. Bu yörüngedeki kaynakların katkı oranları Şekil 4.25.'te verilmiştir.



Şekil 4.25. Doğu Avrupa ve Türkiye yörüngesinde kaynakların katkı oranları ($PM_{2.5}$)

$PM_{2.5}$ için Doğu Avrupa ve Türkiye yörüngesindeki kaynakların oranlarını belirleyen element içeriği Çizelge 4.8.'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. $PM_{2.5}$ için Doğu Avrupa ve Türkiye yörüngesinde elementlerin faktör profillerindeki dağılımı (%)

Element	Trafik + Bölgesel	Toz Taşınımı	Bölgesel ve/veya taşınım + Deniz tuzu	Toprak	Endüstriyel
Ag	**51**	**28**	4	7	9
Al	0	7	**24**	**67**	2
As	0	**45**	**33**	**19**	3
B	14	**34**	**26**	**22**	4
Ba	14	**27**	**20**	**39**	0
Bi	**62**	6	7	**25**	1
Ca	4	13	**25**	**54**	4
Cd	**40**	4	**38**	**17**	1
Ce	**16**	3	11	**68**	1
Co	0	6	**22**	**37**	**35**
Cr	6	13	**16**	4	**60**
Cu	**52**	**23**	11	2	13
Dy	3	0	**19**	**74**	4
Fe	0	10	**23**	**55**	12
Gd	7	2	8	**80**	2
Ge	5	**44**	**33**	10	8
Hf	**34**	**24**	0	**39**	3

Çizelge 4.8. **(devam)**

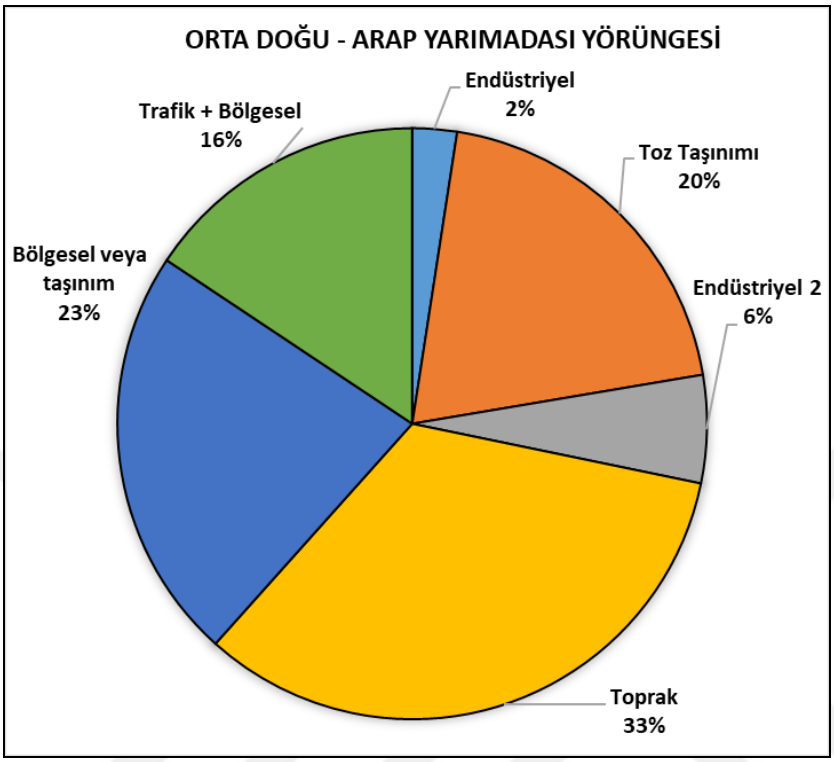
Hg	**27**	**33**	12	0	**27**
K	8	4	**41**	**45**	3
La	**17**	2	11	**68**	2
Li	11	11	**16**	**57**	6
Mg	8	5	**18**	**67**	2
Mn	11	8	13	**58**	9
Mo	**35**	**19**	**16**	**15**	14
Na	8	6	**72**	10	4
Nb	**45**	9	0	**19**	**28**
Nd	9	4	12	**73**	2
Ni	2	**18**	**22**	9	**49**
P	7	**27**	**28**	**35**	3
Pb	**38**	0	**47**	**15**	0
Pr	11	0	8	**80**	1
Rb	3	5	**26**	**63**	3
Sb	**42**	**22**	**29**	0	8
Sc	0	13	**16**	**71**	0
Si	7	**44**	**27**	13	9
Sm	**25**	0	0	**73**	2
Sn	**47**	**28**	9	12	4
Sr	2	7	**24**	**63**	3
Te	14	**43**	**22**	**17**	5
Th	6	2	8	**82**	1
Ti	2	8	**18**	**71**	2
U	**40**	2	10	**43**	4
V	2	**48**	**30**	**16**	4
Y	2	7	**21**	**68**	2
Zn	**23**	**42**	**24**	5	6
Zr	**16**	**20**	**22**	**38**	4

Samek ve ark. (2019), Polonya'nın Krakow atmosferindeki $PM_{2.5}$ fraksiyonunun kütle konsantrasyonunu incelemişlerdir. Hava kirliliği kaynaklarının tanımlanması ve yerel atmosferdeki $PM_{2.5}$ yüküne katkılarının değerlendirilmesi için PMF reseptör yöntemi kullanılmıştır. Seçilen kimyasal türler, belirli hava kirliliği kaynaklarının göstergesi olarak kullanılmıştır. PMF analizi yoluyla dört kaynak kategorisi belirlendi: (i) yanma, (ii) ikincil aerosoller, (iii) toprak/endüstri/trafik ve (iv) biyokütle yakma.

4.5.4. PM_{10} kesrinde Orta Doğu-Arap Yarımadası için kaynakların belirlenmesi

Geri yörünge analizi sonucunda belirlenen PM_{10} kesri için Orta Doğu - Arap Yarımadası yörüngesine ait 70 günlük (adet) partikül madde örneğindeki element konsantrasyonları kullanılarak PMF modeli çalışılmıştır. Orta Doğu - Arap

Yarımadasından ulaşan yörünge için 6 faktör tanımlanmıştır. Bu yörüngedeki kaynakların katkı oranları Şekil 4.26.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.26. Orta Doğu - Arap Yarımadası yörüngesinde kaynakların katkı oranları (PM_{10})

PM_{10} için Orta Doğu- Arap Yarımadası yörüngesindeki kaynakların oranlarını belirleyen element içeriği Çizelge 4.9.'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. PM_{10} kesrinde Elementlerin faktör profillerindeki yüzdesel dağılımı (%)

Element	Endüstriyel	Toz Taşınımı	Bölgesel ve/veya Taşınım	Toprak	Endüstriyel 2	Trafik + Bölgesel
Ag	2	0	**45**	6	3	**44**
Al	0	6	5	**74**	14	1
As	0	**24**	5	9	**42**	**19**
B	0	**49**	6	**16**	13	**16**
Ba	0	**19**	9	**32**	**21**	**19**
Bi	1	**20**	**26**	9	4	**41**
Ca	0	13	1	**54**	12	**20**
Cd	6	6	**31**	6	**26**	**25**
Ce	0	12	9	**70**	3	6
Co	**42**	10	0	**40**	0	8
Cr	**67**	**18**	2	9	1	3
Cu	3	**28**	**31**	2	14	**22**
Dy	1	**17**	0	**80**	2	0
Fe	14	12	1	**59**	8	7
Gd	1	6	2	**82**	6	3
Ge	1	**44**	5	12	**38**	0

Çizelge 4.9. **(devam)**

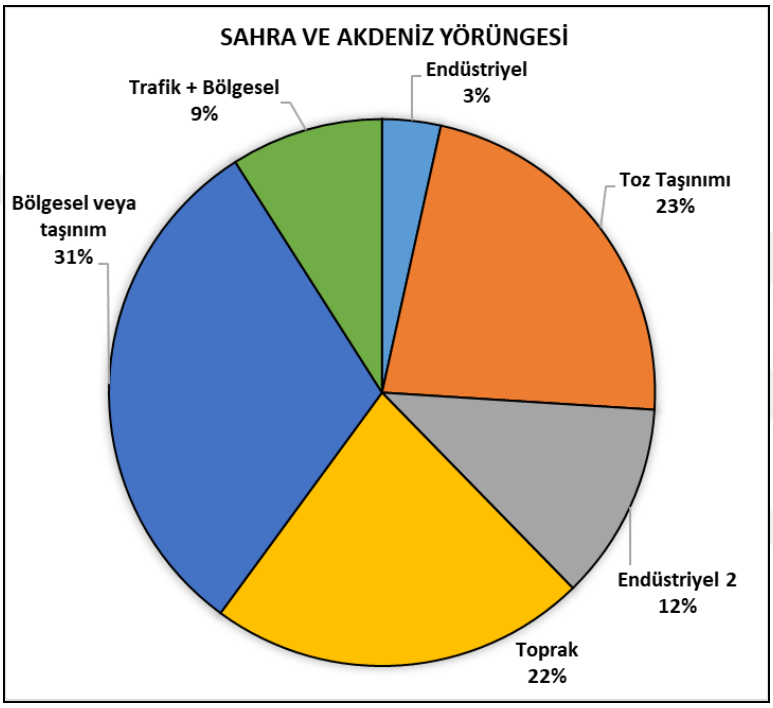
Hf	0	**34**	**14**	**32**	12	8
Hg	**18**	**19**	7	0	**31**	**25**
K	0	1	6	**44**	**21**	**28**
La	0	9	10	**74**	4	3
Li	1	2	11	**48**	11	**26**
Mg	0	10	7	**70**	4	8
Mn	9	9	8	**60**	6	8
Mo	10	**19**	**22**	3	**32**	**14**
Na	2	**44**	6	6	2	**39**
Nb	3	0	**24**	**15**	**34**	**24**
Nd	1	8	5	**76**	5	6
Ni	**51**	**21**	4	12	5	8
P	0	14	6	**30**	**31**	**20**
Pb	0	11	13	6	0	**70**
Pr	0	9	7	**82**	0	2
Pt	11	**51**	3	0	**35**	0
Rb	1	0	5	**64**	**19**	11
Rh	0	**84**	0	9	0	7
Sb	0	**25**	**23**	2	**26**	**25**
Sc	2	7	0	**85**	6	0
Se	6	**26**	**28**	0	**17**	**22**
Si	2	**30**	10	9	**36**	14
Sm	0	7	**16**	**78**	0	0
Sn	2	2	**17**	0	**38**	**41**
Sr	1	5	0	**65**	9	**19**
Ta	2	**67**	0	0	0	**31**
Te	2	0	9	**43**	**42**	4
Th	0	6	3	**84**	6	0
Ti	1	6	3	**78**	14	0
Tl	4	0	**61**	0	8	**27**
U	2	8	**22**	**51**	**17**	0
V	0	**27**	6	6	**45**	**16**
Y	1	7	2	**78**	12	0
Zn	3	11	14	3	**45**	**24**
Zr	1	**29**	12	**41**	**17**	0

Çizelge 4.9.'da verilen sonuçlarda toprak, bölgesel taşınım ve toz taşınımı kirliliğin en büyük kaynakları arasındadır. Ortadoğu ve Akdeniz bölgesinden taşınan uzak menzil tozların kirlilik kaynaklarına katkıları mevcuttur.

Habeebullah ve ark. (2022), Suudi Arabistan'da Atmosferik PM_{10}'un kaynak dağılımını incelemişlerdir. Bir yıl boyunca (2019-2020) beş tesiste PM_{10} örnekleri toplamış ve analiz etmişlerdir.PMF metodunun kullanıldığı çalışmada PM_{10} için dört ana emisyon kaynağı bulmuşlardır.Bu kaynakların % 51'i Karayolu trafik emisyonları, % 27,5'lik oranı endüstriyel emisyon ve mineral tozu, % 13,6 lokanta ve mesken emisyonları ve son olarak fosil yakıtlar % 7,9 olarak bulunmuştur.

4.5.5. PM_{10} kesrinde Sahra ve Akdeniz için kaynakların belirlenmesi

Geri yörünge analizi sonucunda belirlenen PM_{10} kesri için Sahra ve Akdeniz yörüngesine ait partikül madde örneklerinde ölçülen element konsantrasyonları için çalıştırılan PMF modeli sonucunda Sahra ve Akdeniz bölgesinden ulaşan yörünge için 6 faktör tanımlanmıştır. Bu yörüngedeki kaynakların katkı oranları Şekil 4.27.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.27. Sahra ve Akdeniz yörüngesinde kaynakların katkı oranları (PM_{10})

PM_{10} için Sahra ve Akdeniz yörüngesindeki kaynakların oranlarını belirleyen element içeriği Çizelge 4.10.'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. PM_{10} için Sahra ve Akdeniz yörüngesinde elementlerin faktör profillerindeki dağılımı (%)

Element	Endüstriyel	Toz Taşınımı	Endüstriyel 2	Toprak	Bölgesel ve/veya Taşınım	Trafik + Bölgesel
Ag	1	9	0	**28**	0	**62**
Al	1	1	1	**58**	**28**	12
As	2	**41**	**15**	6	**24**	10
B	1	**28**	8	9	**49**	5
Ba	2	**19**	9	**27**	**28**	**15**
Bi	2	**17**	**26**	9	**29**	**16**

Çizelge 4.10. **(devam)**

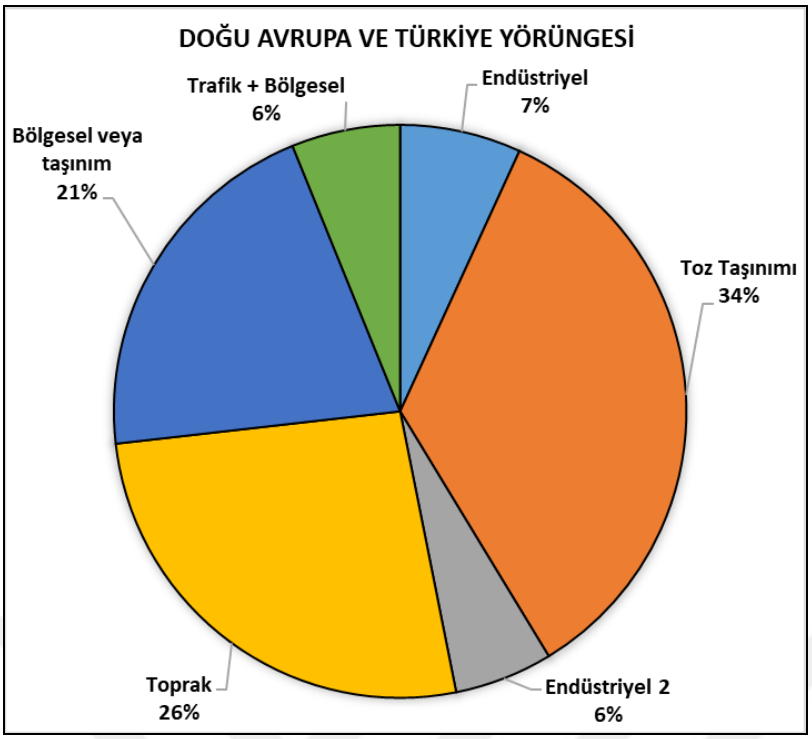
Ca	2	7	10	**26**	**49**	5
Cd	5	**20**	**38**	2	**20**	**15**
Ce	0	7	5	**63**	**18**	8
Co	**34**	3	8	**30**	**24**	1
Cr	**63**	5	7	6	**19**	0
Cu	3	13	7	7	**24**	**46**
Dy	0	8	5	**63**	**24**	0
Fe	9	7	9	**48**	**26**	2
Gd	0	2	9	**70**	**16**	3
Ge	2	**52**	**19**	6	**21**	0
Hf	1	**28**	6	**33**	**20**	11
Hg	**26**	**34**	**14**	5	0	**20**
K	2	5	**38**	**23**	**28**	4
La	0	7	6	**65**	**17**	4
Li	2	5	6	**57**	**14**	**15**
Mg	0	7	**15**	**46**	**31**	1
Mn	7	5	8	**42**	**32**	6
Mo	10	**29**	**20**	2	**22**	**16**
Na	4	0	6	**16**	**57**	**17**
Nb	6	2	**24**	**30**	0	**38**
Nd	0	4	9	**66**	**16**	4
Ni	**43**	13	10	9	**21**	3
P	2	**24**	4	**24**	**28**	**18**
Pb	0	0	**50**	0	11	**39**
Pr	0	0	6	**76**	13	4
Pt	**17**	**48**	4	4	**16**	12
Rb	1	7	**35**	**42**	**16**	0
Rh	1	**58**	0	4	**37**	1
Sb	2	**23**	**24**	2	**29**	**20**
Sc	0	8	10	**56**	**25**	1
Se	3	14	**34**	0	**16**	**32**
Si	4	**43**	14	9	**19**	12
Sm	0	1	8	**71**	**16**	3
Sn	3	9	0	14	**18**	**56**
Sr	1	2	9	**47**	**34**	7
Ta	12	**55**	3	1	**24**	5
Te	0	**26**	**28**	**20**	**18**	8
Th	1	0	5	**75**	**15**	4
Ti	0	9	12	**58**	**20**	0
Tl	1	6	**38**	9	5	**42**
U	1	**17**	**23**	**30**	**28**	1
V	2	**42**	**20**	4	**22**	9
Y	0	8	11	**60**	**20**	1
Zn	3	**25**	0	14	**16**	**42**
Zr	1	**29**	13	**34**	**20**	3

Çizelge 4.10.'da verilen değerlerde bölgesel taşınımın kirliliğe etkisi % 31 ile en yüksek seviyelerdedir.Bunun en önemli sebebi sahra çöl bölgesinden taşınan uzak menzil çöl tozlarıdır.

Nicolas ve ark. (2008), İspanya'nın güneydoğusunda yer alan Elche şehrinde toplanan PM_{10} numunelerin parçacık bileşenlerine ve kaynaklarını incelemişlerdir. Kaynak profillerinin tespit edilmesi için PMF modeli kullanılan çalışmada altı kaynak tanımlamışlardır. Kaynakları ikincil nitrat (%26), ikincil sülfat (%22), yerel toprak tozu (%21), trafik (%13), deniz tuzu (%11) ve Afrika tozuna (%7) olarak bulmuşlardır. PMF sonuçlarına göre yerel toz kaynağında Sahra toz kaynağının varlığından söz etmişlerdir. Giriş günlerine bağlı olarak Toplam PM_{10} konsantrasyonlarının % 5-40 arasındaki dilim Afrika Toz katkısına aittir. İncelenen dönemde PM_{10}'a Sahra tozunun katkısı olmasaydı toplam aşımların % 50 sinin gerçekleşmeyeceği bulunmuştur.

4.5.6. PM_{10} kesrinde Doğu Avrupa ve Türkiye için kaynakların belirlenmesi

Geri yörünge analizi sonucunda belirlenen PM10 kesri için Doğu Avrupa ve Türkiye yörüngesine ait partikül madde örneklerinde ölçülen element konsantrasyonları için çalıştırılan PMF modeli sonucunda Doğu Avrupa ve Türkiye bölgesinden ulaşan yörünge için 6 faktör tanımlanmıştır. Bu yörüngedeki kaynakların katkı oranları Şekil 4.28.'de verilmiştir.



Şekil 4.28. Doğu Avrupa ve Türkiye yörüngesinde kaynakların katkı oranları (PM_{10})

PM_{10} için Sahra ve Akdeniz yörüngesindeki kaynakların oranlarını belirleyen element içeriği Çizelge 4.11.'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. PM_{10} için Doğu Avrupa ve Türkiye yörüngesinde elementlerin faktör profillerindeki dağılımı (%)

Element	Endüstriyel	Toz Taşınımı	Endüstriyel 2	Toprak	Bölgesel ve/veya taşınım	Trafik + Bölgesel
Ag	**27**	0	0	5	**30**	**37**
Al	5	12	0	**69**	12	1
As	7	**53**	6	3	**26**	6
B	0	**56**	1	**25**	12	6
Ba	10	**39**	2	**27**	**16**	6
Bi	**34**	14	0	13	**26**	13
Ca	4	13	2	**50**	**29**	2
Cd	**53**	**20**	0	12	5	10
Ce	3	**21**	1	**64**	3	8
Co	4	13	**35**	**38**	6	4
Cr	0	**19**	**57**	9	5	10
Cu	7	**27**	0	4	**15**	**46**
Dy	0	**25**	1	**74**	0	0
Fe	4	**16**	11	**56**	11	1
Gd	4	8	2	**83**	2	2
Ge	2	**75**	8	6	0	8
Hf	5	**50**	1	**24**	5	**15**
Hg	**18**	**28**	**29**	0	3	**22**
K	**38**	7	0	**43**	10	2

Çizelge 4.11. **(devam)**

La	6	12	1	**69**	3	8
Li	8	5	5	**47**	11	**23**
Mg	6	11	1	**69**	8	5
Mn	2	14	8	**57**	11	9
Mo	**21**	**30**	10	5	**21**	13
Na	**23**	**30**	3	**23**	12	9
Nb	**25**	0	12	**18**	**17**	**29**
Nd	7	9	1	**75**	5	3
Ni	2	**32**	**37**	11	7	10
P	9	**32**	2	**23**	**27**	7
Pb	**74**	12	1	12	0	1
Pr	4	1	1	**87**	1	6
Pt	6	**82**	0	2	0	10
Rb	**22**	9	2	**60**	6	2
Rh	0	**80**	1	**16**	2	0
Sb	**26**	**34**	3	3	14	**21**
Sc	0	**21**	1	**72**	6	0
Se	**43**	**37**	0	0	0	**20**
Si	6	**55**	8	3	**19**	9
Sm	0	0	0	**77**	0	**23**
Sn	**19**	8	0	10	**44**	**19**
Sr	7	4	1	**65**	**23**	0
Ta	0	**76**	0	13	0	10
Te	**25**	**31**	9	**16**	13	5
Th	6	2	1	**86**	4	0
Ti	4	**16**	2	**70**	6	2
Tl	**37**	0	2	0	**23**	**38**
U	12	**14**	2	**45**	10	**16**
V	4	**59**	7	0	**25**	6
Y	6	**17**	2	**69**	7	0
Zn	**19**	**28**	4	1	**36**	12
Zr	4	**45**	3	**33**	4	11

Tablo 4.11'de verilen Doğu Avrupa ve Türkiye Yörüngesindeki PM_{10} element konsantrasyonlarında toz taşınımının yüzdesi diğer kirlilik kaynaklarından fazladır. Ağır metaller içerisindeki As, Co ve Cd gibi elementlerin değerleri anlamlı değerlerdir.

Juretić ve Mifka (2022) yaptıkları çalışmada Hırvatistan'ın liman kenti Rijeka'daki havadaki PM_{10} kaynaklarını araştırmışlardır. Havadaki partikül verilerin üzerinde PMF analizi yaparak, Rijeka kentsel alanındaki ana kirlilik kaynaklarını belirlemişlerdir. 2008–2010 döneminde yapılan PMF analizleri sonucunda 5 faktör belirlemişlerdir.Bu faktörler; Biyokütle yanması (% 19), ikincil sülfatlar (% 21), deniz spreyi (% 9), yol/toprak tozu (% 19) ve metal endüstrisi/trafik (% 31) olarak bulunmuştur.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Şanlıurfa atmosferinin kimyasal karekterizasyonunu incelemek amacıyla Şanlıurfa Osmanbey Kampüsü Çevre Mühendisliği binası çatısına kurulan örnekleme cihazı ile ince ($PM_{2.5}$) ve kaba (PM_{10}) fraksiyonlardaki partikül maddeler 2019-2020 yılları arasında 12 ay boyunca günlük olarak toplanmıştır. Toplanan numunelerin $PM_{2.5}$ ve PM_{10} konsantrasyonları ile birlikte PMF metodu ile konsantrasyonların muhtemel kaynakları ve katkı oranları belirlenmiştir.

Bu çalışmanın sonucunda;

Yapılan çalışmada $PM_{2.5}$ ve PM_{10} konsantrasyon değerlerinin DSÖ (Tablo 1.6) ve Avrupa Birliği'nin belirlemiş olduğu sınır değerleri ($PM_{2.5}$:25 µg/m³, PM_{10}:40 µg/m³) aştığı belirlenmiştir.

Geçiş mevsimlerinde PM konsantrasyonlarının arttığı ve PM'lerin çöl tozlarının etkisi ile fazlalaştığı belirlenmiştir.

İlkbahar mevsimi için ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyonu 16.83 µg/m³ iken PM_{10} konsantrasyonu 45.69 µg/m³ olarak bulunmuştur.

Yaz mevsimi içerisindeki $PM_{2.5}$ ve PM_{10} mevsimsel konsantrasyon değerleri sırasıyla; 39.61 ve 83.63 µg/m³ olarak bulunmuştur.

Sonbahar mevsimi içerisindeki $PM_{2.5}$ ve PM_{10} konsantrasyonlarının ortalama değerleri sırasıyla 41.81 ve 108.53 µg/m³ olarak hesaplanmıştır.

Kış mevsimi içerisindeki $PM_{2.5}$ ve PM_{10} konsantrasyon ortalama değerleri sırasıyla; 25,02 ve 55,60 µg/m³ olarak hesaplanmıştır.

Mevsimsel olarak PM'lerin analizi yapıldığında en yüksek ortalama değerine sahip mevsim sonbahar mevsimi olarak bulunmuştur. Sonbahar mevsimi içerisinde Suriye ve Arap Yarımadasından yoğun bir atmosferik toz taşınımının gerçekleşmesi bu mevsimin en yüksek ortalamaya sahip olmasına neden olmuştur.

Örneklemenin gerçekleştirildiği Nisan 2019 ile Mart 2020 tarihleri arasında hâkim rüzgâr yönü bölgede kuzeybatı ve güneydoğudur (Şekil 4.5.). Rüzgâr hızları ise genel olarak 4 m/sn'yi geçmemektedir.

Rüzgâr yönleri mevsimsel olarak değerlendirildiğinde ise temel olarak hâkim yönler çok fazla değişmese de ilkbahar ve yaz döneminde batı yönüne kayarken sonbahar ve kış aylarında güneybatı yönlü rüzgârlar artmaktadır.

Şanlıurfa atmosferinde var olan kimyasal elementlerin tespit edilmesi amacıyla 248 adet $PM_{2.5}$ ve 248 adet PM_{10} numunesi için 62 adet elementin enstrümental analizleri (Ag, Al, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Ga, Gd, Ge, Hf, Hg, Ho, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Nd, Ni, P, Pb, Pd, Pr, Pt, Rb, Rh, Sb, Sc, Se, Si, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Yb, Zn, Zr) gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları $PM_{2.5}$ ve PM_{10} olarak ayrı başlıklar altında incelenmiştir.

$PM_{2.5}$ için elementlerin yıllık konsantrasyonları incelendiğinde kalsiyum, silisyum, demir, potasyum, alüminyum, magnezyum, ve sodyum elementleri en yüksek değerlerde bulunmuştur.

Ca, Mg, Al, Fe gibi toprak kökenli elementler yüksek konsantrasyonlarda tespit edilmiştir. Şanlıurfa gibi bir bölgede iklimin yaz aylarında kurak geçmesi ve toprağın rüzgarlar vasıtasıyla hava akımları ile havaya karışarak partikül konsantrasyonlarını arttırdığı tespit edilmiştir.

$PM_{2.5}$ için ölçülen en yüksek ikinci element silisyumdur. Ortalama 3361 ng/m^3 olarak ölçülen silisyum sahra toz taşınımı ile ilişkilendirilmiştir.

PM_{10} örnekleri için ölçülen elementler arasında silisyum, kalsiyum, demir, alüminyum, potasyum, magnezyum ve sodyum en yüksek konsantrasyonlarda ölçülmüştür.

Toprak kökenli elementler arasında yer alan Ca, Mg, Al, Fe elementleri PM_{10} örneklerinde yüksek konsantrasyonlarda bulunmuştur.

PM_{10} örnekleri içerisinde en yüksek değere sahip element silisyum elementi olarak bulunmuştur.

HYSPLIT geri yörünge analizleri sonucunda elde edilen 5 geri yörüngeden Yörünge 1, Orta Doğu-Arap Yarımadası; Yörünge 2 ile 3 aynı yönlerden geldiği için birleştirilerek Sahra ve Akdeniz; Yörünge 4 ve 5 yine aynı bölgelerden ulaştığı için birleştirerek Doğu Avrupa ve Türkiye yörüngesi olarak isimlendirilmiştir. Toplamda 3 yörünge belirlenmiş ve değerlendirmeler bu yörüngeler üzerinden yapılmıştır.

Çalışmada PMF modeli kullanılarak hem $PM_{2.5}$ hem de PM_{10} kesrinde HYSPLIT geri yörünge analizi ile elde edilen 3 farklı geri yörünge için olası kaynaklar ve katkı oranları belirlenmiştir. Tozlu günlerin varlığı MODIS uydu görüntüleri ile birlikte desteklenmiştir.

$PM_{2.5}$ için belirlenen yörüngeler içerisinde ilk sırada yer alan Orta Doğu - Arap Yarımadası yörüngesinde 5 tanımlanmıştır. Bu kaynaklar sırasıyla %43 toprak, %30 toz taşınımı, %18 trafik ve bölgesel kaynaklar, %6 Bölgesel veya taşınım ve %3 endüstriyel kaynaklardır.

$PM_{2.5}$ için belirlenen yörüngeler arasında ikinci sırada yer alan Sahra-Akdeniz yörüngesinde 5 kaynak tanımlanmıştır. Bu kaynaklar sırasıyla %36 toprak, %29 toz taşınımı, %27 Bölgesel ve deniz tuzu, %5 trafik ve bölgesel kaynaklar, %3 endüstriyel kaynaklardır.

$PM_{2.5}$ için 3. ve son yörünge olan Doğu Avrupa-Türkiye yörüngesinde 5 partikül madde kaynağı tanımlanmıştır. Bu kaynaklar sırasıyla %36 toprak, %26 toz

taşınımı, %26 Bölgesel ve deniz tuzu, %5 trafik ve bölgesel kaynaklar, %7 endüstriyel kaynaklardır.

PM_{10} için belirlenen yörüngeler içerisinde ilk sırada yer alan Ortadoğu-Arap Yarımadası yörüngesinde 6 kaynak tanımlanmıştır. Bu kaynaklar sırasıyla %33 toprak, %23 Bölgesel veya taşınım, %20 toz taşınımı, %16 trafik ve bölgesel kaynaklar, %6 endüstriyel-1 ve %2 endüstriyel-2 kaynaklarıdır.

PM_{10} için belirlenen ikinci yörünge Sahra-Akdeniz yörüngesidir. Bu yörünge içerisinde PMF modeli sonucunda 6 kaynak tanımlanmıştır. Bu kaynaklar sırasıyla %31 Bölgesel veya taşınım, %23 toz taşınımı, %22 toprak, %9 trafik ve bölgesel kaynaklar, %12 endüstriyel 1 ve %3 endüstriyel 2 kaynaklardır.

PM_{10} için belirlenen son yörünge Doğu Avrupa ve Türkiye yörüngesidir. Bu yörüngede PMF modeli sonucunda 6 kaynak tanımlanmıştır. Bu kaynaklar sırasıyla %34 toz taşınımı, %26 toprak, %21 Bölgesel veya taşınım, %6 trafik ve bölgesel kaynaklar, %7 endüstriyel 1 ve %6 endüstriyel 2 kaynaklardır.

Literatürde PM kaynak belirlemesinde PMF modelinin kullanıldığı çalışmalardan birkaç tanesi Çizelge 5.1.'de özetlenmiştir.

Çizelge 1.1. Literatürde PMF modeli ile ilgili yapılan bazı çalışmalar

Çalışma Dönemi	Ülke/Şehir	Kirletici Tipi	Yöntem	Ana Kaynak	Referans
Nisan 2019-Mart 2020	Şanlıurfa, Türkiye	$PM_{2.5}$,PM_{10}	PMF	Toprak (%38), Toz taşınımı (%35), Trafik+bölgesel (%18), Bölgesel veya taşınım (%18), Endüstriyel (%2)	Bu çalışma
Eylül-Ekim 2020	Taipei, Tayvan	$PM_{2.5}$	PMF	Bölgesel taşınım (%61), Endüstriyel Amonyum Sülfat (%43)	Huang ve ark. (2022)
Ocak-Mart 2015	Hong Kong, Çin	$PM_{2.5}$	PMF	Dizel araç (%52), Tüplü araç (%10), LPG (%5), Amonyum sülfat (%20), Amonyum Nitrat (%6), Yol tozu (%7)	Wang ve ark. (2022)
2019-2020	Mekke, Suudi Arabistan	PM_{10}	PMF	Araç emisyonu (%51), Endüstriyel mineraller (%27.5), Restoran ve konut (%13.6), Fosil yakıt (%7.9)	Habeebullah ve ark. (2022)

Çizelge 5.1. **(devam)**

Ocak 2017-Mart 2017	Delhi, Hindistan	$PM_{2.5}$	PMF	Araç emisyonu (%12.1-25.3), İkincil kirleticiler (%11-23), Yer kabuğu (%3.8-10.7), Araç yakıtı (%9-23), Biyokütle yakma (%6-50.5), Kömür (%14-19.1)	Peter ve ark. (2022)
		PM_{10}		Araç emisyonu (%9.6-24.3), İkincil kirleticiler (%6.4-22.5), Yer kabuğu (%9-52), Araç yakıtı (%3-21), Biyokütle yakma (%7.4-28.6), Kömür (%13-17)	
Ocak-Nisan-Temmuz-Ekim, 2014	Changchun, Çin	$PM_{2.5}$	PMF	Endüstriyel(%18.9), Biyokütle ve kömür yakma (%24.2), Endüstriyel ve toprak kaynaklı toz (%5.7), Araç yakıtı (%23.0), İkincil iyon (%11.5), Hafif Endüstriyel (%13.0), Endüstriyel ve hibrit otomotiv (%3.6)	Tang ve ark. (2022)
Mayıs 2019-Mayıs 2020	Zürih, Almanya	$PM_{2.5}$,PM_{10}	PMF	Deniz tuzu (%5.4), Biyokütle yakma (%7.2), Yapı-inşaat (%4.3), Endüstriyel (%3.3), Araç (%5.4), Pb (0.7%), Zn (%0.7), Toz (%22.1)	Manousakas ve ark. (2022)
Eylül 2019-Ocak 220	Guangzhou, Çin	PM_{10}	PMF	Yanma (%50.53), Araç (%28.17)	Xu ve ark. (2022)
27 Kasım-1 Aralık 2018	Qingdao, Çin	$PM_{2.5}$,PM_{10}	PMF	Atık ve kömür yakma ($PM_{2.5}$:%46.0, PM_{10}:%86.5)	Zhu ve ark. (2022)
Mayıs 2011-Nisan 2012	Tetouan, Morocco	$PM_{2.5}$	PMF	Temel Kimyasal bileşikler (%34), İkincil aerosoller (%28), Karbon (%18), Tanımlanamayan kaynak (%4)	Benchrif ve ark. (2022)
Ekim 2012-Eylül 2013	Seul, Kore	$PM_{2.5}$	PMF-SMP (solver for mixture problem)	Biyokütle yakma (PMF:%12.0, SMP:%13.2), Egzoz (PMF:%18.9, SMP:%10.2), Yol tozu (PMF: %5.0, SMP:%11.2), İkincil aerosol (PMF:%51, SMP: %42.5)	Kim ve ark. (2022)
2015	Chengdu, Çin	$PM_{2.5}$	PMF	İkincil Aerosol (%35.9), Kömür (%37.3), Toz (%13.9), Biyokötle yakma (%11.7), Egzoz (%8), Endüstri (%3.1)	Kong ve ark. (2020)

Çizelge 5.1. **(devam)**

2014-2015	Liaoning, Çin	$PM_{2.5}$'a bağlı PAH	PMF-ILCR	Kömür (%26.3), Toz (%24.6), Egzoz (%21.9), Yakma (%18), Biyokütle yakma (%6.3)	Wang ve ark. (2020)
29 Nisan-9 Mayıs 2016	Güney Sichuan Havzası, Çin (Neijiang-NJ, Zigong-ZG ve Yibin-YB)	$PM_{2.5}$	PMF	Biyokütle yanması, NJ:%58, ZG:%65 ve YB:%56	Zhou ve ark. (2019a; 2019b)

5.2. Öneriler

Hava kirliliğin önlenmesi ve kontrolü açısından hava kirliliği ve iklim değişikliği birlikte ele alınmalı ve sağlık riskleri kapsamlı bir şekilde değerlendirilmelidir.

Hava kirliliği sorununa neden olan oluşum mekanizması oldukça karmaşık ve belirsizdir. Bu nedenle multidisipliner alanlara odaklanılarak çalışmalar birleştirilmelidir.

Bu çalışma hava kalitesi limitlerinin aşılmasını azaltmak için Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği değerlerinde yapılacak revizelere alt zemin hazırlamıştır.

KAYNAKLAR

ABBASİ, S., REZAEİ, M., KESHAVARZİ, B., MİNA, M., RİTSEMA, C., and GEİSSEN, V. 2021. Investigation of the 2018 Shiraz dust event: Potential sources of metals, rare earth elements, and radionuclides; health assessment. Chemosphere, 279, 130533.

ADAMS, R. M., HAMİLTON, S. A., and MCCARL, B. A. 1986. The benefits of pollution control: the case of ozone and US Agriculture. American Journal of Agricultural Economics, 68(4), 886-893.

ALEBİĆ-JURETİĆ, A., and MİFKA, B. 2022. Sources of airborne particulates (PM10) in the port city of Rijeka, Croatia. Environmental science and pollution research, 29(5), 6578-6590.

ALLEN, A. G. and MİGUEL, A. H. 1995. Biomass burning in the Amazon: Characterization of the ionic component of aerosols generated from flaming and smouldering rainforest and savannah, Environmental Science Technology, 29, 486-493.

ALLEN, A.G., NEMITZ, E., SHI, J.P., HARRISON, R.M. and GREENWOOD, J.C. 2001. Size distributions of trace metals in atmospheric aerosols in the united kingdom. Atmospheric Environment, 35 (27): 4581-4591.

ANDERSON, J.O., THUNDİYİL, J.G. and STOLBACH, A. 2012. Clearing the Air: A Review of the Effects of Particulate Matter Air Pollution on Human Health. J. Med. Toxicol. 8, 166–175.

APAYDIN A., 2005. Sanayiden Kaynaklanan Toprak Kirliliğinin Araştırılması: Samsun-Tekkeköy Bölgesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 4-6.

BAĞCI, H. R. 2013. Çöl tozlarının Elazığ Diyarbakır Adıyaman ve Şanlıurfa illerinde insan ve bitki üzerindeki etkileri/The effect of desert dust on plants and human health which has influence in Elazığ, Diyarbakır, Adıyaman and Şanlıurfa cities.

BALTACI, H. 2016. Türkiye'de Mart 2016 Döneminde Meydana Gelen Sahra Kaynaklı Toz Olayının Mekansal ve Zamansal Olarak İncelenmesi.

BAYRAM H. ve DİKENSOY Ö., 2006. Hava Kirliliği ve Solunum Sağlığına Etkileri, Tüberküloz ve Toraks Dergisi, 54

BAYRAM H., DÖRTBUDAK Z., FİŞEKÇİ F., KARGIN M. ve BÜLBÜL B. 2006. Hava Kirliliğinin İnsan Sağlığına Etkileri, Dünyada, Ülkemizde ve Bölgemizde Hava Kirliliği Sorunu, Dicle Tıp Dergisi, Cilt:33, Sayı:2, 105-112.

BECKER, S. 2008. Inorganic mass spectrometry: principles and applications. John Wiley & Sons.

BELL, M. L. 2012. Assessment of the health impacts of particulate matter characteristics. Research Report (Health Effects Institute), (161), 5-38.

BENCHERİF, H., BOUNHİR, A., BÈGUE, N., MİLLET, T., BENKHALDOUN, Z., LAMY, K. and GADOUALİ, F. 2022. Aerosol Distributions and Sahara Dust Transport in Southern Morocco, from Ground-Based and Satellite Observations. Remote Sensing, 14(10), 2454.

BENCHRİF, A., TAHRİ, M., GUİNOT, B., CHAKİR, E. M., ZAHRY, F., BAGDHAD, B. and COSTABİLE, F. 2022. Aerosols in Northern Morocco-2: Chemical Characterization and PMF Source Apportionment of Ambient PM2.5. Atmosphere, 13(10), 1701.

BETTMER, J., BAYÓN, M. M., ENCİNAR, J. R., SÁNCHEZ, M. L. F., and MEDEL, A. S. 2009. The emerging role of ICP-MS in proteomic analysis. Journal of proteomics, 72(6), 989-1005.

BORNA, E., KİANİ SADR, M. and HOSSEİNİ, S. A. 2021. Linking ground-satellite observations with HYSPLIT Back trajectory modeling to identify dust sources affecting Western Iran: A case study in Lorestan province. Environmental Health Engineering and Management Journal, 8(2), 77-86.

BOZKURT, Z. 2018. PM10 ve PM2.5 boyutundaki atmosferik partiküllerin bölgesel, Mevsimsel Değişimlerinin ve Meteorolojik Parametrelerle İlişkilerinin İncelenmesi.Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6(4), 1305–1320. https://doi.org/10.29130/dubited.428821

BOZKURT, Z., TAŞPINAR, F., GAGA, E. O., DÖĞEROĞLU, T., ÜZMEZ, Ö. Ö., PEKEY, B. and PEKEY, H. DÜZCE İLİNDE PARTİKÜL MADDE (PM10) KONSANTRASYONLARININ VE ELEMENT İÇERİKLERİNİN BELİRLENMESİ.

BREMNER, S. A., ANDERSON, H. R., ATKİNSON, R. W., MCMİCHAEL, A. J., STRACHAN, D. P., BLAND, J. M. and BOWER, J. S. 1999. Short-term associations between outdoor air pollution and mortality in London 1992-4. Occupational and environmental medicine, 56(4), 237-244.

BROWN, S. G., FRANKEL, A. and HAFNER, H. R. 2007. Source apportionment of VOCs in the Los Angeles area using positive matrix factorization. Atmospheric Environment, 41(2), 227-237.

BRUNEKREEF, B., JANSSEN, N. A., DE HARTOG, J., HARSSEMA, H., KNAPE, M. and VAN VLİET, P. 1997. Air pollution from truck traffic and lung function in children living near motorways. Epidemiology, 298-303.

CASTİLLO, S., MORENO, T., QUEROL, X., ALASTUEY, A., CUEVAS, E., HERMANN, L., MOUNKAİLA, M. and GİBBONS, W., 2008. Trace Element Variation In Size-Fractionated African Desert Dusts, Journal of Arid Environments 72; 1034–1045.

CHALOULAKOU A., KASSOMENOS P., SPYRELLİS N., DEMOKRİTOUC P. and KOUTRAKİS P. 2003. "Measurements of PM10 and PM2.5 Particle Concentrations in Athens, Greece", Atmospheric Environment, 37, sf. 649-660.

CHAMEİDES, W. L., YU, H., LİU, S. C., BERGİN, M., ZHOU, X., MEARNS, L. and GİORGİ, F. 1999. Case study of the effects of atmospheric aerosols and regional haze on agriculture: an opportunity to enhance crop yields in China through emission controls. Proceedings of the National Academy of Sciences, 96(24), 13626-13633.

CHAN, Y. C., HAWAS, O., HAWKER, D., VOWLES, P., COHEN, D. D., STELCER, E. and CHRİSTENSEN, E. 2011. Using multiple type composition data and wind data in PMF analysis to apportion and locate sources of air pollutants. Atmospheric Environment, 45(2), 439-449.

CHEN, J., Lİ, G., YANG, J., RAO, W., LU, H., BALSAM, W., and Jİ, J. 2007. Nd and Sr isotopic characteristics of Chinese deserts: implications for the provenances of Asian dust. Geochimica et Cosmochimica Acta, 71(15), 3904-3914.

CHEN, P. S., TSAİ, F. T., LİN, C. K., YANG, C. Y., CHAN, C. C., YOUNG, C. Y. and LEE, C. H. 2010. Ambient influenza and avian influenza virus during dust storm days and background days. Environmental health perspectives, 118(9), 1211-1216.

CHEN, Z., HUANG, X. and WANG, Q. 2009. The Effect of Air Pollution on Human Health in China: A Macro Evaluation

CHEW S, KOLOSOWSKA N, SAVELEVA L, MALM T. and KANNİNEN K.M., 2020. Impairment of mitochondrial function by particulate matter: Implications for the brain. Neurochemistry International, 135: 104694.

CHİLİNSKİ, M. T., MARKOWİCZ, K. M., ZAWADZKA, O., STACHLEWSKA, I. S., KUMALA, W., PETELSKİ, T. and ZAGAJEWSKİ, B. 2016. Modelling and observation of mineral dust optical properties over Central Europe. Acta Geophysica, 64(6), 2550-2590.

CHRİSTODOULOU, A., STAVROULAS, I., VREKOUSSİS, M., DESSERVETTAZ, M., PİKRİDAS, M., BİMENYİMANA, E. and SCİARE, J. 2022. Long-range transported pollution from the Middle East and its impact on carbonaceous aerosol sources over Cyprus. EGUsphere, 1-30.

COHEN, A. J., ROSS ANDERSON, H., OSTRO, B., PANDEY, K. D., KRZYZANOWSKİ, M., KÜNZLİ, N. and SMİTH, K. 2005. The global burden of disease due to outdoor air pollution. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A, 68(13-14), 1301-1307.

DEĞERLENDİRME, Ö. V., YATKIN, S. ve BAYRAM, A. 2007. İzmir Havasindaki Partikül Madde Kirliliği: Ölçüm ve Değerlendirme. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 9(2), 15-27.

DEHSHİRİ, S. S. H., FİROOZABADİ, B. and AFSHİN, H. 2022. A new application of multi-criteria decision making in identifying critical dust sources and comparing three common receptor-based models. Science of The Total Environment, 808, 152109.

DELFİNO, R.J., SİOUTAS, C. and MALİK, S. 2005. "Potential role of ultrafine particles in associations between airborne particle mass and cardiovascular health", Environmental health perspectives, 113(8), 934-946.

DEMİR, O. 2012. Çok değişkenli analizler ile Tokat ili hava kirliliğinin tahmininde Erken Uyarı Sistemi'nin geliştirilmesi (Master's thesis, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü).

DİMİTRİOU, K., PİKRİDAS, M., OİKONOMOU, K., SCİARE, J., SAVVİDES, C., VASSİLİADOU, E. and MİHALOPOULOS, N. 2022. A 3-Dimensional analysis of long-range transported particulate matter to the Eastern Mediterranean: Implication for the chemical components of PM1 and PM10. Atmospheric Pollution Research, 13(7), 101485.

DOĞAN, T. R., YEŞİLNACAR, M. İ. and CULLU, M. A. 2018. Seasonal investigation of atmospheric desert dust affecting sanliurfa using modis satellite and hysplit model data. Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, 36(3), 905-916.

DOMİNGO, J. L. and ROVİRA, J. 2020. Effects of air pollutants on the transmission and severity of respiratory viral infections. Environmental research, 187, 109650.

ĐORĐEVİĆ, D., TOŠİĆ, I., SAKAN, S., PETROVİĆ, S., ĐURİČİĆ-MİLANKOVİĆ, J., FİNGER, D.C. and DAGSSON-WALDHAUSEROVÁ, P. 2019. Can volcanic dust suspended from surface soil and deserts of Iceland be transferred to central Balkan similarly to African dust (Sahara). Frontiers in Earth Science, 7, 142.

DRAXLER, R. and HESS, G. 1998. An overview of the HYSPLIT_4 modeling system for trajectories,dispersion, and deposition. Australian Meteorological Magazine, 47, 295– 308.

DUCE, R.A., HOFFMAN, G.L. and ZOLLER, W.H. 1975. Atmospheric trace metals at remote northern and southern hemisphere sites: Pollution or natural? Science, 187 (4171): 59-61.

DUMANOGLU, Y., KARA, M., ALTİOK, H., ODABASİ, M., ELBİR, T. and BAYRAM, A. 2014. Spatial and seasonal variation and source apportionment of volatile organic compounds (VOCs) in a heavily industrialized region. Atmospheric Environment, 98, 168-178.

EMEP. 1999. Atmospheric emission inventory guidebook. E. E. Agency, Technical report No: 30, Denmark.

ENGELBRECHT, J. P. and DERBYSHİRE, E. 2010. Airborne mineral dust. Elements, 6(4), 241-246.

ERBAŞLAR, T., BIRGUL, A. and TAŞDEMİR, Y., 2006. Spatial fluctuation of sulphur dioxide (SO2) and particulate matter (PM) levels measured in Bursa, G.U. Journal of Science, 19 (3), 143–148

EUROPEAN UNION (E.U.), 2008. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. European Parliament, Council Technical Report 2008/50/EC.

FENG, Z. and KOBAYASHİ, K. 2009. Assessing the impacts of current and future concentrations of surface ozone on crop yield with meta-analysis. Atmospheric Environment, 43(8), 1510-1519.

FU, D., SONG, Z., ZHANG, X., XİA, X., WANG, J., CHE, H. and DUAN, M. 2020. Mitigating MODIS AOD non-random sampling error on surface PM2.5 estimates by a combined use of Bayesian Maximum Entropy method and linear mixed-effects model. Atmospheric Pollution Research, 11(3), 482-490.

FURU, E., ANGYAL, A., SZOBOSZLAİ, Z., PAPP, E., TÖRÖK, Z. and KERTÉSZ, Z. 2022. Characterization of Aerosol Pollution in Two Hungarian Cities in Winter 2009–2010. Atmosphere, 13(4), 554.

FURU, E., ANGYAL, A., SZOBOSZLAİ, Z., PAPP, E., TÖRÖK, Z. and KERTÉSZ, Z. 2022. Characterization of Aerosol Pollution in Two Hungarian Cities in Winter 2009–2010. Atmosphere, 13(4), 554.

FUSSELL, J. C. and KELLY, F. J. 2021. Mechanisms underlying the health effects of desert sand dust. Environment International, 157, 106790.

G. XU, L. JİAO, B. ZHANG, S. ZHAO, M. YUAN, Y. GU. and .X. TANG, 2017. "Spatial and Temporal Variability of the PM2.5/PM10 Ratio in Wuhan, Central China," Aerosol and Air Quality Research, vol. 17, no. 3, pp. 741-751.

GAFFNEY, J.S., MARLEY, N.A., CUNNINGHAM, M.M., MARTELLO, D.V. and ANDERSON, N.J. 2002. Using natural pb and its daughters (210bi and 210po) to estimate aerosol residence times. 16th Annual Conference on Fossil Energy Materials, Pittsburgh.

GE, D., NİE, W., SUN, P., LİU, Y., WANG, T., WANG, J. and DİNG, A. 2022. Characterization of particulate organic nitrates in the Yangtze River Delta, East China, using the time-of-flight aerosol chemical speciation monitor. Atmospheric Environment, 272, 118927.

GİLL, T. E., ZOBECK, T. M. and STOUT, J. E. 2006. Technologies for laboratory generation of dust from geological materials. Journal of hazardous materials, 132(1), 1-13.

GLOBAL, REGİONAL, AND NATİONAL COMPARATİVE RİSK ASSESSMENT OF 79 BEHAVİOURAL, ENVİRONMENTAL AND OCCUPATİONAL, AND METABOLİC RİSKS OR CLUSTERS OF RİSKS,

1990–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. Lancet. 2016; 388: 1659-1724.

GLOBAL, REGİONAL, AND NATİONAL LİFE EXPECTANCY, ALL-CAUSE MORTALİTY, AND CAUSE-SPECİFİC MORTALİTY FOR 249 CAUSES OF DEATH, 1980–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. Lancet. 2016; 388: 1459-1544.

GONE, J.K., ÖLMEZ, I. and AMES, M.R. 2000. Size distribution and probable sources of trace elements in submicron atmospheric particulate material. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 244 (1): 133-139.

GONG, J., Qİ, J., BEİBEİ, E., YİN, Y. and GAO, D. 2020. Concentration, viability and size distribution of bacteria in atmospheric bioaerosols under different types of pollution. Environmental Pollution, 257, 113485.

GOUDARZİ, G., ALAVİ, N., GERAVANDİ, S., YARİ, A. R., ASLANPOUR ALAMDARİ, F., DOBARADARAN, S. and MOHAMMADİ, M. J. 2019. RETRACTED ARTICLE: Ambient particulate matter concentration levels of Ahvaz, Iran, in 2017. Environmental geochemistry and health, 41(2), 841-849.

GOUDİE, A. S. 2014. Desert dust and human health disorders. In Environment International (Vol. 63, pp. 101–113).

GOUDİE, A. S. and MİDDLETON, N. J. 2006. Desert dust in the global system. Springer Science & Business Media.

GOUDİE, A.S. and MİDDLETON, N.J., 2006. Desert Dust in the Global System, Springer, Printed in the Germany,287.

GOUDİE, A.S. and MİDDLETON, N.J., 2001. Saharan dust storms: nature and consequences. Earth-Science Reviews, 56, 179–204.

CO, H.X., 2014." LEVELS AND COMPOSİTİON OF AMBİENT PARTİCULATE MATTER AT A MOUNTAİNOUS RURAL SİTE İN NORTHERN VİETNAM," AEROSOL AND AİR QUALİTY RESEARCH, VOL. 14, PP. 1917-1928.

HABEEBULLAH, T. M., MUNİR, S., ZEB, J. and MORSY, E. A. 2022. Source Apportionment of Atmospheric PM10 in Makkah Saudi Arabia by Modelling Its Ion and Trace Element Contents with Positive Matrix Factorization and Generalised Additive Model. Toxics, 10(3), 119.

HABRE, R., COULL, B. and KOUTRAKİS, P. 2011. Impact of source collinearity in simulated PM2.5 data on the PMF receptor model solution. Atmospheric environment, 45(38), 6938-6946.

HAN, X., Lİ, S., Lİ, Z., PANG, X., BAO, Y., SHİ, J. and NİNG, P. 2021. Concentrations, source characteristics, and health risk assessment of toxic heavy metals in PM2.5 in a plateau city (Kunming) in Southwest China. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(21), 11004.

HO, C. C., CHEN, L. J. and HWANG, J. S. 2020. Estimating ground-level PM2.5 levels in Taiwan using data from air quality monitoring stations and high coverage of microsensors. Environmental Pollution, 264, 114810.

HO, K. F., HO, S. S. H., HUANG, R. J., CHUANG, H. C., CAO, J. J., HAN, Y. and ZHANG, R. 2016. Chemical composition and bioreactivity of PM2.5 during 2013 haze events in China. Atmospheric Environment, 126, 162-170.

HOEK, G., BRUNEKREEF, B., VERHOEFF, A., WİJNEN, J. V. and FİSCHER, P. 2000. Daily mortality and air pollution in the Netherlands. Journal of the Air & Waste Management Association, 50(8), 1380-1389.

HOPKE, P.K., 1983. An introduction to multivariate analysis of environmental data. Analytical Aspects of Environmental Chemistry, 219, 219-262.
HOPKE, P.K., 2003. Recent developments in receptor modeling. Journal of Chemometrics: A Journal of the Chemometrics Society, 17(5), 255-265.
HRİSTOVA, E., VELEVA, B., GEORGİEVA, E. and BRANZOV, H. 2020. Application of positive matrix factorization receptor model for source identification of PM10 in the city of Sofia, Bulgaria. Atmosphere, 11(9), 890.
WİKİPEDİA, 2022.https://tr.wikipedia.org/wiki/Silisyum.Erişim tarihi: 24 Kasım 2022.
WİKİPEDİA,2022.https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7a/Atmosphere_gas_propotions.svg. Erişim tarihi: 26 Haziran 2022.
UVCFAN, 2022. https://uvcfan.com/partikul-olcum-cihazi/. Erişim tarihi: 20 Ekim 2022.
COĞRAFYALAR, 2022. https://www.cografyalar.com/dunya-colleri-haritasi/. Erişim tarihi: 25 Aralık 2022.
HUANG, C. S., LİAO, H. T., LU, S. H., CHAN, C. C. and WU, C. F. 2022. Identifying and quantifying PM2.5 pollution episodes with a fusion method of moving window technique and constrained Positive Matrix Factorization. Environmental Pollution, 120382.
HUANG, J., KANG, S., YİN, R., RAM, K., LİU, X., LU, H., GUO, J., CHEN, S. and TRİPATHEE, L. 2020. Desert dust as a significant carrier of atmospheric mercury. Environmental Pollution, 267, 115442.
HUANG, Y., WANG, L., CHENG, X., WANG, J., Lİ, T., HE, M. and Nİ, S. 2021. Characteristics of particulate matter at different pollution levels in Chengdu, southwest of China. Atmosphere, 12(8), 990.
IMANİ, M. 2020. A collaborative representation-based approximation method for remote sensing image fusion. International Journal of Remote Sensing, 41(3), 974-995.
IMANİ, M. 2021. Particulate matter (PM2.5 and PM10) generation map using MODIS Level-1 satellite images and deep neural network. Journal of environmental management, 281, 111888.
IN'T VELD, M., ALASTUEY, A., PANDOLFİ, M., AMATO, F., PEREZ, N., RECHE, C. and QUEROL, X. 2021. Compositional changes of PM2.5 in NE Spain during 2009–2018: A trend analysis of the chemical composition and source apportionment. Science of the Total Environment, 795, 148728..
JORQUERA, H. and RAPPENGLÜCK, B. 2004. Receptor modeling of ambient VOC at Santiago, Chile. Atmospheric Environment, 38(25), 4243-4263.
JUDA-REZLER, K., REİZER, M. and OUDİNET, J. P. 2011. Determination and analysis of PM10 source apportionment during episodes of air pollution in Central Eastern European urban areas: The case of wintertime 2006. Atmospheric Environment, 45(36), 6557-6566.
JUDA-REZLER, K., REİZER, M., MACİEJEWSKA, K., BŁASZCZAK, B. and KLEJNOWSKİ, K. 2020. Characterization of atmospheric PM2.5 sources at a Central European urban background site. Science of the Total Environment, 713, 136729.
KARA, M. 2014. Trace Elements In Environmental Compartments at Aliağa Region: Contribution of Industrial Sources (Doctoral dissertation, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye).
KARANASİOU, A., MORENO, N., MORENO, T., VİANA, M., DE LEEUW, F., and QUEROL, X. 2012. Health effects from Sahara dust episodes in Europe:

Literature review and research gaps. Environment International, 47, 107–114. https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.06.012

KASKAOUTİS, D. G., NASTOS, P. T., KOSMOPOULOS, P. G. and KAMBEZİDİS, H. D. 2010. The combined use of satellite data, air-mass trajectories and model applications for monitoring dust transport over Athens, Greece. International Journal of Remote Sensing, 31(19), 5089-5109.

KAYALAR, Ö., ARI, A., BABUCCU, G., KONYALILAR, N., DOĞAN, Ö., CAN, F. and BAYRAM, H. 2021. Existence of SARS-CoV-2 RNA on ambient particulate matter samples: a nationwide study in Turkey. Science of the Total Environment, 789, 147976.

KAYALAR, Ö., ARI, A., KONYALILAR, N., DOĞAN, Ö., CAN, F., ŞAHİN, Ü. A. and BAYRAM, H. 2021. Existence of SARS-CoV-2 RNA on ambient particulate matter samples: A nationwide study in Turkey. Science of The Total Environment, 147976.

KAYGALDURAK, S. 2010. Adapazarı atmosferi partikül maddelerinde (PM1, PM10) bulunan Fe, Pb, Cr, Zn, ve Cd içeriklerinin tayin edilmesi.

KEENE, W.C., PSZENNY, A.A.P., GALLOWAY, J.N. and HAWLEY, M.E. 1986. Sea- salt corrections and interpretation of constituent ratios in marine precipitation. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 91 (D6): 6647-6658.

KHAN MF, HİRANO K. and MASUNAGA S. Quantifying the sources of hazardous elements of suspended parti- culate matter aerosol collected in Yokohama, Japan. Atmos Environ 2010;44:2646–57.

KHOBRAGADE, P. P. and AHİRWAR, A. V. 2022. Source identification and ambient trace element concentrations of PM10 using receptor modeling in an urban area of Chhattisgarh, India. Geocarto International, 1-27.

KİM E, PARK H, PARK E A, HONG Y C, HA M, KİM H.C. and HA E.H, 2016. Particulate matter and early childhood body weight. Environment International, 94: 591–599.

KİM, S. W., HEO, J., BAE, M. S. and KİM, J. Y. 2022. PM2.5 source apportionment in Seoul, Korea: a comparison of PMF and SMP receptor modeling results. International Journal of Environmental Science and Technology, 1-10.

KOCATAŞ, A., 2006. ‘’Ekoloji ve Çevre Biyolojisi, 9. baskı, Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları’’, No: 52, 444, İzmir.

KONG, L., TAN, Q., FENG, M., QU, Y., AN, J., LİU, X. and WANG, Z. 2020. Investigating the characteristics and source analyses of PM2. 5 seasonal variations in Chengdu, Southwest China. Chemosphere, 243, 125267.

KUZU, S. L. 2010. Kentsel atmosferde partiküler madde boyut dağılımı ve bileşen analizi.

LACRESSONNİÈRE, G., FORET, G., BEEKMANN, M., SİOUR, G., ENGARDT, M., GAUSS, M. and VAUTARD, R. 2016. Impacts of regional climate change on air quality projections and associated uncertainties. Climatic Change, 136(2), 309-324.

LAİTY, J. 2008. Deserts and Deserts Environments, Printed in Singapore by Markono Print Media Pte Ltd. s.15.

LANDRİGAN, P. J. 2017. Air pollution and health. The Lancet Public Health, 2(1), e4-e5.

LEE, S., LİU, W., WANG, Y., RUSSELL, A. G. and EDGERTON, E. S. 2008. Source apportionment of PM2.5: Comparing PMF and CMB results for four

ambient monitoring sites in the southeastern United States. Atmospheric Environment, 42(18), 4126-4137.
Lİ, H. W., CHEN, K. S., LAİ, C. H., CHEN, T. Y., LİN, Y. C., LİN, Y.C. and LİN, M.H. 2021. Characterization of ambient particulate matters in an industry-intensive area in Central Taiwan. Atmosphere, 12(7), 926.
Lİ, J., MİCHALSKİ, G., OLSON, E. J., WELP, L. R., LARREA VALDİVİA, A. E., LARİCO, J. R. and PAREDES, L. M. 2021. Geochemical Characterization and Heavy Metal Sources in PM10 in Arequipa, Peru. Atmosphere, 12(5), 641.
Lİ, K., TALİFU, D., GAO, B., ZHANG, X., WANG, W., ABULİZİ, A. and ZHANG, Y. 2022. Temporal Distribution and Source Apportionment of Composition of Ambient PM2.5 in Urumqi, North-West China. Atmosphere, 13(5), 781.
Lİ, L., CHEN, J., CHEN, Y., HEDDİNG, D. W., Lİ, T., Lİ, L. and Lİ, G. 2018. Uranium isotopic constraints on the provenance of dust on the Chinese Loess Plateau. Geology, 46(9), 747-750.
LİPPMANN, M., CHEN, L. C., GORDON, T., ITO, K. and THURSTON, G. D. 2013. National Particle Component Toxicity (NPACT) Initiative: integrated epidemiologic and toxicologic studies of the health effects of particulate matter components. Research Report (Health Effects Institute), (177), 5-13.
LİU, L., URCH, B., SZYSZKOWİCZ, M., EVANS, G., SPECK, M., VAN HUANG, A. and SİLVERMAN, F. S. 2018. Metals and oxidative potential in urban particulate matter influence systemic inflammatory and neural biomarkers: A controlled exposure study. Environment international, 121, 1331-1340.
LİU, Q., HUANG, Z., HU, Z., DONG, Q. and Lİ, S. 2022. Long-Range Transport and Evolution of Saharan Dust Over East Asia From 2007 to 2020. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 127(18), e2022JD036974.
LİU, Y., Lİ, H., CUİ, S., NİE, D., CHEN, Y. and GE, X. 2021. Chemical Characteristics and Sources of Water-Soluble Organic Nitrogen Species in PM2.5 in Nanjing, China. Atmosphere, 12(5), 574.
LV, B., HU, Y., CHANG, H. H., RUSSELL, A. G., CAİ, J., XU, B. and BAİ, Y. 2017. Daily estimation of ground-level PM2.5 concentrations at 4 km resolution over Beijing-Tianjin-Hebei by fusing MODIS AOD and ground observations. Science of the Total Environment, 580, 235-244.
MAKRA, L., MATYASOVSZKY, I., GUBA, Z., KARATZAS, K. and ANTTİLA, P. 2011. Monitoring the long-range transport effects on urban PM10 levels using 3D clusters of backward trajectories. Atmospheric environment, 45(16), 2630-2641.
MANİSALİDİS, I., STAVROPOULOU, E., STAVROPOULOS, A. and BEZİRTZOGLOU, E. 2020. Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. Frontiers in Public Health, 8(February), 1–13.
MANOUSAKAS, M., FURGER, M., DAELLENBACH, K. R., CANONACO, F., CHEN, G., TOBLER, A. and PRÉVÔT, A. S. 2022. Source identification of the elemental fraction of particulate matter using size segregated, highly time-resolved data and an optimized source apportionment approach. Atmospheric Environment: X, 14, 100165.
MANSHA, M., GHAURİ, B., RAHMAN, S. and AMMAN, A. 2012. Characterization and source apportionment of ambient air particulate matter (PM2.5) in Karachi. Science of the total environment, 425, 176-183.
MANTAS, E., REMOUNDAKİ, E., HALARİ, I., KASSOMENOS, P., THEODOSİ, C., HATZİKİOSEYİAN, A. and MİHALOPOULOS, N. 2014. Mass closure

and source apportionment of PM2.5 by Positive Matrix Factorization analysis in urban Mediterranean environment. Atmospheric environment, 94, 154-163.
MASSART, D. L., KAUFMAN, L. and COOMANS, D. 1980. An operational research model for pattern recognition. Analytica Chimica Acta, 122(4), 435-454.
MASSART, D. and KAUFMAN, L. 1983. The interpretation of analytical chemical data by the use of cluster analysis.
MBAZİMA, S. J., MASEKAMENİ, M. D. and NELSON, G. 2021. Physicochemical Properties of Indoor and Outdoor Particulate Matter 2.5 in Selected Residential Areas near a Ferromanganese Smelter. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(17), 8900.
MCCLELLAN, R.O., 2000. Particle interactions with the respiratory tract. In: Gehr, Peter, Heyder, Joachim (Eds.), Particle–Lung Interactions. Lung Biology in Health and Disease, vol. 143. Marcel Dekker, Inc., New York, 3–56.
MENON, S., HANSEN, J., NAZARENKO, L. and LUO, Y. 2002. Climate effects of black carbon aerosols in China and India. Science, 297(5590), 2250-2253.
MEO, S.A., AL-KHLAİWİ, T. and ULLAH, C.H. 2021. Effect of ambient air pollutants PM2.5 and PM10 on COVID-19 incidence and mortality: observational study. Eur Rev Med Pharmacol Sci, 25(23), 7553-64.
MEYER, C., DU PLESSİS, J. J. L. and OBERHOLZER, J. W. 1996. Handbook to reduce the exposure of workers to dust.
NAVA, S., CALZOLAİ, G., CHİARİ, M., GİANNONİ, M., GİARDİ, F., BECAGLİ, S. and LUCARELLİ, F. 2020. Source apportionment of PM2.5 in Florence (Italy) by PMF analysis of aerosol composition records. Atmosphere, 11(5), 484.
NGHİEM, T. D., NGUYEN, T. T. T., NGUYEN, T. T. H., LY, B. T., SEKİGUCHİ, K., YAMAGUCHİ, R. and DUONG, T. N. 2020. Chemical characterization and source apportionment of ambient nanoparticles: a case study in Hanoi, Vietnam. Environmental Science and Pollution Research, 27(24), 30661-30672.
NİCOLÁS, J., CHİARİ, M., CRESPO, J., ORELLANA, I. G., LUCARELLİ, F., NAVA, S. and 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.
ONAT, B., ALVER ŞAHİN, Ü. and SİVRİ, N. 2017. The relationship between particle and culturable airborne bacteria concentrations in public transportation. Indoor and Built Environment, 26(10), 1420-1428.
ÖZBEYAZ, A., TUFANER, F. ve DEMİRCİ, Y. 2016. Partikül Madde ile İlişkili Görüntüleri Kullanarak Hava Kirliliği Tahminine Ait Bir Model Tasarımı. 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC'16), April 2017, 969–975.
ÖZDEMİR, M.T. 2011. Çöl tozu taşınımlarının partiküler madde konsantrasyonu üzerine etkisi : Ankara İli örneği Desert dust transportation on particulate matter concentrations : A case study in Ankara. 68(1), 23–34.
ÖZKAN G. 2009. Endüstriyel Bölge Komşuluğunda Kıyısal Kırsal Alandaki Hava Kalitesi; Muallimköy'de Partikül Madddede ve Topraktaki Ağır Metal Kirliliği, Yüksek Lisans Tezi, GYTE Fen Bilimleri Enstitüsüsü, Gebze, 9,12-22.
PAATERO, P. 1997. Least squares formulation of robust non-negative factor analysis. Chemometrics and intelligent laboratory systems, 37(1), 23-35.

PAN, S., QİU, Y., Lİ, M., YANG, Z. and LİANG, D. 2022. Recent Developments in the Determination of PM2.5 Chemical Composition. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 1-5.

PARK, J. M., LEE, T. J. and KİM, D. S. 2022. Improving PMF source reconciliation with cluster analysis for PM2.5 hourly data from Seoul, Korea. Atmospheric Pollution Research, 13(5), 101398.

PARNİS, D. 2022. Saharan dust contributions to atmospheric aerosols in Malta (Master's thesis, University of Malta).

PASTORE, G., BAİRD, T., VERMEESCH, P., BRİSTOW, C., RESENTİNİ, A. and GARZANTİ, E. 2021. Provenance and recycling of Sahara Desert sand. Earth-Science Reviews, 216, 103606.

PETER, A. E., MENON, J. S., GEORGE, M., NAGENDRA, S. S. and KHARE, M. 2022. Composition, sources, and health risk assessment of particulate matter at two different elevations in Delhi city. Atmospheric Pollution Research, 13(2), 101295.

PETKOVA, E. P., Jack, D. W., Volavka-Close, N. H. and Kinney, P. L. 2013. Particulate matter pollution in African cities. Air Quality, Atmosphere & Health, 6(3), 603-614.

PLUMLEE, G. S., and ZİEGLER, T.L., 2007. The medical geochemistry of dusts, soils, and other earth materials: Invited. In: Lollar, B.S. (Ed.), Treatise on Geochemistry, vol. 9. Elsevier, pp. 1–61.

POSCHL, U. 2005. Atmospheric aerosols: Composition, transformation, climate and health effects. Angewandte Chemie-International Edition, 44 (46): 7520-7540.

PREVENTING DİSEASE THROUGH HEALTHY ENVİRONMENTS. A GLOBAL ASSESSMENT OF THE BURDEN OF DİSEASE FROM ENVİRONMENTAL RİSKS. WORLD HEALTH ORGANİZATİON, GENEVA,2016.

QOR-EL-AİNE, A., BERES, A. and GECZİ, G. 2022. Dust storm simulation over the Sahara Desert (Moroccan and Mauritanian regions) using HYSPLIT. Atmospheric Science Letters, 23(4), e1076.

QUÉNEL, P., VADEL, J., GARBİN, C., DURAND, S., FAVEZ, O., ALBİNET, A. and MERCİER, F. (2021). PM10 Chemical Profile during North African Dust Episodes over French West Indies. Atmosphere, 12(2), 277.

QUEROL, X., TOBÍAS, A., PÉREZ, N., KARANASİOU, A., AMATO, F., STAFOGGİA, M. and ALASTUEY, A. 2019. Monitoring the impact of desert dust outbreaks for air quality for health studies. Environment international, 130, 104867.

RAHMAN, M. S., BHUİYAN, S. S., AHMED, Z., SAHA, N. and BEGUM, B. A. 2021. Characterization and source apportionment of elemental species in PM2.5 with especial emphasis on seasonal variation in the capital city “Dhaka”, Bangladesh. Urban Climate, 36, 100804.

RAMÍREZ, O., DE LA CAMPA, A. M. S., SÁNCHEZ-RODAS, D. and JESÚS, D. (2020). Hazardous trace elements in thoracic fraction of airborne particulate matter: Assessment of temporal variations, sources, and health risks in a megacity. Science of the Total Environment, 710, 136344.

RASTGELDİ DOĞAN, T., 2014. Şanlıurfa ili ve çevresini etkileyen atmosferik toz kaynaklarının araştırılması ve çevresel etki potansiyelinin irdelenmesi/Investigation of the atmospherical dust sources affecting Sanliurfa province and its environs and examination of its environmental impact potential (Doctoral dissertation).

RİDGWELL, A. J., 2002. Dust in the Earth System: the Biogeochemical Linking of Land, Air and Sea, Phil. Trans. R. Soc.360, Londra, 1–21.

S. MUNİR, 2017."Analysing Temporal Trends in the Ratios of PM2.5/PM10 in the UK," Aerosol and Air Quality Research, vol. 17 no. 1, pp. 34-48.

SAMEK, L., STEGOWSKİ, Z., STYSZKO, K., FURMAN, L., ZİMNOCH, M., SKİBA, A. and KONDURACKA, E. 2020. Seasonal variations of chemical composition of PM2.5 fraction in the urban area of Krakow, Poland: PMF source attribution. Air Quality, Atmosphere & Health, 13(1), 89-96.

SEİNFELD, JH. and PANDİS, SN., 2006. Atmospheric chemistry and physics, from air pollution to climate change. 2nd edition, John Wileyand Sons Inc., New Jersey

SENEVIRATNE, M.C.S., WADUGE, V.A., HADAGIRIPATHIRA, L., SANJEEWANI, S., ATTANAYAKE, T., JAYARATNE, N. and HOPKE, P.K. 2011. Characterization and source apportionment of particulate pollution in colombo, sri lanka. Atmospheric Pollution Research, 2 (2): 207-212.

SEVEN, T., CAN, B., DARENDE, B. N. and OCAK, S. 2018. Hava ve Toprakta Ağır Metal Kirliliği. Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, 1(2), 91–103. https://dergipark.org.tr/en/pub/ucbad/issue/38487/447131

SİROTENKO, O. D., ABASHİNA, H. V. and PAVLOVA, V. N. 1997. Sensitivity of the Russian agriculture to changes in climate, CO2 and tropospheric ozone concentrations and soil fertility. Climatic Change, 36(1), 217-232.

SOLEİMANİ, M., EBRAHİMİ, Z., MİRGHAFFARİ, N., MORADİ, H., AMİNİ, N., POULSEN, K. G. and CHRİSTENSEN, J. H. 2022. Seasonal trend and source identification of polycyclic aromatic hydrocarbons associated with fine particulate matters (PM2.5) in Isfahan City, Iran, using diagnostic ratio and PMF model. Environmental Science and Pollution Research, 29(18), 26449-26464.

SONG, C.H. and CARMICHAEL, G.R. 1999. The aging process of naturally emitted aerosol (sea-salt and mineral aerosol) during long range transport. Atmospheric Environment, 33 (14): 2203-2218.

SONİ, A., KUMAR, U., PRABHU, V. and SHRİDHAR, V. (2020). Characterization, source apportionment and carcinogenic risk assessment of atmospheric particulate matter at Dehradun, situated in the Foothills of Himalayas. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 199, 105205.

STRADLING, D., Air Pollution, Taylor & Francis Group, 37–44, New York.

SUN, H., SUN, J., ZHU, C., YU, L., LOU, Y., Lİ, R. and LİN, Z. 2022. Chemical characterizations and sources of PM2.5 over the offshore Eastern China sea: Water soluble ions, stable isotopic compositions, and metal elements. Atmospheric Pollution Research, 13(5), 101410.

T. M. A. HABEEBULLAH, 2016. "Chemical Composition of Particulate Matters in Makkah – Focusingon Cations, Anions and Heavy Metals," Aerosol and Air Quality Research, vol. 16, no, 2, pp. 336-347.

T.C. Sağlık Bakanlığı Refik Saydam Hıfzısıhha Enstitüsü, 2009. http://www.rshm.gov.tr. Erişim tarihi: 20 Ekim 2022.

TALBİ, A., KERCHİCH, Y., KERBACHİ, R. and BOUGHEDAOUİ, M. 2018. Assessment of annual air pollution levels with PM1, PM2.5, PM10 and associated heavy metals in Algiers, Algeria. Environmental Pollution, 232, 252–263.

TANG, J., YANG, Z., TUİ, Y. and WANG, J. 2022. Fine particulate matter pollution characteristics and source apportionment of Changchun atmosphere. Environmental Science and Pollution Research, 29(9), 12694-12705.

TEGEN, I. and SCHEPANSKİ, K. 2009, March. The global distribution of mineral dust. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 7, No. 1, p. 012001). IOP Publishing.

TEKER, A. G. 2020. İzmir ilinde 2009-2018 yillari arasinda partiküler madde kirliliği. 5(2), 216–222.

TEPE, A. M. 2016. Antalya ortam havasındaki PM2.5 ve PM10'a bağlı metal konsantrasyonlarının ve kaynaklarının belirlenmesi.

TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, 2019. Hava Kirliliği Raporu-2018, http://cmo.org.tr/resimler/ekler/9d62b3a 2bb620a4_ek.pdf. Erişim Tarihi: 01.04.2019.

TORGHABEH, A. K., Pradhan, B. and Jahandari, A. 2020. Assessment of geochemical and sedimentological characteristics of atmospheric dust in Shiraz, southwest Iran. Geoscience frontiers, 11(3), 783-792.

TUNA, G., FALAY, E. Ö., ALTIOK, H., KARA, M., DUMANOĞLU, Y., BAYRAM, A. ve ODABAŞI, M., 2013. Bir Endüstriyel Bölgedeki Hava Kirliliğinin Mekansal Dağılımının Ağaç Bileşenlerindeki İz Elementler Yardımıyla İncelenmesi.

V. EVAGELOPOULOS, S. ZORAS, A.G. 2013. "Triantafyllou, T.A. Albanis, "PM10-PM2.5 time series and fractal analysis," Global NEST: The International Journal Global NEST Journal, vol. 8, no. 3, pp. 234-240.

VAN DER EERDEN, L. J., TONNEİJCK, A. E. and WİJNANDS, J. H. 1988. Crop loss due to air pollution in the Netherlands. Environmental Pollution, 53(1-4), 365-376.

VAN VLİET, P., KNAPE, M., DE HARTOG, J., JANSSEN, N., HARSSEMA, H. and BRUNEKREEF, B. 1997. Motor vehicle exhaust and chronic respiratory symptoms in children living near freeways. Environmental research, 74(2), 122-132.

VARGA, G., KOVÁCS, J. and ÚJVÁRİ, G. 2013. Analysis of Saharan dust intrusions into the Carpathian Basin (Central Europe) over the period of 1979–2011. Global and Planetary Change, 100, 333-342.

WANG, B., Lİ, Y., XİE, Z., DU, S., ZENG, X., HOU, J. and MA, T. 2020. Characteristics of microbial activity in atmospheric aerosols and its relationship to chemical composition of PM2.5 in Xi'an, China. Journal of Aerosol Science, 146, 105572.

WANG, W., ZHANG, W., DONG, S., YONEMACHİ, S., LU, S. and WANG, Q. 2020. Characterization, pollution sources, and health risk of ionic and elemental constituents in PM2.5 of wuhan, central China. Atmosphere, 11(7), 760.

WANG, X., CHEN, L. W. A., LU, M., HO, K. F., LEE, S. C., HO, S. S. H. and WATSON J. G. 2022. Apportionment of Vehicle Fleet Emissions by Linear Regression, Positive Matrix Factorization, and Emission Modeling. Atmosphere, 13(7), 1066.

WANG, Y., HOPKE, P. K., XİA, X., RATTİGAN, O. V., CHALUPA, D. C. and UTELL, M. J. 2012. Source apportionment of airborne particulate matter using inorganic and organic species as tracers. Atmospheric environment, 55, 525-532.

WARK, K. and WARNER, C. F., 1981. Air Pollution, Its Origin And Control, Harper and Row Publishers, New York.

WARK, K. and WARNER, CF., 1981. Air pollution its origin and control. Harper and Row Publishers, New York.

WEİ Y, ZHANG J J, Lİ Z, GOW A, CHUNG K F, HU M, SUN Z, ZENG L, ZHU T, JİA G, Lİ X, DUARTE M. and TANG X., 2016. Chronic exposure to air pollution particles increases the risk of obesity and metabolic syndrome: findings from a natural experiment in Beijing. FASEB Journal, 30: 1–8.

WEİ, J., GUO, X., MARİNOVA, D. and FAN, J. 2014. Industrial SO2 pollution and agricultural losses in China: evidence from heavy air polluters. Journal of Cleaner Production, 64, 404-413.

WEİ, M., XU, C., XU, X., ZHU, C., Lİ, J. and LV, G. 2019. Size distribution of bioaerosols from biomass burning emissions: Characteristics of bacterial and fungal communities in submicron (PM1.0) and fine (PM2.5) particles. Ecotoxicology and environmental safety, 171, 37-46.

WESTENBARGER, D. A. and FRİSVOLD, G. B. 1995. Air pollution and farm-level crop yields: an empirical analysis of corn and soybeans. Agricultural and Resource Economics Review, 24(2), 156-165.

WHO, 2020. Air Pollution. https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_2, (Date of access: 5 March 2020).

WHO, 2021. World Health Statistics 2021: Monitoring Health for the SDGs 978-92-4-002705-3, Sustainable Development Goals 2021 (electronic version), Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

WORLD HEALTH ORGANIZATION and EUROPEAN CENTRE FOR ENVIRONMENT, 2021. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide.

WU, W., JİN, Y. and CARLSTEN, C. 2018. Inflammatory health effects of indoor and outdoor particulate matter. Journal of Allergy and Clinical Immunology, 141(3), 833-844.

XU, H., CEAMANOS, X., ROUJEAN, J. L., CARRER, D. and XUE, Y. 2014. Can satellite-derived aerosol optical depth quantify the surface aerosol radiative forcing. Atmospheric research, 150, 151-167.

XU, Z. J., ZHU, H. B., SHU, L. Y., LAİ, X. X., LU, W., FU, L. and Lİ, Q. S. 2022. Estimation of the fraction of soil-borne particulates in indoor air by PMF and its impact on health risk assessment of soil contamination in Guangzhou, China. Environmental Pollution, 308, 119623.

YANG, X., LİU, Y., Lİ, C., SONG, Y., ZHU, H. and JİN, X. 2007. Rare earth elements of aeolian deposits in Northern China and their implications for determining the provenance of dust storms in Beijing. Geomorphology, 87(4), 365-377.

YANG, X., ZHENG, M., LİU, Y., YAN, C., LİU, J., LİU, J. and CHENG, Y. 2022. Exploring sources and health risks of metals in Beijing PM2.5: Insights from long-term online measurements. Science of The Total Environment, 814, 151954.

Yİ, F., JİANG, F., ZHONG, F., ZHOU, X. and DİNG, A. 2016. The impacts of surface ozone pollution on winter wheat productivity in China–An econometric approach. Environmental Pollution, 208, 326-335.

YOUNG, D. and AİDUN, S. 1993. Ozone and Wheat Farming in Alberta: A Micro-study of the Effects of Environmental Change. Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroeconomie, 41(1), 27-43.

YU, W. L., LİU, W. L., CHAN, K. S., YANG, C. C., TAN, C. K., TSAİ, C. L. and CHUANG, Y. C. 2018. High-level ambient particulate matter before influenza attack with increased incidence of Aspergillus antigenemia in Southern Taiwan, 2016. Journal of microbiology, immunology and infection, 51(1), 141-147.

YUKHYMCHUK, Y., MİLİNEVSKY, G., SYNİAVSKYİ, I., POPOVİCİ, I., UNGA, F., SCİARE, J. and GOLOUB, P. 2022. Aerosol Mineral Dust Pollution over Nicosia, Cyprus, April 2019.

ZEYDAN, Ö. 2021. Assessment of Particulate Matter (PM10) Pollution in Turkey in 2019. Journal of the Institute of Science and Technology, 11(1), 106–118.

ZHANG, Q., MAO, H., ZHANG, Y. and WU, L. 2021. Characterization of PM-bound heavy metal at road environment in Tianjin: size distribution and source identification. Atmosphere, 12(9), 1130.

ZHANG, X., Lİ, Z., WANG, F., SONG, M., ZHOU, X. and MİNG, J. 2020. Carbonaceous aerosols in PM1, PM2.5, and PM10 size fractions over the Lanzhou City, Northwest China. Atmosphere, 11(12), 1368.

ZHAO, W., BALSAM, W., WİLLİAMS, E., LONG, X. and Jİ, J. 2018. Sr–Nd–Hf isotopic fingerprinting of transatlantic dust derived from North Africa. Earth and Planetary Science Letters, 486, 23-31.

ZHOU, J., ITO, K., LALL, R., LİPPMANN, M. and THURSTON, G. 2011. Time-series analysis of mortality effects of fine particulate matter components in Detroit and Seattle. Environmental health perspectives, 119(4), 461-466.

ZHOU, Y., LUO, B., Lİ, J., HAO, Y., YANG, W., SHİ, F. and XİE, S. 2019a. Characteristics of six criteria air pollutants before, during, and after a severe air pollution episode caused by biomass burning in the southern Sichuan Basin, China. Atmospheric Environment, 215, 116840.

ZHOU, Z., TAN, Q., DENG, Y., WU, K., YANG, X. and ZHOU, X. 2019b. Emission inventory of anthropogenic air pollutant sources and characteristics of VOCs species in Sichuan Province, China. Journal of Atmospheric Chemistry, 76(1), 21-58.

ZHU, W., Qİ, Y., TAO, H., ZHANG, H., Lİ, W., QU, W. and ZHOU, Y. 2022. Investigation of a haze-to-dust and dust swing process at a coastal city in northern China part I: Chemical composition and contributions of anthropogenic and natural sources. Science of The Total Environment, 851, 158270.

ÖZGEÇMİŞ