

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ZONGULDAK İLİ ATMOSFERİNE UZUN MESAFELİ PARTİKÜL MADDE
TAŞINIMI

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BELMA HAYLAMAZ

EKİM 2019

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ZONGULDAK İLİ ATMOSFERİNE UZUN MESAFELİ PARTİKÜL MADDE
TAŞINIMI

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Belma HAYLAMAZ

DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi Özgür ZEYDAN

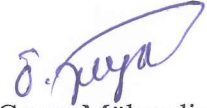
ZONGULDAK
Ekim 2019

KABUL:

Belma HAYLAMAZ tarafından hazırlanan “Zonguldak İli Atmosferine Uzun Mesafeli Partikül Madde Taşınımı” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 25/10/2019

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Özgür ZEYDAN

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü



Üye: Doç. Dr. Fatma ÖZTÜRK

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü



Üye: Dr. Öğr. Üyesi Sefa KOCABAŞ

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

..../..../20....



Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”



Belma HAYLAMAZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ZONGULDAK İLİ ATMOSFERİNE UZUN MESAFELİ PARTİKÜL MADDE TAŞINIMI

Belma HAYLAMAZ

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Özgür ZEYDAN

Ekim 2019, 99 sayfa

Doğal ya da antropojenik kaynaklı olarak atmosferde katı ya da sıvı olarak bulunan organik ve inorganik birçok farklı bileşeni bünyesinde bulunduran birkaç dakikadan birkaç haftaya kadar atmosferde asılı durabilen kirleticilere partikül madde (PM) denir. Aerodinamik yarıçapı 10 mikrometre veya daha az olan parçacıklar PM₁₀ olarak adlandırılır. İnsan sağlığını ve ekosistemi etkileyen ve ekonomik zararlara neden olan PM₁₀, atmosferdeki zararlı fraksiyonlardan biridir. Zonguldak'ta ısınma faaliyetlerinde yakıt olarak, termik santral ve sanayi faaliyetlerinde kömür kullanılması açısından PM₁₀ başlıca hava kirleticisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Çalışma alanında PM₁₀ ile ilgili yapılan çalışmalar olmasına karşın, bu çalışmalar uzun mesafeli taşınımın, PM₁₀konsantrasyonundaki artışı araştırmamıştır. Bu çalışmada, uzun mesafeli taşınım sonucu PM₁₀ kirleticisinin miktarının ne şekilde değiştiğini göstermek amaçlanmıştır. 2014-2017 yılları arasındaki Zonguldak Hava Kalitesi İzleme istasyonundan elde edilen PM₁₀ ölçümleri analiz edilmiştir. Bu inceleme sonucunda, hava kalitesindeki değişimin, hava kalitesi standartlarına uyulması ve yakıt olarak doğalgaz kullanımına geçilmesine bağlı olarak iyileşme yönünde olduğunu göstermiştir.

ÖZET (devam ediyor)

PM₁₀ ölçümlerinin istatistiksel analizi sonucunda kirlilik için önemli günler bulunmuştur. Bu günlere ait MODIS uydu görüntüleri Giovanni web uygulaması ile incelenmiştir ve uzun mesafeli taşınım ile da PM₁₀ artışının mevcut olduğu günler bulunmuştur. Bu çalışmada ayrıca HYSPLIT modeli TrajStat yazılımı kullanılarak geri yörüngeler, küresel meteorolojik veriler ve PM₁₀ ölçümleri ile birleştirilerek çalışma dönemindeki her gün için hesaplanmıştır. Her yıl için oluşturulan geri yörüngeleri ifade edecek ana kümeler oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda her yılda da uzun mesafeli taşınım ile Zonguldak iline taşınımın söz konusu olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, bu çalışma Zonguldak ili hava kalitesi üzerinde uzun mesafeli taşınımın önemini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: HYSPLIT, MODIS, PM₁₀, TrajStat, uzun mesafeli taşınım, Zonguldak.

Bilim Kodu: 615.02.02

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

LONG RANGE PARTICULATE MATTER TRANSPORT TO ATMOSPHERE OF ZONGULDAK

Belma HAYLAMAZ

**Zonguldak Bülent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering**

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Özgür ZEYDAN

October 2019, 99 pages

Pollutants that are suspended in the atmosphere for several minutes to several weeks, which contain many organic and inorganic components, either natural or anthropogenic in origin, present as solid or liquid in the atmosphere, are called particulate matter (PM). Particles with an aerodynamic radius of 10 micrometers or less are called as PM₁₀. PM₁₀, which effects human health and ecosystem and causes economic damages, is one of the harmful fractions in the atmosphere. PM₁₀ is the main air pollutant in terms of using coal as a fuel for heating activities in Zonguldak and coal use in thermal power plants and industrial activities. Although there are some studies on PM₁₀ in the study area, these studies do not investigate the effect of long range transport on the increase of PM₁₀ concentrations. In this study, it is aimed to show that PM₁₀ increases as a result of long range transport. PM₁₀ measurements, were obtained from Zonguldak Air Quality Monitoring Station between 2014 and 2017, were analyzed. As a result of this analysis, it has been shown that the change in air quality is improved due to compliance with air quality standards and natural gas use as fuel. As a result of statistical analysis of PM₁₀ measurements, important days were found for pollution. MODIS satellite images of these days

ABSTRACT (continued)

were examined by using Giovanni web tool and the days when PM₁₀ increase was found with long range transport. In this study, the HYSPLIT model was run for each day in the study period by combining back trajectories, global meteorological data and PM₁₀ measurements using TrajStat software. The main clusters were created to express the back trajectories for each year. As a result of the study, it has been observed that there exist a particulate transport to Zonguldak province by long range transport in every year. As a result, this study demonstrates the importance of long range transport on ambient air quality of Zonguldak city.

Keywords: HYSPLIT, MODIS, PM₁₀, TrajStat, long-distance transport, Zonguldak

Science Code: 615.02.02

TEŞEKKÜR

İlk olarak, bu alıőmada bana büyük yardımı olan, alıőma süresince bilgilerini, deneyimlerini ve desteğini esirgemeyen danıőmanım Dr. Öğr. Üyesi Özgür ZEYDAN'a,

Tez savunma jüri üyesinde bulunarak, düşünce ve önerilerini sunan ve çalışmaya katkıda bulunan Doç. Dr. Fatma ÖZTÜRK ve Dr. Öğr. Üyesi Sefa KOCABAŞ'a,

Çalışmaya başladığım ilk günden beri, her konuda yanımda olan ve beni destekleyen başta anneme olmak üzere tüm aileme teşekkür ediyorum.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL:	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
1.1 HAVA KİRLİLİĞİ	3
1.1.1 Hava Kirliliği Nedir?.....	3
1.2 PARTİKÜL MADDE	4
1.2.1 Partiküllerin Atmosferden Uzaklaşma Süreçleri.....	7
1.3 PM ₁₀ KİRLİLİĞİ	9
1.3.1 PM ₁₀ Kaynakları.....	9
1.3.2 PM ₁₀ 'nun İnsan ve Çevre Üzerine Etkileri	10
1.3.3 İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri	11
1.3.4 Çevresel Etkileri.....	12
1.4 HAVA KİRLİLİĞİ MEVZUATINDA PM ₁₀	13
1.5 HAVA KALİTESİ İNDEKSİ.....	15
1.5.1 Hava Kalitesi İndeksi (HKİ) Nedir?	15
1.5.2 HKİ Nasıl Kullanılır?	15
1.5.3 Hava Kalitesi İndeksi: PM ₁₀	15

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 2 ATMOSFERİK TAŞINIM	17
2.1 YAKIN VE KISA MESAFELİ TAŞINIM	18
2.2 ORTA MESAFELİ TAŞINIM	19
2.3 UZUN MESAFELİ TAŞINIM	19
2.4 TAŞINIMI ETKİLEYEN FAKTÖRLER	20
2.4.1 Klimatik Faktörler	20
2.4.1.1 Atmosferik Stabilite	20
2.4.1.2 Rüzgar Stresi	21
2.4.1.3 Yüksek Basınç ve Yağış Miktarı	21
2.4.1.4 Nem	22
2.4.1.5 Adveksiyon İnversiyonu	22
2.4.1.6 Konveksiyon	23
2.4.2 Çevresel Faktörler	24
BÖLÜM 3 LİTERATÜR ÖZETİ	25
3.1 TÜRKİYE'DEKİ ÇALIŞMALAR	25
3.2 PARTİKÜL MADDE TAŞINIMI İLE İLGİLİ DİĞER ÇALIŞMALAR	29
BÖLÜM 4 MATERYAL VE METOT	35
4.1 ÇALIŞMA ALANI	35
4.1.1 Konum ve Topoğrafya	35
4.1.2 Nüfus	36
4.1.3 Meteoroloji ve İklim	37
4.1.4 Hava Kirliliği Kaynakları	40
4.2 ÇALIŞMA ALANINDA PM ₁₀ ÖLÇÜMLERİ	42
4.3 HYBRİD SINGLE PARTICLE LANGRANGIAN INTEGRATED TRAJECTORY (HYSPLIT)	43
4.3.1 Yörüngeler	47

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
4.3.2 Yörünge İstatistikleri.....	49
4.3.3 Yörünge Hesaplama	50
4.3.4 Yörünge Kümeleme Analizi	51
4.4 UZAKTAN ALGILAMA İLE TOZ TAŞINIMININ BELİRLENMESİ.....	53
BÖLÜM 5 BULGULAR VE TARTIŞMA	55
5.1 YILLARA GÖRE PM ₁₀ İSTATİSTİKSEL ANALİZİ	55
5.2 UZUN MESAFELİ TAŞINIM.....	75
5.2.1 Kümeleme Analizi	75
BÖLÜM 6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	87
KAYNAKLAR.....	91
ÖZGEÇMİŞ	99



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 PM'nin oluşum ve uzaklaşma süreçleri	7
Şekil 1.2 Avrupa'da istasyonlarda ölçülen PM _{2.5} kirliliği	10
Şekil 1.3 Atmosferik parçacıkların ana kaynaklarının diyagramı	11
Şekil 2.1 PM ve diğer kirleticiler için taşıma mesafeleri	18
Şekil 2.2 Sahil kentlerinde adveksiyonun oluşumu	23
Şekil 4.1 Zonguldak ilinin Türkiye'deki konumu	35
Şekil 4.2 Zonguldak il merkezinin topografik haritası	36
Şekil 4.3 Zonguldak ili sıcaklık ve yağış grafiği	38
Şekil 4.4 2014 yılına ait rüzgar gülü	38
Şekil 4.5 2015 yılına ait rüzgar gülü	39
Şekil 4.6 2016 yılına ait rüzgar gülü	39
Şekil 4.7 2017 yılına ait rüzgar gülü	40
Şekil 4.8 Çalışma alanındaki kirlilik kaynaklarının konumu	42
Şekil 4.9 Zonguldak Hava Kalitesi İzleme İstasyonunun konumu	43
Şekil 4.10 Modelin çalışma yapısı	45
Şekil 4.11 Model verilerinin programa girilmesi	47
Şekil 4.12 Euler ve Lagrange yaklaşımları	48
Şekil 4.13 Dikey hareket seçimi	50
Şekil 4.14 Kümeleme verileri giriş ekranı	52
Şekil 5.1 Zonguldak 2014 yılı PM ₁₀ ölçümleri	55
Şekil 5.2 Zonguldak 08.12.2014 tarihindeki uydu görüntüsü	56
Şekil 5.3 2014 yılı PM ₁₀ konsantrasyonları için kutu grafiği	57
Şekil 5.4 Zonguldak iline ait 02.03.2014 tarihli MODIS görüntüsü	58
Şekil 5.5 Zonguldak'a ait 04.04.2014 tarihindeki uydu görüntüsü	59
Şekil 5.6 Zonguldak'a ait 09.07.2014 tarihine ait uydu görüntüsü	60
Şekil 5.7 Zonguldak 2015 yılı PM ₁₀ ölçümleri	60
Şekil 5.8 2015 yılı PM ₁₀ kutu grafiği	61
Şekil 5.9 Zonguldak'a ait 21.02.2015 tarihindeki uydu görüntüsü	62
Şekil 5.10 Zonguldak 27.03.2015 tarihindeki uydu görüntüsü	62
Şekil 5.11 Zonguldak 17.04.2015 tarihindeki uydu görüntüsü	63
Şekil 5.12 Zonguldak 18.04.2015 tarihindeki uydu görüntüsü	64
Şekil 5.13 Zonguldak 2016 yılı PM ₁₀ ölçümleri	64
Şekil 5.14 2016 yılı PM ₁₀ kutu grafiği	65
Şekil 5.15 Zonguldak 06.01.2016 tarihindeki uydu görüntüsü	66
Şekil 5.16 Zonguldak 29.02.2016 tarihindeki uydu görüntüsü	66

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.17 Zonguldak 08.04.2016 tarihindeki uydu görüntüsü	67
Şekil 5.18 Zonguldak 14.05.2016 tarihindeki uydu görüntüsü	68
Şekil 5.19 Zonguldak 20.07.2016 tarihindeki uydu görüntüsü	68
Şekil 5.20 Zonguldak 31.12.2016 tarihindeki uydu görüntüsü	69
Şekil 5.21 Zonguldak 2017 yılı PM ₁₀ ölçümleri	69
Şekil 5.22 2017 yılı PM ₁₀ kutu grafiği	70
Şekil 5.23 Zonguldak 01.03.2017 tarihindeki uydu görüntüsü	71
Şekil 5.24 Zonguldak 03.05.2016 tarihindeki uydu görüntüsü	72
Şekil 5.25 2014-2017 yılları PM ₁₀ konsantrasyonlarının kıyaslanması	73
Şekil 5.26 Zonguldak iline ait PM ₁₀ konsantrasyonlarının 2014-2017 arası hava kalitesi indeksi değerlerini aştığı günlerin analizi	75
Şekil 5.27 2014 küme sayısının belirlenmesi	76
Şekil 5.28 Geri yörüngelere uygulanan 2014 yılı kümeleme analizi sonuçları	77
Şekil 5.29 2015 küme sayısı	78
Şekil 5.30 Geri yörüngelere uygulanan 2015 yılı kümeleme analizi sonuçları	79
Şekil 5.31 2016 küme sayısı	80
Şekil 5.32 Geri yörüngelere uygulanan 2016 yılı kümeleme analizi sonuçları	81
Şekil 5.33 2017 küme sayısı	83
Şekil 5.34 Geri yörüngelere uygulanan 2017 yılı kümeleme analizi sonuçları	83

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 Farklı partiküllerin sınıflarının özellikleri.....	6
Çizelge 1.2 Partiküllerin çökme hızları	8
Çizelge 1.3 PM ₁₀ kirleticisi için geçiş dönemi uzun vadeli ve kısa vadeli sınır değerleri ve uyarı eşikleri	14
Çizelge 1.4 PM ₁₀ limit değerlerinin kademeli olarak azaltılması	14
Çizelge 1.5 Hava Kalitesi İndeksi	16
Çizelge 1.6 Ulusal hava kalitesi indeksi PM ₁₀ için kesme noktaları.....	16
Çizelge 1.7 İndeks için hesaplanan parametrelerin sınır değerleri.....	16
Çizelge 4.1 Zonguldak'a ait nüfus bilgileri (2014-2017).....	36
Çizelge 4.2 Zonguldak ili genel meteoroloji verileri	37
Çizelge 4.3 Zonguldak kömür ve doğalgaz kullanımı	41
Çizelge 4.4 Zonguldak ili motorlu taşıt sayısı.....	41
Çizelge 4.5 Çalışmada kullanılan model parametreleri	46
Çizelge 5.1 2014-2017 yılları PM ₁₀ ölçümlerinin istatistiksel incelemesi.....	73
Çizelge 5.2 Kümelere ait hava kütlelerinin 2014 yılı için dağılım yüzdesi ve PM ₁₀ konsantrasyonları.....	78
Çizelge 5.3 2015 yılı kümeleme analizi dağılım yüzdeleri ve PM ₁₀ konsantrasyonları.....	80
Çizelge 5.4 2016 yılı kümeleme analizi dağılım yüzdeleri ve ortanca PM ₁₀ konsantrasyonları.....	82
Çizelge 5.5 2017 yılı kümeleme analizi dağılım yüzdeleri ve PM ₁₀ konsantrasyonları.....	84



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

μ	: Mikro
m	: Metre
g	: Gram
km	: Kilometre
$^{\circ}\text{C}$: Santigrat derece
mm	: Milimetre
Δ	: Delta
Σ	: Toplam
cos	: Kosinüs

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
AGL	: Above Ground Level
ARL	: Air Resources Laboratory, United States
AOD	: Aerosol Optik Derinliği
AQI	: Air Quality Index
BAT	: Backward Trajectory
BC	: Black Carbon
BSC-/DREAM	: Barcelona Supercomputing Center-/ Dust Regional Modelling
ZBEÜ	: ZonguldakBülent Ecevit Üniversitesi
CAMx	: The Comprehensive Air Quality Model with Extension
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
CCN	: Cloud Condensation Nuclei
CMAQ	: Community Multiscale Air Quality
CO	: Karbon Monoksit

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

CWT	: Concentration Weighted Trajectory
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri
DNA	: Deoksiribonükleik Asit
DT	: Dark Target
DP	: Deep Blue
EC	: European Commission
ECMWF	: European Center for Medium-Range Weather Forecasts
EEA	: European Environment Agency
EPA	: Environmental Protection Agency, United States
FBE	: Fen Bilimleri Enstitüsü
HC	: Hidrokarbon
HKDYY	: Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği
HKİ	: Hava Kalitesi İndeksi
HYSPLIT	: Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory
MM5	: Mesoscale Meteorological Model
MODIS	: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NCAR	: National Center for Atmospheric Research, United States
NCEP	: The National Centers for Environmental Protection, United States
NMMB/BSC	: Non-hydrostatic Multiscale Model/Barcelona Supercomputing Center
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration, United States
NO_x	: Azot Oksitler
NO₂	: Azot Dioksit
O₃	: Ozon
PAH	: Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar
PM	: Partikül Madde
PM_{0.1}	: Aerodinamik çapı 0.1 µm'den daha küçük olan partikül madde
PM₁	: 1 µm ve altındaki partikül madde
PM_{2.5}	: Aerodinamik çapı 2.5-10 µm arasında olan partikül madde
PM₁₀	: Aerodinamik çapı 10 µm'den küçük olan partikül madde

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

PMF	: Positive Matrix Factorization
PSCF	: Potential Source Contribution Function
PVC	: Polyvinyl Chloride
READY	: Real-time Environmental Applications and Display System
SDS	: Science Data Sets
SO₂	: Kükürt Dioksit
SO_x	: Kükürt Oksitler
TMMOB	: Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
TPM	: Toplam Partikül Madde
TRAJSTAT	: Trajectory Statistics
TTK	: Türkiye Taşkömürü Kurumu
TUİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
WHO	: World Health Organization
WRF	: Weather Research and Forecasting
ZETES I	: Zonguldak Eren Termik Santrali I
ZETES II	: Zonguldak Eren Termik Santrali II
ZETES III	: Zonguldak Eren Termik Santrali III



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde teknoloji alanındaki gelişmeler, üretim ve tüketim sahasında insanlara sunulan şartlar ve bu gelişimlere bağlı olarak yaşam kalitesindeki artışla insanlar, kendi yaşam alanları ve diğer canlıların yaşam alanlarında kirlilik oluşumuna neden olmaktadır. Oluşturdukları bu kirlilik, insanlar ve doğadaki diğer tüm canlılar için yaşamını devam ettirmesini sağlayacak olan kaynakların tükenmesi veya kalitelerinin azalması, değişik hastalıkların oluşması gibi dolaylı ve direkt olarak birçok zararı meydana getirir.

Sanayi devrimi, artan nüfus, büyüyen şehirler ve araç filoları hava kirliliği problemini beraberinde getirmiştir. Bu problem ise halk sağlığını ve ekosistemi etkilemektedir (Özdemir 2008).

Hava kirliliği gelişimini tamamlamış ve gelişme aşamasındaki bütün ülkeler için problem oluşturacak önemli bir çevre sorunudur. Atmosferde toz, gaz, duman, koku, su buharı gibi formlarda oluşmuş veya oluşabilecek bütün hava kirleticilerinin insanlara, diğer canlı varlıklara ve kullanılan eşyalara zarar verecek miktarda artmasına hava kirliliği denilmektedir (Karakaş 2015). Başka bir ifadeyle hava kirliliği, soluduğumuz havada kirletici olarak kabul edilen maddelerin konsantrasyonu, bulunma süresi ve sıklığının insanı ve yaşadığı çevreyi, bununla birlikte insan refahını kötü etkileyecek şekilde artırmasıdır (Demirarslan 2016).

Hava kirliliğine sebep olan kirleticilerden partikül madde (PM) kirliliği, boyutları küçük ve karmaşık yapıda bulunan katı veya sıvı haldeki parçacıkların atmosferde asılı şekilde bulunması olarak ifade edilebilir (Demirarslan 2016). Partikül maddeler oluşum mekanizmalarına göre birincil ve ikincil partikül maddeler olarak ikiye ayrılır. Eğer partikül madde kaynağından atmosfere doğrudan ulaşıyorsa birincil PM, atmosferde kirleticilerin geçirdiği reaksiyonlar sonucunda oluşuyorsa ikincil PM denir. Atmosferde ikincil PM oluşturan gazlar kükürt dioksit (SO₂), azot oksitler (NO_x), amonyak (NH₃)'tır. Birincil PM ise doğal ve antropojenik kaynaklardan salınabilir (Tepe ve Doğan 2015).

PM₁₀ apı 10 mikrometre veya daha küçük olan sıvı ya da katı formda bulunan taneciklerdir. (Demirarslan 2016). Avrupa Birliği (AB) lkeleri öncülüğünde birçok ülkede PM₁₀ sınır değerleri belirlenmiştir. AB'de günlük ortalama PM₁₀ limit değeri 50 g/m³ iken yıllık ortalama PM₁₀ limit değeri 40 g/m³'tir (Karakas 2015).

Tezin birinci bölümünde kısaca hava kirliliğinden, partikül madde ve boyutlarından olarak bahsedilmiştir. Partikül maddelerin kaynaklarından, atmosferden uzaklaşma süreçlerinden, PM₁₀ kaynakları, insan sağlığı ve evre üzerine etkileri açıklanmıştır. Hava kirliliği mevzuatında PM₁₀ kirleticinin yeri, sınır değerler, hava kalitesi indeksi ve PM₁₀ için hava kalitesi değerleri ifade edilmiştir.

Bölüm ikide taşınım konusu detaylı bir şekilde incelenmiştir. Kısa mesafeli, orta mesafeli ve uzun mesafeli taşınım tanımlanmış, bu bölümde taşınımı etkileyen faktörlerden bahsedip her biri detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Bölüm üçte, literatürden elde edilen çalışmalar özetlenmiştir. İlk olarak Türkiye'de uzun mesafeli PM₁₀tařınımı ile ilgili yapılmış olan çalışmalar incelenmiş, HYSPLIT modeli ve TrajStat yazılımı haricinde başka programlarla da yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Daha sonrasında dünyada uzun mesafeli PM₁₀tařınımı ile yapılmış birçok çalışma özetlenmiştir. Ayrıca bu bölümde, uydu görüntüleri ile toz taşınımının tespiti hakkındaki çalışmalara da yer verilmiştir.

Tezin dördüncü bölümü ise materyal ve metot kısmıdır. Çalışma alanı olan Zonguldak ilinin konumu ve topoğrafik yapısından bahsedilmiştir. Zonguldak iline ait nüfus bilgileri verilip, meteoroloji ve iklim özelliklerinden bahsedilmiş, hakim rüzgar yönünü göstermek için rüzgar gl oluşturulmuştur. Zonguldak'ta mevcut olarak PM₁₀ kirliliğine katkıda bulunabilecek hava kirliliği kaynaklarından genel olarak bilgiler sunulmuştur. Çalışmada kullanılacak olan HYSPLIT modeli ile TrajStat yazılımı ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Ayrıca, toz taşınımını uydu görüntüleri vasıtasıyla belirlemek için kullanılan MODIS sensörü ve web tabanlı Giovanni aracı yine bu bölümde açıklanmıştır.

Beşinci bölüm ulaşılan sonuçların ve PM₁₀ lmleri için yapılan istatistiksel analizlerin sonuçlarının tartışıldığı bölüm olan bulgular ve tartışma bölümüdür. İlk olarak zaman serisi grafikleri ve kutu grafikleri ile yapılan inceleme sonucunda yüksek konsantrasyona sahip günler için Giovanni'den elde edilen uydu görüntülerinin kıyaslanmasına ait sonuçlar bu bölümde

verilmiştir. Daha sonrasında TrajStat yazılımı ile oluşturulan geri yörüngelere ait kümeleme sonuçları ve kümelerin uzun mesafeli taşınımına katkıları yine bu bölümde irdelenmiştir. Ayrıca bu bölümde PM₁₀ verileri için 2014-2017 çalışma dönemi sürecinde dört yıllık kıyaslama yapılmış ve değerlendirilmiştir.

Son bölümde ise sonuçlar ve öneriler verilmiştir. Uzun mesafeli taşınımın önemli olduğu ve kirliliğe katkıda bulunduğu sonucu irdelenmiş, halkın bilinçlendirilmesi ve sağlık açısından PM₁₀ kirliliği önemli olduğundan gerekli uyarıların yapılması gerektiğine değinilmiştir.

1.1 HAVA KİRLİLİĞİ

1.1.1 Hava Kirliliği Nedir?

Doğal olaylar, sosyal yaşamdaki aktivitelerden kaynaklanan is, duman, toz, buhar, gaz ve katı-sıvı haldeki kirletici maddelerin havanın doğal bileşimi ve yapısını değiştirerek, insan sağlığını, canlı hayatını ve ekolojik dengede hasara yol açacak miktarda artması ve bu kirleticilerin atmosferde bulunma süresinin artması olayına hava kirliliği denir. Atmosferdeki kirleticilerin doğal olarak bulunması gereken miktarı aşması sonucu zararlı etkilerin ortaya çıkmasına neden olur. Atmosferin yapısında bulunmayan kirleticilerin (büyük partikül maddeler gibi) havada bulunması gibi, atmosferin yapısındaki bileşenlerin normalin üstünde olması da hava kirliliği olarak belirtilebilir (Orhun 2013, Taşpınar ve Bakoğlu 2003).

Atmosfer çok hızlı hareket eden ve akışkan dinamik bir yapı gösterir. Böyle bir yapıya sahip olması çok sayıda kirletici maddenin atmosfere karışmasını kolaylaştırmaktadır. Hava kirliliğine neden olan maddelerin kaynakları çeşitlidir (Akman vd. 2012). Hava kirliliği oluşturan her madde kirletici olarak nitelendirilmektedir. Kirleticiler doğal ve antropojenik kaynaklardan yayılmasına bağlı olarak ikiye ayrılır. Doğal kaynaklar bitkisel kaynaklı yani biyojenik emisyonlar, volkanik faaliyetler sonucu atmosfere yayılan gaz ve partiküller, deniz tuzları, çöllerden gelen veya benzeri kaynaklı kumlar, polenlerdir (Zeydan 2014). Atropojenik kaynaklar ise insan faaliyetleri sonucu oluşan kirletici kaynaklarıdır. Ulaşım faaliyetleri (hava, deniz, kara yolu vb.) sonucunda taşıtlardan salınan emisyonlar, endüstri faaliyetleri sonucu oluşan gazlar ve ısınma amaçlı kullanılan fosil yakıtların yakılması ile meydana gelen kirleticiler sıralanabilir (Kılıç vd, 2014, Tünay ve Alp 1996).

Eski tarihlerden bu zamana kadar insanın yapmış olduğu faaliyetler neticesinde sanayileşmiş alanların çevresinde görülen hava kirliliği, nüfus ile paralel olarak yerleşim yerlerinin artması bu kirliliğin büyük bir alana yayılmasında etkili olmuştur. Dolayısıyla insan yaşamında fosil yakıtlara duyulan ihtiyaç nedeniyle atmosfere salınan emisyonlar, yerel, bölgesel ve küresel ölçekte çevre sorunlarına yol açmaktadır. Bu kirleticilerin artması ekolojik sistemdeki dengenin bozulmasına neden olmaktadır. Bu da, insanların fosil yakıt kullanımını azaltmasının gerekli olduğunu ve yerine pahalı fakat yenilenebilir ve kirliliğe daha az sebep olabilecek yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi gerekmektedir (Altıkat vd. 2011, Özdemir 2008).

Hava kirleticileri hareketli ve hareketsiz kaynaklar olmak üzere başlıca iki kaynaktan atmosfere karışır. Hareketsiz kaynaklar daha çok belirli bir bölge için kirlilik riski oluşturur ve nokta kaynaklar ve kaçak kaynaklardan yayılırlar. Bir veya birden fazla kontrol altına alınabilen kaynaklardan yayılan, örneğin santrallerin baca çıkışları gibi, kirleticileri ifade eder. İnşaat alanlarından, taş ocaklarından ve tarım alanlarından rüzgarla taşınan yani rüzgarın açık alanlardan getirmiş olduğu kaynaklar ise kaçak kaynak olarak adlandırılır. Hareketli kaynaklar daha geniş bir alanı etkisi altına alabilmektedir. Hareketli kaynak olarak ifade edilen çizgisel kaynak, hava, kara, deniz yoluyla yapılan ulaşım faaliyetleri sonucu oluşan emisyonlardır. Bu kaynaklardan yanma sonucu karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO_x), kükürt oksitler (SO_x), hidrokarbonlar (HC) ve partikül maddeler (PM) gibi kirleticiler atmosfere salınmaktadır (Akman vd. 2012, Erdoğan 2012, Orhun 2013).

Özellikle 20. yüzyılın ortalarından itibaren teknolojik gelişmelerdeki ilerlemelerle paralel olarak, sanayi faaliyetlerinin çoğalması, ısınma ve sanayi için kullanılan fosil yakıtların artması hava kirliliğinin belirgin bir şekilde artmasına neden olmuştur. Kentleşme, nüfus artışı buna paralel olarak kentlere göçün artması, tüketim faaliyetlerinin ve boyutunun değişmesi hava kirliliği epizotlarını arttırmıştır (Orhun 2013).

1.2 PARTİKÜL MADDE

Doğal ya da antropojenik kaynaklı olarak atmosferde katı ya da sıvı halde bulunan, organik ve inorganik birçok farklı bileşeni bünyesinde bulunduran, birkaç dakikadan birkaç haftaya kadar atmosferde asılı şekilde durabilen kirleticilere partikül madde denir (Can 2016, Seven vd. 2018, WHO 2013).

Partikül madde boyutuna (fiziksel özellikleri) ve oluşum (kimyasal özellikleri) mekanizmasına göre ikiye ayrılmaktadır. Partikül maddenin boyutu 0.002 μm ile 100 μm arasında değişmektedir. Aerodinamik çapı 0.1 ile 30 mikrometre arasındaki bütün parçacıkların toplamına toplam partikül madde (TPM) denilmektedir. Aerodinamik çapı 10 μm 'den küçük olan partikül maddeler PM_{10} ile gösterilmektedir. PM_{10} solunum yollarına kadar gidebilecek boyutta olmasından ve sağlık üzerine olumsuz etkilerinin daha büyük olmasından dolayı araştırmalar PM_{10} üzerine yoğunlaşmaktadır. Aerodinamik çapı 2.5 μm 'den küçük olanlar PM'nin ince kısmını oluşturur ve $\text{PM}_{2.5}$ ile ifade edilir, çapı 2.5-10 μm arasında olanlar ise kaba kısım olarak tanımlanır. $\text{PM}_{0.1}$, çapı 0.1 μm 'den daha küçük olan ultra ince partikülleri ifade etmektedir. Çekirdeklenme aralığı çapı 0.05 μm 'den küçük olan partikülleri ve birikim aralığı ise çapı 0.05-2 μm arasındaki partiküllerdir ve PM'nin ince kısmı oluşturmaktadırlar. Çekirdeklenme aralığındaki partiküller yüksek sıcaklıklarda meydana gelen yanmalar sonucu oluşan gazların yoğunlaşması ile ortaya çıkar. Atmosferde uzun süre kalamazlar. Bunun nedeni aerodinamik çapı daha büyük olan PM oluşumuna neden olma veya birbiri ile yumaklaşarak kendi çapını artırma eğilimindedirler. Birikim aralığı partikülleri ise uçucu partiküllerin yoğunlaşması, büyük yapıdaki partikül maddelerin ayrışması sonucu oluşurlar. Atmosferde bekleme süreleri çapı 0.05 ve çapı 2.5-10 μm olan PM'lerden daha uzundur. Çünkü atmosferde birbirleri ile karşılaşarak daha büyük PM madde oluşturmaları kolay değildir (Akyürek 2013, Can 2016, Özdemir 2008, Tepe ve Doğan 2015, Zeydan ve Yıldırım 2012).

PM, birincil ve ikincil partikül olmak üzere iki oluşum mekanizmasıyla ifade edilmektedir. Kaynaktan atmosfere doğrudan yayılan ve atmosferdeki gaz fazdaki partiküllerin hızlı reaksiyonlar sonucu yoğunlaşmasıyla oluşan partiküllere birincil PM denir. İkincil PM ise öncü gazların bir dizi kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşurlar. İkincil PM'ler oluşumuna neden olan gazların eşit bir şekilde yoğunlaşması ya da atmosferde daha önceden oluşmuş partiküllerin üzerinde yoğunlaşması süreçlerinden oluşur (Akyürek 2012, Can 2016).

Volkanik faaliyetler, orman yangınları, rüzgarla taşınan toprak ve kum tanecikleri, deniz tuzlarının dalgalar ile atmosfere karışması PM'nin doğal kaynakları olarak gösterilebilir. Fosil yakıtların yanması sonucu oluşan buhar, gaz ve küller, insanların tarım arazilerinde yapmış olduğu faaliyetler sonucu oluşan PM'ler, çimento fabrikalarının işlemleri sırasındaki oluşan kül ve tozlar, inşaat tozları, her türlü endüstri faaliyetleri sonucu oluşan katı, sıvı ve gaz formundaki atmosfere karışan partiküller PM oluşumuna neden olan antropojenik kaynaklar olarak ifade edilebilir (Ecer vd. 2017, Seven vd. 2018, Süren 2007).

Partikül maddeler tanecik boyutu, yoğunluğu, kimyasal yapısı ve sağlık üzerine etkilerine bağlı olarak yani nitelik ve nicelik bakımından çeşitlilik gösterir (Orhun 2013). Birincil PM iri tanecikli partiküller olarak, ikincil PM'ler ince ve ultra ince partiküller olarak sınıflandırılabilir. Bu partiküllerin genel olarak bileşimini oluşturan maddeler sülfatlar, nitratlar, amonyum, sodyum, klorür, karbon, mineral maddeler ve su olarak ifade edilebilir (Demirhan 2016). Partikül maddelerin nitelik ve nicelikleri Çizelge 1.1'de verilmiştir (Demirhan 2016).

Kentsel alanlarda $1\mu\text{m}$ (PM_{10}), $2.5\mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$) ve $10\mu\text{m}$ (PM_{10})'den daha küçük aerodinamik çapa sahip partikül maddeler hava kalitesi göstergesi olarak önemli bir yere sahiptir (Talbi vd., 2018). Havanın, doğal ya da insanlardan kaynaklanan partikül maddelerle kirlenmesi sonucu atmosferde toz görünümünün oluşması hava kalitesinin bozulduğunun bir göstergesidir. Partikül maddenin atmosferde aşırı derecede bulunması, görüş mesafesinin azalmasına, güneş ışınlarının taşıdığı enerjinin dalga boylarına etki ederek enerjinin atmosferde akışının değişmesine ve canlılar üzerinde olumsuz etkilerin oluşmasına neden olmaktadır (Ay vd. 2010).

Çizelge 1.1 Farklı partiküllerin sınıflarının özellikleri.

Sınıf		Kaynak	Oluşum Tipi	Kompozisyon
Toksikolojik	Meteorolojik			
Kaba partikül	PM_{10}	Doğal ve Antropojenik	Maden Erozyonu	-Bölgesel maddeler (alüminyum oksitler, silika) -Elemental karbon -organik karbon -sülfatlar, nitratlar ve amonyum
İnce partikül	$\text{PM}_{2.5}$	Ağırlıklı olarak Antrojenik	Yanma atığı, Yoğunlaştırma çekirdeklendirme	-Bölgesel maddeler -organik karbon -elementel karbon -Sülfatlar, nitrat ve amonyum -PAH'lar -Ağır metaller (Pb, Zn, Cd)*
Ultra ince partikül	$\text{PM}_{0.1}$	Ağırlıklı olarak Antropojenik	Yanma atığı	-Elementel karbon -PAH'lar -Ağır metaller (Pb, Zn, Cd)*

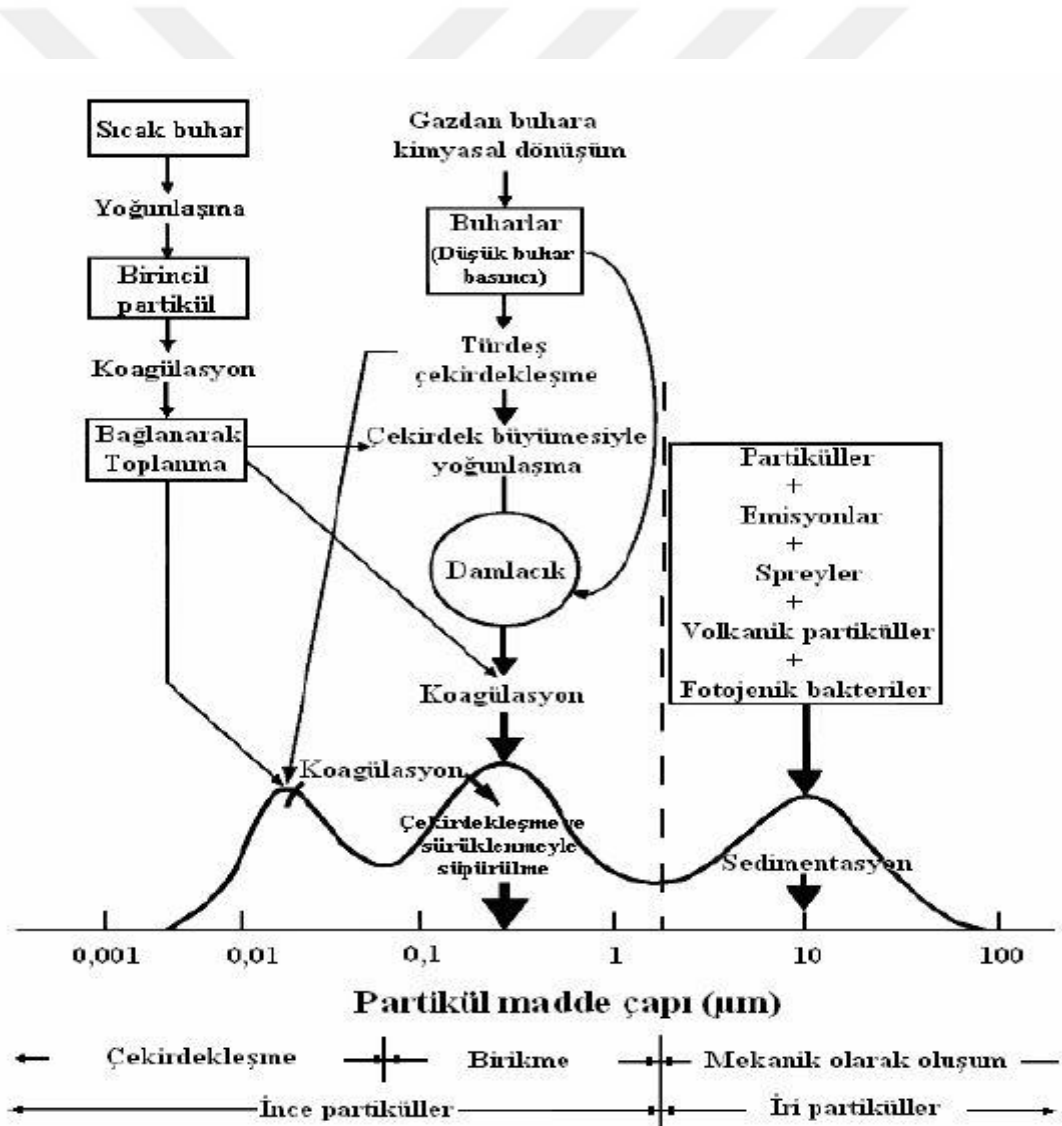
*Kurşun içeren parçacıkların yaklaşık %80'i $2\mu\text{m}$ 'den daha küçüktür.

** Parçacıkların yaklaşık %82'sinde polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH'lar) $2\mu\text{m}$ 'den küçük çapa sahiptir.

Partikül maddelerin boyutu, iklimsel etkilerinin belirlenmesi, insan ve canlıların sağlığının üzerine etkilerinin bilinmesi, kaynağının belirlenmesi ve atmosferde bekleme süresi ile uzaklaştırma mekanizmalarının belirlenmesi için önemli bir özelliktir (Orhun 2013).

1.2.1 Partiküllerin Atmosferden Uzaklaşma Süreçleri

Partikül maddelerin atmosferdeki giderim ya da yer değiştirme süreci boyutu ile doğrudan ilgilidir. 0.1 μm 'den küçük olan partikül maddeler molekül gibi hareket ederek Brownian hareketi gibi hareketlerle çarpışarak değişik boyutta partiküllere dönüşebilir. Bunun yanında aerodinamik çapı 20 μm 'den büyük olan partikül maddeler yer çekimi kuvvetinin etkisi doğrultusunda atmosferden çökerek uzaklaşma eğilimindedir. 20 μm 'den daha küçük olanlar ise kuru veya yaş çökme olarak iki şekilde atmosferden uzaklaşırlar (Bayramoğlu vd. 2017; Süren 2007). Şekil 1.1'de atmosferde oluşumları ve uzaklaşma süreçleri şematik olarak gösterilmiştir (Can 2016). Partikül maddelerin boyutlarına göre çökme hızı değişmektedir. Çizelge 1.2'de partiküllerin çökme hızına ait bazı bilgiler verilmiştir (Süren 2007).



Şekil 1.1 PM'nin oluşum ve uzaklaşma süreçleri.

Kuru çökme partiküllerin atmosferden yeryüzüne yağışsız havalarda geçişini ifade eder. Atmosferde gerçekleşen türbülans, partikül maddenin kimyasal yapısı ve çökmenin meydana geldiği yüzeyin özellikleri kuru çökme için önemli faktörlerdir. Gaz partiküller reaktif olmayan yüzeyler tarafından tutulması engellenirken, düzgün yüzeyler partiküllerin yüzeye çarpıp yansımaya neden olabilir. PM'nin yoğunluğu, şekil ve boyutu kuru çökmenin gerçekleşmesi için önemli faktörlerdir. Çekirdeklenme aralığındaki partiküller kuru çökme ile uzaklaşırken, birikme aralığındaki partiküllerin uzaklaşması bu çökme ile zordur. Ayrıca aerodinamik çapı 0.1 μm 'den küçük partikül maddelerin çökmesi olayında Brownian hareket önem taşırken 1 μm 'den büyük yapıdaki partikül maddelerin çökmesinde sedimentasyon baskın rol oynamaktadır (Bulut vd. 2008, Can 2016).

Çizelge 1.2 Partiküllerin çökme hızları.

Partikül Madde Boyutu (μm)	Çökme Hızı (cm/s)
0.1	4×10^{-5}
1	4×10^{-3}
10	0.3
100	30

Kirleticilerin atmosferden yağış, kar, bulut veya sis damlacıkları ile uzaklaşması yağ çökme olarak ifade edilmektedir. PM'nin yağ çökme mekanizması bulut içinde ve bulut altında olmak üzere iki şekildedir. Bulut yoğunlaşma çekirdeği (CCN) şeklinde bulut oluşumuna katılarak partiküllerin uzaklaşmasının sağlanması bulut içinde uzaklaşmadır. Bulut altındaki süreç ise yağmur, kar, sis gibi hava olaylarının partikül maddeleri toplayarak uzaklaştırmasıdır. Yağ çökme ile birikim aralığındaki partikül maddelerin giderimi yavaş bir süreç olarak gerçekleşmektedir (Can 2016). Yağ çökme atmosferdeki partikül maddelerin temizlenmesi için kullanılan etkin bir yıkama metodudur. Bu yöntem partikül madde ve diğer kirleticiler için uzaklaştırılmasında önemli bir yöntemdir. Yağ çökmeyle atmosferden çökelen kirleticinin kimyasal yapısına bağlı olarak çevre koşullarının zarar görmesine neden olmaktadır (Bayramoğlu vd. 2017).

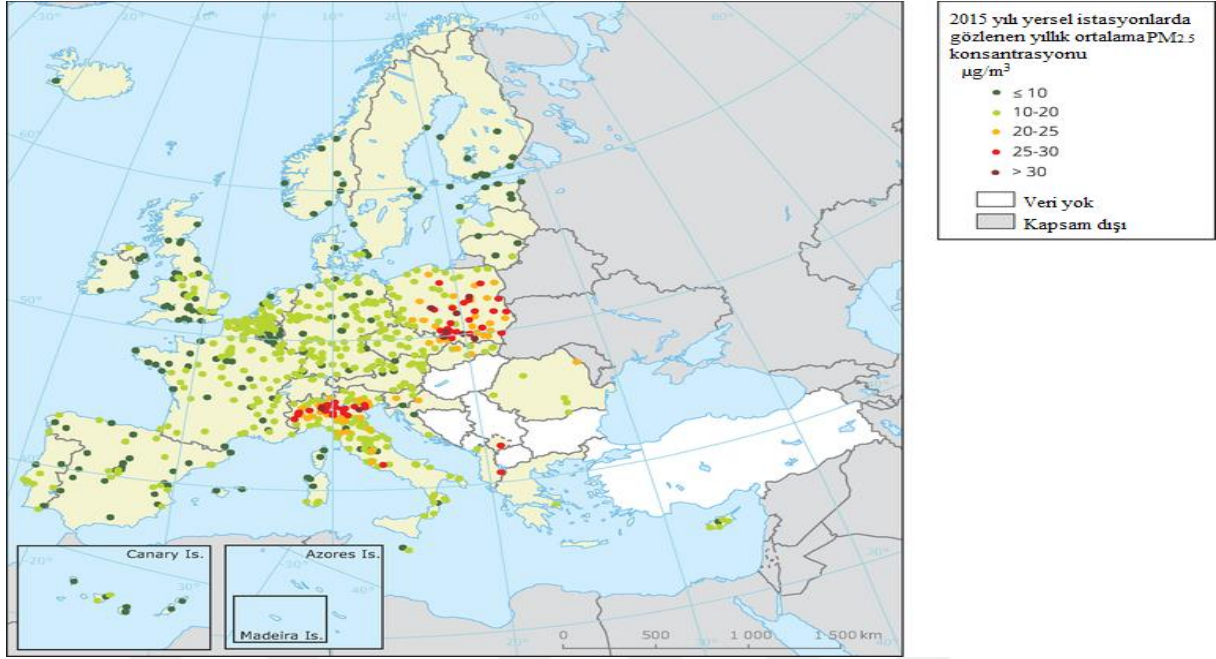
1.3 PM₁₀ KİRLİLİĞİ

1.3.1 PM₁₀ Kaynakları

PM₁₀, aerodinamik çapı 10 µm veya daha küçük olan bir hava kirleticisidir. Bu tür partikül maddeler çöl ve toz fırtınaları, orman ve otlak alanlarının yanması ve deniz spreyi gibi doğal kaynaklar tarafından üretilir. Ancak, kentlerde PM₁₀ konsantrasyonunun artmasına neden olan en büyük kaynak araçlardan, uçaklardan, enerji santrallerinden ve diğer endüstriyel süreçlerde kullanılan fosil yakıtların yanması sonucu insan faaliyetlerinin sonucunda oluşmaktadır. Hava koşulları ve trafik nedeniyle çevrenin (sokaklar ve binalar) sürekli aşınmasından kaynaklanan partiküllerde PM₁₀ kirliliğine neden olmaktadır (Fortelli vd. 2016, Karaca 2012).

Doğal kaynaklar, birincil PM'nin üç ana kaynağını oluşturmaktadır. Çöl bölgelerinde rüzgârın bu parçacıkları aşındırması sonucu meydana gelen kaynaklar bölgesel kaynaklardır. Dalga hareketi ile birlikte deniz suyu atmosfere püskürtülür ve buharlaşma olayı gerçekleşir. Bu olay sırasında atmosfere deniz tuzları karışmaktadır ve deniz suyuna yakın partiküller atmosferde bulunur. Atmosfere karışan bu doğal kirlilik deniz kaynaklı kirliliği ifade etmektedir. Doğal kaynaklardan bir diğeri de ağır yağ içeren bitkilerin, polen, spor ve bitki kalıntılarında kaynaklanan biyojenik kaynaklardır (Demirhan 2016).

İnsan faaliyetleri sonucunda meydana gelen ve kirlilik oluşumuna neden olan kaynaklar antropojenik kaynaklar olarak tanımlanır. Odunun yanması, kömür vb. fosil yakıtların yanması, motorlu taşıt ulaşımı, tarım faaliyetleri, endüstriyel faaliyetler birincil partiküllerin oluşmasına neden olur. Atmosferde meydana gelen bir dizi kimyasal reaksiyon sonucu ikincil partiküller oluşur. Bu kirleticiler kaynağın atmosfere verildiği noktadan aşağı bölgeye iner yani doğrudan kaynağın çıkışında etkisini göstermezler. Antropojenik partiküllerin emisyonu yaklaşık olarak $250-700 \times 10^6$ ton/yıl arasındadır. Yapılan bir çok çalışmada partikül madde fraksiyonlarının Avrupa'da önemli bir kirlilik kaynağı olduğu belirlenmiştir. Avrupa'daki kirliliğin aşırı derecede olması ağır sanayi faaliyetleri, trafik oranının yüksek olması, ülkelerdeki kentleşme oranlarının yüksek olması antropojenik kirliliğin derecesini artırmıştır (Demirhan, 2016; Kindap vd. 2006). Avrupa Çevre Ajansı (EEA) tarafından Avrupa genelinde istasyonlarda ölçülen kirlilik 2015 yılı için Şekil 1.2'de verilmiştir (URL 1).

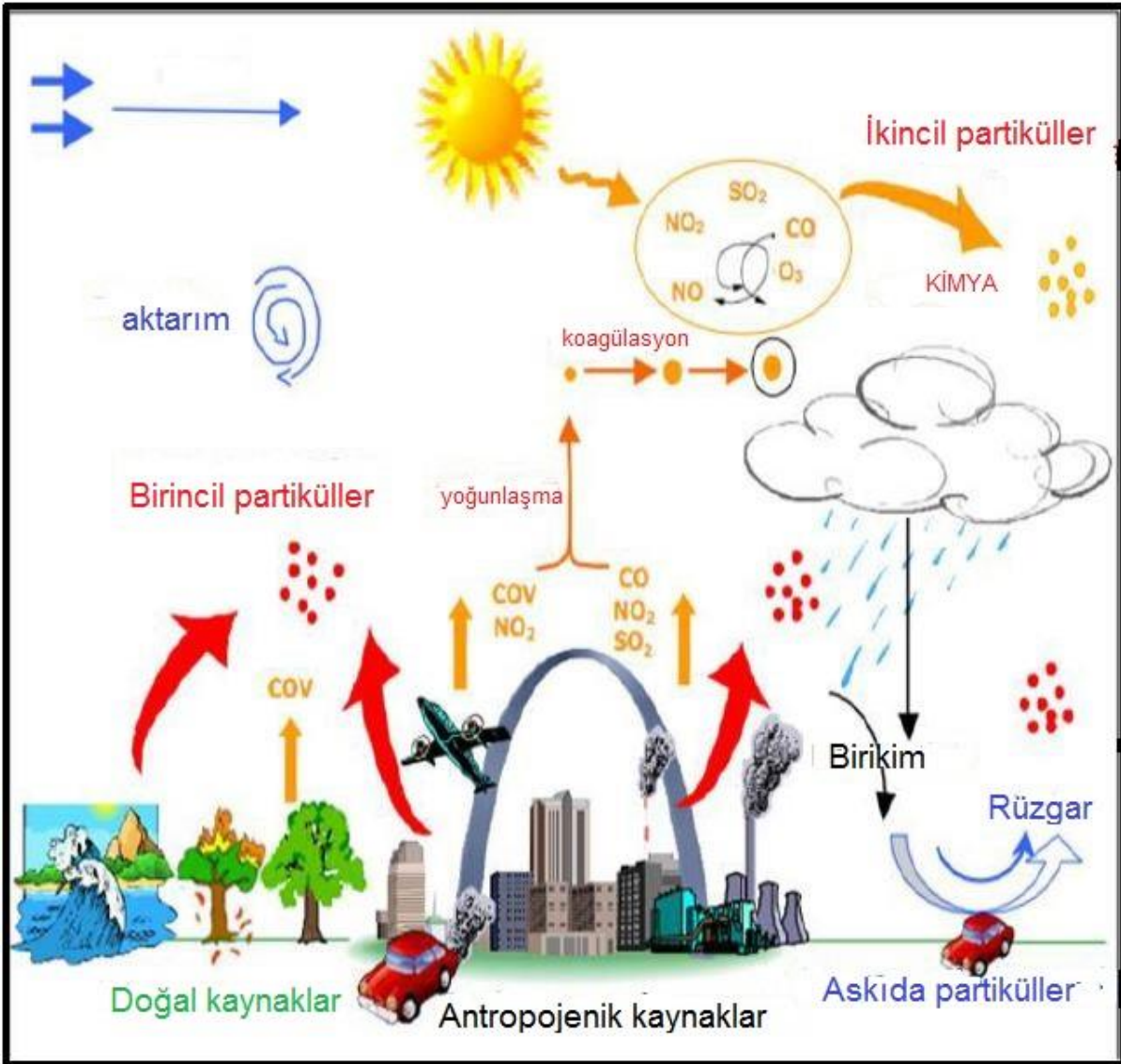


Şekil 1.2 Avrupa’da istasyonlarda ölçülen PM_{2,5} kirliliği.

Doğal ve antropojenik kaynakların oluşum mekanizmaları ve atmosferdeki hareketleri Şekil 1.3’de verilmiştir (Demirhan 2016).

1.3.2 PM₁₀’nun İnsan ve Çevre Üzerine Etkileri

İnsan sağlığı üzerinde olumsuz etki bırakan önemli kirleticilerden biri partikül maddelerdir. Partikül maddelerin kimyasal özelliği etkilerinin belirlenmesi açısından önemlidir. Partikül maddelerin temel bileşenleri, organik bileşikler, iyonlar, siyah karbon, poliaromatik hidrokarbon bileşikleridir. Bununla birlikte, partiküller içerisinde ağır metal de bulundurulabilirler, bu da canlı sağlığının olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. Bununla birlikte, partikülün boyutu sağlık üzerine etkisi ile paralellik göstermektedir. Atmosferde bulunan partikül maddelerden özellikle PM₁₀ kirliliği ekosistemde meydana getirdiği problemler, ekonomik olarak zarara uğratması ve insan ve canlı sağlığı üzerindeki etkileri nedeniyle en zararlı fraksiyon olarak belirlenmiştir (Sağlık Bakanlığı 2010, Varınca vd. 2008, Yawootti vd. 2015).



Şekil 1.3 Atmosferik parçacıkların ana kaynaklarının diyagramı.

1.3.3 İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri

PM₁₀ insan sağlığına etki edecek kadar büyük parçacıklardır. Bu partikül parçacıkları boğaz bölgesinde ve üst solunum yollarında birikim gösterir. PM₁₀ havada asılı şekilde kalır. Solunum sistemi ise bu partikül maddelerin insan ve canlı vücuduna girişinin birincil yolunu oluşturur. Partikül maddeler atmosferde sürekli bulunan ve takip edilmesi gerekli olan bir kirleticidir. Solunum ve dolaşım sistemi üzerinde oldukça etkili hasara neden olmaktadır (Demirhan 2016, Zeydan ve Yıldırım 2012).

PM₁₀, aerodinamik çapı 10 µm 'den küçük olan parçacıklar, solunum sırasında yutulmaktadır. Bu nedenle PM₁₀ kirliliği solunum yollarında tahribata, akciğerlerin işlevini yerine

getirememesine, kalp rahatsızlıkları gibi olumsuz durumların ortaya çıkmasına neden olur. Partikül maddelere akut ve kronik olarak maruz kalınması sonucu bazı hastalıkların ortaya çıktığı çalışmalar sonucunda belirlenmiştir. Yapılan çevresel epidemiyolojik çalışmalar, partikül madde kirliliğinin artması sonucunda solunum yolu, kalp rahatsızlıkları, akciğer kanseri kaynaklı ölüm ve hastalıkların artış göstermesi, çocuklarda astım hastalığının görülme riskinin artması gibi sorunlarla hastaneye başvuru sayıları arasındaki ilişkinin birbiri ile orantılı olduğunu vurgulamıştır. Bunun yanında toksikolojik çalışmalar ise serbest radikal oluşumu, oksidatif stres, DNA hasarları gibi partikül maddelerin hücre üzerindeki olumsuz etkilerini ortaya çıkarmıştır (Can 2016, Karaca 2008, Koçak vd. 2007, Wang vd. 2013). Yapılan çalışmalar sonucunda, PM₁₀ miktarındaki artışın miyokard infarktüsü için hastaneye yatış oranlarında artışa yol açtığı doğrulanmıştır. PM'nin kardiyovasküler morbiditede artış için önemli bir bağımsız risk faktörü olduğu açıktır (Polichetti vd. 2009).

Kirliliğe neden olan partikülün etkisinin belirlenmesi için partikülün kimyasal özellikleri, fibrotik reaksiyona neden olup olmaması, partikülün yüzey yapısı, şekil özellikleri ve aerodinamik çapı önemlidir. 10 mikrondan daha büyük çapa sahip partikül maddeler solunum yollarına girdikten sonra mukosilyer sistem aracılığıyla tutulur ve alveollere kadar ulaşması engellenmiş olur. Bu şekilde solunum sisteminden uzaklaştırılarak geri atılırlar. 10 mikrondan küçük olan partikül maddeler ise alveollere kadar ulaşarak kardiyovasküler sisteme zarar verici etkileri ortaya çıkmaktadır. Bu aerodinamik çapa sahip partikül maddelerin solunan havada bulunan konsantrasyonu PM₁₀ kirliliğini ifade eder. PM₁₀ kirliliğinin kardiyovasküler sistem üzerinde, kan basıncının değişim göstermesine, ateroskleroz, endotel disfonksiyonu, otonomik disfonksiyon, inflamisyona neden olma gibi birçok etkisinden söz edilebilir (Orhun 2013).

1.3.4 Çevresel Etkileri

Partikül maddeler görüş mesafesini azaltıcı yönde etki eder, tarımsal ve doğal ekosistemleri olumsuz etkilemesi, kültürel miras değerindeki yapılar üzerinde problemlere yol açması nedeniyle önemli bir kirleticidir. Partikül maddeler yeryüzüne gelen ve yansıyan ışınların saçılmasına ya da absorbe ederek doğrudan Dünya'nın radyasyon dengesinin etkilenmesine neden olur. Ayrıca partikül maddeler güneş ışınlarını azaltması nedeniyle tarım ürünlerindeki verimin azalması, suya taşınmasıyla su ekosistemlerinin etkilenmesi, uzun mesafede taşınması sonucu deniz canlı yapısını etkilemesi gibi durumlarda söz konusudur (Can 2016, Yatkın ve Bayram 2007).

Doğrudan veya dolaylı olarak iklim değişikliği üzerine de etkileri bulunmaktadır. Yeryüzüne gelen ışınların saçılması ve absorbe edilmesindeki düzenin bozulmasına neden olan partikül maddeler direkt olarak iklim değişikliğine etki eder. Partikül maddeler yeryüzeyine gelen ışınların yüzeye ulaşmadan geri dönmesine neden olur ve bu da partikül maddelerin soğumanın başlamasının önemli bir etkeni olduğunu gösterir. Örneğin yanardağ patlamaları sonucu meydana gelen partikül maddeler yeryüzü sıcaklığının birkaç yıl boyunca düşmesine neden olur. Bununla birlikte partikül maddeler bulut yoğunlaşma çekirdeği etkisi göstererek bulut ömür ve miktarlarında değişime sebep olmaktadır (Can 2016, Oğuz ve Dündar 2014).

PM birikmesi su üzerinde de önemli bir kirlilik nedenidir. Aynı şekilde partikül maddenin bitki örtüsü ve toprak yüzeyi üstünü kaplaması ekolojik dengede dolaylı ya da doğrudan etkilerin meydana gelmesine neden olur. Bu etkilerin farklı şekilde oluşmasında ya da etkisinin boyutlarının değişik miktarda gerçekleşmesinde partikül maddelerin boyutu, kimyasal özellikleri önemli bir kriterdir. Örneğin, asidik bir özelliğe sahip partikül maddenin ekosisteme girerek toprak, bitki veya su yüzeyine yerleşmesi bitkilerde hasara, toprak ve suda ise asitleşme oluşmasına neden olur (Demirhan 2016).

1.4 HAVA KİRLİLİĞİ MEVZUATINDA PM₁₀

Çevre ve insan sağlığı için olumsuz etkilerinden dolayı hava kirliliği kentsel yaşam kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Bu nedenle hava kirliliği izleme alanında yapılan çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Türkiye’de özellikle son yıllarda yapılan çalışmalar önemli bir hız kazanmıştır. Hava kirliliğinin doğru bir şekilde takip edilmesi, ölçülmesi daha güvenilir hava kirliliği politikaları belirlemek için önemlidir. Türkiye’de hava kirliliğini daha kaliteli şekilde belirlemek için 81 ilde 309’u sabit ve 4’ü de mobil olmak üzere 313 istasyona sahip Hava Kalitesi İzleme Ağı oluşturulmuştur. Bu izleme istasyonlarının hepsinde hava kalitesinin izlenmesinde önemli bir parametre olan SO₂ ve PM₁₀ kirletici ölçümleri yapılmaktadır (Dinçer vd. 2016).

PM₁₀ kirleticisi için Avrupa Birliği (AB) 2010 yılında Hava Kalitesi Direktifleri EC/30/1999 ve EC/69/2000 ile yıllık ortalama limit değerini 25 µg/m³ olarak belirlenmiştir. 2010 yılındaki son direktife göre PM₁₀ kirleticisi için günlük limit değer 50 µg/m³ olarak belirlenmiştir (Talbi vd. 2018). Bu değer bir yılda 35 kereden fazla aşılmaması gereklidir ve bu limit değer 2005 yılından itibaren yürürlüktedir. PM₁₀ için yıllık limit değeri 40 µg/m³’tür. Dünya Sağlık Örgütü

(WHO)'nün de belirlemiş olduğu limit değerler bulunmaktadır. PM₁₀ kirleticisi için önerilen günlük ve yıllık limit değerler sırasıyla 50 ve 25 µg/m³'tür (Can 2016, HKDYY 2008).

Ülkemizde hava kalitesi hedefini tanımlamak ve bu hedefi gerçekleştirmek amacıyla 2008 yılında Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği (HKDYY) yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelik AB'nin 96/62/EC, 99/30/EC, 2000/3/EC ve 2004/107/EC sayılı direktiflere göre hazırlanmıştır. Çizelge 1.3'te PM₁₀ kirleticisi için limit değerler, değerlendirme ve uyarı eşikleri verilmiştir (HKDYY 2008).

Çizelge 1.3 PM₁₀ kirleticisi için geçiş dönemi uzun vadeli ve kısa vadeli sınır değerleri ve uyarı eşikleri.

Kirletici	Ortalama süre	Sınır değer	Sınır değer yıllık azalması	Uyarı eşiği
PM ₁₀	-KVS- 24 saatlik % 95/yıl -insan sağlığının korunması için-	300 µg/m ³	Sınır değer, 1.1.2009 tarihinde başlayarak 1.1.2014 tarihine kadar 100 µg/m ³ (sınır değer %33'ü) olana kadar her 12 ayda bir eşit miktarda yıllık olarak azalır	İlk seviye: 260 µg/m ³ İkinci seviye: 400 µg/m ³
	Kış Sezonu Ortalaması (1 Ekim – 31 Mart) -insan sağlığının korunması için-	200 µg/m ³	Sınır değer, 1.1.2009 tarihinde başlayarak 1.1.2014 tarihine kadar 90 µg/m ³ (sınır değer %45'i) olana kadar her 12 ayda eşit bir miktarda yıllık olarak azalır	Üçüncü seviye: 520 µg/m ³ Dördüncü seviye: 650 µg/m ³
	-UVS- yıllık -insan sağlığının korunması için-	150 µg/m ³	Sınır değer, 1.1.2009 tarihinde başlayarak 1.1.2014 tarihine kadar 60 µg/m ³ (sınır değer %40'ı) olana kadar her 12 ayda eşit bir miktarda yıllık olarak azalır	(Verilen değerler 24 saatlik ortalamalardır)

Çizelge 1.4 PM₁₀ limit değerlerinin kademeli olarak azaltılması.

Yıllar	2014	2015	2016	2017	2018	2019
PM ₁₀ (µg/m ³) (24 saatlik Ort.)	100	90	80	70	60	50
PM ₁₀ (µg/m ³) (Yıllık)	60	56	52	48	44	40

Bu çalışma 2014-2017 yılları arasını kapsamaktadır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığının Hava Kalitesi İzleme istasyonundan alınan PM₁₀ ölçüm verileri bu limit değerlere göre incelenmiştir.

1.5 HAVA KALİTESİ İNDEKSİ

1.5.1 Hava Kalitesi İndeksi (HKİ) Nedir?

HKİ, hava kalitesinin günlük olarak ifade edilmesi ve kirlilik sınıflarının belirlenmesi amacıyla kullanılan bir indekstir. Hava kirliliğinin insan ve canlı sağlığına olan etkilerinin, yaşanan çevredeki havanın kirlilik derecesinin belirlenmesi gibi konularda yardımcı olur. Kirletilmiş havanın solunmasından sonra birkaç saat veya gün içinde meydana gelebilecek sağlık etkilerinin ifade edilmesinde kullanılır (Özdemir 2008).

1.5.2 HKİ Nasıl Kullanılır?

Ulusal HKİ, kendi mevzuatımıza ve sınır değerlerimize uyarlanarak EPA HKİ'ne göre oluşturulmuştur. Hava Kalitesi İndeksi beş temel kirletici olan PM₁₀, karbon monoksit (CO), SO₂, azot dioksit (NO₂) ve ozon (O₃) için hesaplanmaktadır (URL 2).

0-500 arasında düzenlenerek oluşturulmuş bir ölçüttür. HKİ değerinin artması hava kirliliğinin de arttığının bir göstergesidir. Dolayısıyla buna paralel olarak da çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkilerinin de arttığını göstermektedir. Örneğin, insan sağlığını etkileme riskinin az olduğu değer 50'dir. Aynı zamanda hava kirliliğinin düşük olduğu değer anlamına da gelmektedir. En riskli durum ise hava kalitesi değerinin 300'ün üzerinde olduğu durumdur. Bu durum insan sağlığı için tehlikeli hava kirlilik değerlerinin meydana geldiğini göstermektedir (Özdemir 2008).

1.5.3 Hava Kalitesi İndeksi: PM₁₀

Hava Kalitesi İndeksi değerleri, sağlık için endişe seviyeleri ve etkileri Çizelge 1.5'te gösterilmiştir (URL 2). Partikül madde hava kalitesinin takip edilmesi açısından en önemli atmosferik kirleticilerden birisidir. PM₁₀ kirleticisinin atmosferde bulunma miktarına göre hava kalitesinin sağlık için endişe uyandıracak seviyeleri Çizelge 1.6 'te verilmiştir (URL 2).

Çizelge 1.5 Hava Kalitesi İndeksi.

Hava Kalitesi İndeksi Değerler (AQI)	Sağlık Endişe Seviyeleri	Renkler	Anlamı
0-50	İyi	Yeşil	Hava kalitesi memnun edici ve hava kirliliği az risk veya hiç risk teşkil etmiyor.
51-100	Orta	Sarı	Hava kalitesi uygun fakat alışılmadık şekilde hava kirliliğine hassas olan çok az sayıdaki insanlar için bazı kirleticiler açısından orta düzeyde sağlık endişesi oluşabilir.
101-150	Hassas	Turuncu	Hassas gruplar için sağlık etkileri oluşabilir. Genel olarak kamunun etkilenmesi olası değildir.
151-200	Sağlıksız	Kırmızı	Herkes sağlık etkileri yaşamaya başlayabilir, hassas gruplar için ciddi sağlık etkileri söz konusu olabilir.
201-300	Kötü	Mor	Sağlık açısından acil durum oluşturabilir. Nüfusun tamamının etkilenme olasılığı yüksektir.
301-500	Tehlikeli	Kahverengi	Sağlık alarmı: Herkes daha ciddi sağlık etkileri ile karşılaşabilir.

Çizelge 1.6 Ulusal hava kalitesi indeksi PM₁₀ için kesme noktaları.

İndeks	PM ₁₀ (µg/m ³)
	24 sa. Ort.
İyi	0-50
Orta	51-100
Hassas	101-260
Sağlıksız	261-400
Kötü	401-520
Tehlikeli	>521

Partikül madde ve diğer kirleticiler için sınır değerler bulunmaktadır. Çizelge 1.7’de hava kalitesi için önemli olan kirleticiler için ulusal sınır değerler ve AB’ye üye ülkeleri sınır değerleri gösterilmiştir (URL 2).

Çizelge 1.7 İndeks için hesaplanan parametrelerin sınır değerleri.

Parametre	SO ₂ (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)	CO (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)
	1 sa ort.	1 sa ort	8 sa ort	8 sa ort	24 sa ort
Ulusal Sınır Değer (2019)	350	250	10 000	120	50
AB Üye Ülkeleri Sınır Değeri	350	200	10 000	120	50

BÖLÜM 2

ATMOSFERİK TAŞINIM

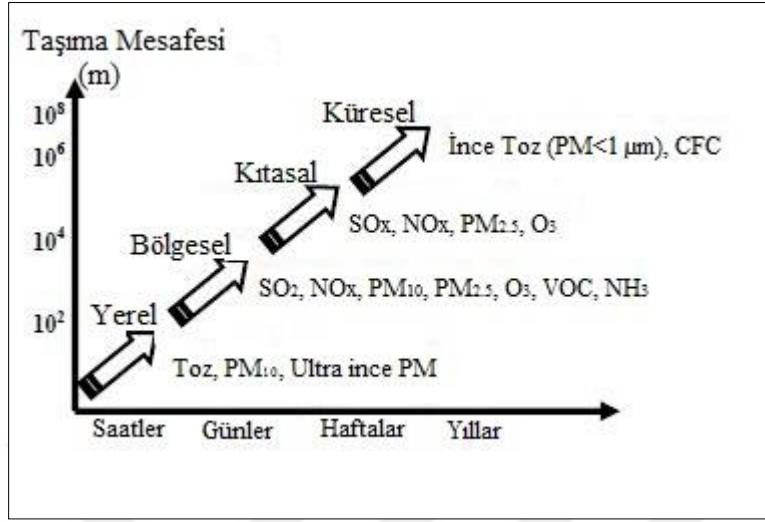
Atmosferde bulunan kirleticilerin rüzgâr, nem, sıcaklık gibi fiziksel etkenlerle ve kimyasal bir takım süreçlerin yaşanması sonucu kirleticinin bulunduğu noktadan ilerlemesiyle gerçekleşen duruma atmosferik taşınım denir (Orhun 2013). Atmosferde kirleticilerin taşınması sağlayan faktörler iki ana grupta değerlendirilebilir. Kirleticilerin taşınmasında dikey yönde ilerlemesi dikey hareketler, yatayda ise yatay hareketler aracılığıyla gerçekleşmektedir.

Atmosferdeki kirleticilerin dikeyde ilerlemesine neden olan ya da ilerlemesini olumsuz etkileyen başlıca dikey hareketler, atmosferik stabilite, basınç gradyanı, atmosferik durgunluk şeklinde sıralanabilir. Örneğin kirleticinin atmosferde dağılımını inceleyebilmek için atmosferik stabilitenin bilinmesi gereklidir. Stabil bir atmosferde dikey karışımın yeterli olmadığı bir bölgede kirletici yüzeye yakın tabakada yoğun bir şekilde birikir ve hareket alanı bu bölge ile sınırlı kalır. Atmosferik stabilite düşey sıcaklık profili ile ilişkilidir ve bu nedenle sıcaklığın yükseldikçe değişmesi atmosferin kararlı yapısının belirlenmesi sağlar. Atmosferik stabilite kararlı, kararsız, nötr ve enversiyon olmak üzere dört şekildedir (Erdoğan 2012, Orhun 2013).

Yatay hareketler ise kirleticilerin atmosferde yatayda ilerlemesini sağlar. Kirleticinin verildiği yükseklikteki ortalama rüzgâr hızına büyük ölçüde bağlıdır. Kirleticinin yayılmaya başladığı bölgenin yer şekillerinin yapısı ve özellikleri, orman alanlarının yoğunluğu ve konumu, akarsuların o bölgedeki konumu ve boyutları farklı rüzgâr hızı oluşumuna neden olmaktadır (Orhun 2013).

Kirletici kaynaklarının farklı kirlilik derecesine sahip olması, meteorolojik etkiler PM miktarında ve kompozisyonunda dinamik ve mevsimsel olarak değişim oluşmasına neden olmaktadır (İm 2009). PM ve diğer kirleticiler atmosferde dikey ve yatay hareketlerin etkisi

sonucu belirli bir mesafe kat etmektedirler. Bu kirleticilerin atmosferdeki ilerlemeleri Şekil 2.1’de gösterilmiştir (İm 2009).



Şekil 2.1 PM ve diğer kirleticiler için taşıma mesafeleri.

Hava kirliliği insan sağlığı ve ekosistem için tehlikeli boyutlara ulaşmıştır. Atmosferik kirleticiler kaynaktan salındıktan sonra yayılma, birikme ve taşınım mekanizmalarının etkisi altına girerler. Atmosfere salındıktan sonra kirleticilerin atmosferik taşınımı yakın, orta, uzun ve küresel ölçekte olmak üzere dört şekilde meydana gelmektedir (Freiwan ve İncecik 2006).

Belirli bir kaynaktan atmosfere salınan doğal ya da insan kaynaklı partikül maddeler, yatayda kirleticinin ilerlemesine neden olan kuvvet, rüzgarın, aracılığıyla atmosferde uzun mesafeler kat ederek yerel ve küresel boyutta hava kirliliğine neden olur. Özellikle PM₁₀'ların uzun mesafelerde ilerlemesinin olması gereken sınırlardan daha fazla olması Avrupa ülkelerinde kentsel alanlarda hava kirliliğine neden olduğu araştırmalarla kanıtlanmıştır (Anıl vd. 2009).

2.1 YAKIN VE KISA MESAFELİ TAŞINIM

Kirleticinin kaynaktan çıkmasıyla bulunduğu kaynaktan salındığı bölge içerisinde kalması sonucu oluşan taşınım yakın mesafelidir. Atmosferde gerçekleşen taşınım eğer birkaç kilometreden 10 km'ye kadar gerçekleşiyorsa bu taşınım kısa mesafeli taşınım olarak adlandırılmaktadır.

Büyük kentsel alanlarda ve endüstriyel alanlarda meydana gelen hava kirliliği yerel ölçekte meydana gelir (Korkmaz 2015). Bu taşınım sonucunda meydana gelen kirlilik emisyon kaynağının yayılmaya başladığı yakın mesafeyi etkisi altına alıp, oradaki ekosistem ve insan sağlığına etkilerinden söz edilebilir.

PM₁₀ için yerel emisyon kaynakları motorlu taşıtlar, endüstriyel tesisler, kömür yakımı, şantiyeler ve yol tozları gibi insan faaliyetleri sonucu oluşmaktadır (Wang vd. 2010).

2.2 ORTA MESAFELİ TAŞINIM

Taşınım mesafesi 100 km'ye kadar gerçekleşiyorsa bu taşınım orta mesafeli taşınım ve etkileri bölgesel ölçekte meydana gelmektedir. Örneğin asit yağmuru bölgesel ölçekte etki etmektedir. Kirleticinin yayılmaya başladığı kaynaktan etkisini taşınmasıyla birlikte taşındığı bölgedeki atmosferik şartlar doğrultusunda etkisini göstermesi ile oluşmaktadır.

2.3 UZUN MESAFELİ TAŞINIM

Kaynağı belli olan doğal ve antropojenik kökenli atmosfere salınan kirleticiler, yatayda etkili olan rüzgar aracılığıyla uzun mesafelerde ilerleyerek yerel ve küresel ölçekte hava kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır. Rüzgarlar 50 µm'den küçük boyutlardaki katı partiküllerin yeryüzünden havalanarak atmosfer içerisinde uzak mesafelere taşınmasına neden olur (Özdemir ve Ertaş, 2011). Bazı kirletici gruplarının bölgesel, ulusal veya kıta sınırlarını aşabilecek kadar uzun bir süre boyunca yüzlerce hatta binlerce kilometre uzağa taşınması olayı uzun mesafeli taşınım olarak ifade edilmektedir (Wang vd. 2010).

Şehirleşme PM kirliliğinin artmasına sebep olmaktadır. Bunun sonucu olarak uzun mesafeli taşınım da bu kirliliğin değişik bölgelere taşınması ve etkilerinin başka bölgelerde hissedilmesine neden olmaktadır. Bir şehrin kirlilik değerinde önemli miktarda artış olmasında yerel kaynakların etkili olduğu kadar, uzun mesafeli taşınım da bu kirlilik artışında önemli bir etkindir (Kindap ve Karaca 2006).

Uzun mesafedeki bu kirlilik, farklı hava kirleticilerinin taşınması ve bu sırada gerçekleşen ara reaksiyonlar nedeniyle doğada karmaşıktır. Atmosfere salındıktan sonra PM₁₀'nun taşınması coğrafi ve meteorolojik koşullar gibi birçok faktör tarafından yönetilmektedir (Wang vd. 2010).

Atmosferik partikül maddelerin hava kütleleri ile uzun mesafeli taşınmaları son 15 yıl içinde önem kazanmıştır. Eser elementlerin büyük bir kısmı doğal ya da antropojenik kaynaklı partiküllerin üzerinde atmosfere salınırlar ve uzun mesafede taşınırken partikül üzerinde kalırlar. Mevcut meteorolojik koşullar, taşınmaya başladığı ve taşındığı bölgenin yer şekilleri kirleticinin taşınmasını ve dağılımını önemli derecede etkilemektedir (Özdemir ve Ertaş 2011).

2.4 TAŞINIMI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

2.4.1 Klimatik Faktörler

Atmosfer ve kirletici parametrelerin konsantrasyonlarının dinamik ve termodinamiğini iklimik faktörler etkilemektedir. Temel olarak dağılımını ve yönünü etkileyen en önemli faktör rüzgardır. Bunun haricinde düşey yöndeki taşıyıcı faktörler, atmosferde bulunan nem ve güneş radyasyonudur (Fortelli vd. 2016).

Atmosferde hava kirliliğinin, yer seviyesindeki miktarını ve dağılımını kaynaktan çıkan emisyon oranına da bağlı olarak değişmektedir. Taşınımın mesafesinin de belirlenmesinde bu faktörler önemli rol oynamaktadır.

2.4.1.1 Atmosferik Stabilite

Sınırlı bir alan içerisinde havanın yukarı aşağı olan hareketleridir. Bu hareketin etki alanı dardır ancak hızı büyük bir etki değerine ulaşabilir. Özellikle yukarı doğru olan hava hareketleri atmosferin kararlılık derecesini belirleyen hareketlerdir. Bu hareketler konveksiyonel hareketler olarak da adlandırılırlar. Eğer düşey olarak hareket eden hava kütlesi etki ortadan kalktıktan sonra eski durumuna gelebiliyorsa çevresindeki havaya göre kararlıdır ancak eski durumuna dönemiyorsa çevresindeki havaya göre kararsızdır (Çimen vd. 2007).

Atmosfere verilen kirletici partikül maddeler türbülans hareketleri sonucunda yatay ve dikey yönde dereceli olarak dağılır ve eğer süre kirleticinin dağılımına izin verecek kadar uzunsa, kirletici atmosferde tamamen karışmış bir halde de bulunabilir. Kirleticinin verildiği sınır tabakası ya da kirleticinin konvektif ve mekanik olarak ortalama bir saatlik süre içerisinde dikey olarak karışımın gerçekleştiği, yerden itibaren atmosferin yüksekliğine karışım yüksekliği

denilmektedir. Kirletici konsantrasyonlarının dağılımının gerçekleşmesinde karışım yüksekliği önemli bir faktördür (Orhun 2013).

Hava sıcaklığının dikey dağılımı, dikey karıştırma derinliğini kontrol eder ve atmosferik kararlılığın belirlenmesinde etkilidir. Dikey karıştırma bölgesinin sınır tabakası yer seviyesinde yayılan kirletici maddelerin yakınında bulunan hava hacmini yönetir. Güçlü negatif termal gradyan hava karışımını ve kirleticilerin difüzyonunu önler. Kirleticilerin hava da kirlilik oluşmasına engel olması için en iyi koşullar güçlü hava kararsızlığı ve yüksek karışım yüksekliği ile olmaktadır (Fortelli vd. 2016).

2.4.1.2 Rüzgar Stresi

Havadaki kirleticilerin taşınmasında, difüzyonunda ve seyrelmesinde en önemli faktör yatayda etki eden rüzgardır. Rüzgar havanın yatayda akma hareketi olarak ifade edilebilir. Kaynaktan salındıktan sonra kirleticinin atmosfer içerisinde hareketini, dağılımını ve yükselme mesafesini rüzgar hızı belirlemektedir. Ayrıca topografik yapı, arazinin yerleşim alanı ya da ormanlık alanlar içermesi, göl, nehir, tepe gibi yer şekillerinin olması ve boyutları rüzgar hızının dikey yönde farklı olmasına neden olmaktadır. Kirleticinin taşınım mesafesi rüzgarın hızına ve şiddetine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Rüzgarın aracılığıyla atmosferde dağılan kirletici maddeler büyük bir kütlede seyrelmekte ve hava kalitesi ve canlı sağlığı için olumsuz olabilecek etkileri salındığı bölgede en aza indirebilmektedir (Akyürek 2012, Orhun 2013).

Kirleticinin atmosfer içerisinde taşınımının mesafesi incelendiğinde rüzgarın etkisiyle bu uzaklığın kirleticinin çözünürlüğüne bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Kirletici kaynak alanından ne kadar çok uzak mesafeye taşınırsa, yer seviyesinde bulunan kirletici miktarı azalmaktadır (Demirarslan vd. 2008).

Kirleticiler rüzgarın etkisiyle atmosferde mekanik olarak dağıtılırlar. Bu nedenle rüzgar faktörü, PM₁₀ için en önemli meteorolojik faktör olmaktadır (Fortelli vd. 2016).

2.4.1.3 Yüksek Basınç ve Yağış Miktarı

Atmosferde oluşup katı ya da sıvı olarak yere düşen meteorolojik hava olayına yağış adı verilmektedir. Sıvı olarak yağmur, katı olarak kar, dolu, kırağı gibi meteorolojik olaylar örnek

verilebilir (Orhun 2013). Partiküllerin atmosferden uzaklaşması için etkili faktörlerden bir diğeri de yağıştır. Partikül boyutu ve kaynağına göre yağışın etkisi değişebilmektedir. Büyük boyuta sahip partikül maddelerin atmosferden yağışla uzaklaşmaları kolaydır ancak küçük boyutlu tanecikler için bu durum kompleks bir durum olabilir (Can 2016).

Yüksek basınç genellikle hafif rüzgarlar, fırtınaların ve yağışların olmaması yani bulutsuz bir gökyüzünün mevcut olduğu hava olaylarını ifade eder. Böyle bir durum, hem dikey hem de yatay olarak hava hareketlerinin engellenmesi nedeniyle hava kalitesi açısından özellikle endişe verici olabilir. Yüksek basınç genellikle yağmur eksikliğini ifade eder. Bu nedenle böyle bir durumda şehir emisyonlarına ek olarak rüzgarla birlikte kaldırılabilen tozların da partikül birikimine neden olması söz konusudur (Fortelli vd. 2016). Yüksek basınç şartlarının hakim olduğu bir bölgede hareket devamlı olarak aşağı çökme eğilimi gösterir ve bu nedenle kirletici böyle bir atmosferde yükselme ve dağılma şansı bulamaz. Bu durum da hava kirliliği açısından olumsuzdur (Akyürek 2012).

2.4.1.4 Nem

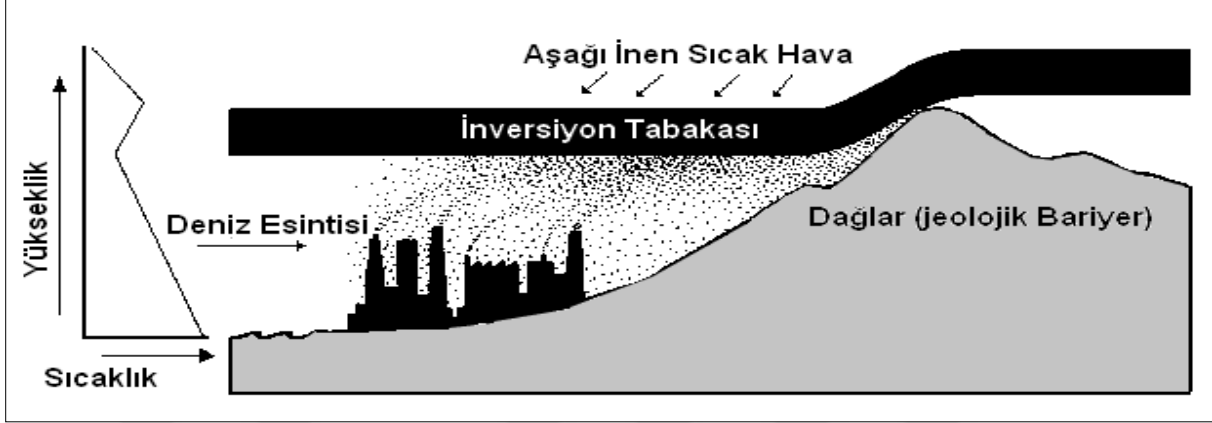
Nem atmosferdeki asılı halde bulunan su miktarı olarak ifade edilebilir. Bu faktör hava kirliliği açısından hem olumlu hem de olumsuz etki yapabilecek durumdadır. Yer yüzeyine yakın olan tabakada nem miktarı daha fazladır ve bu nemin ısıyı tutma özelliği vardır. Atmosferde bulunan nemin yoğunlaşması sonucu sis oluşur ve böylece havadaki partiküller bu sırada çekirdek görevi görmektedir. Böylece havada içinde kirlilik barındıran sis meydana gelir. Aynı zamanda havadaki nem sıcaklığın yükselme hızına bağlı olarak kararlılığa da etki etmektedir.

2.4.1.5 Adveksiyon İncersiyonu

Adveksiyon yatayda taşınım hareketidir. Atmosferde meydana gelen hareketlerle, yatayda ısı enerjisine sahip hava kütlelerinin taşınması olarak da adlandırılabilir. Atmosferde hava kütlelerinin yatayda gerçekleşen hareketi (adveksiyon) rüzgarın etkisi ile meydana gelmektedir (Güler 2013).

Deniz, göl yada okyanustan gelen sıcak hava kütleleri, yüksek basınca sahip günlerde durgun ve açık hava şartlarında karaya ulaşmadan sahil kentlerinde soğuk hava ile karşılaşır. Bu şehirlerde adveksiyon incersiyonu gerçekleşmektedir. Bu koşullarda yer seviyesinde bulunan

soğuk hava tabakası sıcak hava tabakasının üzerine yerleşmektedir. Kararlı bir hava tabakası olan inversiyon, kirleticilerin tutulmasına ve birikmesine neden olmaktadır (Şekil 2.2) (Öztürk 2017).



Şekil 2.2 Sahil kentlerinde adveksiyonun oluşumu.

Kış mevsiminde denizden soğuk olan karaya doğru ılık hava kütleleri hareket eder ve soğuk hava ile karşılaşmasıyla adveksiyon sislerini oluşturur. Adveksiyon, ılık havanın soğuk havanın etkisiyle aşağıdan yukarıya doğru soğumaya başlamasıyla gerçekleşmektedir (Karadeniz 1999).

2.4.1.6 Konveksiyon

Yeryüzünde farklı sıcaklıkların meydana gelmesi sonucu konveksiyon hareketi oluşur. Bir bölgedeki hava kütlesi çevresindeki havaya göre daha yüksek sıcaklığa sahipse, hava kütlesi yükselmeye başlar ve bu yükseliş havanın sıcaklığının çevresindekinden fazla olduğu sürece devam eder. Bu şekilde bölge üzerinde konveksiyon hareketi oluşur. Atmosferde hava kütlelerinin dikey yönde yapmış olduğu harekettir (Çimen vd. 2007, Eken vd. 2008).

Yer seviyesinden yukarılara doğru sıcaklık azalmaktadır. Ancak sıcak havanın soğuk havaya göre daha fazla alan kaplaması nedeniyle yoğunluğu düşüktür. Yeryüzündeki sıcak hava kütleleri daha yukarıdaki soğuk hava ile sürekli olarak yer değiştirmektedir. Bu şekilde sürekli olarak devam eden hareketler konveksiyonel hareketlerdir (Eken vd. 2008).

2.4.2 Çevresel Faktörler

Ülkenin sahip olduğu coğrafi konum, hava hareketlerinin oluşmasında, denize göre konumun durumu, atmosferin hava karakteristiklerinin belirlenmesinde önemli bir yere sahiptir (Aydın 2006).

Coğrafi konumun belli bir yerin topografik şekillerin o bölgeye ait rüzgar hızına etkisi ve yönünün değiştirmesi gibi etkileri bulunmaktadır. Topografik şekiller kirliliğin yatay olarak taşınmasında etkili olan en önemli faktörlerden biri olan rüzgarın, kirliliği hangi yönde, ne kadar mesafe kat edeceğinin belirlenmesi hususunda büyük bir önem taşımaktadır (Aydın 2006).

Hava kirliliğinin meydana geldiği bölgedeki ya da ulaştığı bölgedeki diğer kirletici kaynakları kirliliğin artmasına ya da değişik fraksiyonlara dönüşmesine neden olur. Ayrıca kirlilik alanındaki doğal kaynaklardan yayılan kirleticiler, orman alanlarından kaynaklanan kirleticiler bölgenin kirlilik düzeyinin değişkenlik göstermesinde rol oynamaktadır.

Sıcaklık farklılıklarının yaşanması, yine hava kütlelerinin kirlilikle beraber hangi yönde ilerleyeceği konusunda önemlidir. Kara ve deniz arasındaki yüzey sıcaklığındaki farklılıklar dolayısıyla hava hareketlerinin yönünde etkili olmaktadır (Aydın 2006).

BÖLÜM 3

LİTERATÜR ÖZETİ

Hava kirliliğinin yönetilebilmesi için kirletici kaynaklarının belirlenmesi önemli bir adımdır. Kirlilik hakkında etkili olabilecek bir politika ya da eylem planı hazırlayabilmek için kirlilik kaynağını ve derecesini belirlemek önemlidir. Kaynak alanının belirlenmesi birçok yöntemle olabilir. Hava yolları ve yörüngeler kirliliğin hava akış modelinin analizi amacıyla kullanılabilir. Geri yörünge analizi ise alıcı bölgedeki kirliliğin yönünü ve kaynağını tespit etmek için kullanılabilir. Kümeleme, potansiyel kaynak katkı fonksiyonu (PSCF) ve konsantrasyon ağırlıklı yörünge (CWT) gibi teknikler kullanılır (Yıkılmaz 2010).

HYSPLIT modeli ve TRAJSTAT yazılımı geri yörüngelerin hesaplanması için kullanılır. Geri yörünge hesaplamaları sonucu kaynak alanı ve kirletici konsantrasyonları bu model aracılığıyla belirlenmektedir. Bu model ile ilgili yapılmış daha önceki çalışmalar bu bölümde incelenmiştir.

3.1 TÜRKİYE'DEKİ ÇALIŞMALAR

Doğan (2005), tarafından yapılan bir çalışmada Türkiye'de dört farklı bölgede kırsal istasyondan elde edilen veriler kullanılmıştır. Akdeniz Bölgesi için Antalya, Karadeniz Bölgesi için Amasra, İç Anadolu Bölgesi için Çubuk ve Uludağ istasyonlarına ait veriler kullanılmıştır. Avrupa Merkezi için Orta Ölçekli Hava Tahmini (ECMWF), üç boyutlu isentropik model kullanılarak Antalya ve Çubuk istasyonları için 5.5, Amasra ve Uludağ istasyonları için 3.5 günlük geri yörünge analizleri yapılmıştır. Bu bölgelerdeki farklılıkların etkenlerinin ortaya çıkartılması için sadece konsantrasyonlar karşılaştırılmamış, element ve iyonların mevsimsel olarak değişimleri de uzun ve kısa vadede incelenmiştir. Ayrıca bölgelerdeki üst atmosfer hava akış klimatolojileri, kirleticilerin kompozisyonlarını etkileyen kaynak türleri ve buldukları bölgeler kıyaslanmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda Anadolu bölgeleri (Çubuk, Amasra ve Uludağ istasyonları için) kış mevsiminde Batı Avrupa'nın etkisi altında kalmaktadır, yaz mevsimi için ise kirleticilerin Doğu Avrupa'dan kaynaklandığı sonuçlarına ulaşılmıştır.

Akdeniz istasyonunda yaz ve kış mevsimlerinde atmosfer hareketlerinin konsantrasyonları çok fazla değiştirmediği görülmüştür.

Tepe ve Doğan (2015), Akdeniz bölgesinin en önemli turizm şehri olan Antalya'daki PM₁₀ kirlilik seviyesini ve kaynaklarını incelemiştir. Çalışmada, 2008-2014 yılları arasında deniz seviyesinden 500 metre yükseklikte 5 günlük geri yörüngeler hesaplanmıştır. Yaz dönemi (nisan ve eylül ayları) ve kış dönemi (ekim ve şubat ayları) olarak mevsimsel farklılıklar incelenmiştir. Hava kitlesinin PM₁₀konsantrasyonuna olan etkisini belirleyebilmek amacıyla HYSPLIT modeli kullanılarak geri yörüngeleri hesaplanmış ve kümeleme çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmada belirlenen kümelerden sadece kış aylarında bölgeyi etkileyen Doğu Anadolu kümesinin Antalya'daki PM₁₀konsantrasyonlarını olumsuz yönde etkilediği belirlenmiştir.

Ecer vd. (2017), Türkiye'nin Güney Doğu Anadolu Bölgesi'nin Mardin ilindeki PM₁₀ ve SO₂ kirlilik konsantrasyonlarını, etkileyen kaynakları incelenmiştir. Bu alışma 2008-2016 yılları arasını kapsamaktadır ve evre ve şehircilik Bakanlığı'nın hava kalitesi izleme istasyonlarından alınan veriler kullanılmıştır. HYSPLIT modeli kullanılarak deniz seviyesinde 100 metrede 5 günlük geri yörüngeler hesaplanmış ve bu geri yörüngeler TrajStat yazılımı ile kümeleme analizi yapılarak altı ana küme oluşturulmuştur. Yapılan bu çalışma sonucunda Mardin için PM₁₀'nun en önemli kaynağının Suriye üzerinden gelen çöl tozlarının olduğu belirlenmiştir. Diğer bir kirletici SO₂'nin ise bölgedeki trafik kaynaklı emisyonlardan ve kış mevsiminde de özellikle evsel ısınmadan kaynaklı olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır.

Yıkılmaz (2010), tarafından yapılan bir çalışmada kirletici konsantrasyonlarının birbirinden önemli lde farklı olmasından dolayı Doğu Akdeniz'de Antalya, Karadeniz'de Amasra, Orta Anadolu'da çubuk ve Batı Akdeniz'de de Korsika olmak üzere dört örnekleme istasyonu seçilmiştir. Çalışmada HYSPLIT ve ECMWF geri yörünge verileri kullanılmıştır. 1990-2006 yılları arasını kapsayan her gün için istasyondan başlayarak 100, 500 ve 1500 m yüksekliklerde HYSPLIT için 5 günlük, ECMWF için 5.6 günlük geri yörüngeler hesaplanmıştır. Bu çalışmada sadece iki model tarafından hesaplanan yörüngeler değil, aynı zamanda yörünge istatistiklerinin sonuçlarında da meydana gelen farklılığın derecesini belirlemek amaçlanmıştır. İki model de reseptör alanından yakın mesafelerde benzerlik gösterirken, daha uzak mesafelerdeki yörünge modelleri daha fazla farklılaşmaya başlamıştır. Bu farklılıkların, her iki modeldeki belirsizlikler

(dikey hareket üzerindeki yöntem, uzamsal çözünürlük ve varsayımlar gibi) ve yörünge hesaplamalarında kullanılan meteorolojik verilerden kaynaklanabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Güllü vd. (1998), Karadeniz bölgesini baz alarak yaptıkları bir çalışmada, deniz seviyesine yakın mesafedeki hava kütlelerinden aldıkları partikül madde numunelerini 1988 yılı için incelenmişlerdir. Partikül maddelerin kimyasal özellikleri ve miktarı üzerinde çalışmalar yapılmıştır. BAT Backward Trajectory modeli kullanılmıştır ve kirleticilerin kaynaklandığı bölgeler belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışmalarla kirletici maddelerin önemli miktarını toprak elementlerinin oluşturduğu sonucuna varılmıştır. Bunun yanında, antropojenik kaynaklı ağır metal gruplarına rastlanmış, ayrıca deniz tuzu da kirletici partikül olarak bulunmuştur. Karadeniz bölgesi atmosferinde bulunabilecek kirleticilerin dışında uzun mesafeli taşınım sonucunda da kirleticilerin geldiğini gösteren bulgular elde edilmiştir. Model kullanılarak yapılan yörünge hesaplamaları Doğu Avrupa'dan Karadeniz atmosferine eser elementlerin uzun mesafede taşınarak kirlilik oluşmasında etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Oğuz ve Dündar (2014), yaptıkları çalışmada Nisan 2013 yılına ait Afrika Çöllerinde meydana gelen toz taşınma olaylarının Akdeniz atmosferinde meydana getirdiği aerosol miktarı ve yer seviyesi için PM₁₀ miktarının değişimi incelenmiştir. Bu çalışmada karşılaştırmalar sinoptik açıdan yapılmış ve uydu görüntüleri incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda, uzun mesafeli taşınımın gerçekleşmesiyle Mısır üzerinden gelen çöl tozlarının Akdeniz üzerinden Türkiye'nin kuzeyine kadar ulaştığı saptanmıştır. Kirleticilerin taşınmasında uzun mesafeli taşınımın önemli olduğu çalışmada bulunan bulgular arasındadır. Non-hydrostatic Multiscale Model/Barcelona Supercomputing Center (NMMB/BSC-Dust) tahmin modeli kullanılan bu çalışmada, bu modelin sonuçlarının doğruluğu kanıtlanmış, bu modelin çöl tozu kaynaklı fırtınalar için erken bir uyarı amacıyla kullanılabileceği öngörülmüştür.

Freiwan ve İncecik (2006), tarafından yapılan başka bir çalışmada, Avrupa'dan gelen taşınımın Doğu Akdeniz atmosferinde meydana gelen atmosferik kirliliğin değişimi 1992-2000 yılları için incelenmiştir. Meteorolojik değişkenlerin ve hava hareketlerinin kirliliğin dağılımına olan etkisini incelemek için MM5 (Mesoscale Meteorological Model) modeli kullanılmıştır. Yörünge analizleri için CAMx (The Comprehensive Air Quality Model with Extension) ve HYSPLIT (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory) modelleri kullanılmıştır. HYSPLIT modeli ile Avrupa'dan uzun mesafede 3 kaynaktan taşınan kirleticilerin olduğu saptanmıştır. CAMx modeli bu kirleticilerin miktarı, birikimi ve taşınması olayının

simülasyonla tahmin ederek üç boyutlu sonuçlar oluşturulmuş ve incelenmiştir. Türkiye’de ilk defa kullanılan bu modelleme sistemi ile SO₂’nin Orta ve Güneydoğu Avrupa’dan uzun mesafede taşınarak Türkiye’ye kirletici kaynak olarak önemli boyutta etki ettiği bilgisine ulaşılmıştır.

Tokgöz (2013) çalışmasında Türkiye- Bulgaristan sınırına 5 km mesafede ve Kırklareli iline yaklaşık 30 km kırsal istasyondan elde edilen Nisan 2006 – Mart 2008 dönemine ait partikül madde ölçümleri yapılmış, PMF (Positive Matrix Factorization) ve HYSPLIT modeli TrajStat yazılımı ile kullanılmasıyla partikül madde kaynak alanları belirlenmeye çalışılmıştır. Trajstat yazılımı ile 5 günlük geri yörüngeler 100 m, 500 m ve 1500 m bitiş seviyelerinde hesaplanmıştır. Kaynak alanlarını belirlemek amacı ile PSCF analizi kullanılmıştır. Yapılan çalışmada hava kitleleri geliş yönleri ve rüzgar hızlarına göre 5 ana kümeye ayrılmıştır. PMF modeli ile 5 ana kaynak alanı belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre; en yüksek kirletici konsantrasyonu yaz mevsiminde toprak kaynaklı olduğu, kış mevsiminde ise insan kaynaklı kirleticilerin yoğunluk kazandığı görülmüştür. Yerel meteorolojik faktörlerden ise sadece yağışın partikül madde konsantrasyonunu etkilediği tespit edilmiştir. Kümeleme analizi sonucunda Balkan ülkelerinden taşınım olduğu ve yine Rusya ve Ukrayna gibi ülkelerden antropojenik kaynaklı partikül madde taşındığı tespit edilmiştir. Yapılan analizlerle uzun mesafeli kirletici emisyonları çalışma alanındaki partikül madde emisyonlarının değişmesine önemli derecede katkıda bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Topuz ve Karabulut (2017) tarafından yapılan çalışmada 2015 yılı Eylül ayı döneminde Hatay ve çevresini etkisi altına alan çöl tozu taşınımının, mekansal ve zamansal olarak dağılışının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada SKIRON ve HYSPLIT modeli kullanılmıştır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığının Antakya ve İskenderun’daki ölçüm istasyonlarından elde edilen veriler ve ayrıca yersel ölçümlerde kullanılmıştır. 500, 1500 ve 3000 m bitiş yüksekliğinde 4 günlük geri yörüngeler hesaplanmıştır. SKIRON modelinin tahminleri ise yersel ölçümlerle kıyaslanmıştır. HYSPLIT modeli geri yörünge analizlerinin sonuçlarına göre, güneyden gelen hava kütleleri çöl tozu taşınımına büyük katkı sağlamaktadır. Türkiye konumu itibarıyla çöl tozlarına maruz kalabilecek bir ülke olmasından dolayı bu çalışma taşınım etkisini belirlemek amacıyla önem taşımaktadır. Türkiye’ye 500 ve 1500 m bitiş yüksekliğinde Irak ve Suriye’deki çöllere, 3000 m yükseklikte ise Suudi Arabistan, Ürdün ve Suriye’de bulunan çöllerin uzun mesafeli taşınım sonucu kaynak alanı oluşturduğu sonucuna ulaşılmıştır.

HYSPLIT model analizleri ile çöl tozlarının kaynak alanının merkezinden çevre bölgelere uzun mesafede taşındığı sonucuna ulaşılmıştır.

Koçak ve arkadaşları (2011) tarafından 2007-2009 yıllarını kapsayan dönemde İstanbul iline ait PM₁₀ ölçümleri kullanılarak, PMF modeli ile kaynak paylaşırma analizi, HYSPLIT modeli ile geri yörünge analizleri ve PSCF analizi yapılmıştır. Kasım 2007-Haziran 2009 dönemini kapsayan 3 günlük geri ve ileri yörüngeler 1000 m bitiş seviyesi için HYSPLIT modeli ile hesaplanmıştır. PMF modeli İstanbul'daki PM₁₀ konsantrasyonlarının kaynaklarını belirlemek için kullanılmıştır ve analiz sonuçları PM₁₀ kirleticisinin % 80 gibi büyük bir oranın insan aktiviteleri sonucu oluştuğunu göstermiştir. Bu insan kaynaklı PM₁₀ kirliliğinin daha çok kış aylarında olduğu tespit edilmiştir. Geçiş döneminde ise, Kuzey Afrika'dan gelen mineral toz taşınması söz konusudur ancak İstanbul ilinin sahip olduğu kirliliğin boyutlarının daha önemli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Geri yörünge analizleri ve PSCF analizleri ile yine kış aylarında Balkanlar ve Batı Avrupa, yaz aylarında da Doğu Avrupa'daki kaynak alanlarından uzun mesafede taşınım olduğu görülmüştür.

3.2 PARTİKÜL MADDE TAŞINIMI İLE İLGİLİ DİĞER ÇALIŞMALAR

Saxena vd. (2017), çalışmalarında Yeni Delhi ve Hindistan için PM₁₀ ve PM_{2.5} kirleticilerini 2013- 2014 yılları için karşılaştırmışlardır. HYSPLIT modeli kullanılarak kümeleme ve CWT (Concentration Weighted Trajectory) analizi yapılmıştır. PM₁₀ ve PM_{2.5} için yapılan analizlerin karşılaştırılması mevsimsel olarak yapılmıştır. Ayrıca birincil aerosollerden ikincil partiküller maddelerin oluşması arasındaki bağlantıda incelenmiştir. Kümeleme ve CWT analiz sonuçları, reseptör alanına yaz mevsiminde Afganistan'dan gelen tozlar, Pakistan'ın kuzeybatı kısmı ve Hindistan'ın güneyi PM₁₀ ve PM_{2.5} için kaynak oluşturduğunu göstermiştir. Muson mevsiminde ise Arap Denizi PM₁₀ için önemli kirlilik kaynağı olmuştur. Çalışma sonucunda partiküllerin sadece bölgenin kirliliğinden kaynaklanmadığı, uzun mesafeli taşınımında kirlilik için kaynak oluşturduğunu göstermektedir.

Li vd. (2017), tarafından yapılan bir çalışmada, dünyanın sanayi ihtiyacını karşılayan Çin'in Qingdao'daki Shandong eyaletinde 2015- 2016 yıllarını kapsayacak şekilde hava kalitesi izleme açısından elde edilen saatlik veriler kullanılarak analizler yapılmıştır. HYSPLIT modeli, 3 günlük geri yörüngeler ve 500 m bitiş yüksekliği seçilerek PM_{2.5} ve PM₁₀ kirlilik yörüngeleri hesaplanmıştır. CWT/PSCF analizleri belli periyotlarda incelenerek kirliliğin izlediği yol ve

kaynak alanı belirlenmeye çalışılmıştır. Hesaplamalardan elde edilen sonuçlar doğrultusunda çalışma alanına batıdan gelmekte olan kümenin kaynak alanının Shanxi, Güney Hebei ve batı Shandong bölgesinden geldiğini göstermiştir. Bunun yanında, Moğalistan'a ait çöllerden gelen aerosoller ve Sarı Deniz'den gelen deniz aerosolleri PM artışında rol oynamıştır. Reseptör bölgeye gelen kirlilik yörünge kümeleri incelendiğinde hangi kaynak alanından bölgeye daha önemli kirlilik taşındığı belirlenmiştir. En önemli kirlilik batıdan gelen ve Shanxi, Güney Hebei ve Shandong eyaletinin batısını içinde bulunduran önemli PM_{2.5} taşıyan küme olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Li vd. (2017), tarafından yapılan bir çalışmada PSCF ve CWT analizleri kullanılarak reseptör bölge olarak seçilen Pekin, Çin için PM_{2.5} ve PM₁₀ kirleticilerinin farklı mevsimlerde potansiyel kaynaklarını belirlemek ve taşınım yollarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma, Haziran 2014 ve Mayıs 2015 tarihlerini kapsamaktadır. 3 günlük geri yörüngeler 100 m bitiş yüksekliği seçilerek HYSPLIT modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışmada PSCF ve CWT analizleri ile potansiyel kaynak alanları belirlenmiş, PM_{2.5} kirleticisinin Pekin için baskın kirletici olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çalışma alanı Pekin'e, yaz ve sonbahar mevsimlerinde sadece güney ve güneydoğu yörüngelerinin fakat kış ve ilkbahar aylarında hem güney ve güneydoğu yörüngelerinin hem de kuzey ve kuzeybatı yörüngelerinin de kirlilik taşıdığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu geri yörünge analizleri sonuçları ile uzun mesafede kirliliğin taşınmasının Pekin ilini etkilediği görülmüştür.

Verma vd. (2017), tarafından yapılan bir çalışmada yarı kentsel bölge Hindistan'ın Agra kentinde 2014-2016 yılları süresince yüksek ozon episodlarının atmosferik şartlardan etkilenmesi üzerinde durulmuştur. TrajStat modeli episodik günler süresince hava kütleleri için kümeleme analizinde kullanılmıştır. Çalışmada 171 m AGL (Above Ground Level) için 3 günlük geri yörüngeler hesaplanmıştır. 5 küme oluşturulmuş ve bu kümelerin reseptör alana getirdiği ozon kirliliği ve kaynak alanı incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda ozonun yüksek CO (karbon monoksit) seviyesi ve yüksek rüzgar hızı (5 m/s) ile daha ileri seviyelere uzun mesafede taşınabileceği belirlenmiştir. Çalışma süresince dört farklı tipte yüksek ozon episodları belirlenmiş, Hindistan'daki Ulusal Hava Kalitesi Standartları tarafından belirtilen ozon sınırı değerinin aşıldığı belirlenmiştir ve hakim meteoroloji kullanılarak açıklanmaya çalışılmıştır. Bu episodik durumlar yerel fotokimya ve taşınım ile ilişkilendirilmiştir.

Wang vd. (2010) çalışmasında kentsel hava kirleticilerinin sadece bölgesel kaynaklı değil aynı zamanda çevre bölgelerden uzun mesafede taşınmasına da bağlı olduğunu savunmuştur. Bu amaçla Kuzey Çin'in Pekin kentinde HYSPLIT modeli kullanılarak bölgesel atmosferik PM₁₀ taşınım yollarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Hesaplanan geri yörüngeler 2002 yılı için MM5 (Mesoscale Model) modeli ile elde edilen meteorolojik veri kullanılarak hesaplanmıştır. Model kullanılarak hesaplanan geri yörüngeler yer seviyesinden 300 metre yükseklik için analiz edilmiştir. Bölgesel emisyon kaynaklarının konumlarını belirlemek ve taşınım yollarını açıklamak yeterli olacağından geri yörünge hesaplamasında 1 günlük geri yörüngeler hesaplanmıştır. Pekin'e taşınım yolları incelenerek elde edilen sonuçlara göre, PM₁₀'un artmasında güneybatı taşınım yolunun etkili olduğuna ulaşılmıştır. Daha sonra bu taşınım yolu için Pekin ve çevresindeki illerde PM₁₀konsantrasyon seviyesini belirlemek için entegre bir MM5-CMAQ (Community Multiscale Air Quality) modelleme sistemi uygulanmıştır. Model sonuçlarına göre yüksek PM₁₀konsantrasyonlarına sahip akış alanının genellikle Thaihang Dağları'nın kuzeybatısındaki dağ esintisi ve güneybatı meltemleri arasında ortaya çıktığı belirlenmiştir.

Ashrafi ve arkadaşları (2014) tarafından İran'da yapılan bir çalışmada İran'a Arap ülkeleri üzerinden gelen toz kaynaklarını belirlenmesi ve sayısal analizler kullanılarak yörünge simülasyonlarının oluşturulması amaçlanmıştır. Mayıs-Haziran 2010 dönemini kapsayan yörünge simülasyonları çalışma alanı için HYSPLIT modeli aracılığıyla 500, 1000, 2000 ve 3000 m izleme seviyesi seçilerek incelenmiştir. Küresel ölçekte doğal olarak oluşan partikül maddeler yatayda etkili olan rüzgar faktörü ile kurak veya yarı kurak kaynak alanlarından atmosferde uzun mesafelerde ilerlemektedir. İran'ın batı ve orta kısımları Arap ülkeleri üzerinden gelen çöl tozları nedeniyle etkilendiği görülmüştür. Yapılan geri yörünge analizleri sonucunda, Batı Suriye Çölünde başlayan toz fırtınasının 8.5 m/s'den daha büyük rüzgar hızıyla Tahran ve Ahvaz'a ulaştığı sonucuna ulaşılmıştır. İlk durumda, uzun mesafede taşınım incelenerek Tahran'daki tozun dikey dağılımının 1000 m'ye ve Ahvaz'da 2000-3000 m'ye kadar yüksekliğe çıkmıştır. Ayrıca çalışmada MODIS uydu görüntüleri HYSPLIT toz modellemesi analiz sonuçları ile kıyaslanmış ve benzer sonuçlar olduğu görülmüştür. Orta Doğu'nun doğu bölgelerine doğru hareket eden çöl tozu kümeleri uzun mesafede taşınan bir harekete sahip olduğu tespit edilmiştir.

Querol vd. (2009), tarafından yapılan bir çalışmada 2004-2006 dönemini kapsayan Avrupa Çevre Ajansı ve aerosol araştırma sitesinden elde edilen PM₁₀ verileri ile Akdeniz

Havzası'ndaki PM₁₀ kaynakları belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada günlük senaryoları PM₁₀ konsantrasyonları ile birlikte analiz etmek için birçok model kullanılmıştır. Aerosol konsantrasyon haritası elde etmek için SKIRON, toz haritaları Barcelona Supercomputing Center-/ Dust Regional Modelling (BSC-/DREAM), geri yörüngeleri hesaplamak için HYSPLIT modeli, NASA tarafından sağlanan uydu görüntüleri ve The National Centers for Environmental Protection (NCEP) meteorolojik verilerinden yararlanılmıştır. Geri yörünge analizleri 700, 1500 ve 2500 m yükseklikleri için 5 günlük elde edilmiştir. Bu yapılan analizler sonucunda PM₁₀ seviyeleri Akdeniz Havzası'nda kuzeyden güneye ve batıdan doğuya doğru arttığı belirlenmiştir. Bunun nedeni, Afrika toz yükü ile benzerlik taşımaktadır. Büyük ölçüde PM₁₀ seviyesindeki değişimlerin Afrika toz olaylarının ortaya çıkmasından kaynaklı olduğu kanıtlanmıştır. Ancak, Afrika tozları PM₁₀ seviyesinin artışında etkili olmasına rağmen, havzanın doğusunda batısına göre daha yüksek seviyelere rastlanmıştır. Bunun nedeni daha yüksek antropojenik ve deniz sprey yükleri olduğu belirlenmiştir.

Liu ve arkadaşları (2018) tarafından yapılan çalışmada Hindistan'ın birçok kentinde kirliliğin artmasına neden olan nedenlerden biri olan, açık biyokütle yakma işlemi sonucunda oluşan kirliliğin üzerinde çalışılmıştır. Açık biyokütle yakımı sonucunda atmosferde partikül madde artışı, görüş mesafesinin azalması ve aerosol optik derinlik üzerindeki etkilerini incelemek için çalışma alanı olarak Hindistan'ın üç büyük şehri Delhi, Bengluru ve Pune seçilmiştir. Çalışma 2007'den 2013 yılına kadar yapılmıştır. HYSPLIT modeli geri yörünge hesaplamaları, rüzgar bölgelerini belirlemek amacıyla kullanılmıştır. HYSPLIT modeli kirlilik için 3 günlük geri yörüngeler ve bu yörüngeler 500 m, 1 km ve 1.5 km olarak üç farklı bitiş yüksekliğinde hesaplanmıştır. Bu çalışmada muson öncesi ve sonrası yangınlar sonucu oluşan kirlilik incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, yıl boyunca Hindistan'da açık yakma işlemlerinin baskın hava kirliliği olmamasına rağmen, muson sonrası yapılan yakma işlemlerinin bölgesel hava kirliliğine önemli ölçüde katkıda bulunduğunu göstermektedir. Ayrıca muson sonrası bu yakma işlemleri sırasında görüş mesafesinde azalma, PM₁₀ miktarında artış olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır.

Liu vd (2013), tarafından yapılan çalışmada, kuzeybatı Çin'deki bir kentsel vadi olan Lanzhou için, kentsel ulaşım modelleriyle günlük kirlenici konsantrasyonları arasındaki ilişkiyi tanımlamak amaçlanmıştır. Meteorolojik girdi verisi olarak Weather Research and Forecasting (WRF) modelinden elde edilen veriler ile HYSPLIT modeli çalıştırılmış ve 36 saatlik geri yörüngeler 100, 500 ve 1000 m bitiş yükseklikleri için hesaplamalar yapılmıştır. Çalışma 2002-

2008 yılları arasında Aralık, Ocak, Şubat olmak üzere kış aylarını kapsamaktadır. HYSPLIT modeli ile hesaplanan geri yörüngeler incelenerek Lanzhou kentinde kirlilik artışına neden olan kaynak alanları belirlenmeye çalışılmıştır. Potansiyel kaynak alanları için PSCF ve CWT analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak, kent merkezinin kuzeydoğusundan batıya ve doğuya doğru olan ilçenin ulaşım yolları, kentin batısındaki ve doğusundaki potansiyel kaynak alanlarıdır ve Lanzhou'da yüksek kirletici konsantrasyonlarına yol açan en önemli kirlilik yolları olarak belirlenmiştir. PSCF ve CWT analizleri sonucunda Yuzhong ilçesi ve Xigu sanayi bölgesi potansiyel kaynak alanı olarak belirlenmiştir. Potansiyel kaynak bölgelerinin katkısı çalışma alanındaki emisyon kaynağı özellikleri ile yakından ilgili olan PM₁₀, SO₂ ve NO₂ artışında rol oynadığı görülmüştür.

Schembari vd. (2014) tarafından Batı Akdeniz'deki yolculuklar sırasında 2009-2010 yılları yaz ayında Costa Pacifica gemisinde PM₁₀ örnekleme çalışması yapılmıştır. PMF reseptör modellemesi kullanılarak gemi emisyonları odaklı aerosol kaynakları hakkında bilgi edilmeye çalışılmıştır. Gemi emisyonlarından, PMF analizi kullanılarak PM₁₀, siyah karbon (BC) ve sülfat gibi aerosol kaynakları belirlenmiştir. Geri yörünge analizleri HYSPLIT modeli aracılığı ile yapılmıştır. 5 günlük geri yörüngeler deniz seviyesi üzerinde 50 m ve 500 m bitiş yüksekliğinde hesaplanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, bu kirliliğin hem uzun mesafeli taşınımıyla hem de yerel kaynakların yanı sıra kıyılardan ve topoğrafyadan kaynaklanmaktadır. Bölge sadece kıta aerosolünün uzun mesafeden taşınmasından değil, Kuzey Afrika'ya yakınlığı nedeniyle de etkilenmekte, Sahra tozları bazı dönemlerde sık sık gözlemlenebilmektedir. Bu nedenle Akdeniz'in aerosollerden büyük oranda etkilendiği sonucuna ulaşılmıştır. Bunlara ek olarak gemi trafiği de kirliliğin oluşmasında en büyük etkenlerden biridir. Sonuç olarak, çalışma gemi emisyonlarının Batı Akdeniz'de önemli aerosol kaynağı olduğu sonucuna ulaşılmıştır ancak etkilerinin büyük mekânsal ve zamansal varyasyonlar sonucunda ulaşılacağını göstermiştir.

Dündar vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada Ege ve Marmara bölgesinde 01/02/2015 ve 27/03/2015 tarihlerindeki, iki ayrı zamanı kapsayan toz taşınımı olaylarının arasındaki farklılıklar incelenmiştir. Çöl tozu taşınımını karşılaştırmak amacıyla Giovanni web aracı kullanılarak Aqua uydusu üzerindeki MODIS sensöründen aerosol optik derinlik verileri elde edilmiştir. Bu görüntüler ile hava kalitesi izleme istasyonundan elde edilen PM₁₀ konsantrasyonları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda, PM₁₀ artışı ile görüntüler arasında farklılıkların olduğu belirlenmiştir. Bu farklılıkların nedeni olarak tozun

yağış ile çökme olayına maruz kalması ve taşınım olayının atmosferde gerçekleşen taşınımından farklı seviyede gerçekleşmesi olarak belirlenmiştir. Ayrıca taşınım yolunu belirlemek amacıyla kullanılan program aracılığıyla tozların Afrika kaynaklı olduğuna ulaşılmıştır.

Yücel (2017) tarafından yapılan çalışma Şanlıurfa ili için 2013-2017 yılları arasındaki beş yıllık dönemi kapsamaktadır. Bu dönem süresince meydana gelen toz taşınım olayları incelenmiş ve sağlık üzerine olan etkileri araştırılmıştır. Bu çalışmada tozun taşınımını belirlemek için HYSPLIT modeli çıktıları, MODIS uydu görüntüleri ve çalışmanın yapıldığı üniversite bünyesinde bulunan bölgesel kamera sistemi verileri kıyaslanmıştır. Bu kıyaslamalar sonucunda çöl tozlarının geçiş mevsimlerinde (ilkbahar ve sonbahar) aktif olduğu görülmüştür. Şanlıurfa ilini etkileyen tozun kaynağı bölgesel kamera sistemi, HYSPLIT modeli ve MODIS/Terra uydusundan elde edilen görüntüler ile Sahra, Suriye ve Arap Yarımadası'ndan geldiği belirlenmiştir. Ayrıca çöl tozlarının aktif olduğu geçiş dönemlerinde hastanelerin göğüs hastalıkları bölümüne başvuru sayısı incelenmiş toz taşınımı ile bağlantısı bu çalışmada ortaya konulmuştur.

Sezen vd (2017), tarafından yapılan çalışmada Adana ili için 9 yıllık PM₁₀ konsantrasyonları için yüksek değerde olanların etkileri ve 07 Eylül 2015 tarihindeki kum fırtınası incelenmiştir. İncelenen PM₁₀ konsantrasyonları içerisinde en yüksek değerin eylül ayı içerisinde olduğu görülmüş ve 07-15 Eylül 2015 toz fırtınası MODIS Terra ve Aqua uydularına ait görüntüler ve yeni geliştirilen DEBRA DUST ürünü ile incelenmiştir. HYSPLIT modeli kullanılarak da olay zamanlarında yörüngeler incelenmiştir. Eylül ayı içerisindeki MODIS uydu görüntülerinin incelenmesi sonucu anız yakımı olaylarının sıkça gerçekleştiği görülmüştür. Kum fırtınasının Suriye kaynaklı olarak başladığı belirlenmiş ve rüzgar etkisi ile Akdeniz'e kadar ulaştığı görülmüştür. Ayrıca 07 Mart 2009 tarihinde de yüksek konsantrasyonların olduğu belirlenmiş ve bunun nedeninin de uydu görüntüsü incelemesi sonucu toz taşınımı ile bağlantılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOT

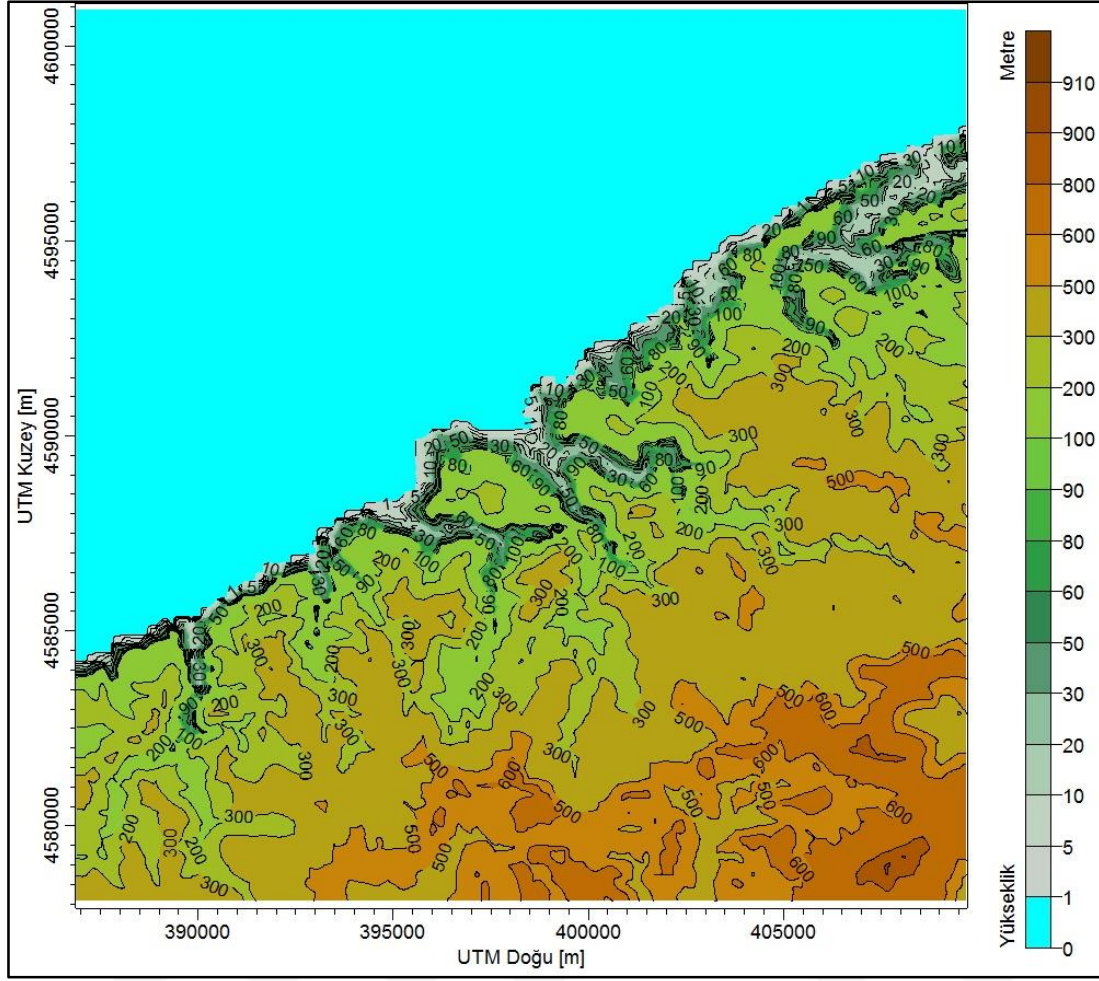
4.1 ÇALIŞMA ALANI

4.1.1 Konum ve Topoğrafya

Batı Karadeniz bölümünde bulunan Zonguldak ili çalışma alanını oluşturmaktadır ve Karadeniz'e batıdan ve kuzeyden kıyısı bulunmaktadır. İl merkezi $41^{\circ} 27,0'$ kuzey enlemi ile $31^{\circ} 48,0'$ doğu boylamı üzerinde bulunmaktadır. Zonguldak ili sınırları Karadeniz kıyısından başlayıp, kuzeydoğudan Bartın, doğudan Karabük, güneyden Bolu ve batıdan Düzce ile çevrelenmiştir. Zonguldak'ın Türkiye'deki coğrafi konumu Şekil 4.1'de verilmiştir. Zonguldak ilinin alanı $3,309 \text{ km}^2$ 'dir. Zonguldak çok engebeli bir arazi yapısına sahip olmasına rağmen, akarsu vadileri ile bölünmüş orta yükseklikteki dağlık alanlara sahiptir. İl merkezinin topografik yapısı ise Şekil 4.2'de gösterilmiştir (Çevre ve Şehircilik 2018, Çevre ve Şehircilik 2014, URL 3).



Şekil 4.1 Zonguldak ilinin Türkiye'deki konumu.



Şekil 4.2 Zonguldak il merkezinin topografik haritası.

4.1.2 Nüfus

Bu çalışmada, 2014 ile 2017 yılları arasındaki atmosferik taşınım çalışıldığı için bu yıllara ait nüfus verileri Çizelge 4.1’de gösterilmiştir. 2017 yılı sonu itibariyle Zonguldak genel nüfusu 596 892’dir (URL 4).

Çizelge 4.1 Zonguldak’a ait nüfus bilgileri (2014-2017).

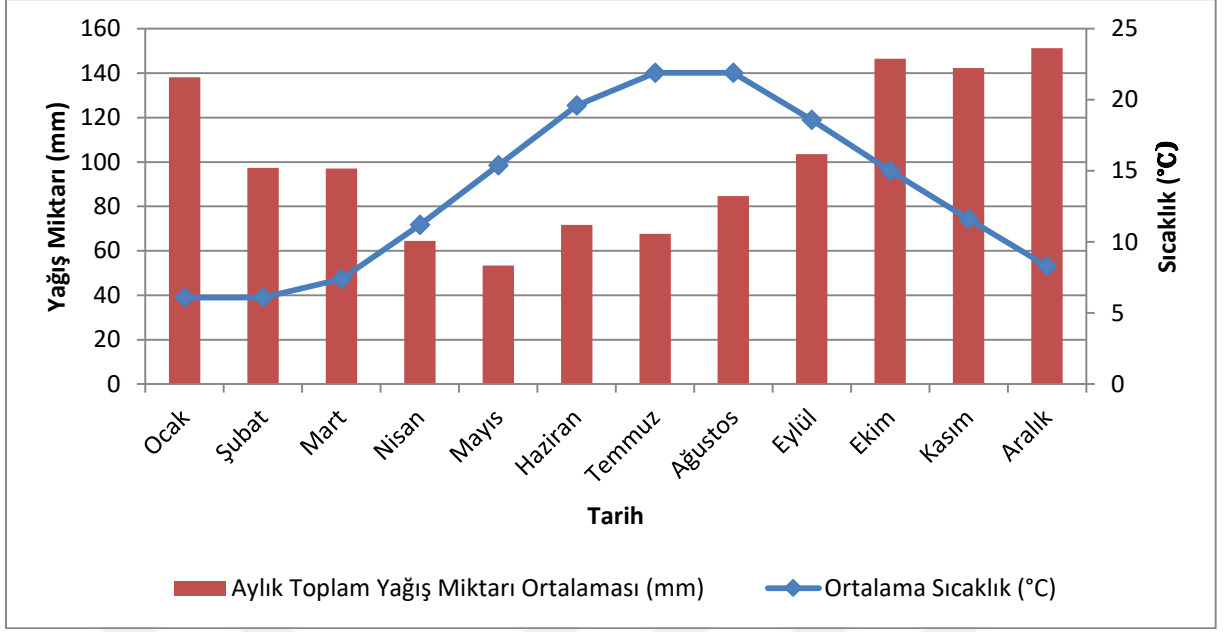
İlçeler	2014	2015	2016	2017
Merkez	126864	126281	126404	126303
Alaplı	44470	44300	43966	43630
Çaycuma	92205	91190	91099	90860
Devrek	55889	56282	56886	56558
Kdz. Ereğli	174151	173886	174619	175351
Gökçebey	21978	21402	21133	21047
Kilimli	39098	38190	37213	36066
Kozlu	44141	44376	46204	47077
Genel Toplam	598796	595907	597524	596892

4.1.3 Meteoroloji ve İklim

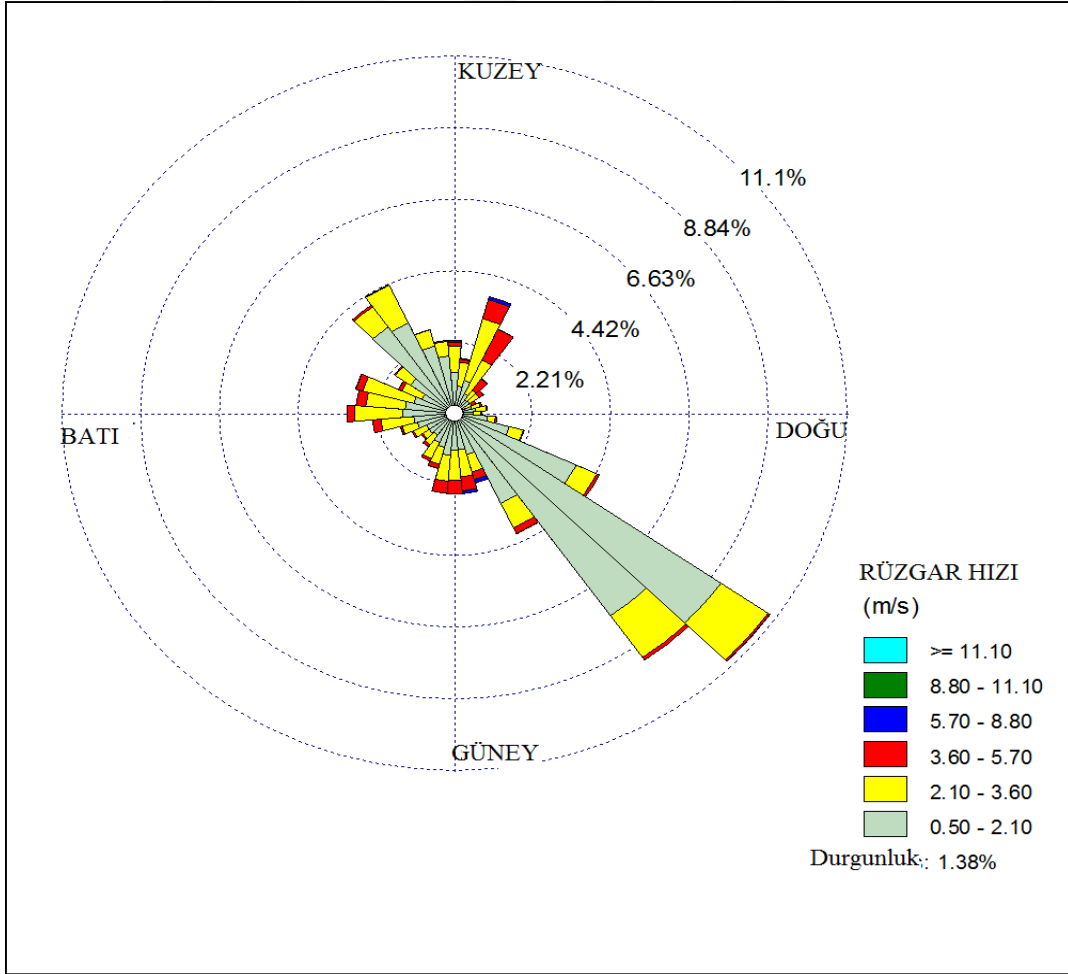
Zonguldak iline ait meteorolojik veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün web sayfasından alınmıştır. Bu meteorolojik veriler Çizelge 4.2'de verilmiştir (URL 5). Ölçüm periyodu 1938-2017 dönemini kapsamaktadır. Zonguldak'ta ılıman Karadeniz iklimi etkilidir. Her mevsimi yağışlı ve ılık olan bir iklime sahip olmasından dolayı Zonguldak'ta en düşük nispi nem oranı % 70'dir. Yıllık ortalama yağış miktarı 1218.1 mm olarak ölçülmüştür. En fazla yağış sonbahar ve kış mevsiminde olmaktadır (Şekil 4.3). İlin yıllık ortalama sıcaklığı 13.6°C'dir. Sıcaklığı en yüksek olduğu aylar Temmuz ve Ağustos aylarıdır (Şekil 4.3). Sert bir iklime sahip olmaması sebebiyle gece-gündüz arasında önemli sıcaklık farklılıkları meydana gelmemektedir. Ancak, deniz kıyısından iç kesimlere doğru gittikçe iklim sertleşme göstermektedir. Hakim rüzgar güneydoğu yönündedir. Bu rüzgar keşişleme olarak adlandırılmaktadır. İkinci etkili rüzgar ise kuzeybatı (karayel) yönündedir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2014, Çevre ve Şehircilik, 2018). Hakim rüzgar yönüne ait rüzgar gülü grafikleri sırasıyla 2014-2017 yılları için Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Zonguldak ili genel meteoroloji verileri.

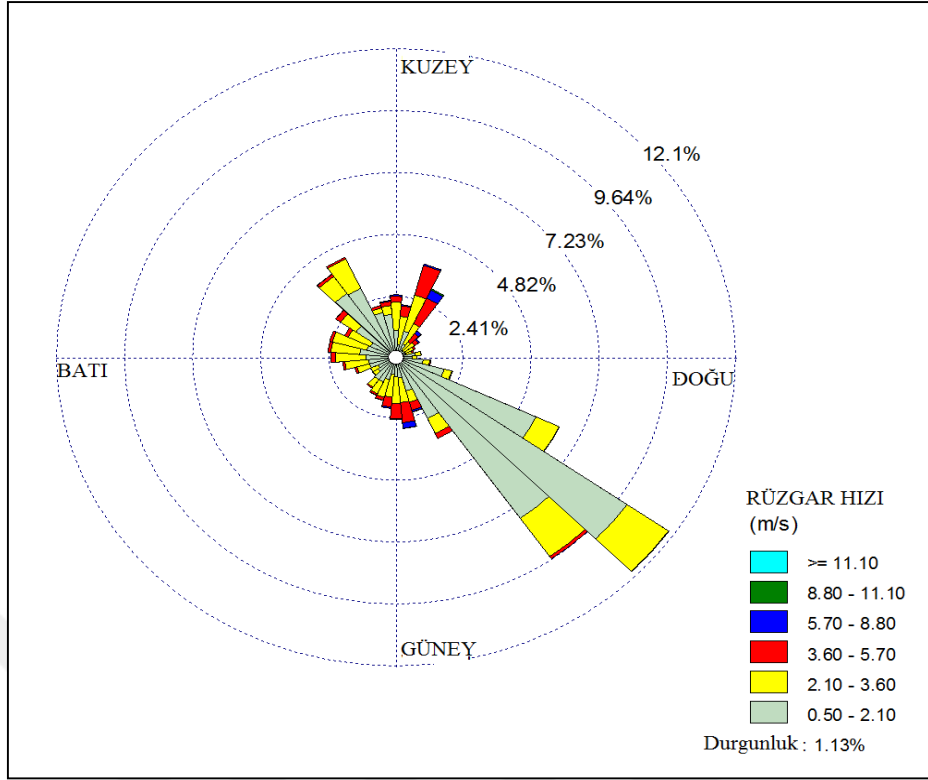
Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort.
Ortalama sıcaklık (°C)	6.1	6.1	7.4	11.2	15.4	19.6	21.9	21.9	18.6	15.0	11.6	8.3	13.6
Ortalama güneşlenme süresi (sa)	2.2	2.7	3.8	5.3	6.8	9.4	10.1	9.4	7.4	5.0	3.3	2.3	5.6
Ortalama yağışlı gün sayısı	17.9	15.6	15.0	12.1	10.7	8.6	6.6	6.9	8.4	12.3	13.7	17.4	12.1
Aylık toplam yağış miktarı Ortalaması (mm)	138.2	97.4	97.1	64.5	53.4	71.7	67.7	84.6	103.5	146.5	142.3	151.2	1218.1



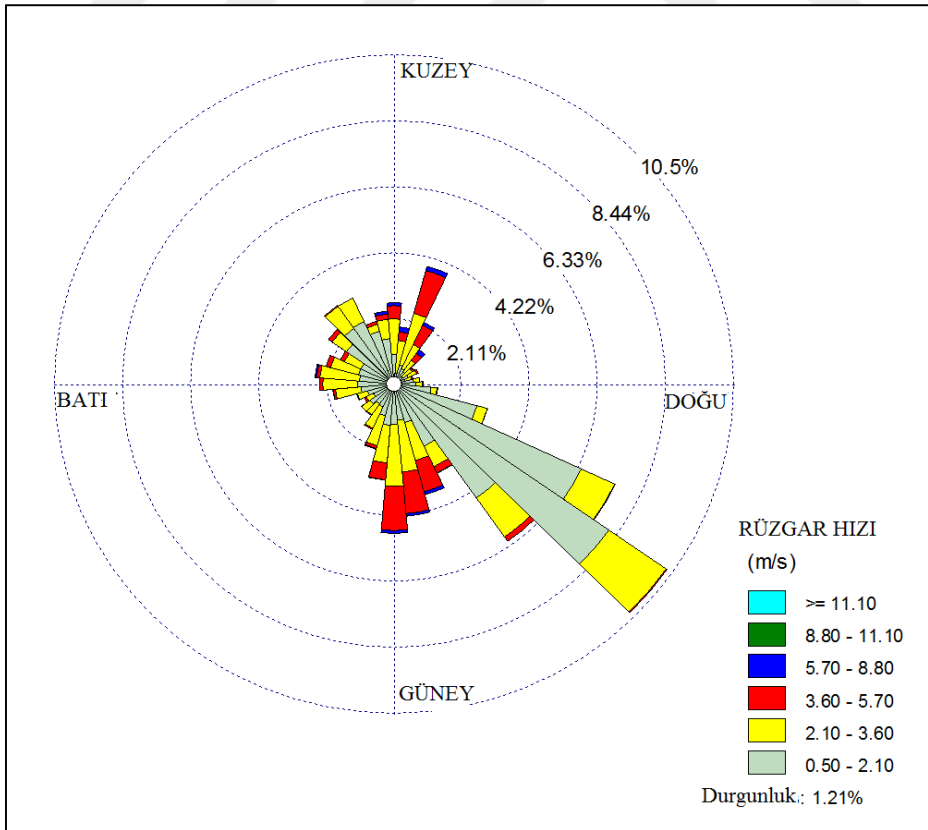
Şekil 4.3 Zonguldak ili sıcaklık ve yağış grafiği.



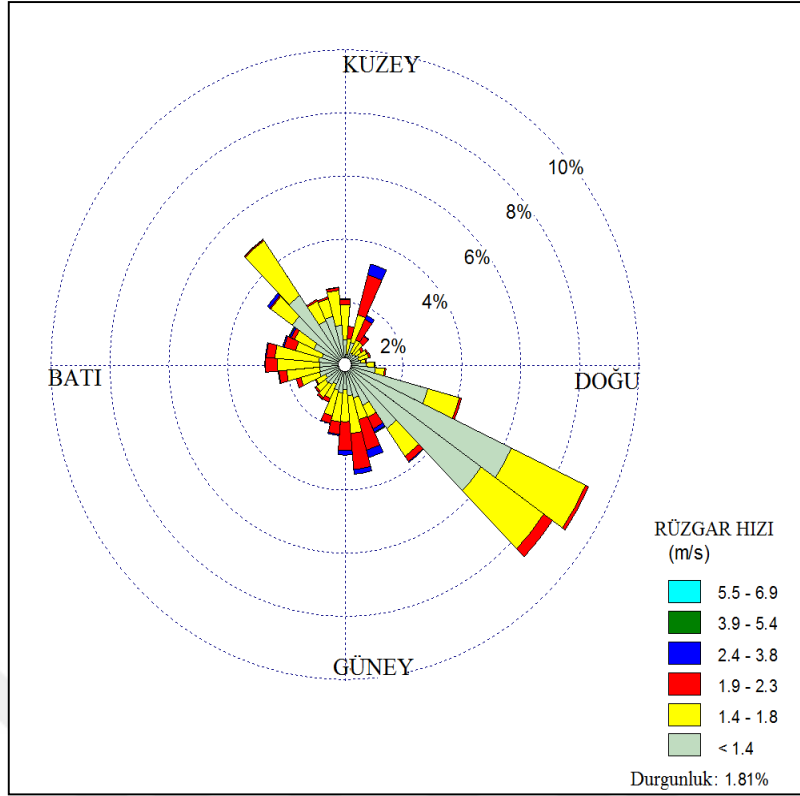
Şekil 4.4 2014 yılına ait rüzgar gülü.



Şekil 4.5 2015 yılına ait rüzgar gülü.



Şekil 4.6 2016 yılına ait rüzgar gülü.



Şekil 4.7 2017 yılına ait rüzgar gülü.

4.1.4 Hava Kirliliği Kaynakları

Evsel ısınma kaynaklı kirleticiler hava kalitesi açısından önemlidir. Zonguldak'ta 2017 yılındaki toplam konut sayısı 190 667 olarak belirlenmiştir. Bu yıl 13 599 konut doğal gaz aboneliği olmasıyla, 49 570 248 m³ doğal gaz evsel olarak, 34 545 510 m³ doğal gaz ise sanayide tüketilmiştir. Kömür kullanan konut sayısı ise 177 068'dir. Konut başına ortalama kömür tüketimi 3.83 ton/yıl (Zeydan 2008) olduğundan dolayı, toplam kömür tüketimi yaklaşık 678 170 ton'dur. Sanayide kullanılan kömür miktarı ise yerli ve ithal olmak üzere toplam 7 023 671 olarak belirlenmiştir (Çevre ve Şehircilik 2018). Zonguldak Çevre Durum Raporlarından elde edilen kömür ve doğalgaz kullanımına ait veriler incelendiğinde çalışma dönemi boyunca (2014-2017) azaldığı görülmüştür. Bu kömür ve doğalgaz kullanım miktarları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3 Zonguldak'ta kömür ve doğalgaz kullanım miktarları.

Yakıt Cinsi	Kullanıldığı Yer	2014	2015	2016	2017
Kömür (ton)	Konut	78 455	15 993	-	-
	Sanayi	6 034 049	6 669 139	6 032 862	7 023 671
Doğalgaz (m ³ /yıl)	Konut	530 772	6 147 364	46 814 221	49 570 248
	Sanayi	13 379 910	6 859 041	30 669 570	34 545 510

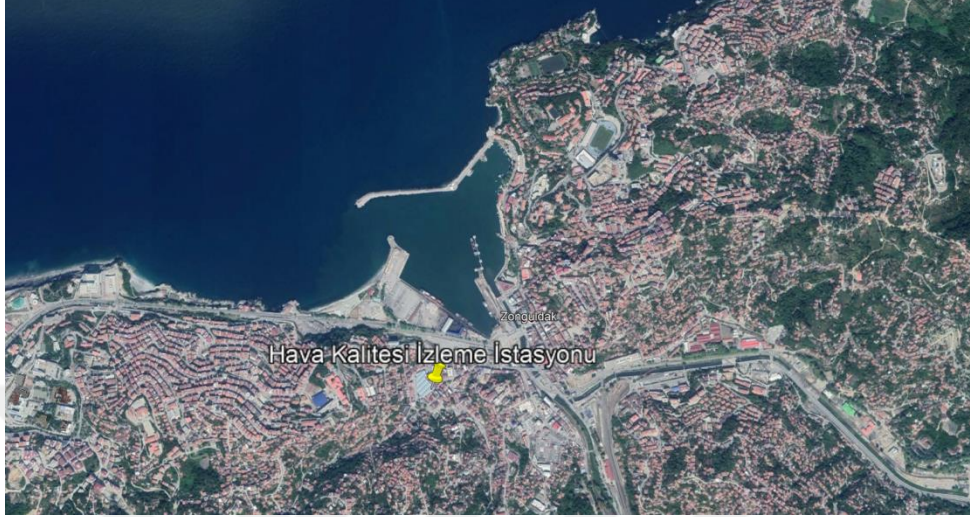
Motorlu taşıtların Zonguldak hava kalitesini etkileyen bir bileşendir. T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü'ne ait D100 devlet karayolu üzerinde en yakın ölçüm istasyonu olan Kozlu'dan elde edilen 2017 yılındaki taşıt sayılarına ilişkin bilgiler Çizelge 4.4'te verilmiştir (URL 6).

Çizelge 4.4 Zonguldak ili motorlu taşıt sayısı.

Araç Cinsi	Araç Sayısı
Otomobil	17 899
Orta Yüklü Ticari Taşıt	1 571
Otobüs	247
Kamyon	971
Kamyon+Römork,Çekici+Yarı Römork	446
Toplam	21 134

Zonguldak ilinde kirlilik için önemli sayılabilecek 4 adet termik santral vardır. Bu santrallerden ilki Çatalağzı Beldesi'ndeki Çatalağzı Termik Santrali kömür havzasından çıkan ve başka amaçla kullanılmayan, kullanım dışı lavuar atıklarıyla elektrik üretimi yapmaktadır. Santral için kömür ihtiyacı Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) Genel Müdürlüğü'nün filtrasyon tesislerinden karşılanmaktadır. Santralin iki ünitesi için kullanılan kömür ihtiyacı yaklaşık olarak 1 700 000 ton/yıl'dır. Bu kömür 2100 000 000 kWh elektrik enerjisi üretimi için kullanılmaktadır. Çatalağzı Termik Santrali, Özelleştirme Yüksek Kurulu'nun kararıyla özelleştirilmiştir ve 2014 yılında santral Bereket Enerji'ye bağlı olarak Elsan Elektrik tarafından işletilmeye başlanmıştır. Yine aynı bölgede Eren Enerji Elektrik Üretim A.Ş. nin sahip olduğu ZETES I, ZETES II ve ZETES III termik santralleri elektrik üretimi amacıyla büyük miktarda kömür kullanmaktadır. Bu termik santrallerde elektrik üretimi amacıyla kullanılan kömür miktarı yaklaşık olarak yılda 3 milyon tondur. Eren Enerji'de üretilmesi

koordinatı 41.4505508 Kuzey Enlemi ve 31.783611 Doğu Boylamıdır. Hava kalitesi izleme istasyonunun uydu görüntüsü Şekil 4.9’de gösterilmiştir. Hava Kalitesi İzleme istasyonundan 2014, 2015, 2016 ve 2017 yıllarına ait PM₁₀ölçüm verileri alınmıştır.



Şekil 4.9 Zonguldak Hava Kalitesi İzleme İstasyonunun konumu.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığına ait ölçüm istasyonunda aktif örnekleme yöntemlerinden partikül madde için gravimetrik yüksek hacimli örnekleme yöntemi kullanılmaktadır. Bu örnekleme yönteminde hava bir pompa aracılığı ile fiziksel ya da kimyasal bir ortamdan geçirilir. Örnekleme ortamından geçen havanın fazla miktarda hacme sahip olması ölçümün hassasiyetini artırmaktadır (Özkur 2011). Asılı partikül maddeler için OECD filtre yöntemi, toplam ya da solunabilir partiküller için ise US EPA gravimetrik yüksek hacimli örnekleme metodu kullanılmaktadır (Ay vd. 2010). Bu şekilde bu örnekleme yöntemi ile günlük ortalama PM₁₀ ölçümleri elde edilebilmektedir. Düşük maliyetle çalışması ve işletim aşamasının kolay bir şekilde gerçekleşmesi gibi avantajlara sahiptir (Ocak 2005).

4.3 HYBRİD SINGLE PARTICLE LAGRANGIAN INTEGRATED TRAJECTORY (HYSPLIT)

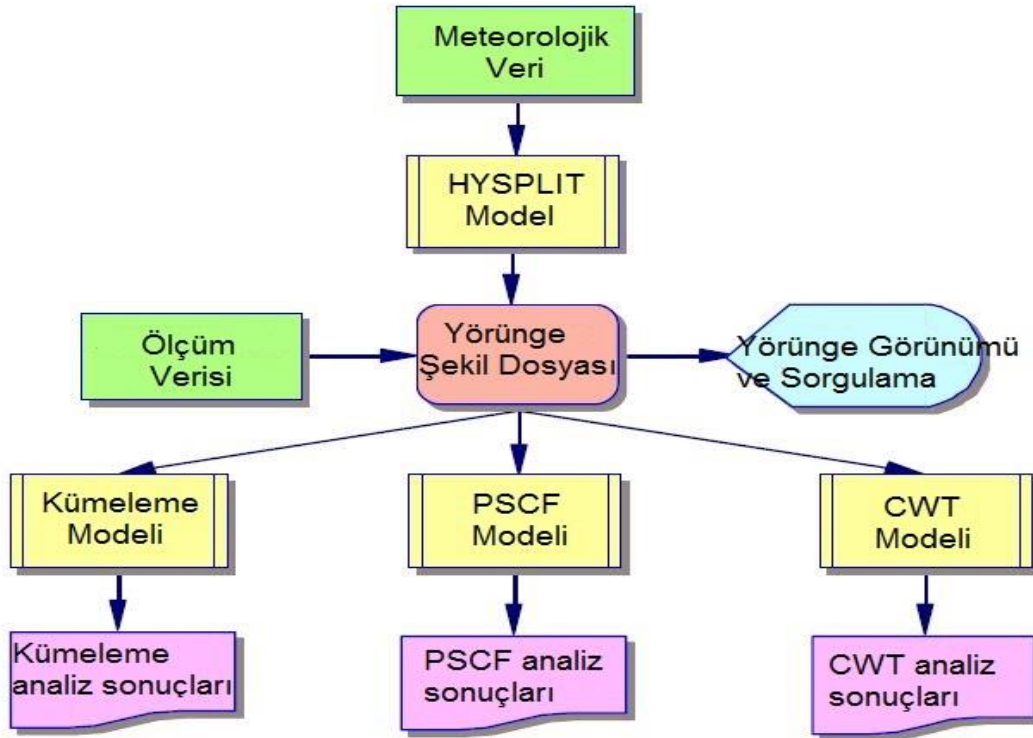
Hibrid Tek Parçacıklı Lagrange Entegre Yörünge (HYSPLIT) modeli Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA)Hava Kaynakları Laboratuvarı (Air Resources Laboratory - ARL) tarafından geliştirilmiş bir programdır. Meteorolojik girdi verisi olarak global NCEP/NCAR Reanalysis Proje verileri ve Hava Araştırma ve Tahmin modeli (WRF) verisini kullanmaktadır (Rolph vd., 2014).

HYSPLIT, atmosferdeki kirletici ve tehlikeli maddelerin atmosfer ortamında ilerlemesi, yayılması ve çökeltilmesiyle ilgili uygulamaları yapmak için kullanılır (Yıkılmaz 2010).

Coğrafi koordinatları belli olan bir noktanın, meteorolojik ölçüm verileri kullanılarak hava kütlelerinin dikey yönde ve yatay yönde yapmış olduğu hareketleri HYSPLIT modeli hesaplayabilmektedir. HYSPLIT modeli kirleticinin adveksiyonunu ve yörüngesini hesaplayabilen gelişmiş bir yazılımdır. HYSPLIT, puff ve parçacık yaklaşımını kullanarak karmaşık yapıdaki dağılım ve birikim olaylarını çözebilir (Draxler vd. 2014).

HYSPLIT modeli kirleticilerin kompleks yayılım ve birikim simülasyonlarını basit hava parsel yörüngeleri şeklinde bilgisayar kullanımına uygun hale indirgeyen bir sistemdir (URL7). HYSPLIT modeli çıktı olarak konsantrasyon ve yörünge verisini sağlamaktadır. Bu model Lagrange (sabit bir referans noktası yoktur) ve Euler (sabit bir referans noktası vardır) yaklaşımlarını hesaplamalarda birlikte kullanmaktadır. Euler yaklaşımı kirleticinin konsantrasyonunu hesaplamak için kullanırken, Lagrange yaklaşımı ise hava parseli ve yörüngelerin taşınımını açıklamada yardımcı olmaktadır (Yıkılmaz 2010). Modelin çalışma yapısı Şekil 4.10'da şematik olarak gösterilmiştir (Wang vd. 2009).

Model, üç uyumlu harita projeksiyonu olan Kutupsal, Lambert ve Merkatör projeksiyonlardan birinde oluşturulmuş meteorolojik veriyi, enlem ve boylam koordinatlarını girdi olarak kullanmaktadır. HYSPLIT modeli için kullanılan meteorolojik veriler, NOAA Ulusal Çevre ve Koruma Merkezleri (The National Centers for Environmental Prediction -NCEP) hava tahmini modellerinden elde edilir. Bu veriler analiz ve tahmin yoluyla rüzgar alanları olarak çıktı alınan dört boyutlu (x, y, z, t) model girdisidir (Draxler vd. 2014, Yıkılmaz 2010). Diğer bir girdi verisi ise kirletici konsantrasyonu ölçümleridir. Model konsantrasyon ve meteorolojik veriyi kullanarak geri yörünge hesaplamalarını çıktı olarak sunmaktadır.



Şekil 4.10 Modelin çalışma yapısı.

Geri yörünge hesaplama süresini seçmek yörünge modellerinde önemli bir konudur. Geri yörünge hesaplama süresinin uzunluğunu kabul ederken kirleticinin atmosferde kalma süresini dikkate almak önemlidir. Sürenin, ölçülen kirleticinin atmosferdeki kalış süresinden daha az ya da daha uzun olmaması önemlidir. Literatürdeki çalışmalara bakıldığında geri yörüngelerin hesaplanması için seçilen süre genellikle 3 ile 7 gün arasındadır. Geri yörünge hesaplama süresinin doğru seçimi belirsizliklerin oluşmaması içinde önemlidir. Meteorolojik girdi verilerinde mekânsal ve zamansal hatalar bulunabilir, bu nedenle geri yörünge hesaplama süresinin yanlış seçimi bu hataların ve belirsizliklerin artmasına neden olur. Yörünge hesaplanmasında önemli bir diğer konu ise varış yüksekliğinin seçilmesidir. Aerosol çalışmalarında, örnekleme istasyonunda sınır tabakası içinde veya altında bulunan hava akışlarının hava kalitesine katkıda bulunduğu kabul edilir. Bu nedenle varış yüksekliği sınır tabakası içindeki akışın temsili olarak seçilir (Tokgöz 2013).

Bu çalışmada kullanılan model parametreleri Çizelge 4.5'te kısaca özetlenmiştir. Çalışmada NCEP/NCAR (National Center for Atmospheric Research) küresel re-analysis meteorolojik veri kümesi programda meteorolojik girdi olarak kullanılmıştır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın Zonguldak'taki ölçüm istasyonundan elde edilen PM₁₀ verileri diğer model girdisidir.

HYSPLIT modeli TrajStat yazılımı ile kullanılarak 2014, 2015, 2016 ve 2017 yılları için geri yörünge hesaplamaları yapılmıştır.

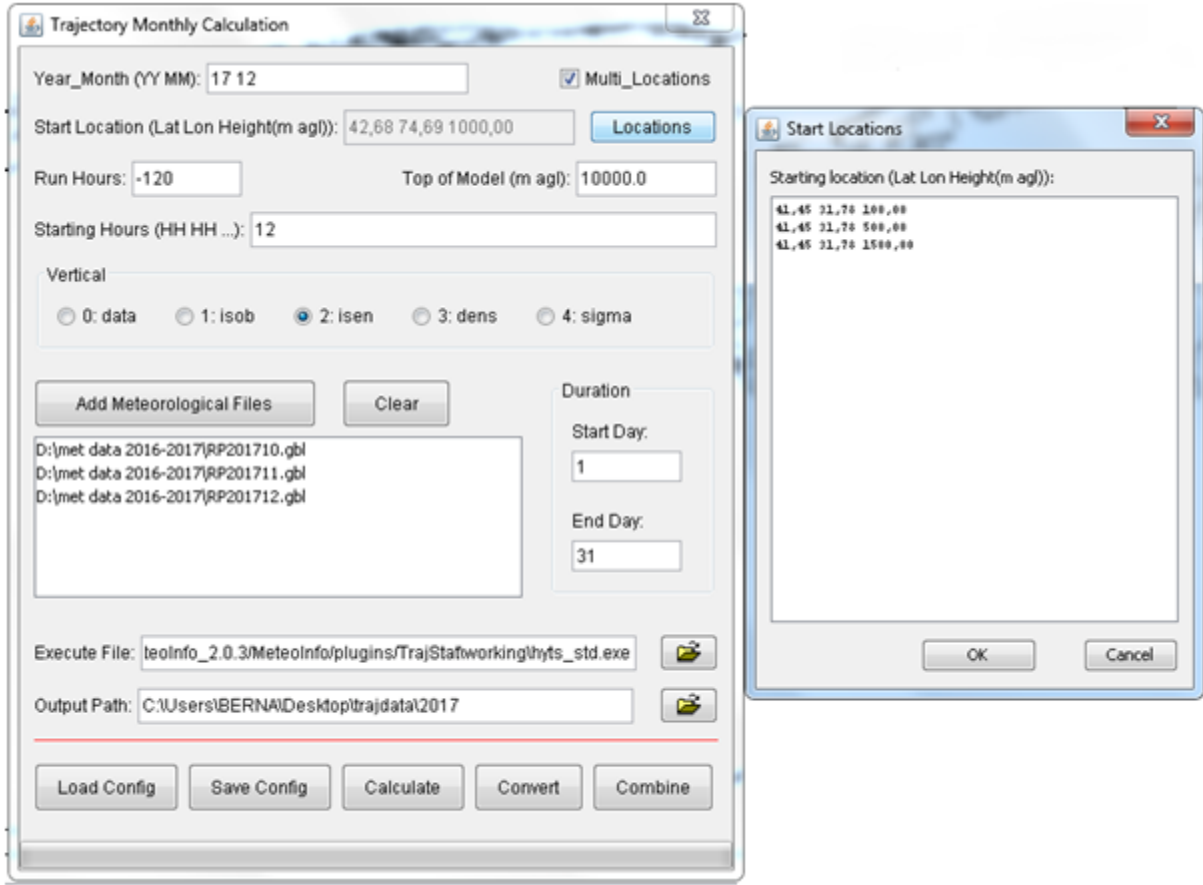
TrajStat, hava kirliliği verilerini kullanarak olası kaynak alanlarını belirlemek amacıyla çeşitli istatistiksel analiz yöntemleri kullanan CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) tabanlı bir yazılımdır. Hava kirliliği yönetimi için; ortamdaki hava kalitesi verilerini kullanarak, geri yörünge analizleri, geri yörüngelerin istatistiksel analizleri, uzun süreli kirlenici parametre ölçümleriyle kirliliğin kaynaklandığı alanı ve taşınım yönünü belirlemek önemlidir. Bu yöntemleri kullanan TrajStat, reseptör alanına ait kirlenici verileri programa dahil edildiğinde yörüngeleri oluşturmak, kümeleme analizi yapmak, PSCF ve CWT analizleri yapmak için geliştirilmiş bir yazılımdır (Wang vd. 2009).

HYSPLIT modelinin yılın her günü için geri yörüngelerin hesaplanması amacıyla kullanılmak istendiğinde 365 kez çalıştırılması gerekmektedir. Ancak, TrajStat ise yine HYSPLIT modelinin hesaplama yöntemini kullanarak tek aşamada aylık olarak geri yörüngelerin hesaplanmasını sağlamaktadır. Ayrıca TrajStat yazılımı CBS tabanlı programların haritalama için kullanılmasına olanak tanımaktadır ve geri yörünge hesaplamaları için çeşitli istatistiksel analiz yöntemlerini kullanmaktadır (Tokgöz 2013).

Programda dikey hareketler için isentropik varsayım kullanılarak yörüngeler hesaplanmıştır, burada yörünge sabit bir sıcaklık potansiyelini izlediği kabul edilmektedir. Bu çalışmada 120 saatlik yani 5 günlük geri yörüngelerin oluşturulması sağlanmıştır. Geri yörüngelerin bitiş yüksekliği olarak, programın çoklu seviyelerde hesaplama yapabilme özelliği kullanılarak, 100, 500 ve 1500 metre seçilmiştir. TrajStat yazılımı giriş menüsünde meteorolojik veri olarak Reanalysis (URL 8) kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. TrajStat yazılımına verilerin giriş menüsü Şekil 4.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 Çalışmada kullanılan model parametreleri.

PARAMETRE	DEĞER
Süre	120 saat (5 gün)
Dikey Hareket	İsentropik
Meteorolojik veri	NCEP/NCAR re-analysis
Yörünge bitiş zamanı	14:00
Yörünge bitiş yükseklikleri	100, 500, 1500 m

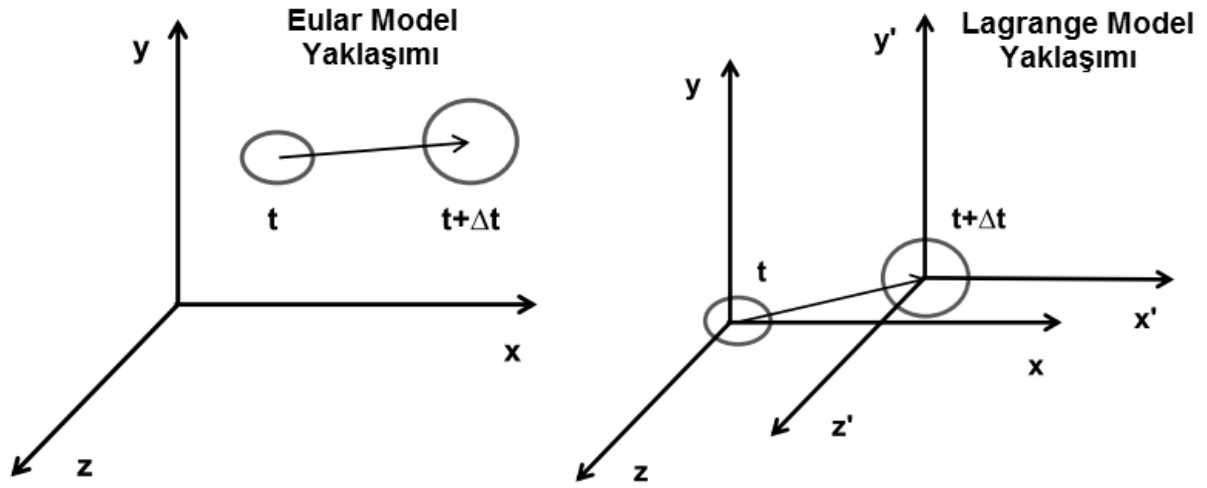


Şekil 4.11 Model verilerinin programa girilmesi.

4.3.1 Yörüngeler

Yörünge, yatayda etkili olan meteorolojik faktör rüzgar tarafından hava kütlelerinin taşınması sonucu zamanla konumunun değişimini ifade etmektedir. Yörünge modelleri, atmosferde gerçekleşen durağan halde bulunmayan hava hareketlerinin tanımlanması amacıyla kullanılmaktadır (Yıkılmaz 2010).

Yörünge hesaplanmalarında kullanılmak üzere iki yaklaşım vardır. Bunlardan birincisi Euler yaklaşımıdır. Euler yaklaşımı, koordinat sistemini sabit olarak kabul etmektedir. Yani, bu yaklaşımda hava kütlesi bulunduğu boşluğa karışmaktadır. Diğer yaklaşım ise Lagrange yaklaşımıdır, hava kütlelerinin sabit bir koordinat sistemine sahip olmadığını kabul etmektedir. Bu yaklaşımda, hava kütlesi zamanla boşlukta bulunduğu noktadan ileriye taşınmaktadır (Yıkılmaz 2010, Zeydan 2014). Şekil 4.12 bu yaklaşımları şekilsel olarak göstermektedir (Tayanç 2013).



Şekil 4.12 Euler ve Lagrange yaklaşımları.

Hava kütesinin yörüngesinin diferansiyel olarak hesaplanması Denklem (4.1)'de verilmiştir.

$$\frac{dX}{dt} = \dot{X}[X(t)] \quad (4.1)$$

t: Zaman

X: Konum vektörü

\dot{X} : Rüzgar hızı vektörü

Eğer hava kütesinin t_0 anında konumu (X_0) biliniyorsa, yörüngesinin belirlenmesiyle elde edilen son konumu Denklem(4.2)'deki gibi bulunur. Taşınım ters yönde gerçekleşiyorsa konumu Denklem(4.3)'teki gibi ifade edilir (Yıkılmaz 2010).

$$X(t) = X(X_0, t) \quad (4.2)$$

$$X_0(t = t_0) = X_0(X, t) \quad (4.3)$$

t: Zaman

t_0 : Başlangıç zamanı

X: Son konumu

X_0 : Başlangıç konumu

Yörünge hesaplamak için kullanılan modeller aracılığıyla zamanın entegrasyonu olarak ileri ya da geri yörüngeler hesaplanabilir. t_0 anındaki X_0 koordinatı tüm zaman dilimlerindeki her hava kütesinin yörüngesini tanımlamak için kullanılır. Bu koordinata Lagrange koordinatı denilmektedir (Yıkılmaz 2010).

HYSPLIT modeli, yörüngeleri hesaplamak için kullanılır. Üç boyutlu uç nokta verilerine sahip yörünge dosyaları çoklu çizgi olarak ESRI shapefile (*.shp) biçim dosyası formatına dönüştürülebilir. Bu tip dosyalarda her noktaya ait x, y, z özellikleri, yörünge boyunca boylam, enlem ve hava basıncı ile tanımlanır (Wang vd. 2009).

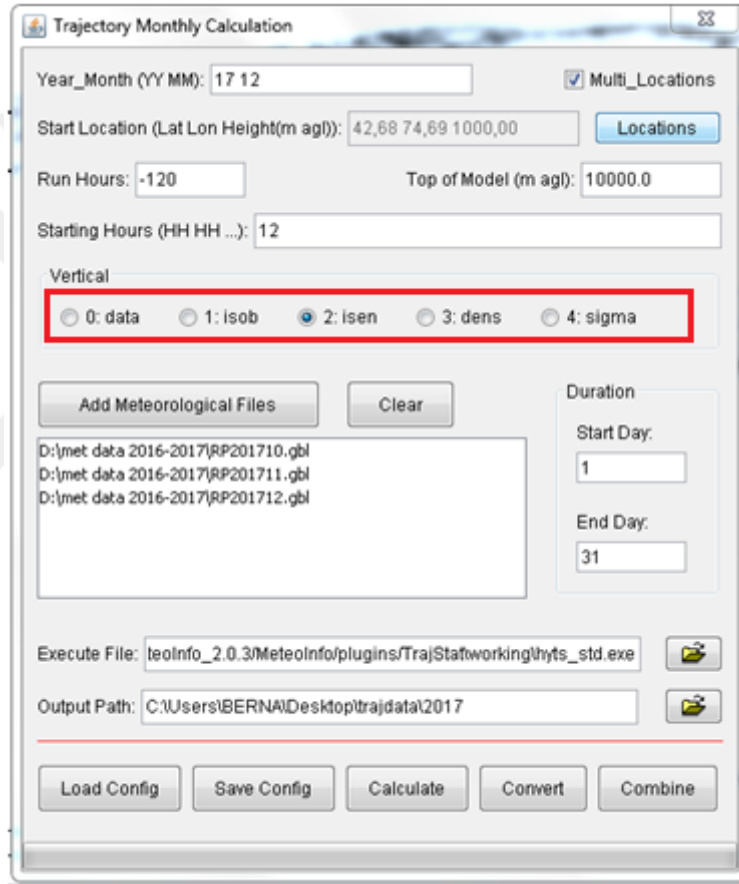
4.3.2 Yörünge İstatistikleri

Çok değişkenli istatistiksel modeller istasyonda toplanan parçacıkların kaynakları hakkında bilgi sağlamak için kullanılabilir. Ölçüm verileri, kaynak bölgelerini belirlemek için coğrafi bilgilerle birleştirilmelidir. Geri yörünge, meteorolojik etken olan rüzgarın etkisiyle hava kütesinin konumunun zamanla değişmesi sonucu elde edilen bir entegrasyondur. Hava kütesinin atmosferde takip ettiği yörüngeleri, bölgesel ölçekte kirleticilerin kaynak ve alıcı ortam ilişkisinin belirlenmesi için yörünge modelleri yararlı bir araç olarak kullanılmaktadır. Farklı varsayımlara bağlı olarak çeşitli yörünge hesaplama yöntemleri geliştirilmiştir (Doğan 2005).

Yatayda etkili olan en önemli bileşen rüzgar yörünge modelleri için önemli bir meteorolojik girdi olarak kullanılır. Bunun yanında yörüngelerin hesaplanması için kabul edilen varsayımlar dikey bileşenleri kapsamaktadır ve bu varsayımlar şunlardır (Doğan 2005, URL 9, Yıkılmaz 2010):

- Data: Meteorolojik veri dosyasında dikey hız alanını kullanır,
- İsoyarık: Yörüngesinin sabit bir basınç yüzeyini takip ettiği varsayılır,
- İsentropik: Yörüngesinin sabit bir sıcaklık potansiyelini takip ettiği varsayılır,
- Density: Yörünge için sabit yoğunluk yüzeyinde kaldığı varsayılır,
- Sigma: Dikey hareket sıfırdır ve yörünge aynı iç sigmada kaldığı varsayılır.

Meteorolojik veriler girdi olarak kullanılırken genellikle dikey hareket alanını içermektedir. Model, bu verileri yörünge ve dağılım hesaplamalarında kullanmaktadır. Dikey hareket verisi eksikse ya da simülasyon için özel durumlar, kabuller söz konusu ise model tarafından kirleticilerin başka bir yüzeyde taşıdığı varsayımına dayanarak dikey koşullar için seçim yapma olanağı sunmaktadır (URL 4). Dikey hareket verilerinin program aracılığı ile tercih edilmesine dair adım Şekil 4.13'te gösterilmiştir. Bu seçime, literatürdeki çalışmalarda yapılan kabuller doğrultusunda karar verilmiştir. Dikey yöndeki hareketin durumu için kullanıcının tercihine göre seçim yapılmaktadır.



Şekil 4.13 Dikey hareket seçimi.

4.3.3 Yörünge Hesaplama

TrajStat için yörünge hesaplama işlevi HYSPLIT modelinden gelmektedir. HYSPLIT yörünge hesaplamasında bir kirletici parçacığının yatay yönde etki eden meteorolojik değişken olan rüzgarı pasif olarak takip ettiği varsayılır (URL 9, Wang vd. 2009, Yıkılmaz 2010). Bu varsayım

göre parçacığın ilk bulunduğu konumdan zamanla entegre şekilde taşındığı son konuma olan hareketinin değişimi hesaplanmaktadır. Bu hesaplama Denklem (4.4)'te verilmiştir.

$$P'(t + \Delta t) = P(t) + V(P, t)\Delta t \quad (4.4)$$

Eşitlik son olarak şu şekildedir:

$$P(t + \Delta t) = P(t) + 0.5[V(P, t)\Delta t + V(P', t + \Delta t)]\Delta t \quad (4.5)$$

P(t): Parçacığın başlangıç konum vektörü

(t): Zaman

P'(t + Δt): İlk konum tahmini

V: Hız vektörü

Δt: Zamana bağlı integrasyon adımı

4.3.4 Yörünge Kümeleme Analizi

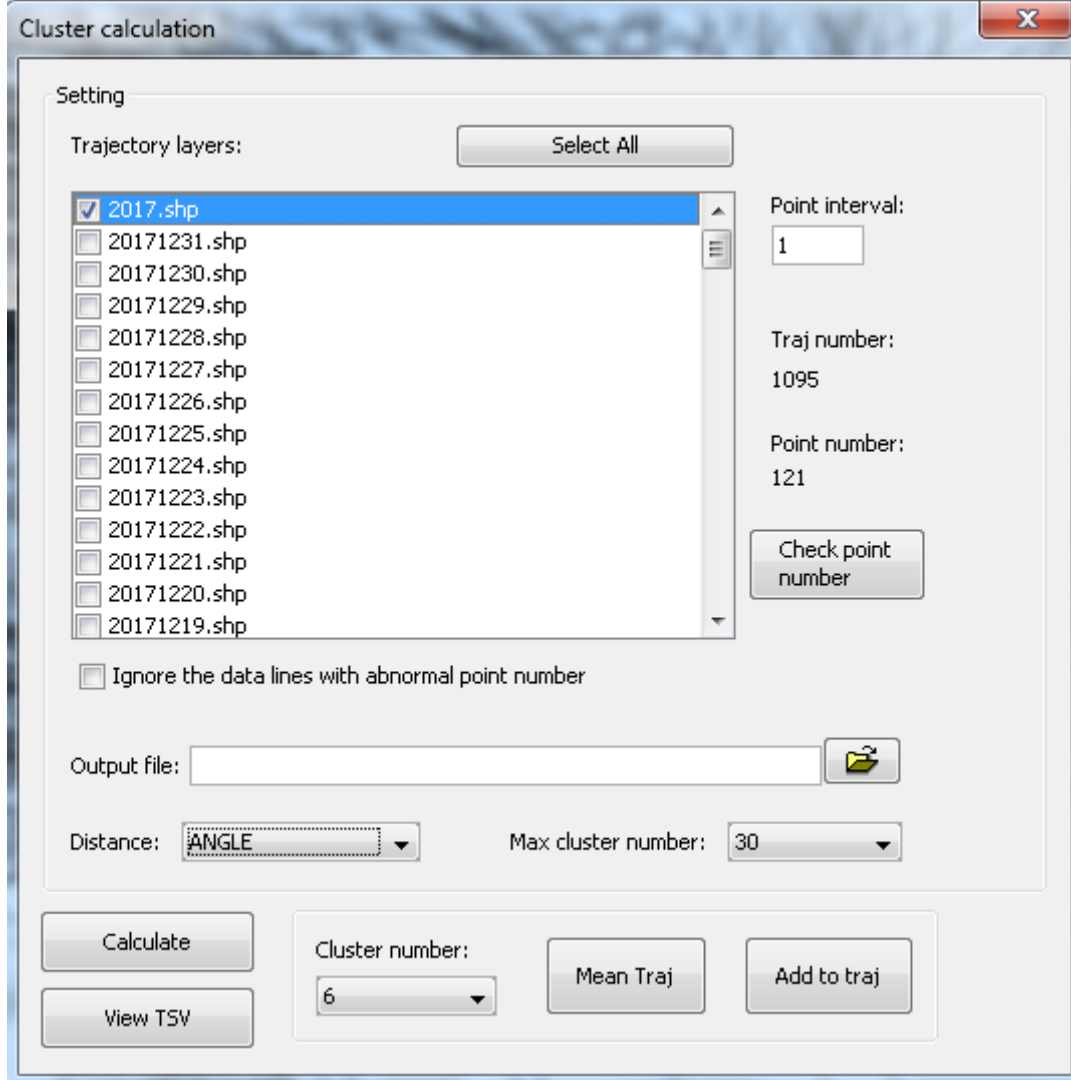
Kümeleme analizi, bir veri setini belli kurallar dahilinde birkaç ana gruba ayıran çok değişkenli istatistiksel bir teknik olarak adlandırılabilir. Kümeleme analizi genellikle nesnel bir sınıflandırma yöntemi olarak tanımlanır, ancak kümeleme algoritmasının seçimi, mesafe tanımlanması ve kümelerin sayısı subjektif olarak belirlenir. Birkaç farklı kümeleme algoritması geliştirilmiştir, ancak TrajStat'ta Ward'ın hiyerarşik yöntemi en yakın yörüngeleri birleştirerek kümeleme analizi yapmak için kullanılır. Bu yöntemle göre Öklid mesafesi enlem ve boylam konumlarını değişken olarak kullanarak iki yörünge arasındaki mesafeyi tanımlamak için kullanılır (Wang vd., 2009). Buna göre bu mesafe Denklem (4.6)'te verildiği gibi hesaplanmaktadır. Seçimlerin TrajStat yazılımına giriş ekranı Şekil 4.14'te verilmiştir.

$$d_{12} = \sqrt{\sum_{i=1}^n [(X_1(i) - X_2(i))^2 + (Y_1(i) - Y_2(i))^2]} \quad (4.6)$$

d_{12} : İki yörünge arasındaki mesafe

n: Geri yörünge sayısı

$X_1(Y_1)$, $X_2(Y_2)$: 1 ve 2'yi referans alan geri yörüngelerin koordinatları



Şekil 4.14 Kümeleme verileri giriş ekranı.

Öklid mesafesi yöntemini kullanmanın temel dezavantajı, aynı yolu takip eden, ancak daha hızlı olan iki geri yörüngeyi iki farklı küme halinde sınıflandırılabilir olmasıdır. Eğer hesaplama yapılan alan hava kütlelerinin siteye ulaşma yönünü belirlemek amacıyla kullanılacaksa kosinler yasasını kullanarak tanımlanan açı mesafesi yöntemi kullanılabilir (Wang vd. 2009). Bu yöntem Denklem (4.7)'te verilmiştir.

$$d_{12} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos^{-1} \left(0.5 \frac{(A_i + B_i - C_i)}{\sqrt{A_i B_i}} \right) \quad (4.7)$$

burada;

$$A_i = (X_1(i) - X_0)^2 + (Y_1(i) - Y_0)^2 \quad (4.7a)$$

$$B_i = (X_2(i) - X_0)^2 + (Y_2(i) - Y_0)^2 \quad (4.7b)$$

$$C_i = (X_2(i) - X_1(i))^2 + (Y_2(i) - Y_1(i))^2 \quad (4.7c)$$

X_0, Y_0 : Geri yörüngenin başlangıç koordinatları

d_{12} : İki geri yörünge arasındaki mesafe

n : Küme sayısı

Hem öklid hem de açı mesafesi yöntemleri TrajStat yazılımında mevcuttur ve yazılım tarafından gösterilen en iyi küme çizgisinin görsel olarak sunulması, son kümelenme sayısını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır (Wang vd. 2009).

4.4 UZAKTAN ALGILAMA İLE TOZ TAŞINIMININ BELİRLENMESİ

Aerosol optik derinliği (AOD), yer yüzeyinden başlayarak atmosferin sahip olduğu en üst tabakaya kadar olan aerosol miktarını ifade etmektedir. Terra ve Aqua uyduları üzerindeki MODIS sensörü ile aerosol optik derinliği ölçülmektedir. AOD verisini elde edebilmek için bazı koşulların sağlanması gerekmektedir. Bu veri ancak gündüz, bulutsuz hava şartlarında, kar ve buzun olmadığı alanlardan elde edilebilmektedir (Zeydan 2018).

Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometre (MODIS) sensörü NASA tarafından Terra ve Aqua uyduları üzerine yerleştirilerek uzaya gönderilmiştir. MODIS sensörü atmosferik aerosollerin izlenmesi için kullanılmaktadır. MODIS cihazı görünür ışık mavi dalga boyundan termal kızıl ötesine kadar 36 farklı dalga boyunda görüntü elde etmektedir. Elde edilen görüntülerin mekansal çözünürlükleri 250, 500 ve 1000 m olarak değişmektedir. MODIS görüntülerinin swath genişliği 2300 km, zamansal çözünürlüğü ise 1-2 gündür. Terra uydusu dünyayı sabah, Aqua ise dünyayı öğleden sonra görmektedir (Yücel 2017, Zeydan 2018, Zeydan ve Wang 2019).

AOD verisini elde etmek için kullanılan algoritmalarından orman alanları için Dark Target (DT), kentsel bölge ve kıyı alanları için Deep Blue (DP) kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan AOD verileri, hem okyanus hem de kara üzerinde tespit eden ve bu verinin kalite doğrulamasını içeren bir Science Data Sets (SDS) türü olan “Combined Dark Target and Deep Blue AOD at 0.55 micron for land and ocean: Mean” kullanılarak elde edilmiştir (Zeydan 2018).

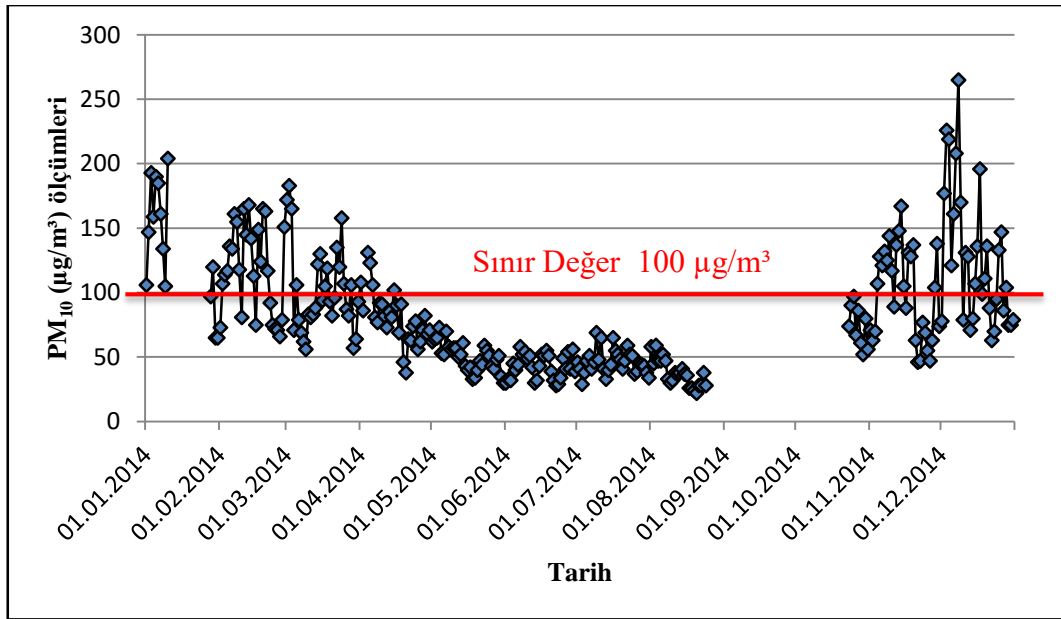
MODIS verilerini elde etmek için NASA’ya ait Giovanni uygulaması kullanılmıştır. Giovanni, kaynağın kolayca erişilebilir olduğu jeofiziksel parametrelerin görüntülenmesi ve analizi için kullanılan web ortamıdır. Online olarak kullanılan bu uygulama MODIS AOD verisinin yanında, çok sayıda atmosferik, meteorolojik, hidrolojik ve oşinografik veriyi işlemek için kullanılmaktadır. Disciplines bölümünden aerosol verisi seçilerek, ulaşılmak istenen tarih aralığı seçeneğine istenilen tarih aralığı girilip, taşınımın olup olmadığına bakılacak bölge için koordinat bilgisi seçilmesi ve Platform/Instrument bölümünden (Terra /Aqua) hangi uydudan alınması gerektiği seçilerek istenilen görüntüye ulaşılmasını sağlamaktadır. Bu ürünler 1°’lik mekansal çözünürlüğe sahiptir. Günlük veya aylık olarak zamansal çözünürlüğü mevcuttur (URL 10, Zeydan 2018). Bu çalışmada MODIS/Terra uydusu kullanılarak uydu görüntüleri elde edilmiştir.

BÖLÜM 5

BULGULAR VE TARTIŞMA

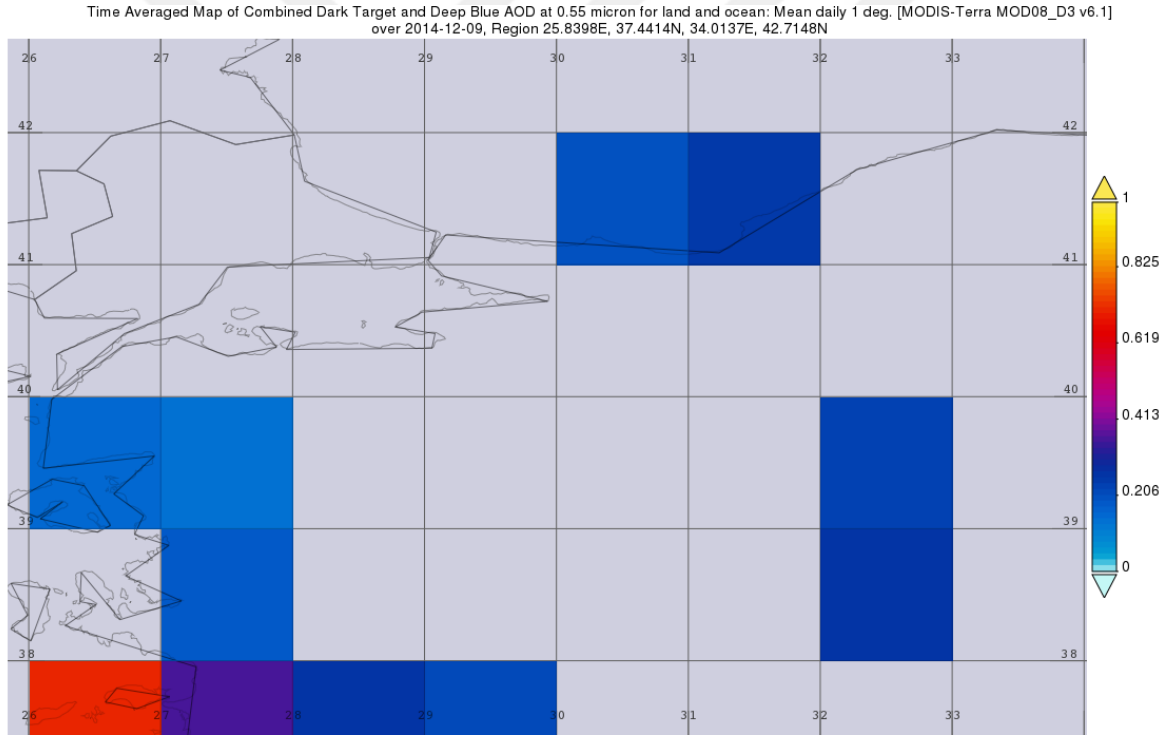
5.1 YILLARA GÖRE PM₁₀ İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

41,4505508 kuzey enlemi ve 31,783611 doğu boylamı koordinatlarına sahip Çevre ve Şehircilik Bakanlığının Zonguldak Hava Kalitesi İzleme istasyonundan alınan günlük ortalama PM₁₀ verileri kullanılarak 2014, 2015, 2016 ve 2017 yıllarına ait istatistiksel analizler yapılmıştır. Çizilen kutu grafikleri ve calender chart grafiği için kullanılan excel dosyası <https://www.vertex42.com/excelTemplates/statistics.html> web sitesinden indirilmiştir. 2014, 2015, 2016 ve 2017 yıllarına ait PM₁₀ verileri ile elde edilen zaman serisi grafikleri çizilerek, tüm yıl boyunca PM₁₀ değerlerinin değişimi sırası ile Şekil 5.1, Şekil 5.7, Şekil 5.13 ve Şekil 5.21’de verilmiştir. Her grafik üzerinde Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği kapsamında belirlenen aşılmaması gereken PM₁₀ sınır değerleri gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde; sınır değer üzerinde kalan konsantrasyonlar hava kalitesi açısından önemli gün sayısını belirlemede kullanılmaktadır.



Şekil 5.1 Zonguldak 2014 yılı PM₁₀ ölçümleri.

Günlük ortalama PM₁₀ konsantrasyonları 2014 yılı için değerlendirildiğinde; 2014 yılına ait ortalama PM₁₀ konsantrasyonu 82 µg/m³'tür. Ölçüm istasyonuna ait günlük PM₁₀ konsantrasyonları için minimum konsantrasyon değeri 22 µg/m³, maksimum PM₁₀ konsantrasyonu ise 265 µg/m³ olarak ölçülmüştür. Zonguldak iline ait minimum konsantrasyon değeri yaz ayı (Ağustos), maksimum değer ise kış ayı (Aralık) içerisinde ölçülmüştür. 8 Aralık 2014 tarihinde ölçülen bu yüksek değer için uydu verilerine bakıldığında bir taşınım olup olmadığı incelenmiştir. Bu güne ait udu görüntüsü Şekil 5.2'de verilmiştir. Bu görüntülere bakıldığında; taşınımın olmadığı, bu PM₁₀ artışının kış dönemi olması itibariyle evsel ısınma faaliyetlerinden kaynaklandığı sonucuna ulaşılabılır. 2014 yılı boyunca 77 gün ölçüm yapılamamıştır ve en çok Ekim ve Eylül ayında ölçülememiştir. Bu ölçüm verilerinin eksikliği ölçüm cihazından kaynaklanan arıza sebebiyle olabilir.

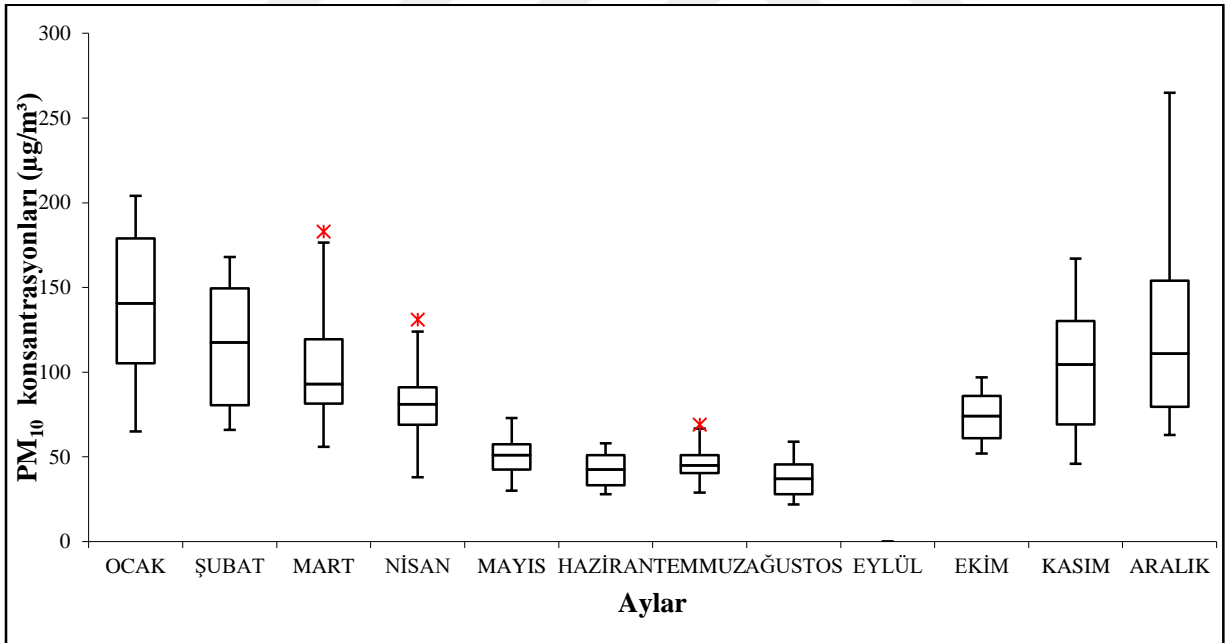


Şekil 5.2 Zonguldak 08.12.2014 tarihindeki uydu görüntüsü.

Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği kapsamında 2014 yılı sınır değeri 100 µg/m³ tür. Bu değer 2014 yılı boyunca günlük PM₁₀ ölçümleri 88 gün aşılmıştır.

Bu yıla ait günlük PM₁₀ konsantrasyonlarının aylık bazda değişimin görülebilmesi amacıyla kutu grafiği aracılığıyla yapılan istatistiki analiz görsel olarak Şekil 5.3'te verilmiştir. Çevre ve

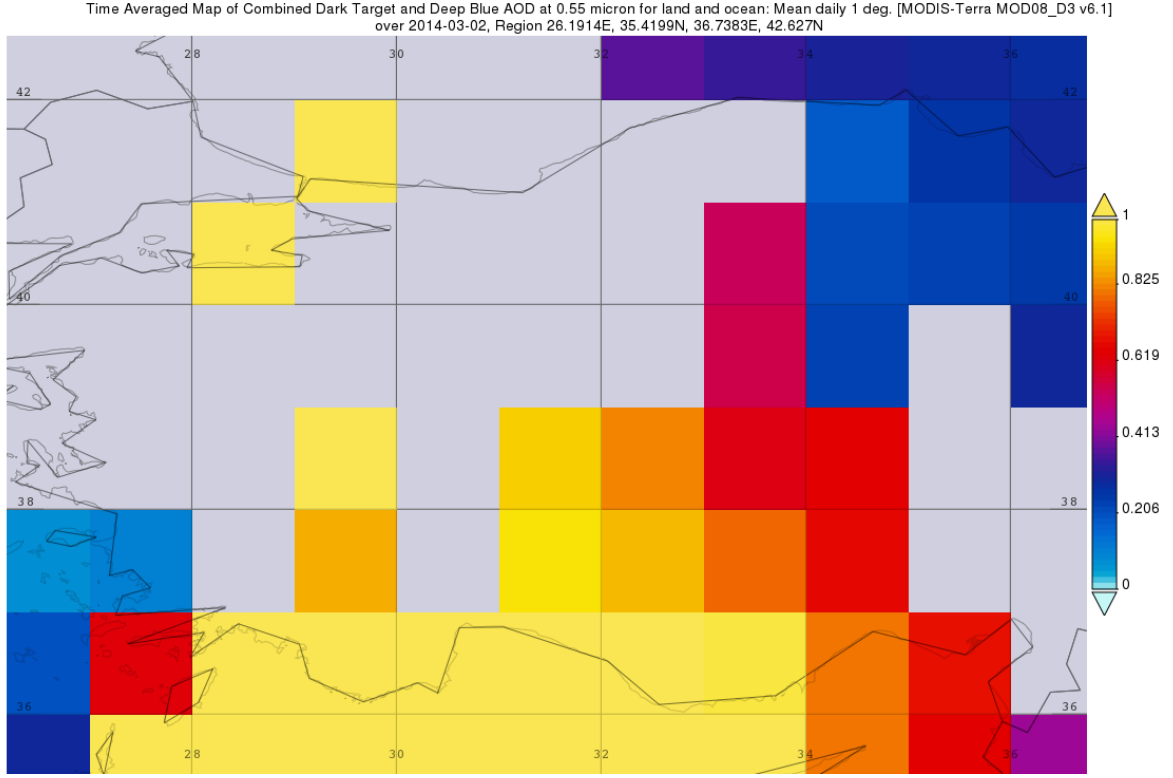
Şehircilik Bakanlığı'nın hava kalitesi izleme istasyonundan elde edilen ölçümler sonucunda, yönetmelik kapsamında belirlenen sınır değeri aştığı günlerin kirlilik derecesine olan katkısının belirlenmesi ve kirlilik dağılımlarının görülmesi açısından kutu grafiği önemli bir analiz yöntemidir. Grafikte minimum ve maksimum değerinin altında ve üstünde kalan değerler uç değer (sapan değerler) olarak ifade edilmektedir ve yıldız (*) simgesi ile gösterilmiştir. Sapan değerler grafiğin dışında gösterilir. Kutucukların altında kalan değer minimum uç değer, üstünde kalan değer ise maksimum uç değer olarak adlandırılır. Kutu ortasında kalan çizgi ortanca (medyan) değerini göstermektedir. Merkez kutu üst çeyrek ile alt çeyrek arasında kalmaktadır. Kutunun dışında kalan çizgiler kuyruk olarak adlandırılır. Alt kuyruğun uç kısmı alt limit, üst kuyruğun üstündeki uç değer ise üst limit olarak ifade edilir. Eğer veriler ortanca etrafında simetrik olarak dağılım gösteriyorsa ortanca değer kutunun ortasında kalmaktadır. Veriler simetrik olarak dağılmıyorsa ortanca değer alt çeyreğe ya da üst çeyreğe yakın olabilir. Bu da verilerin çarpık dağılıma sahip olduğunu göstermektedir. Kutu içeriği verinin % 50'lik kısmını, üst kuyruk ve alt kuyruk % 24.65'lik kısmını, uç değerlerin olduğu verileri ise % 0.35'lik kısmını temsil etmektedir.



Şekil 5.3 2014 yılı PM₁₀ konsantrasyonları için kutu grafiği.

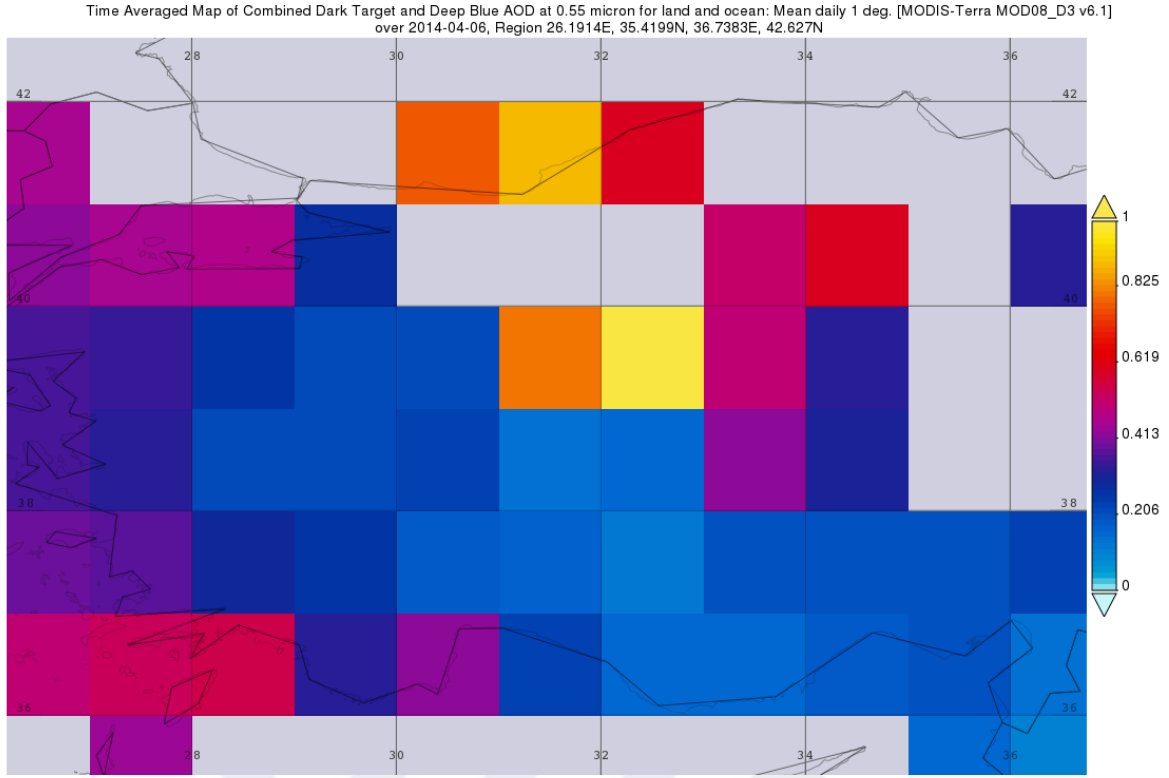
Bu grafik incelendiğinde; Mart, Temmuz, Kasım, Aralık ayı dışındaki aylar genel olarak simetrik bir dağılım göstermektedir. PM₁₀ konsantrasyonlarının yaz ayları için dağılımı 2014 yılı ölçümleri birbirine yakın değerdedir. Mart, Nisan ve Temmuz ayı ölçümlerinde kutu grafiğinin uç değerinden fazla ölçülen kirliliğin yaşandığı günler mevcuttur. 2 Mart 2014

tarihinde PM₁₀ konsantrasyonu 183 µg/m³ ölçülmüştür ve bu değer kutu grafiğinin dışındadır. Bu değer aylık PM₁₀ konsantrasyon ortalamasının (93 µg/m³) üzerindedir. Taşınım genellikle ilkbahar aylarında gerçekleşmektedir. Bu nedenle o güne ait MODIS uydu görüntüsü (URL 10) incelendiğinde, Zonguldak iline bir taşınımın olmadığı görülmektedir. Şekil 5.4'te bu görüntü verilmiştir.



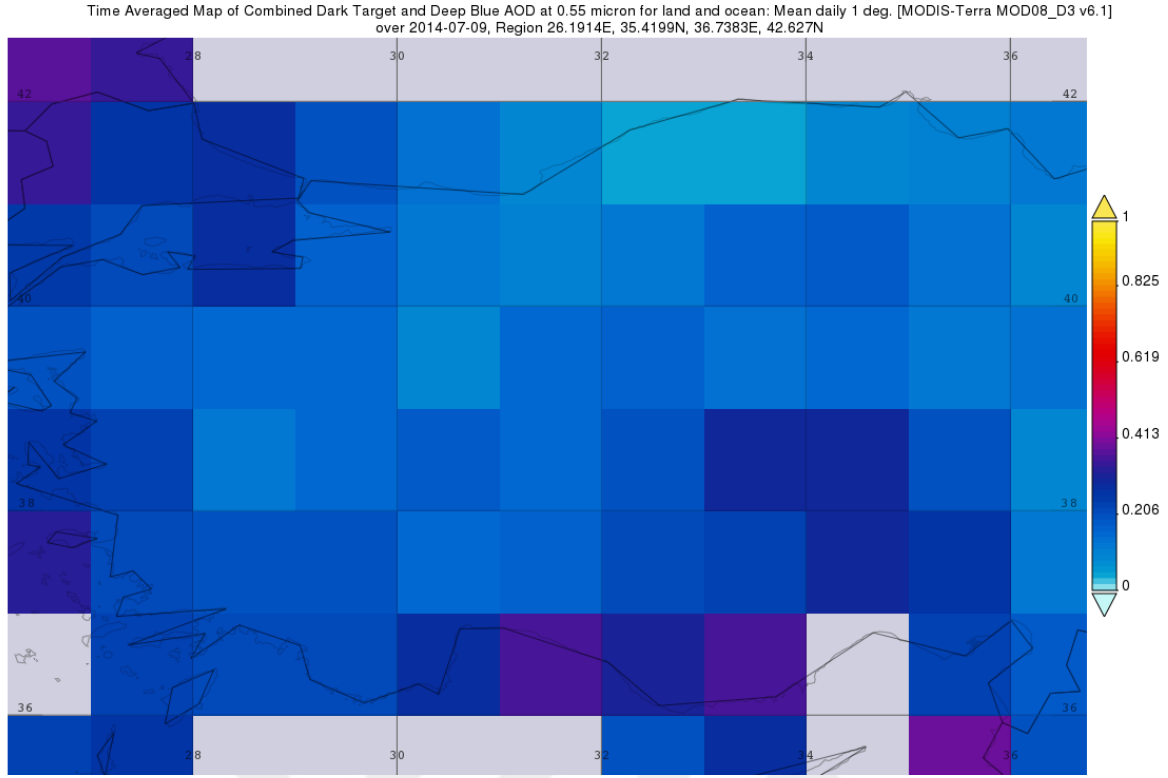
Şekil 5.4 Zonguldak iline ait 02.03.2014 tarihli MODIS görüntüsü.

Görüntüye göre Türkiye sınırlarına bir taşınımın söz konusu olduğu görülmektedir. Ancak, öncesi ve sonrası içinde incelendiğinde Zonguldak'ın toz taşınımına maruz kalmadığı söylenebilir. Bu kirliliğin kaynağı, daha çok ısınma amaçlı fosil yakıt kullanımından gerçekleştiği sonucuna ulaşılabilir. 4 Nisan 2014 tarihinde MODIS uydu görüntüsünde uzun mesafede taşınımın olduğu sonucuna ulaşılabilir. Şekil 5.5'te verilmiştir. PM₁₀ konsantrasyonu, aylık ortalama konsantrasyon değerinin (81 µg/m³) üzerinde ölçülmüştür. Isınma nedeniyle oluşabilecek kirliliğin bu ay içerisinde azalma göstereceği bir ay olmasına rağmen PM₁₀ konsantrasyonu 131 µg/m³ olarak ölçülmüştür.

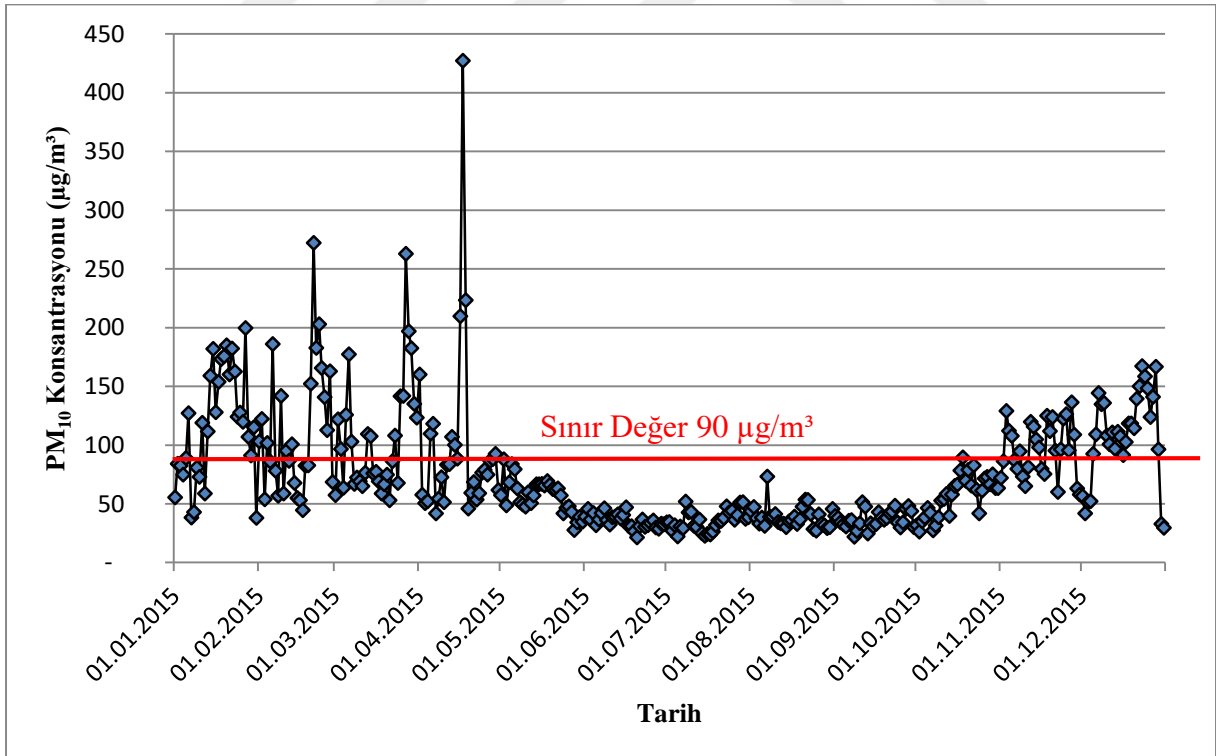


Şekil 5.5 Zonguldak'a ait 04.04.2014 tarihindeki uydu görüntüsü.

9 Temmuz 2014 tarihine ait MODIS uydu görüntüsünde ülkenin batı kısmından bir taşınımın olduğu, ancak Zonguldak il sınırlarına kadar ulaşmadığı görülmektedir. Bu tarihte ay ortalamasının ($45 \mu\text{g}/\text{m}^3$) üzerinde bir ölçüm elde edilmiştir. $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülen PM_{10} konsantrasyonu taşınımın etkisi olmadığı sonucuna ulaşılabilir. 9 Temmuz gününe ait uydu görüntüsü Şekil 5.6'da verilmiştir.

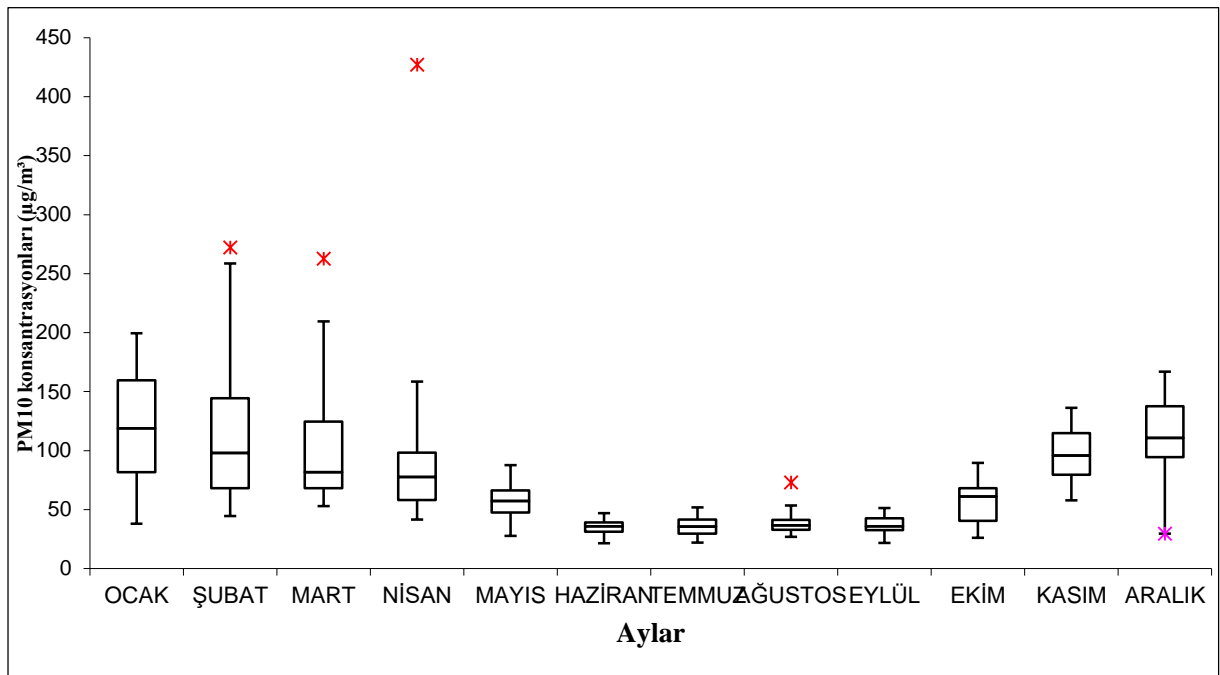


Şekil 5.6 Zonguldak'a ait 09.07.2014 tarihine ait uydu görüntüsü.



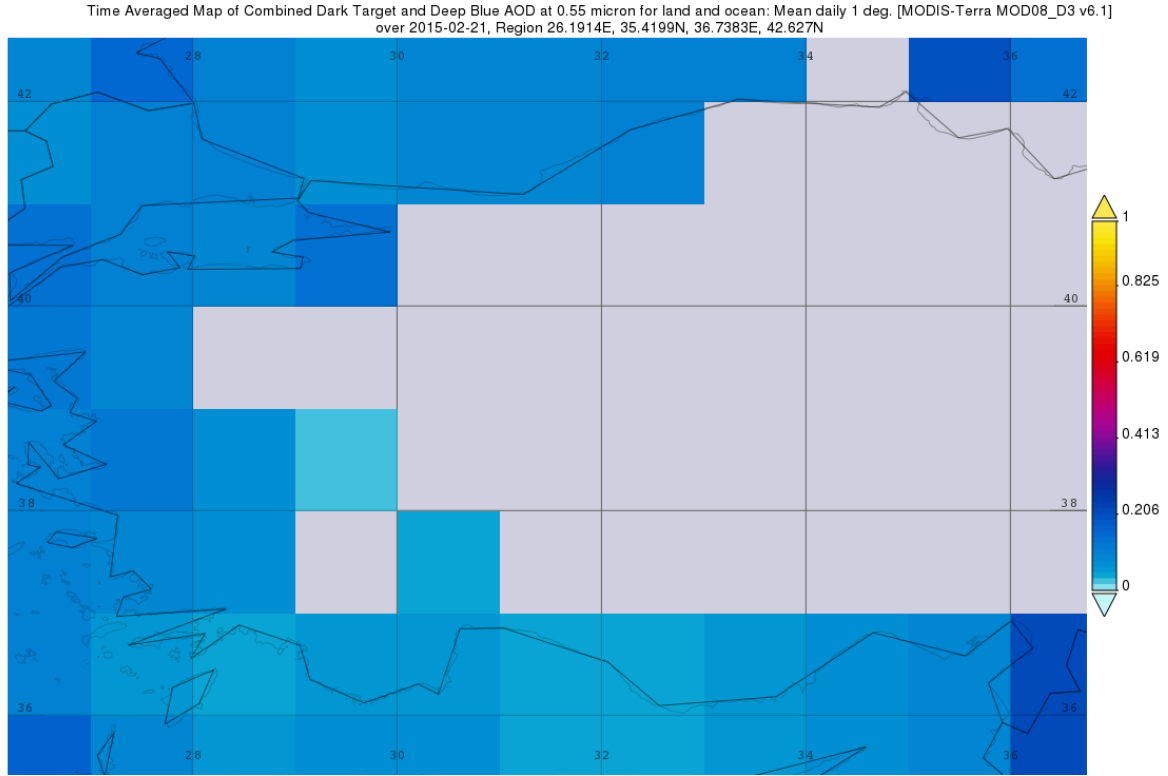
Şekil 5.7 Zonguldak 2015 yılı PM₁₀ ölçümleri.

Şekil 5.7’de verilen 2015 yılına ait zaman serisi grafiği ile günlük ölçüm verileri incelendiğinde, ortalama PM_{10} konsantrasyonu $74\mu\text{g}/\text{m}^3$ ’tür. Ölçüm istasyonlarına günlük PM_{10} konsantrasyonları için minimum konsantrasyon değeri $21\mu\text{g}/\text{m}^3$, maksimum PM_{10} konsantrasyonu $427\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. 2015 yılına ait günlük PM_{10} konsantrasyonları için minimum değer yaz ayı (Haziran), maksimum değer ise ilkbahar ayı (Nisan) içerisinde ölçülmüştür. 2015 yılına ait PM_{10} kirliliği konsantrasyonu her gün düzenli bir şekilde ölçülmüştür. HKDYY (2008) kapsamında 2015 yılı sınır değeri $90\mu\text{g}/\text{m}^3$ ’tür. 2015 yılı boyunca yapılan ölçümler değerlendirildiğinde 102 gün sınır değerinin üzerinde ölçülmüştür.



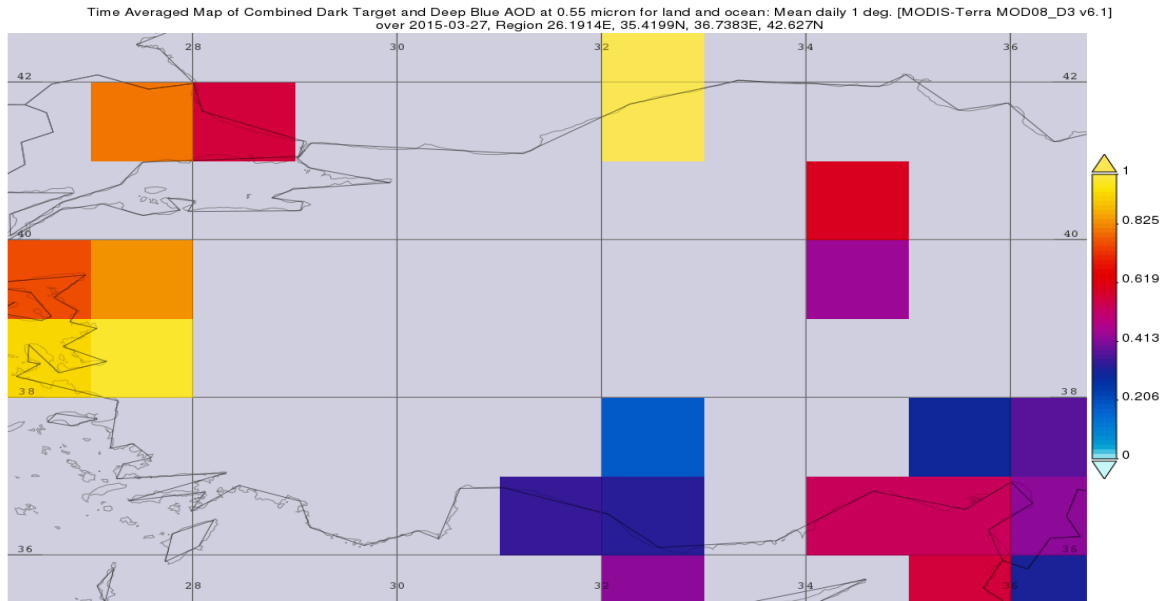
Şekil 5.8 2015 yılı PM_{10} kutu grafiği.

2015 yılına ait PM_{10} konsantrasyon verilerinin aylık olarak değişiminin kutu grafiği ile incelenmesi (Şekil 5.8) sonucunda; Şubat, Mart, Nisan ve Ağustos aylarında grafik dışında kalan ve ortalamaların üzerinde konsantrasyon ölçümlerine ulaşılmıştır. Bu ölçüm değerlerinin yüksek olma nedeni ve sonuçları çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Şubat ayının 21. gününe ait PM_{10} konsantrasyonu ölçümü $272\mu\text{g}/\text{m}^3$ ’tür. Şekil 5.9’da verilen uydu görüntüsü incelendiğinde taşınımın olmadığı görülmektedir. Bu kirlilik ısınma faaliyetleri sonucunda olduğu sonucuna ulaşılabılır.



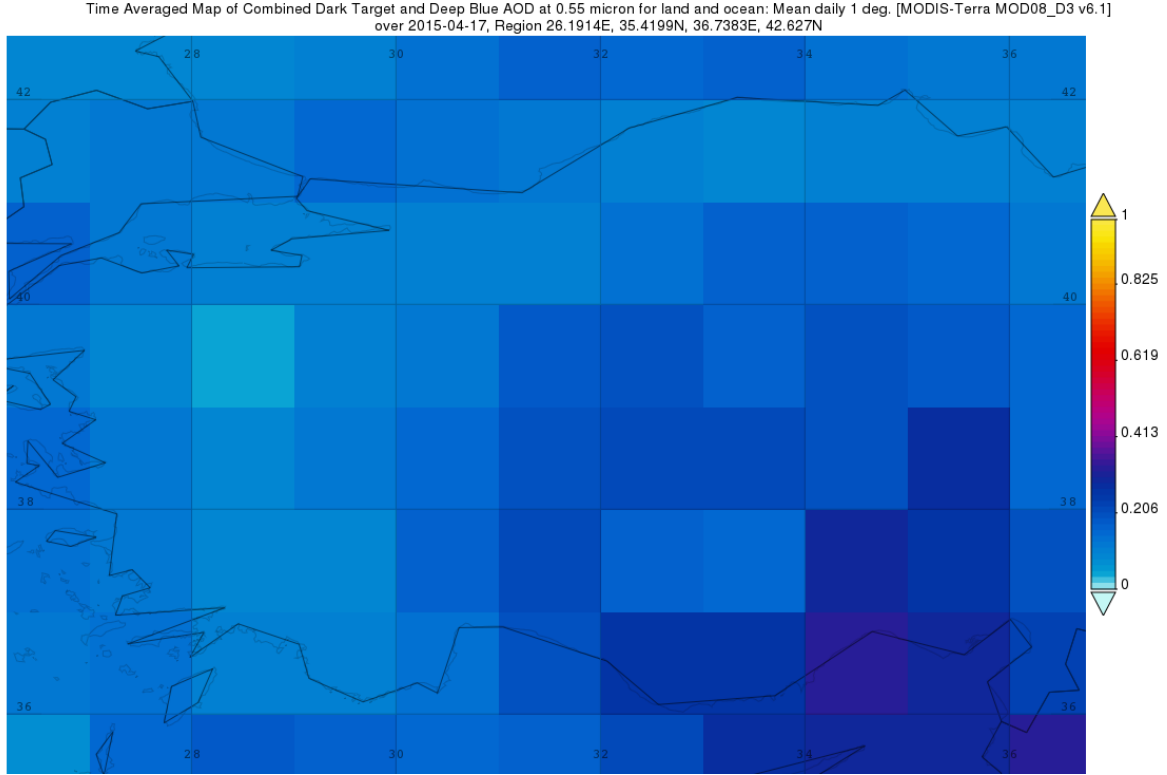
Şekil 5.9 Zonguldak'a ait 21.02.2015 tarihindeki uydu görüntüsü.

27 Mart 2015 tarihinde yapılan ölçümün değeri $263 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak belirlenmiştir. Bu gün için Şekil 5.10'da verilen görüntü değerlendirildiğinde Zonguldak'a kirlilik taşınımı olabileceğini gösterebilir.



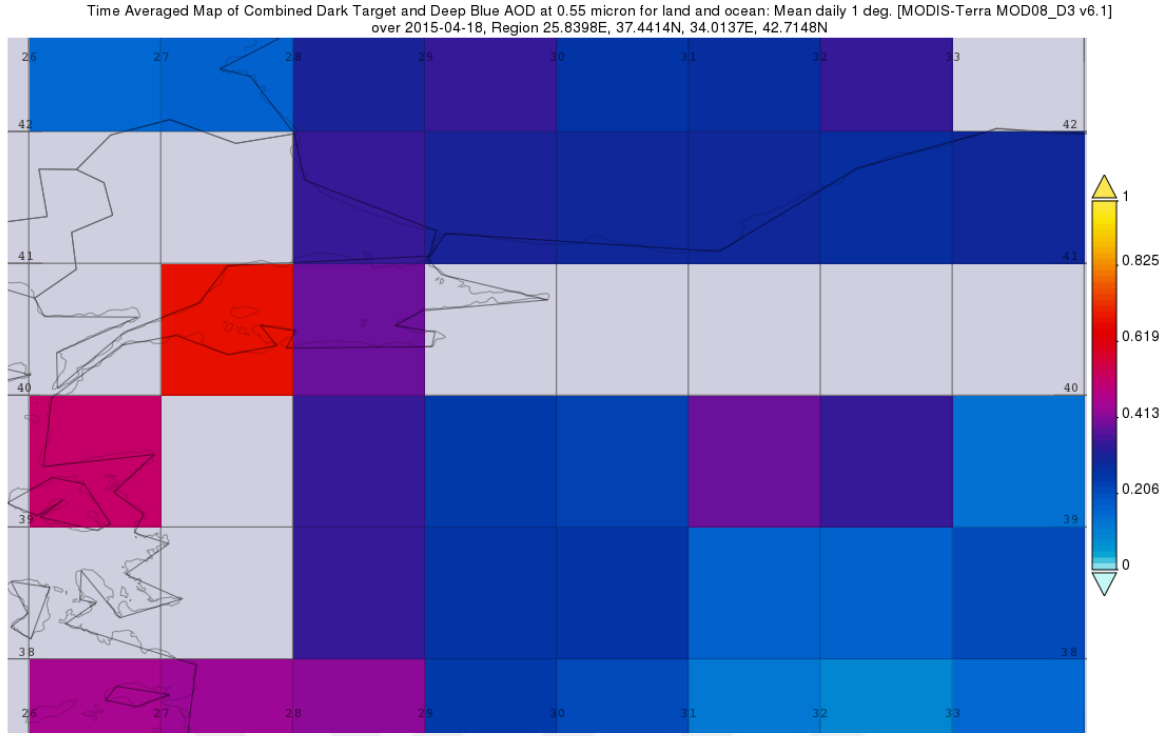
Şekil 5.10 Zonguldak 27.03.2015 tarihindeki uydu görüntüsü.

17 Nisan 2015 tarihinde PM_{10} konsantrasyonu $427\mu g/m^3$ ölçülmüştür ve bu değer grafik değerlerinin çok dışında kalmış konsantrasyon değeridir. Bu değer hava kalitesi açısından oldukça önemlidir. Nedeni araştırılmaya çalışıldığında Şekil 5.11’de verilen uydu görüntüsü incelendiğinde taşınımın söz konusu olmadığı görülmektedir. Isınma amaçlı ya da sanayi faaliyetleri sonucunda Zonguldak için kirlilik artış göstermiş olabilir. Veya ölçüm cihazı arızalı olabilir.

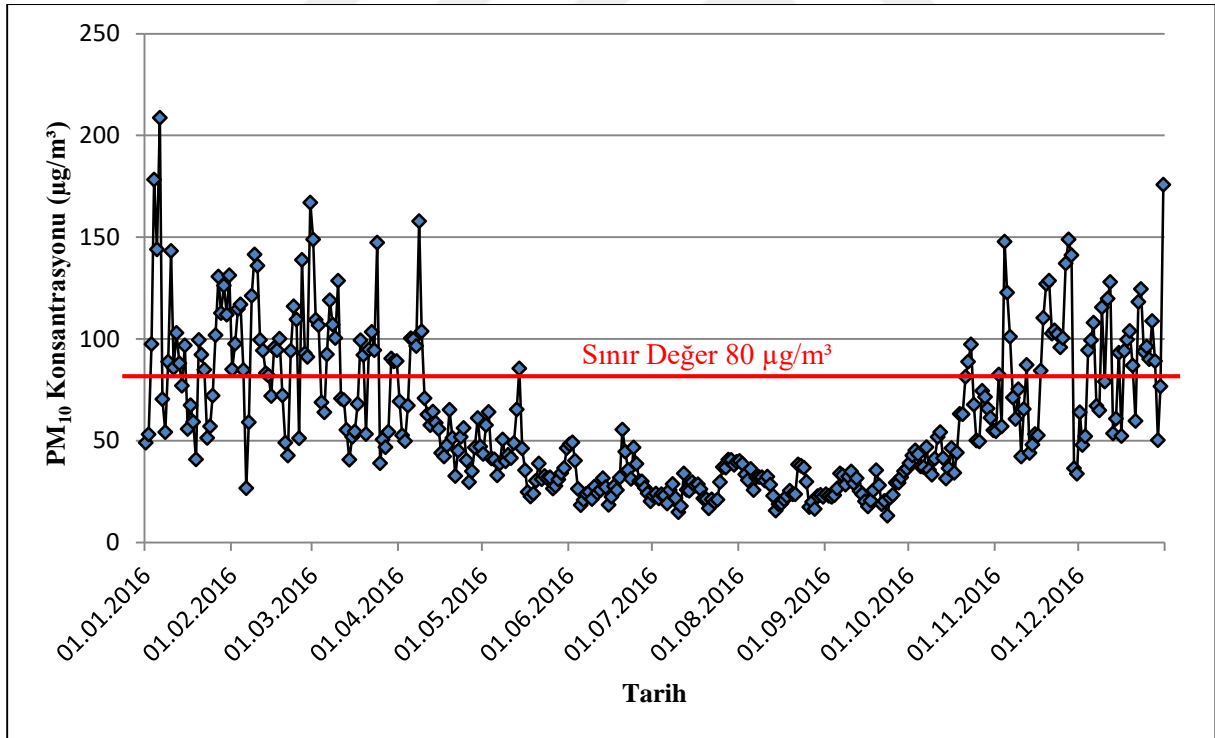


Şekil 5.11 Zonguldak 17.04.2015 tarihindeki uydu görüntüsü.

7 Ağustos 2015 tarihinde aylık ortalama $37\mu g/m^3$ iken, kutu grafiği dışında kalan PM_{10} konsantrasyonu $73\mu g/m^3$ olarak belirlenmiştir. Şekil 5.12’de uydu görüntüsü mevcuttur ve Zonguldak’a taşınımın olmadığı sonucuna ulaşılabilir. Aralık ayı içerisinde minimum değerinin altında bir uç değer mevcuttur.



Şekil 5.12 Zonguldak 18.04.2015 tarihindeki uydu görüntüsü.

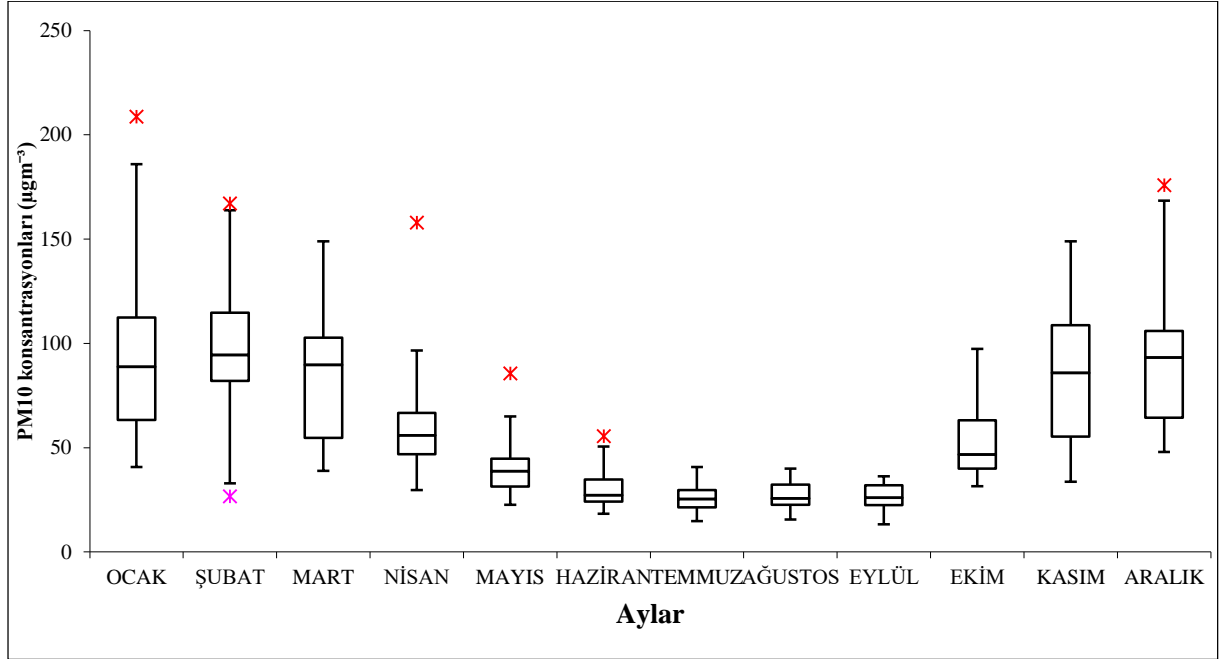


Şekil 5.13 Zonguldak 2016 yılı PM₁₀ ölçümleri.

2016 yılı Hava Kalitesi İzleme istasyonundan elde edilen günlük PM₁₀ konsantrasyonlarına göre çizilen zaman serisi grafiği Şekil 5.13'e göre ortalama PM₁₀ 60 µg/m³ tür. Günlük

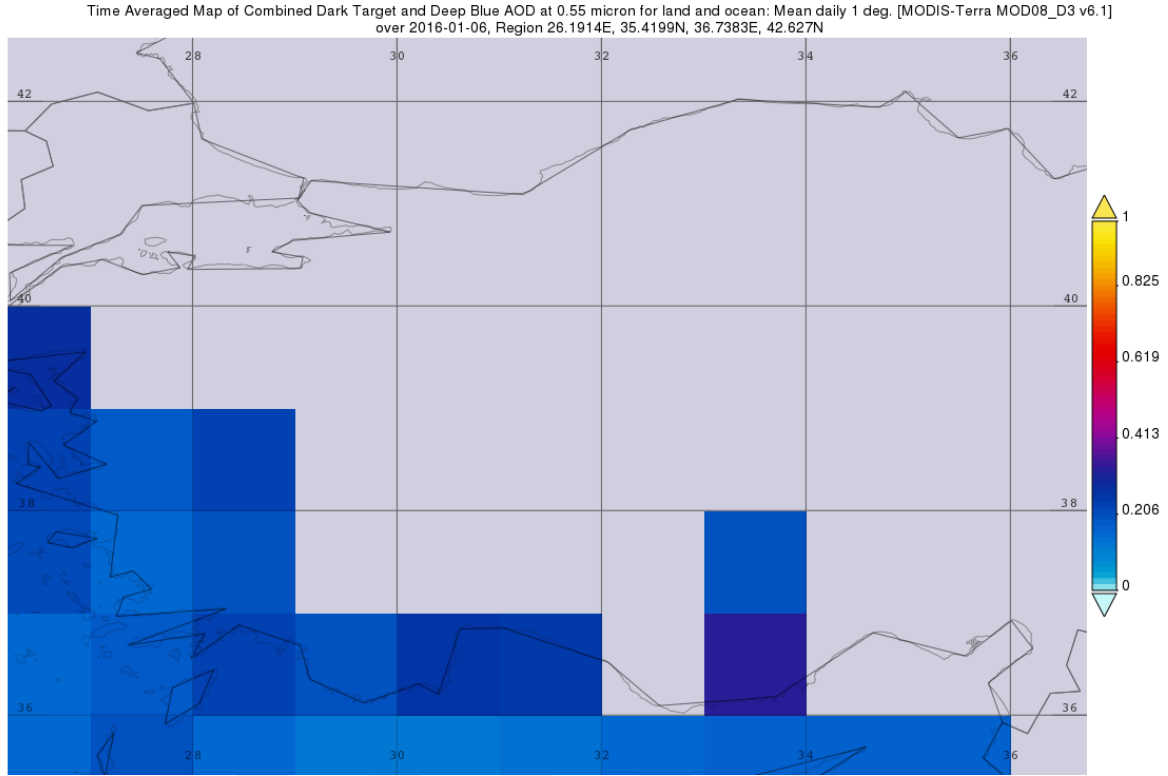
PM₁₀konsantrasyonları minimum ölçüm değeri 13µg/m³, maksimum ölçüm değeri ise 209µg/m³olarak ölçülmüştür. Minimum ölçüm değeri sonbahar ayı (Eylül), maksimum ölçüm ise kış ayı (Ocak) içerisinde yapılmıştır. 2016 yılı boyunca ölçüm yapılamayan gün yoktur.

HKDY yönetmeliğince belirlenen sınır değer 2016 yılı için 80 µg/m³ değeridir. 2016 yılı boyunca ölçümün bu değerin üzerinde olduğu gün sayısı 103 tür.



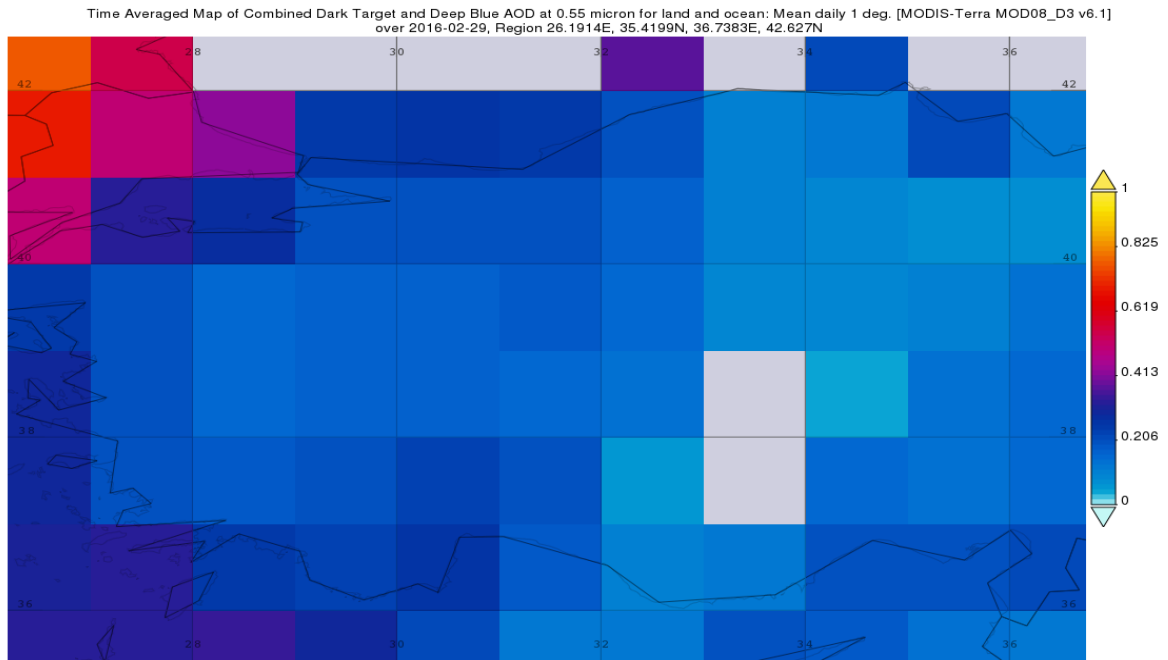
Şekil 5.14 2016 yılı PM₁₀ kutu grafiği.

2016 yılına ait aylık PM₁₀konsantrasyonlarının değişimi incelendiğinde (Şekil 5.14); Ocak, Şubat, Nisan, Mayıs, Haziran ve Aralık aylarında kutu grafiğinin dışında kalan ölçümlerin olduğu görülmektedir. 6 Ocak 2016 tarihinde 209µg/m³ olarak ölçülen PM₁₀konsantrasyonun MODIS uydu görüntüleri değerlendirildiğinde taşınımın olmadığı Şekil 5.15'te verilen görüntü göre, bu kirliliğin önemli bir kısmının ısınma faaliyetleri sonucu olduğu sonucuna ulaşılabilir.



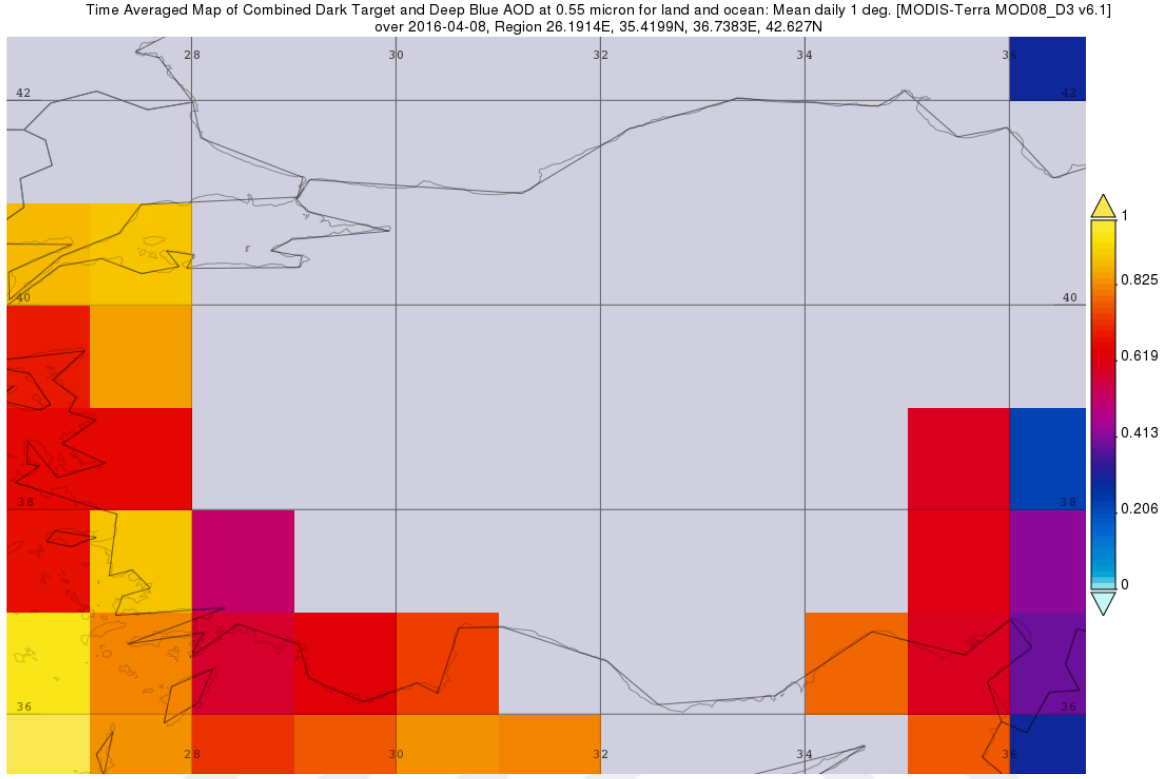
Şekil 5.15 Zonguldak 06.01.2016 tarihindeki uydu görüntüsü.

Şubat ayının 29'una ait ölçüm değeri $167 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. Şekil 5.16'da verilen uydu görüntüsü incelendiğinde batıdan bir taşınımın söz konusu olduğu sonucuna ulaşılabılır. Ancak bu taşınım Zonguldak açısından bir risk taşımadığına da ulaşılabilir.



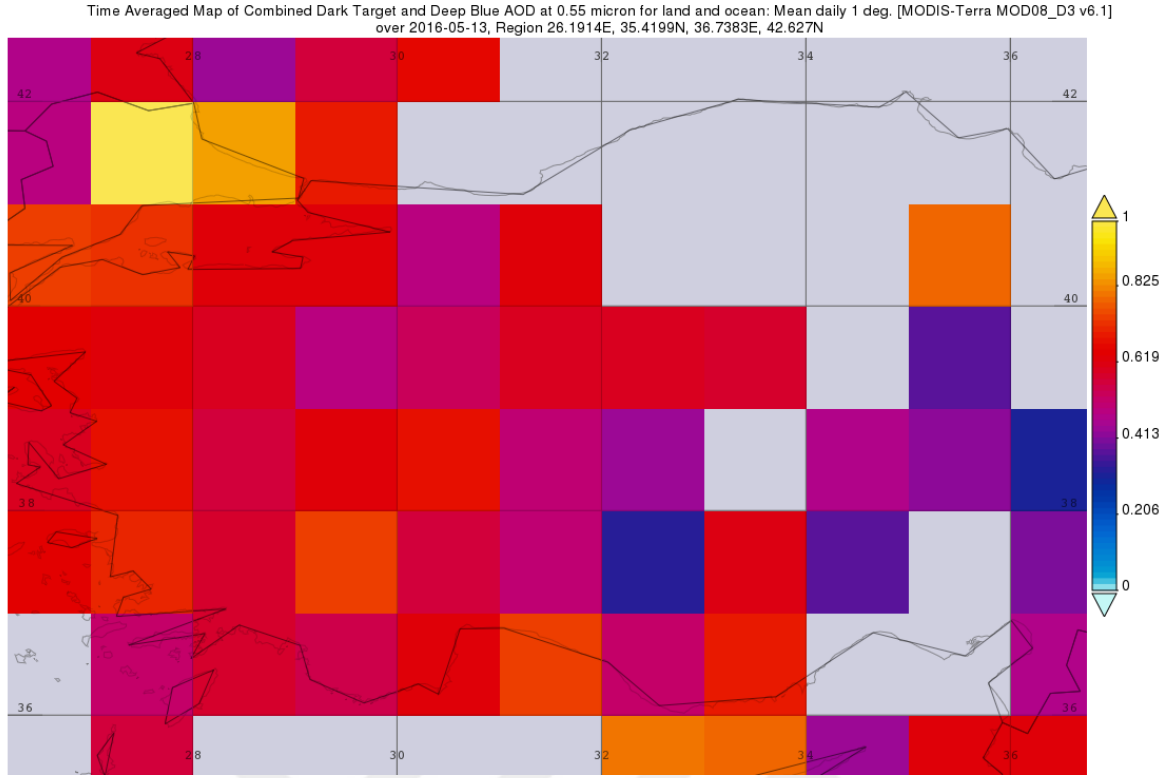
Şekil 5.16 Zonguldak 29.02.2016 tarihindeki uydu görüntüsü

8 Nisan 2016 tarihinde $158\mu\text{g}/\text{m}^3$ ölçülen PM_{10} konsantrasyonu için Şekil 5.17'deki MODIS uydu görüntüleri incelendiğinde bir taşınımın söz konusu olmadığı görülmektedir.

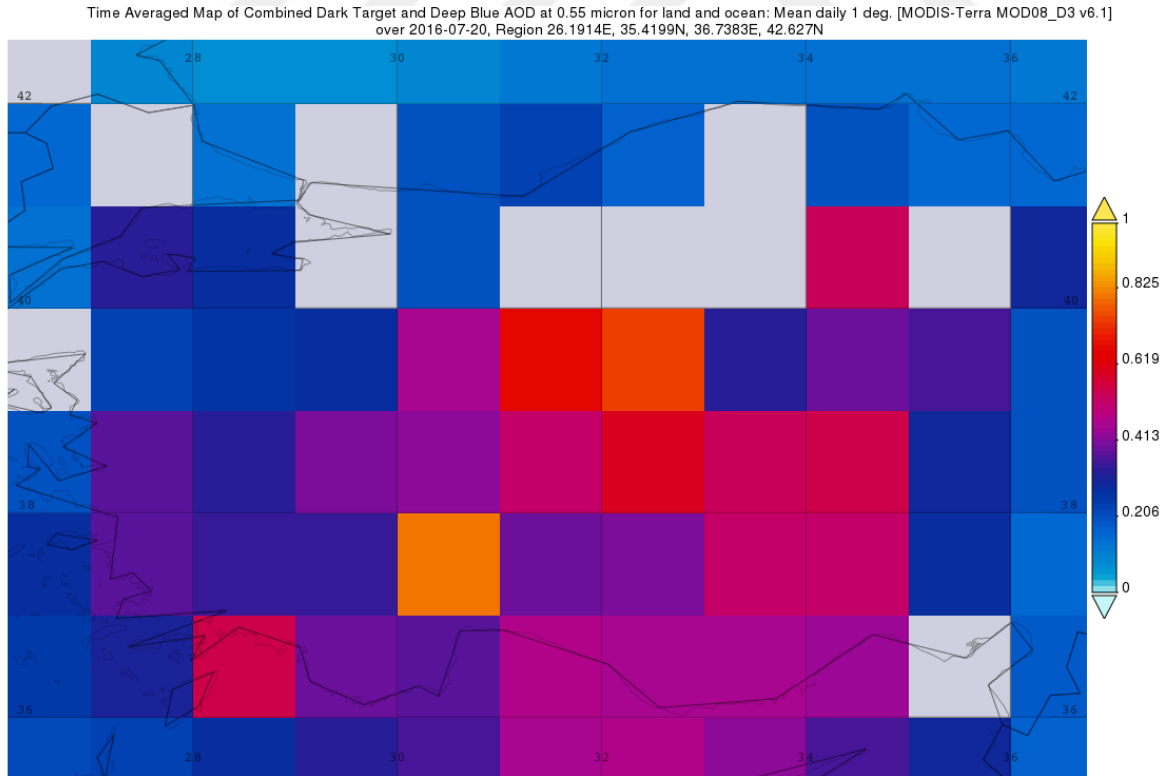


Şekil 5.17 Zonguldak 08.04.2016 tarihindeki uydu görüntüsü.

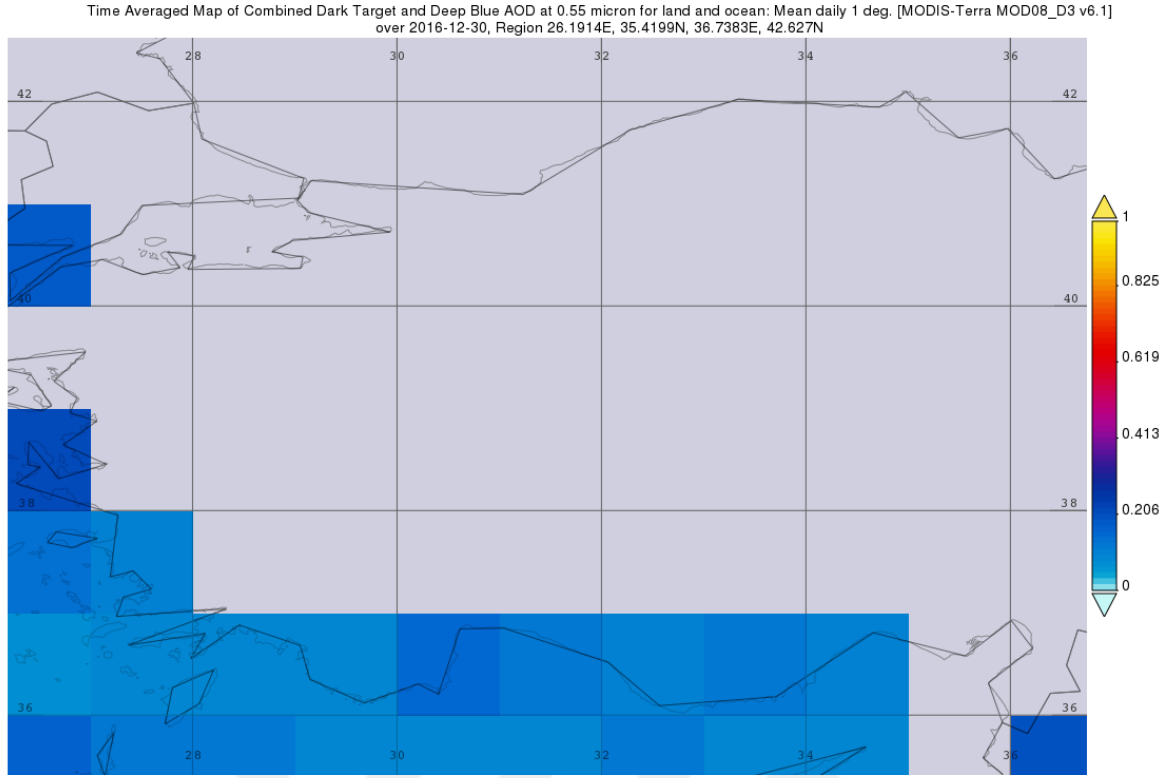
14 Mayıs 2016 tarihinde MODIS uydu görüntülerine göre ülkeye yön olarak batı ve güneyden bir taşınımın olduğu görülmektedir. Bu tarihte ölçülen PM_{10} konsantrasyonu $86\mu\text{g}/\text{m}^3$ tür. Yine aynı şekilde 20 Haziran 2016 tarihinde $55\mu\text{g}/\text{m}^3$ ölçülen PM_{10} konsantrasyonu MODIS görüntülerine bakıldığında ülkenin güneyinden Karadeniz kıyılarına bir taşınım olduğunu göstermektedir. Bu görüntüler sırasıyla Şekil 5.18 ve Şekil 5.19'da verilmiştir. 31 Aralık gününe ait PM_{10} konsantrasyonukutu grafiğinin dışında kalmış ve $176\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. Şekil 5.20'de verilen uydu görüntüsüne göre taşınım dâhilinde gerçekleşen bir kirliliğin olmadığı, bu kirliliğin ısınma amaçlı kullanılan yakıtlar sonucunda oluştuğu sonucuna ulaşılabilir.



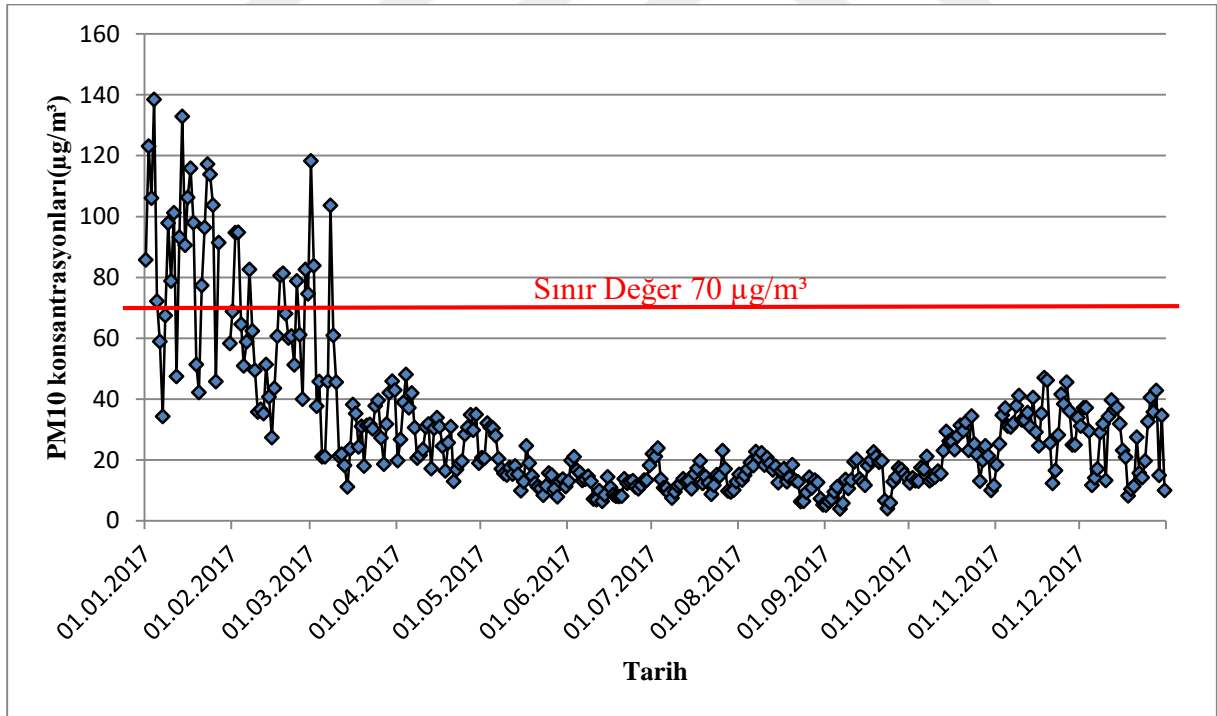
Şekil 5.18 Zonguldak 14.05.2016 tarihindeki uydu görüntüsü.



Şekil 5.19 Zonguldak 20.07.2016 tarihindeki uydu görüntüsü.



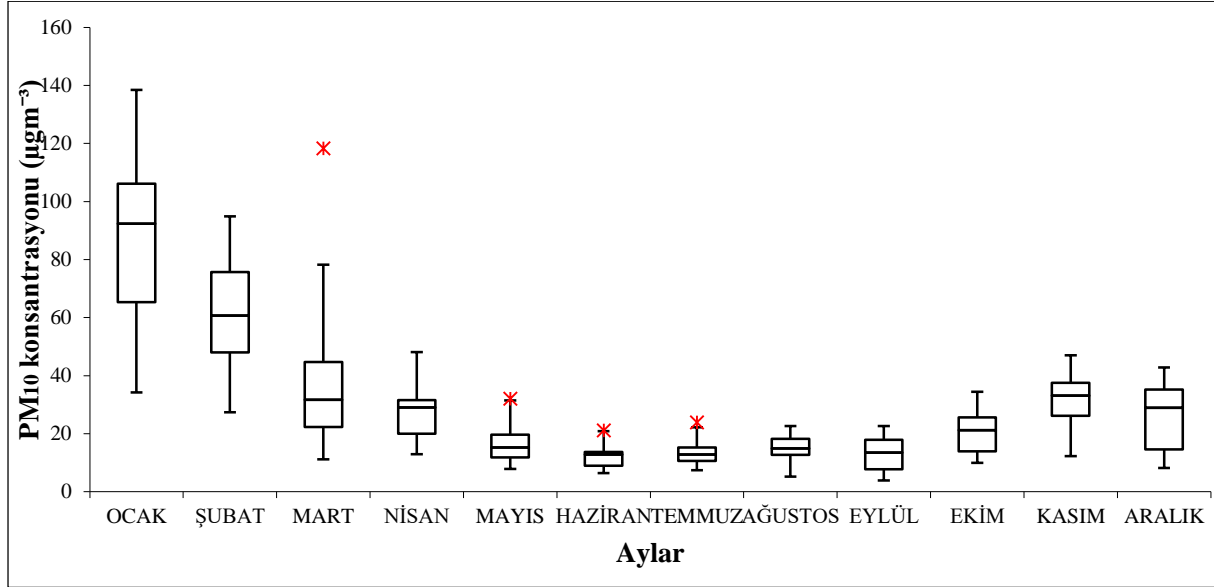
Şekil 5.20 Zonguldak 31.12.2016 tarihindeki uydu görüntüsü.



Şekil 5.21 Zonguldak 2017 yılı PM_{10} ölçümleri.

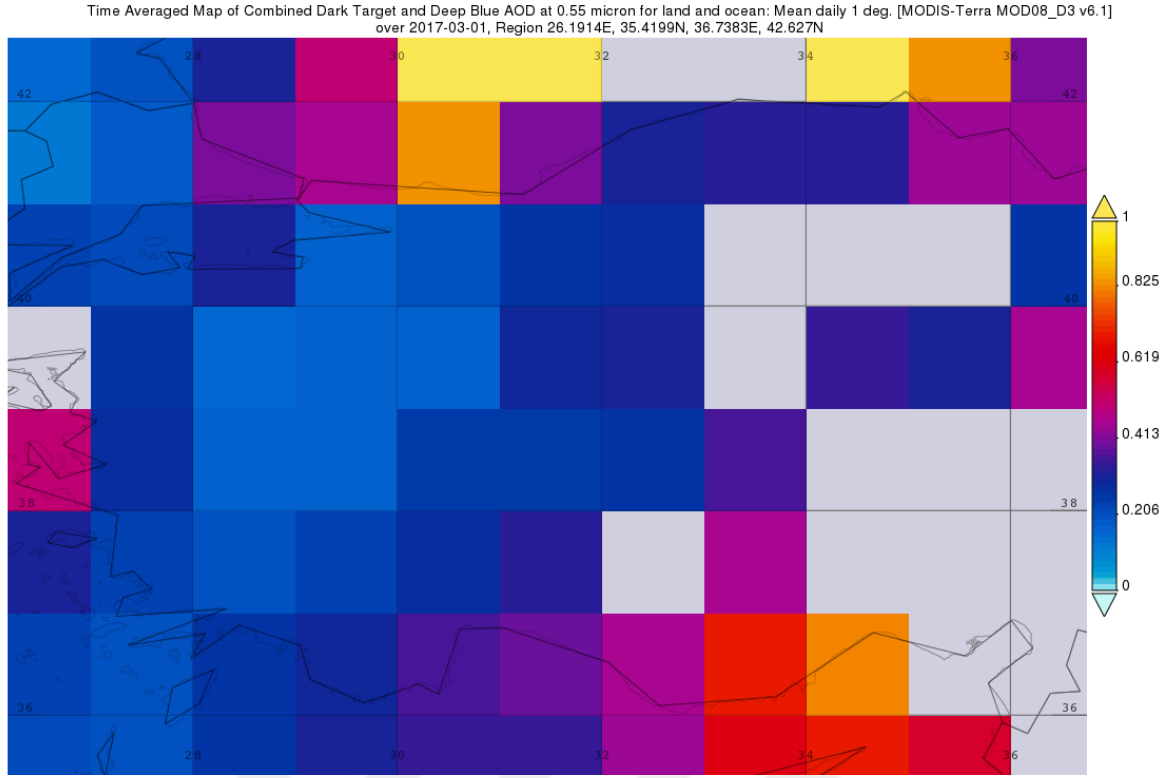
Zaman serisi grafiği Şekil 5.21’de verilmiştir. 2017 yılına ait ölçüm verilerine göre ortalama PM_{10} $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tür. 2017 yılına ait konsantrasyon değerlerinin genel itibariyle düşük olmasına

rağmen, bu değerler içerisinde minimum PM_{10} konsantrasyonu $4\mu\text{g}/\text{m}^3$, maksimum PM_{10} konsantrasyon değeri $138\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. Minimum değer Eylül ayı içerisinde yine sonbahar döneminde, maksimum değer ise Ocak ayında kış döneminde istasyon tarafından kayda alınmıştır. 2017 yılı boyunca PM_{10} verisinin ölçülmediği gün sayısı 3 gündür. Yönetmelik kapsamında belirlenen PM_{10} sınır değeri (2017 için) $70\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak belirlenmiştir. 2017 yılına ait ölçüm günlerinden 31 gün sınır değeri aşmıştır.



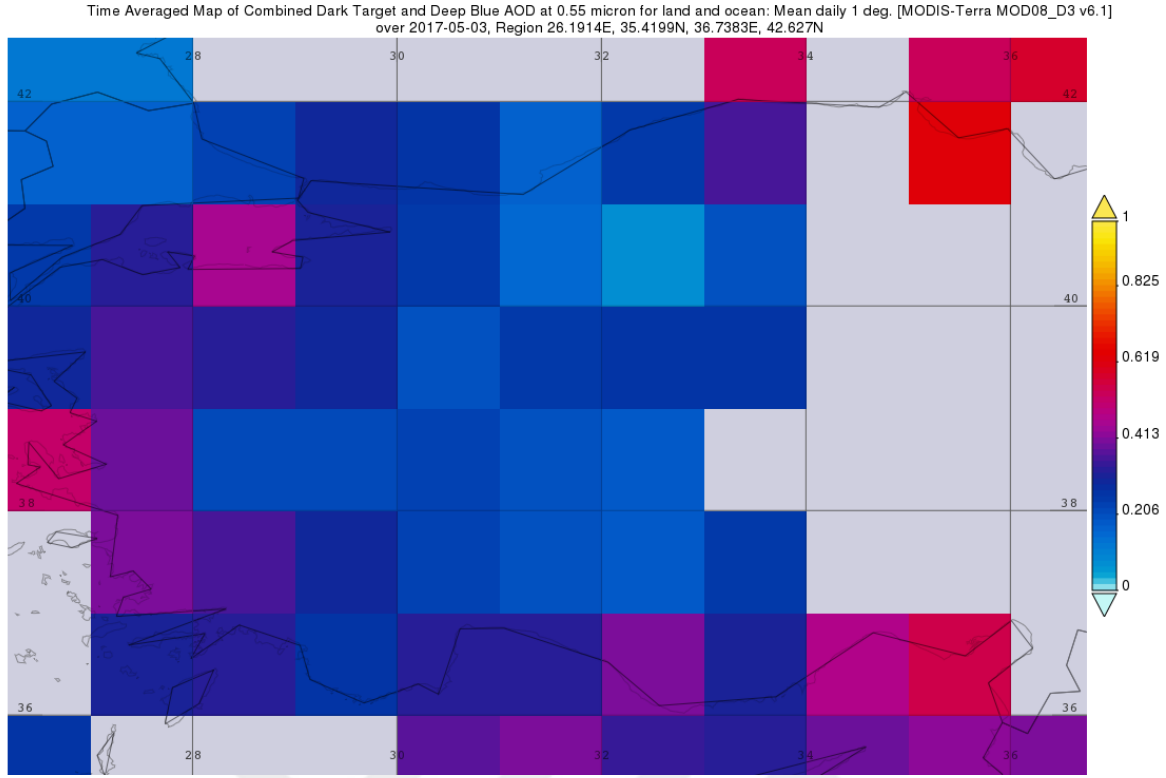
Şekil 5.22 2017 yılı PM_{10} kutu grafiği.

2017 yılına ait hava kalitesi izleme istasyonundan elde edilen PM_{10} verileri kutu grafiği ile incelendiğinde, Mart, Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında ortalama değer üzerinde bir ölçüm değeri ile kutu grafiği dışında konsantrasyonlar belirlenmiştir. 1 Mart 2017 tarihine ait PM_{10} konsantrasyonu $118\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. Şekil 5.23'te verilen MODIS uydu görüntüsü incelendiğinde PM_{10} taşınımının uzun mesafede söz konusu olduğu görülmektedir. Ancak Zonguldak az etkilenmiş olmasına rağmen, yakın mesafedeki bölgeler daha çok etkilenmiştir.



Şekil 5.23 Zonguldak 01.03.2017 tarihindeki uydu görüntüsü.

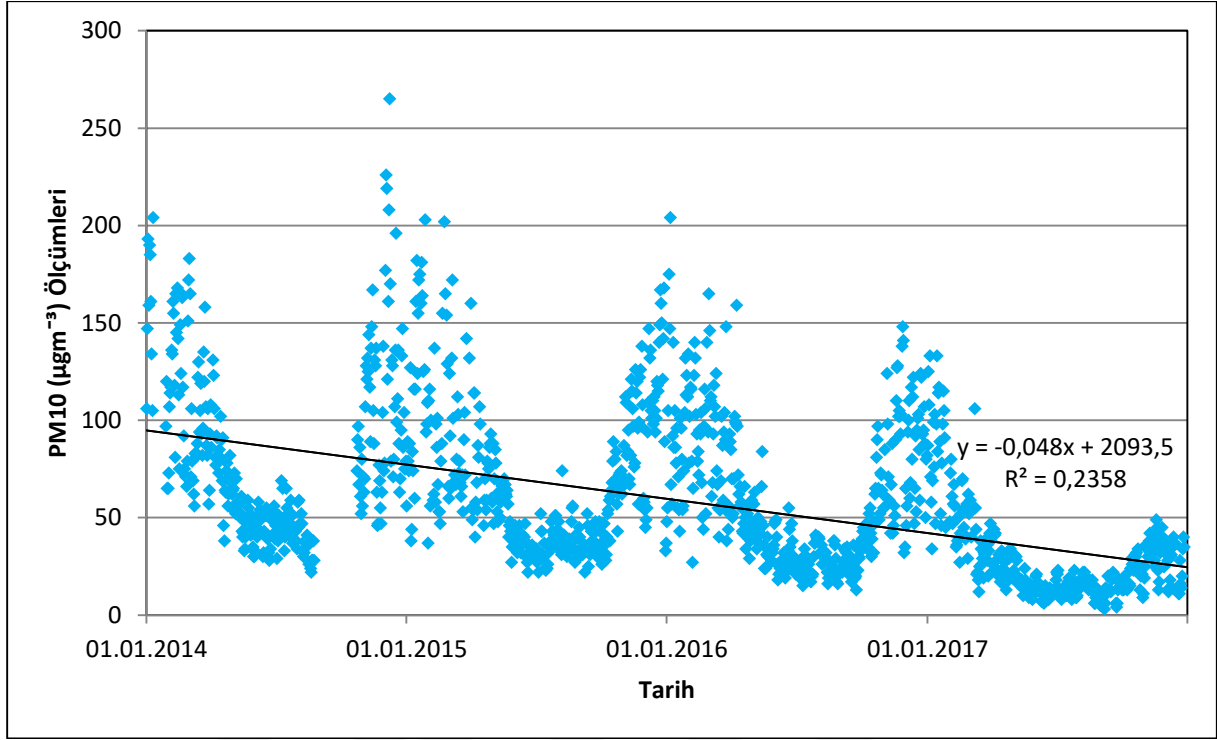
3 Mayıs 2017 tarihinde $32\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülen partikül madde kutu grafiğinin dışında kalarak ay içerisinde ölçülen en yüksek konsantrasyondur. Mayıs ayı genel itibariyle PM_{10} kirliliğinin fazla olmadığı yapılan ölçümler sonucu görülmektedir. Şekil 5.24'de görülen MODIS uydu görüntüsü de PM_{10} taşınımının olmadığını göstermektedir.



Şekil 5.24 Zonguldak 03.05.2016 tarihindeki uydu görüntüsü.

3 Haziran gününe ait PM_{10} ölçümü $21 \mu g/m^3$ 'tür. Temmuz ayının 26'sında PM_{10} konsantrasyonu $23 \mu g/m^3$ olarak ölçülmüştür. Bu PM_{10} konsantrasyonları hava kalitesinin bozulmasında önemli bir etken değildir.

İncelenen yıllara ait PM_{10} konsantrasyonlarının değişimini göstermek amacıyla dört yıllık zaman serisi grafiği Şekil 5.25'te oluşturulmuştur. PM_{10} konsantrasyonları çalışma dönemi boyunca incelendiğinde; 2014 yılından 2017 yılına doğru ölçüm değerlerinde bir azalışın sözkonusu olduğu gözlenmektedir. Azalış doğrusal eğilim çizgisi PM_{10} konsantrasyon değerlerinin dört yıl boyunca azaldığı görülmüştür. Bu durumda Zonguldak'ta hava kalitesinin doğalgaz kullanımına bağlı olarak iyileşme sürecinde olduğu görülebilir. Ayrıca, Zonguldak'ta kirlilik kaynağı olan sanayi kuruluşlarının hava kalitesi standartlarına uygun emisyon çıkışına sahip olmasının da çalışma alanında ölçülen PM_{10} konsantrasyonların iyileşmesinde etkili olduğu söylenebilir.



Şekil 5.25 2014-2017 yılları PM₁₀ konsantrasyonlarının kıyaslanması.

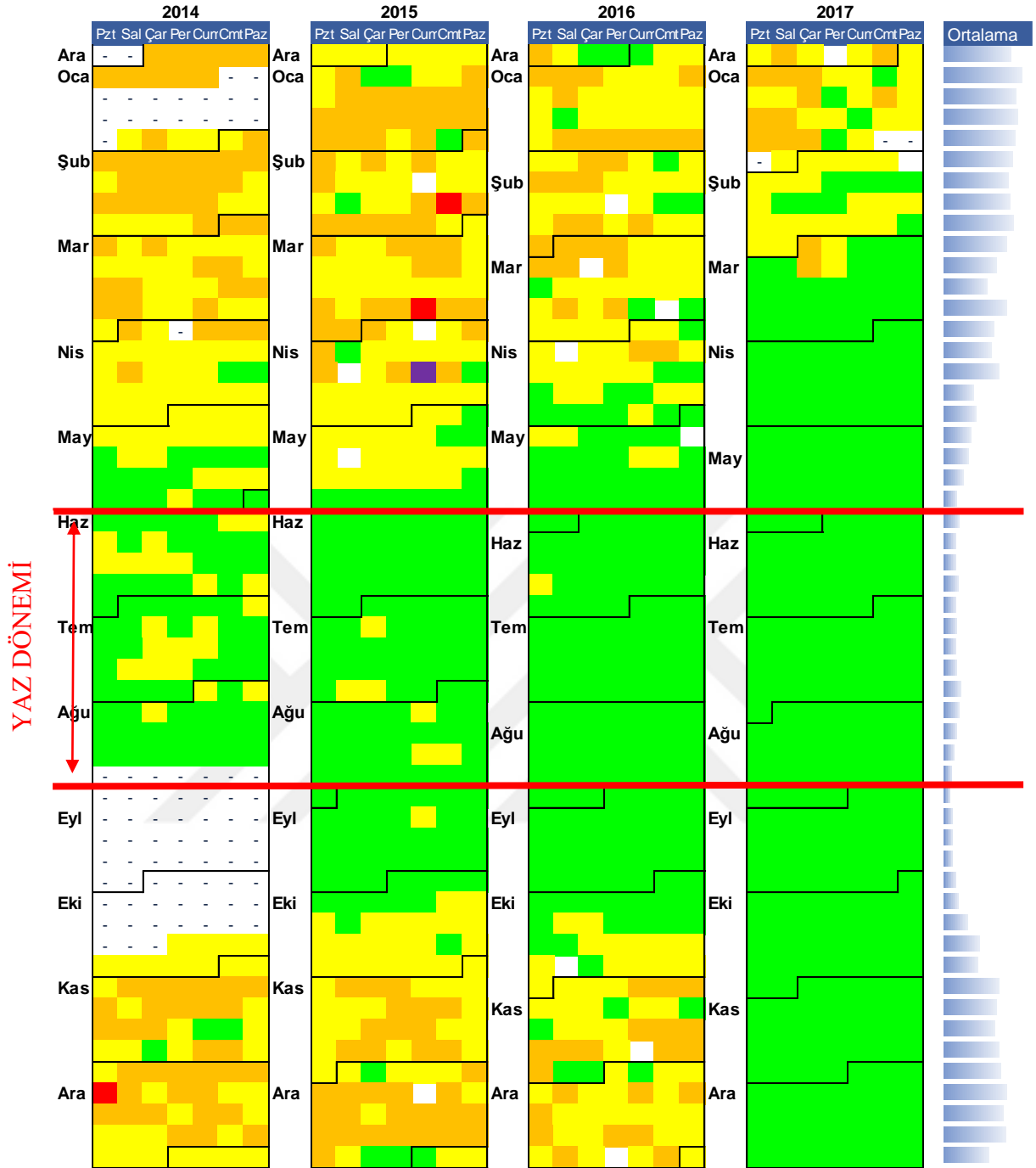
Dört yıla ait PM₁₀ verileri istatistiksel olarak incelenmiş ve bu inceleme sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 5.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 5.1 2014-2017 yılları PM₁₀ ölçümlerinin istatistiksel incelemesi.

Yıllar	Ortalama±Standart Sapma	Minimum	Maksimum	Öçülmeyen Gün Sayısı	Sınır Değeri Aşan Gün Sayısı
2014	82 ± 44	22	265	77	88
2015	74 ± 47	21	427	0	102
2016	60 ± 36	13	209	0	103
2017	30 ± 23	4	138	3	31

Şekil 5.26’te çalışmada ele alınan zaman dilimine (2014-2017) ait ölçümlerin PM₁₀ için hava kalitesi indeksi sınır değerlerine göre değişimleri yıllık olarak karşılaştırılmıştır. Grafikteki renkler Hava Kalitesi İndeksine göre renklendirilmiştir. Burada PM₁₀ konsantrasyonlarının aylık ve yıllık olarak değişimi açık bir şekilde görülmektedir. 2014 yılına ait kış mevsimi ayları ve geçiş aylarında PM₁₀ ölçümleri sınır değerlerin üzerinde ölçülerek insan ve canlı yaşamını etkileyecek boyutlara ulaşmaktadır. Kış aylarında ısınma faaliyetleri ve taşınım gibi kirlilik oluşumuna neden olacak durumlar bu durumun oluşmasında aktif rol oynamıştır. 2015 ve 2016

yılları itibariyle azalış seyrederek yine kış aylarında PM₁₀ ölçümleri risk oluşturmaktadır. 2017 yılına ait ölçümlerin ise Ocak ve Şubat ayları dışında risk oluşturacak derecede olmadığı Şekil 5.26'da görülmektedir. Bu durumun oluşmasında önemli bir etkende il genelinde doğal gaz kullanımının yaygın hale gelmesidir. Evsel ısınma amacıyla kullanılan fosil yakıtların kullanımının azalması 2014 yılından 2017 yılına PM₁₀ ölçümlerinin azalmasında etkili olmuştur. Bu çalışma, kirliliğin sınır değerleri aştığı günlerde aktif bir taşınımın çevre illerden olup olmadığı ya da uzun mesafede taşınımın PM₁₀ kirliliğinin artışında ne kadar aktif rol aldığını göstermek istemesi bakımından önemlidir. PM₁₀ kirleticisinin mevsimsel olarak değişimi incelendiğinde, zaman serisi grafiklerinde ve Şekil 5.26'da görüldüğü üzere yaz aylarında ölçümlerin düşük olduğu, kış aylarında ise daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca Türkiye çöl tozlarına maruz kalan bir ülke olduğundan (Oğuz vd. 2013), özellikle ilkbahar ve yaz aylarında ülkemizde zaman zaman çöl tozlarından kaynaklı PM₁₀ konsantrasyonlarında artış olduğu görülmektedir. Çalışma dönemi kapsamında PM₁₀ konsantrasyonları incelendiğinde 2017 yılında sınır değeri aşan gün sayısının önemli derecede azaldığı görülmüştür. 2017 yılı boyunca PM₁₀ açısından kirliliğin kritik boyutta risk taşımadığı, hava kalitesinin daha iyi boyutlarda olduğunu Şekil 5.26 iyi bir şekilde ifade etmektedir. 2017 yılına ait zaman serisi grafiğinde sınır değerinin altında ölçümler izlenmiştir.



Şekil 5.26 Zonguldak iline ait PM₁₀ konsantrasyonlarının 2014-2017 arası hava kalitesi indeksi değerlerini aştığı günlerin analizi.

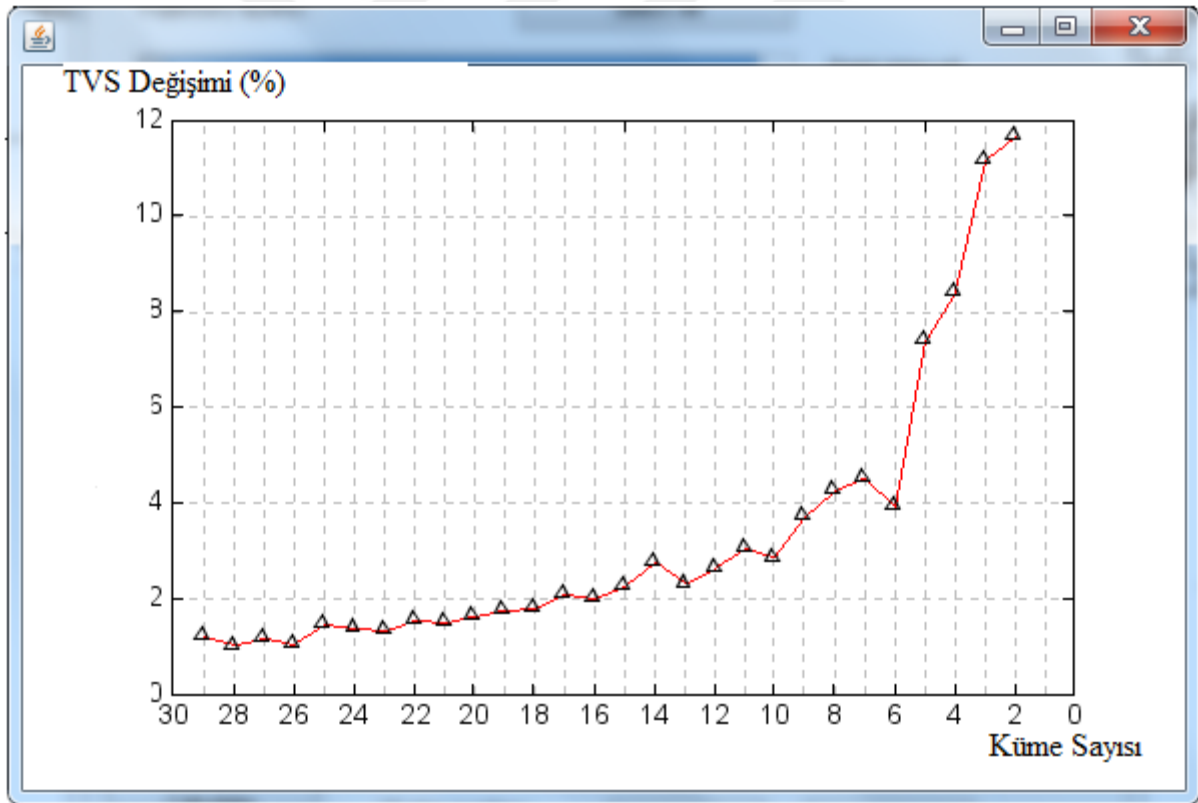
5.2 UZUN MESAFELİ TAŞINIM

5.2.1 Kümeleme Analizi

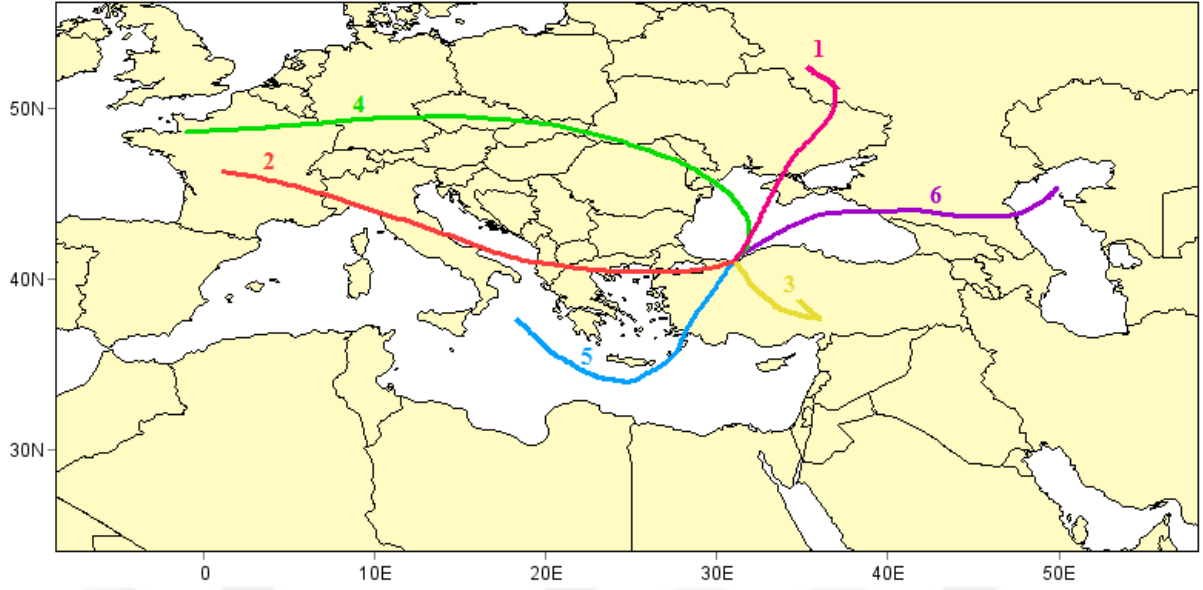
Zonguldak ili hava kalitesi izleme istasyonundan 01.01.2014 ve 31.12.2017 yıl aralığını kapsayan ölçüm verileri ile TrajStat yazılımı kullanılarak her gün için geri yörünge analizi

yapılmıştır. Bu geri yörüngeler 3 bitiş seviyesi (100, 500, 1500 m) için hesaplanmıştır. TrajStat yazılımı kullanılarak her gün için hesaplanan geri yörüngeler için kümeleme analizi yapılmış ve uygun küme sayısı belirlenerek her yıl için kümeler oluşturulmuştur. Küme sayısı için TrajStat yazılımının sunmuş olduğu seçenek kullanılarak, hata oranının hızlı bir artış yaptığı küme sayısı seçilmiştir. Küme sayılarının belirlendiği grafikler sırasıyla Şekil 5.27, Şekil 5.29, Şekil 5.31. ve Şekil 5.33’de gösterilmiştir. Ayrıca kümeleme analizi sonuçları 2014-2017 yılları için sırasıyla Şekil 5.28, Şekil 5.30, Şekil 5.32 ve Şekil 5. 34’de verilmiştir. Her kümeye ait yüzdelik dağılımları ve ortanca PM₁₀ konsantrasyonu her yıl için sırasıyla Çizelge 5.2, Çizelge 5.3, Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5’te verilmiştir. Çalışma dönemini kapsayan yıllar için 4383 adet geri yörünge HYSPLIT modeli ve TrajStat yazılımı aracılığıyla çizilmiştir.

2014 yılı için 6 ana küme oluşturulmuştur. Şekil 5.27’de görüldüğü gibi 6. kümeden sonra hata oranı hızlı bir artış göstermiştir.



Şekil 5.27 2014 küme sayısının belirlenmesi



Şekil 5.28 Geri yörüngelere uygulanan 2014 yılı kümeleme analizi sonuçları.

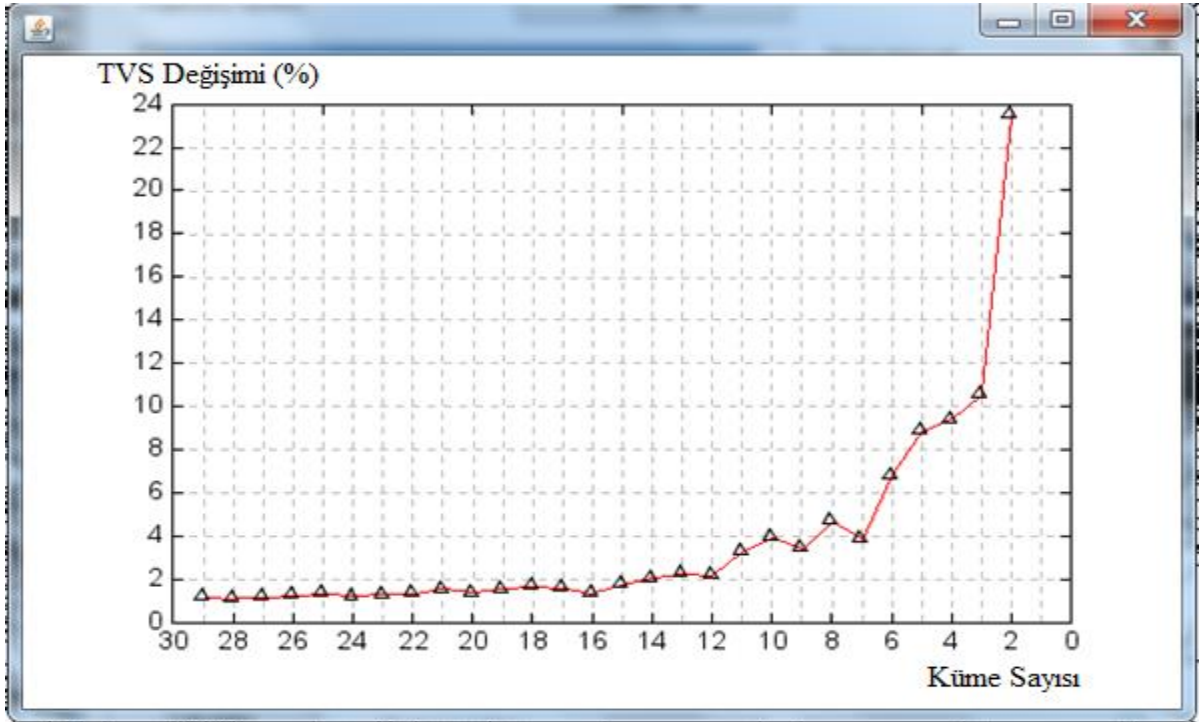
2014 yılına ait hava kütlelerinin geri yörünge hesaplamalarına uygulanan kümeleme analizi sonucunda 6 önemli kümenin çalışma alanına ulaşan hava kütlelerini temsil ettiği belirlenmiştir. Bu 6 kümeye ait yüzdelik dağılımları ve ortanca PM₁₀ konsantrasyonları Çizelge 5.2’de verilmiştir. Küme 1, hesaplanan tüm geri yörüngelerin yaklaşık %16’sını oluşturmaktadır. Bu küme Rusya’dan başlayıp Ukrayna’dan geçerek Karadeniz üzerinden Zonguldak’a ulaşmaktadır. Küme 2, geri yörüngelerin % 34’ünü kapsamaktadır ve en büyük dağılıma sahip kümedir. Fransa’dan başlayarak İtalya, Arnavutluk, Yunanistan’ı takip ederek Marmara Denizi’nden Zonguldak’a varmaktadır. Küme 3, tüm geri yörüngelerin %11’ini, küme 4 yaklaşık % 13’ünü oluşturmaktadır. Küme 5 ve 6 ise sırasıyla yaklaşık % 11 ve 15’ini oluşturmaktadır. 3. küme, İç Anadolu Bölgesi’nden başlayarak ülkemizin güneyinden çalışma alanına ulaşmaktadır. Küme 4, Fransa’dan başlayıp Almanya, Çek Cumhuriyeti, Slovakya, Ukrayna ve Romanya üzerinden Karadeniz’i geçerek Zonguldak sınırlarına ulaşmaktadır. Küme 5, Akdeniz açıklarından başlayıp Türkiye’nin güneybatısını takip ederek Zonguldak’a varmaktadır. Küme 6, Hazar Denizi’nden başlayıp Rusya üzerinden Karadeniz’e ulaşip Zonguldak’a varmaktadır.

Çizelge 5.2 Kümelere ait hava kütlelerinin 2014 yılı için dağılım yüzdesi ve PM₁₀ konsantrasyonları.

Kümelere	1	2	3	4	5	6	Yıllık Ortanca
Ortanca PM ₁₀ konsantrasyonu (µg/m ³)	47	90	41	105	63	44	56
Yüzde (%)	16.44	33.88	11.14	12.79	10.78	14.98	

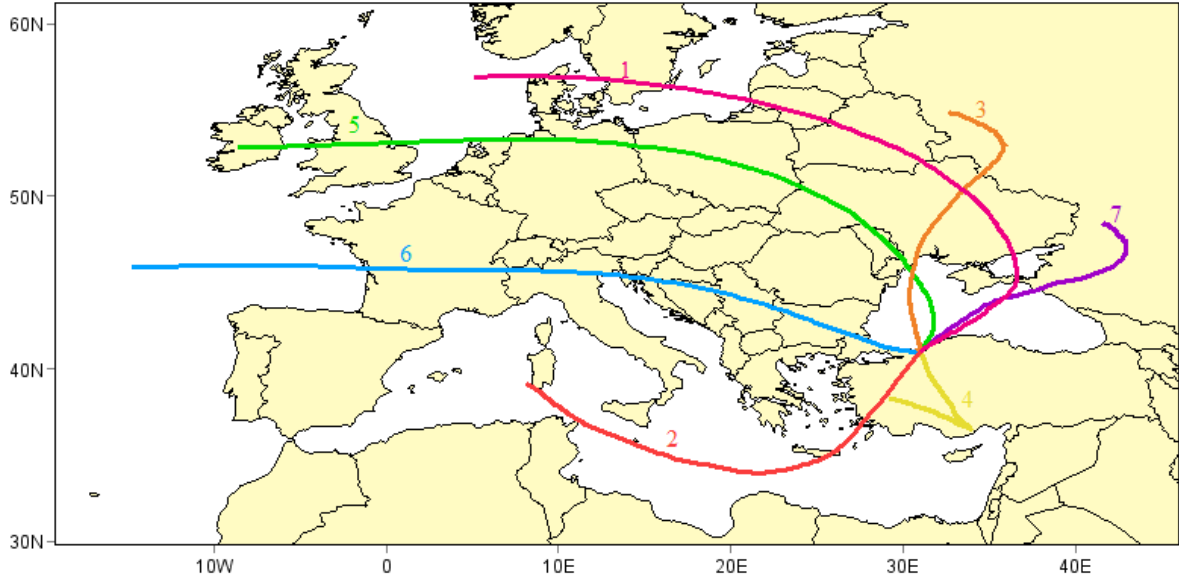
Çizelge 5.2’de verilen ortanca PM₁₀ konsantrasyonları ve yıllık ortanca PM₁₀ konsantrasyonları kıyaslandığında, taşınım açısından etkili olan kümeler 2, 4 ve 5. kümelerdir. 2014 yılı ortanca PM₁₀ konsantrasyonu 56 µg/m³ olarak belirlenmiştir. Küme 2 PM₁₀ konsantrasyonu 90 µg/m³, küme 4 PM₁₀ konsantrasyonu 105 µg/m³ ve küme 5 konsantrasyonu 63 µg/m³ kadar taşınım yoluyla artırmıştır.

2015 yılına ait PM₁₀ konsantrasyonlarının geri yörünge analizleri için HYSPLIT modeli ve TrajStat yazılımı kullanılarak oluşturulan kümeleme analizi sonuçlarıyla oluşturulan 7 ana kümenin 3 bitiş yüksekliğini (100, 500, 1500 m) temsil ettiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu karar Şekil 5.29’daki sonuçlara göre verilmiştir ve 7 kümeye ait hava kütlelerinin dağılım yüzdesi ve taşıdığı PM₁₀ konsantrasyonları Çizelge 5.3’te verilmiştir.



Şekil 5.29 2015 küme sayısı.

Küme 1, Kuzey Denizi'nden başlayıp Danimarka, İsveç, Litvanya, Ukrayna'yı takip ederek Azak Denizi'nden Karadeniz'i geçerek Zonguldak'a ulaşmakta ve hesaplanan geri yörüngelerinin tamamının % 8'ini temsil etmektedir. Sardinya Adası'nın güneyinden başlayarak Akdeniz adalarını takip ederek Türkiye'nin güneybatısından Zonguldak'a ulaşan küme 2, geri yörüngelerin yaklaşık olarak % 11'ini oluşturmaktadır. Küme 3, tüm geri yörüngelerin yaklaşık % 14'ünü oluşturmaktadır ve Rusya'dan başlayıp Ukrayna ve Karadeniz üzerinden Zonguldak'a ulaşmaktadır. Küme 4 ve 5 ise sırasıyla % 9 ve yaklaşık % 18'ini oluşturur. Küme 4, Türkiye'nin batısından başlayıp güneyini takip edip çalışma alanına ulaşmaktadır. Küme 5, İrlanda'dan başlayıp Birleşik Krallık, Hollanda, Polonya, Ukrayna ve Moldova'dan Karadeniz'i takip ederek Zonguldak'a taşınım yolu oluşturmaktadır. Küme 6 geri yörünge hesaplamalarının tamamının % 20'sini oluşturmaktadır ve Fransa, İtalya, Slovenya, Sırbistan, Bulgaristan ve Batı Trakya sahillerinden Zonguldak'a gelmektedir. Rusya'dan başlayıp Karadeniz'i geçerek Zonguldak'a ulaşan küme 7 ise geri yörüngelerin %19'unu ifade etmektedir.



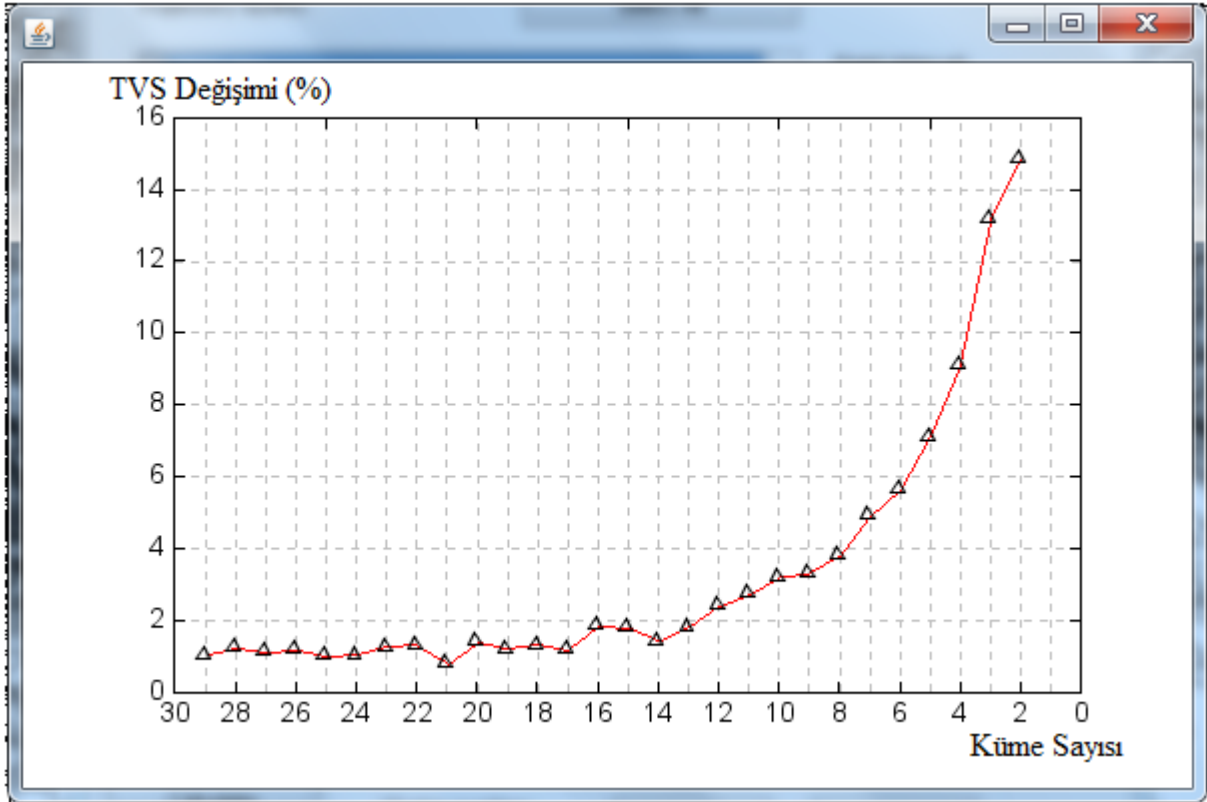
Şekil 5.30 Geri yörüngelere uygulanan 2015 yılı kümeleme analizi sonuçları.

2015 yılı ortanca PM_{10} konsantrasyonu $59 \mu g/m^3$ olarak belirlenmiştir. Ortanca konsantrasyonlar yıllık ortanca PM_{10} konsantrasyonu ile kıyaslandığında küme 2, 4 ve 6 uzun mesafeli taşınım için önemlidir. Küme 2 PM_{10} konsantrasyonunu $16 \mu g/m^3$, küme 4 konsantrasyonu $37 \mu g/m^3$ ve küme 6 ise konsantrasyonu $48 \mu g/m^3$ artırdığı belirlenmiştir.

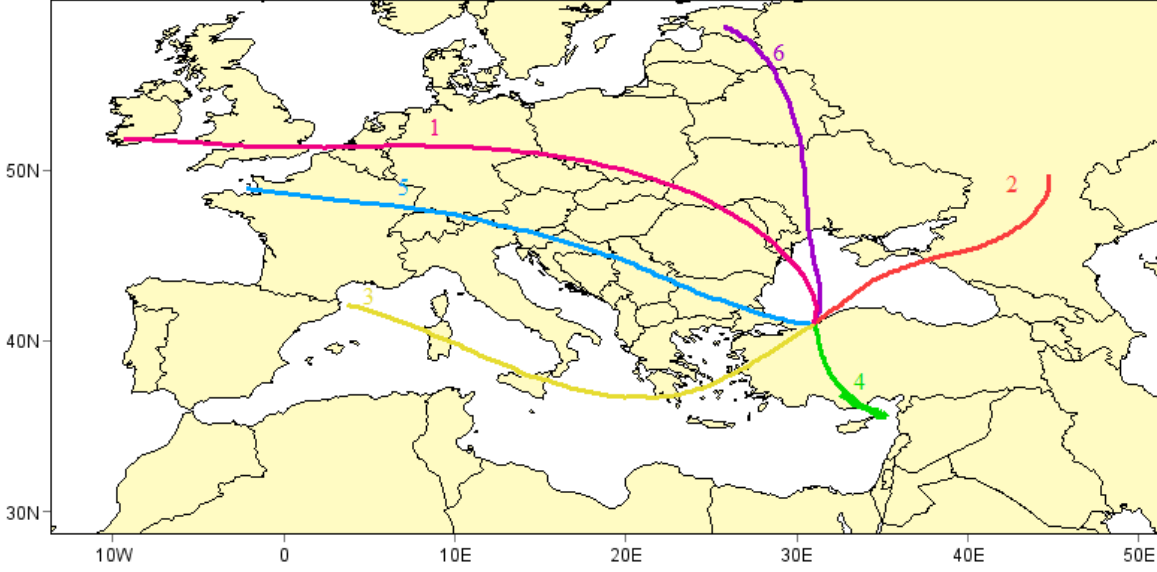
Çizelge 5.3 2015 yılı kümeleme analizi dağılım yüzdeleri ve PM₁₀ konsantrasyonları.

Küme	1	2	3	4	5	6	7	Yıllık Ortanca
Ortanca PM ₁₀ konsantrasyonu (µg/m ³)	41	75	54	96	43	107	47	59
Yüzde (%)	8.40	11.23	13.61	9.13	18.36	20.0	19.27	

Reanalysis global meteorolojik veriler kullanılarak oluşturulan 2016 yılı geri yörünge hesaplamaları, Trajstat aracılığıyla elde edilen Şekil 5.31'deki grafiğe göre 6 ana küme taşınımı ifade etmektedir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığının hava kalitesi izleme istasyonundan elde edilen PM₁₀ ölçümleri TrajStat programı ile geri yörünge analizlerinin üzerine aktarılmıştır. Bu şekilde oluşturulan 6 ana kümenin hava kütlelerinin dağılım yüzdeleri ve ortanca PM₁₀ konsantrasyonları Çizelge 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.31 2016 küme sayısı.



Şekil 5.32 Geri yörüngelere uygulanan 2016 yılı kümeleme analizi sonuçları.

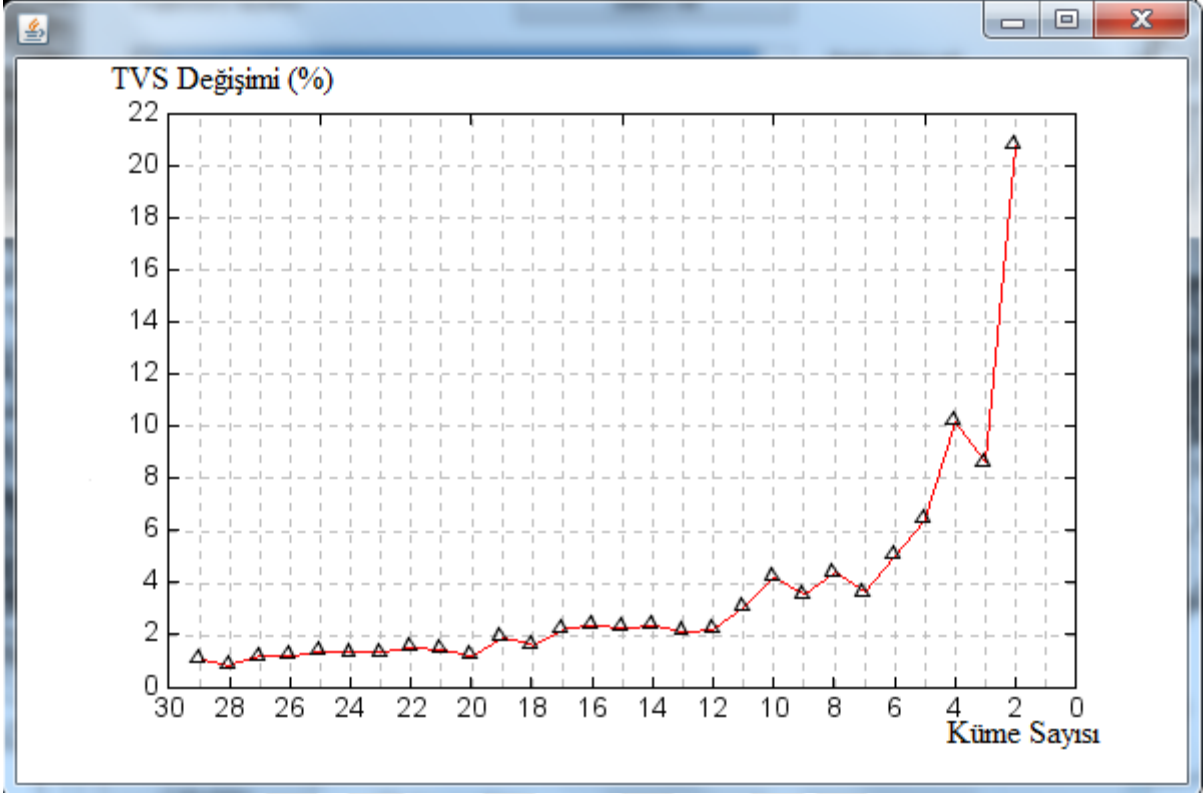
2016 yılı için hesaplanan geri yörünge analizlerinin kümelenmesi sonucu 6 ana küme bu yıl için taşınımı etkileyen yörüngeleri ifade etmektedir. Küme 1, hesaplanan geri yörüngelerin yaklaşık % 15'ini temsil etmektedir. Küme 1 İrlanda'nın güneyinden başlayıp Birleşik Krallık, Hollanda, Almanya, Polonya, Ukrayna, Romanya'dan Karadeniz'e geçerek Zonguldak'a ulaşmaktadır. Küme 2 Rusya'dan başlayıp Karadeniz üzerinden Zonguldak'a varmaktadır. Küme 2 geri yörüngelerin yaklaşık % 20'sini oluşturmaktadır. Küme 3 geri yörüngelerin tamamının yaklaşık % 23'ünü oluşturur ve Sardinya Adası'ndan başlayıp Sicilya Adası, Yunanistan'ın güneyinden Ege Denizi'ne geçip ülkemizin batısından çalışma alanına ulaşmaktadır. Küme 4 geri yörüngelerin yaklaşık % 4'ünü ifade etmektedir. Küme 4 ülkemizin güneyinden başlayıp iç kesimlerden çalışma alanına taşınmaktadır. Küme 5 hesaplanan geri yörüngelerin yaklaşık % 17'sini, küme 6 ise yaklaşık % 21'ini temsil etmektedir. Küme 5 Fransa, İsviçre, Avusturya, Sırbistan, Bulgaristan ve Batı Trakya üzerinden Zonguldak'a varmaktadır. Küme 6 Estonya'dan başlayıp Beyaz Rusya, Ukrayna, Karadeniz'i geçip Zonguldak'a gelmektedir.

Çizelge 5.4 2016 yılı kümeleme analizi dağılım yüzdeleri ve ortalama PM₁₀ konsantrasyonları.

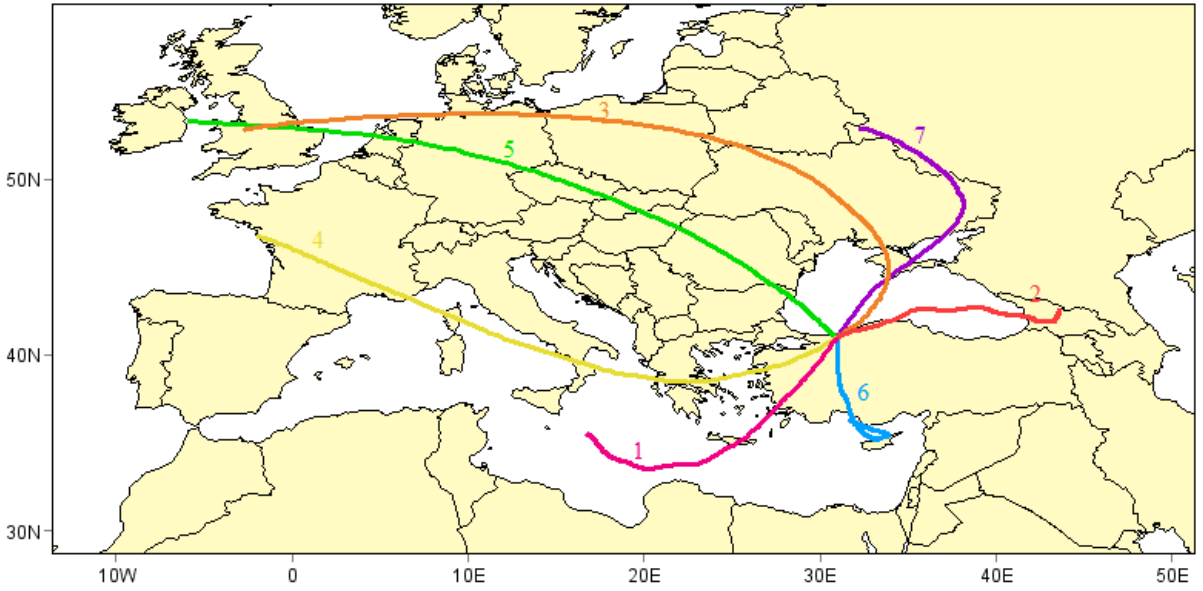
Kümeler	1	2	3	4	5	6	Yıllık Ortanca
Ortalama PM ₁₀ konsantrasyonu (µg/m ³)	32	52	100	72	37	45	49
Yüzde (%)	15.03	20.40	23.04	4.28	16.67	20.58	

2016 yıllık ortalama PM₁₀ konsantrasyonu 49 µg/m³ olarak belirlenmiştir. Uzun mesafeli taşınım açısından önemli olan kümeler 3 ve 4'dür. Yıllık ortalama PM₁₀ konsantrasyonları ile küme ortancaları kıyaslandığında, küme 3 PM₁₀ konsantrasyonunu 51 µg/m³, küme 4 23 µg/m³ kadar artırmıştır. Küme 2 ise PM₁₀ konsantrasyonunu 3 µg/m³ artırmıştır.

2017 yılını geri yörünge analizi ile belirlenen hava kütlelerinin taşıdığı PM₁₀ konsantrasyonu için belirlenen küme sayısı 7 adettir (Şekil 5.33). Bu kümelerin dağılım yüzdeleri ve PM₁₀ konsantrasyonları Çizelge 5.5'te verilmiştir. Şekil 5.34'te verilen geri yörünge analizi sonuçları kullanılarak Trajstat yazılımı aracılığıyla elde edilen 7 ana küme taşınımı açıklamak için kullanılmıştır. Kümelerin yaklaşık olarak geri yörüngelerin tamamını ifade eden yüzdeleri sırasıyla % 10 (küme 1), % 10 (küme 2), % 12 (küme 3), % 14 (küme 4), % 31 (küme 5), % 5 (küme 6) ve % 18 (küme 7) olarak belirlenmiştir. Küme 1, Akdeniz açıklarından başlayıp adaları takip ederek ülkemizin güneybatısından Zonguldak'a taşınım yolu oluşturmaktadır. Küme 2 ise Gürcistan'dan başlayıp Karadeniz'i geçerek Zonguldak'a varmaktadır. Küme 3 Birleşik Krallık'tan başlayıp Almanya, Polonya, Ukrayna'dan Karadeniz'i geçerek çalışma alanına varmaktadır. Küme 4 Fransa, Korsika Adası, İtalya'nın güneyi, Yunanistan ve Ege Denizi üzerinden ülkemize ulaşım sanayi şehirlerini takip ederek Zonguldak'a, Küme 5 ise Birleşik Krallık, Almanya, Çek Cumhuriyeti, Slovakya, Macaristan, Romanya'dan Karadeniz'e geçerek Zonguldak'a taşınım oluşturmaktadır. Küme 6 ülkemizin güneyinden başlayıp Kıbrıs'a, Akdeniz'den geçerek doğrudan Zonguldak'a gelmektedir. Küme 7 Rusya'dan başlayıp Ukrayna, Karadeniz'i geçip çalışma alanına varmaktadır.



Şekil 5.33 2017 küme sayısı.



Şekil 5.34 Geri yörüngelere uygulanan 2017 yılı kümeleme analizi sonuçları.

2017 için yıllık ortalama PM_{10} konsantrasyonu $21 \mu g/m^3$ olarak belirlenmiştir. Küme 2, küme 4 ve küme 7 bu yıl için önemli kirlilik taşıyıcı kümelerdir. Yıllık ortalama PM_{10} konsantrasyonları

ile kıyaslandığında küme 2 PM₁₀ konsantrasyonunu 25 µg/m³, küme 4 PM₁₀ konsantrasyonunu 5 µg/m³, küme 7 ise 12 µg/m³ artırdığı belirlenmiştir.

Çizelge 5.5 2017 yılı kümeleme analizi dağılım yüzdeleri ve PM₁₀ konsantrasyonları.

Küme	1	2	3	4	5	6	7	Yıllık Ortanca
Ortanca PM ₁₀ konsantrasyonu (µg/m ³)	17	46	17	26	15	20	33	21
Yüzde (%)	9.95	10.32	11.60	13.79	31.14	5.39	17.81	

Sanayileşmenin en çok olduğu bölüm olan Batı Karadeniz bölümü içerisinde bulunan Zonguldak ili sanayi açısından gelişmiş, birçok sanayi dalını bünyesinde barındıran bir şehir olma özelliğindedir. Bu sanayi dallarının faaliyetlerinden, evsel ısınma ve motorlu taşıtların kullanımından meydana gelen PM₁₀ kirliliğinin boyutunu Zeydan ve Yıldırım (2007)'in yapmış olduğu çalışma göz önüne koymuştur. Yine Zeydan ve Yıldırım (2012)'in yapmış olduğu bir çalışmada Zonguldak ili PM₁₀ kirliliği için MODIS uydu görüntüleri incelenerek kirliliğin durumunu değerlendirmiş ve sağlık üzerine etkileri açıklanmıştır. Bu çalışmalar PM₁₀ kirliliğinin sağlık açısından da önemli olduğunu göstermiştir. Süren (2007) yapmış olduğu çalışmasında Zonguldak ili için PM konsantrasyonlarının mevsimsel değişimlerini incelemiştir. Çalışma sonucunda, kış ve ilkbahar konsantrasyonlarının yaz ve sonbahar konsantrasyonlarına oranla daha yüksek seviyede olduğuna ulaşılmıştır. Bu çalışmada Zonguldak ilindeki PM₁₀ ilkbahar ve kış dönemindeki artışın nedenlerinden birinin de uzun mesafeli taşınım ile olduğuna sözel olarak değinilmiştir. Bu çalışmaya ek olarak Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2017)'nin yapmış olduğu Zonguldak ili hava kalitesi analiz raporu çalışmasında 2010-2016 dönemini kapsayan partiküllerin uzun mesafeli taşınım olayları incelenmiştir ve HYSPLIT modeli kullanılarak geri yörünge analizi ile Kuzey Afrika ve güney Rusya gibi ülkelerden uzun mesafeli taşınım olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bu çalışmada ise 2014-2017 Zonguldak ili sınırlarına uzun mesafeli taşınım söz konusu olduğu saptanmıştır. Bu çalışmada ulaşılan sonuçlara göre; 2014 yılında üç adet, 2015 yılında üç adet, 2016 yılında iki adet ve 2017 yılında üç adet küme uzun mesafede taşınımına katkısı oldukça mevcuttur. Bu çalışma sonuçlarına göre, Zonguldak ilinin uzun mesafeli taşınım ile kirliliğe

maruz kaldığını, hava kalitesini etkilediğini göstermiştir. Ulaşılan bu sonuç uzun mesafede taşınımın hava kalitesi açısından Zonguldak ili için önemli olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak yapılan tüm çalışmalar Türkiye'nin konumu itibarıyla çöl tozlarına maruz kaldığı ve uzun mesafede taşınımın PM_{10} açısından önemli kirliliğe neden olduğu söylenebilir. Işık vd. (2018) yaptıkları çalışmada 2017 yılındaki çöl tozu taşınım olaylarını önceki yıllarda gerçekleşen taşınımları da inceleyerek Türkiye'deki toz artışına dikkat çekmeye çalışılmıştır. Bu artışın hava kalitesini etkilediği, insan ve canlı sağlığını olumsuz yönde etkilediği toz taşınım dönemleri olduğuna ulaşılabilir. Bu nedenle çöl tozları için geçiş bölgesi olan Türkiye için, ilkbahar ve sonbahar gibi yoğun yaşandığı dönemlerde halka duyurulması ve gerekli uyarıların yapılması önemlidir.





BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

PM₁₀ kirliliği hava kalitesi açısından önemli bir sorundur. Zonguldak önemli derecede PM₁₀ kirliliğine sahip bir şehirdir. Çalışmada HYSPLIT modeli TrajStat yazılımı kullanılarak PM₁₀ kirliliğinin değişimi, taşınımı ve kaynak alanları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışma Zonguldak'ın sahip olduğu PM₁₀ kirliliğine uzun mesafeli taşınımında etkisinin olduğunu göstermesi açısından önemlidir.

PM₁₀ ölçümleri Zonguldak Hava Kalitesi İzleme İstasyonundan elde edilmiştir. Meteorolojiye ait veriler Zonguldak Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün sitesinden elde edilmiştir. Sıcaklık ve yağış bilgileri kullanılarak sıcaklık-yağış grafiği çizilmiş ve incelenmiştir. Çalışma dönemi boyunca her yıl için rüzgar hızı verileri kullanılarak rüzgar yönü belirlenmiştir. Çalışmanın kapsamı 2014-2017 arasındadır. Çalışma dönemi süresince ısınma faaliyetlerine bağlı yakıt kullanımlarına göre 2014 yılından 2017 yılına kadar bir azalış söz konusu olduğu çalışma sonucunda görülmüştür. Bu durum en önemli etkeni doğal gaz kullanımını ve Zonguldak'ın hava kalitesini olumlu etkilemiştir. Ayrıca, Zonguldak hava kirlilik kaynakları sayısal verilerle desteklenerek açıklanmıştır.

Hava kalitesi İzleme istasyonundan alınan konsantrasyonlar kullanılarak zaman serisi grafikleri çizilmiştir. Çizilen grafikler incelenmiş, PM₁₀ konsantrasyonlarının değişimi, ölçülmemiş veri sayısı, her yıl için yönetmelik kapsamınca belirlenen sınır değerleri aşan gün sayısı belirlenmiştir. Bu çalışmada, PM₁₀ konsantrasyonları kullanılarak kutu grafikleri çizilmiştir ve grafik dışında kalan uç değerler çalışma kapsamında incelenmiştir. MODIS uydu görüntüleri uç değerler için incelenmiş ve taşınım için önemli olan günler belirlenmiştir.

2014 yılına ait zaman serisi grafiği incelendiğinde, yönetmelik kapsamında belirlenen sınır değeri (100 µg/m³) aşan gün sayısı 88 gün olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu yıl için ölçüm yapılamamış gün sayısı 72 gündür. Olmayan veriler hariç tutularak incelenen PM₁₀

ölçümlerinde sınır değeri aşan günler değerlendirildiğinde maksimum ölçüm değeri $265 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak belirlenmiştir. MODIS uydu görüntüsü maksimum değerini ölçüldüğü gün için incelendiğinde taşınım olmadığı, daha çok ısınma faaliyetlerinden kaynaklandığı sonucuna ulaşılmaktadır. PM_{10} konsantrasyonları aylık olarak incelemek için kutu grafiği çizilerek uç değerleri aşan günler incelenmiştir. 2 Mart 2014 tarihinde PM_{10} konsantrasyonu $183 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ölçülmüştür ve uydu görüntüsü (Şekil 5.4) ile kıyaslandığında ülkemizin güneyinden taşınım olduğu görülmüştür. Yine aynı şekilde 4 Nisan 2014 tarihinde ölçülen PM_{10} konsantrasyonu ($131 \mu\text{g}/\text{m}^3$) uydu görüntüsü ile karşılaştırıldığında (Şekil 5.5) ülkemiz içerisinde taşınım sözü konusu olduğuna ulaşılabilir.

2015 yılına ait zaman serisi grafiği incelendiğinde, sınır değeri ($90 \mu\text{g}/\text{m}^3$) aşan gün sayısı 102 gündür. Ölçüm yapılamayan gün olmadığı için bütün veriler karşılaştırıldığında maksimum PM_{10} konsantrasyonu $427 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak belirlenmiştir. Bu değerler kutu grafiği ile de analiz edildiğinde, 27 Mart 2015 tarihinde PM_{10} konsantrasyonu uç değerleri aşmıştır ve $263 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ölçülmüştür. Uydu görüntüsü (Şekil 5.10) incelendiğinde Zonguldak'ın ülkenin batısından taşınım sonucu konsantrasyon artışına maruz kaldığı söylenebilir. 17 Nisan 2015 tarihinde $427 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ölçülen PM_{10} konsantrasyonu uydu görüntüsü (Şekil 5.11) incelendiğinde taşınımın sözü konusu olmadığı, o güne ve önceki gün yapılan faaliyetlere bağlı olarak artmış olduğu veya hatalı ölçüm yapıldığı söylenebilir.

2016 yılına ait zaman serisi grafiği ve kutu grafiği incelendiğinde, sınır değeri ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) aşan gün sayısı 103 gündür ve ölçüm yapılamayan gün yoktur. Maksimum ölçüm değeri $209 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak belirlenmiştir. Kutu grafiğinde uç değerleri aşan günler incelendiğinde 29 Şubat 2016 tarihinde PM_{10} konsantrasyonu $167 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür ve uydu görüntüsü (Şekil 5.16) ile karşılaştırıldığında ülkenin kuzeybatı kısmından Batı Trakya'ya bir taşınım olduğu söylenebilir. Ayrıca 14 Mayıs 2016 tarihinde PM_{10} konsantrasyonu $86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olmasına rağmen MODIS uydu görüntüsü (Şekil 5.18) incelendiğinde ülkenin batısından ve güneyinden taşınım olduğu görülmektedir.

2017 yılı için hazırlanan zaman serisi ve kutu grafiği incelendiğinde, sınır değeri ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) aşan gün sayısı 31 gündür. Ölçüm yapılmamış gün sayısı 3 gündür ve maksimum ölçüm değeri $138 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak belirlenmiştir. 1 Mart 2017 tarihine ait PM_{10} konsantrasyonu $118 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak

ölçülmüştür. MODIS uydu görüntüsü (Şekil 5.23) incelendiğinde taşınımın mevcut olduğu ancak yakın bölgelerin Zonguldak ilinden daha fazla etkilendiği sonucuna ulaşılmıştır.

PM₁₀ konsantrasyonlarının dört yıllık (2014-2017) değişimini göstermek için hava kalitesi indeksi ile kıyaslanarak oluşturulan Şekil 5.26 günlük, aylık ve yıllık değişim gözle görülmektedir. 2014-2017 yılları arasından özellikle 2017 yılında gözle görülür şekilde hava kalitesinde iyileşme olduğu görülmüştür. Bu durumun en önemli etkeni Zonguldak ilinde yakıt olarak doğal gaz kullanımına geçilmesidir (Çizelge 4.3).

2014-2017 dönemi için her yılın her günü için TrajStat yazılımı ile 5 günlük (120 saatlik) geri yörüngeler hesaplanmıştır. Hesaplanan her geri yörünge 100, 500 ve 1500 m bitiş seviyelerinde hesaplanmıştır. Çalışmada NCEP/NCAR Re-analysis küresel meteorolojik veriler kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Çalışmada yapılan hesaplamalar sonucunda 2014 yılına ait geri yörünge hesaplamalarında bu yörüngeleri temsil edecek 6 ana küme oluşturulmuştur ve Zonguldak'a PM₁₀ taşınımına olan katkısı incelenmiştir. PM₁₀ konsantrasyonunu 34 µg/m³ kadar artıran küme (küme 2) Fransa, İtalya, Arnavutluk, Yunanistan'ı takip ederek Marmara Denizi'nden Zonguldak'a ulaşmaktadır. Fransa, Almanya, Çek Cumhuriyeti, Slovakya, Ukrayna ve Romanya gibi ülkelerden gelen küme (küme 4) 49 µg/m³ artmasına neden olmuştur. Akdeniz açıklarından başlayarak Türkiye'nin güneybatısını takip ederek Zonguldak'a ulaşan küme (küme 5) PM₁₀ konsantrasyonunu 7 µg/m³ artırmıştır.

2015 yılına ait geri yörüngelerin tamamını ifade eden 7 ana küme oluşturulmuştur. Sardinya Adası'nın güneyinden başlayarak Akdeniz adalarını takip ederek Türkiye'nin güneybatısından gelen küme (küme 2) Zonguldak'a gelerek PM₁₀ konsantrasyonunu 16 µg/m³ artırmıştır. Türkiye'nin batısından başlayıp güneyini takip ederek Zonguldak'a varan küme (küme 4) 37 µg/m³ kadar PM₁₀ konsantrasyonu artışına neden olmuştur. Küme 6 ise 48 µg/m³ kadar konsantrasyon artışı olmasına neden olmuştur ve Fransa, İtalya, Slovenya, Sırbistan, Bulgaristan ve Batı Trakya sahillerinden Zonguldak'a ulaşmaktadır.

2016 yılına ait geri yörüngeler 6 ana küme ile ifade edilmiştir. Bu altı küme içinden taşınım için önemli olan küme 3 ve küme 4'tür. Küme 3, Sardinya Adası, Sicilya Adası, Yunanistan'ın

güneyi, Ege Denizi'nden geçip ülkemizin batısından Zonguldak'a ulaşarak PM₁₀ konsantrasyonunu 51 µg/m³ kadar artırmaktadır. Küme 4 ise ülkemizin güneyinden başlayıp iç kesimlerden Zonguldak'a ulaşarak konsantrasyonu 23 µg/m³ artmasına neden olmuştur.

2017 yılına ait geri yörüngelerin tamamını ise 7 ana küme ile ifade edilmektedir. Küme 2 Gürcistan'dan başlayıp Karadeniz'i geçerek çalışma alanına ulaşarak konsantrasyonun 25 µg/m³ kadar artmasına neden olmaktadır. Küme 4 ise Fransa'dan başlayarak Yunanistan'dan Ege Denizi'nden ülkemize ulaşıp sanayi şehirlerini takip ederek Zonguldak'a gelip 5 µg/m³ kadar artış olmasına neden olmaktadır. Küme 7 Rusya'dan başlayıp Ukrayna daha sonra Karadeniz'i geçip Zonguldak'a gelerek PM₁₀ konsantrasyonunu 12 µg/m³ artmasına neden olmuştur.

Sonuç olarak, ülkemiz taşınım yolları üzerinde bulunmakta ve ilkbahar ve sonbahar dönemlerinde yoğun olarak PM₁₀ konsantrasyonlarının artmasına neden olmaktadır. Bir bölgede hava kalitesinin belirlenmesi, orada yaşayan canlıların nasıl bir hava teneffüs ettiğini belirlemek açısından önemlidir. Çalışmalarda hava kalitesi açısından diğer önemli olan kirleticilerin üzerine çalışma yapılabileceği, bu kirliliklerinde sadece bölgesel kaynaklardan atmosfere verilmemiş olabileceği olasılığının olduğunu göstermiştir. Uzun mesafeli taşınımında kirlilik artışında etkili olduğundan diğer kirleticilerinde incelenmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bu taşınım olaylarına karşın halkımız önceden bilgilendirilmeli ve gerekli uyarılar yapılmalıdır. Böylece gerekli önlemlerin alınması sağlanmalıdır. Bu çalışmada uzun mesafede taşınım olduğu ve PM₁₀konsantrasyonun bu taşınım ile da artışı görülmüştür. Uzun mesafeli taşınımın etkilerinin belirlenmesi hava kalitesi sınır değerlerinin altında kalınması açısından önemlidir.

KAYNAKLAR

- Akman Y, Ketenoğlu O, Kurt L, Düzenli S, Güney K ve Kurt F** (2012) *Çevre Kirliliği (Çevre Biyolojisi)*. 1. Basım, ISBN: 975-7477-73-7, Palme Yayınları, Ankara, 299 s.
- Akyürek Ö** (2012) Trabzon Kent Merkezi İçin Hava Kirliliği İle Meteorolojik Koşulları Arasındaki İlişkinin 2006-2011 Arası Verilerine Dayalı Olarak İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Trabzon, 80 s.
- Akyürek Ö, Arslan O ve Karademir A** (2013) SO₂ ve PM₁₀ Hava Kirliliği Parametrelerinin CBS ile Konumsal Analizi: Kocaeli Örneği. *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, 11-13 Kasım 2013, Ankara, 1-12.
- Altıkat A, Torun F ve Bayram T** (2011) Küresel Kirlilik: Dünya, Avrupa Birliği ve Türkiye’de Hava Kirliliği Örneği. Erciyes Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(2): 134-149.
- Anıl İ, Karaca F ve Alagha O** (2009) İstanbul’a Uzun Mesafeli Atmosferik Taşınım Etkilerinin Araştırılması:”solunabilen Partikül Madde Epizotları”. *Ekoloji, Araştırma Notu*, 73: 86-97.
- Ashrafi K, Shafiepour-Motlagh M, Aslemand A and Ghader S** (2014) Dust storm simulation over Iran using HYSPLIT. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 12 (1): 9.
- Ay E. F, Balta M, Çolak M ve Semercioğlu H** (2010) Hava Kirliliği ve Modellenmesi. *Ders Notu*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü, Sakarya.
- Aydın Ö** (2006) Havadaki SO₂ ve PM Konsantrasyonunun İstatistiksel Yöntemler ile Modellenmesi: Zonguldak Şehir Örneği. *Yüksek Lisans Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 78 s.
- Bayramoğlu Karşı M B, Berberler E ve Karakaş D** (2017) Gölcük Tabiat Parkı’nda Yapılan Haftalık Atmosferik Toplam Çökeltme Örneklerinin Polisiklik Aromatik Hidrokarbon, Anyon ve Katyon Konsantrasyonlarının Belirlenmesi ve Gölet’e Etkilerinin Araştırılması. *VII. Ulusal Hava Kirliliği Kontrolü Sempozyumu*, 1-3 Kasım 2017, Antalya, 306-318.
- Bulut H, Yeşilnacar M İ, Rastgeldi T, Aslan M ve Uçar D** (2008) Toz Bulutlarının İç ve Dış Ortam Hava Kalitesine Etkileri: Şanlıurfa Örneği. *Ulusal Hava Kalitesi Sempozyumu*, 30-31 Mayıs 2008, Konya, 369-377.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Can E** (2016) Kütahya Genelinde Partikül Madde Kirletici Kaynaklarının Belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 205 s.
- Çelikoğlu Ş** (2016) Çatalağzı Yöresi'nde (Zonguldak) Termik Enerji Yatırımları. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 33: 510-533.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı** (2014) 2013 İli Temiz Hava Eylem Planı THEP (2014-2019). T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Zonguldak Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Zonguldak, 40-50.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı** (2016) Zonguldak İli 2015 Yılı Çevre Durum Raporu. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, T.C. Zonguldak Valiliği, Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Zonguldak, 3-20.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı** (2017) Zonguldak İli Hava Kalitesi Analiz Raporu (2010-2016). T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Kuzey İç Anadolu Temiz Hava Merkez Müdürlüğü, Zonguldak, 35-50.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı** (2018) Zonguldak İli 2017 Yılı Çevre Durum Raporu. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, T.C. Zonguldak Valiliği, Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Zonguldak, 3-19.
- Çimen N, Yağan Y ve Polatkan Ö** (2007) *Aeroloji*, Çevre ve Orman Bakanlığı, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 213 s.
- Demirarslan K O** (2016) Kentsel gelişmenin hava kalitesi üzerine etkileri ve Doğu Karadeniz Bölgesi kentlerindeki partikül madde kirliliği. *Karadeniz Araştırmaları*, 52: 27-55.
- Demirarslan O, Çetin Ş ve Ayberk S** (2008) Hava Kirliliği Belirlemelerinde Modelleme Yaklaşımı ve Modelleme Aşamasında Karşılaşılabilecek Sorunlar. *Çevre Sorunları Sempozyumu*, 14-17 Mayıs 2008, Kocaeli.
- Demirhan S** (2016) Health impacts of particulate matter collected from İstanbul city. *Doktora Tezi*, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoteknoloji Bölümü, İstanbul, 131 s.
- Dinçer N G, Güneri Ö İ ve Yalçın M O** (2016) Zaman Serisi Kümelemesinin Türkiye'deki Hava kirliliği izleme istasyonlarındaki bilgi fazlalığının tespit edilmesine uygulanması. *SAÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 20 (3): 605-616.
- Doğan G** (2005) Comparison of the rural atmosphere aerosol compositions at different parts of Turkey. *Yüksek Lisans Tezi*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü, Ankara, 195 s.
- Draxler R, Stunder B, Rolph G, Stein A and Taylor A** (2014) *HYSPLIT_4 User's Guide*. NOAA Air Resources Laboratory, 254 s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Dündar C, Oğuz K ve Güllü G** (2015) Toz Taşınımı Mekanizmasındaki Farklılıklar: İki Farklı Toz Taşınım Olayı. *6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu*, 07-09 Ekim 2015, İzmir, 18-28.
- Ecer A, Sarıkaya B, Tepe A M ve Doğan G** (2017) Mardin Hava Kirliliğinin Değerlendirilmesi. *VII. Ulusal Hava Kirliliği Ve Kontrolü Sempozyumu*, 1-3 Kasım 2017, Antalya, 853-862.
- Eken M, Ceylan A, Taştekin A T, Şahin H ve Şensoy S** (2008) *Klimatoloji-II. Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü*, DMİ Yayınları, Ankara, 176 s.
- Erdoğan E** (2012) Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinde Modellerin Kullanımının Karar Verme Sürecindeki Rolü. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisleri Anabilim Dalı, İstanbul, 200 s.
- Fortelli A, Scafetta N and Mazzarella A** (2016) Influence of synoptic and local atmospheric patterns on PM₁₀ air pollution levels: a model application to Naples (Italy). *Atmospheric Environment*, 343: 218-228.
- Freiwan M ve İncecik S** (2006) Avrupa kirleticilerinin Doğu Akdeniz bölgesine taşınımının modellenmesi. *İTÜ Dergisi*, 5 (3): 255-266.
- Güler Ç** (2013) *Büyük Çevre Sözlüğü (Çevre Sağlığı Açıklama ve Terimleriyle Birlikte)*. 1. Basım, ISBN: 978-605-4445-25-7, Yazıt Yayıncılık, Ankara, 769 s.
- Güllü G, Ulutaş F, Belli D, Erduran S, Keskin S ve Tuncel G** (1998) Karadeniz Aerosolü ve Uzak Mesafeli Atmosferik Taşınım. *Journal of Engineering and Environmental Science*, 22: 289-303.
- HKDYY** (2008) Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği, *T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, Ankara, 20 s.
- Işık A G, Dündar C ve Oğuz K** (2018) 2017 Yılında Türkiye’de Gerçekleşen Toz Taşınım Olaylarının 2001-2016 Dönemi ile Birlikte Analizi. *Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği Bilimsel Kongresi*, 30 Mayıs- 2 Haziran 2018, İzmir, 158-161.
- İm U** (2009) Mesoscale modelling of aerosol levels in İstanbul using a high resolution MM5/CMAQ air quality modelling system. *Doktora Tezi*, Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü, Çevre Teknolojileri Bölümü, İstanbul, 281 s.
- Karaca F** (2008) Büyükçekmece Havza Atmosferindeki PM_{2.5} ve PM₁₀ Partikül Gruplarındaki Metallerin İstatistik Dağılım Özelliklerinin İncelenmesi. *Ekoloji*, 17 (68) 33-42.
- Karaca F** (2012) Determination of Air Quality Zones in Turkey. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 62 (4): 408-419.
- Karadeniz Y** (1999) Trabzon ve Çevresinde Sisli Günler. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2 (3): 16-23.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Karakaş B** (2015) İç ve Dış Ortamlarda Partiküler Madde (PM₁₀, PM_{2.5} ve PM₁) Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 137 s.
- Kılıç A, Kum S, Ünal A ve Kindap T** (2014) Marmara Bölgesi'ndeki Hava Kirliliğinin Modellenmesi, Kirlilik Azaltımı ve Maruziyet Analizi. *BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 16 (1): 27-46.
- Kindap T ve Karaca M** (2006) Avrupa kaynaklı aerosollerin Türkiye'ye taşınımı. *İTÜ dergisi*, 5 (2): 3-12.
- Kindap T, Ünal A, Chen S H, Hu Y, Odman M T and Karaca M** (2006) Long-range Aerosol Transport From Europe to İstanbul, Turkey. *Atmospheric Environment*, 40: 3536-3547.
- Koçak M, Mihalopoulos N and Kubilay N** (2007) Contributions of Natural Sources to High PM₁₀ and PM_{2.5} Events in the Eastern Mediterranean. *Atmospheric Environment*, 41: 3806-3818.
- Koçak M, Theodosi C, Zarmas P, İm U, Bougiatioti A, Yenigün O and Mihalopoulos N** (2011) Particulate matter (PM₁₀) in İstanbul: Origin, source areas and potential impact on surrounding regions. *Atmospheric Environment*, 45: 6891-6900.
- Korkmaz Ş** (2015) Erzurum şehir atmosferindeki polisiklik aromatik hidrokarbonların kaynaklarının PMF yöntemi kullanılarak incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum, 70 s.
- Li L, Yan D, Xu S, Huang M, Wang X and Xie S** (2017) Characteristics and source distribution of air pollution in winter in Qingdao, eastern China. *Environmental Pollution*, 224: 44-53.
- Li D, Liu J, Zhang J, Gui H, Du P, Yu T, Wang J, Lu Y, Liu W and Cheng Y** (2017) Identification of long-range transport pathways and potential sources of PM_{2.5} and PM₁₀ in Beijing from 2014 to 2015. *Journal of Environmental Sciences*, 56: 214-229.
- Liu N, Yu Y, He J and Zhao S** (2013) Integrated modeling of urban-scale pollutant transport: application in a semi-arid urban valley, Northwestern China. *Atmospheric Pollution Research*, 4: 306-314.
- Liu T, Marlier M. E, DeFries R S, Westervelt D M, Xia K R, Fiore A M, Mickley L J, Cusworth D H and Milly G** (2018) Seasonal impact of regional outdoor biomass burning on air pollution in three Indian cities: Delhi, Bengaluru and Pune. *Atmospheric Environment*, 172: 83-92.
- Ocak S** (2005) Erzurum İli Hava Kirliliğinin Matematik Modelle İncelenmesi. *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 209 s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Oğuz K, DüNDAR C ve Pekin M A** (2013) Uzaktan Algılama Verileri ile Toz Taşınımı Analizi. *I. Meteorolojik Uzaktan Algılama Çalıştayı*, 5-7 Kasım 2013, Antalya, 238-248.
- Oğuz K ve DüNDAR C** (2014) Mineral Tozların Türkiye'ye Taşınımının ve Yerel Katkılarının Değerlendirilmesi. *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi*, 3: 61-67.
- Orhun Z** (2013) Türkiye Coğrafi Bölgelerinde Örnek Şehirlerde Ölçülen PM₁₀ Değerlerinin Değişiminin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 205 s.
- Özdemir M T ve Ertaş S** (2011) Çöl tozu taşınımının partiküler madde konsantrasyonu üzerine etkisi: Ankara ili örneği. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 68 (1): 23-34.
- Özdemir F** (2008) Türkiye Genelinde Kükürt Dioksit ve Partiküler Madde Kirlilik Dağılımlarının Analizi. Enstitüsü *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 130 s.
- Özkurt N** (2011) Kırsal Alanlarda Hava Kalitesi Modellemesi Üzerine Araştırma (Çan-Bayramiç Bölgesi Örneği). *Doktora Tezi*, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Gebze, 207 s.
- Öztürk M** (2017) *Hava Kirliliğini Artıran Sıcaklık İncersiyon*. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 17 s.
- Polichetti G, Cocco S, Spinali A, Trimarco V and Nunziata A** (2009) Effects of particulate matter (PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁) on the cardiovascular system. *Toxicology*, 261: 1-8.
- Querol X, Pey J, Pandolfi M, Alastuey A, Cusack M, Perez N, Moreno T, Viana M, Mihelopoulos Kallos G and Kleanthous S** (2009) African dust contributions to mean ambient PM₁₀ mass-across the Mediterranean Basin. *Atmospheric Environment*, 43: 4266-4277.
- Rolph G D, Ngan F and Draxler R R** (2014) Modeling the fallout from stabilized nuclear clouds using the HYSPLIT atmospheric dispersion model. *Journal of Environmental Radioactivity*, 136: 41-55.
- Sağlık Bakanlığı** (2010) *Türkiye'nin Hava Kirliliği ve İklim Değişikliği sorunlarına Sağlık Açısından Yaklaşım*. T.C. Sağlık Bakanlığı, Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Türkiye Kronik Hava Yolu Hastalıklarını Önleme ve Kontrol Programı, Ankara, 176 s.
- Saxena M, Sharma A, Sen A, Saxena P, Mandal T K, Sharma S K and Sharma C** (2017) Water soluble inorganic species of PM₁₀ and PM_{2.5} at an urban site of Delhi, India: Seasonal variability and sources. *Atmospheric Research*, 184: 112-125.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Schembari C, Bove M.C, Cuccia E, Cavalli F, Hjørth J, Massabo D, Nava S, Udisti R and Prati P** (2014) Source apportionment of PM₁₀ in the Western Mediterranean based on observations from a cruise ship. *Atmospheric Environment*, 98: 510-518.
- Seven T, Can B, Darende B N ve Ocak S** (2018) Hava ve Toprakta Ağır Metal Kirliliği. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1 (2): 91-103.
- Sezen İ, Baykara M, Arslan E, Ünal A ve Deniz A** (2017) *Adana PM₁₀ Seviyeleri ve 07 Eylül 2015 Kum Fırtınası İncelemesi*. T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, İstanbul, 23 s.
- Süren P** (2007) Zonguldak Kent Merkezi Atmosferik Partikül Madde Kirliliğinin; PM_{2.5} ve PM₁₀ Boyut Dağılımı, Kaynak ve Metalik Kompozisyon Temelinde İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir, 180 s.
- Talbi A, Kerchich Y, Kerbachi R and Boughedaoui M** (2018) Assessment of annual air pollution levels with PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ and associated heavy metals in Algiers, Algeria. *Environmental Pollution*, 232: 252-263.
- Taşpınar F ve Bakoğlu M** (2003) İzmit Klinik ve Tehlikeli Atıkları Yakma ve enerji Üretim Tesisi'nden Atmosfere Verilen Azot Dioksit (NO_x) Emisyonlarının Dağılımının Modellenmesi. *V. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, 1-4 Ekim 2003, Ankara, 365-379.
- Tayanç M** (2013) Türkiye'de Hava Kalitesi Modellenmesi. *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi*, 2: 112-122.
- Tepe A M ve Doğan G** (2015) Antalya'daki PM₁₀ kirliliğinin değerlendirilmesi, *6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu*, 7-9 Ekim 2015, İzmir, 1-11.
- TMMOB** (2017) *Hava Kirliliği Raporu 2017*. TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, Ankara, 72 s.
- Tokgöz D** (2013) Temporal variation in aerosol composition at Northwestern Turkey. *Doktora Tezi*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Doğal ve Uygulamalı Bilimler Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 177 s.
- Topuz M ve Karabulut M** (2017) Eylül 2015 Hatay Çöl Tozu Taşınımı Değerlendirmesi. *International Periodical for the Languages, Literature and History of Turkish or Turkic*, Ankara, 12 (3): 565-580.
- Tünay O ve Alp K** (1996) *Hava Kirlenmesi Kontrolü*. İTO 1996-36, İstanbul, 175 s.
- URL-1** <<https://www.eea.europa.eu>>, Ziyaret Tarihi: 20.11.2018.
- URL-2** <<http://www.hava izleme.gov.tr>>, Ziyaret Tarihi: 23.04.2018.
- URL-3** <<http://www.zonguldak.gov.tr/cografya>>, Ziyaret Tarihi: 10.11.2018.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- URL-4** <<https://biruni.tuik.gov.tr/ilgosterge/?locale=tr>>, Ziyaret Tarihi: 08.11.2018.
- URL-5** <<https://www.mgm.gov.tr>>, Ziyaret Tarihi: 16.11.2018.
- URL-6** <<http://www.kgm.gov.tr>>, Ziyaret Tarihi: 12.05.2019.
- URL-7** <http://www.arl.noaa.gov/HYSPLIT_info.php>, Ziyaret Tarihi: 27.08.2018.
- URL-8** <<ftp://arlftp.arlhq.noaa.gov/pub/archives/reanalysis>>, Ziyaret Tarihi: 02.02.2018.
- URL-9** <<http://www.meteozone.com/tutorial/html/index.html>>, Ziyaret Tarihi: 07.03.2018.
- URL-10** <<https://giovanni.gsfc.nasa.gov>>, Ziyaret Tarihi: 30.05.2019.
- Varınca K B, Güneş G ve Ertürk F** (2008) Hava Kirleticilerinin İnsan Sağlığı ve İklim Üzerine Etkileri. *Ulusal Hava Kalitesi Sempozyumu*, 30-31 Mayıs 2008, Konya, 1-8.
- Verma N, Lakhani A and Kumari K M** (2017) High ozone episodes at a semi-urban site in India: Photochemical generation and transport. *Atmospheric Research*, 197: 232-243.
- Wang F, Chen D S, Cheng S Y, Li J B, Li M J and Ren Z H** (2010) Identification of regional atmosferik PM₁₀ transport pathways using HYSPLIT, MM5-CMAQ and synoptic pressure pattern analysis. *Environmental Modelling & Software*, 25: 927-934.
- Wang Y Q, Zhang X Y and Draxler R R** (2009) TrajStat: GIS-based software that uses various trajectory statistical analysis methods to identify potential sources from long-term air pollution measurement data. *Environmental Modelling & Software*, 24: 938-939.
- Wang Z, Liu Y, Hu M, Pan X, Shi J, Chen F, He K, Kautrakis P and Christiani D** (2013) Acute health impacts of airborne particles estimated from satellite remote sensing. *Environmental International*, 51: 150-159.
- WHO** (2013) *Health Effects of Particulate Matter –Policy Implications for Countries in Eastern Europe, Causes and Central Asia*. WHO Teknik Rapor, 15 s.
- Yatkın S ve Bayram A** (2007) İzmir Havaında Partikül Madde Kirliliği: Ölçüm ve Değerlendirme. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 9 (2): 15-27.
- Yawootti A, Intra P, Tippayawong N and Sampattagul S** (2015) Field evaluation of electrostatic PM₁₀ mass monitor used for continuous ambient particulate air pollution measurements. *Journal of Electrostatics*, 78: 46-54.
- Yıkılmaz R F** (2010) Development of Gis Based Trajectory Statistical Anaysis method to Identify Potential Sources of Regional Air Pollution. *Yüksek Lisans Tezi*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Doğal ve Uygulamalı Bilimler Enstitüsü, Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri, Ankara, 186 s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Yücel M** (2017) Şanlıurfa İli Atmosferik Toz Taşınımı Olayı Ve Sağlığa Etkilerinin Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Şanlıurfa, 108 s.
- Zeydan Ö ve Yıldırım Y** (2007) Zonguldak Bölgesinde Çevre Sorunlarının Nedenleri ve Çözüm Önerileri. *I. Karadeniz'de Sanayileşme ve Çevre Sempozyumu*, 16-17 Kasım 2007, Trabzon, 329-340.
- Zeydan Ö** (2008) Zonguldak Bölgesi Sera Gazı Emisyon Miktarlarının Belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 130 s.
- Zeydan Ö ve Yıldırım Y** (2012) Uzaktan Algılama ile Atmosferik Partikül Madde Konsantrasyonunun Belirlenmesi. *IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012)*, 16-19 Ekim 2012, Zonguldak, 113 s.
- Zeydan Ö** (2014) Zonguldak Bölgesi PM₁₀Konsantrasyonu Dağılımının Modellenmesi. *Doktora Tezi*, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli, 199 s.
- Zeydan Ö** (2018) Hava Kirliliğinin Belirlenmesinde Uzaktan Algılama: Partikül Maddelerin MODIS Aerosol Ürünleri ile Tespiti. *Mühendislik Alanında Yenilikçi Yaklaşımlar*, Güngör T, Kılıç G.B, Uyumaz A, Görgülü S (Ed.), 1.Basım, ISBN: 978-605-288-795-0, Gece Kitaplığı, Ankara, 271-284.
- Zeydan Ö and Wang Y** (2019) Using MODIS derived aerosol optical depth to estimate ground-level PM_{2.5} concentrations over Turkey. *Atmospheric Pollution Research*, 10 (5): 1565-1576.

ÖZGEÇMİŞ

Belma Haylamaz Zonguldak/Devrek'te 1991 yılında doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini Devrek'te tamamlamıştır. 2010 yılında Devrek Lisesi'nde eğitimini tamamlamış daha sonra, 2010 yılında kazanmış olduğu Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünden 2015 yılında mezun olmuştur. 2015-2016 yılında Asya Kağıt ve Elektronik Firmasında Çevre Mühendisi olarak çalışmış. 2016 yılında Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Çevre Mühendisliği Yüksek Lisans Programına başlamıştır.

İLETİŞİM BİLGİLERİ:

E-posta: blmhylmz@gmail.com