İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MARMARA BÖLGESİ'NİN KIRSAL VE KENTSEL ALANLARINDA PM_{10}, $PM_{2.5}$ KONSANTRASYONLARININ YERSEL VE ZAMANSAL DEĞİŞİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ece ÖZER

Meteoroloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

EKİM 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MARMARA BÖLGESİ'NİN KIRSAL VE KENTSEL ALANLARINDA PM_{10}, $PM_{2.5}$ KONSANTRASYONLARININ YERSEL VE ZAMANSAL DEĞİŞİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ece ÖZER
(511971054)

Meteoroloji Bilimleri Ana Bilim Dalı
Atmosfer Bilimleri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Salahattin İNCECİK

EKİM 2019

İTÜ, Fen Bilimler Enstitüsü'nün 511971054 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ece ÖZER, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "MARMARA BÖLGESİ'NİN KIRSAL VE KENTSEL ALANLARINDA PM_{10}, $PM_{2.5}$ KONSANTRASYONLARININ YERSEL VE ZAMANSAL DEĞİŞİMİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmustur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Selahatin İNCECİK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Hüseyin TOROS**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Zafer ASLAN
İstanbul Aydın Üniversitesi

Teslim Tarihi : 13 Eylül 2019
Savunma Tarihi : 11 Ekim 2019

Sevgili Aileme,

ÖNSÖZ

Bu çalışmada Marmara Bölgesi'nde şehir-endüstri ve kırsal alanlarda ölçülen PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonları, WHO limit değerlerine dayanarak analiz edilmiştir.

Öncelikle zorlu tez çalışmasında yardımlarını esirgemeyen tez danışman hocam Prof. Dr. Selahattin İncecik'e teşekkürlerimi sunarım. Veri temininde başta Özkan Çapraz olmak üzere Temiz Hava Merkezi Müdürlüğü' ne ve yine veri temininde Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'ne, çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen hocalarım Prof. Dr. Sema Topçu'ya, Prof. Dr. Hüseyin Toros'a, yardımlarını esirgemeyen Deniz Sarı' ya, tezimi başından sonuna kadar desteklerini esirgemeyen değerli eşim Faruk Özer'e, biricik kızım Selen Özer'e ve biricik oğlum Efe Özer'e teşekkür ederim.

Eylül 2019

Ece Özer
(Meteoroloji Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
SEMBOLLER ..... **xiii**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xv**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xvii**
ÖZET ..... **xix**
SUMMARY ..... **xxiii**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amacı 8
2. MARMARA BÖLGESİ'NİN KARAKTERİSTİK ÖZELLİĞİ **11**
2.1 Bölge ve Yeri 11
2.2 Topoğrafya 14
2.3 İklim ve Bölge 14
2.4 Parikül Kaynakları 14
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA **17**
3.1 PM_{10} ve $PM_{2.5}$ Konsantrasyonlarının Mevsimsel Değişimi 17
3.2 PM_{10} ve $PM_{2.5}$ Konsantrasyonlarının Günlük Değişimi 28
3.3 Kentsel ve Kırsal Alanlarda PM_{10} ve $PM_{2.5}$ Konsantrasyonlarının Hafta İçi ve Hafta Sonu için Karşılaştırılması 38
3.4 Meteorolojik Faktörlerin PM_{10} ve $PM_{2.5}$ Üzerine Etkileri 40
3.4.1 Rüzgar yönü ve pm_{10}, $pm_{2.5}$ seviyeleri 40
3.4.2 Yüksek basınç ve rüzgar hızlarının pm_{10} ve $pm_{2.5}$ seviyeleri üzerine etkisi 49
3.5 $PM_{2.5}/PM_{10}$ Oranı 50
3.6 Geri Yörüngeler için Episodik Günlerde Noaa Hysplit Model Uygulaması, Uzun Menzil Taşınımlar ve Kümelenme (Clustering) Analizi Sonuçları 62
4. SONUÇLAR **69**
KAYNAKLAR **73**
EKLER **79**
ÖZGEÇMİŞ **127**

KISALTMALAR

EPA : ABD Çevre Koruma Ajansı
EEA : Avrupa Çevre Ajansı
EU **:** Avrupa Birliği
NOAA : Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi
HYSPLIT : Parçacık Lagrange Entegre Yörünge Modeli
WHO : Dünya Sağlık Örgütü
OECD : Kalkınma ve Ekonomik İşbirliği Örgütü
OS : Organize Sanayi Bölgesi
TUIK : Türkiye İstatistik Kurumu
MGM : Meteoroloji Genel Müdürlüğü

SEMBOLLER

$PM_{2.5}$ **:** Çapı 2.5 μm'den daha küçük partikül madde
PM : Partikül madde
PM_{10} **:** Çapı 10 μm'den daha küçük partikül madde
SO_2 **:** Kükürt Dioksit
CO **:** Karbon Monoksit
NO_2 : Azot Dioksit
VOCs **:** Uçucu Organik Bileşikler
NO **:** Azot Oksit
CO **:** Karbon Monoksit
NO_2 **:** Azot Dioksit
NOx : Nitrojen Oksitler (NO+ NO_2)
O_2 : Oksijen
O_3 : Ozon
OX : Oxidant (NO_2+O_3)
H_2SO_4 : Sülfürik Asit
OH : Hidroksil
SO : Kükürt Oksit
SO_3 **:** Kükürt Trioksit

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 :Avrupa Birliği (EU) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) limitleri **3**
Çizelge 1.2 :Marmara Bölgesi'nin 2017-2019 tarihleri arasındaki nüfus sayısı..... **4**
Çizelge 1.3 :Marmara Bölgesi'nin 2016-2018 tarihleri arasındaki toplam motorlu kara taşıtları sayısı... ..... **5**
Çizelge 1.4 :Marmara Bölgesi'nin 2015-2017 tarihleri arasındaki otoyol uzunlukları **5**
Çizelge 1.5 :Marmara Bölgesi'nin illere göre, 2017 tarihi itibarıyla organize sanayi bölgesi sayısı... ..... **6**
Çizelge 1.6 :Marmara Bölgesi için, yakıt tipine göre, kurulu gücü 100 MW üstü olan termik santraller **6**
Çizelge 2.1 :Marmara Bölgesi'ne ait $PM_{2.5}$ ölçüm yapan istasyonların karakteristik özellikleri **12**
Çizelge 2.2 :Marmara Bölgesi'ne ait PM_{10} ölçüm yapan istasyonların karakteristik özellikleri **13**
Çizelge 2.3 :Marmara Bölgesi 2018 yılı için, mevsimlik ortalama en yüksek ve en düşük sıcaklıklar ile sadece ortalama sıcaklık değerleri **16**
Çizelge 2.4 :2019 Ocak sonu itibarıyla trafiğe kayıtlı otomobillerin yakıt cinsine göre yüzdeleri **16**
Çizelge 3.1 :Tüm istasyonlardaki PM_{10} konsantrasyon değerlerinin en yüksek olduğu tarih ve saatler **36**
Çizelge 3.2 :Tüm istasyonlardaki $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerlerinin en yüksek olduğu tarih ve saatler **37**
Çizelge 3.3 :24 saatlik ortalama PM_{10} konsantrasyonlarının, WHO limit değeri ile karşılaştırılması **41**
Çizelge 3.4 :24 saatlik ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının, WHO limit değeri ile karşılaştırılması **44**
Çizelge 3.5 :Mart 2013-Aralık 2018 tarih aralığında, tüm istasyonlar için, hafta içi ve hafta sonu ortalama PM_{10} konsantrasyonları **47**
Çizelge 3.6 :Mart 2013-Aralık 2018 tarih aralığında, tüm istasyonlar için, hafta içi ve hafta sonu ortalama PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonları **48**
Çizelge 3.7 :Ocak 2014 - Aralık 2018 tarih aralığında, tüm istasyonlar için, yüksek basınç altındaki (≥ 1018 mb) rüzgar şiddeti (1m/s ≥ ve 1 m/s <) için ortalama PM_{10} sınıflandırılması..... **52**
Çizelge 3.8 :Ocak 2014 - Aralık 2018 tarih aralığında, tüm istasyonlar için, yüksek basınç altındaki (≥ 1018 mb) rüzgar şiddeti (1m/s ≥ ve 1 m/s <) için ortalama PM_{10} ve $PM_{2.5}$ sınıflandırılması **53**
Çizelge 3.9 :Ocak 2014 - Aralık 2018 tarih aralığında, tüm istasyonlar için, düşük basınç altındaki (< 1018 mb) rüzgar şiddeti (1m/s ≥ ve 1 m/s <) için ortalama PM_{10} sınıflandırılması **54**

Çizelge 3.10 :Ocak 2014 - Aralık 2018 tarih aralığında, tüm istasyonlar için düşük basınç altındaki (< 1018 mb) rüzgar şiddeti (1m/s ≥ ve 1 m/s <) için ortalama PM_{10} ve $PM_{2.5}$ sınıflandırılması **55**
Çizelge 3.11 :Ocak 2014 - Aralık 2018 tarih aralığında, PM_{10} için mevsimlik Pearson korelasyon katsayıları..... **56**
Çizelge 3.12 :Ocak 2014 - Aralık 2018 tarih aralığında, PM_{10} ve $PM_{2.5}$ için mevsimlik Pearson korelasyon katsayıları..... **57**
Çizelge 3.13 :Mart 2013 - Aralık 2018 döneminde, kış, saatlik $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranları. .**58**
Çizelge 3.14 :Mart 2013 - Aralık 2018 döneminde, yaz, saatlik $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranları. **59**
Çizelge 3.15 :Mart 2013 - Aralık 2018 döneminde, sonbahar, saatlik $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranları **60**
Çizelge 3.16 :Mart 2013 - Aralık 2018 döneminde, ilkbahar, saatlik $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranları **61**
Çizelge 3.17 :Günlük $PM_{2.5}$ ve PM_{10} konsantrasyonları arasındaki Pearson korelasyon katsayıları **62**
Çizelge 3.18 :Mevsimlik ortalama $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranları ve standart sapmaları..... **62**
Çizelge 3.19 :Şubat, Mart, Nisan, Mayıs 2015-2016 cluster analizi sonuçları **66**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 :Marmara Bölgesi'nde hava kalitesi istasyonları **12**
Şekil 3.1 :Marmara Bölgesi'nde ölçülen $PM_{2.5}$ ve PM_{10} günlük konsantrasyonlarının mevsimlere göre değişimi **18**
Şekil 3.2 :Kırsal bölgedeki ortalama PM_{10} konsantrasyonlarının mevsimlik değişimi... ..... **26**
Şekil 3.3 :Kentsel bölgedeki ortalama PM_{10} konsantrasyonlarının mevsimlik değişimi **26**
Şekil 3.4 :Kırsal bölgedeki ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının mevsimlik değişimi... ..... **27**
Şekil 3.5 :Kentsel bölgedeki ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının mevsimlik değişimi **28**
Şekil 3.6 :PM_{10} konsantrasyonlarının, kış ve sonbahar mevsiminde, kentsel bölgedeki günlük değişimi..... **31**
Şekil 3.7 :PM_{10} konsantrasyonlarının, ilkbahar ve yaz mevsiminde, kentsel bölgedeki günlük değişimi..... **32**
Şekil 3.8 :PM_{10} konsantrasyonlarının; sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsiminde kırsal bölgedeki günlük değişimi **33**
Şekil 3.9 :$PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının; sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsiminde kentsel bölgedeki günlük değişimi..... **34**
Şekil 3.10 :$PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının; sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsiminde, kırsal bölgedeki günlük değişimi **35**
Şekil 3.11 :Marmara Bölgesi'nde PM_{10} konsantrasyonlarının yıllık ortalama değişimi **45**
Şekil 3.12 :Marmara Bölgesi'nde $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının yıllık ortalama değişimi **46**
Şekil 3.13 :Mart 2013 - Aralık 2018 döneminde, kış mevsiminde, $PM_{2.5}/PM_{10}$'nun günlük değişimi..... **58**
Şekil 3.14 :Mart 2013 - Aralık 2018 döneminde, yaz mevsiminde, $PM_{2.5}/PM_{10}$'nun günlük değişimi..... **59**
Şekil 3.15 :Mart 2013 - Aralık 2018 döneminde, sonbaharda, $PM_{2.5}/PM_{10}$'nun günlük değişimi **60**
Şekil 3.16 :Mart 2013 - Aralık 2018 döneminde, ilkbaharda, $PM_{2.5}/PM_{10}$'nun günlük değişimi **61**
Şekil 3.17 :Noaa Hysplit Şubat-Mayıs 2015 dönemi, geri yörüngeler için kümelenme analiz sonuçları **63**
Şekil 3.18 :Noaa Hysplit Şubat-Mayıs 2016 dönemi, geri yörüngeler için kümelenme analiz sonuçları **63**
Şekil 3.19 :Çanakkale istasyonuna ait 01.02.2015 günü Noaa Hysplit model yörüngesi **66**
Şekil 3.20 :Ümraniye istasyonuna ait 01.02.2015 günü Noaa Hysplit model yörüngesi **67**

Şekil 3.21 :Armutlu istasyonuna ait 24.03.2016 günü Noaa Hysplit model yörüngesi... ..... **67**

MARMARA BÖLGESİ'NİN KIRSAL VE KENTSEL ALANLARINDA PM_{10}, $PM_{2.5}$ KONSANTRASYONLARININ YERSEL VE ZAMANSAL DEĞİŞİMİ

ÖZET

Atmosferdeki partikül madde (PM), kükürt dioksit (SO_2), azot dioksit (NO_2), karbon dioksit (CO) ve ozon (O_3) dış ortam hava kalitesini etkilemektedir. Bu kirleticilere hem kısa vadede hem de uzun vadede maruz kalındığında sağlık üzerindeki olumsuz etkileri ortaya çıkmaktadır. Bugüne değin kişilerin hava kirliliğine maruz kalmaları halinde kardiyovasküler ve solunum bozuklukları arasında görülen ilişki birçok çalışmanın konusu olmuştur. Bu kirleticiler içerisinde sağlık etkileri bakımından en önemlileri partikül maddelerdir. Partikülün çapı ne kadar küçülürse, solunum sistemine yaptığı etki de artmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), her yıl yaklaşık 7 milyon insanın, akciğerlere ve kardiyovasküler sisteme derinlemesine nüfuz eden bu son derece ince partiküllere maruz kalmaktan öldüğünü, bunun da inme, kalp hastalığı, akciğer kanseri, kronik akciğer hastalıkları ve pnömoni dahil solunum yolu enfeksiyonları gibi hastalıklara neden olduğunu öne sürmektedir.

Özellikle $PM_{2.5}$ ve PM_{10}'a maruz kalmak kronik solunum ve kardiyovasküler hastalıkları ağırlaştırabilir, vücut savunmasını olumsuz bir şekilde değiştirebilir ve akciğer dokusuna zarar verebilmektedir. Bu sonuçlar erken ölüm ve kansere dahi yol açabilmektedir. PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının yersel ve zamansal değişimleri pek çok bölge için araştırılmıştır (Yao, 2015; Chaloulakou , 2003; Hoek , 2002 ; Li 2003).

PM_{10} ve $PM_{2.5}$ gibi partiküler maddeler**,** doğal veya insan faaliyetleri sonucu ortaya çıkmaktadır. Ancak bunların en önemli olanları da insan faaliyetleri sonucunda meydana gelmeleridir. Örneğin çimento fabrikaları, termik santraller, metal ve madencilik endüstrileri ve inşaat faaliyetlerinden kaynaklanan tozlar, araç emisyonları, kömür ve petrol türevlerinin yanması sonucu oluşan uçucu küller, tarımsal faaliyetlerle atmosfere karışan partiküllerdir insan faaliyetli kaynaklar içerisinde değerlendirilir. Bu nedenle partikül konsantrasyonları kırsal alanlarda düşük değerlerde bulunurken, kentlerde ve özellikle endüstriyel alanlarda bu değerler yüksek seviyelere çıkabilmektedir.

Bu nedenle $PM_{2.5}$ ve PM_{10} konsantrasyonlarının seviyeleri, yersel ve zamansal değişimlerini anlamak bunlar üzerinde etkili olabilen faktörleri belirlemek hava kalitesi yönetimi bakımından son derece önemlidir.

Marmara Bölgesi 11 şehri içine alan, ülke nüfusunun % 30'unun yaşadığı ve Türkiye ekonomisine en büyük katkıyı sağlayan bir bölgedir.

Marmara bölgesi 950 km'yi aşan oto yol uzunluğu ve 7 milyona yakın motorlu araç sayısı ile önemli bir emisyon kaynağını barındırmaktadır. Ayrıca gemi emisyonları bakımından da Marmara bölgesi Avrupa kıtasının en önde gelen emisyon kaynağını oluşturmaktadır. Bölgede Türkiye' nin endüstri yapısına katkı sağlayan son derece önemli endüstri tesisleri yer almaktadır. Hemen her alanda ürün yelpazesi bulunan bu tesislerin bölgede yer alan 88 Organize Sanayi Bölgesi (OS)'nde yoğunlaştığı görülür. Türkiye' nin en büyük petrol rafinerisi Kocaeli'nde yer almaktadır. Marmara bölgesinde partikül madde kirliliği bakımından en önemli emisyon kaynakları arasında yer alan termik santrallerin Türkiye enerji piyasası içerisinde özel bir yeri bulunmaktadır. Örneğin bölgede kurulu gücü 100 MW ve üzeri 11 termik santral bulunur. Bunların 7 adedi ise kömürlü santrallerdir.

Bu tezin amacı, endüstri, tarım, ticaret ve turizm açısından Türkiye'nin sanayi, tarım, ticaret ve turizm bakımından en önemli ve en yüksek nüfusa sahip bölgesi olan 67.000 km^2 alanda yer alan Marmara Bölgesi' nin kırsal ve kent merkezlerinde PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının yersel ve zamansal değişimlerinin incelenmesi ve bu değişimleri üzerindeki etkenlerin araştırılmasıdır.

Bu çalışmada, Marmara Temiz Hava Merkezi'ne ait ölçüm ağı içerisinde yer alan 4'ü kırsal ve 34'ü şehir-endüstri ve trafik bölgelerinde çalıştırılan toplam 38 hava kalitesi istasyonlarında PM_{10}; ile 4'ü kırsal ve 9'u şehir-endüstri ve trafik bölgelerinde bulunan 13 hava kalitesi istasyonunda $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının saatlik değerleri Nisan 2013-Aralık 2018 dönemi için analiz edilmiştir.

Bu Tez ile amaçlananlar:

1. PM_{10} ve $PM_{2,5}$ konsantrasyonlarının Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) belirlediği limit değerlerine göre günlük ve yıllık olarak analiz edilmesi;
2. WHO limitlerinin aşım değerlerinin tespit edilmesi;
3. Hafta sonu ve hafta içi PM_{10} ve $PM_{2.5}$ seviyelerinin karşılaştırılması;
4. Aşım değerleri üzerinde meteorolojik faktörlerin etkisinin araştırılması ve
5. Oluşan episodik değerlerin NOAA HYSPLIT Modeli ile analiz edilerek uzun menzil taşınımların araştırılmasıdır.

Kırsal bölgelerde $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının ortalama değerleri hafta sonu (Cumartesi ve Pazar) ve hafta içi için değerlendirilmiştir. Şehir alanlarında hafta içi seviyeler hafta sonuna göre yüksek iken kırsal bölgelerinde ise tam tersi olarak hafta sonu değerlerinin hafta içi değerlerine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kırsal bölgelerde hafta içine oranla araçların daha fazla kullanımı buna sebep olabilmektedir.

Yüksek basınçla birlikte, düşük rüzgar hızı beraberinde yüksek PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerlerine sebebiyet verirken, düşük basınç ve yüksek rüzgar hızlarında düşük PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerlerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Yüksek PM konsantrasyonlarının sebeplerini, kaynağını tespit etmek üzere HYSPLIT modeli 72 saatlik geri yörünge hareketi ve 500 m seviyesine göre çalıştırılmıştır. Bu suretle geri yörünge hareketleri ile partikül taşınımlarının tespit edilmesine çalışılmıştır. HYSPLIT modelinde meteorolojik veri olarak 0,5 derecelik çözünürlüğe sahip GDAS (Global Data Assimilation System) verisi kullanılmıştır. Sonuçlar yüksek PM seviyelerinin gözlendiği tarihlerde episod değerlerinin

gözlendiği Armutlu, Çanakkale, Dilovası, Kocaeli, Lüleburgaz, Sakarya, Tekirdağ, Ümraniye için taşınımların Şile ve Bilecik dışında güney yönünden geldiği görülmüştür.

SPATIAL AND TEMPORAL VARIATION OF PM_{10} AND $PM_{2.5}$ CONCENTRATIONS AT URBAN AND RURAL SITES OF MARMARA REGION

SUMMARY

The atmospheric particulate matter (PM), sulfur dioxide (SO_2), nitrogen dioxide (NO_2), carbon dioxide (CO) and ozone (O_3) affect ambient air quality. These pollutants have negative effects on human health both in the short-term and in the long-term. The relationship between cardiovascular and respiratory disorders has been the subject of many studies. Among these pollutants, particulate matter is the most important in terms of health effects. The smaller the diameter of the particle, the more its effect on the respiratory system increases. They penetrate deeply into the lungs and the cardiovascular system, such as respiratory infections including stroke, heart disease, lung cancer, chronic lung diseases, and pneumonia. According to the World Health Organization (WHO) every year approximately 7 million people die from exposure to these extremely fine particles.

Particulate materials such as PM_{10} and $PM_{2.5}$ are the result of natural or human activities. However, the most important of them is that they occur as a result of human activities. For example, cement plants, coal-fired thermal power plants, metal and mining industries and construction activities, vehicle emissions, and fly ash from coal and petroleum derivatives and agricultural activities are considered significant human activity sources leading to particulate matters in the ambient air. Therefore, while the concentration of particles is low in rural areas, these values may rise to high levels in cities and especially industrial areas.

Marmara Region encompasses 11 cities, where 30 % of the country's population and economy, Turkey is a region that has the largest contribution having with The highly industrialized region.

The main goal of this thesis is to assess the spatial and temporal variations of PM_{10} and $PM_{2.5}$ and to increase the knowledge of the PM_{10} and $PM_{2.5}$ in The Marmara region.

The other objectives are:

a) The assessment of the PM_{10} and $PM_{2.5}$ levels in monitoring stations of urban and rural sites forthe 6-year periods based on the exceedances the WHO limits in both PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentrations.
b) The comparison of the weekdays and weekend (Saturday, Sunday) PM_{10} and $PM_{2.5}$ levels for both urban and rural sites.
c) The assessment of the impact of meteorological conditions on the PM_{10} and $PM_{2.5}$ levels in the region.

d) Exploring the origins of several episodes affecting the rural areas in The Marmara region using The HYSPLIT model.

In this study, based on the air quality data provided from The Marmara Clean Air Center's 13 rural and 38 urban-industrialin a total of 51 air quality stations, PM_{10} and $PM_{2.5}$ hourly concentrations were analyzed for April 2013-December 2018 period in The Marmara region.

PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentration values in rural areas are usually lower than PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentrations in urban-industrial areas in all seasons. However, in thesis, it is found that the 24-hour average limit value of PM_{10} concentration levels measured in 38 stations in The Marmara Region is exceeded more than 35 times a year (Air quality standard condition) in 33 stations, particularly in Bursa. Furthermore, the $PM_{2.5}$ concentration levels measured at 13 stations were exceeded by more than 3 times a year (ranging from 23 to 348 days), with a 24-hour average limit value at all stations, particularly in Keşan, Ozanlar, Kağıthane.

Meteorological factors affect the PM_{10} and $PM_{2.5}$ levels in Marmara region. For example, with high pressure and low wind speeds resulted in high PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentration values, while low pressure and high wind speeds resulted in low PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentration values. For example, the effect of high pressure (>1018mb) on PM concentration levels led to a doubling of the concentration values in the urban and industrial areas, while it did not lead to a similar increase in rural areas. Due to the influence of the southern winds, the effect of dust transports on the specific values has been significantly increased by increasing the concentration values in certain days.

All analysis indicate that the variations of PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentration between urban, industrial and rural areas in Marmara regiona are influenced by human activities and meteorological factors such as wind speed and atmospheric pressure.

In this paper, the ratios of $PM_{2.5}/PM_{10}$ during the most recent 5 years (2014–2018) are analyzed in the Marmara region of Turkey using 6 monitoring sites (Keşan, Silivri, Ümraniye, Kandıra, Çerkezköy, Kandıra). Fine particles ($PM_{2.5}$) and coarse particles ($PM_{2.5-10}$) are generally produced by different sources. It is important to analyze $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratios as an indicator of the fine particles and determine how the ratios vary both in space and time. The ratios in the Marmara region of Turkey vary between 0.22 and 0.97 for 6 given ebove stations. It was found that the highest ratios were in winter and lowest in summer. In winter, the ratio of $PM_{2.5}/PM_{10}$ for 6 stations is above 0.50. It shows that the size of the particulate matter, predominantly measured in winter, is less than 2.5 μm similar to findings of The Yu et al. (2017). In winter higher $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratios can be explained by the increasing of fuel consumption for domestic and industrial heating. In winter this leads to an increase of fine particle emissions in Marmara region.

The all analysis indicate that the variations of PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentration between urban, industrial and rural areas in Marmara regiona are influenced by human activities and meteorological factors such as atmospheric pressure and wind speed.

To better understand the role of transport of particular matter on the highest PM levels at several receptor sites HYSPLIT model developed by NOAA were used. In the HYSPLIT model, meteorological data of GDAS (Global Data Assimilation System) with a resolution of 0.5 degrees was used.

The influence of the atmospheric transport on the PM_{10} levels was examined by means of back-trajectories. The HYSPLIT model was used to qualitatively identify the dominant PM_{10} pollutant transport pathways that led to significant PM_{10} pollution events in The Marmara region. The model was applied to calculate the 72 h back trajectories each day in the periods of February-May 2015; February-May 2016 at an altitude of 1000 m above the sea level. This may lead to understand the role of transport of particular matter taking into account backward trajectories of European, African, and Atlantic origins as well as local conditions on The highest PM levels at several receptor sites. In particular, high concentration events due to Saharan dust intrusions were presented. The two concentration peaks were found during the day, one in the morning and the other in the evening, which evidenced the influence of traffic and other anthropogenic activities on PM_{10} concentrations. In this study, air mass trajectory clustering was used toreveal the relationship between the atmospheric transport pathways and the PM_{10} pollution levels in the Marmara region. It was found that 5 clusters can be best represent the meteorological characteristics of the transport pathways in the Marmara region. The main cluster indicates the transport from the southwestern areas having with a frequency of 31 and 28 % for 2015 and 2016 selected periods, respectively.

1. GİRİŞ

Dış ortam hava kalitesi temel olarak atmosferdeki partikül madde (PM), kükürt dioksit (SO_2), azot dioksit (NO_2), karbon dioksit (CO_2) ve ozon (O_3)'den etkilenmektedir. Bu kirleticiler kimyasal özelliklerine ve bileşimlerine ve uzun veya kısa mesafelerde dağılma yeteneklerine göre değişir. Bununla beraber, hemen hemen tüm kirleticilere hem kısa vadede, hem de uzun vadede maruz bırakılmak sağlığa zarar verebilmektedir. Yüksek konsantrasyonlu hava partikülleri düşük atmosferik görüş mesafesi gibi çevresel etkisi ve de akut solunum yetmezliği gibi insan sağlığı üzerine etkisi vardır. (Brauer ve diğerleri, 2016; Idris ve diğerleri, 2016; Jie ve diğerleri, 2014; Xu ve diğerleri, 2017; XU ve diğerleri, 2016; Wu ve diğerleri, 2017; Huang ve diğerleri, 2016; Li ve diğerleri, 2017) Bugüne değin kişilerin hava kirliliğine maruz kalmaları halinde kardiyovasküler ve solunum bozuklukları arasında görülen ilişki birçok çalışmanın konusu olmuştur (Xie, 2015; Langrish ,2012; Leitte, 2011; Zhou, 2010). Özellikle $PM_{2.5}$ ve PM_{10}'a maruz kalmak kronik solunum ve kardiyovasküler hastalıkları ağırlaştırabilir, vücut savunmasını olumsuz bir şekilde değiştirebilir ve akciğer dokusuna zarar verebilir. Bu sonuçlar erken ölüm ve kansere yol açabilmektedir. Ayrıca, PM kirleticilerin akut astımların şiddetlenmesine neden olabileceği konusunda önemli bulgular da elde edilmiştir (Li, 2003). Yukarıda açıklanan kirleticiler içerisinde en başta yer alan Partikül madde (PM) havada asılı kalan tüm katı ve sıvı parçacıkların toplamıdır. Bu karmaşık karışım, toz, polen, kurum, duman ve sıvı damlacıkları gibi hem organik hem de inorganik parçacıkları içerir. Bu parçacıklar, büyüklük, bileşim ve kökenleri bakımından büyük farklılıklar gösterir.

Partikül maddeler çaplarına göre isimlendirilirler. Örneğin çapı 1.0 μm ve daha küçük ultra ince partiküller: $PM_{1.0}$, çapı 2,5 μm ve daha küçük partiküller: $PM_{2.5}$, çapı 10 μm ve altındaki partiküller: PM_{10} olarak adlandırılır. Partikülün çapı ne kadar küçülürse, solunum sistemine yaptığı etki de artmaktadır.

Partikül madde (PM), sağlık bakımından son derece önemli bir kirleticidir. Birçok çalışma PM'ye maruz kalma ile olumsuz sağlık etkileri arasında doğrudan bir ilişki

olduğunu göstermiştir. Vücudun en küçük hava yollarına derinlemesine ulaşabildiği ve akciğer alveollerinde biriktiği için, özellikle $PM_{2.5}$ veya daha küçük partiküller daha tehlikelidir.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO), her yıl yaklaşık 7 milyon insanın, akciğerlere ve kardiyovasküler sisteme derinlemesine nüfuz eden bu son derece ince partiküllere maruz kalmaktan öldüğünü, bunun da inme, kalp hastalığı, akciğer kanseri, kronik akciğer hastalıkları ve pnömoni dahil solunum yolu enfeksiyonları gibi hastalıklara neden olduğunu öne sürmektedir. Özellikle ultra ince partiküllerin (çapı bir mikron veya daha küçük), doku ve organlara nüfuz edebilmeleri nedeniyle, sistematik sağlık etkileri bakımından, daha büyük bir risk oluşturdukları belirlenmiştir (WHO, 2019). Örneğin 2013 yılında, Avrupa'nın 41 ülkesinde yapılan araştırmada, uzun vadeli sağlık etkileri incelendiğinde, $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının, 467.000 erken ölüme yol açtığı belirlenmiştir (EEA Report, 2016). Türkiye' de ise bu konuda yapılan çalışmaların sayısı son derece azdır. Türk Toraks Derneği'nin yapmış olduğu açıklamaya göre 2016 yılında hava kirliliğinden ölen insan sayısı 29 binin üzerindedir. Bu oran trafik kazalarında yaşamını kaybeden insan sayısının yaklaşık 6 katı civarındadır.

Parçacık ne kadar küçülürse, solunum sistemine etkisi de o denli artar. PM_{10} ve $PM_{2.5}$ gibi partiküler maddeler**,** doğal veya insan faaliyetleri sonucu ortaya çıkmaktadır. Örneğin, çimento fabrikaları, termik santraller, metal ve madencilik endüstrileri ve inşaat faaliyetleri, taşıtlardan kaynaklanan tozlar, kömür ve petrol türevlerinin yanması sonucu oluşan uçucu küller, tarımsal faaliyetlerle atmosfere karışan partiküller, insan faaliyetli kaynaklar içerisinde değerlendirilir. Bu nedenle, partikül konsantrasyonları kırsal alanlarda düşük değerlerde bulunurken, kentlerde ve özellikle endüstriyel alanlarda bu değerler yüksek seviyelere çıkabilmektedir**.** AB-28 için, 2014 yılında yapılan araştırmada, partükül madde emisyonları içerisinde en önemli payın konut ve ticari işletmelerde ısınma, endüstriyel faaliyetler ve trafik olduğu görülmüştür (EEA Report, 2016).

Halen Türkiye'de 81 ilde 175 adet hava kalitesi izleme istasyonu bulunmaktadır. Yakın bir zamanda da ölçüm istasyon sayısının 300' ü aşması beklenmektedir. Ayrıca Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından sekiz büyükşehirde "Temiz Hava Merkezleri" kurulmaktadır. Bu Temiz Hava Merkezlerinin ilki İstanbul merkezli olarak kurulmuş ve 2013 yılından itibaren Marmara Bölgesi'nde şehir ve kırsal

bölgelerde hava kalitesinin izlenmesi gerçekleştirilmiştir. Marmara Temiz Hava Merkezin'de 2013 Nisan' dan itibaren düzenli ölçümlere başlanılmıştır.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nun, 2017 yılında raporladığı rapora göre, Avrupa'da havası en kirli 10 kentten 8'i Türkiye'de bulunmaktadır. Havası en kirli Avrupa kenti de İstanbul olarak belirlenmiştir. Analiz, 6 kıtadaki hava kirliliğinin en yoğun yaşandığı şehirlere ait bilgileri içermektedir. Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO), çapı 2,5 mikron ve altında olan partikül madde hesaplaması ile ilgili yaptığı çalışmaya göre dünyanın en kirli şehirleri Hindistan ve Çin**'**de dir. Ancak Avrupa'da hava kirliliği dikkate alındığında Türkiye'deki şehirler ön plandadır.

Kalkınma ve Ekonomik İşbirliği Örgütü OECD (2012) tarafından yapılan araştırmaya göre, PM nedeniyle erken ölüm sayısının 2050 yılına kadar, iki kattan fazla artarak yılda 3,6 milyona ulaşacağı yönündedir. Bu ölümlerin en fazla yaşanacağı şehirler olan Çin ve Hindistan, başı çekmektedir. **(**İncecik ve İm, 2012**).** OECD tarafından yapılan uyarı dikkate alındığında, Türkiye' de de havası en kirli şehirler için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

Avrupa Çevre Ajansı (EEA) tarafından belirlenen sınır değerler; PM_{10} için, 24 saatlik konsantrasyon 50 µg/m³ , yıllık ortalama konsantrasyon 40 µg/m³'dür. $PM_{2.5}$ için, yıllık ortalama konsantrasyon 25 µg/m' dür. Dünya Sağlık Örgütü' nün belirlediği sınır değerler ise; PM_{10} için, 24 saatlik ortalama konsantrasyon 50 µg/m³ , yıllık ortalama konsantrasyon 20 µg/m³' dür. $PM_{2.5}$ için, 24 saatlik ortalama konsantrasyon 25 µg/m³, yıllık ortalama konsantrasyon 10 µg/m³' dür (Çizelge 1.1). Türkiye'de, mevzuatta, $PM_{2.5}$ için sınır değer belirtilmemiştir. Ancak, WHO değerleri referans alınmaktadır.

Çizelge 1.1 : Avrupa Birliği (EU) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) limitleri (Url-1, Url-2).

Partikül Madde (µg/m³)	Süre	Avrupa Birliği Limitleri	Dünya Sağlık Örgütü Limitleri
PM_{10}	Günlük	50	50
	Yıllık	40	20
	Aşma Sayısı	35 kez/yıl	3
$PM_{2.5}$	Günlük	-	25
	Yıllık	25	10
	Aşma Sayısı	-	3

İkincil aerosollerin oluşmasında, CO ve VOCs ile birleşimi önemli iken, ekolojik çevreyi, insan sağlığını, atmosferik çevreyi tehdit eden, troposferdeki SO_2 ve NO_x'ların varlığıdır. SO_2 ve NO_x'ların oksidasyonları sülfürik ve nitrik asit, dolayısıyla sülfat ve nitrat aerosollerini oluşturacaktır. Bu öncüllerin, güneş ışığının etkisiyle kimyasal reaksiyona girerek O_3 ve aerosoller gibi toksik ikincil kirleticileri meydana getirmesi, şehir hava kalitesi için ana kaygıdır (Yangyang ,2015).

Marmara Bölgesi; 11 şehri içine alan, Türkiye nüfusunun % 30'unun yaşadığı ve Türkiye ekonomisine en büyük katkıyı sağlayan bir bölgedir (Çizelge 1.2).

Çizelge 1.2 : Marmara Bölgesi'nin 2017-2019 tarihleri arasındaki nüfus sayısı (Url-3).

Şehir	2017	2018	2019
İstanbul	15.029.231	15.254.231	15.468.919
Tekirdağ	1.005.463	1.039.088	1.073.592
Edirne	406.855	407.517	408.548
Kirklareli	356.050	358.275	361.620
Balikesir	1.204.824	1.213.811	1.222.872
Çanakkale	530.417	535.284	541.903
Bursa	2.936.803	2.988.233	3.037.269
Bilecik	221.693	224.182	227.290
Kocaeli	1.883.270	1.937.526	1.991.665
Sakarya	990.214	1.010.819	1.031.068
Yalova	251.203	259.871	269.072

Türkiye'de üretilen enerjinin 1/3'ü Marmara Bölgesi'nde tüketilmektedir. Asya ve Avrupa kıtasında yer alan Marmara Bölgesi, ülke yüz ölçümünün % 8,5'ini oluşturur. Sadece İstanbul'da Türkiye ticaretinin % 55'i ve ulusal üretimin % 27.5'i gerçekleşmektedir.

Marmara Bölgesi'nin karakteristik yüzey şekilleri arasında Trakya'da Istranca sıradağları, Güney Marmara'da ise Uludağ öne çıkmaktadır. Bölgenin güneyinde, Akdeniz iklimi, kuzeyinde Karadeniz iklimi ve Trakya bölgesinde ise, karasal iklimi hakimdir. Hava sistemleri bakımından da Marmara Bölgesi tüm bu çeşitli iklim tipleri arasında bir geçiş alanı oluşturmaktadır.

PM kirliliği için en önemli emisyon kaynaklarından biri de, karayollarındaki ulaşım araçlarıdır. Marmara Bölgesi, 950 km'yi aşan oto yol uzunluğu ve 7 milyondan fazla motorlu araç sayısı ile önemli bir emisyon kaynağını barındırmaktadır (Çizelge 1.3 ve 1.4). Ayrıca, İstanbul Boğazı'ndan geçen gemi sayısı yılda 60,000'i aşmaktadır. Gemi emisyonları bakımından da Marmara Bölgesi, Avrupa Kıtası'nın en önde gelen

emisyon kaynağını oluşturmaktadır (Incecik vd. 2010). Bölgede, Türkiye'nin endüstri yapısına katkı sağlayan son derece önemli endüstri tesisleri vardır. Hemen her alanda ürün yelpazesi bulunan bu tesisler, bölgedeki 88 Organize Sanayi Bölgesi (OS)'nde yoğunlaşmaktadır (Çizelge 1.5). Marmara Bölgesi'nde, en büyük OS, sırası ile Bursa, Kocaeli ve Tekirdağ illerinde yer almaktadır. Türkiye'nin en büyük petrol rafinerisi Kocaeli ilinde bulunmaktadır. Kaynakları arasında yer alan termik santrallerin, Türkiye enerji piyasası içerisinde özel bir yeri bulunmaktadır. Örneğin bölgede kurulu gücü 100 MW ve üzeri 11 termik santral bulunur. Bunların 7 adedi ise kömürlü santrallerdir (Çizelge 1.6).

Çizelge 1.3 : Marmara Bölgesi'nin 2016-2018 tarihleri arasındaki toplam motorlu kara taşıtları sayısı (Url-3).

Şehir	Toplam Motorlu Kara Taşıtları Sayısı 2016	Toplam Motorlu Kara Taşıtları Sayısı 2017	Toplam Motorlu Kara Taşıtları Sayısı 2018
İstanbul	3.845.349	4.061.725	4.173.312
Tekirdağ	250.038	264.661	269.561
Edirne	149.450	156.460	159.342
Kirklareli	123.338	130.215	132.534
Balikesir	441.123	464.258	477.570
Çanakkale	210.245	222.374	228.830
Bursa	788.377	843.986	880.670
Bilecik	63.609	67.466	68.715
Kocaeli	357.826	379.932	392.561
Sakarya	262.926	279.655	285.960
Yalova	59.462	63.500	65.301

Çizelge 1.4 : Marmara Bölgesi'nin 2015-2017 tarihleri arasındaki otoyol uzunlukları (Url-3).

Şehir	Otoyol (km) 2015	Otoyol (km) 2016	Otoyol (km) 2017
İstanbul	186	451	451
Tekirdağ	44	44	44
Edirne	51	51	51
Kirklareli	70	70	70
Balikesir	-	-	39
Çanakkale	-	-	-
Bursa	80	131	148
Bilecik	-	-	-
Kocaeli	94	98	98
Sakarya	70	70	70
Yalova	-	33	33

Çizelge 1.5 : Marmara Bölgesi'nin illere göre, 2017 tarihi itibarıyla organize sanayi bölgesi sayısı (Url-5).

Şehir	Organize Sanayi Bölgesi Sayısı
İstanbul	8
Tekirdağ	13
Edirne	2
Kirklareli	4
Balikesir	6
Çanakkale	4
Bursa	18
Bilecik	6
Kocaeli	14
Sakarya	7
Yalova	6
Toplam	88

Çizelge 1.6 : Marmara Bölgesi için, yakıt tipine göre, kurulu gücü 100 MW üstü olan termik santraller (Url-6).

Santral Adı	İl	Firma	Yakıt Tipi	Kurulu Güç (MW)
Cenal Karabiga Termik Santrali	Çanakkale	Alarko Enerji	İthal Kömür	1.320,00
İÇDAŞ Bekirli Termik Santrali	Çanakkale	İÇDAŞ Elektrik	İthal Kömür	1.200,00
İÇDAŞ Biga Termik Santrali	Çanakkale	İÇDAŞ Elektrik	İthal Kömür	405
Çolakoğlu Termik Santrali	Kocaeli	Çolakoğlu Metalurji	İthal Kömür	190
Çan 2 Termik Santrali	Çanakkale	Odaş Enerji	Linyit	330
18 Mart Çan Termik Santrali	Çanakkale	EÜAŞ	Linyit	320
Orhaneli Termik Santrali	Bursa	Çelikler Enerji	Linyit	210
Bursa Doğal Gaz Kombine Çevrim Santrali	Bursa	EÜAŞ	Doğal Gaz	1.432,00
İstanbul Doğal Gaz Kombine Çevrim Santrali (A)	İstanbul	EÜAŞ	Doğal Gaz	1.350,90
İstanbul Doğal Gaz Kombine Çevrim Santrali (B)	İstanbul	EÜAŞ	Doğal Gaz	816
Gebze Dilovası Doğal Gaz Kombine Çevrim Santrali	Gebze	EÜAŞ	Doğal Gaz	253,4
			Toplam	7.827,30

Türkiye turizm gelirinin % 50'sini, Marmara Bölgesi sağlamaktadır. Güney Marmara Bölümü'ndeki, Kuş Cenneti ve Uludağ milli parkları da bölge turizmine önemli katkıda bulunmaktadır.

Bu çalışmada, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na ait Marmara Temiz Hava Merkezi'ne ait veriler kullanılmıştır. Marmara Temiz Hava Merkezi'ne ait ölçüm ağı içerisinde yer alan, 4'ü kırsal ve 34'ü şehir-endüstri ve trafik bölgelerinde çalıştırılan, toplam

38 hava kalitesi istasyonlarında, PM_{10}, 4'ü kırsal ve 9'u şehir-endüstri ve trafik bölgelerinde bulunan, 13 hava kalitesi istasyonunda, $PM_{2.5}$, konsantrasyonlarının saatlik değerleri, Mart 2013 - Aralık 2018 dönemi için analiz edilmiştir.

Marmara Bölgesi, en kalabalık bölgedir ve nüfus yoğunluğu bakımından, ilk sırada yer alır. Oldukça göç almıştır. Buna bağlı olarak, şehirleşme oranı en yüksek olan bölgedir. Çatalca-Kocaeli ile Bursa, yoğun nüfus alan şehirlerdir.

Türkiye İstatistik Kurumu'nun raporuna göre, Marmara Bölgesi 2017-2018 döneminde, Batı Marmara % 11,6, Doğu Marmara ise % 2,53 ile, toplam % 14,13 göç almıştır. Marmara Bölgesi'nde nüfus artışı en fazla olan il İstanbul iken, nüfus artışı en az olan il Edirne' dir.

Türkiye İstatistik Kurumu (TUIK) internet sitesinden, Marmara Bölgesi şehirlerine ait nüfus sayısı Çizelge 1.2'de belirtilmiştir. Türkiye İstatistik Kurumu (TUIK) internet sitesinden, Marmara Bölgesi şehirlerine ait, toplam motorlu kara taşıtları sayısı Çizelge 1.3'de belirtilmiştir. 2018 yılı itibarıyla en fazla motorlu kara taşıtları sayısı, İstanbul'da 4.173.312 iken, en az motorlu kara taşıtları sayısı, Yalova'da 65.301'dir. Toplam motorlu kara taşıtları sayısı; otomobil, minibüs, otobüs, kamyonet, kamyon, motosiklet, özel amaçlı taşıtlar ve traktör sayısını içermektedir.

Türkiye İstatistik Kurumu (TUIK) internet sitesinden, Marmara Bölgesi şehirlerine ait, otoyol uzunlukları Çizelge 1.4'de belirtilmiştir. 2017 tarihi itibarıyla, en yüksek otoyol uzunluğu İstanbul' da, 451 km iken, en düşük otoyol uzunluğu Yalova'da, 33 km' dır. Çanakkale ve Bilecik'de ise, otoyol bulunmamaktadır.

Marmara Bölgesi'nde, toplam 88 Organize Sanayi Bölgesi bulunmaktadır. Türkiye sanayisinin % 60'ı Marmara Bölgesi'nde bulunur. İstanbul, hemen her türlü sanayinin bulunduğu bir şehirdir. Marmara'da, İstanbul dışında, İzmit, Bursa, Sakarya ve Tekirdağ illerinde de sanayi gelişmiştir (Url-4). Çizelge 1.5'de, Marmara Bölgesi'ndeki illere göre, Organize Sanayi Bölgesi sayısı belirtilmiştir (Url-5).

Çizelge 1.6'da, Marmara Bölgesi' ne ait, kapasitesi 100 MW üstündeki termik santrallerin, yakıt tipine göre kurulu güçleri gösterilmiştir (Url-6). T.C. Enerji ve Tabi Kaynakları internet sitesine göre; 2018 yılı itibarıyla, elektrik üretiminin % 37,3'ü kömürden, % 29,8'si ise doğal gazdan, sağlanmaktadır. 2018 yılında, kömüre dayalı santrallerden, toplam 113,3 TWh elektrik üretilmiştir (Url-7). Bunun yanı sıra,

Marmara Bölgesi için bir diğer önemli husus da enerji santrallerinin dışında, çimento endüstrisidir. Türkiye Çimento Mühtahsilleri Birliği (TÇMB)'nin internet sitesinde yayınladığı bilgiye göre; Marmara Bölgesi için, 2017 yılı kapasite kullanım oranı % 75,87 ile, diğer bölgelere göre birinci durumdadır. Ayrıca, 2019 Ocak Ayı verisine göre; 857.252 ile, toplam üretimin % 31, 22'sini karşılamaktadır. 2017 yılı iç satış dağılımlarına baktığımızda ise, Marmara Bölgesi' nde en fazla satışın % 59.21 ile, inşaat şirketlerine yapıldığı anlaşılmaktadır (Url-8). Türk çimento sanayisinde kullanılan yakıtın yaklaşık % 70'i petrokoktur. Petrol bazlı bir yakıt olan petrokok, oldukça zehirli bir madde olması nedeniyle sınırlı alanlarda kullanılmaktadır. Maliyet açısından kömür fiyatlarının uygun olması nedeniyle, yakıt ihtiyacını kömürden karşılayan firma sahipleri, maliyet avantajı sağlamaktadır. Ayrıca atıktan enerji elde etme, Türk çimento sektöründe gelişmemiştir. Avrupa'da elde edilen enerji oranı % 30 civarındayken, Türkiye'de bu oran % 3 düzeyindedir **(**TOBB, 2016).

Marmara Bölgesi için, Çimento Fabrikaları şu şekildedir: Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. (Büyükçekmece Fabrikası), Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. (Çanakkale Fabrikası), Bursa Çimento Fabrikası A.Ş., Çimentaş İzmir Çimento Fabrikası Türk A.Ş. (Trakya Şubesi), Lafarge Aslan Çimento A.Ş., Nuh Beton A.Ş. (Gebze Çimento Değirmeni), Nuh Çimento Sanayi A.Ş., Set Anadolu Çimentoları A.Ş., Set Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. (Trakya Fabrikası), Set Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. / Balıkesir (Url-6).

Marmara Bölgesi'ne ait, PM_{10} konsatrasyonlarını ölçen istasyon sayısı 38 (4 kırsal ve 34 kent) ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarını ölçen istasyon sayısı toplam 13 (4 kırsal, 9 kent)'dür. Bu çalışmada, Marmara Bölgesi'ne ait, 2013 Mart itibarıyla PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının, zamansal ve mekansal değişimi incelenmiştir. Dünya Sağlık Örgütü'nün belirlediği sınır değerlerin, gün içinde ve yıl içinde aşılması incelenmiştir.

1.1 Tezin Amacı

Bu tezin amacı; Türkiye'nin sanayi, tarım, ticaret ve turizm bakımından en önemli ve en yüksek nüfusa sahip bölgesi olan, 67000 km^2 alanda yer alan, Marmara Bölgesi'nde, kırsal ve kent merkezlerinde, PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının, yersel ve zamansal değişimlerinin incelenmesidir. Bu çalışmada, Marmara Temiz

Hava Merkezi'nden alınan veriye göre; Türkiye'de, Marmara Bölgesi'nin 8 kırsal, 43 kentsel olmak üzere toplam 51 hava kalitesi istasyonunda, PM_{10} ve $PM_{2.5}$ saatlik konsantrasyonlar, beş yıldan daha fazla bir zaman aralığında (2013-2018), analiz edilmiştir. Bu Tez ile amaçlananlar:

- PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının, WHO'nun belirlediği limit değerlerine göre, günlük ve yıllık olarak analiz edilmesi;
- WHO limitlerinin aşım değerlerinin tespit edilmesi;
- Aşım değerleri üzerinde meteorolojik faktörlerin etkisinin araştırılması;
- Episodik değerlerin NOAA HYSPLIT Modeli ile analiz edilerek, uzun menzil taşınımların araştırılmasıdır.

2. MARMARA BÖLGESİ'NİN KARAKTERİSTİK ÖZELLİĞİ

2.1 Bölge ve Yeri

Marmara Bölgesi, Türkiye'nin kuzeybatısında yer almaktadır. Bölgenin yüzölçümü 67.000 km²'dir. Karadeniz, Marmara ve Ege olmak üzere, üç denize komşudur. Marmara Bölgesi'nde, İstanbul ve Çanakkale boğazları bulunmaktadır. Avrupa ve Asya kıtasında bulunmaktadır. Marmara Bölgesi, endüstri ve ticaret açısından Türkiye'nin en gelişmiş bölgesidir. Marmara Bölgesi, yaklaşık 26 milyon nüfusu ile, 11 ili içermektedir.

Marmara Temiz Hava Merkezi, bir kamu kuruluşudur. Marmara Bölgesi'nde, 11 ilde, hava kalitesi ölçüm istasyonu bulunmaktadır. Gerekli teknik destekleri sağlayarak, bölge için daha temiz ve solunabilir bir havanın oluşturulmasında yardımcı olmaktadırlar. Marmara Bölgesi'ndeki iller: İstanbul, Edirne, Kırklareli, Tekirdağ, Kocaeli, Sakarya, Bilecik, Yalova, Bursa, Balıkesir, Çanakkale'dir. Marmara Bölgesi'ndeki 11 ilde, toplam 54 adet hava kalitesi ölçüm istasyonları bulunmaktadır.

Marmara Temiz Hava Merkezi'nde, Marmara Bölgesi için, 51 istasyonda, PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonları verisi ölçülmektedir. Bu çalışmada; PM_{10} için, kentsel bölge olarak 34 istasyon verisi, kırsal bölge olarak 4 istasyon verisi analiz edilmiştir. $PM_{2.5}$ için ise, kentsel bölge olarak 9 istasyon verisi, kırsal bölge olarak ise 4 istasyon verisi analiz edilmiştir. Ayrıca bu veri, Mart 2013 ile Aralık 2018 tarih aralığında, saatlik olarak, her bir istasyon için kullanılmıştır. Şekil 2.1'de, mavi ve turuncu renk ile, kırsal bölgedeki, sarı ve yeşil renk ile, kentsel bölgedeki, toplam 51 istasyon belirtilmiştir.

Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2 sırasıyla, Marmara Bölgesi'nde, $PM_{2.5}$ ve PM_{10} ölçüm yapan istasyonlar ve onların karakteristik özelliği belirtilmiştir. Karakteristik özellikler, Marmara Temiz Hava Merkezi tarafından; kırsal, ısınma, trafik, gemi trafiği ve sanayi şeklinde, beş farklı türde belirtilmiştir.



Şekil 2.1 : Marmara Bölgesi'nde hava kalitesi istasyonları.

Çizelge 2.1 : Marmara Bölgesi'ne ait $PM_{2.5}$ ölçüm yapan istasyonların karakteristik özellikleri (Marmara Temiz Hava Merkezi).

$PM_{2.5}$	İl	İstasyon	Tip	Enlem	Boylam	Rakım (metre)
1	İstanbul	KAĞITHANE	ISINMA	41°05'32.41"N	28°58'29.20"E	91
2	Kocaeli	GÖLCÜK	ISINMA	40°43'34.97"N	29°47'42.90"E	1
3	Sakarya	OZANLAR	ISINMA	40°47'26.59"N	30°23'48.92"E	32
4	Yalova	ALTINOVA	ISINMA	40°42'02.10"N	29°30'28.25"E	21
5	Bursa	ULUDAĞ ÜNİV.	ISINMA	40°13'19.24"N	28°52'34.33"E	87
6	Edirne	KARAAĞAÇ	KIRSAL	41°39'32.89"N	26°32'14.37"E	36
7	Çanakkale	LAPSEKİ	KIRSAL	40°24'11.06"N	26°46'14.28"E	15
8	İstanbul	SİLİVRİ	ISINMA	41°04'23.45"N	28°15'19.96"E	35
9	İstanbul	ÜMRANİYE	TRAFİK	41°01'27.92"N	29°05'59.01"E	151
10	Kocaeli	KANDIRA	KIRSAL	41°07'51.76"N	30°00'23.89"E	46
11	Tekirdağ	ÇERKEZKÖY	SANAYİ	41°19'06.05"N	27°58'48.63"E	196
12	Edirne	KEŞAN	ISINMA	40°51'04.35"N	26°38'07.03"E	133
13	Yalova	ARMUTLU	KIRSAL	40°31'45.66"N	28°47'04.53"E	98

Çizelge 2.2 : Marmara Bölgesi'ne ait PM_{10} ölçüm yapan istasyonların karakteristik özellikleri (Marmara Temiz Hava Merkezi).

PM_{10}	İl	İstasyon	Tip	Enlem	Boylam	Rakım (metre)
1	İstanbul	ŞİLE	KIRSAL	41°10'13.47"N	29°33'46.68"E	68
2	İstanbul	SİLİVRİ	ISINMA	41°04'23.45"N	28°15'19.96"E	35
3	İstanbul	ESENYURT	ISINMA	41°01'09.66"N	28°40'07.82"E	38
4	İstanbul	BAŞAKŞEHİR	SANAYİ	41°05'43.86"N	28°47'23.49"E	142
5	İstanbul	ÜMRANİYE	TRAFİK	41°01'27.92"N	29°05'59.01"E	151
6	İstanbul	MECİDİYEKÖY	TRAFİK	41°03'57.44"N	28°59'40.04"E	120
7	İstanbul	ŞİRİNEVLER	TRAFİK	41°00'08.81"N	28°50'19.18"E	34
8	İstanbul	ÜSKÜDAR	TRAFİK	41°01'37.36"N	29°01'29.32"E	44
9	İstanbul	KANDİLLİ	GEMİ TRAFİĞİ	41°04'28.55"N	29°03'32.38"E	1
10	Kocaeli	İZMİT	TRAFİK	40°46'05.45"N	29°56'18.07"E	18
11	Kocaeli	KÖRFEZ	SANAYİ	40°44'46.10"N	29°47'19.99"E	1
12	Kocaeli	ALİKAHYA	ISINMA	40°46'15.63"N	30°00'27.71"E	8
13	Kocaeli	YENİKÖY	ISINMA	40°42'15.00"N	29°53'04.12"E	24
14	Kocaeli	KANDIRA	KIRSAL	41°07'51.76"N	30°00'23.89"E	46
15	Tekirdağ	MERKEZ	TRAFİK	40°58'38.16"N	27°30'11.67"E	42
16	Tekirdağ	ÇERKEZKÖY	SANAYİ	41°19'06.05"N	27°58'48.63"E	196
17	Sakarya	MERKEZ	TRAFİK	40°46'09.47"N	30°24'35.65"E	33
18	Bilecik	BOZÜYÜK	ISINMA	39°54'14.70"N	30°03'11.17"E	756
19	Yalova	ARMUTLU	KIRSAL	40°31'45.66"N	28°47'04.53"E	98
20	Bursa	BEYAZIT CAD.	TRAFİK	40°11'08.34"N	29°04'49.78"E	189
21	Bursa	KESTEL	SANAYİ	40°11'43.67"N	29°12'19.71"E	132
22	Bursa	İNEGÖL	SANAYİ	40°04'39.24"N	29°29'31.86"E	290
23	Balıkesir	BANDIRMA	ISINMA	40°20'52.64"N	27°58'29.85"E	37
24	Edirne	KEŞAN	ISINMA	40°51'04.35"N	26°38'07.03"E	133
25	Kırklareli	LİMANKÖY	KIRSAL	41°53'06.56"N	28°03'21.55"E	27
26	Kırklareli	LÜLEBURGAZ	SANAYİ	41°23'54.24"N	27°20'45.26"E	56
27	Çanakkale	ÇAN	ISINMA	40°01'43.06"N	27°02'44.04"E	83
28	Tekirdağ	TEKİRDAĞ (UHKİA)	ISINMA	40°58'15.25"N	27°29'58.47"E	47
29	Edirne	EDİRNE (UHKİA)	ISINMA	41°39'28.13"N	26°35'05.06"E	41
30	Kırklareli	KIRKLARELİ (UHKİA)	ISINMA	41°43'27.96"N	27°12'53.31"E	205
31	Çanakkale	ÇANAKKALE (UHKİA)	ISINMA	40°08'29.65"N	26°23'57.63"E	9
32	Balıkesir	BALIKESİR (UHKİA)	ISINMA	39°38'20.98"N	27°53'35.59"E	142
33	Bursa	BURSA (UHKİA)	ISINMA	40°12'56.55"N	29°02'18.51"E	100
34	Yalova	YALOVA (UHKİA)	ISINMA	40°39'12.03"N	29°15'42.04"E	6
35	Kocaeli	KOCAELİ (UHKİA)	ISINMA	40°45'52.29"N	29°56'57.41"E	6
36	Kocaeli	DİLOVASI (UHKİA)	ISINMA	40°47'19.63"N	29°32'13.74"E	70
37	Sakarya	SAKARYA (UHKİA)	ISINMA	40°46'01.13"N	30°23'37.67"E	31
38	Bilecik	BİLECİK (UHKİA)	ISINMA	40°08'29.02"N	29°58'40.32"E	534

2.2 Topoğrafya

Samanlı, Istranca (Yıldız), Ganos ve Biga Dağları, bölgedeki başlıca dağ sıralarıdır. En yüksek dağ; bölgenin güney doğusunda, 2543 m yüksekliğe erişen, Uludağ'dır (Şekil 2.1). Istranca dağları, 1031 m' lik yüksekliğe sahiptir. Ergene, Adapazarı, Yenişehir, Karacabey, İnegöl ve Balıkesir; bölgenin önemli ovalarıdır. Ergene, Susurluk, Sakarya; bölgenin önemli akarsularıdır. Bölge'nin Güney Marmara Bölümü' nde, tektonik oluşumlu büyük tatlı su gölleri bulunur. Bunlar; İznik Gölü, Ulubat Gölü, Manyas Gölü ve Sapanca Gölü' dür. Durusu (Terkos), Büyükçekmece ve Küçükçekmece gölleri ise, kıyı set gölleridir. Ayrıca, bölgede birçok baraj gölleri de yer almaktadır.

2.3 İklim ve Bölge

Marmara Bölgesi, Türkiye'nin kuzey batısında yer alan, Akdeniz ve Karadeniz iklim tipleri arasında, geçiş iklim özelliklerine sahiptir. Akdeniz iklimi, bölgenin güney ve güney batısında hakim olur iken, Trakya bölgesinin önemli kısmı kara iklimi, Kuzeyde, Karadeniz kıyılarında ise, Karadeniz iklim tipi egemendir. Bölge, yaz mevsiminde sıcak ve kurak özellikler taşır iken, kışın soğuk ve nemli bir iklim özelliği hakimdir. Yıllık ortalama sıcaklık 14-16 ^{o}C arasında değişir (Kasparoğlu , 2018). Yıllık ortalama yağış ise 662'mm dir. Yazın en yüksek sıcaklık ortalaması 26 ^{o}C'e ulaşırken, kış mevsiminde 9 ^{o}C civarındadır (Çizelge 2.3). Bölgenin hakim rüzgarları; sırası ile Kuzey, Kuzeydoğu ve Güneybatıdır.

2.4 Partikül Kaynakları

İnsan faaliyetleri sonucu ortaya çıkan partiküllerin en önemli kaynakları, çimento fabrikaları, metal ve maden endüstrisi ile taşıtlardır. Volkanlar, partikül emisyonları bakımından, yer kürenin en büyük doğal kaynağıdır (İncecik, 1994). Partiküllerin boyutları, partikülün atmosferdeki ömrünü ve partikülün fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkiler (Seinfeld, 1984). 10 μm'den büyük partiküller genellikle yer çekimi etkisiyle Stokes Yasası uyarınca çökelirler. 10 μm'den küçük partiküller ise havada asılı halde uzun süre kalabilmektedir (İncecik, 1994). Çapı 2-10 μm

aralığındaki partiküller iri taneli (coarse mode), çapı 2 μm'dan daha küçük olan partiküller ise ince taneli (fine mode) partikül sınıfına girmektedir. (Hewitt ve Jackson, 2009) Başlıca iri taneli partiküller doğal kaynaklı iken, ince taneli partiküller çoğunlukla antropojenik çeşitleri içermektedir. Kentsel partikül madde, genellikle ikincil kirletici olarak endüstriyel emisyondan, araç egzozundan, yol tozundan gelmektedir (Guo, 2014; Huang, 2014). $PM_{2.5}$ ya da ince taneli partiküller, uzun süre havada kalabilip yüzlerce km taşınabilmektedir. PM_{10} gibi partiküller ise uzun süre havada taşınamazlar. Çünkü, emisyon kaynaklarından çıkan bu kirleticiler, yüzey rüzgar yönünde, yerde birikmeye eğilimlidir. İnce PM konsantrasyonları, rüzgar şiddeti ile kademeli olarak azalabilirken, iri taneli PM konsantrasyonları toz nedeniyle, güçlü rüzgar şiddeti ile artabilir (Zhang ve diğerleri, 2017). Atmosferde; volkanlardan, fosil yakıtların yanmasından ve diğer kaynaklardan yayılan, sülfür dioksit (SO_2)'in oksidasyonundan, sülfürik asit (H_2SO_4) meydana gelir (EPA, 2016).

$$SO_2+OH \rightarrow HOSO_2$$

$$HOSO_2+O_2 \rightarrow SO+HO_2$$

$$SO_3+H_2O \rightarrow H_2SO_4$$

Bu suretle, asit yağmurlarının oluşumuna sebebiyet verirler. Bu durum; orman alanları, göller, flora ve faunaya olan zararları nedeniyle, ekosistem için son derece tehlikelidir. Ayrıca, içme suyunun sağlandığı yeraltı suları, daha asidik olmakta ve metal konsantrasyonlarının tehlikeli sınırı aştığı ortaya çıkmaktadır.

Antropojenik Hava Kirliliği Kaynakları; Enerji Santralleri, petrol rafinerileri ve uzun bacalı tüm fabrikalar, noktasal kaynaklar grubu içerisinde değerlendirilirler. Yerleşim bölgeleri, iş merkezleri, hastaneler ve okullar gibi, daha ziyade ısınma ağırlıklı kaynak özelliği gösteren birimler ise, alan kaynaklarına aittir. Çizgisel kaynaklar ise, araç emisyonlarnın sebep olduğu trafik yüklerine karşılık gelir (İncecik, 1996). Marmara Bölgesi'nde; şeker, bitkisel yağ, içki-sigara, konserve, seramik, cam, dokuma, elektrikli ev eşyası, kağıt, otomobil, ilaç, petro-kimya, gemi yapımı, traktör-vagon gibi, endüstri tesisleri bulunmaktadır. Ayrıca, Marmara Bölgesi'nde; petrol rafinerileri, termik santralleri, çimento fabrikaları da yer almaktadır. PM bakımından en önemli kaynaklardan biri de, trafikte yer alan araçlardır. Çizelge 2.4'de, Mayıs ayı sonu itibarıyla trafiğe kayıtlı 12 milyon 482 bin 475 adet otomobilin; % 37,7'i LPG, % 37,3'si dizeldir (Url-10). Özellikle LPG ve

dizel yakıtlı araçlar, partikül kirliliği bakımından son derece önemlidir. Son yıllarda, Avrupa'nın çeşitli şehir merkezlerine, dizel yakıtlı araçların girişlerinin yasaklanması üzerinde, çalışmalar yapılmaktadır.

Çizelge 2.3 : Marmara Bölgesi 2018 yılı için, mevsimlik ortalama en yüksek ve en düşük sıcaklıklar ile sadece ortalama sıcaklık değerleri (Url-9).

Marmara Bölgesi (2018)	Kış (Aralık, Ocak, Şubat)	İlkbahar (Mart-Nisan-Mayıs)	Yaz (Haziran-Temmuz-Ağustos)	Sonbahar (Eylül-Ekim-Kasım)
Ort. Sıcaklık (°C)	4,9	15,0	24,6	16,2
Max. Ortalama Sıcaklık (°C)	9,2	13,5	25,7	18,1
Min. Ortalama Sıcaklık (°C)	3,8	16,9	23,0	14,6

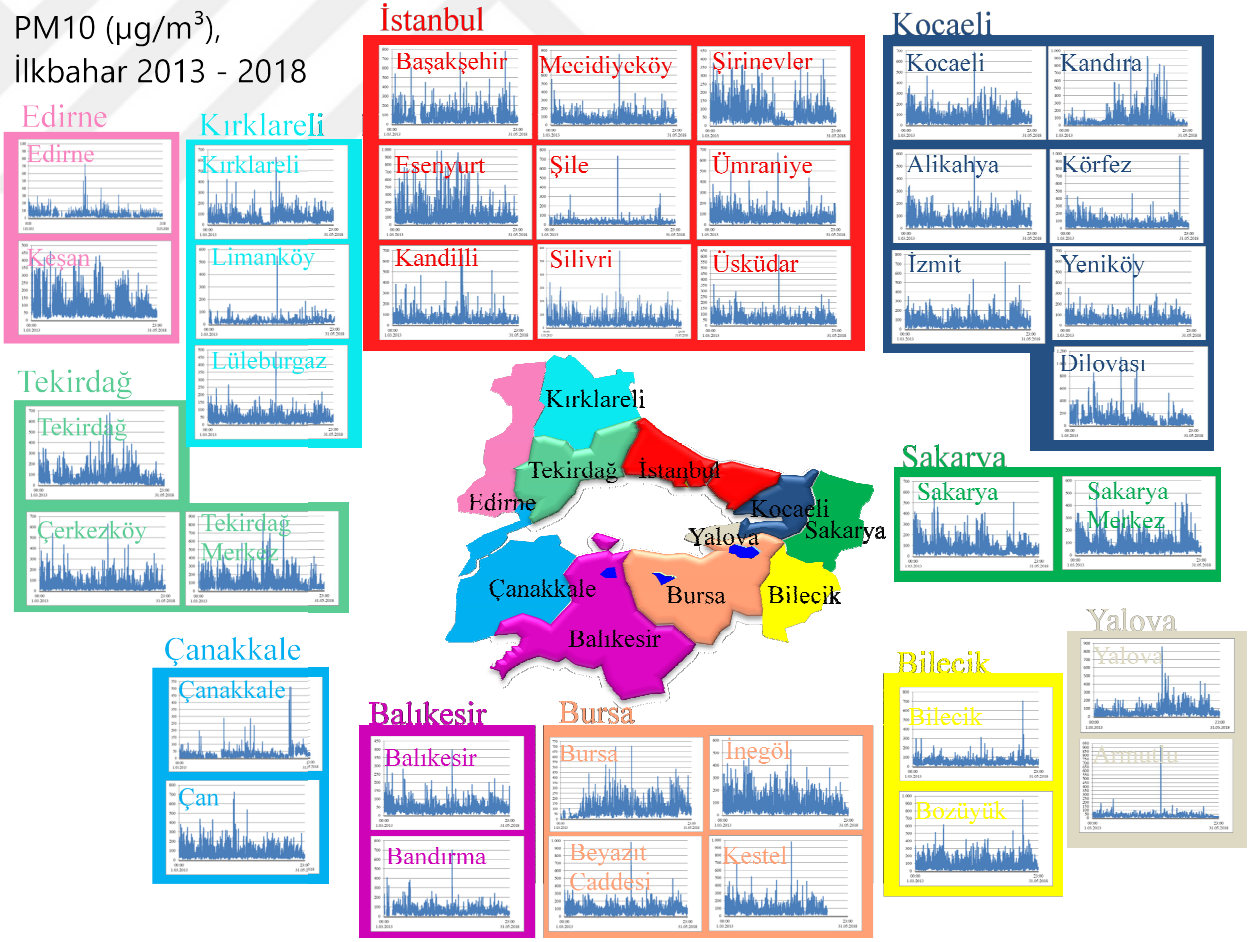
Çizelge 2.4 : 2019 Mayıs sonu itibarıyla trafiğe kayıtlı otomobillerin yakıt cinsine göre yüzdeleri (Url-10).

2019 Mayıs	LPG	Dizel	Benzin	Bilinmeyen	Elektrikli veya Hibrit
Dağılım (%)	37,7	37,3	24,6	0,3	0,1

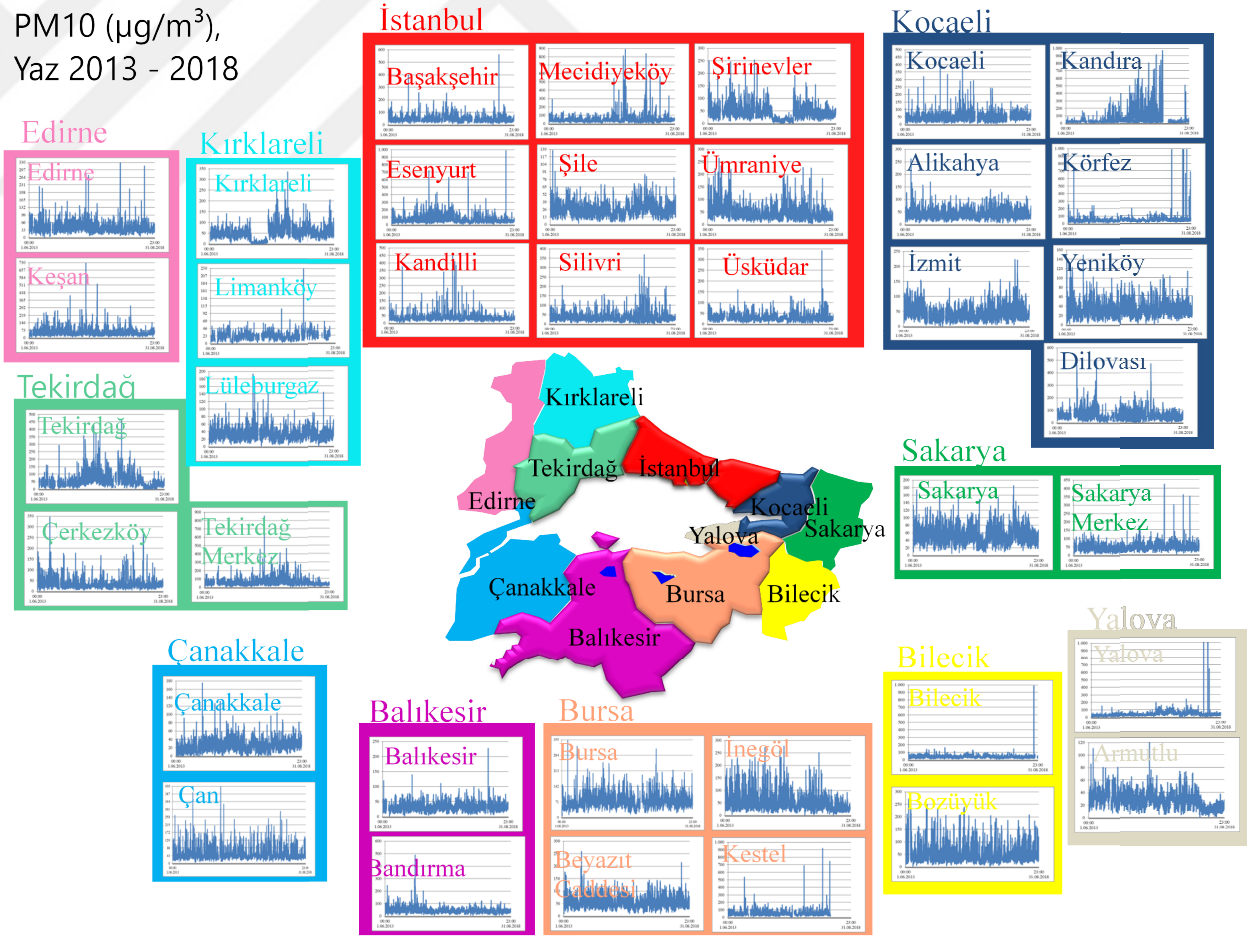
3 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3.1 PM_{10} ve $PM_{2.5}$ Konsantrasyonlarının Mevsimsel Değişimi

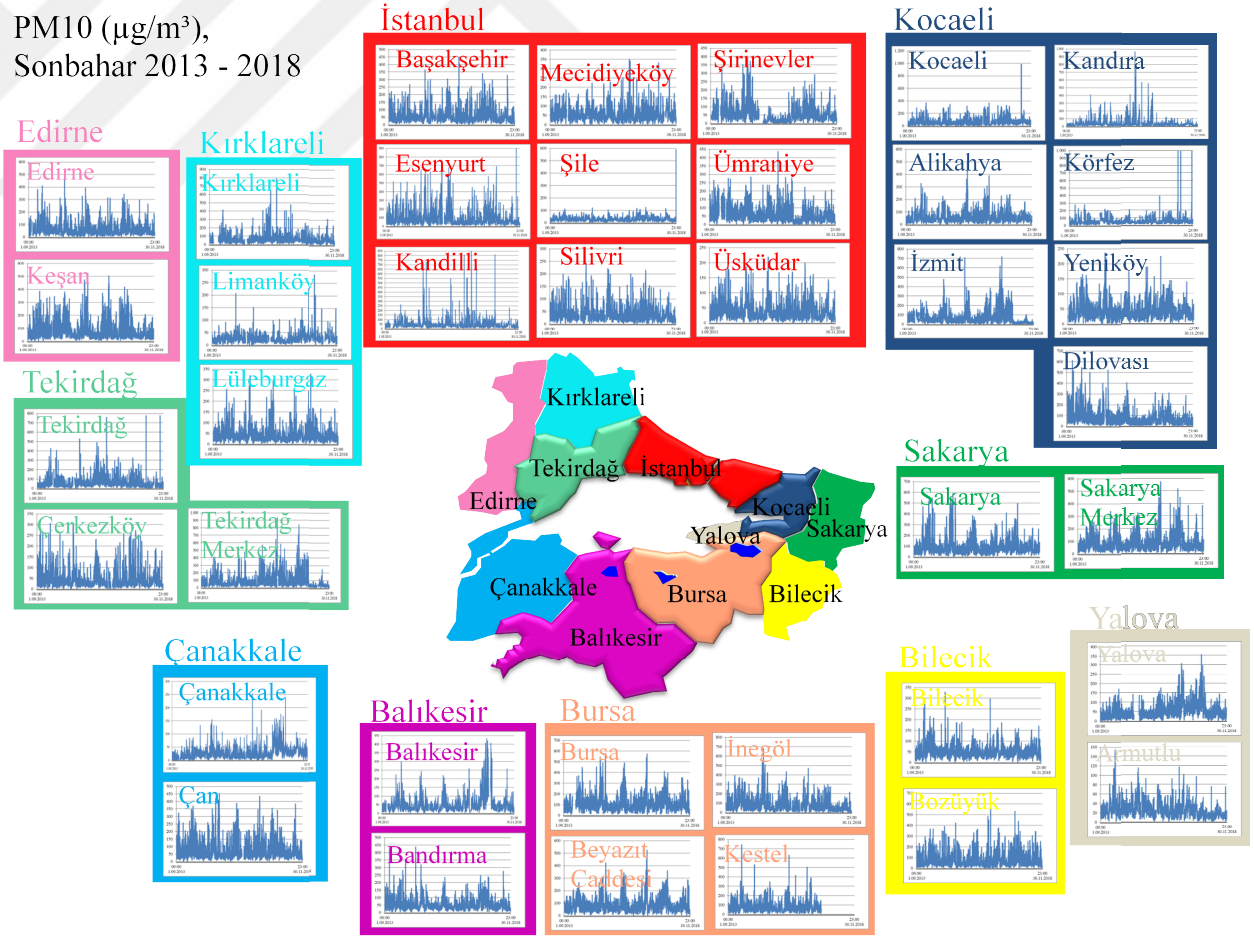
Marmara Bölgesi'nin kırsal ve kent alanları için, günlük PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının, mevsimsel değişimleri, tüm bölgedeki değişimi gösterecek şekilde Şekil 3.1 ile özetlenmiştir. Şekil 3.2-3.5'de ise, ortalama mevsimlik konsantrasyonlar verilmiştir. Kırsal bölgelerin PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerleri, tüm mevsimlerde, kentsel bölgelerin PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerlerinden, daha düşük seviyelerde bulunmaktadır. Bunun temel nedeni, antropojenik hava kirliliği kaynaklarının bu kirletici konsantrasyonlar üzerindeki etkisidir. Kent merkezlerinden ve sanayi bölgelerinden uzaklaşıldıkça, $PM_{2.5}$ ve PM_{10} konsantrasyonlarının ortalama değerleri düşmektedir. Bu durum, grafiklerde açık bir şekilde görülmektedir. Örneğin, Şekil 3.2'de; İstanbul Şile, Yalova Armutlu, Kırklareli Limanköy istasyonlarında, ortalama PM_{10} konsantrasyon değerleri tüm mevsimlerde 25-30 μg/m³ civarında iken, Kocaeli Kandıra istasyonunda 30-50 μg/m³ civarındadır. Bunun yanı sıra, Şekil 3.2 , Karadeniz kıyısında yer alan Kocaeli Kandıra istasyonunda, yaz > ilkbahar > sonbahar > kış şeklinde sıralanan ortalama PM_{10} konsantrasyonlarının, ısınma mevsimi dışında kalan tüm mevsimlerde daha yüksek bir seviyede olduğunu göstermektedir. PM_{10} seviyelerinin muhtemel sebeplerinin başında, bölgede süregelen kara yolu inşaat çalışmaları olduğu öne sürülmektedir (Ö.Çapraz, Özel Görüşme). Bu tür sahil bölgelerinin topoğrafyası ve kara-deniz etkileşimleri, karmaşık özelliklere sahip olan lokal akışlar ve dispersiyon üzerinde etkili olabilmektedir (Lu ve Turco, 1995). Hava kalitesi istasyonlarının Çizelge 2.1'de belirtilen karakteristik özelliklerine bağlı olarak; trafik, ısınma, sanayi ve gemi trafiğinden kaynaklanan emisyon kaynaklarının yol açtığı, PM_{10} konsantrasyonun ortalama değerleri Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Buna göre, tüm istasyonlarda ısınma mevsimine ait değerlerin farkılılığı açık bir şekilde görülmektedir. Hava kalitesi istasyonlarının tamamında ortalama PM_{10} a ait en düşük değerler, yaz mevsiminde oluşmaktadır. Buna karşın Tekirdağ Merkez (90,27 μg/m³), Bursa Beyazıt Cad. (105,71 μg/m³), Bursa İnegöl (110,11 μg/m³),



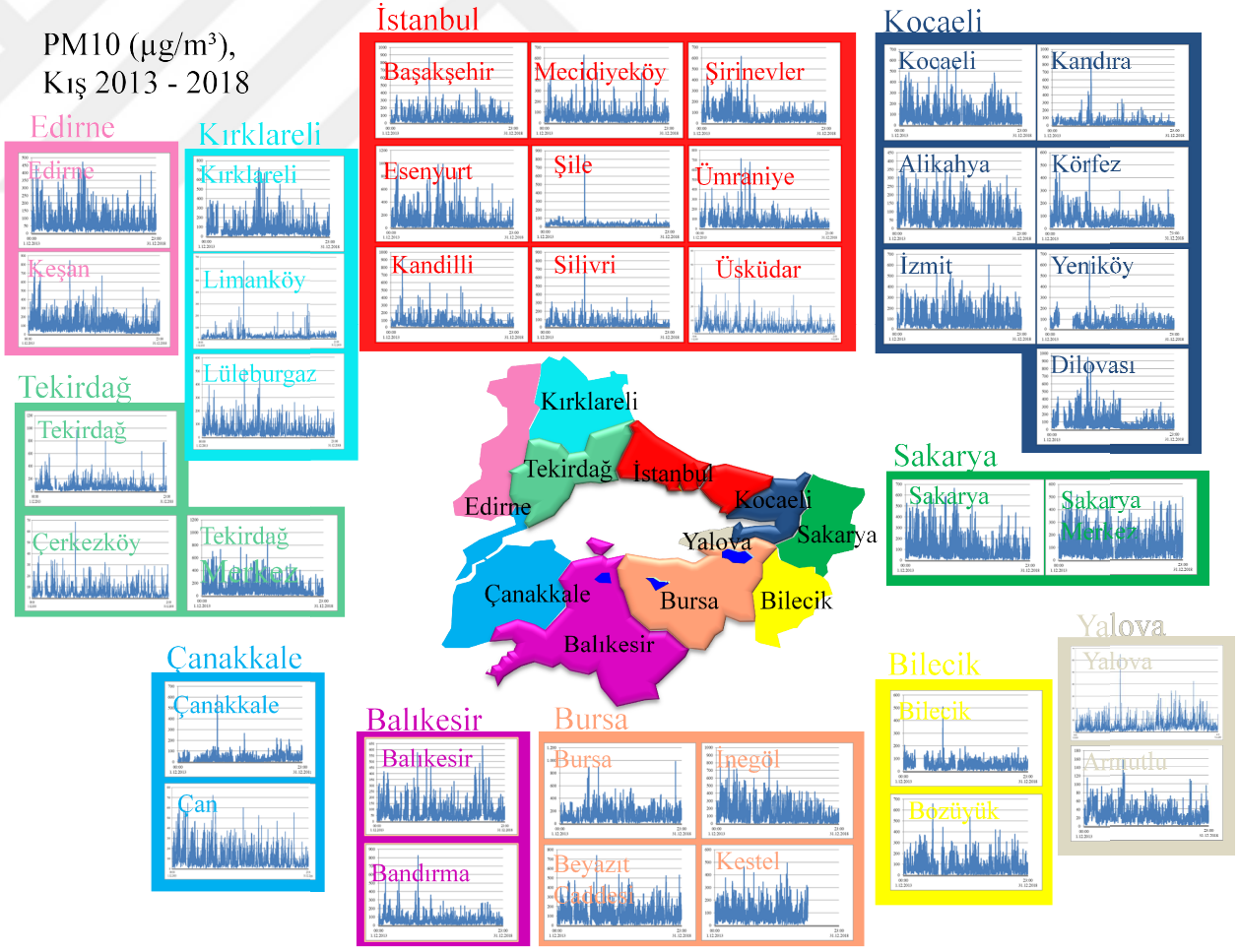
Şekil 3.1 : Marmara Bölgesi'nde ölçülen $PM_{2.5}$ ve PM_{10} günlük konsantrasyonlarının mevsimlere göre değişimi.



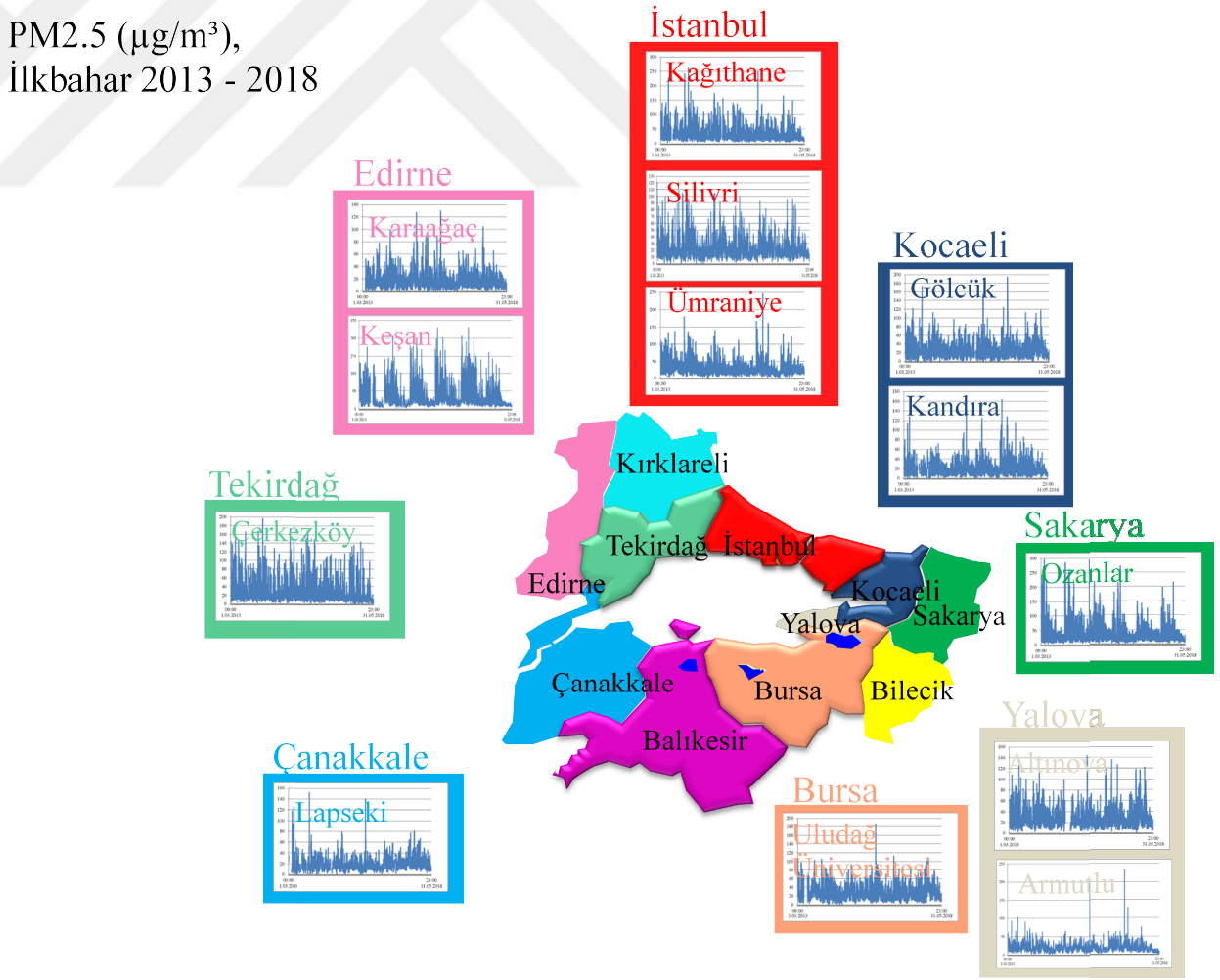
Şekil 3.1 devam: Marmara Bölgesi'nde ölçülen $PM_{2.5}$ ve PM_{10} günlük konsantrasyonlarının mevsimlere göre değişimi.



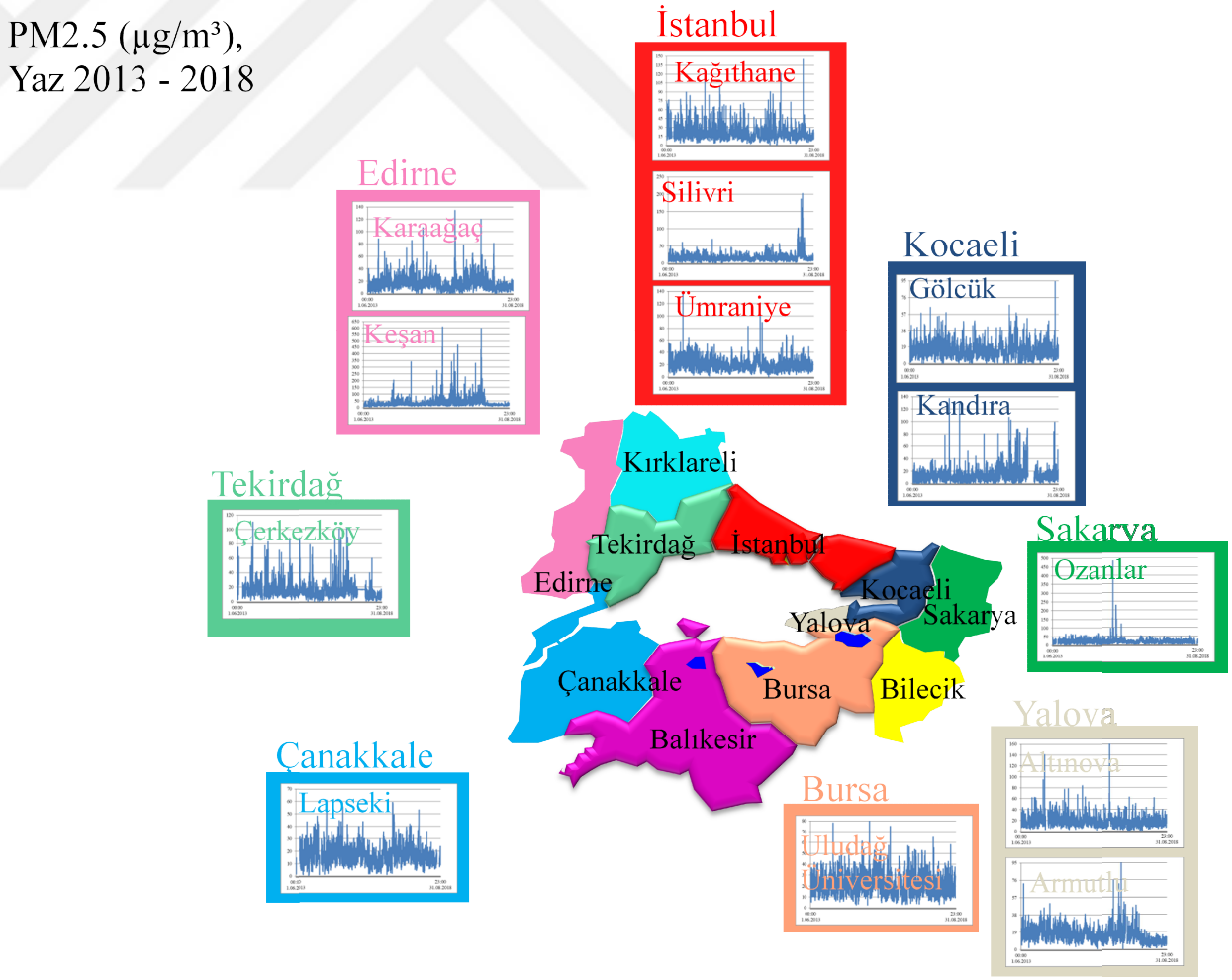
Şekil 3.1 devam: Marmara Bölgesi'nde ölçülen $PM_{2.5}$ ve PM_{10} günlük konsantrasyonlarının mevsimlere göre değişimi.



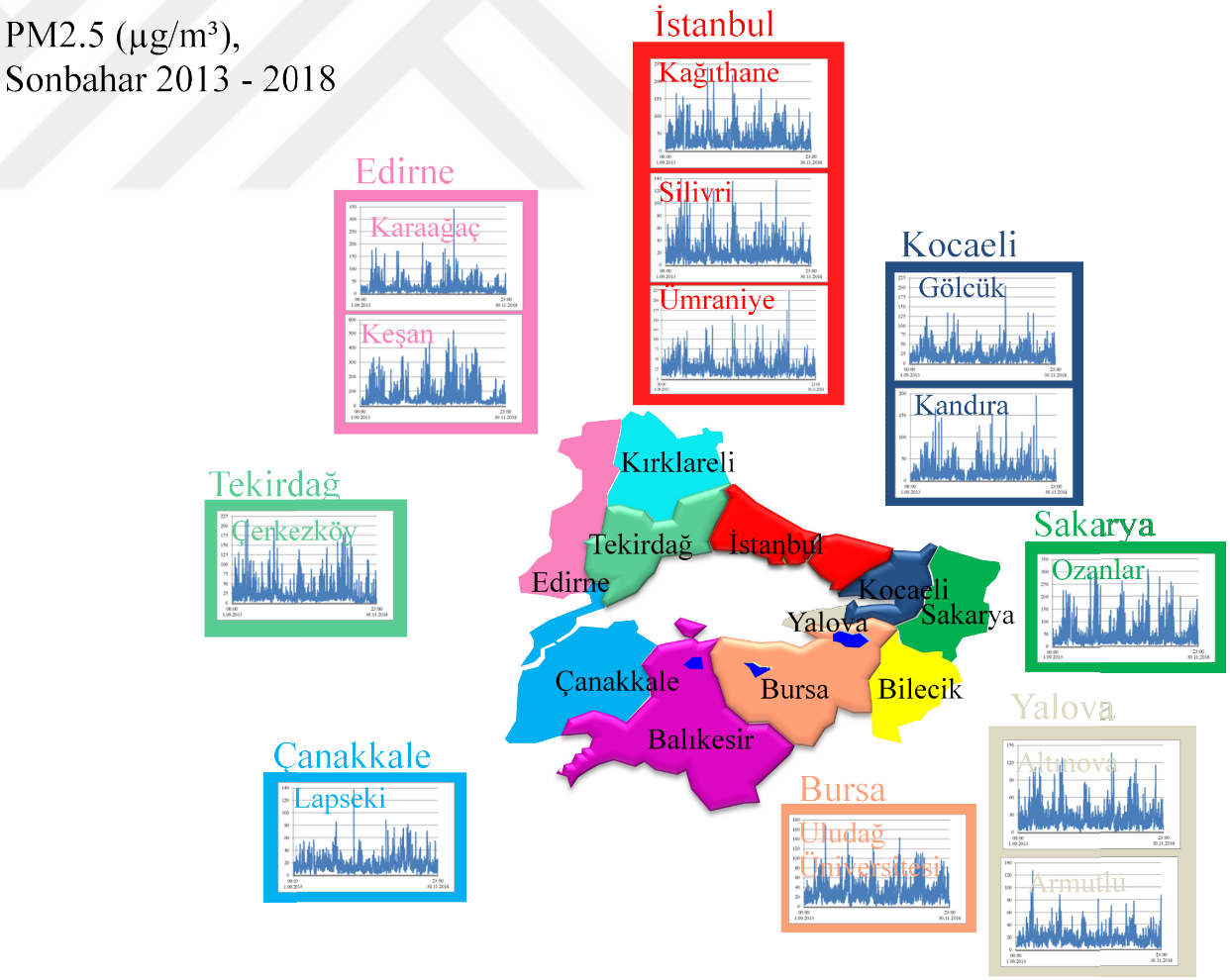
Şekil 3.1 devam: Marmara Bölgesi'nde ölçülen $PM_{2.5}$ ve PM_{10} günlük konsantrasyonlarının mevsimlere göre değişimi.



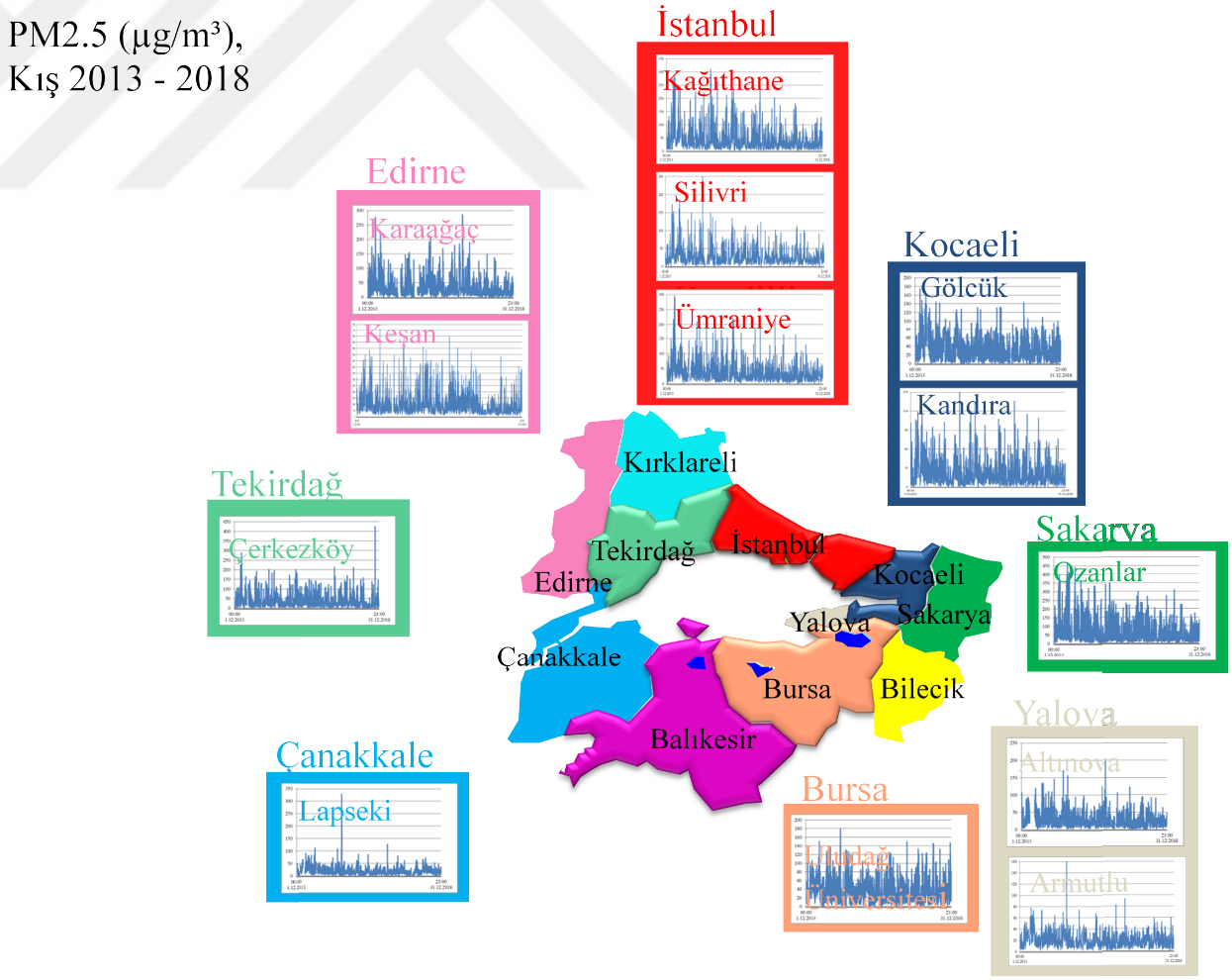
Şekil 3.1 devam: Marmara Bölgesi'nde ölçülen $PM_{2.5}$ ve PM_{10} günlük konsantrasyonlarının mevsimlere göre değişimi.



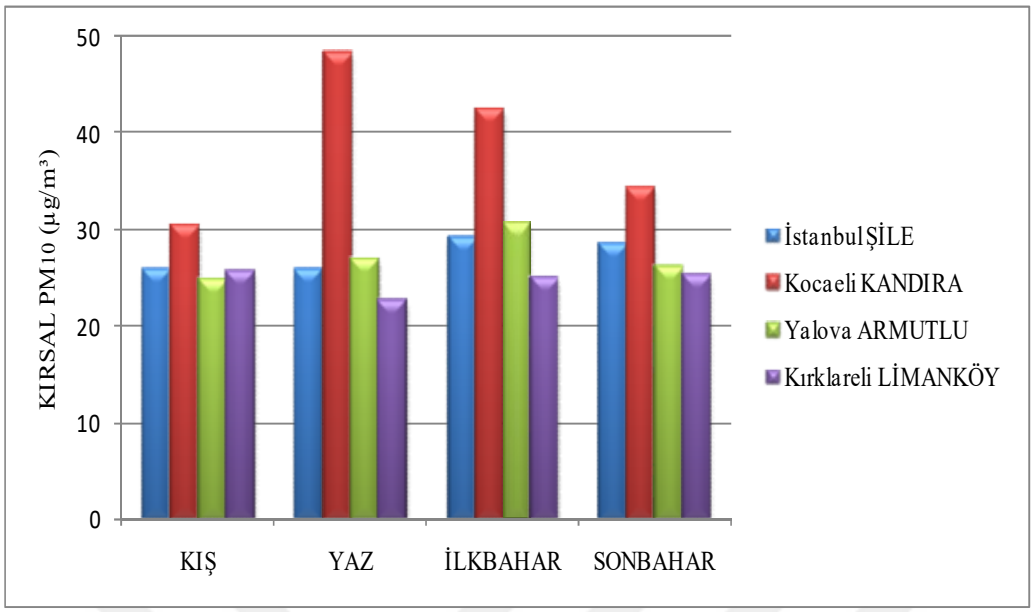
Şekil 3.1 devam: Marmara Bölgesi'nde ölçülen $PM_{2.5}$ ve PM_{10} günlük konsantrasyonlarının mevsimlere göre değişimi.



Şekil 3.1 devam: Marmara Bölgesi'nde ölçülen $PM_{2.5}$ ve PM_{10} günlük konsantrasyonlarının mevsimlere göre değişimi.

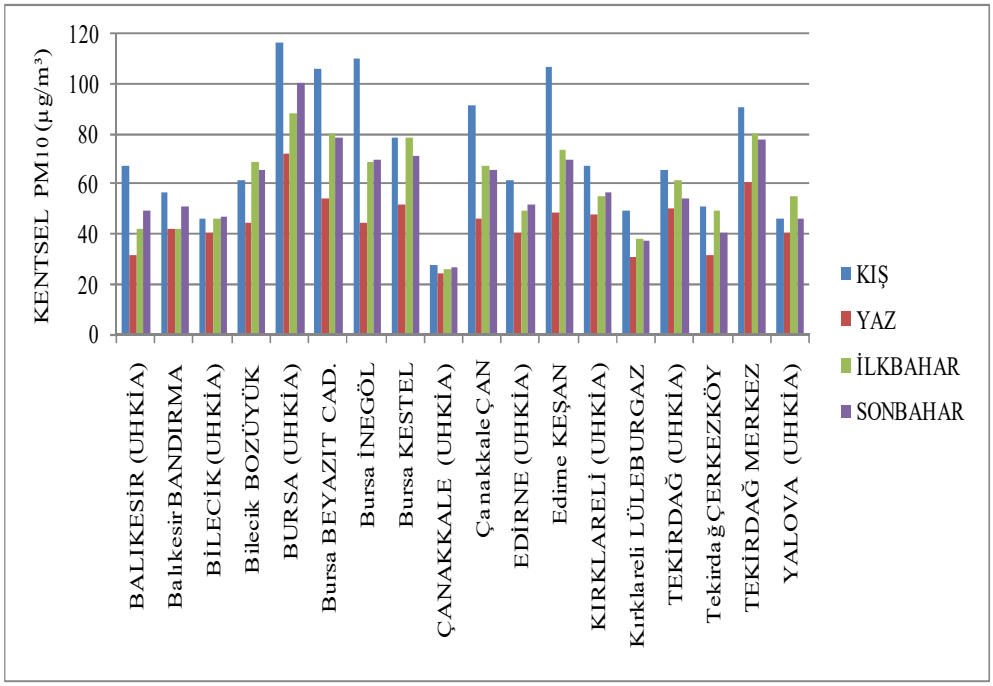


Şekil 3.1 devam: Marmara Bölgesi'nde ölçülen $PM_{2.5}$ ve PM_{10} günlük konsantrasyonlarının mevsimlere göre değişimi.

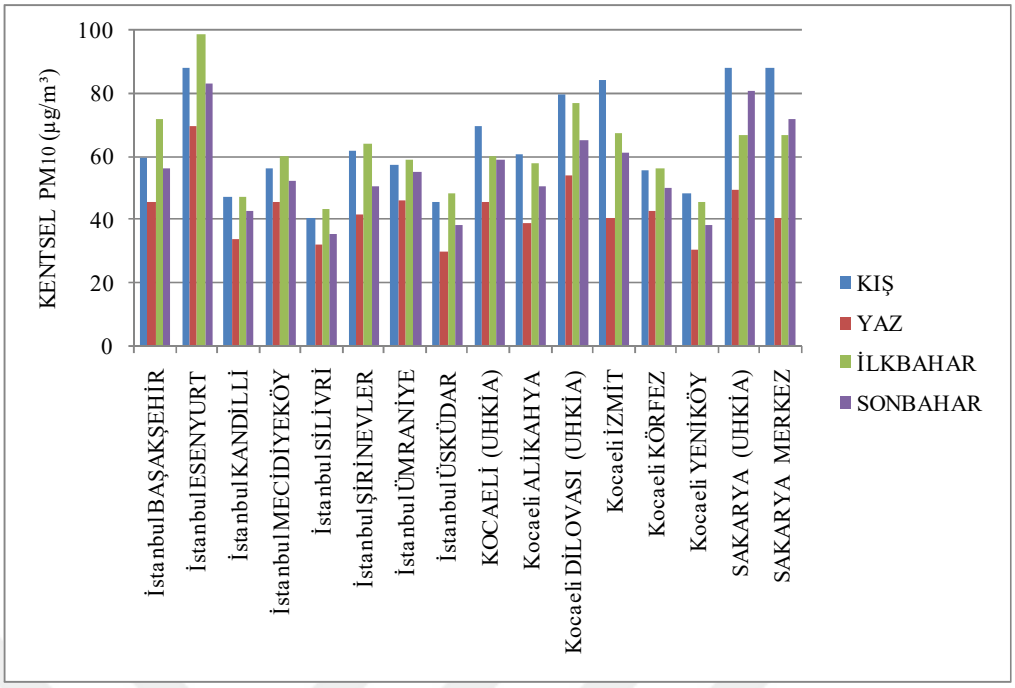


Şekil 3.2 : Kırsal bölgedeki ortalama PM_{10} konsantrasyonlarının mevsimlik değişimi.

Edirne Keşan (107,5 µg/m³), Çanakkale Çan (91,45 µg/m³), Bursa (UHKİA) (116,88 µg/m³) istasyonlarında, kış mevsimine ait ortalama değerler, 90 µg/m³'i aşmaktadır. Diğer istasyonlarda, mevsimlik ortalama konsantrasyonlar ise 30-60 µg/m³ aralığında değişmektedir. Tekirdağ Merkez, Bursa Beyazıt Cad. istasyonlarının karakteristik

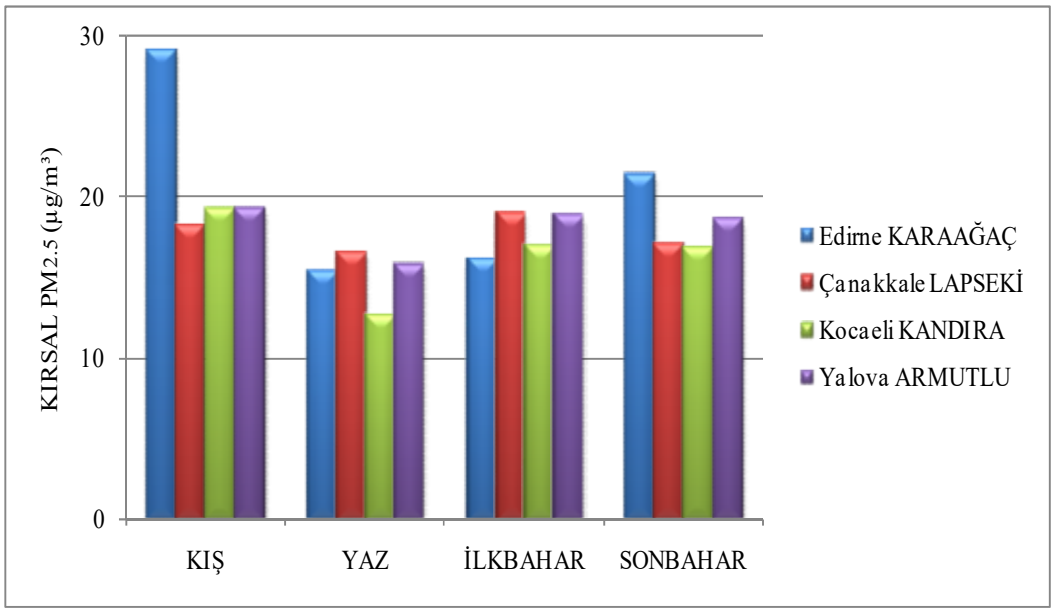


Şekil 3.3 : Kentsel bölgedeki ortalama PM_{10} konsantrasyonlarının mevsimlik değişimi.



Şekil 3.3 devam : Kentsel bölgedeki ortalama PM_{10} konsantrasyonlarının mevsimlik değişimi.

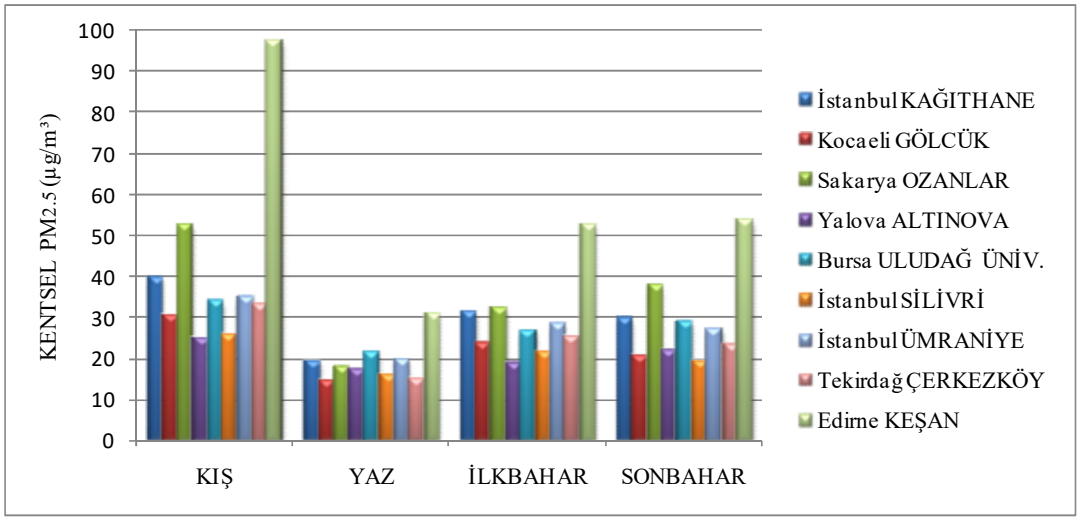
özelliği trafik yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerde olmalarıdır. Bursa İnegöl istasyonunun karakteristik özelliği ise sanayidir. Şekil 3.4'den görüleceği üzere, istasyonların tamamında ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerleri 10-20 µg/m³ aralığında değişmektedir. Sadece, Edirne Karaağaç istasyonunda, kış mevsiminde



Şekil 3.4 : Kırsal bölgedeki ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının mevsimlik değişimi.

ortalama değer 30 µg/m³ civarındadır. Mevsimsel olarak bakıldığında, Edirne Karaağaç istasyonunun ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerlerinin, kış >sonbahar > ilkbahar > yaz şeklinde sıralanması, ısınma ağırlıklı kaynak özelliği gösteren istasyon bölgesinde, ısınma kaynaklarının baskın etkisini işaret etmektedir.

Şekil 3.5'de; Edirne Keşan, Sakarya Ozanlar ve İstanbul Kağıthane dışında kalan diğer istasyonlarda, tüm mevsimlerde, ortalama $PM_{2,5}$ konsantrasyon değerleri 20-30 µg/m³ aralığında değişmektedir. Edirne Keşan, Sakarya Ozanlar ve İstanbul Kağıthane istasyonlarında ortalama $PM_{2,5}$ konsantrasyon değerlerinin, mevsimlere göre kış > sonbahar > ilkbahar > yaz şeklinde sıralanması ise, bu bölgelerde konut ısınma kaynaklarının açık etkisini işaret etmektedir.



Şekil 3.5 : Kentsel bölgedeki ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının mevsimlik değişimi.

3.2 PM_{10} ve $PM_{2.5}$ Konsantrasyonlarının Günlük Değişimi

Mart 2013 – Aralık 2018 dönem aralığında, kentsel ve kırsal bölgede, PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının günlük ortalama değişimleri, dört mevsim için incelenmiş ve bu değişimler Şekil 3.6, Şekil 3.7, Şekil 3.8, Şekil 3.9, ve Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Buna göre, bütün mevsimlerde, kentsel bölgede PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonları, belirgin bir şekilde sabah saat 09:00-12:00 ve akşam saat 20:00-24:00 aralığında, önemli artışlar göstermektedir. Bu durum, trafik ve diğer antropojenik kaynakların, PM konsantrasyonları üzerindeki etkisini açıklamaktadır. Yaz mevsiminde ise, kentsel bölgede benzer artışların olması, yoğun trafik etkisini, özellikle giderek artan dizel yakıtlı araçların etkisini, destekler yöndedir.

PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının günlük ortalama değerlerinin, Mart 2013 – Aralık 2018 tarih aralığında, tüm istasyonlardaki değişimleri, EK A'da Şekil A.1-A.51'de verilmiştir.

Çizelge 3.1'de, tüm PM_{10} değerlerinin ölçülen en yüksek konsantrasyon değeri, ölçüldüğü gün, saatler belirtilmiştir. Belirtilen günlerde yapılan ölçümler, Dünya Sağlık Örgütünün (WHO) belirlediği 24 saatlik ortalama limit değerinin (PM_{10} için 50 μg/m³) oldukça üzerindedir. Örneğin, Dilovası istasyonunda ölçülen en yüksek konsantrasyon değeri 1108 μg/m³ iken, Lüleburgaz istasyonunda ölçüen en yüksek konsantrasyon değeri 518 μg/m³'dür. İstasyonlarda ölçülmüş en yüksek PM_{10} konsantrasyon değerleri 518-1108 μg/m³ aralığında değişmektedir. 01.02.2015 günü, Marmara Bölgesi'nde yer alan 15 hava kalitesi istasyonunda ve 24.03.2016 günü, 8 hava kalitesi istasyonunda, çok yüksek seviyeler bulunmuştur.

Çizelge 3.2'de, $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerleri de, WHO' nun belirlediği 24 saatlik ortalama sınır değerinden ($PM_{2.5}$ için 25 μg/m³) oldukça yüksektir. Örneğin, Keşan istasyonunda en yüksek konsantrasyon değeri 712 μg/m³, Kandıra istasyonunda en yüksek konsantrasyon değeri 166 μg/m³'dür. Bölgedeki hava kalitesi istasyonlarında, ölçülmüş en yüksek $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerleri, 166-712 μg/m³ aralığında yer almaktadır. Özellikle, 1 Şubat 2015'de, Marmara Bölgesi'nde Bursa, Balıkesir, Çanakkale, Edirne, İstanbul, Kırklareli, Kocaeli, Tekirdağ'da yapılan PM_{10} ölçümlerinde, hava kalitesi standartlarının ve WHO limitlerinin çok üzerinde konsantrasyon seviyeleri belirlenmiştir. 24.03.2016 tarihinde, Marmara Bölgesi'nde, Bursa, Yalova, Kocaeli, İstanbul'da yapılan PM_{10} ölçümlerinde, yüksek konsantrasyon seviyelerine erişilmiştir. Bu durumun belirtilen tarihlerde, Marmara Bölgesi'nin önemli bir kısmında etkili olabilen bir toz taşınımından da kaynaklanabileceği anlaşılmaktadır. Ancak, Marmara Bölgesi için, $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerlerinin, sanayi ve trafik bölgelerinde ölçüm yapan istasyon sayısının yetersiz olması, sebep-sonuç ilişkilerinin araştırılmasını kısıtlamaktadır.

Çizelge 3.3'de, 24 saatlik ortalama PM_{10} konsantrasyonun, WHO limit değerleri ile karşılaştırılması gösterilmiştir. Avrupa Birliği Hava Kalitesi Standartlarına göre, hava kalitesi standartlarının amacı, bazı temel esaslara dayanmaktadır. Bunların başında, hava kirliliğinin insane sağlığı ve bitki örtüsü üzerindeki etkilerinin azaltılması, hava kalitesini korumak için yetkili kuruluşlarca gerçekleştirilen

aksiyonların değerlendirilmesi ve hava kalitesi hakkında kamuoyunun bilgilendirilmesidir. Hava kalitesinin izlenmesinde Avrupa Birliği iki önemli Direktif yayımlamıştır. Bunlar the 14 Nisan 2008 tarihli EU Directive (2008/50/EC) ile 15 Aralık 2004 tarihli 2004/107/EC direktifleridir. Bu direktiflerin ana hedefleri**;**

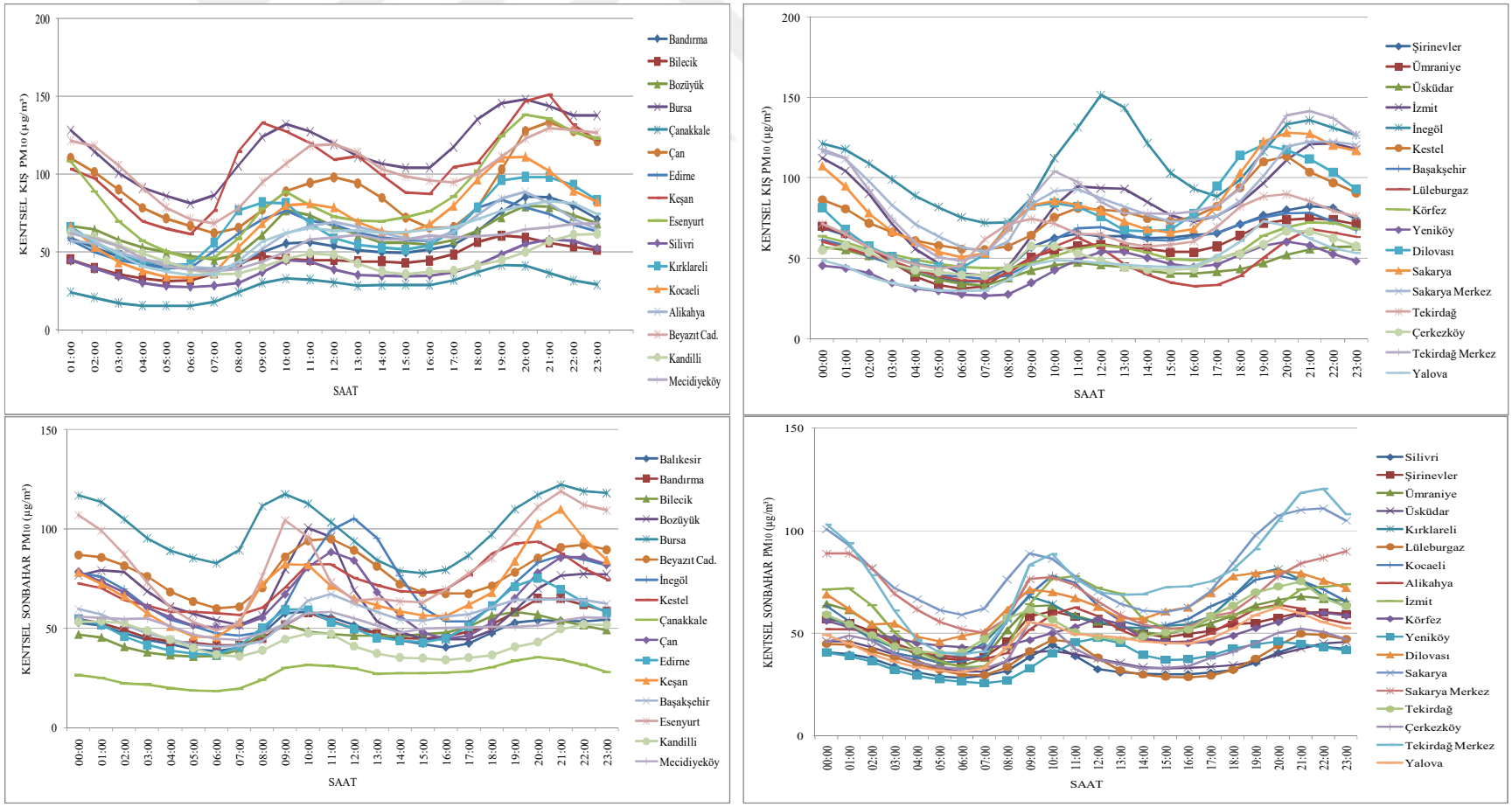
- Hava kirliliğinin, insan sağlığı ve çevre üzerindeki zararlı etkilerini önlemek veya bu etkileri azaltmak için hava kalitesi hedeflerini tanımlamak ve düzeltmek,
- Üye Devletlerin hava kalitesini, ortak yöntemler ve kriterler ile değerlendirmek,
- Hava kirliliği ile mücadeleye katkıda bulunmak, Ulusal ve AB önlemlerinden kaynaklanan uzun süreli eğilimleri ve gelişmeleri izlemek için hava kalitesi hakkında bilgi edinmek,
- İyi hava kalitesini korumak, aksi durumlarda iyileştirmek,
- Havanın kalitesiyle ilgili bilgilerin halka açık olarak sunulmasını sağlamaktır.

Buna göre; PM_{10} konsantrasyon değerlerinin, belirlenen 24 saatlik ortalama sınır değerini (50 $\mu g/m^3$), bir takvim yılında 35 kezden daha fazla aşmaması gerekmektedir. Marmara Bölgesi'nde, 38 istasyonda ölçülen PM_{10} konsantrasyon seviyelerinin, en başta Bursa olmak üzere toplam 33 istasyonda, 24 saatlik ortalama sınır değerinin yılda 35 kezden daha fazla aşıldığı görülmektedir.

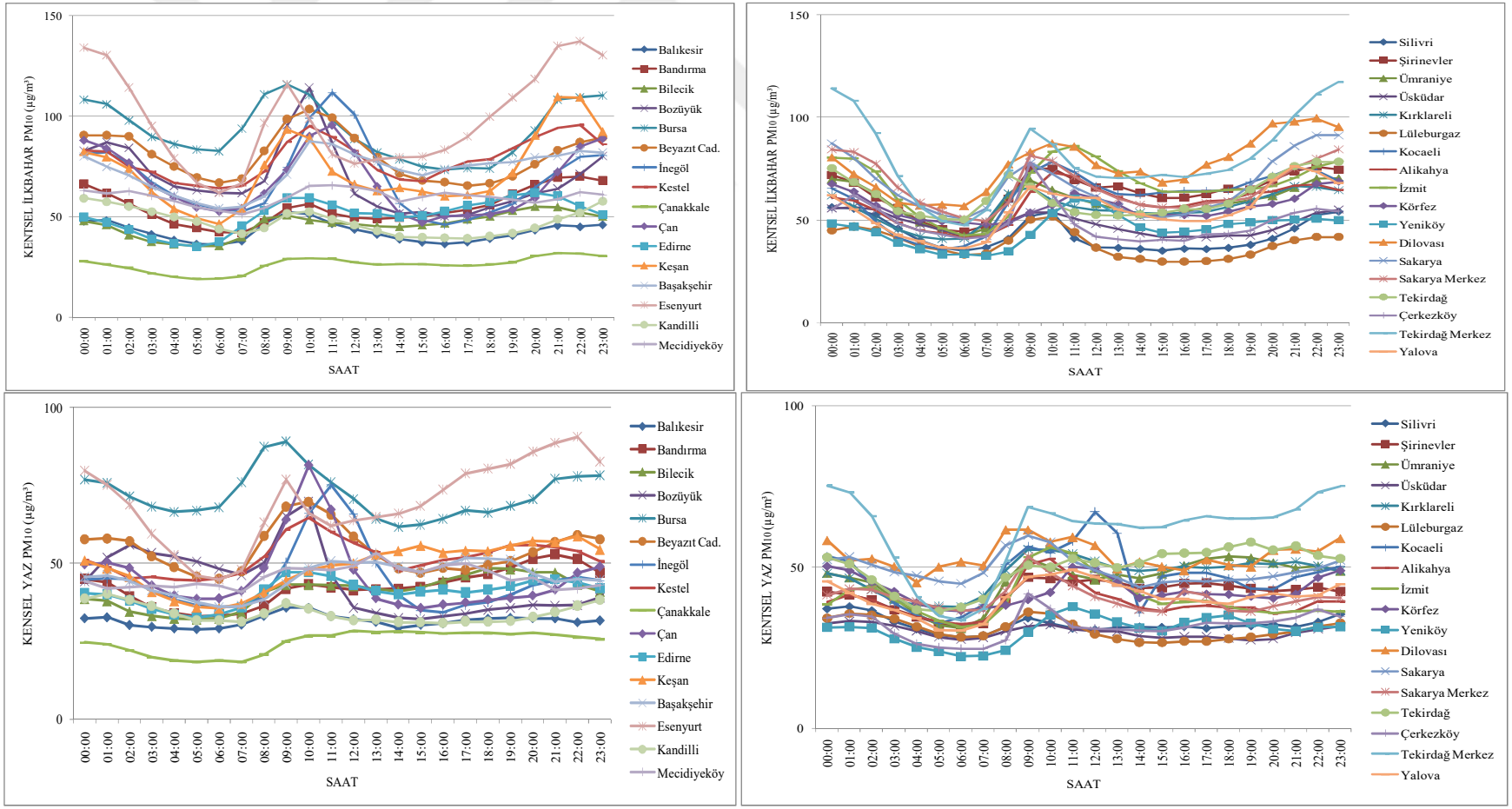
Bursa'da, 2013-2018 periyodu içerisinde, 6 yıl boyunca PM_{10} konsantrasyonlarının 50 ug/m^3'ü aşan gün sayısı, 156 ile 331 gün arasında değişmektedir. Bursa'da, PM_{10} seviyelerinde ortaya çıkan aşılma, yılın 331 gününe kadar ulaşmaktadır.

Türkiye bu yönergeleri kendi yasalarına adapte etmiştir. Ancak, uygulamada hala ciddi sorunlar bulunmaktadır. Örneğin, İstanbul için yapılan bir çalışmada, PM_{10} için bu sınırların, yıl boyunca özellikle bazı bölgelerde çok fazlaca aşıldığı belirlenmiştir (Ünal, 2012).

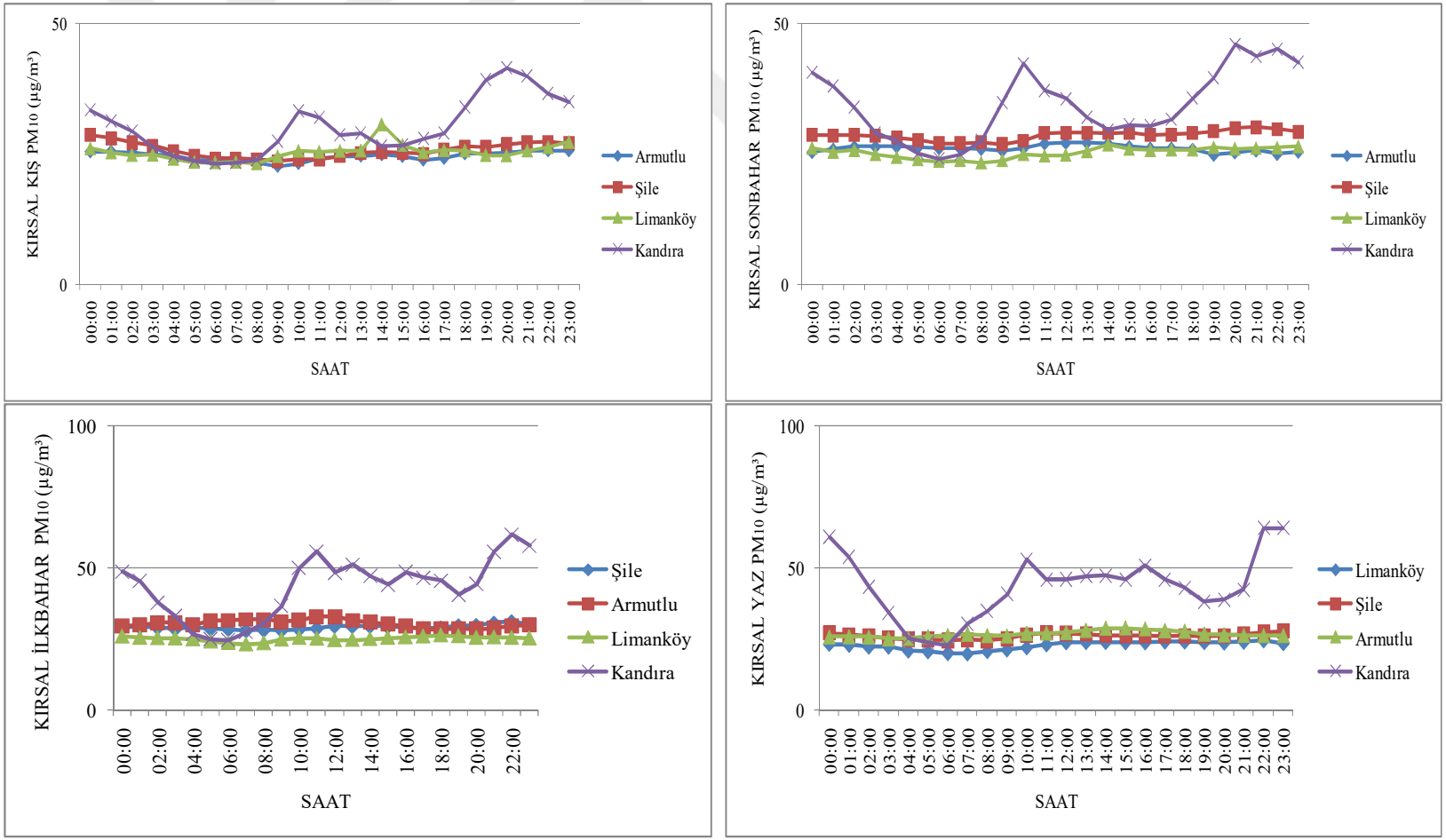
Marmara Bölgesi'ndeki PM_{10}'da meydana gelen tüm değişimleri gösteren Çizelge 3.3 analiz edildiğinde; Limanköy, Kandıra (2014,2015,2016,2017 yılları hariç), Çanakkale (2018 yılı hariç), Şile ve Armutlu istasyonları hariç, diğer tüm istasyonlarda 24 saatlik ortalama sınır değerinin yılda 35 kezden daha fazla aşıldığı görülmektedir. Buna göre, Marmara Bölgesi'ndeki trafik kaynaklarının ve yoğun sanayinin, bölgenin hava kalitesi standartlarını olumsuz yönde etkilediği açık bir şekilde görülmektedir. Kış mevsiminde, ısınma kaynaklarının etkisi ile bu durum



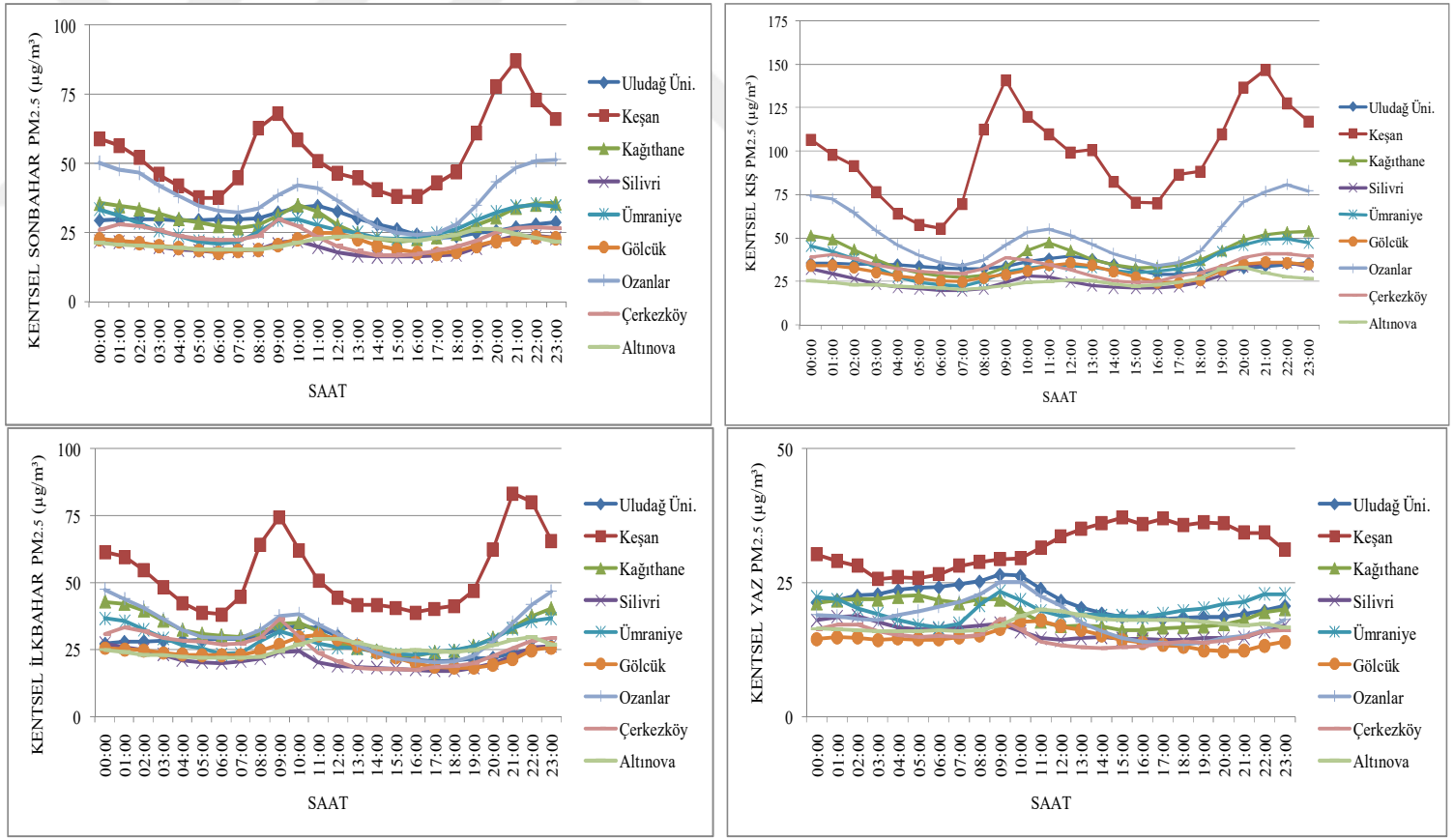
Şekil 3.6 : PM_{10} konsantrasyonlarının, kış ve sonbahar mevsiminde, kentsel bölgedeki günlük değişimi.



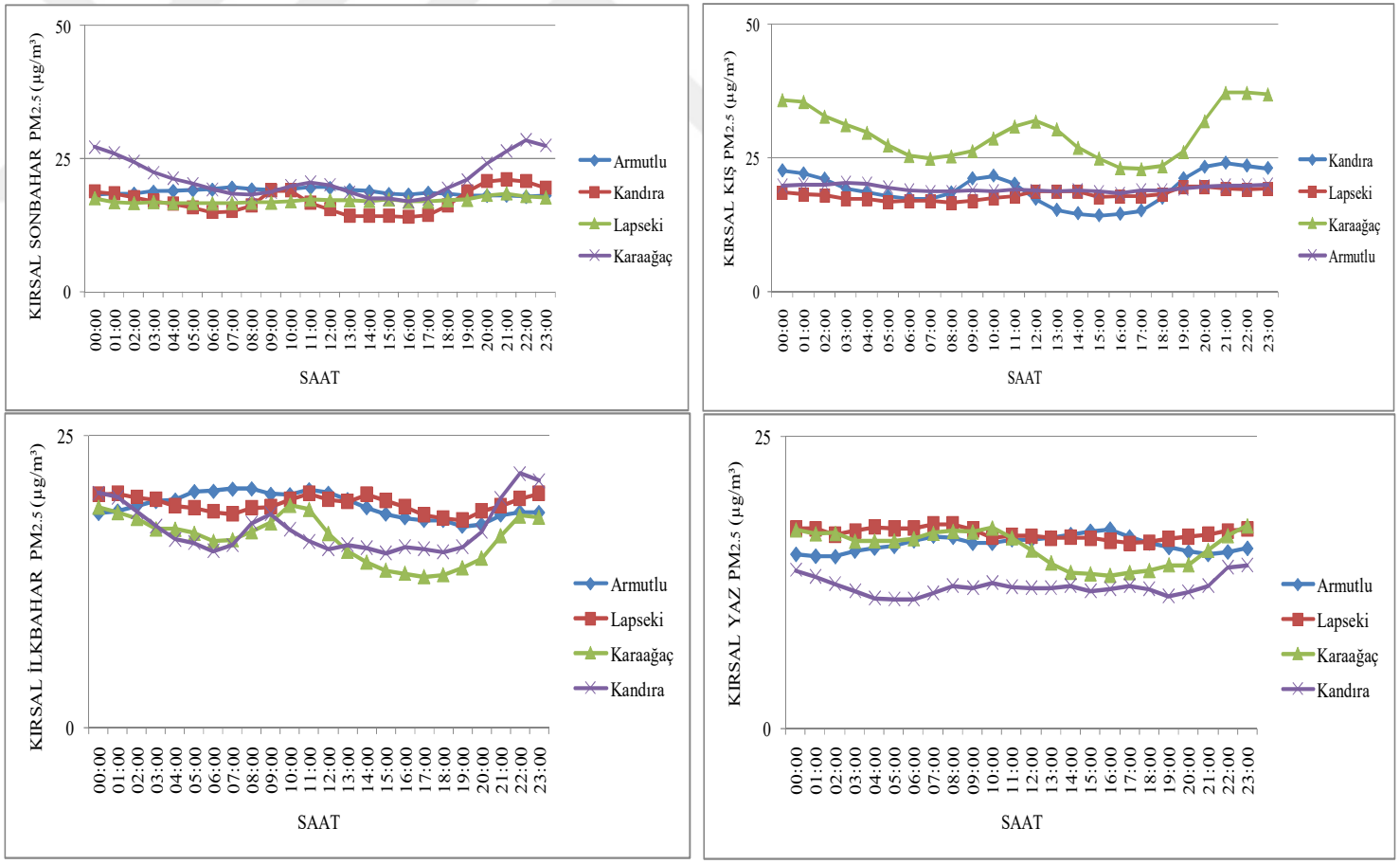
Şekil 3.7 : PM_{10} konsantrasyonlarının, ilkbahar ve yaz mevsiminde, kentsel bölgedeki günlük değişimi.



Şekil 3.8 : PM_{10} konsantrasyonlarının; sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsiminde, kırsal bölgedeki günlük değişimi.



Şekil 3.9 : $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının; sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsiminde, kentsel bölgedeki günlük değişimi.



Şekil 3.10 : $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının; sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsiminde, kırsal bölgedeki günlük değişimi.

Çizelge 3.1 : Tüm istasyonlardaki PM_{10} konsantrasyon değerlerinin en yüksek olduğu tarih ve saatler.

İstasyon	Tip	PM_{10} ($\mu g/m^3$)	PM_{10} için Tepe Noktası Tarihi	PM_{10} için Tepe Noktası Saati
Dilovası	ISINMA	1.108	14.04.2015	13:00
Tekirdağ	ISINMA	1.000	23.03.2015	16:00
Tekirdağ	ISINMA	997	11.04.2017	23:00
Yalova	ISINMA	995	20.06.2018	11:00
Yalova	ISINMA	995	7.07.2018	09:00
Bilecik	ISINMA	985	15.08.2018	09:00
Bursa	ISINMA	985	7.12.2018	11:00
Esenyurt	ISINMA	985	24.07.2018	12:00
Kocaeli	ISINMA	985	19.10.2018	17:00
Körfez	SANAYİ	985	26.07.2018	11:00
Körfez	SANAYİ	985	13.08.2018	12:00
Limanköy	KIRSAL	985	14.12.2017	14:00
Esenyurt	ISINMA	984	24.12.2015	21:00
Beyazıt Cad.	TRAFİK	981	24.03.2016	02:00
Tekirdağ Merkez	TRAFİK	981	16.02.2016	19:00
Limanköy	KIRSAL	980	8.12.2017	14:00
Kestel	SANAYİ	979	24.03.2016	03:00
Kandıra	KIRSAL	972	5.08.2017	22:00
Kandıra	KIRSAL	966	14.09.2016	23:00
Bozüyük	ISINMA	952	23.03.2018	10:00
Dilovası	ISINMA	951	21.01.2015	19:00
Mecidiyeköy	TRAFİK	935	3.09.2018	03:00
Tekirdağ Merkez	TRAFİK	933	19.10.2016	18:00
Kandilli	GEMİ TRAFİĞİ	931	14.01.2014	22:00
Armutlu	KIRSAL	920	24.03.2016	06:00
İnegöl	SANAYİ	902	28.12.2015	12:00
Bursa	ISINMA	898	1.02.2015	15:00
Bursa	ISINMA	897	25.12.2014	18:00
Mecidiyeköy	TRAFİK	887	30.07.2016	14:00
Bursa	ISINMA	880	24.12.2014	19:00
Edirne	ISINMA	877	19.03.2014	21:00
Başakşehir	SANAYİ	865	1.02.2015	18:00
Şile	KIRSAL	854	2.02.2015	00:00
Kandilli	GEMİ TRAFİĞİ	848	20.11.2016	02:00
Keşan	ISINMA	845	1.02.2015	15:00
Bandırma	ISINMA	824	1.02.2015	18:00
Keşan	ISINMA	820	25.12.2013	19:00
Kırklareli	ISINMA	787	17.09.2016	23:00
Silivri	ISINMA	771	1.02.2015	18:00
Şile	KIRSAL	771	1.02.2015	18:00
Çanakkale	ISINMA	754	29.11.2017	03:00
Beyazıt Cad.	TRAFİK	737	1.02.2015	19:00
Çan	ISINMA	726	28.04.2015	12:00
Kırklareli	ISINMA	725	24.12.2015	19:00
Çan	ISINMA	722	23.01.2015	20:00

İzmit	TRAFİK	720	11.05.2017	11:00
İzmit	TRAFİK	717	15.10.2017	19:00
Ümraniye	TRAFİK	716	1.02.2015	21:00
Bilecik	ISINMA	703	23.03.2018	11:00
Çerkezköy	SANAYİ	683	1.02.2015	18:00
Yeniköy	ISINMA	668	24.03.2016	06:00
Sakarya	ISINMA	664	9.12.2015	23:00
Yeniköy	ISINMA	638	1.02.2015	21:00
Balıkesir	ISINMA	632	6.01.2018	22:00
Çanakkale	ISINMA	618	1.02.2015	15:00
Şirinevler	TRAFİK	617	1.02.2015	23:00
Sakarya	ISINMA	611	1.03.2014	22:00
Üsküdar	TRAFİK	608	24.03.2016	05:00
Balıkesir	ISINMA	576	1.02.2015	19:00
Alikahya	ISINMA	575	24.03.2016	06:00
Sakarya Merkez	TRAFİK	573	26.11.2016	23:00
Sakarya Merkez	TRAFİK	563	1.03.2014	21:00
Lüleburgaz	SANAYİ	518	1.02.2015	13:00

Çizelge 3.2 : Tüm istasyonlardaki $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerlerinin en yüksek olduğu tarih ve saatler.

İstasyon	Tip	$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	$PM_{2.5}$ için Tepe Noktası Tarihi	$PM_{2.5}$ için Tepe Noktası Saati
Keşan	ISINMA	712	7.02.2014	01:00
Keşan	ISINMA	651	17.01.2015	13:00
Ozanlar	ISINMA	483	17.07.2015	12:00
Ozanlar	ISINMA	467	14.01.2014	22:00
Çerkezköy	SANAYİ	424	18.12.2018	17:00
Karaağaç	KIRSAL	340	16.11.2016	22:00
Lapseki	KIRSAL	328	1.02.2015	19:00
Kağıthane	ISINMA	310	16.01.2015	08:00
Ümraniye	TRAFİK	295	24.12.2013	21:00
Kağıthane	ISINMA	291	17.01.2015	22:00
Ümraniye	TRAFİK	289	25.12.2013	23:00
Karaağaç	KIRSAL	285	13.01.2017	01:00
Silivri	ISINMA	250	24.12.2014	18:00
Armutlu	KIRSAL	233	27.04.2017	21:00
Gölcük	ISINMA	204	26.11.2016	00:00
Silivri	ISINMA	202	21.07.2018	02:00
Altınova	ISINMA	201	8.12.2016	20:00
Armutlu	KIRSAL	200	24.03.2016	06:00
Kandıra	KIRSAL	195	17.09.2018	15:00
Gölcük	ISINMA	195	25.03.2017	13:00
Uludağ Üni.	ISINMA	185	24.03.2016	04:00
Altınova	ISINMA	170	17.01.2015	19:00
Kandıra	KIRSAL	166	3.09.2014	20:00

daha da sorunlu hale gelmektedir. Örneğin, yıllık ortalamalar dikkate alındığında sadece Armutlu istasyonu 2018 yılında ve sadece Çanakkale istasyonu 2013 yılında, WHO'nun PM_{10} için belirlediği yıllık ortalama konsantrasyon değerinin (20 µg/m³) altında kaldığı görülmektedir. Çizelge 3.4'de, 24 saatlik ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyonu, WHO limit değerleri ile karşılaştırılmıştır. $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerlerinin, belirlenen 24 saatlik ortalama sınır değerini (25 µg/m³), bir takvim yılında 3 kezden daha fazla aşmaması gerekmektedir (Çizelge 1.1, Url-2). Mart 2013 - Aralık 2018 tarih aralığında, Marmara Bölgesi'nde, 13 istasyonda ölçülen $PM_{2.5}$ konsantrasyon seviyelerinin en başta Keşan, Ozanlar, Kağıthane olmak üzere tüm istasyonlarda 24 saatlik ortalama sınır değerinin yılda 3 kezden çok daha fazla (23 ile 348 gün arasında değişmektedir.) aşıldığı görülmektedir. $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının yıllık ortalama değerleri incelendiğinde, ölçüm yapılan tüm istasyonlardaki yıllık ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerlerinin, WHO'nun $PM_{2.5}$ için belirlediği yıllık ortalama konsantrasyon değerinden (10 µg/m³), yüksek olduğu görülmektedir. Kırsal bölgelerde dahi, gözönüne alınan periyod boyunca, sınır değerin aşılması, Marmara Bölgesi' nin sanayi bölgesi haline gelmiş olmasının yanı sıra, bölgedeki yoğun trafik kaynaklarının da etkisini açıklamaktadır.

3.3 Kentsel ve Kırsal Alanlarda PM_{10} ve $PM_{2.5}$ Konsantrasyonlarının Hafta İçi / Hafta Sonu için Karşılaştırılması

Marmara Bölgesi'nde, PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyon seviyelerinin hafta içi ve hafta sonu değişimleri, hava kalitesinin durumunu etkilemesi bakımından, pek çok yeni bilgiyi ortaya çıkarabilmektedir. Bu analiz için; hafta sonu Cumartesi ve Pazar günü, hafta içi ise diğer günler göz önüne alınmıştır. Mart 2013 – Aralık 2018 tarih aralığında, tüm istasyonlar için, PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının hafta içi ve hafta sonu ortalama değerleri Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6'da gösterilmiştir. Kentsel bölgeye ait 32 istasyonda, PM_{10} konsantrasyonlarının hafta içi değerleri, hafta sonuna göre daha yüksek değerlerdir. Ancak, kırsal bölgelerde ortaya çıkan fark kent merkezlerine göre çok düşük değerlerde bulunmaktadır. Kentsel bölgelere göre tersi bir durum görülmektedir. Örneğin, kırsal bölgede hafta içi ortalama değeri 28,34 µg/m³ iken, hafta sonu ortalama değeri 28,71 µg/m³'dür. Kırsal bölgelerde, hafta içi konsantrasyon değerlerine bakıldığında, 4 PM_{10} ölçümü yapan istasyonlar içinde, 2 istasyonda ortalama değerin üzerindedir. Hafta sonu konsantrasyon değerlerine

bakıldığında ise, 1 istasyonda ortalama değerin üzerindedir. Kentsel bölgede ise, hafta içi ortalama değeri 57,68 µg/m³ iken, hafta sonu ortalama değeri endüstriyel üretimin ve trafik akışının daha az olması nedeniyle, 55,52 µg/m³'dür. Kentsel bölgelerde hafta içi konsantrasyon değerlerine bakıldığında, toplam 34 PM_{10} ölçümü yapan istasyonlar içinde, 13 istasyonda ortalama değerin üzerindedir. Hafta sonu konsantrasyon değerlerine bakıldığında ise, 14 istasyonda ortalama değerin üzerindedir. Hafta sonu ve hafta içi karşılaştırılması yapıldığında iki değer arasındaki farkın en fazla Bozüyük (5,71 µg/m³), Başakşehir (5,44 µg/m³), Kestel (5,24 µg/m³) ve Dilovası istasyonlarında olduğu görülmektedir (5,12 µg/m³). $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının, hafta içi ve hafta sonu seviyeleri arasındaki farkları ise, oldukça düşüktür. Örneğin, kentsel bölgelerde 9 $PM_{2.5}$ ölçümü yapan istasyonlar içinde, hafta içi ortalama konsantrasyon 29,94 µg/m³ iken, hafta sonu ortalama konsantrasyonu 29,73 µg/m³'dür. Kentsel bölgede, hafta içi ve hafta sonu $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerlerine bakıldığında, 2 istasyonda ortalama değerin üzerindedir. Kırsal bölgede, 4 $PM_{2.5}$ ölçümü yapan istasyonlar içinde, hafta içi ortalama konsantrasyon 17,96 µg/m³ iken, hafta sonu ortalama konsantrasyon 18,08 µg/m³'dir. Kırsal bölgede, hafta içi ve hafta sonu $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerlerine bakıldığında, 2 istasyonda ortalama değerin üzerindedir. Hafta sonu ve hafta içi karşılaştırılması yapıldığında, iki değer arasındaki fark en yüksek Uludağ Üni. (1,01 µg/m³), Kağıthane (0.66 µg/m³), Çerkezköy (0,53 µg/m³) istasyonlarında görülmüştür. Bunun yanısıra; Şile (kırsal), Kandıra (kırsal), Kandilli (gemi trafiği), Limanköy (kırsal), Kırklareli (ısınma), Lapseki (kırsal), Karaağaç (kırsal), Keşan (ısınma), Gölcük (ısınma) istasyonlarında ise, tam tersi olarak hafta sonu değerlerinin hafta içi değerlerine göre, daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Kırsal bölge istasyonlarındaki bu sonuçların temel nedeni, hafta sonu kırsal bölgede, araç kullanımın hafta içine oranla daha fazla olması ile açıklanabilir. Benzer bir sonuç Beijing, Çin'in kırsal bölgelerinde $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının hafta sonu – hafta içi dönemlerinde ortaya çıktığı görülmüştür (Yao , 2015).

3.4 Meteorolojik Faktörlerin PM_{10} ve $PM_{2.5}$ Üzerine Etkileri

3.4.1 Rüzgar yönü ve pm_{10}, $pm_{2.5}$ seviyeleri

Hava kirliliği seviyesi ve onun mekansal dağılımı, sadece onun kaynakları ile tanımlanmaz, meteorolojik şartlar tarafından da etkilenir. Meteorolojik değişkenler; hava kirleticilerinin taşınımını, birikimini ve yayılımını etkilemektedir. (Jacob and Winner, 2009; Pearce, 2011.) Rüzgar şiddetinin ve yağışın PM konsantrasyonları üzerinde güçlü bir etkisi vardır. (Li, 2014; Westervelt, 2016; Nguyen, 2017; Zhang, 2015.) Daha yüksek rüzgar şiddeti, genellikle güçlü türbülansları doğurur. Bu durum, kirleticiler için elverişli dispersiyon şartlarına sebebiyet verir (Tian, 2014). PM konsantrasyonlarını sadece rüzgar şiddeti değil, aynı zamanda rüzgar yönü de, hava kirleticilerinin taşınımı ve kirlilik kaynaklarının mekansal dağılımı nedeniyle etkilemektedir (Guerra, 2006; Zhou, 2015). İnce PM konsantrasyonları, rüzgar şiddeti ile kademeli olarak azalabilirken, iri taneli PM konsantrasyonları toz nedeniyle güçlü rüzgar şiddeti ile artabilir (Zhang ve diğerleri, 2017). Rüzgar paterni, şehirdeki gözlenmiş PM_{10} değişimini açıklamada yardımcı olabilmektedir. Bu amaçla, Marmara Bölgesi' nde, Ocak 2014 – Aralık 2018 periyodunda, bölgede yer alan İstanbul, Bursa, Kocaeli, Yalova, Edirne, Çanakkale (MGM'e ait) illerindeki meteoroloji istasyonlarına ait, rüzgar şiddeti ve yönü verileri kullanılarak, PM_{10} değerinin 50 $\mu g/m^3$'den yüksek olduğu seviyelere karşılık gelen, rüzgar şiddetlerinin 1 m/s'e eşit ve daha düşük, 1m/s'den daha büyük rüzgar şiddetleri halinde, rüzgar gülleri gösterilmiştir (Ek A'da Şekil A.52 - A.102).

İstanbul'da; rüzgar hızı 1m/s'ye eşit ve daha düşük hızlı rüzgarlar, belirlenen tarih aralığında ağırlıklı NE yönünden eserken, 1 m/s'den daha hızlı esen rüzgarlar ağırlıklı WNW yönünden esmektedir. Edirne'de; rüzgar şiddeti 1m/s'ye eşit ve daha düşük hızdaki rüzgarlar belirlenen tarih aralığında ağırlıklı NNW, NW yönünden eserken, 1 m/s'den daha hızlı esen rüzgarlar ağırlıklı SSE yönünden esmektedir. Kocaeli'nde; rüzgar şiddeti 1m/s'ye eşit ve daha düşük hızdaki rüzgarlar ile, 1 m/s'den daha hızlı esen rüzgarlar, ağırlıklı ESE,NW yönünden esmektedir. Bursa'da; rüzgar şiddeti 1m/s'ye eşit ve daha düşük hızdaki rüzgarlar, belirlenen tarih aralığında, ağırlıklı ENE yönünden eserken, 1 m/s'den daha hızlı esen rüzgarlar, ağırlıklı WNW yönünden esmektedir. Yalova'da; rüzgar şiddeti 1m/s'ye eşit ve

Çizelge 3.3 : 24 saatlik ortalama PM_{10} konsantrasyonlarının, WHO limit değeri ile karşılaştırılması.

İstasyon	Yıl	Balıkesir	Bandırma	Bilecik	Bozüyük	Bursa	Beyazıt Cad.	İnegöl	Kestel	Çanakkale	Çan	Edirne	Keşan
Geçerli Veri Gün Sayısı	2013	289	274	298	282	245	290	285	294	285	301	282	268
	2014	353	353	330	354	352	350	358	343	303	356	303	339
	2015	343	354	344	351	356	345	339	344	358	336	354	316
	2016	345	353	348	363	342	362	327	335	338	349	348	356
	2017	337	364	342	351	353	353	354	277	346	360	351	353
	2018	343	357	355	364	353	359	354		345	354	346	349
50 µg/m³ sınır değerini aşan gün sayılarının yüzdesi (%)	2013	30	51	36	59	64	76	75	73	1	64	63	68
	2014	27	50	30	54	90	78	71	72	2	63	47	85
	2015	25	37	33	50	93	76	62	65	3	60	47	75
	2016	23	29	27	44	83	60	54	66	3	57	34	60
	2017	37	45	25	52	92	76	55	66	8	60	32	67
	2018	24	34	28	59	94	78	28		16	47	26	49
50 µg/m³ sınır değerini aşan gün sayıları	2013	87	139	108	167	156	220	213	216	3	193	177	181
	2014	94	175	100	192	318	274	255	247	5	223	141	288
	2015	85	130	112	176	330	262	209	223	11	201	166	236
	2016	78	104	93	160	284	217	175	220	9	198	119	214
	2017	126	164	84	184	324	269	196	183	29	217	113	238
	2018	81	120	99	215	331	281	99		56	168	91	170
Ortalama Yıllık PM_{10} konsantrasyonları (µg/m³)	2013	46,08	56,74	50,22	63,55	63,96	77,53	86,77	74,84	17,74	73,48	62,28	77,53
	2014	45,90	55,15	46,06	63,48	96,29	80,16	92,18	70,82	23,13	72,50	52,86	85,61
	2015	44,26	50,81	43,77	56,56	104,90	80,03	79,06	66,71	26,97	70,99	54,74	82,06
	2016	42,54	44,24	43,56	55,25	93,38	73,06	70,70	69,68	23,87	65,05	46,21	71,04
	2017	57,69	52,96	43,18	60,54	100,04	81,92	65,19	66,69	26,25	66,34	45,44	72,42
	2018	46,14	47,98	44,81	61,52	99,23	81,50	42,43		38,03	54,30	44,31	55,27

Çizelge 3.3 devam: 24 saatlik ortalama PM_{10} konsantrasyonlarının, WHO limit değeri ile karşılaştırılması.

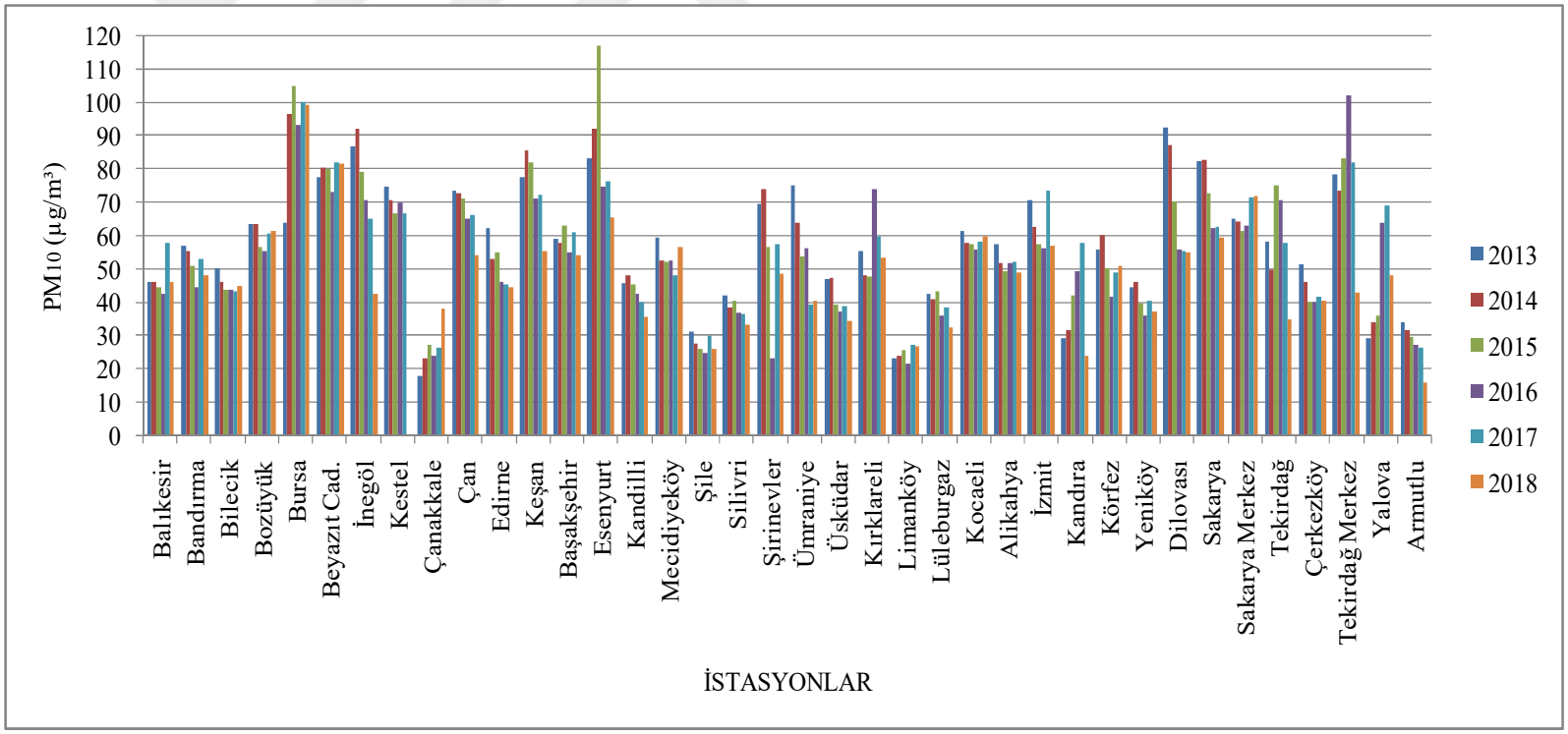
İstasyon	Yıl	Başakşehir	Esenyurt	Kandilli	Mecidiyeköy	Şile	Silivri	Şirinevler	Ümraniye	Üsküdar	Kırklareli	Limanköy	Lüleburgaz
Geçerli Veri Gün Sayısı	2013	282	286	283	277	291	300	268	265	275	264	243	292
	2014	312	355	344	346	364	346	351	333	340	336	294	350
	2015	305	312	341	351	346	342	324	346	353	354	292	322
	2016	342	362	351	355	363	344	353	356	348	349	342	355
	2017	326	348	350	353	361	356	356	341	349	360	302	354
	2018	358	324	351	340	357	359	362	337	344	344	250	353
50 µg/m³ sınır değerini aşan gün sayılarının yüzdesi (%)	2013	48	78	31	54	6	24	69	89	33	48	2	25
	2014	47	84	33	45	3	21	72	61	33	34	2	23
	2015	61	92	28	44	2	20	56	41	25	44	1	24
	2016	43	59	26	45	2	16	6	53	19	82	2	19
	2017	51	70	23	38	6	21	53	25	23	67	4	19
	2018	39	68	16	49	3	13	35	24	16	52	2	13
50 µg/m³ sınır değerini aşan gün sayıları	2013	136	223	87	150	17	73	186	237	91	128	5	72
	2014	147	299	114	156	10	71	254	204	113	113	5	82
	2015	186	287	94	153	7	68	182	141	88	154	4	76
	2016	146	214	93	160	9	56	21	189	67	287	8	68
	2017	167	243	81	133	22	74	189	84	80	240	11	67
	2018	141	221	55	167	12	46	125	82	55	179	4	47
Ortalama Yıllık PM_{10} konsantrasyonları (µg/m³)	2013	59,07	83,26	45,63	59,38	31,30	41,96	69,57	75,16	46,84	55,40	23,03	42,49
	2014	57,90	91,99	48,12	52,52	27,60	38,27	73,96	63,76	47,45	48,01	23,84	40,67
	2015	62,79	116,93	45,39	52,03	25,72	40,28	56,39	53,83	39,35	47,78	25,52	43,41
	2016	54,79	74,57	42,41	52,66	24,88	36,61	23,25	55,94	37,16	73,95	21,48	35,88
	2017	61,06	76,36	39,98	48,01	30,13	36,54	57,23	39,09	38,81	59,76	27,25	38,31
	2018	54,29	65,25	35,57	56,50	25,87	33,29	48,60	40,48	34,33	53,18	26,52	32,53

Çizelge 3.3 devam : 24 saatlik ortalama PM_{10} konsantrasyonlarının, WHO limit değeri ile karşılaştırılması.

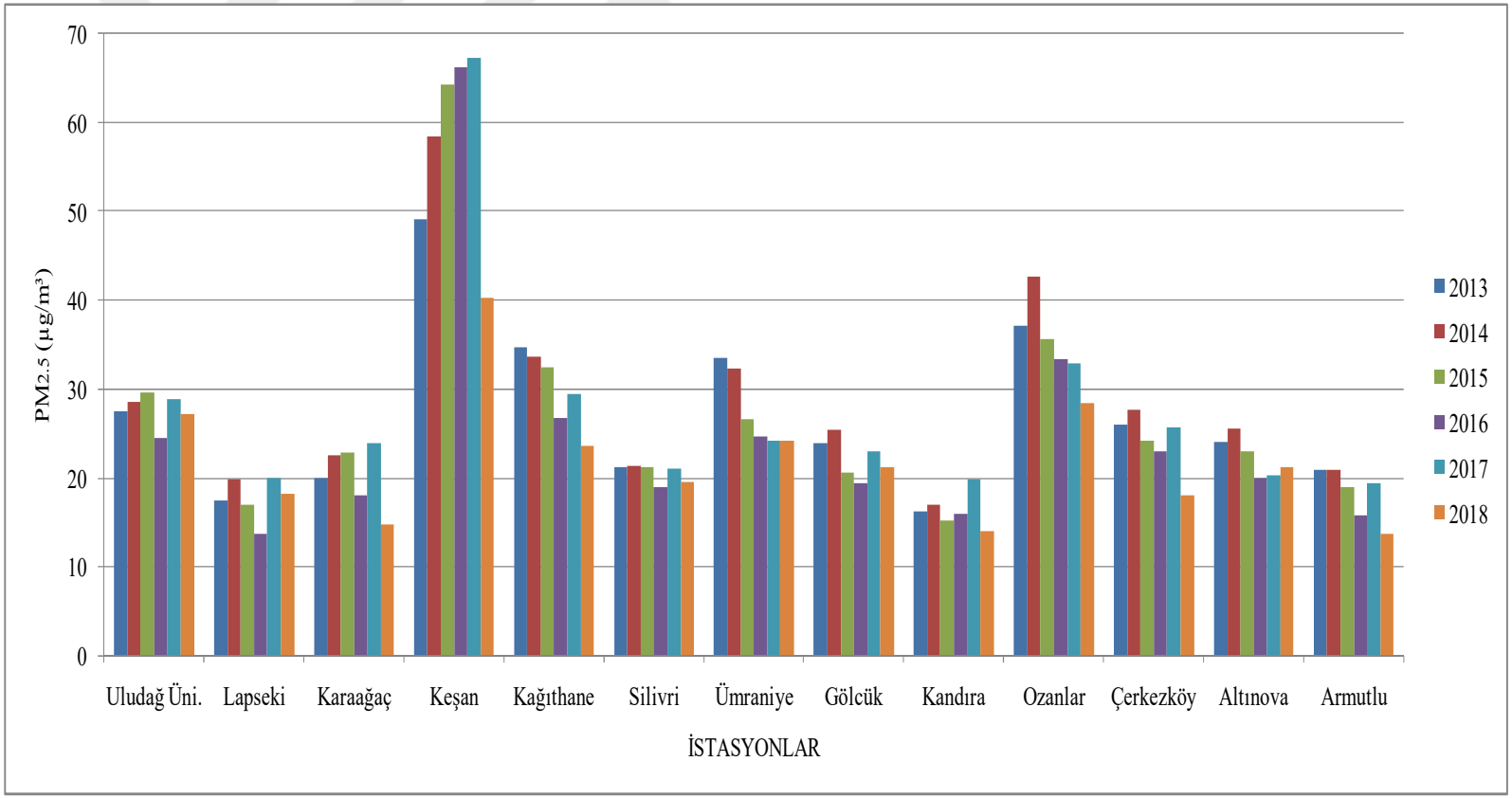
İstasyon	Yıl	Kocaeli	Alikahya	İzmit	Kandıra	Körfez	Yeniköy	Dilovası	Sakarya	Sakarya Merkez	Tekirdağ	Çerkezköy	Tekirdağ Merkez	Yalova	Armutlu
Geçerli Veri Gün Sayısı	2013	302	288	271	269	289	292	257	303	284	254	296	275	302	285
	2014	350	334	342	323	351	308	302	363	356	297	343	352	321	344
	2015	354	338	355	343	352	355	295	357	358	337	350	354	356	328
	2016	305	338	362	354	361	363	362	363	347	330	324	348	330	339
	2017	333	349	357	332	363	365	327	362	357	361	351	355	360	352
	2018	356	347	352	332	357	363	361	349	363	329	359	332	365	353
50 µg/m³ sınır değerini aşan gün sayılarının yüzdesi (%)	2013	51	48	69	7	47	31	88	83	59	49	37	84	6	9
	2014	45	37	47	11	51	23	83	77	46	34	31	69	11	10
	2015	51	37	44	26	41	23	68	67	52	80	25	86	13	6
	2016	52	40	41	34	23	19	41	55	55	74	26	95	61	4
	2017	48	42	62	31	40	27	45	56	68	57	29	81	75	6
	2018	62	36	47	4	42	19	47	58	60	16	24	24	28	1
50 µg/m³ sınır değerini aşan gün sayıları	2013	154	137	188	19	135	90	226	252	167	125	110	232	18	27
	2014	158	122	160	37	178	71	251	281	162	102	105	244	36	34
	2015	179	125	156	90	144	81	200	239	186	269	86	303	47	21
	2016	158	136	149	120	83	69	150	199	191	244	84	330	201	12
	2017	161	145	221	102	146	97	147	204	244	207	103	288	270	21
	2018	220	126	164	12	149	70	169	202	216	51	86	80	101	4
Ortalama Yıllık PM_{10} konsantrasyonları (µg/m³)	2013	61,23	57,21	70,56	29,18	55,88	44,40	92,26	82,38	65,15	58,17	51,40	78,23	29,25	33,89
	2014	57,77	51,64	62,74	31,73	60,10	46,10	86,96	82,73	63,99	49,81	45,95	73,26	33,80	31,75
	2015	57,33	49,30	57,49	41,94	49,99	39,45	70,26	72,53	61,34	75,16	40,11	82,95	35,85	29,61
	2016	55,57	51,52	56,25	49,14	41,70	35,85	55,83	62,33	62,97	70,75	40,19	102,08	63,67	26,92
	2017	58,33	52,21	73,58	57,84	48,69	40,36	55,36	62,46	71,49	57,80	41,64	81,99	69,15	26,49
	2018	59,84	48,94	56,96	23,88	50,92	37,18	54,98	59,32	71,95	34,91	40,41	43,01	48,07	15,72

Çizelge 3.4 : 24 saatlik ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının, WHO limit değeri ile karşılaştırılması.

İstasyon	Yıl	Uludağ Üni.	Lapseki	Karaağaç	Keşan	Kağıthane	Silivri	Ümraniye	Gölcük	Kandıra	Ozanlar	Çerkezköy	Altınova	Armutlu
Geçerli Veri Gün Sayısı	2013	291	214	282	259	278	301	289	294	275	283	277	295	286
	2014	357	218	247	332	329	364	332	357	324	352	337	332	243
	2015	358	333	332	335	333	339	340	350	335	354	351	334	333
	2016	365	359	358	358	353	344	355	356	351	358	350	361	346
	2017	340	346	360	348	344	356	348	349	332	364	354	353	352
	2018	359	340	361	357	355	360	328	362	341	351	353	361	354
25 µg/m³ sınır değerini aşan gün sayılarının yüzdesi (%)	2013	46	17	21	56	58	26	71	31	15	53	40	36	23
	2014	48	33	37	85	55	28	59	35	17	68	42	41	35
	2015	59	11	27	80	50	23	39	27	15	57	33	34	20
	2016	36	6	19	97	41	19	37	26	13	47	35	22	10
	2017	47	25	32	99	52	26	37	37	25	54	40	27	24
	2018	44	19	13	61	32	23	33	29	9	42	21	26	9
25 µg/m³ sınır değerini aşan gün sayıları	2013	134	36	60	144	162	77	206	91	40	150	111	107	65
	2014	170	72	92	282	181	103	197	125	55	238	140	137	85
	2015	210	36	90	269	165	77	133	93	51	203	116	112	66
	2016	130	23	69	348	144	67	130	91	47	170	121	81	35
	2017	161	85	116	345	179	92	128	130	83	196	140	95	83
	2018	157	64	47	216	115	82	109	105	31	147	73	93	33
Ortalama Yıllık $PM_{2.5}$ konsantrasyonları (µg/m³)	2013	27,54	17,49	19,98	49,20	34,69	21,21	33,50	23,96	16,26	37,10	25,98	24,11	20,88
	2014	28,61	19,89	22,48	58,36	33,60	21,38	32,37	25,46	17,02	42,59	27,71	25,59	20,86
	2015	29,58	16,97	22,86	64,29	32,52	21,20	26,65	20,61	15,24	35,55	24,20	22,96	18,90
	2016	24,53	13,75	18,02	66,24	26,75	18,89	24,69	19,45	15,96	33,37	22,95	19,97	15,81
	2017	28,82	20,06	23,88	67,26	29,47	21,05	24,24	23,01	19,88	32,91	25,76	20,27	19,32
	2018	27,23	18,19	14,71	40,31	23,54	19,60	24,24	21,12	13,98	28,40	18,08	21,21	13,72



Şekil 3.11 : Marmara Bölgesi'nde PM_{10} konsantrasyonlarının yıllık ortalama değişimi.



Şekil 3.12 : Marmara Bölgesi'nde $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının yıllık ortalama değişimi.

Çizelge 3.5 : Mart 2013-Aralık 2018 tarih aralığında, tüm istasyonlar için, hafta içi ve hafta sonu ortalama PM_{10} konsantrasyonları.

İstasyon	Balıkesir	Bandırma	Bilecik	Bozüyük	Bursa	Beyazıt Cad.	İnegöl	Kestel	Çanakkale	Çan	Edirne	Keşan
Mart 2013-Aralık 2018 dönemi için Hafta Sonu Ortalama PM_{10} konsantrasyonu ($\mu g/m^3$)	45,09	50,02	44,92	57,73	91,50	78,91	70,47	52,02	25,72	68,22	49,60	71,11
Mart 2013-Aralık 2018 dönemi için Hafta İçi Ortalama PM_{10} konsantrasyonu ($\mu g/m^3$)	47,11	53,08	45,07	63,44	96,24	81,73	72,78	57,26	26,02	68,66	50,72	72,94
FARK ($\mu g/m^3$)	2,01	3,06	0,15	5,71	4,73	2,82	2,31	5,24	0,30	0,44	1,13	1,84

İstasyon	Başakşehir	Esenyurt	Kandilli	Mecidiyeköy	Şile	Silivri	Şirinevler	Ümraniye	Üsküdar	Kırklareli	Limanköy	Lüleburgaz
Mart 2013-Aralık 2018 dönemi için Hafta Sonu Ortalama PM_{10} konsantrasyonu ($\mu g/m^3$)	52,04	79,80	44,53	52,41	28,58	37,34	53,97	52,12	39,64	57,18	21,51	38,65
Mart 2013-Aralık 2018 dönemi için Hafta İçi Ortalama PM_{10} konsantrasyonu ($\mu g/m^3$)	57,48	84,81	42,65	54,17	28,46	38,81	54,66	53,68	40,58	56,27	21,07	39,24
FARK ($\mu g/m^3$)	5,44	5,01	-1,88	1,75	-0,12	1,47	0,69	1,56	0,93	-0,91	-0,45	0,59

Çizelge 3.6 : Mart 2013-Aralık 2018 tarih aralığında, tüm istasyonlar için, hafta içi ve hafta sonu ortalama PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonları.

İstasyon	Kocaeli	Alikahya	İzmit	Kandıra	Körfez	Yeniköy	Dilovası	Sakarya	Sakarya Merkez	Tekirdağ	Çerkezköy	Tekirdağ Merkez	Yalova	Armutlu
Mart 2013-Aralık 2018 dönemi için Hafta Sonu Ortalama PM_{10} konsantrasyonu (µg/m³)	56,15	49,34	61,01	38,63	51,97	38,85	60,20	71,86	65,44	54,36	42,07	75,56	47,83	26,12
Mart 2013-Aralık 2018 dönemi için Hafta İçi Ortalama PM_{10} konsantrasyonu (µg/m³)	59,30	52,46	64,46	36,54	53,01	40,69	65,32	73,83	68,55	55,43	44,29	78,13	48,19	27,32
FARK (µg/m³)	3,15	3,12	3,45	-2,09	1,05	1,84	5,12	1,97	3,11	1,06	2,22	2,56	0,36	1,19

İstasyon	Uludağ Üni.	Lapseki	Karaağaç	Keşan	Kağıthane	Silivri	Ümraniye	Gölcük	Kandıra	Ozanlar	Çerkezköy	Altınova	Armutlu
Mart 2013-Aralık 2018 dönemi için Hafta Sonu Ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyonu (µg/m³)	27,90	17,15	21,00	57,93	29,07	20,84	26,90	22,98	16,01	35,43	24,01	22,50	18,17
Mart 2013-Aralık 2018 dönemi için Hafta İçi Ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyonu (µg/m³)	28,91	17,01	20,53	56,50	29,73	21,12	27,37	22,82	15,99	35,94	24,55	22,56	18,31
FARK (µg/m³)	1,01	-0,14	-0,47	-1,42	0,66	0,27	0,47	-0,16	-0,02	0,51	0,53	0,06	0,14

daha düşük şiddetteki rüzgarlar, belirlenen tarih aralığında, ağırlıklı SE yönünden eserken, 1 m/s'den daha hızlı esen rüzgarlar, ağırlıklı NW yönünden esmektedir. Çanakkale'de ise; rüzgar şiddeti 1m/s'ye eşit ve daha düşük şiddetteki rüzgarlar, belirlenen tarih aralığında, ağırlıklı ENE yönünden eserken, 1 m/s'den daha hızlı esen rüzgarlar, ağırlıklı NE,SW yönünden esmektedir.

3.4.2 Yüksek basınç ve rüzgar şiddetlerinin pm_{10} ve $pm_{2.5}$ seviyeleri üzerine etkisi

Hava kirliliği episodları sıklıkla antisiklonik hava sistemleriyle ilgilidir. Genellikle, yüksek basınç ve düşük rüzgar şiddetleri, kararlı atmosfer koşullarını göstermektedir. Örneğin, İncecik (1996) İstanbul'da hava kirliliği episodları üzerinde yüksek basıncın etkisini incelemiştir. Yine İstanbul için, PM_{10} analizlerinde atmosfer basıncının yükselmesi sonucunda, bu değişimin episodik değerlere yol açtığı görülmüştür. Ocak 2014 – Aralık 2018 tarih aralığına gore, Marmara Bölgesi'nde, 50 $\mu g/m^3$'dan yüksek PM_{10} ve 25 $\mu g/m^3$'dan yüksek $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarına karşılık gelen, atmosfer basınç değerlerindeki değişim Ek A'da Şekil A.52 - A.102'de gösterilmiştir. PM_{10} ve $PM_{2.5}$ ölçümü yapılan her bir istasyon için, 1018 mb yüzey basıncı ve daha yüksek basınçlara gore, 50 $\mu g/m^3$'den daha yüksek konsantrasyonların dağılımını belirtmektedir. Bu tez çalışmasında, kullanılan kritik basınç eşiği Unal et al. (2012) tarafından, İstanbul için belirlenmiştir. Çizelge 3.7'den - Çizelge 3.10'e kadar; Ocak 2014 - Aralık 2018 tarih aralığında, tüm istasyonlar için, yüksek basınç altında (> 1018 mb) ve (1m/s ≥ ve 1 m/s <) rüzgar şiddeti için, ortalama PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerleri sınıflandırılmıştır. Ocak 2014 - Aralık 2018 periyodunda, tüm istasyonlar için, düşük basınç altındaki (< 1018 mb) rüzgar şiddeti (1m/s ≥ ve 1 m/s <) için, ortalama PM_{10} ve $PM_{2.5}$ sınıflandırılması yapılmıştır. Yüksek basınçla birlikte, düşük rüzgar şiddeti beraberinde yüksek PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerlerine sebebiyet verirken, düşük basınç ve yüksek rüzgar şiddeti; düşük PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerlerinin bulunmasına neden olmuştur. Bu iki meteorolojik koşul; Isınma, sanayi, trafik kaynakların hakim olduğu şehirlerde, PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerleri için yarıdan fazla değişim gösterirken, kırsal bölgelerde, önemli bir değişim gözlenmemiştir. Çizelge 3.11 ve Çizelge 3.12'de, PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyoları üzerindeki, meteorolojik parametrelerin (basınç ve rüzgar) etkilerinin varlığını anlayabilmek için, Ocak 2014-Aralık 2018 tarih aralığında, mevsimlik Pearson korelasyon katsayıları

hesaplanmıştır. Ancak, meteorolojik parametreler ve partikül maddeler arasındaki ilişki, Pearson korelasyon katsayıları hesaplamaları ile karşılaştırıldığında zayıf, ya da çok zayıftır. Çok yüksek istatistiksel anlamlılık ($p < 0,001$) bulunmaktadır. En yüksek katsayı değeri, rüzgar için -0,32'dir. Rüzgar şiddetinin artması, ince partiküllerin azalmasında zayıfta olsa etkilidir. Özellikle, kış mevsiminde, $PM_{2.5}$ konsantrasyonu rüzgar etkisiyle seyrelmektedir. PM_{10} konsantrasyonu taşınım nedeniyle yüksek rüzgar şiddetiyle arttığı için, $PM_{2.5}$ değerleri kadar belirgin değildir ancak, kış ve sonbahar mevsiminde rüzgar artışı ile seyreldiği görülmektedir. Aynı durum basınç için geçerli değildir. Ortalama aylık rüzgar şiddetleri, ortalama aylık basınç ve ortalama aylık konsantrasyon değerleri arasındaki ilişki Pearson korelasyon katsayılarını arttırmaktadır. Ancak, bazı istasyonlarda anlamlılığın olmadığını da göstermektedir. Basınç ve rüzgar değerlerinin PM_{10} ve $PM_{2.5}$ üzerindeki etkilerinin daha detaylı araştırılması gerekmektedir. Partikül madde konsantrasyon ölçümü yapılan istasyonlarda, eş zamanlı olarak, basınç ve rüzgar değerlerinin de ölçümünün yapılması, daha kesin ve anlamlı sonuçlara ulaştıracaktır.

3.5 $PM_{2.5}$ /PM_{10} Oranı

İnce taneli partiküller ($PM_{2.5}$) ve iri taneli partiküller ($PM_{2.5-10}$) genellikle farklı kaynaklar tarafından üretilmektedir. Bu nedenle, $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranının değeri parçacık kirliliğinin özelliklerini ortaya koymaktadır (Xu.,et al.2017). Bu oran, atmosferik süreçleri karakterize etmek ve doğrudan $PM_{2.5}$ kirliliğini değerlendirmek için kullanılabilir. $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranlarının pek çok çalışmada 0.22 ile 0.97 arasında değiştiği görülür (M.Angeles Garcia ve diğerleri, 2018; Yingpeng Yu ve diğerleri, 2017). İri taneli partiküllerin önemli katkısı nedeniyle çöl bölgesinde bu oran nispeten düşüktür. Örneğin, Suudi Arabistan' da $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranı 0.33'tür (Khodeir et al.,2012).

Marmara Bölgesi'nde, eş zamanlı olarak PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyon ölçümleri yapılan 6 (Keşan, Silivri, Ümraniye, Kandıra, Çerkezköy, Kandıra) istasyonda, her bir saat için mevsimlik ortalama değerler kullanılarak $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranları hesaplanmış, bunlara ait çizelge (Çizelge 3.13 ve Çizelge 3.16) ve grafikler (Şekil 3.13- Şekil 3.16) oluşturulmuştur.

$PM_{2.5}/PM_{10}$ oranları, 0.22 ile 0.97 arasında değişmektedir. İki değer arasındaki Pearson korelasyon katsayıları da, 0,44 ile 0,89 aralığında ($p < 0,001$) değişmektedir

(Çizelge 3.17). Mevsimlik ortalama $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranları ise, 0,43 ile 0,93 aralığında değişmektedir (Çizelge 3.18). 6 istasyon içinde, mevsimlik ortalama $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranlarının en yüksek olduğu istasyonlar, Keşan ve Armutlu' dur. Marmara Bölgesi'nde, 6 istasyon için $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranları, en yüksek kış mevsiminde ve en az da yaz mevsiminde gerçekleşmiştir.

Kış mevsiminde 6 istasyon için $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranı 0,50 değerinin üzerindedir. Bu durum, belirtilen istasyonlarda, kış mevsiminde ağırlıklı olarak ölçülen partikül maddenin $PM_{2,5}$ olduğunu işaret etmektedir (Yingpeng Yu ve diğerleri, 2017). Kış mevsiminde konutların ısıtılması nedeniyle, artan yakıt tüketimi $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının artışına yol açmaktadır. Bu durum, ısınma mevsimlerinde daha yüksek $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranlarının varlığına yol açmaktadır. Yaz mevsiminde dahi, Keşan (Isınma) ve Armutlu (Kırsal) istasyonlarındaki oran 0,50'nin üzerindedir. Keşan' daki bu durumu sadece trafik (Bozkurt Z., 2018) ile açıklamak mümkün değildir. Keşan'da, Mart 2013 - Aralık 2018 dönemi boyunca yaz mevsiminde, PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonları, saat 11:00-23:00 arasında en yüksek değerlerine ulaşmaktadır. Ayrıca, yılın hemen hemen önemli bir bölümünde SO_2 değerin, standart sınır değerinin çok üzerinde olduğu tesbit edilmiştir (Özşahin E. ve diğerleri, 2016). Keşan'da; 14 adet kömür, 3 adet taş ocağı, 3 adet hazır beton üretim tesisleri bulunmaktadır (Url-11, Url-12). Kömür üretiminin yaygın bir hava kirliliği kaynağı da tozdur. Toz oluşumu, genellikle, delik delme, patlayıcı madde kullanımı, yükleme, taşıma, harmanlama, depolama ve tüketim alanlarına ulaştırma aşamalarında oluşmaktadır. Ayrıca, üretim sırasında, kömürün kendiliğinden tutuşması sonucu, çeşitli gazlar atmosfere yayılarak hava kirliliğine neden olmaktadır. Kömür ocaklarındaki kötü işletmenin Keşan'da yaz $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranının yüksek çıkmasına neden olabilir. Zhao ve diğerleri (2018), yaz mevsiminde $PM_{2.5}$ konsantrasyonları ile O_3 konsantrasyonları arasında pozitif ilişki belirlemiştir. Marmara Bölgesi'nde, Mart 2013 – Aralık 2018 periyodu içerisinde yaz mevsiminde, Armutlu için ortalama O_3 konsantrasyonu 102.4 $\mu g/m^3$'dür. Yüksek O_3 konsantrasyonları, güçlü atmosferik oksidasyon ile ikincil ince partiküllerin fotokimyasal oluşumunun artışını desteklemektedir (Wang ve diğerleri, 2015 ; Wen, 2015). Kırsal bölgedeki uçucu organik bileşikler yüksek VOC_s kentsel bölgelerden O_3 taşınımı, kırsal bölgede yüksek ozon konsantrasyonlarına sebebiyet vermektedir (Sicard ve diğerleri, 2013; Guerreiro ve diğerleri, 2014; Paoletti, 2014). Dolayısıyla,

Çizelge 3.7 : Ocak 2014 - Aralık 2018 tarih aralığında, tüm istasyonlar için, yüksek basınç altındaki (≥1018 mb) rüzgar şiddeti (1m/s≥ ve 1 m/s<) için ortalama PM_{10} sınıflandırılması.

İstasyon	Balıkesir	Bandırma	Bilecik	Bozüyük	Bursa	Beyazıt Cad.	İnegöl	Kestel	Çanakkale	Çan	Edirne	Keşan
basınç ≥ 1018, 1 ≥ rüzgar şartında ; Ortalama PM_{10} konsantrasyonu (µg/m³)	80,43	76,34	53,53	94,56	204,60	178,25	162,58	97,59	34,39	88,99	73,50	110,46
basınç ≥ 1018, 1 < rüzgar şartında ; Ortalama PM_{10} konsantrasyonu (µg/m³)	59,33	58,69	35,06	59,43	119,78	99,67	103,22	63,64	26,88	76,05	52,34	93,50
Fark (µg/m³)	21,11	17,64	18,47	35,13	84,82	78,58	59,36	33,95	7,51	12,94	21,16	16,96

İstasyon	Başakşehir	Esenyurt	Kandilli	Mecidiyeköy	Şile	Silivri	Şirinevler	Ümraniye	Üsküdar	Kırklareli	Limanköy	Lüleburgaz
basınç ≥ 1018, 1 ≥ rüzgar şartında ; Ortalama PM_{10} konsantrasyonu (µg/m³)	72,52	131,00	63,19	66,30	27,89	49,24	68,37	68,25	55,23	80,98	20,49	54,77
basınç ≥ 1018, 1 < rüzgar şartında ; Ortalama PM_{10} konsantrasyonu (µg/m³)	48,14	82,36	37,17	48,57	23,70	34,56	49,24	51,95	35,52	68,75	22,06	42,09
Fark (µg/m³)	24,38	48,64	26,02	17,73	4,19	14,68	19,13	16,30	19,71	12,23	-1,57	12,68

Çizelge 3.8 : Ocak 2014 - Aralık 2018 tarih aralığında, tüm istasyonlar için, yüksek basınç altındaki (≥1018 mb) rüzgar şiddeti (1m/s≥ ve 1 m/s<) için ortalama PM_{10} ve $PM_{2.5}$ sınıflandırılması.

İstasyon	Kocaeli	Alikahya	İzmit	Kandıra	Körfez	Yeniköy	Dilovası	Sakarya	Sakarya Merkez	Tekirdağ	Çerkezköy	Tekirdağ Merkez	Yalova	Armutlu
basınç ≥ 1018, 1 ≥ rüzgar şartında ; Ortalama PM_{10} konsantrasyonu (µg/m³)	78,15	71,36	95,50	36,85	51,87	47,67	84,03	111,29	102,09	65,54	52,13	100,90	61,03	27,96
basınç ≥ 1018, 1 < rüzgar şartında ; Ortalama PM_{10} konsantrasyonu (µg/m³)	46,04	44,38	54,50	22,87	36,58	33,22	56,53	69,72	73,55	59,95	36,87	85,08	45,26	22,71
Fark (µg/m³)	32,11	26,98	41,00	13,98	15,29	14,45	27,50	41,57	28,54	5,59	15,26	15,82	15,77	5,25

İstasyon	Uludağ Üni.	Lapseki	Karaağaç	Keşan	Kağıthane	Silivri	Ümraniye	Gölcük	Kandıra	Ozanlar	Çerkezköy	Altınova	Armutlu
basınç ≥ 1018, 1 ≥ rüzgar şartında ; Ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyonu (µg/m³)	48,95	21,04	32,12	106,18	48,53	31,10	41,77	32,44	25,18	68,55	37,14	26,84	21,78
basınç ≥ 1018, 1 < rüzgar şartında ; Ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyonu (µg/m³)	38,45	17,77	25,17	89,25	32,10	21,36	28,49	20,64	15,65	43,40	24,86	20,78	17,73
Fark (µg/m³)	10,49	3,27	6,94	16,92	16,43	9,74	13,28	11,80	9,53	25,15	12,28	6,06	4,05

Çizelge 3.9 : Ocak 2014 - Aralık 2018 tarih aralığında, tüm istasyonlar için, düşük basınç altındaki (<1018 mb) rüzgar şiddeti (1m/s≥ ve 1 m/s<) için ortalama PM_{10} sınıflandırılması .

İstasyon	Balıkesir	Bandırma	Bilecik	Bozüyük	Bursa	Beyazıt Cad.	İnegöl	Kestel	Çanakkale	Çan	Edirne	Keşan
basınç < 1018, 1 ≥ rüzgar şartında ; Ortalama PM_{10} konsantrasyonu (µg/m³)	53,04	59,95	46,51	75,27	124,07	97,00	76,35	57,82	31,40	67,85	57,50	81,17
basınç < 1018, 1 < rüzgar şartında ; Ortalama PM_{10} konsantrasyonu (µg/m³)	43,49	48,82	43,04	56,87	91,23	74,09	65,26	49,47	27,83	64,20	46,34	67,30
Fark (µg/m³)	9,54	11,14	3,48	18,41	32,84	22,91	11,09	8,35	3,58	3,65	11,16	13,87

İstasyon	Başakşehir	Esenyurt	Kandilli	Mecidiyeköy	Şile	Silivri	Şirinevler	Ümraniye	Üsküdar	Kırklareli	Limanköy	Lüleburgaz
basınç <1018, 1 ≥ rüzgar şartında ; Ortalama PM_{10} konsantrasyonu (µg/m³)	69,92	99,78	50,79	57,81	29,68	43,11	59,27	54,82	46,88	58,45	22,14	44,54
basınç < 1018, 1 < rüzgar şartında ; Ortalama PM_{10} konsantrasyonu (µg/m³)	55,55	73,25	38,19	49,33	26,43	33,52	47,45	45,68	35,15	55,81	21,92	37,25
Fark (µg/m³)	14,37	26,53	12,60	8,48	3,25	9,59	11,82	9,14	11,73	2,64	0,21	7,29

Çizelge 3.10 : Ocak 2014 - Aralık 2018 tarih aralığında, tüm istasyonlar için, düşük basınç altındaki (<1018 mb) rüzgar şiddeti (1m/s≥ ve 1 m/s<) için ortalama PM_{10} ve $PM_{2.5}$ sınıflandırılması.

İstasyon	Kocaeli	Alikahya	İzmit	Kandıra	Körfez	Yeniköy	Dilovası	Sakarya	Sakarya Merkez	Tekirdağ	Çerkezköy	Tekirdağ Merkez	Yalova	Armutlu
basınç < 1018, 1 ≥ rüzgar şartında ; Ortalama PM_{10} konsantrasyonu (µg/m³)	64,90	55,35	68,56	43,11	57,29	40,93	71,59	81,52	74,73	59,23	48,46	86,44	53,91	27,73
basınç < 1018, 1 < rüzgar şartında ; Ortalama PM_{10} konsantrasyonu (µg/m³)	55,92	48,89	56,42	38,96	47,80	37,30	59,93	60,09	59,32	55,11	42,41	75,86	47,41	25,18
Fark (µg/m³)	8,98	6,46	12,14	4,15	9,49	3,63	11,66	21,43	15,41	4,11	6,05	10,58	6,50	2,55

İstasyon	Uludağ Üni.	Lapseki	Karaağaç	Keşan	Kağıthane	Silivri	Ümraniye	Gölcük	Kandıra	Ozanlar	Çerkezköy	Altınova	Armutlu
basınç < 1018, 1 ≥ rüzgar şartında ; Ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyonu (µg/m³)	32,51	20,53	26,35	65,33	32,92	22,76	22,54	23,93	18,66	41,01	29,49	23,16	17,85
basınç < 1018, 1 < rüzgar şartında ; Ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyonu (µg/m³)	26,85	17,88	19,21	52,08	23,85	17,78	29,27	20,73	15,17	30,01	23,10	20,21	16,08
Fark (µg/m³)	5,66	2,65	7,14	13,26	9,07	4,98	-6,73	3,20	3,49	11,00	6,39	2,96	1,77

Çizelge 3.11 : Ocak 2014 - Aralık 2018 tarih aralığında, PM_{10} için mevsimlik Pearson korelasyon katsayıları.

PM10 için PEARSON KORELASYONU	MEVSİM	Başakşehir	Esenyurt	Kandilli	Mecidiyeköy	Şile	Silivri	Şirinevler	Ümraniye	Üsküdar	Balıkesir	Bandırma	Bilecik
BASINÇ	SONBAHAR	-0,12	0,04	-0,08	-0,02	-0,20	-0,03	-0,03	0,09	-0,08	-0,01	-0,01	-0,06
RÜZGAR		-0,17	-0,16	-0,20	-0,22	-0,10	-0,15	-0,19	-0,16	-0,26	-0,19	-0,26	-0,14
BASINÇ	İLKBAHAR	-0,14	0,06	-0,12	-0,10	-0,19	-0,05	0,03	-0,03	-0,12	-0,11	-0,02	-0,18
RÜZGAR		-0,10	-0,15	-0,13	-0,08	0,00	-0,13	-0,11	-0,08	-0,15	-0,02	-0,08	0,06
BASINÇ	YAZ	-0,10	0,03	-0,13	-0,08	-0,18	-0,10	-0,15	-0,07	-0,16	-0,23	-0,16	-0,14
RÜZGAR		0,01	-0,06	-0,15	0,04	-0,03	-0,07	-0,09	0,01	-0,15	-0,01	-0,04	0,08
BASINÇ	KIŞ	-0,03	0,19	0,06	0,07	-0,02	0,11	-0,01	0,15	0,04	0,09	0,07	0,09
RÜZGAR		-0,17	-0,23	-0,19	-0,18	-0,06	-0,13	-0,18	-0,20	-0,21	-0,14	-0,11	-0,10

PM10 için PEARSON KORELASYONU	MEVSİM	Bozüyük	Bursa	Beyazıt Cad.	İnegöl	Kestel	Çanakkale	Çan	Yalova	Armutlu	Edirne	Keşan	Kırklareli	Limanköy
BASINÇ	SONBAHAR	0,00	0,09	0,08	0,07	-0,05	-0,07	-0,04	0,00	-0,16	-0,08	0,12	-0,09	-0,12
RÜZGAR		-0,23	-0,31	-0,30	-0,17	-0,14	-0,15	-0,06	-0,18	-0,22	0,10	-0,05	0,04	0,11
BASINÇ	İLKBAHAR	-0,11	-0,03	-0,04	0,01	-0,13	-0,17	-0,09	-0,09	-0,14	-0,04	0,14	0,00	-0,09
RÜZGAR		-0,05	-0,12	-0,11	-0,04	-0,04	0,09	0,06	-0,08	-0,02	-0,22	-0,19	-0,09	0,04
BASINÇ	YAZ	-0,22	-0,16	-0,28	-0,08	-0,28	-0,20	-0,16	-0,01	-0,13	-0,18	-0,01	-0,04	-0,09
RÜZGAR		-0,24	-0,21	-0,19	0,00	-0,11	0,09	-0,03	0,02	-0,15	0,02	0,04	0,12	0,11
BASINÇ	KIŞ	0,09	0,17	0,19	0,20	0,09	0,00	0,00	0,08	0,07	0,09	0,23	0,24	0,02
RÜZGAR		-0,18	-0,27	-0,32	-0,21	-0,31	-0,02	-0,07	-0,23	-0,17	-0,27	-0,21	-0,20	0,09

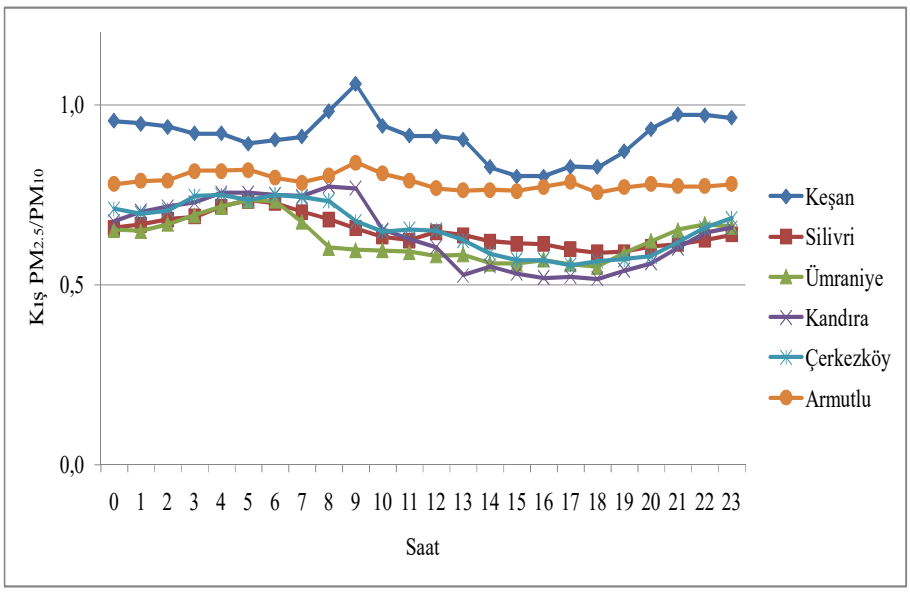
Çizelge 3.12 : Ocak 2014 - Aralık 2018 tarih aralığında, PM_{10} ve $PM_{2.5}$ için mevsimlik Pearson korelasyon katsayıları.

PM_{10} için PEARSON KORELASYONU	MEVSİM	Lüleburgaz	Tekirdağ	Çerkezköy	Tekirdağ Merkez	Kocaeli	Alikahya	İzmit	Kandıra	Körfez	Yeniköy	Dilovası	Sakarya	Sakarya Merkez
BASINÇ	SONBAHAR	-0,08	-0,04	-0,18	-0,01	-0,06	-0,08	0,00	-0,12	-0,10	-0,12	-0,07	0,01	0,01
RÜZGAR		0,02	-0,02	0,02	-0,04	-0,07	-0,06	-0,06	-0,04	-0,10	-0,10	-0,12	-0,18	-0,14
BASINÇ	İLKBAHAR	-0,01	-0,07	-0,15	0,01	-0,18	-0,21	-0,14	-0,06	-0,15	-0,18	-0,07	-0,09	-0,07
RÜZGAR		-0,20	-0,08	-0,12	-0,10	0,02	0,05	-0,01	0,07	-0,03	0,03	-0,08	-0,12	-0,06
BASINÇ	YAZ	-0,03	0,13	-0,23	0,06	-0,04	-0,17	-0,20	-0,08	-0,10	-0,20	-0,21	-0,15	-0,12
RÜZGAR		-0,05	0,09	-0,05	0,06	0,02	0,08	0,10	-0,01	-0,02	0,06	-0,04	0,00	0,04
BASINÇ	KIŞ	0,12	0,10	-0,04	0,09	-0,02	0,03	0,01	-0,04	-0,06	-0,02	0,00	0,09	0,06
RÜZGAR		-0,20	-0,12	-0,10	-0,14	-0,11	-0,09	-0,14	0,01	-0,14	-0,07	-0,11	-0,18	-0,18

$PM_{2.5}$ için PEARSON KORELASYONU	MEVSİM	Gölcük	Kandıra	Ozanlar	Karaağaç	Keşan	Çerkezköy	Altınova	Armutlu	Uludağ Üni.	Lapseki	Kağıthane	Silivri	Ümraniye
BASINÇ	SONBAHAR	-0,26	-0,16	-0,13	0,01	0,15	-0,09	-0,11	-0,04	0,04	-0,09	0,04	0,02	0,05
RÜZGAR		0,06	-0,01	0,09	-0,24	-0,15	-0,15	-0,07	-0,04	-0,29	-0,22	-0,23	-0,19	-0,22
BASINÇ	İLKBAHAR	0,05	0,10	0,15	0,03	0,17	-0,12	-0,04	-0,04	-0,03	-0,20	0,09	0,05	0,07
RÜZGAR		-0,20	-0,16	-0,20	-0,05	-0,07	-0,04	-0,20	-0,22	-0,13	0,05	-0,23	-0,22	-0,24
BASINÇ	YAZ	0,01	-0,04	0,10	-0,06	0,01	-0,19	-0,24	-0,12	-0,11	-0,19	-0,12	-0,16	-0,16
RÜZGAR		-0,13	-0,12	-0,14	-0,08	0,09	-0,13	0,01	-0,15	-0,19	-0,12	-0,20	-0,14	-0,12
BASINÇ	KIŞ	-0,10	-0,06	-0,02	0,15	0,25	0,03	-0,01	0,08	0,21	0,03	0,16	0,18	0,15
RÜZGAR		-0,01	-0,05	-0,11	-0,29	-0,25	-0,18	-0,30	-0,23	-0,31	-0,06	-0,26	-0,25	-0,31

Çizelge 3.13 : Mart 2013 - Aralık 2018 döneminde, kış, saatlik $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranları.

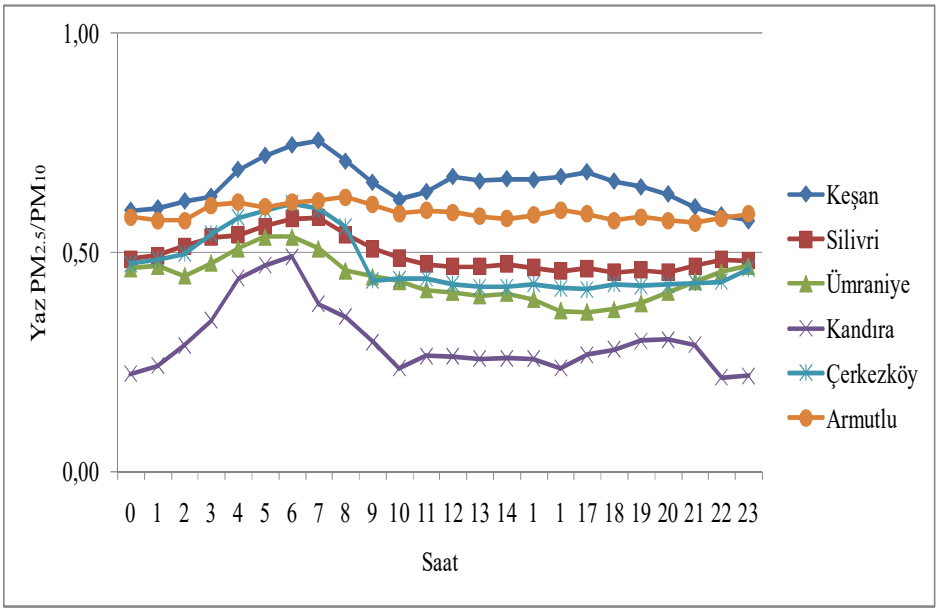
Kış ($PM_{2.5}/PM_{10}$)/ Saat	Keşan	Silivri	Ümraniye	Kandıra	Çerkezköy	Armutlu
00:00	0,95	0,66	0,65	0,68	0,71	0,78
01:00	0,95	0,67	0,65	0,70	0,70	0,79
02:00	0,94	0,68	0,67	0,72	0,71	0,79
03:00	0,92	0,69	0,69	0,73	0,75	0,82
04:00	0,92	0,72	0,72	0,75	0,75	0,82
05:00	0,89	0,73	0,73	0,75	0,73	0,82
06:00	0,90	0,73	0,73	0,75	0,75	0,80
07:00	0,91	0,70	0,67	0,74	0,74	0,78
08:00	0,98	0,68	0,60	0,77	0,73	0,80
09:00	1,06	0,66	0,60	0,77	0,68	0,84
10:00	0,94	0,63	0,60	0,65	0,65	0,81
11:00	0,91	0,62	0,59	0,63	0,65	0,79
12:00	0,91	0,65	0,58	0,60	0,65	0,77
13:00	0,90	0,64	0,58	0,53	0,62	0,76
14:00	0,83	0,62	0,56	0,55	0,59	0,76
15:00	0,80	0,61	0,56	0,53	0,57	0,76
16:00	0,80	0,61	0,57	0,52	0,57	0,77
17:00	0,83	0,60	0,56	0,52	0,55	0,79
18:00	0,83	0,59	0,55	0,52	0,57	0,76
19:00	0,87	0,59	0,59	0,54	0,57	0,77
20:00	0,93	0,61	0,62	0,56	0,58	0,78
21:00	0,97	0,61	0,65	0,60	0,62	0,77
22:00	0,97	0,63	0,67	0,64	0,66	0,77
23:00	0,96	0,64	0,66	0,66	0,68	0,78



Şekil 3.13 : Mart 2013 - Aralık 2018 döneminde, kış mevsiminde, $PM_{2.5}/PM_{10}$'nun günlük değişimi.

Çizelge 3.14 : Mart 2013 - Aralık 2018 döneminde, yaz, saatlik $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranları.

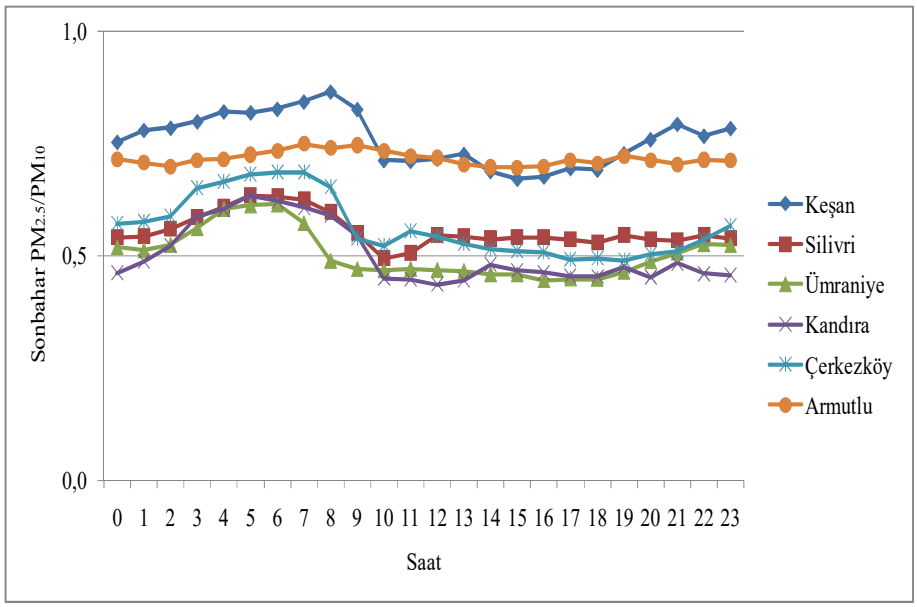
Yaz ($PM_{2.5}/PM_{10}$)/ Saat	Keşan	Silivri	Ümraniye	Kandıra	Çerkezköy	Armutlu
00:00	0,59	0,48	0,46	0,22	0,47	0,58
01:00	0,60	0,49	0,47	0,24	0,48	0,57
02:00	0,62	0,51	0,45	0,29	0,50	0,57
03:00	0,63	0,53	0,48	0,35	0,54	0,61
04:00	0,69	0,54	0,51	0,44	0,58	0,61
05:00	0,72	0,56	0,54	0,47	0,60	0,60
06:00	0,74	0,58	0,54	0,49	0,61	0,61
07:00	0,76	0,58	0,51	0,38	0,60	0,62
08:00	0,71	0,54	0,46	0,35	0,56	0,63
09:00	0,66	0,51	0,44	0,30	0,44	0,61
10:00	0,62	0,49	0,43	0,24	0,44	0,59
11:00	0,64	0,47	0,41	0,26	0,44	0,60
12:00	0,67	0,47	0,41	0,26	0,43	0,59
13:00	0,66	0,47	0,40	0,26	0,42	0,58
14:00	0,67	0,47	0,41	0,26	0,42	0,58
15:00	0,67	0,46	0,39	0,26	0,43	0,58
16:00	0,67	0,46	0,37	0,24	0,42	0,60
17:00	0,68	0,46	0,36	0,27	0,42	0,59
18:00	0,66	0,45	0,37	0,28	0,43	0,57
19:00	0,65	0,46	0,38	0,30	0,42	0,58
20:00	0,63	0,45	0,41	0,30	0,43	0,57
21:00	0,60	0,47	0,43	0,29	0,43	0,57
22:00	0,58	0,48	0,46	0,22	0,43	0,58
23:00	0,57	0,48	0,47	0,22	0,46	0,59



Şekil 3.14 : Mart 2013 - Aralık 2018 döneminde, yaz mevsiminde, $PM_{2.5}/PM_{10}$'nun günlük değişimi.

Çizelge 3.15 : Mart 2013 - Aralık 2018 döneminde, sonbahar, saatlik $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranları.

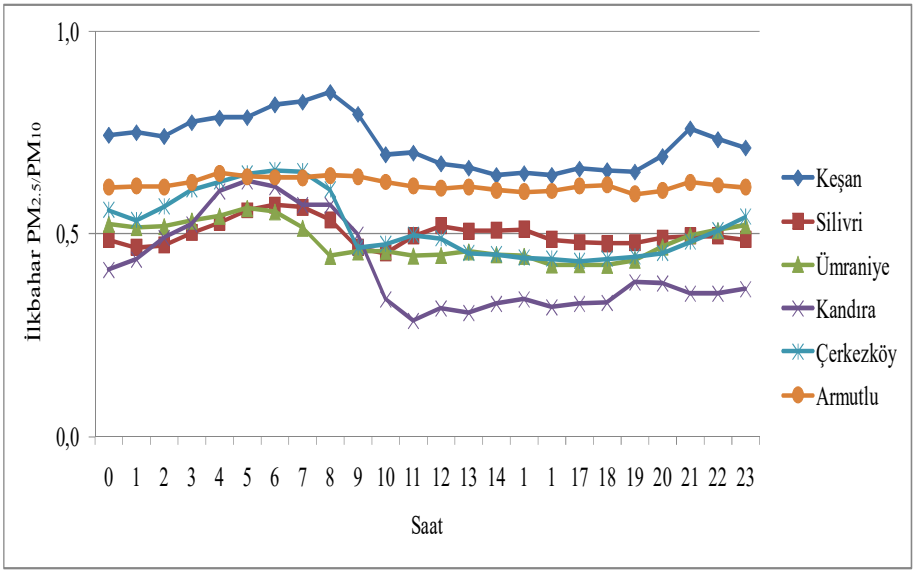
Sonbahar ($PM_{2.5}/PM_{10}$)/ Saat	Keşan	Silivri	Ümraniye	Kandıra	Çerkezköy	Armutlu
00:00	0,75	0,54	0,52	0,46	0,57	0,72
01:00	0,78	0,54	0,51	0,49	0,58	0,71
02:00	0,79	0,56	0,52	0,52	0,59	0,70
03:00	0,80	0,59	0,56	0,59	0,65	0,71
04:00	0,82	0,61	0,60	0,60	0,67	0,72
05:00	0,82	0,63	0,61	0,63	0,68	0,73
06:00	0,83	0,63	0,61	0,62	0,69	0,73
07:00	0,84	0,62	0,57	0,61	0,69	0,75
08:00	0,87	0,60	0,49	0,59	0,65	0,74
09:00	0,83	0,55	0,47	0,55	0,54	0,75
10:00	0,71	0,49	0,47	0,45	0,52	0,73
11:00	0,71	0,51	0,47	0,45	0,56	0,72
12:00	0,72	0,55	0,47	0,44	0,54	0,72
13:00	0,73	0,54	0,47	0,45	0,53	0,70
14:00	0,69	0,54	0,46	0,48	0,52	0,70
15:00	0,67	0,54	0,46	0,47	0,51	0,70
16:00	0,68	0,54	0,45	0,46	0,51	0,70
17:00	0,69	0,54	0,45	0,45	0,49	0,71
18:00	0,69	0,53	0,45	0,45	0,50	0,71
19:00	0,73	0,55	0,46	0,48	0,49	0,72
20:00	0,76	0,54	0,49	0,45	0,51	0,71
21:00	0,79	0,53	0,51	0,48	0,51	0,70
22:00	0,77	0,55	0,53	0,46	0,54	0,71
23:00	0,78	0,54	0,52	0,46	0,57	0,71



Şekil 3.15 : Mart 2013 - Aralık 2018 döneminde, sonbaharda, $PM_{2.5}/PM_{10}$'nun günlük değişimi.

Çizelge 3.16 : Mart 2013 - Aralık 2018 döneminde, ilkbahar, saatlik $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranları.

İlkbahar ($PM_{2.5}/PM_{10}$)/ Saat	Keşan	Silivri	Ümraniye	Kandıra	Çerkezköy	Armutlu
00:00	0,74	0,49	0,53	0,41	0,56	0,62
01:00	0,75	0,47	0,52	0,44	0,53	0,62
02:00	0,74	0,47	0,52	0,49	0,57	0,62
03:00	0,78	0,50	0,53	0,52	0,61	0,63
04:00	0,79	0,53	0,55	0,61	0,63	0,65
05:00	0,79	0,56	0,56	0,63	0,65	0,64
06:00	0,82	0,57	0,56	0,62	0,66	0,64
07:00	0,83	0,57	0,52	0,57	0,65	0,64
08:00	0,85	0,54	0,45	0,57	0,61	0,65
09:00	0,80	0,47	0,46	0,50	0,47	0,64
10:00	0,70	0,45	0,46	0,34	0,47	0,63
11:00	0,70	0,50	0,45	0,29	0,50	0,62
12:00	0,67	0,52	0,45	0,32	0,49	0,61
13:00	0,66	0,51	0,46	0,31	0,45	0,62
14:00	0,64	0,51	0,45	0,33	0,45	0,61
15:00	0,65	0,51	0,45	0,34	0,44	0,60
16:00	0,65	0,49	0,43	0,32	0,44	0,61
17:00	0,66	0,48	0,43	0,33	0,43	0,62
18:00	0,66	0,48	0,42	0,33	0,44	0,62
19:00	0,65	0,48	0,44	0,38	0,44	0,60
20:00	0,69	0,49	0,47	0,38	0,45	0,61
21:00	0,76	0,50	0,50	0,35	0,48	0,63
22:00	0,73	0,50	0,51	0,35	0,51	0,62
23:00	0,71	0,49	0,52	0,37	0,54	0,62



Şekil 3.16 : Mart 2013 - Aralık 2018 döneminde, ilkbaharda, $PM_{2.5}/PM_{10}$' nun günlük değişimi.

yaz mevsiminde Armutlu için $PM_{2.5}/PM_{10}$ değerlerinin 0,5'den büyük çıkması, bölgedeki ozon konsantrasyonlarının ince partikülerin artışını da desteklemesidir. Bu durum, yakın çevresinde yer alan solvent kaynaklarının etkisi ile açıklanabilir.

Çizelge 3.17 : Günlük $PM_{2.5}$ ve PM_{10} konsantrasyonları arasındaki Pearson korelasyon katsayıları.

MEVSİM	Keşan (r)	Silivri (r)	Ümraniye (r)	Kandıra (r)	Çerkezköy (r)	Armutlu (r)
YAZ	0,56	0,55	0,64	0,67	0,67	0,81
İLKBAHAR	0,86	0,79	0,69	0,59	0,84	0,76
SONBAHAR	0,81	0,80	0,65	0,44	0,83	0,77
KIŞ	0,89	0,81	0,75	0,62	0,83	0,77

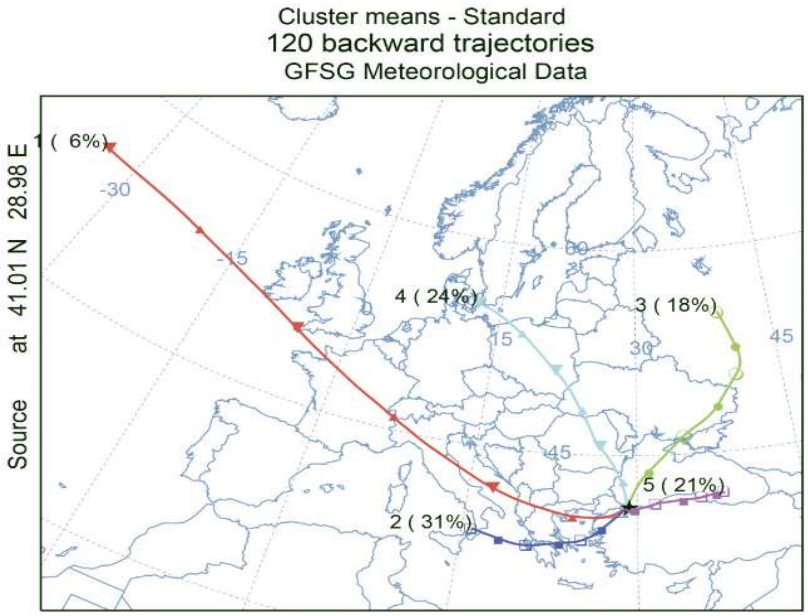
Çizelge 3.18 : Mevsimlik ortalama $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranları ve standart sapmaları.

Ortalama ($PM_{2.5}/PM_{10}$)	Keşan	Silivri	Ümraniye	Kandıra	Çerkezköy	Armutlu
KIŞ	0,88±0,30	0,69±0,27	0,72±0,39	0,74±0,42	0,73±0,71	0,93±0,54
YAZ	0,69±0,36	0,54±0,33	0,49±0,20	0,43±0,24	0,51±0,22	0,62±0,23
SONBAHAR	0,80±0,44	0,60±0,32	0,61±0,64	0,61±0,50	0,61±0,57	0,85±0,71
İLKBAHAR	0,72±0,25	0,56±0,25	0,54±0,27	0,56±0,28	0,56±0,35	0,69±0,29

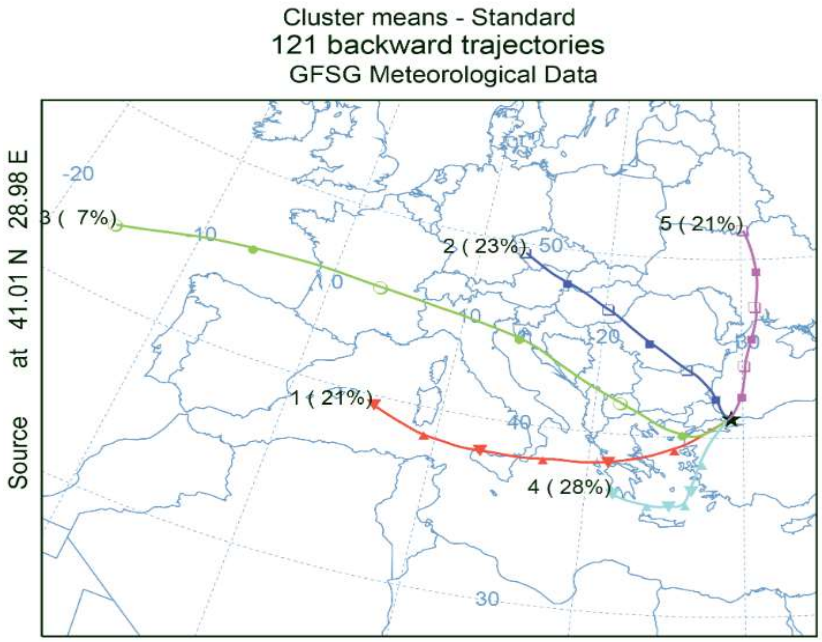
3.6 Geri Yörüngeler için Episodik Günlerde Noaa Hysplit Model Uygulaması, Uzun Menzil Taşınımlar ve Kümelenme (Clustering) Analizi Sonuçları

Hava kütlelerinin ileri ve geri yörüngelerini hesaplamak için çoğunlukla HYSPLIT modeli tercih edilmektedir (Draxel ve Rolf, 2003). Araştırma döneminde elde edilen yüksek PM konsanstrasyonlarının kaynağını tespit etmek amacıyla, belirlenen Şubat 2015- Mayıs 2015 ve Şubat 2016 - Mayıs 2016 dönemleri için, HYSPLIT modeli kullanmış ve geri yörünge hareketleri ile taşınımlar tespit edilmiştir. HYSPLIT modeli, 72 saatlik geri yörünge hareketi ve 1000 m seviyesine göre bu dönem içerisinde yer alan her gün için ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Meteorolojik veri olarak, 0,5 derecelik çözünürlüğe sahip GDAS (Global Data Assimilation System) verisi kullanılmıştır. 72 saatlik period ölçeğinde, iki farklı yıl için elde edilen 120 adet günlük simülasyonlar küme analizi yöntemiyle sınıflandırılmıştır. Küme analizi, yörüngeleri yöne göre gruplandırır ve kaynak bölgelerden partikül taşınımı ile ilgili bir dizi kalıbın tanımlanmasına yol açar. Bu çalışmada, geri yörünge hareketli 5 farklı küme sınıfına ayrılmıştır. Elde edilen kümeleme analizi sonuçlarına göre, 2015 yılındaki dönemde, hava parselleri % 31 İstanbul'un güneyinden gelmektedir. 2016

yılında ise, bu rakam % 28 olarak belirlenmiştir. Sonuçlar Şekil 3.17 ve Şekil 3.18'de gösterilmiştir.



Şekil 3.17 : Noaa Hysplit Şubat-Mayıs 2015 dönemi, geri yörüngeler için kümelenme analiz sonuçları.



Şekil 3.18 : Noaa Hysplit Şubat-Mayıs 2016 dönemi, geri yörüngeler için kümelenme analiz sonuçları.

Bazı özel günlere ait yörünge sonuçları; Şekil 3.19-3.21'de ve Ek A'da Şekil A.103-A.109'da gösterilmiştir. Yüksek PM seviyelerinin gözlendiği bu tarihlerde hava

hareketlerinin Armutlu (Gün içinde ölçülmüş Max. PM_{10} değeri 161 μg/m³), Çanakkale (Gün içinde ölçülmüş Max. PM_{10} değeri 618 μg/m³), Dilovası (Gün içinde ölçülmüş Max. PM_{10} değeri 845 μg/m³), Kocaeli (Gün içinde ölçülmüş Max. PM_{10} değeri 592 μg/m³), Lüleburgaz (Gün içinde ölçülmüş Max. PM_{10} değeri 518 μg/m³), Sakarya (Gün içinde ölçülmüş Max. PM_{10} değeri 583 μg/m³), Tekirdağ (Gün içinde ölçülmüş Max. PM_{10} değeri 969 μg/m³), Ümraniye (Gün içinde ölçülmüş Max. PM_{10} değer 716 μg/m³) istasyonlarına taşınımların, Şile (Gün içinde ölçülmüş Max. PM_{10} değeri 771 μg/m³), Bilecik (Gün içinde ölçülmüş Max. PM_{10} değeri 507 μg/m³) dışında Güney yönünden geldiği görülmüştür. Bunun yanı sıra, Marmara Bölgesi'nde ölçüm yapılan tüm istasyonlarda, 01.02.2015 tarihinde, yüksek konsantrasyon değerleri ölçülmüştür. Marmara Bölgesi'nde, hakim rüzgar yönleri benzer sektörlerde bulunurken, ortalama rüzgar şiddetlerinde farklılıklar olabilmektedir. Bunun da temel sebebi, topoğrafik özellikler ve kara-deniz etkileşimleri olabilmektedir. Örneğin Bursa'da, 1 Şubat 2015'de, gün içinde rüzgar şiddetinin 6,5-16,8 m/s ve ortalama 12,19 m/s olduğu, hakim rüzgar yönünün de Güneygüneybatı olduğu anlaşılmaktadır. Yalova'da, 01.02.2015 tarihinde, gün içinde rüzgar şiddeti 1,8-6,2 m/s aralığında ve ortalama 4,16 m/s bulunurken, hakim rüzgar yönü Güneyli'dir. Edirne'de, 01.02.2015 tarihinde, gün içinde rüzgar şiddetinin 1-9,3 m/s aralığında ve ortalama 5,87 m/s iken, hakim rüzgar yönü Güneyli'dir. Kocaeli'de, 01.02.2015 tarihinde, gün içinde rüzgar şiddetinin 2,2-7,5 m/s aralığında ve ortalama 4,31 m/s; hakim rüzgar yönünün ise Güneygüneybatı ve Güneybatı olduğu görülmektedir. 1 Şubat 2015 günü Çanakkale'de, gün içinde rüzgar şiddetinin 11,3-19,5 m/s aralığında ve ortalama 16,45 m/s olup, hakim rüzgar yönünün ise Güneygüneybatılı olduğu görülmüştür. İstanbul'da, 01.02.2015 tarihinde, gün içinde rüzgar şiddetinin 1,4-5,8 m/s aralığında olduğu, ortalama 3,76 m/s olduğu, hakim rüzgar yönünün Güneybatı olduğu anlaşılmaktadır. Buna göre, 1 Şubat 2015 günü, uzun mesafeli PM_{10} taşınımının Sahra Çölü kaynaklı olduğu ve yüksek rüzgar şiddetiyle taşınımın gerçekleştiği anlaşılmaktadır. İstanbul'da, 24.03.2016 tarihinde, gün içinde rüzgar şiddetinin 1,2-4,7 m/s aralığında olduğu, ortalama 2,47 m/s olduğu, hakim rüzgar yönünün Güneygüneybatılı olduğu görülürken, Çanakkale'de, aynı gün rüzgar şiddetinin 2,9-13,7 m/s aralığında ve ortalama 8,75 m/s ile estiği, hakim rüzgar yönünün de İstanbul'daki duruma sadece yön olarak yakın (Güneybatılı) olduğu belirlenmiştir. Edirne'de, 24.03.2016 tarihinde, gün içinde rüzgar şiddetinin

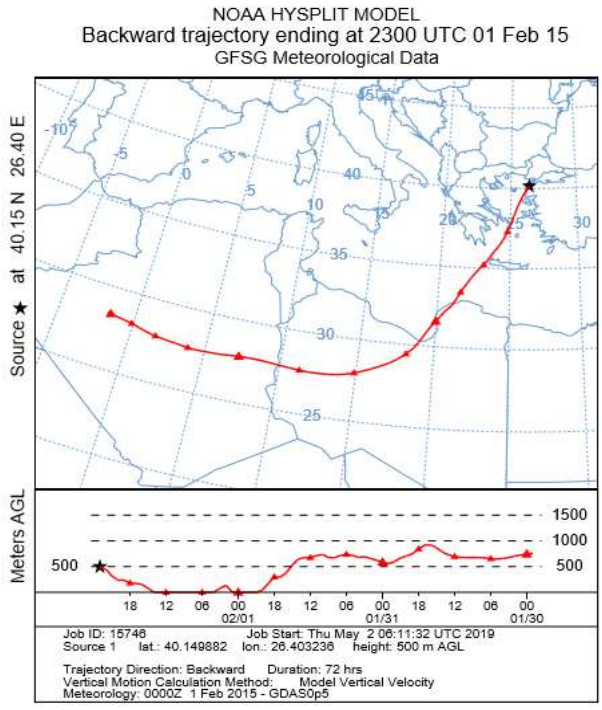
0,8-6 m/s aralığında olduğu, ortalama 3,18 m/s olduğu, hakim rüzgar yönünün Güneygüneydoğu ve Kuzeykuzeybatı'lı olduğu anlaşılmaktadır. Aynı gün Yalova'da, gün içinde rüzgar şiddetinin 1-3,5 m/s aralığında, ortalama 1,93 m/s olduğu, hakim rüzgar yönünün ise Güney'li olduğu görülmektedir. Bursa'da, 24.03.2016 tarihinde, gün içinde rüzgar şiddetinin 2,5-9,1 m/s aralığında olduğu, ortalama 6,37 m/s olduğu, hakim rüzgar yönünün Güneygüneybatı olduğu anlaşılmaktadır. En yüksek PM_{10} değerinin gerçekleştiği 01.02.2015 ve 24.03.2016 tarihleri için, PM taşınımının Sahra Çölü kaynaklı olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Benzer şekilde Marmara Bölgesi'nin 6 istasyonu için bu oran ($PM_{2.5}/PM_{10}$) hesaplandığında 01 Şubat 2015 günü Keşan, Silivri, Ümraniye, Kandıra, Çerkezköy, Armutlu'da tüm değerlerin 0,5 değerinin altında kaldığı bu nedenle de iri taneli partiküllerin (coarse) etkisi anlaşılmaktadır (Çizelge 3.14). 24.03.2016 günü yukarıda belirtilen altı istasyonda, Keşan dışında, saat 14:00'e kadar $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranının 0,5 değerinin altında kaldığı görülmektedir. Belirlenen tarihlerde, PM_{10} partiküllerinin daha etkili olduğu anlaşılmaktadır.

Hava kütlelerinin ileri ve geri yörüngelerini hesaplamak için ise çoğunlukla HYSPLIT modeli tercih edilmektedir. Çalışmalarda elde edilen yüksek PM konsanstrasyonlarının kaynağını tespit etmek amacıyla belirlenen, Şubat 2015-Mayıs 2015 ve Şubat 2016 - Mayıs 2016 dönemleri için, HYSPLIT modeli kullanmış ve geri yörünge hareketleri ile taşınımlar tespit edilmiştir. HYSPLIT modeli, 72 saatlik geri yörünge hareketi ve 1000 m seviyesine göre, bu dönem içerisinde yer alan her gün için ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Meteorolojik veri olarak 0,5 derecelik çözünürlüğe sahip GDAS (Global Data Assimilation System) verisi kullanılmıştır. 72 saatlik periyod ölçeğinde iki farklı yıl için elde edilen 120 adet günlük simülasyonlar küme analizi yöntemiyle sınıflandırılmıştır. Geri yörünge hareketli 5 farklı küme sınıfına ayrılmıştır. Elde edilen kümeleme analizi sonuçlarına göre, 2015 yılındaki dönemde, hava parsellerinin % 31'u, İstanbul'un güneybatısından gelmektedir. 2016 yılında ise % 28'i İstanbul'un güneygüneybatısından geldiği belirlenmiştir (Çizelge 3.19). Geri yörüngeler için cluster analizi Şubat-Mayıs 2015 ve Şubat-Mayıs 2016 dönemlerinde uygulanmıştır (Şekil 3.17, Şekil 3.18). Şubat-Mayıs 2015 dönemi için; % 31 ile İtalya ve Yunanistan, % 21 ile Karadeniz, % 18 ile Danimarka, Polonya, Romanya, Karadeniz, % 18 ile Kırım, Ukrayna, Rusya, % 6 ile Atlantik Okyanusu, Fransa, İtalya ve Yunanistan üzerinden taşınım olduğu anlaşılmaktadır.

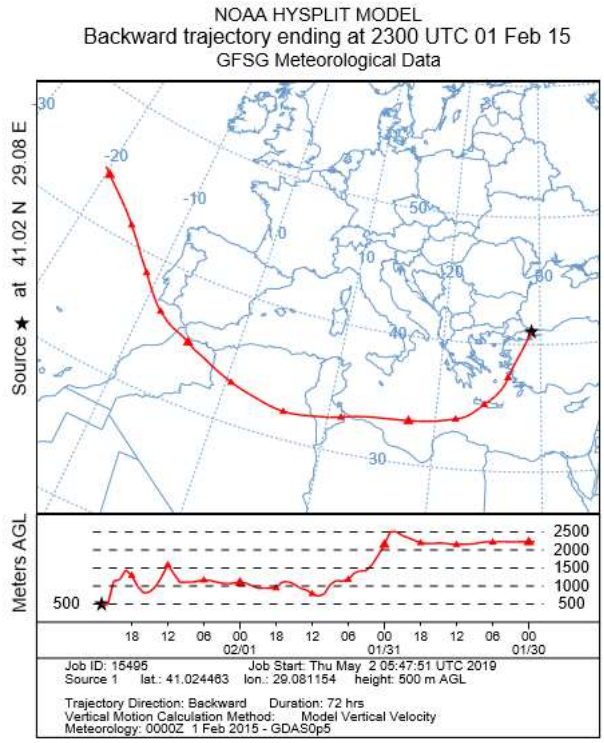
Çizelge 3.19 : Şubat, Mart, Nisan, Mayıs 2015-2016 cluster analizi sonuçları.

2015	%	Yön	2016	%	Yön
2	31	GB	4	28	GGB
4	24	KKB	2	23	KB
5	21	DKD	1	21	BGB
3	18	KD	5	21	KB
1	6	BKB	3	7	BKB

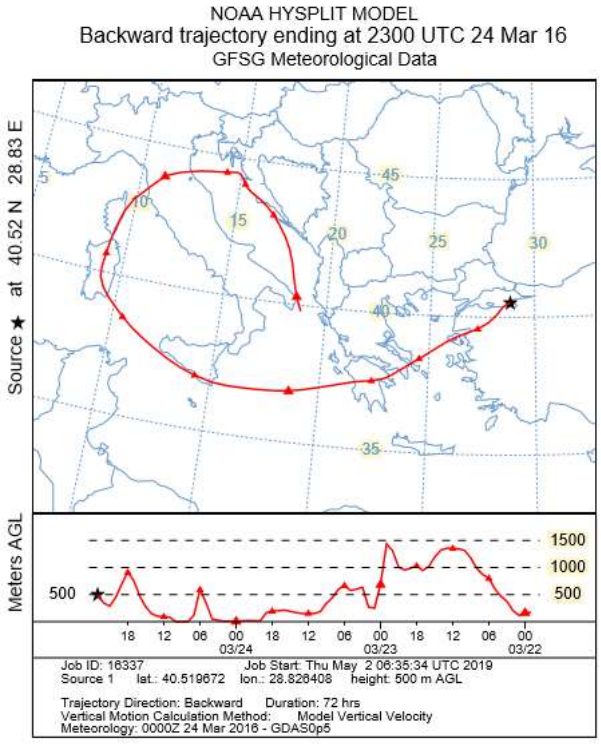
Şubat-Mayıs 2016 dönemi için; % 28 ile Yunanistan, % 23 ile Çek Cumhuriyeti, Macaristan, Romanya, Bulgaristan, % 21 ile Balear Adaları, Sicilya, Yunanistan, % 21 ile Ukrayna, Karadeniz, % 7 ile Atlantik Okyanusu, Fransa, İtalya, Eski Yugoslavya, Bulgaristan, Yunanistan üzerinden taşınım olduğu anlaşılmaktadır. O döneme ait rüzgar gülü, taşınımların 4 hakim rüzgar yönlerinin etisinde olduğunu kanıtlamaktadır. HYSPLIT model uygulamasının sonuçlarına göre Avrupa, Afrika ve Atlantik merkezli taşınımların olduğu analiz edilmiştir. Sahra'dan gelen toz taşınımlar da analiz edilmiştir. Afrika'dan gelen uzun taşınım iri taneli (coarse) toz partikülleri önemli bir katkı sağlamaktadır (Naidja ve diğerleri, 2018). Bazı araştırmalar antropojenik aerosol seviyelerinin Asya'da arttığını göstermekte ve bu durum da, dünya iklimini ve genel sirkülasyonu etkilemektedir (Wang ve diğerleri, 2014).



Şekil 3.19 : Çanakkale istasyonuna ait 01.02.2015 günü Noaa Hysplit model yörüngesi.



Şekil 3.20 : Ümraniye istasyonuna ait 01.02.2015 günü Noaa Hysplit modeli yörüngesi.



Şekil 3.21 : Armutlu istasyonuna ait 24.03.2016 günü Noaa Hysplit model yörüngesi.

4. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasının amacı, Marmara Bölgesi'nde kırsal ve şehir-endüstri alanlarında, toplam 51 bölgede ölçülen PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının, yersel ve zamansal değişimlerini değerlendirmek, bu sonuçlara yol açan etkileri ortaya koyabilmek ve Marmara Bölgesi' ndeki PM_{10} ve $PM_{2.5}$ bilgisini arttırmaktır. Bu amaçla, Marmara Bölgesi'nde PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının, yersel ve zamansal değişimlerini incelemek ve değişimlerin sebeplerini araştırmak üzere, Mart 2013 - Aralık 2018 periyodunda, 8'i kırsal olmak üzere toplam 51 istasyon ölçüm değerleri analiz edilmiştir.

Marmara Bölgesi'nde 38 istasyonda ölçülen PM_{10} konsantrasyon seviyelerinin, en başta Bursa olmak üzere, toplam 33 istasyonda 24 saatlik ortalama sınır değerinin, yılda 35 kezden daha fazla aşıldığı görülmektedir. Bursa'da, 2013-2018 periyodu içerisinde 6 yıl boyunca PM_{10} konsantrasyonlarının 50 $\mu g/m^3$'ü aşan gün sayısı 156 ile 331 gün arasında değişmektedir. Bursa'da PM_{10} seviyelerinde ortaya çıkan aşılma yılın 331 gününe kadar ulaşmaktadır. Kırsal bölge olarak nitelenen Limanköy, Kandıra'da (2013, 2014, 2015, 2016, 2017 yılları hariç), Çanakkale (2018 yılı hariç) ve Şile, Armutlu istasyonlarında 24 saatlik ortalama sınır değerinin yılda 35 kezden daha az aşıldığı görülmektedir. Sağlık bakımından en önemli kirletici olarak değerlendirilen $PM_{2.5}$ için durum, PM_{10}'dan farklı değildir. Örneğin, Mart 2013 - Aralık 2018 tarih aralığında, Marmara Bölgesi'nde 13 istasyonda ölçülen $PM_{2.5}$ konsantrasyon seviyelerinin, en başta Keşan, Ozanlar, Kağıthane olmak üzere tüm istasyonlarda, 24 saatlik ortalama sınır değerinin yılda 3 kezden çok daha fazla (23 ile 348 gün arasında değişen.) aşıldığı görülmektedir.

Bu sonuçlara göre, Marmara Bölgesi hem PM_{10} ve hem de $PM_{2.5}$ konsantrasyonları bakımından ciddi hava kalitesi sorunları taşımaktadır. Örneğin, yıllık ortalama $PM_{2.5}$ değerlerinin, kırsal bölgelerde dahi limitleri aşması, Marmara Bölgesi'nde insan sağlığının ciddi şekilde tehdit altında bulunduğunu işaret etmektedir. Hem PM_{10} ve hem $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerleri, yaz aylarında daha düşük değerlerdedir. Kış ve

sonbahar mevsimlerinde, ısınmadan kaynaklanan partikül madde konsantrasyon değerlerindeki yüksek artış dikkat çekicidir.

Bunun yanı sıra, hafta içi ve hafta sonu (Pazar-Cumartesi) seviyeleri karşılaştırıldığında, kentsel PM_{10} için endüstriyel ve trafik kaynaklı konsantrasyon değerlerinde hafta içerisindeki artış görülmektedir. Kırsal bölgelerde ise, hafta içerisine nazaran hafta sonu $PM_{2.5}$ seviyelerinde, trafik kaynakları ile bağlantılı olduğu tahmin edilen bir artış gözlenmiştir. Kentsel bölgeye ait 32 istasyonda, PM_{10} konsantrasyonlarının hafta içi değerleri hafta sonuna göre daha yüksek değerlerdir. Ancak, kırsal bölgelerde ortaya çıkan fark, kent merkezlerine göre çok düşük değerlerdir. PM_{10} konsantrasyonları için ortalama değer olarak bakıldığında, kırsal bölgelerde bu fark -0.37 $\mu g/m^3$ iken, kentsel bölgelerde 2,16 $\mu g/m^3$'dür. Kırsal bölgede, hafta sonu ortalama PM_{10} konsantrasyonları, hafta içi PM_{10} konsantrasyonlarından daha yüksek olduğu için, negatif bir değer çıkmıştır. $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının, hafta içi ve hafta sonu ortalama değerleri arasındaki farkları ise, oldukça düşüktür. Kentsel bölgelerde bu fark 0,21 $\mu g/m^3$ iken, kırsal bölgelerde bu fark -0,12 $\mu g/m^3$'dür.

PM_{10} konsantrasyonlarının güçlü bir şekilde bölgesel kaynaklardan etkilendiği anlaşılmıştır. Yüksek hızlı rüzgarlar ile taşınımlar, PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerlerinde artışa sebep olmaktadır. Taşınımlarda, rüzgar şiddetinin yüksek olması, sadece PM_{10} konsantrasyonlarının artışında değil, $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının artışında da etkili olabilmektedir. Bu durumda, sadece toz taşınımından bahsedilemez. Taşınan kirleticinin kimyasal içeriği, diğer kirleticilerle etkileşimi ve yaşam ömrü de önemli hale gelmektedir. $PM_{2.5}$ ve PM_{10} genellikle farklı kaynaklar tarafından üretilmektedir. Bu nedenle bu tez çalışmasında, $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranının ortalama günlük mevsimsel değişimleri, 6 istasyon için araştırılmıştır. Bu oranın değeri, parçacık kirliliğinin özelliklerini ortaya koymaktadır.

Meteorolojik faktörlerin PM üzerindeki etkisini anlamak üzere, basınç için 1018 mb, rüzgar şiddeti için de 1 m/s kriteri uygulanarak, ortalama konsantrasyon değerleri dikkate alınarak, sınıflandırma yapılmıştır. Buna göre, yüksek basıncın PM konsantrasyon seviyeleri üzerindeki etkisi, sanayi, trafik, ısınma özelliği gösteren istasyon bölgelerindeki konsantrasyon değerlerinin iki kat yükselmesine yol açarken, kırsal bölgelerde benzer bir artışa sebep olmadığı anlaşılmıştır. Ancak, gün içindeki değişimlere göre bakıldığında rüzgar için, Pearson korelasyon hesaplamalarının

sonuçlarına göre bu ilişkinin zayıf olduğu yönündedir. Basınç için, belirgin bir durum bulunmamaktadır. PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının her ikisi de, zayıf da olsa kış aylarında rüzgar şiddetinden etkilenmektedir. Her iki partikül maddenin ölçüm yapıldığı istasyonlar karşılaştırıldığında; $PM_{2.5}$ konsantrasyonları, PM_{10} konsantrasyonlarına göre kışın rüzgar şiddetinden daha fazla etkilenmektedir. Bu durum, özellikle atropojenik kirliliğin olduğu istasyonlarda daha belirgin iken, kırsal bölge için Armutlu ve Karaağaç istasyonları hariç, aynı durum geçerli değildir. Güneybatılı rüzgarların etkisiyle, belirli günlerde konsantrasyon değerlerini ciddi bir şekilde arttırarak en yüksek değerlere ulaşmasında, toz taşınımlarının da etkisi bulunmaktadır.

Sonuç olarak, Marmara Bölgesi, yüksek nüfus yoğunluğu, sanayi, trafik ve ısınma ağırlıklı özellikler gösteren bir bölgedir. PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerlerinin, WHO limit değerlerinin üzerinde olmasında, başta endüstriyel faaliyetler olmak üzere bütün kaynakların etkisinin varlığı anlaşılmaktadır. Ayrıca, rüzgar şiddeti gibi meteorolojik faktörün, PM_{10} ve $PM_{2.5}$ seviyeleri üzerinde az da olsa bir etkisi bulunduğu belirlenmiştir. Özellikle ilkbahar aylarında seçilen dönemler için, bölgede ölçülen yüksek PM_{10} konsantrasyonları üzerinde, uzun menzil taşınımın katkısı, HYSPLIT geri yörüngeleri ile açıkça görülmektedir.

Bütün bu değerlendirmeler; Marmara Bölgesi'nde, hem $PM_{2.5}$ hem de PM_{10} kaynakları bakımından, etkili bir hava kalitesi yönetim planının, karar vericiler tarafından yaşama bir an önce geçirilmesini gerekli kılmaktadır.

KAYNAKLAR

Bozkurt, Z. (2018)**.** PM_{10} ve $PM_{2.5}$ Boyutundaki Atmosferik Partiküllerin Bölgesel, Mevsimsel Değişimlerinin ve Meteorolojik Parametelerle İlişkilerinin İncelenmesi, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi,

Brauer, M., Freedman, G., Frostad, J., van Donkelaar, A., Martin, R.V., Dentener, F., van Dingenen, R., Estep, K., Amini, H., Apte, J.S. (2016). Ambient Air Pollution Exposure Estimation for the Global Burden of Disease 2013. Environ. Sci. Technol., 50, 79–88.

Chaloulakou, A., Kassomenos P., Spyrellis N., Demokritou P., Koutrakis P. (2003) . Measurements of PM_{10} and $PM_{2.5}$ particle concentrations in Athens, Greece. Atmos. Environ. ; 37:649–660.

de Miranda, RM., de Fatima Andrade M, Fornaro A, Astolfo R, de Andre PA, Saldiva P. (2012). Urban air pollution: a representative survey of $PM_{2.5}$ mass concentrations in six Brazilian cities, Air Qual Atmos Health. 5:63-77

Draxler, R.R. and G.D.Rolph. (2003). HYSPLIT Model, Silver Spring, MD:NOAA Air Resources Laboratory.

EEA Report. (2016). Air Quality in Europe, 28-2016.

Grivas, G., A.Chaloulakou, P.Kassomenos. (2008). An overview of the PM10 pollution problem in the metropolitan area of Athens, Greece,Science of the Total Environment, 38, 165-177.

Guerreiro, C.B.B.; Foltescu, V.; Leeuw, F.D. (2014). Air quality status and trends in Europe. Atmos. Environ., 98, 376–384.

Guerra, S.A., Lane, D.D., Marotz, G.A. (2006). Effects of wind direction on coarse and fine particulate matter concentrations in southeast Kansas. J Air Waste Manag Assoc 56:1525–1531.

Guo, S., Hu, M., Zamora, ML. (2014). Elucidating severe urban haze formation in China. Proc Natl Acad Sci USA 111:17373–17378.

Hewitt, C.N., Jackson, A.V. (2009). Atmospheric Science for Environmental Scientists. Particulate Matter in the Atmosphere (Vol.7, pp.169), UK: Wiley-Blackbell.

Hoek, G., Meliefste, K., Cyrys, J., Lewne, M., Bellander, T., Brauer, M., Fischer, P., Gehring, U., Heinrich, J., van Vliet, P., Brunekreef, B. Spatial. (2002). Variability of fine particle concentrations in three European areas. Atmos. Environ. ; 36:4077–4088.

Huang, J., Li, F., Zeng, G., Huang, X., Liu, W., Wu, H., Li, X. (2016). Integrating hierarchical bioavailability and population distribution into potential eco-risk assessment of heavy metals in road dust: A case study in Xiandao District, Changsha city, China. Sci. Total Environ., 541, 969–976.

Huang, RJ., Zhang, Y., Bozzetti, C. (2014). High secondary aerosol contribution to particulate pollution during haze events in China. Nature 514:218–222.

Hui Zhao , Youfei Zheng, and Chen Li. (2018). Spatiotemporal Distribution of $PM_{2.5}$ and O_3 and Their Interaction During the Summer and Winter Seasons in Beijing, China.

Idris, I.B., Ghazi, H.F., Zhie, K.H., Khairuman, K.A., Yahya, S.K., Abd Zaim, F.A., Nam, C.W., Abdul Rasid, H.Z., Isa, Z.M. (2016). Environmental Air Pollutants as Risk Factors for Asthma Among Children Seenin Pediatric Clinics in UKMMC, Kuala Lumpur. Ann. Glob. Health, 82, 202–208.

İncecik, S.,U.Im, Yenigun, O., Odman, M.T., Kindap, T., Topcu, S., Tek, A. (2010). İstanbul da hava kalitesinin araştırılmasında meteorolojik alanların simülasyonuları, Tübitak-COST Projesi 105Y005.

İncecik, S. (1994). Hava Kirlenmesi, İTÜ Yayınları.

İncecik, S. and U.İm. (2012). U.İm, Air Pollution in Megacities: Book Chapter in "Air Pollution - Monitoring, Modelling and Health", Edited by Mukesh Khare, 2012, ISBN 978-953-51-0424-7, Published: March 23, 2012 Intech Open Access Publisher.

İncecik, S. (1996). An investigation of the atmospheric conditions in İstanbul leading to air pollution episodes. Atmospheric Environment, 30,101-111.

Jacob, D.J., Winner, D.A. (2009). Effect of climate change on air quality. Atmos Environ 43:51–63.

Jie, L., Peng, Y.,Wensheng, L., Agudamu, L. (2014). Comprehensive Assessment Grade of Air Pollutants based on Human Health Risk and ANN Method. Procedia Eng., 84, 715–720.

Kasparoğlu, S. (2017). Spatial and temporal variation of O_3, NO and NO_2 cconcentrations Rural and Urban Sites in Marmara Region of Turkey (Yüksek Lisans Tezi) İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Khodeir, M., Shamy, M., Alghamdi, M., Zhong, M., Sun, H., Costa, M., Chen, L.C. and Maciejczyk, P. (2012). Source apportionment and elemental composition of PM2.5 and PM10 in Jeddah city, Saudi Arabia. Atmos. Pollut. Res. 3, 331–340.

Kulkarni, P.S.; Bortoli, D.; Silva, A.M. (2013). Nocturnal surface ozone enhancement and trend over urban and suburban sites in Portugal. Atmos. Environ., 71, 251–259.

Langrish, J.P., X.Li, S.Wang, M.M.Lee, G.D.Barnes, M.R.Miller. (2012). Reducing personal exposure to particulate air pollution improves

cardiovascular health in patiens with coronary heart disease. Environmental Health Perspectives, 120, 367-372.

Leitte, A.M., U.Schlink, O.Herbarth, A.Wiedensohler, X-C.Pan, M.Hu. (2011). Size segregated particle number concentrations and respiratory emergency room visits in Beijing, China, Env. Health Perspectves, 119. 508-513.

Li, F.; Zhang, J.; Jiang, W.; Liu, C.; Zhang, Z.; Zhang, C.; Zeng, G. (2017). Spatial health risk assessment and hierarchical risk management for mercury in soils from a typical contaminated site, China. Environ. Geochem. Health, 39, 923–934.

Li, L., Qian, J., Ou, C.Q. (2014). Spatial and temporal analysis of Air Pollution Index and its timescale-dependent relationship with meteorological factors in Guangzhou, China, 2001–2011. Environ Pollut 190, pp. 75–81.

Li. N.,M.Hao, R.F.Phalen, W.C.Hinds, A.E.Nela. (2003). Particulate air pollutants and asthma A paradigm for the role of oxidative stress in PM-induced adverse health effects, Clinical Immunology 109, 250–265.

Lu.R and R.P.Turco. (1995). Air pollution transport in a coastal environment II Three-dimensional simulations over Los Angeles Basin, Atmospheric Environment, 29, 1499-1518.

M. Ángeles García , M. Luisa Sánchez , Adrián de los Ríos, Isidro A. Pérez, Nuria Pardo, Beatriz Fernández-Duque. (2018). Analysis of PM_{10} and $PM_{2.5}$ Concentrations in an Urban Atmosphere in Northern Spain.

Markovic, D., M.,D.A.Markovic, A.Jovanovic, L.Lazic and Z.Milic. (2008). Determination of O_3, NO_2, SO_2, CO and PM_{10} measured in Belgrade urban area. Environmental Monitoring and assessment, 145, 349-359.

Naidja L, Ali-Khodja H, Khardi S. (2018). Sources and levels of particulate matter in North African and Sub-Saharan cities: a literature review. Environ Sci Pollut R 25:12303–12328

Nguyen, M.-V., Park, G.-H., Lee, B.-K. (2017). Correlation analysis of size - resolved airborne particulate matter with classified meteorological conditions. Meteorol Atmos Phys 129:35–46.

Özşahin, E; Eroğlu, İ.; Pektezel, H. (2016). Keşan' da (Edirne) Hava Kirliliği. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi.

Paoletti, E.; Marco, A.D.; Beddows, D.C.S.; Harrison, R.M.; Manning, W.J. (2014). Ozone levels in European and USA cities are increasing more than at rural sites, while peak values are decreasing. Environ. Pollut., 192, 295–299.

Pearce, J.L., Beringer, J., Nicholls, N. (2011). Quantifying the influence of local meteorology on air quality using generalized additive models. Atmos Environ 45:1328–1336.

Sicard, P.; Marco, A.D.; Troussier, F.; Renou, C.; Vas, N.; Paoletti, E. (2013). Decrease in surface ozone concentrations at Mediterranean remote sites and increase in the cities. Atmos. Environ., 79, 705–715.

Tian, G., Qiao, Z., Xu, X. (2014). Characteristics of particulate matter (PM10) and its relationship with meteorological factors during 2001–2012 in Beijing. Environ Pollut 192:266–274.

Topcu, S., S.İncecik and Y.S.Ünal. (2003). The influence of meteorological conditions and stringent emission control on high episodes in Istanbul, Env. Science and Pollution Research , 10 (1), 24-32.

Unal, Y.S., A.Deniz, H.Toros and S.Incecik. (2011). Influence of meteorological factors and emission sources on spatial and temporal variations of PM10 concentrations in Istanbul metropolitan area, Atmospheric Environment, 45,5504-5513.

Wang Y, Zhang R, Saravanan R. (2014). Asian pollution climatically modulates mid-latitude cyclones following hierarchical modelling and observational analysis. Nat Commun 5:3098. https ://doi. org/10.1038/ncomm s4098**.**

Wang, Z.S.; Li, Y.T.; Chen, T.; Zhang, D.W.; Sun, F.; Wei, Q.; Dong, X.; Sun, R.W.; Huan, N.; Pan, L.B. (2015). Ground-level ozone in urban Beijing over a 1-year period: Temporal variations and relationship to atmospheric oxidation. Atmos. Res., 164–165, 110–117.

Wang, Z.S.; Li, Y.T.; Chen, T.; Li, L.J.; Liu, B.X.; Zhang, D.W.; Sun, F.; Wei, Q.; Jiang, L.; Pan, L.B. (2015). Changes in atmospheric composition during the 2014 APEC conference in Beijing. J. Geophys. Res. Atmos., 120, 12695–12707.

Wen, L.; Chen, J.M.; Yang, L.X.; Wang, X.F.; Xu, C.H.; Sui, X.; Yao, Y.; Zhu, Y.H.; Zhang, J.M.; Zhu, T.; et al. (2015). Enhanced formation of fine particulate nitrate at a rural site on the North China Plain in summer: The important roles of ammonia and ozone. Atmos. Environ., 101, 294–302.

Westervelt, D.M., Horowitz, L.W., Naik, V. (2016). Quantifying $PM_{2.5}$ meteorology sensitivities in a global climate model. Atmos Environ 142:43–56.

Wu, L., Zhong, Z., Liu, C., Wang, Z. (2017). Examining $PM_{2.5}$ Emissions Embodied in China's Supply Chain Using a Multiregional Input-Output Analysis. Sustainability, 9, 727.

Xu, G., Xu, L.Jiao, B. Zhang, S. Zhao , M. Yuan , Y. Gu , J. Liu, X. Tang. (2017), Spatial and Temporal Variability of the PM2.5 / PM10 Ratio in Wuhan, Central China, Aerosol and Air Quality Research, 17: 741–751.

Xu, J., Jiang, H., Xiao, Z., Wang, B., Wu, J., Lv, X. (2016). Estimating Air Particulate Matter Using MODIS Data and Analyzing Its Spatial and Temporal Pattern over the Yangtze Delta Region. Sustainability, 8, 932.

Xu, S.; Zhang,W., Li, Q., Zhao, B.,Wang, S., Long, R. (2017). Decomposition Analysis of the Factors that Influence Energy Related Air Pollutant Emission Changes in China Using the SDA Method. Sustainability, 9, 1742.

Y.Xie,B.Zhao,L.Zhang, R.Luo. (2015). Spatiotemporal variations of $PM_{2.5}$ and PM10 concentrations between 31 Chinese cities and their relationships with SO_2, NO_2, CO Yao. L, L.Ning, X.Yue, D.Jia, C.Yang, 2015, Comparison of Hourly $PM_{2.5}$ Observations Between Urban and Suburban Areas in Beijing, China, Int J Environ Res Public Health. 12, 12264–12276.

Yingpeng Yu1, Jiaying Wang, Jiashu Yu, Hongquan Chen, Min Liu. (2017). Spatial and Temporal Distribution Characteristics of $PM_{2.5}$ and PM_{10} in the Urban Agglomeration of China's Yangtze River Delta, China.

Zhang, B., Jiao, L.,Xu, G., Zhao, S., Tang, X., Zhou, Y., Gong, C. (2017). Influences of wind and precipitation on different-sized particulate matter concentrations ($PM_{2.5}$, PM_{10}, $PM_{2.5–10}$)

Zhang, H., Wang, Y., Hu, J. (2015). Relationships between meteorological parameters and criteria air pollutants in three megacities in China. Environ Res 140:242–254.

Zhou, W., Tie, X., Zhou, G., Liang, P. (2015). Possible effects of climate change of wind on aerosol variation during winter in Shanghai, China. Particuology 20:80–88.

Url-1<https://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>, erişim tarihi Eylül 2019.

Url-2<http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects of-particulate-matter-final-Eng.pdf> **,** erişim tarihi Eylül 2019.

Url-3<http://www.tuik.gov.tr/>, erişim tarihi Nisan 2019.

Url-4<http://www.argesanayibulusmasi.com/index.php/sanayi/>, erişim tarihi Nisan 2019.

Url-5<https://osbbs.sanayi.gov.tr/ >, erişim tarihi Nisan 2019.

Url-6<https://www.enerjiatlasi.com/komur/ >, erişim tarihi Nisan 2019.

Url-7<https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Komur >, erişim tarihi Nisan 2019.

Url-8<https://www.tcma.org.tr/tr/istatistikler/aylık-veriler>, erişim tarihi Nisan 2019.

Url-9<https://www.mgm.gov.tr/>, erişim tarihi Nisan 2019.

Url-10<https://uym.ibb.gov.tr/kurumsal/haberler-ve-duyurular/tüik-motorlu-kara-taşıtları-mayıs-2019-raporunu-yayınladı>, erişim tarihi Eylül 2019.

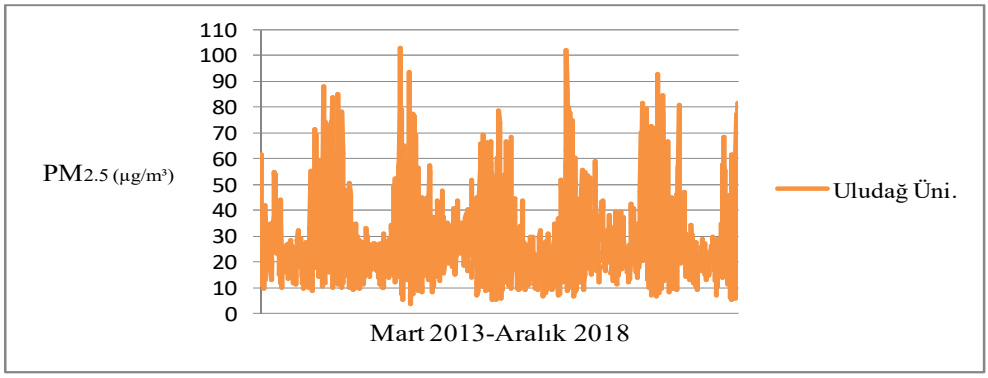
Url-11<http://www.malkara.bel.tr/malkara/ekonomi/madenler>, erişim tarihi Eylül 2019.

Url-12<https://www.wikiwand.com/tr/Keşan>, erişim tarihi Eylül 2019**.**

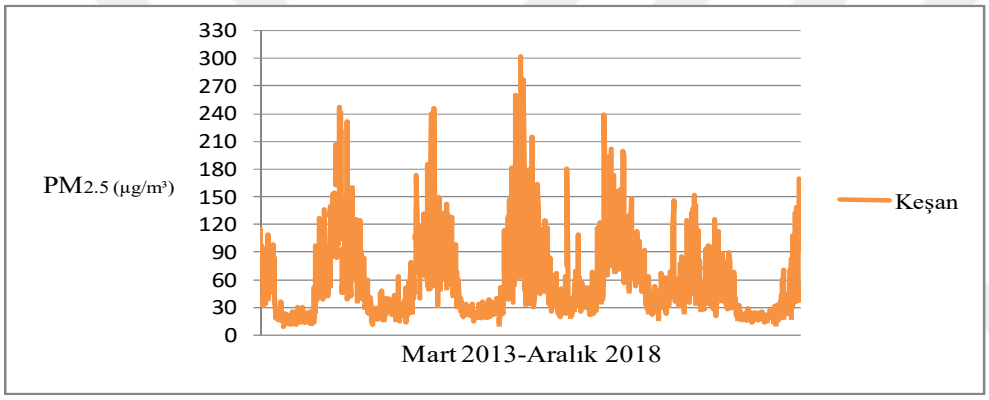
EKLER

EK A : Şekiller

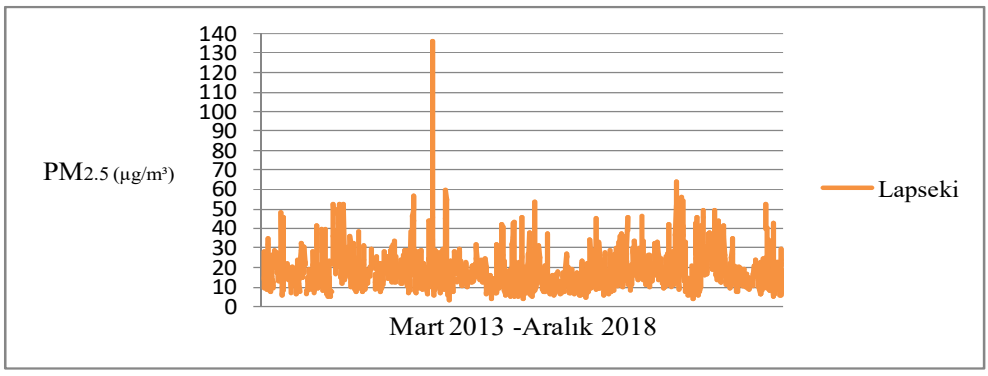
EK A



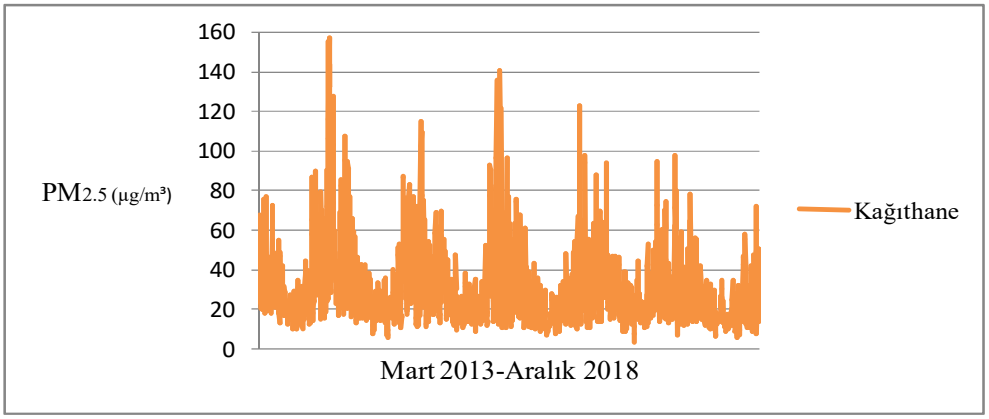
Şekil A.1: Bursa Uludağ istasyonu için Günlük ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



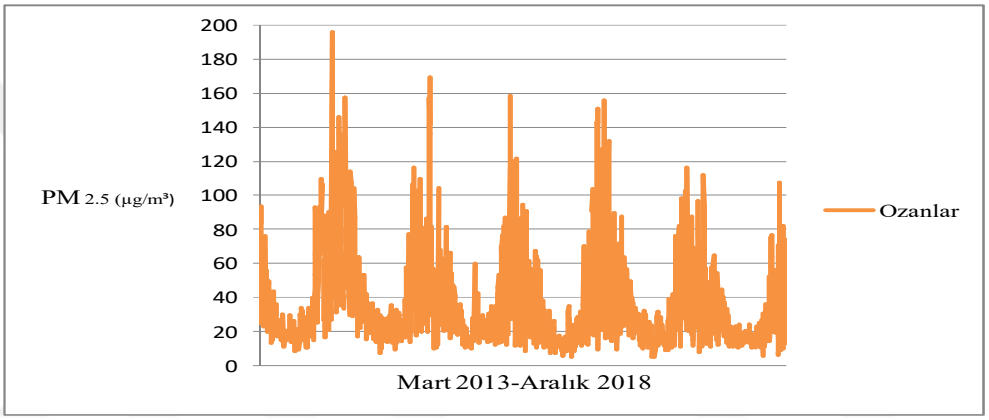
Şekil A.2: Edirne Keşan istasyonu için Günlük ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



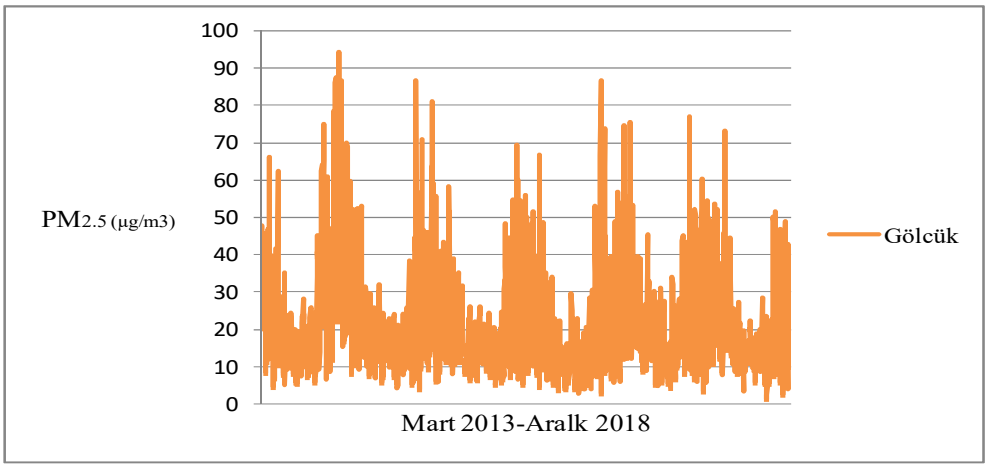
Şekil A.3: Çanakkale Lapseki istasyonu için günlük ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



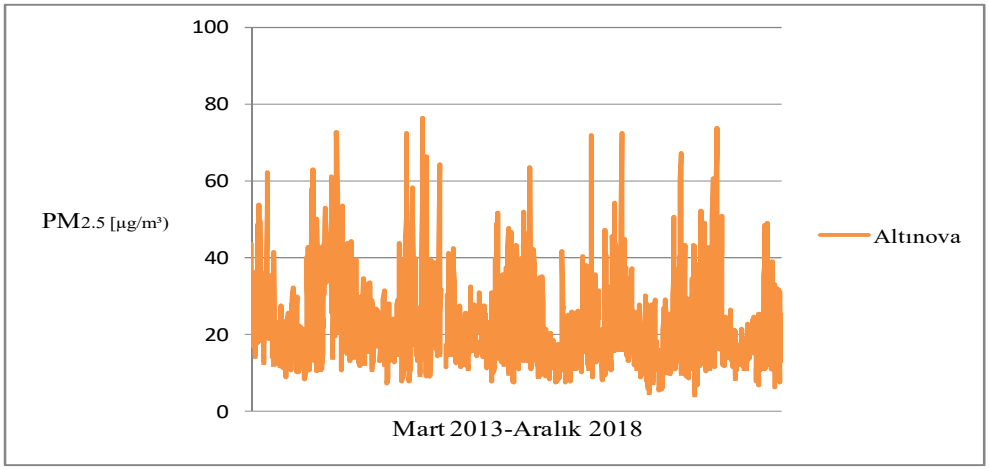
Şekil A.4: İstanbul Kağıthane istasyonu için günlük ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



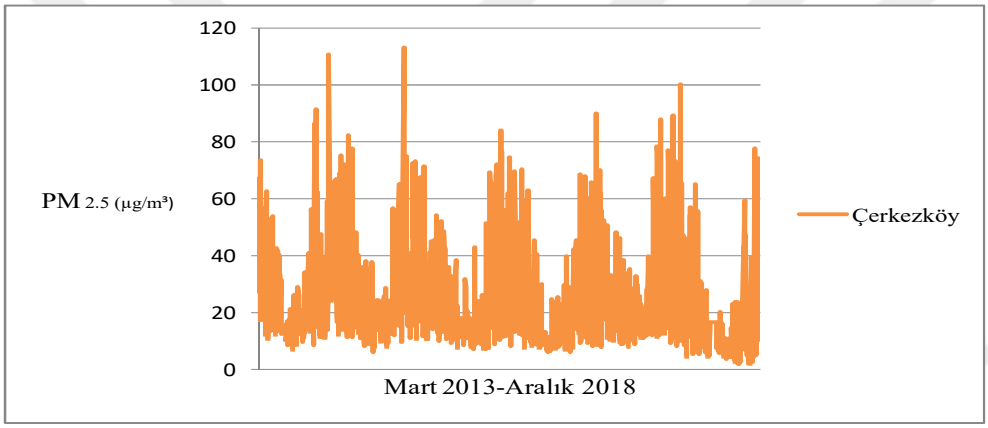
Şekil A.5: Sakarya Ozanlar istasyonu için günlük ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



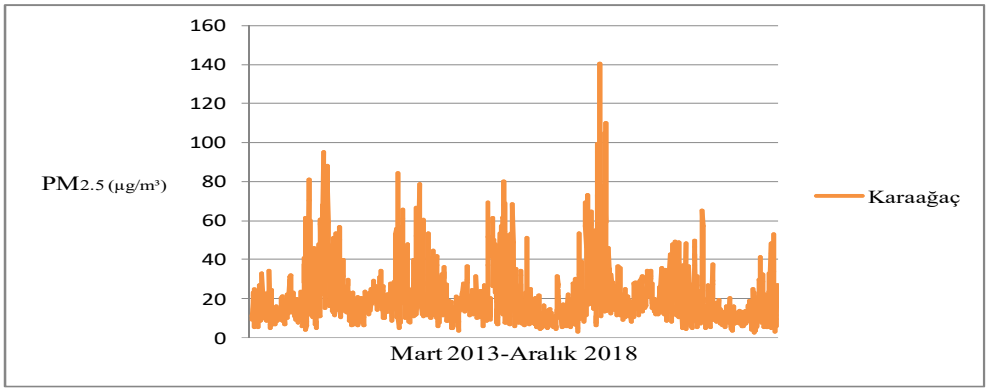
Şekil A.6: Kocaeli Gölcük istasyonu için günlük ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



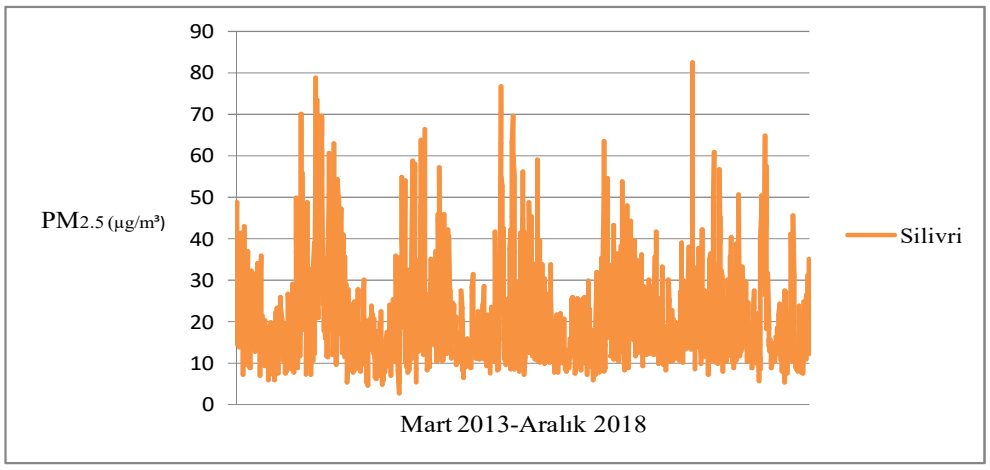
Şekil A.7: Yalova Altınova istasyonu için günlük ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



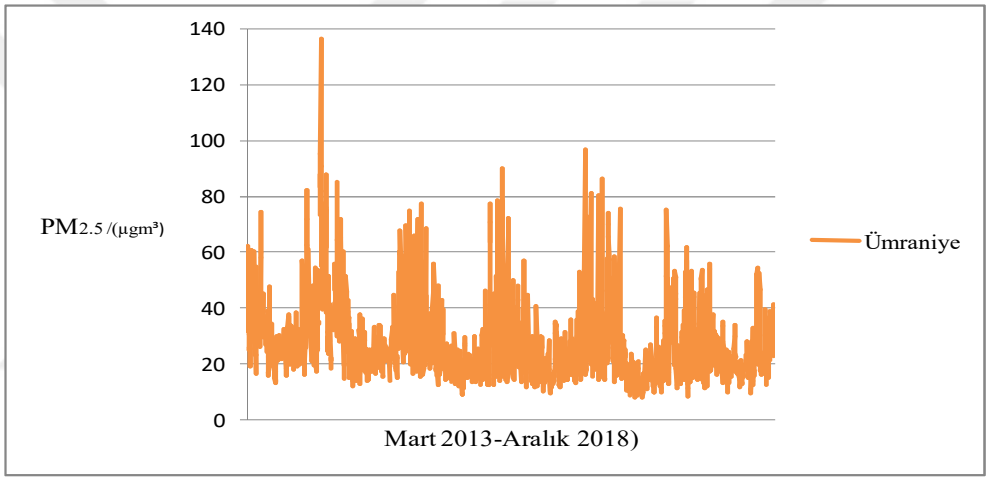
Şekil A.8: Tekirdağ Çerkezköy istasyonu için günlük ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



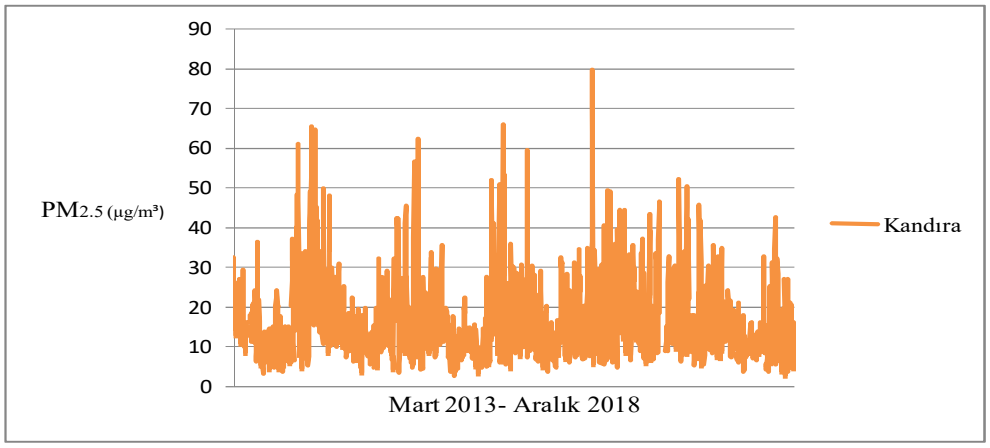
Şekil A.9: Edirne Karaağaç istasyonu için günlük ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



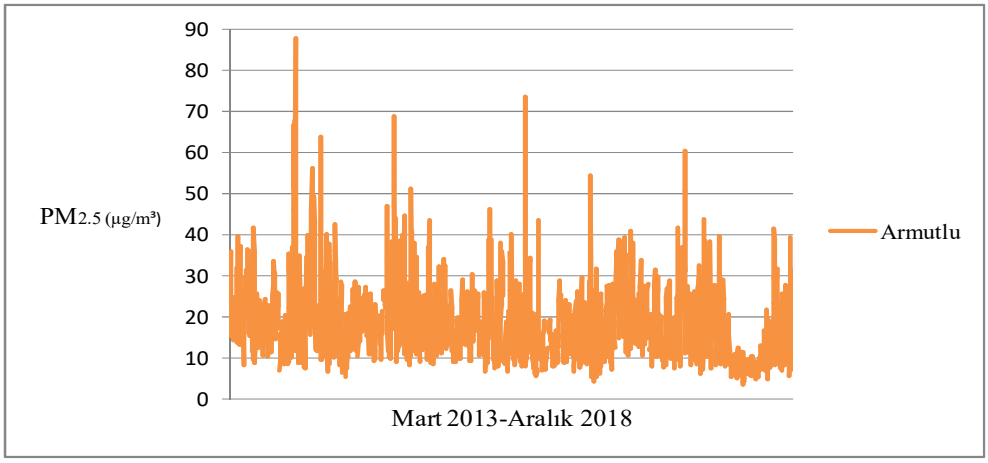
Şekil A.10: İstanbul Silivri İstasyonu için günlük ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



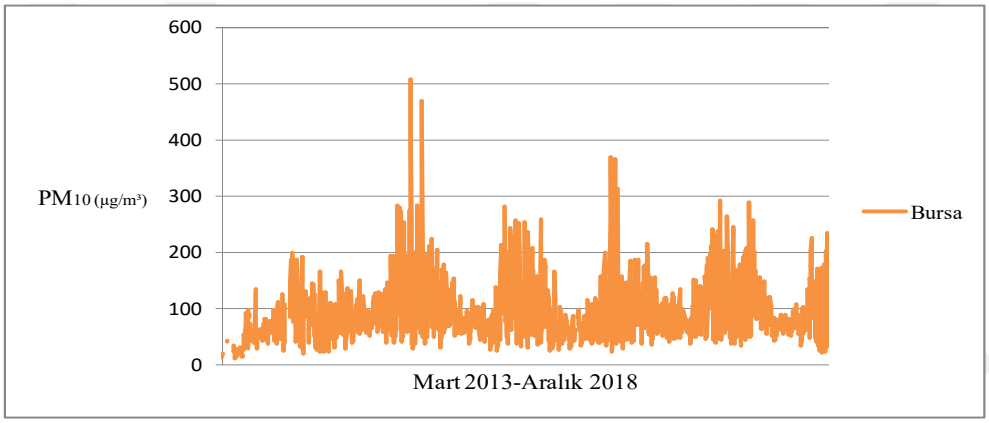
Şekil A.11: İstanbul Ümraniye istasyonu için günlük ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



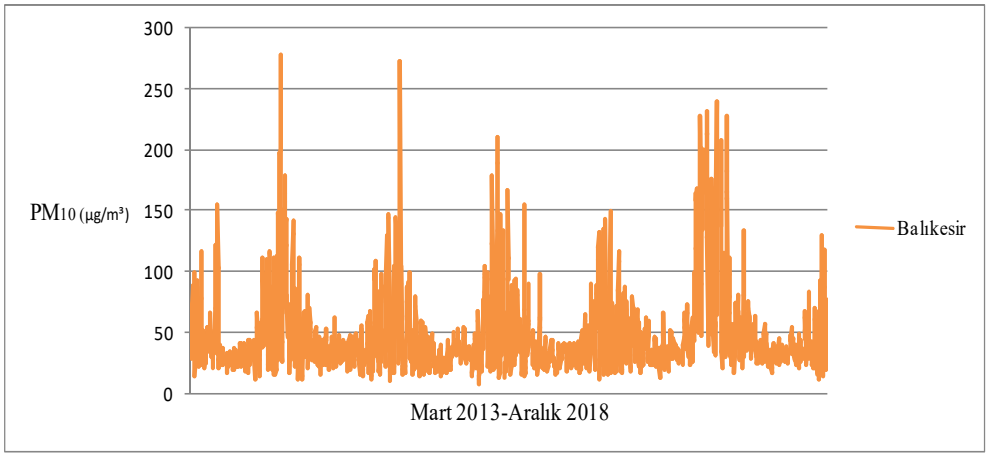
Şekil A.12: Kocaeli Kandıra istasyonu için günlük ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



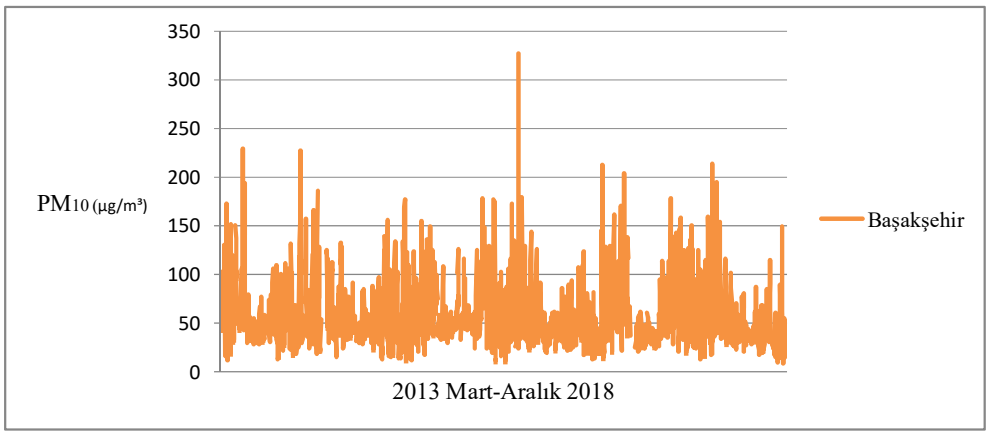
Şekil A.13 : Yalova Armutlu istasyonu için günlük ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



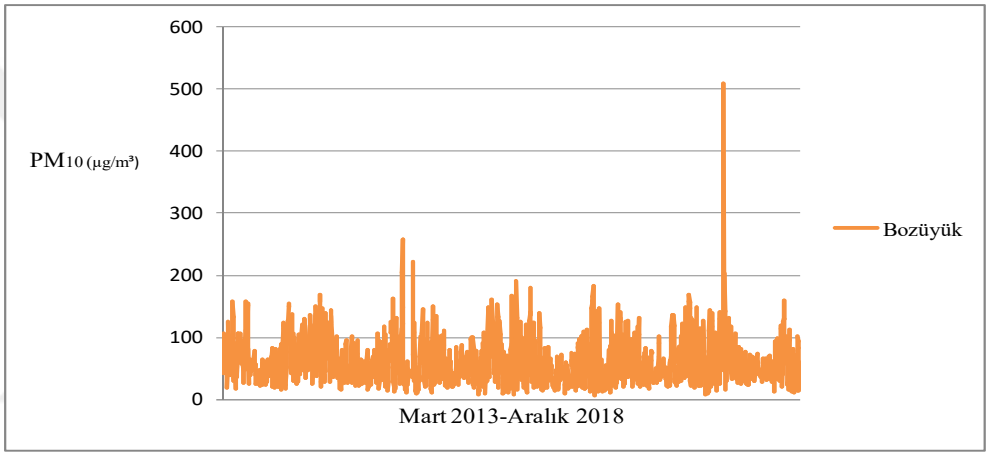
Şekil A.14 : Bursa istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



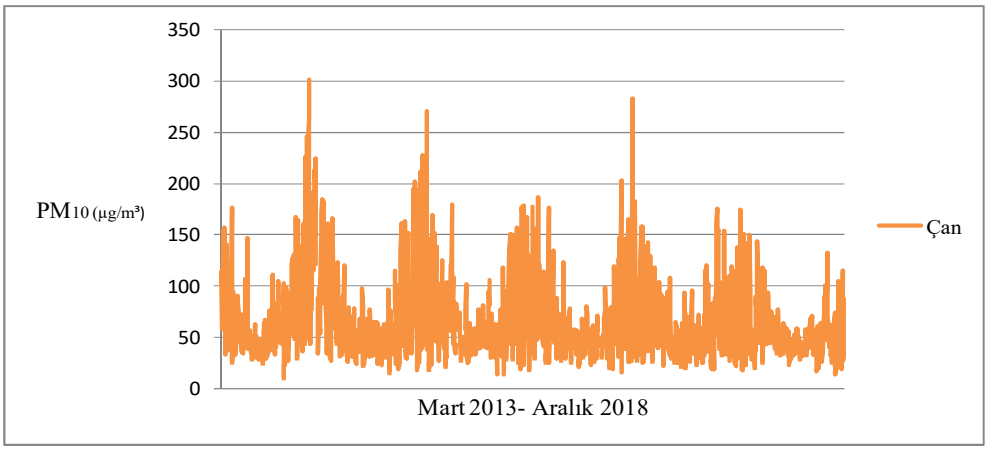
Şekil A.15 : Balıkesir istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



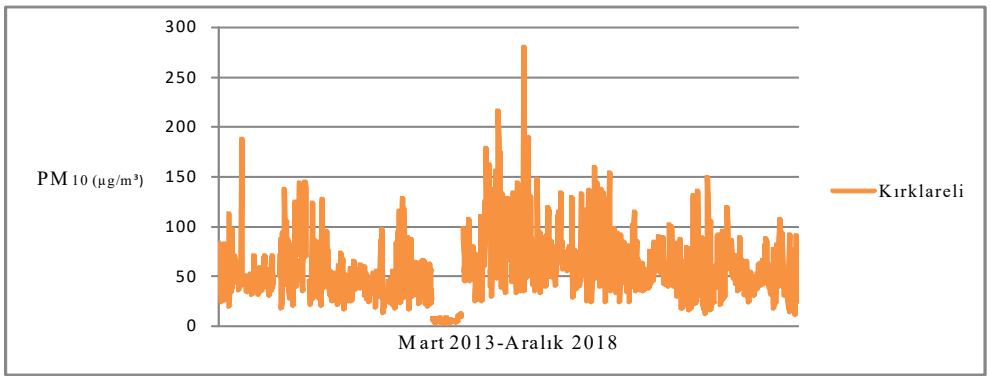
Şekil A.16 : İstanbul Başakşehir istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



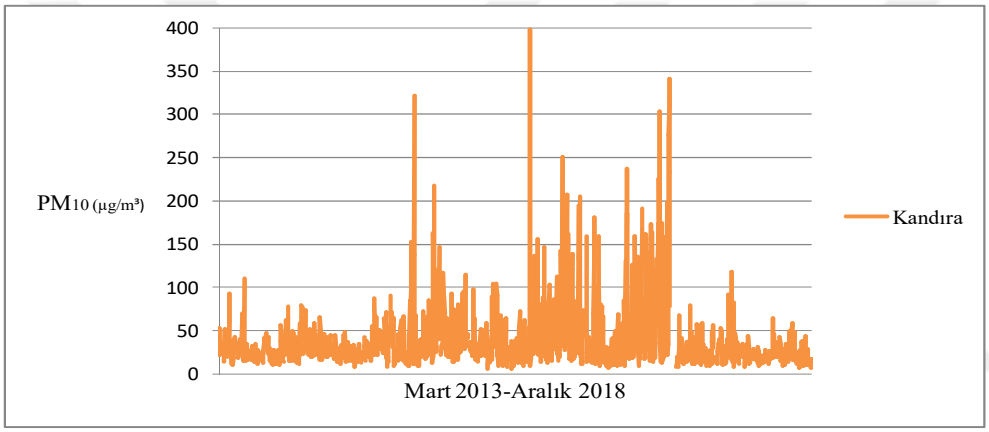
Şekil A.17 : Bilecik Bozüyük istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



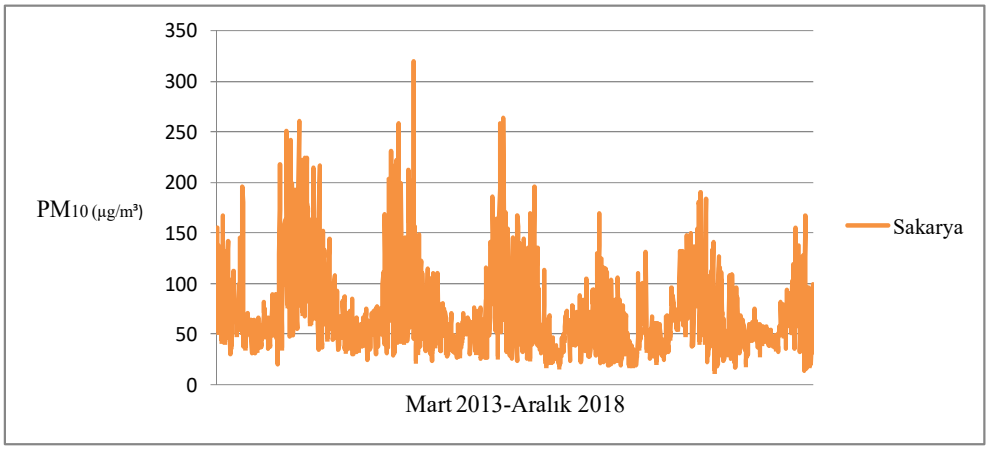
Şekil A.18 : Çanakkale Çan istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



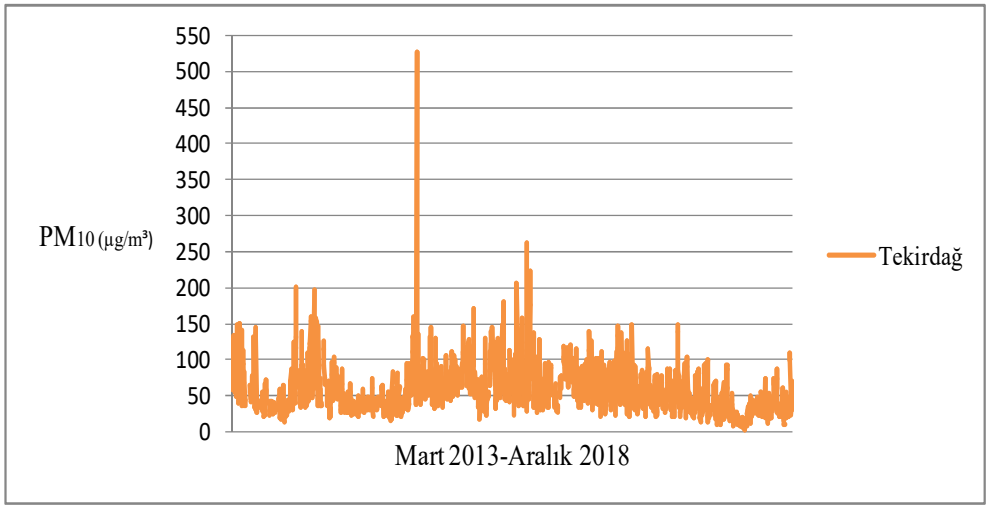
Şekil A.19 : Kırklareli istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



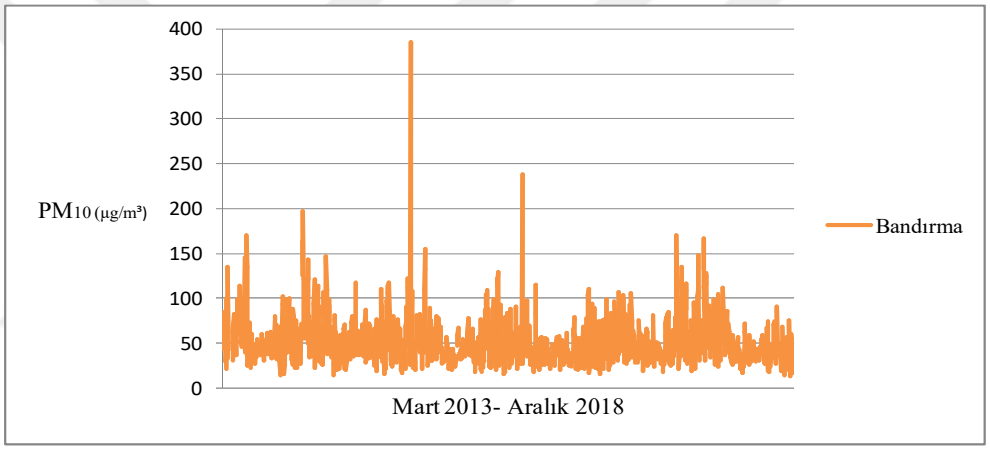
Şekil A.20 : Kocaeli Kandıra istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



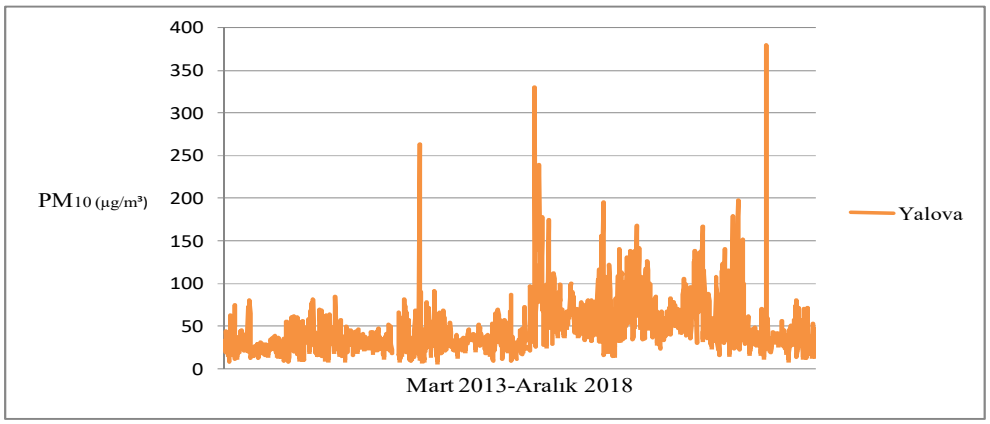
Şekil A.21 : Sakarya istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



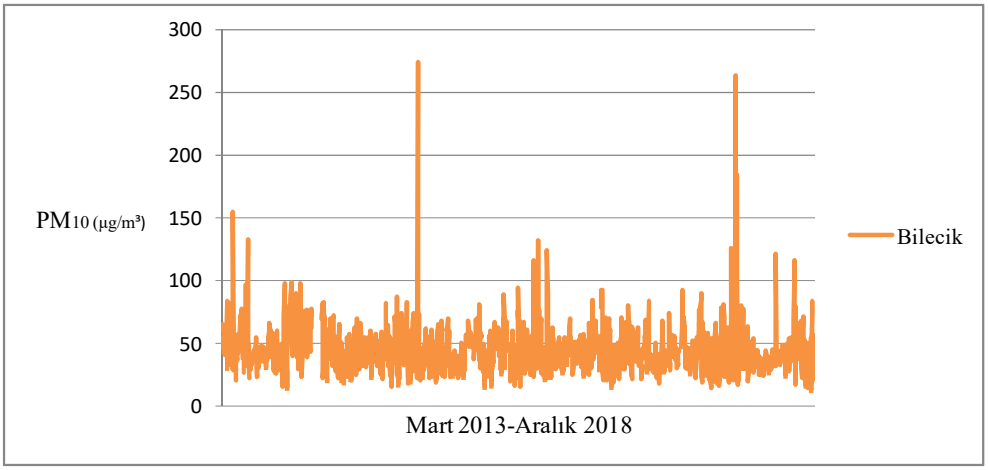
Şekil A22 : Tekirdağ istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



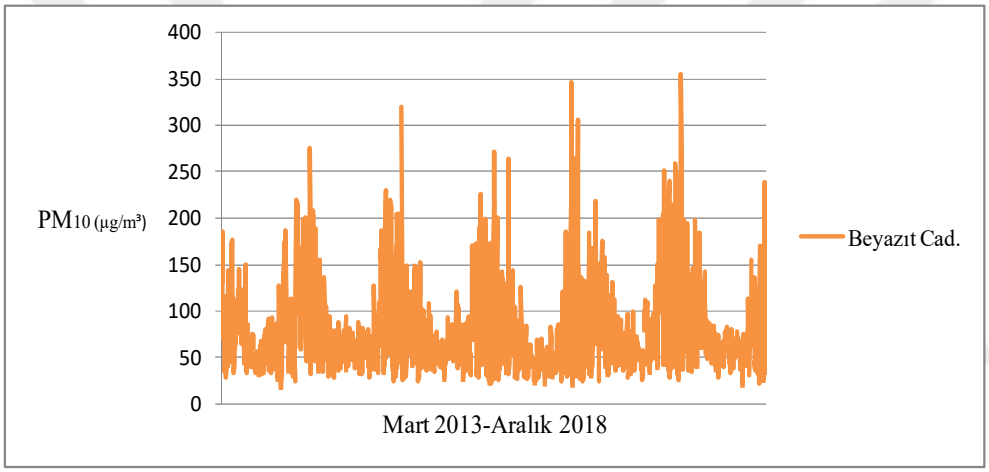
Şekil A.23 : Balıkesir Bandırma istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



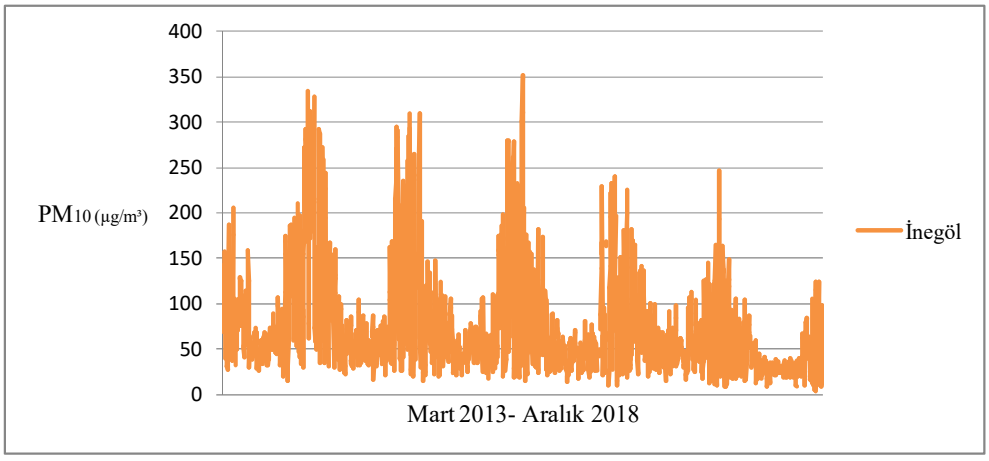
Şekil A.24 : Yalova istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



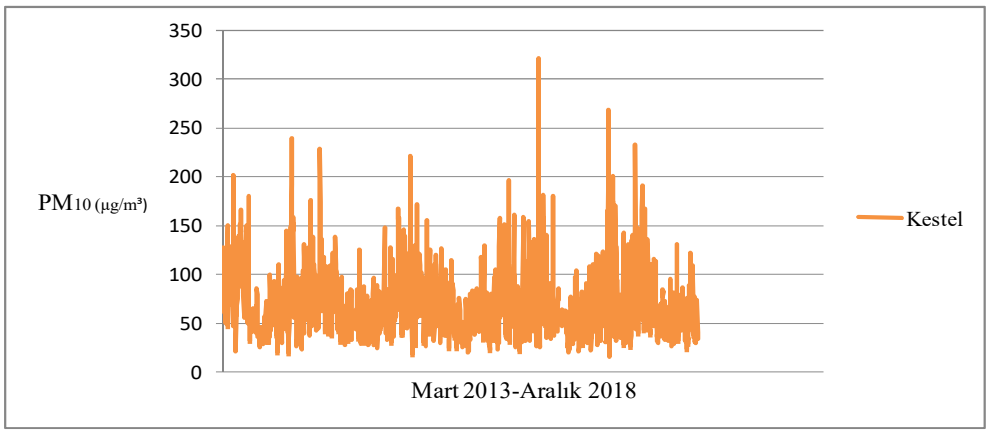
Şekil A.25 : Bilecik istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



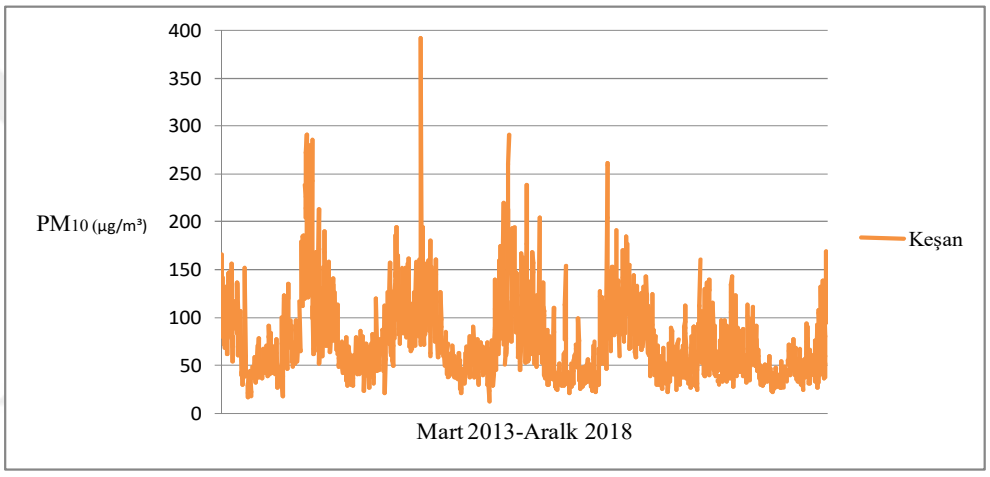
Şekil A.26 : Bursa Beyazıt Cad. istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



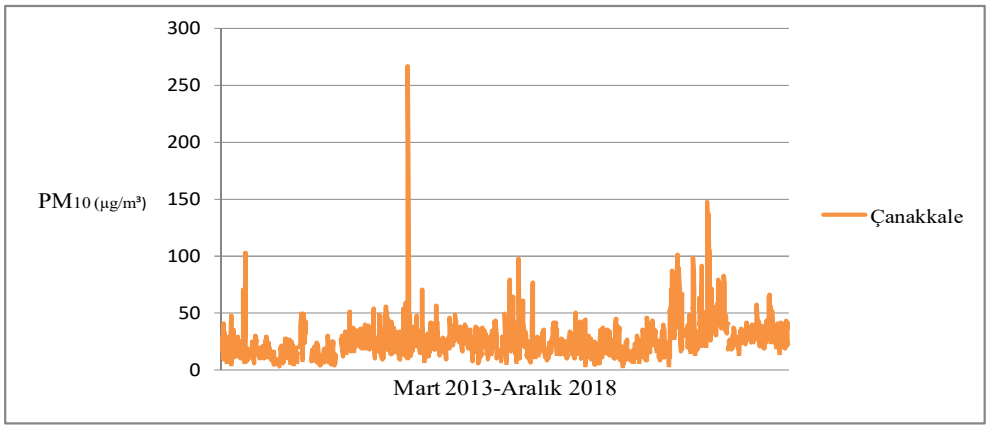
Şekil A.27 : Bursa İnegöl istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



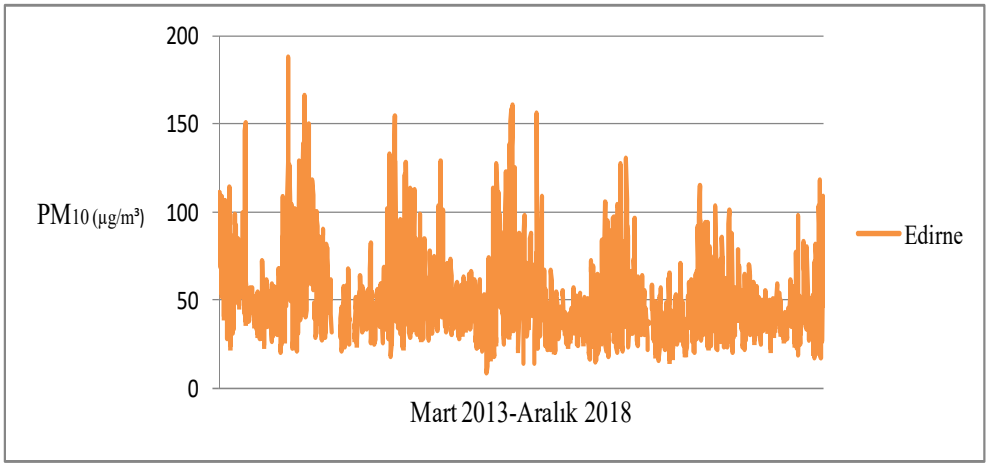
Şekil A.28 : Bursa Kestel istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



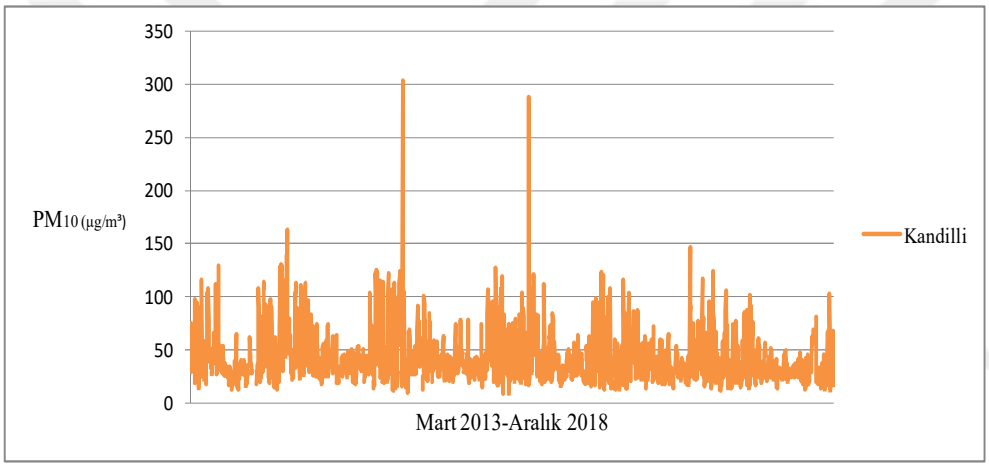
Şekil A.29 : Edirne Keşan istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



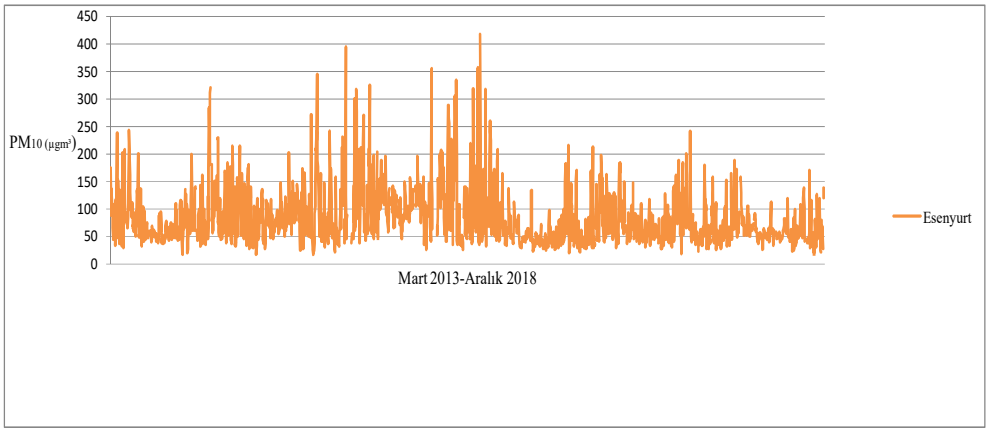
Şekil A.30 : Çanakkale istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



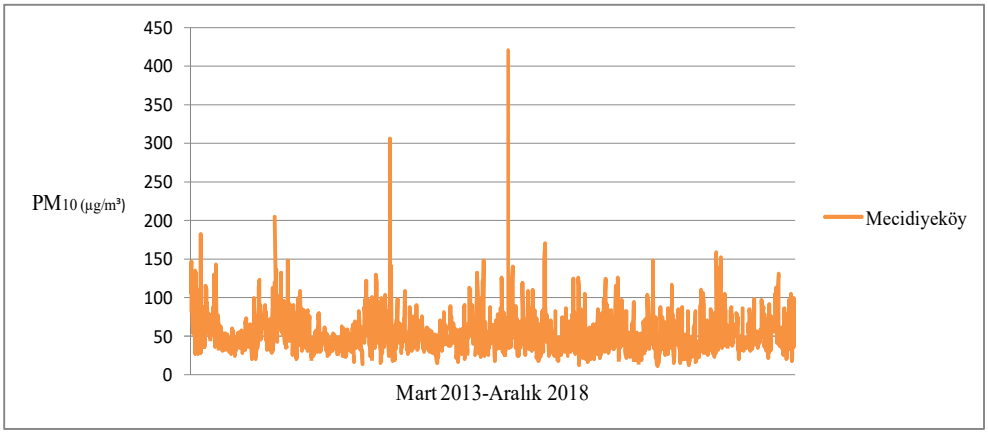
Şekil A.31 : Edirne istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



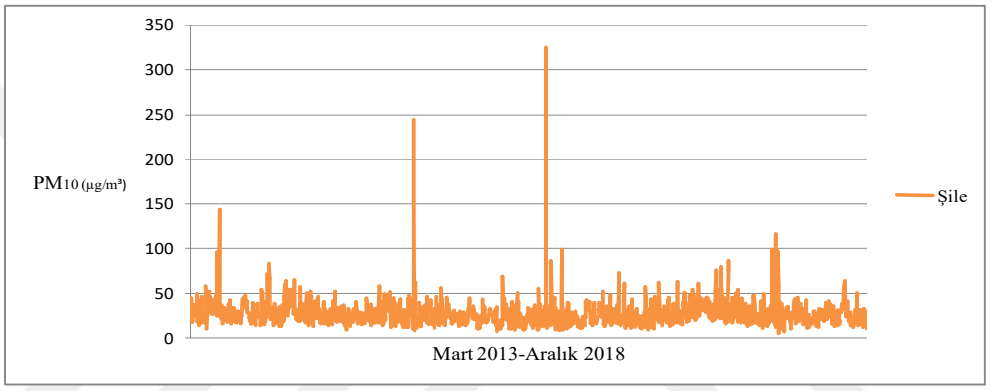
Şekil A.32 : İstanbul Kandilli istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



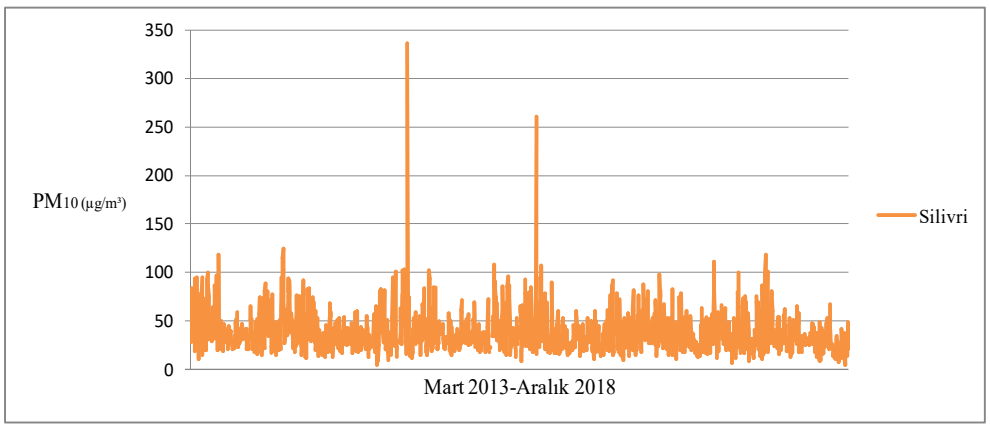
Şekil A.33 : İstanbul Esenyurt istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



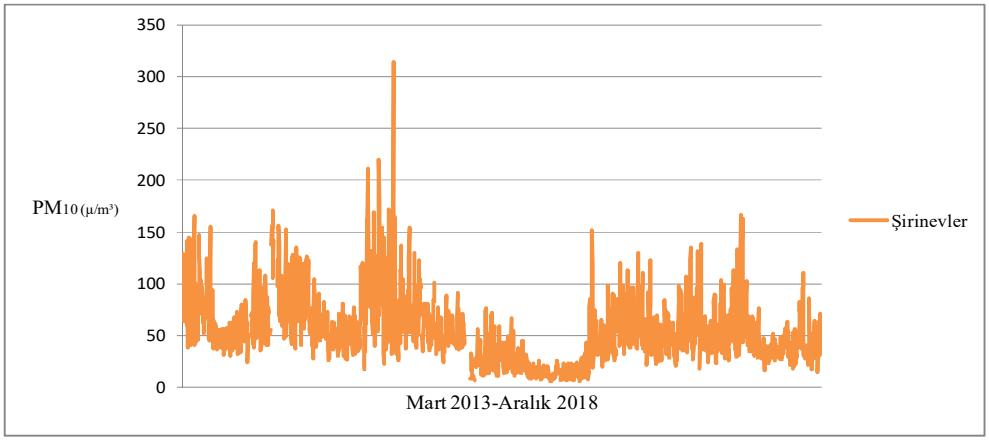
Şekil A.34 : İstanbul Mecidiyeköy istasyonu için günlük ortalama PM_{10} değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında konsantrasyon değişimi.



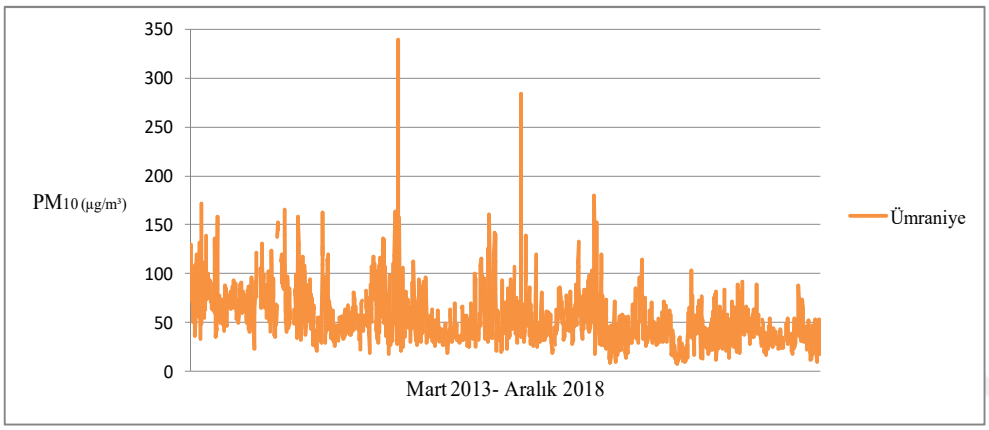
Şekil A.35 : İstanbul Şile istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



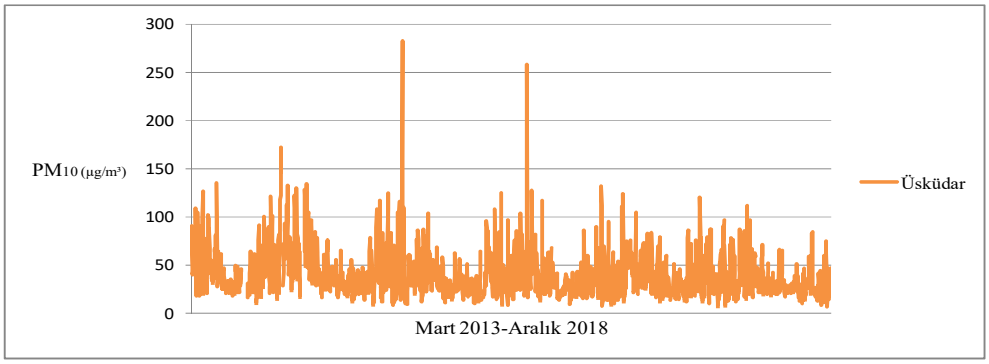
Şekil A.36 : İstanbul Silivri istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



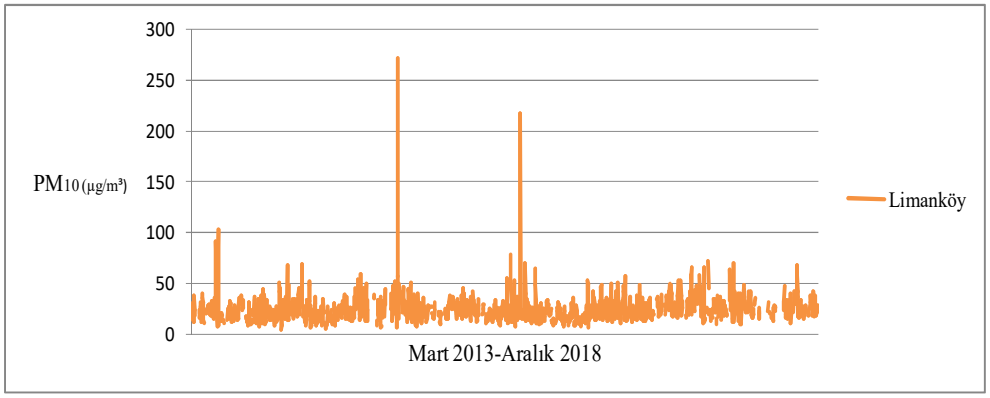
Şekil A.37 : İstanbul Şirinevler istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



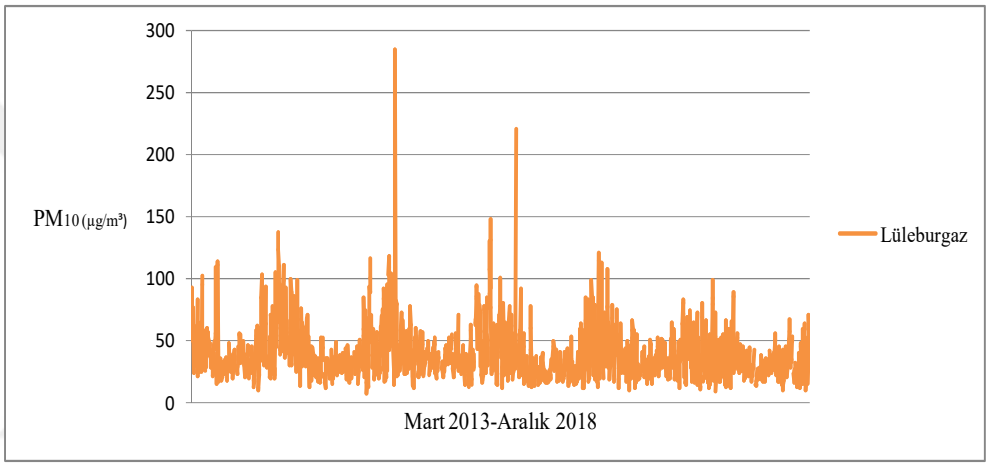
Şekil A.38 : İstanbul Ümraniye istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



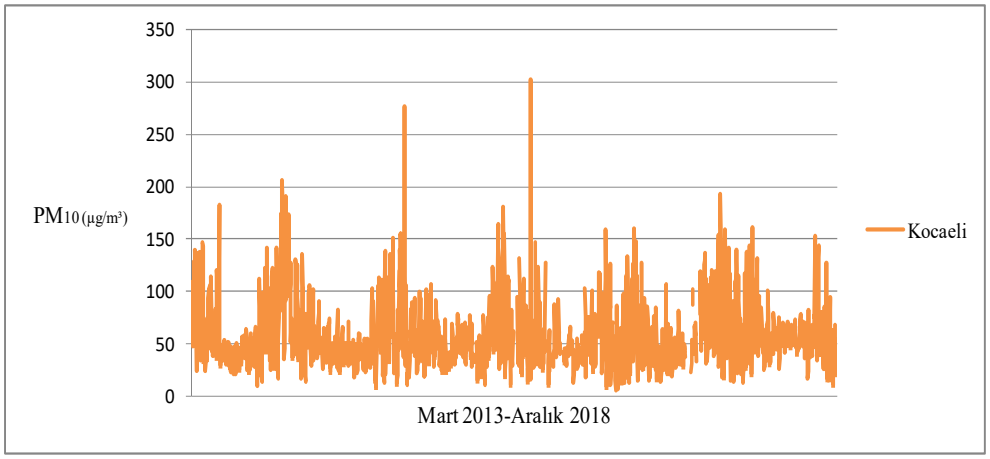
Şekil A.39 : İstanbul Üsküdar istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



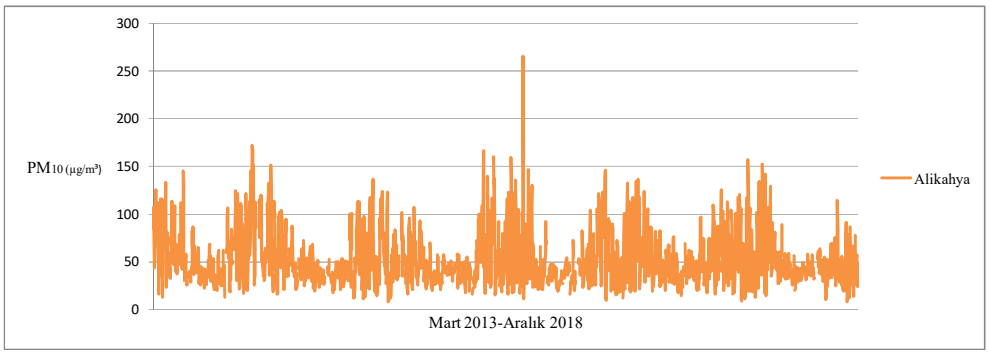
Şekil A.40 : Kırklareli Limanköy istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



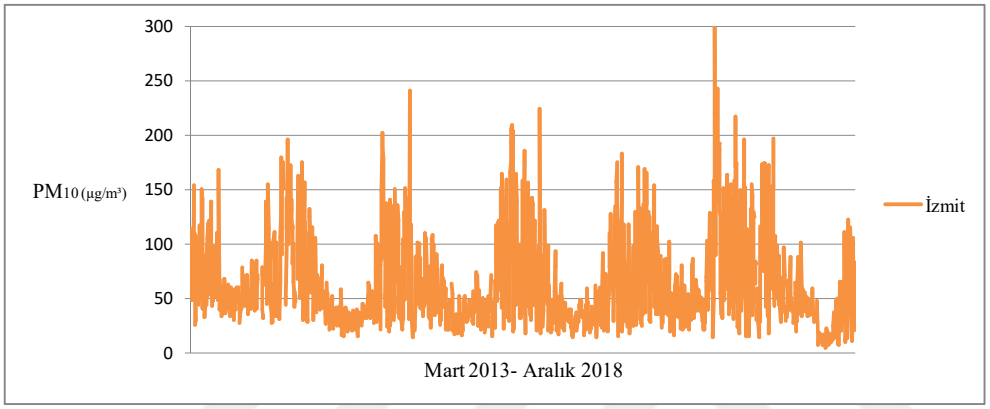
Şekil A.41 : Kırklareli Lüleburgaz istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



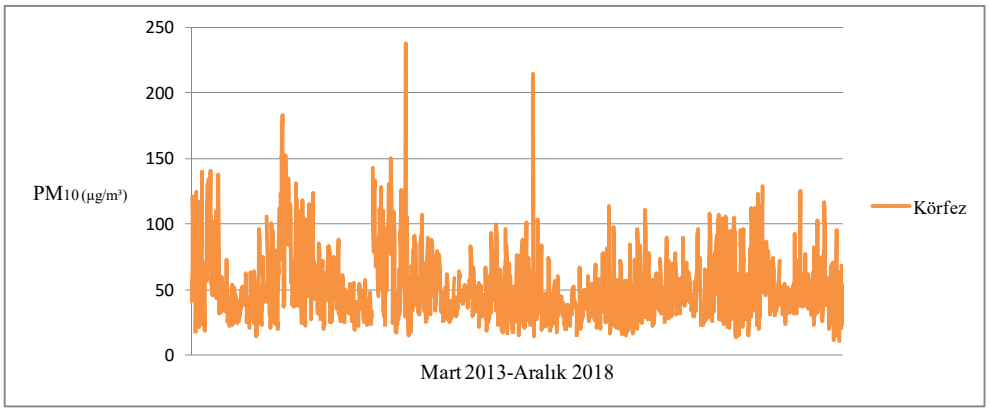
Şekil A.42 : Kocaeli istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



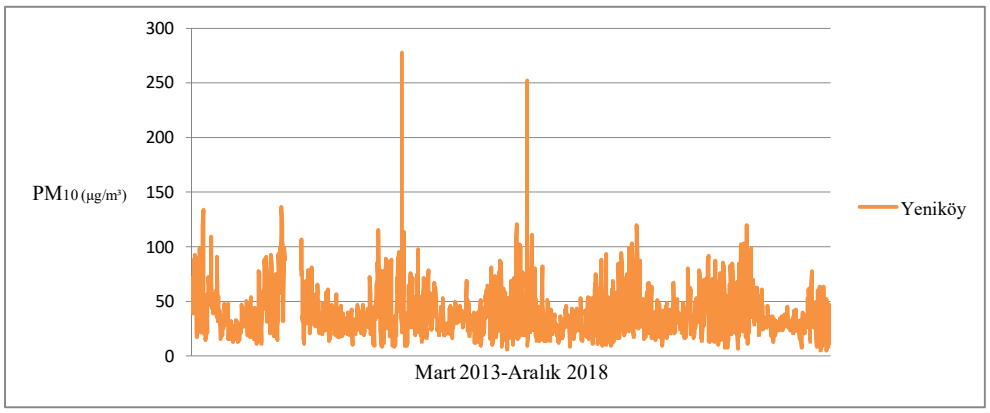
Şekil A.43 : Kocaeli Alikahya istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



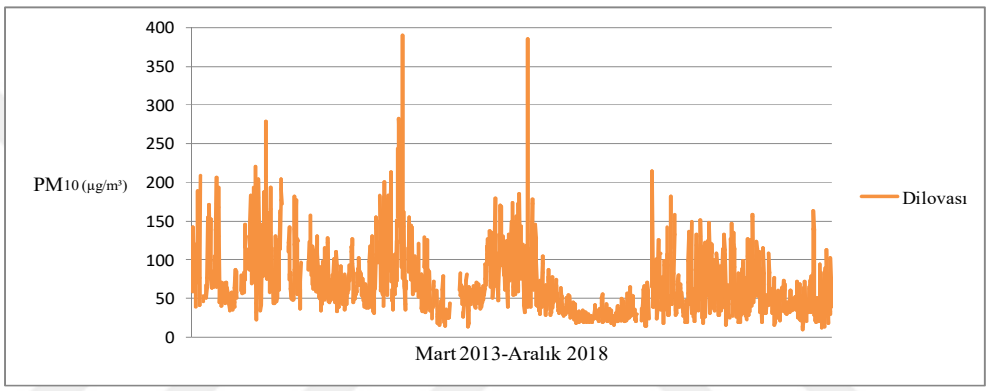
Şekil A.44 : İzmit istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



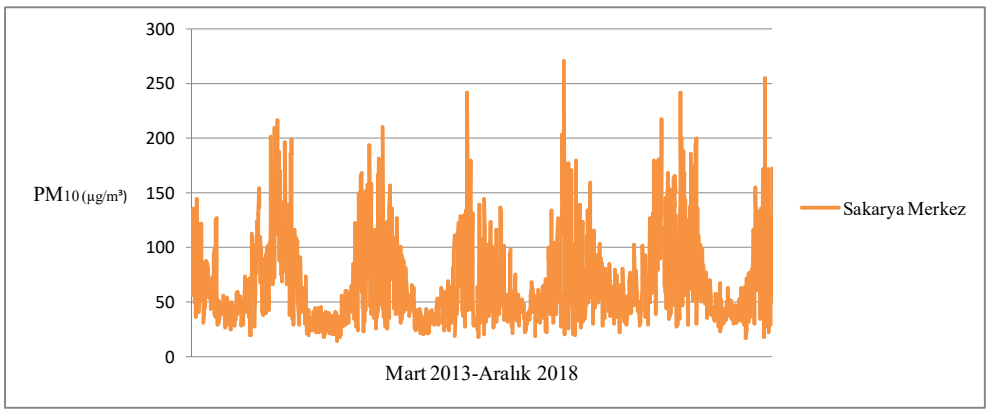
Şekil A.45 : Kocaeli Körfez istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



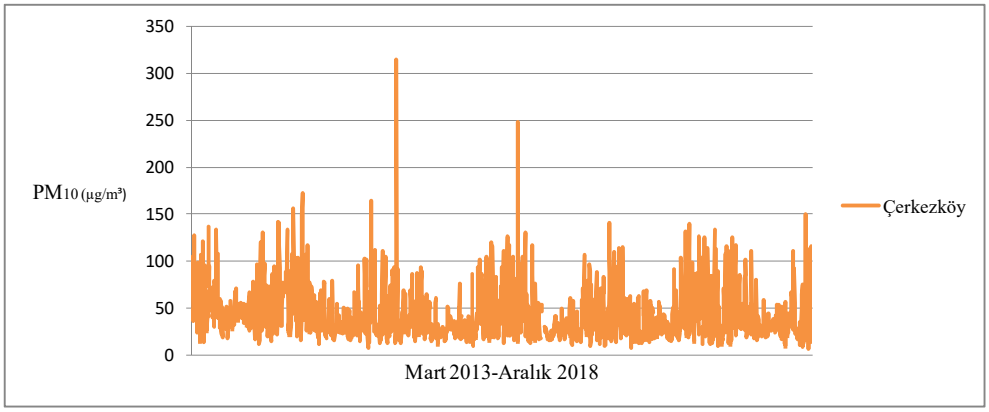
Şekil A.46 : Kocaeli Yeniköy istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



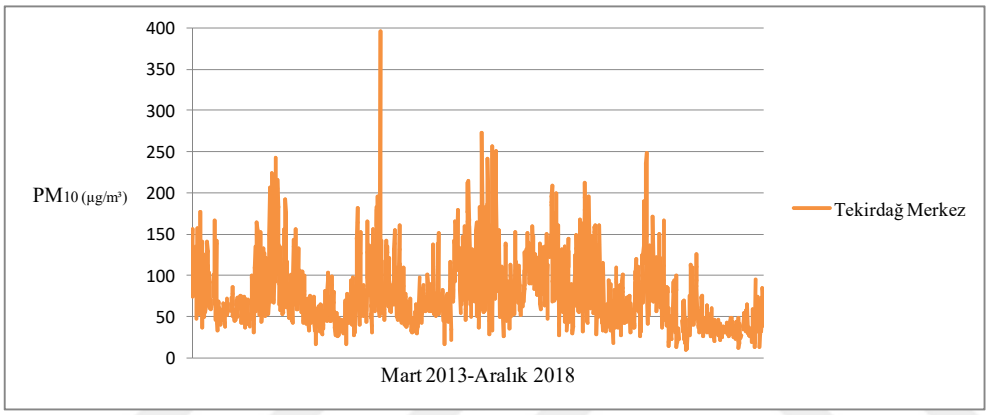
Şekil A.47 : Kocaeli Dilovası istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



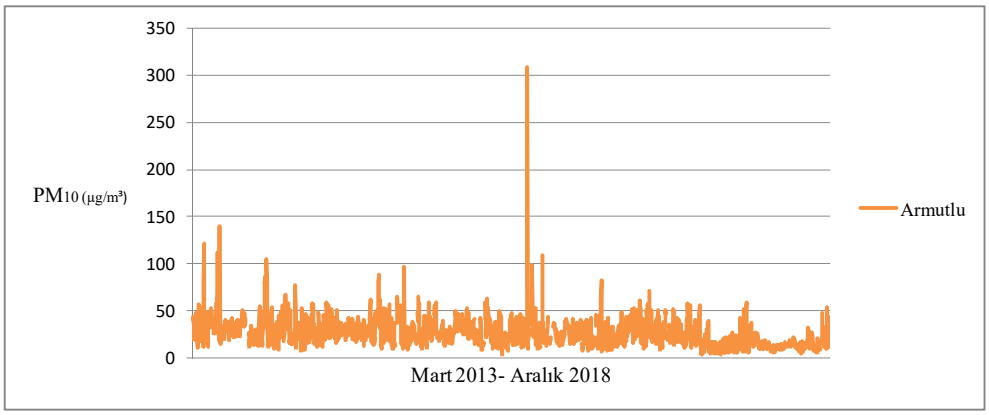
Şekil A.48 : Sakarya Merkez istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



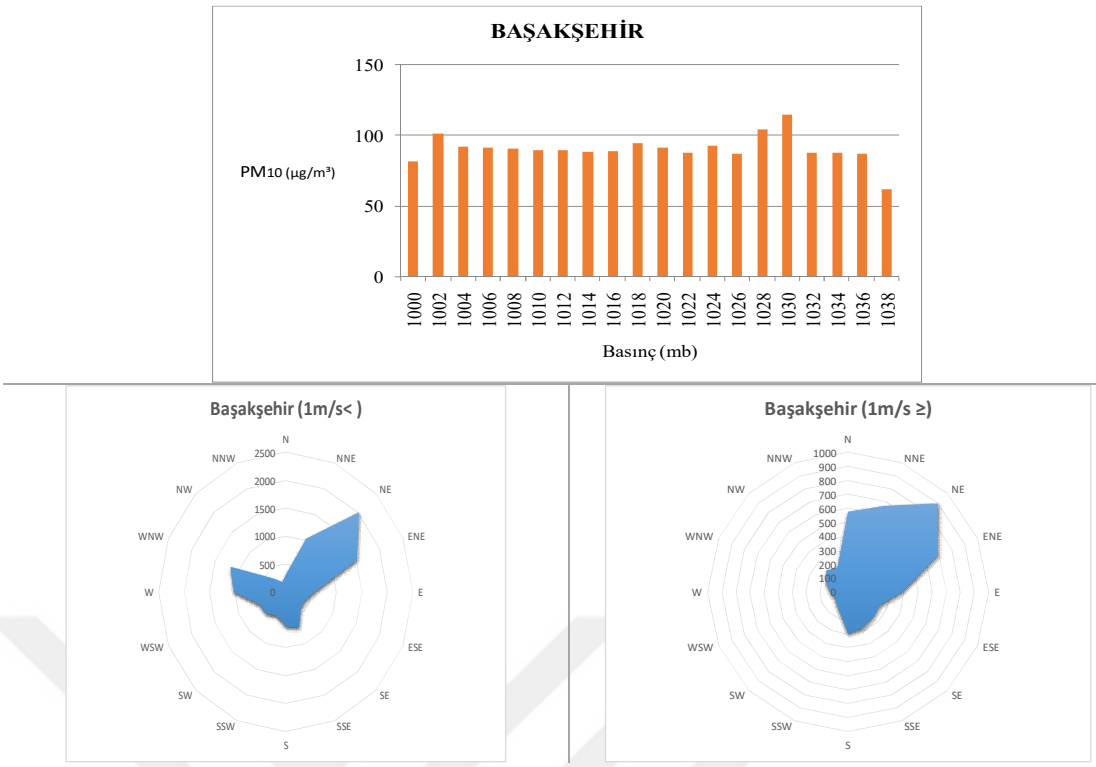
Şekil A.49 : Tekirdağ Çerkezköy istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



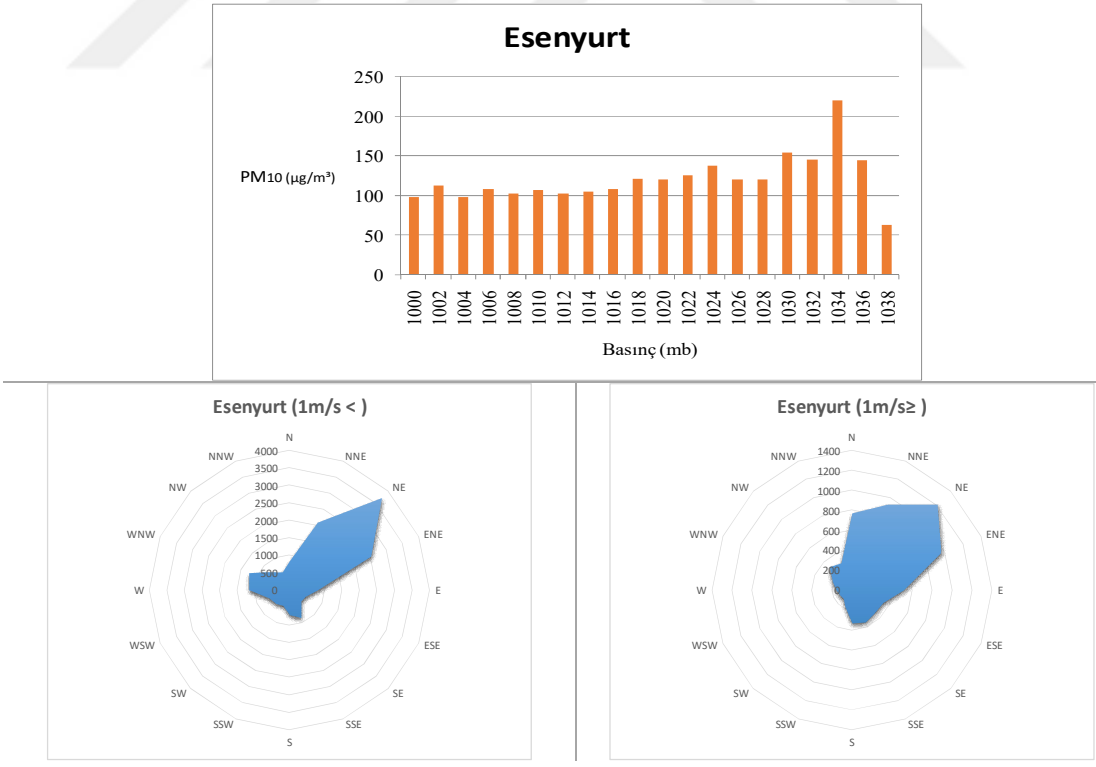
Şekil A.50 : Tekirdağ Merkez istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



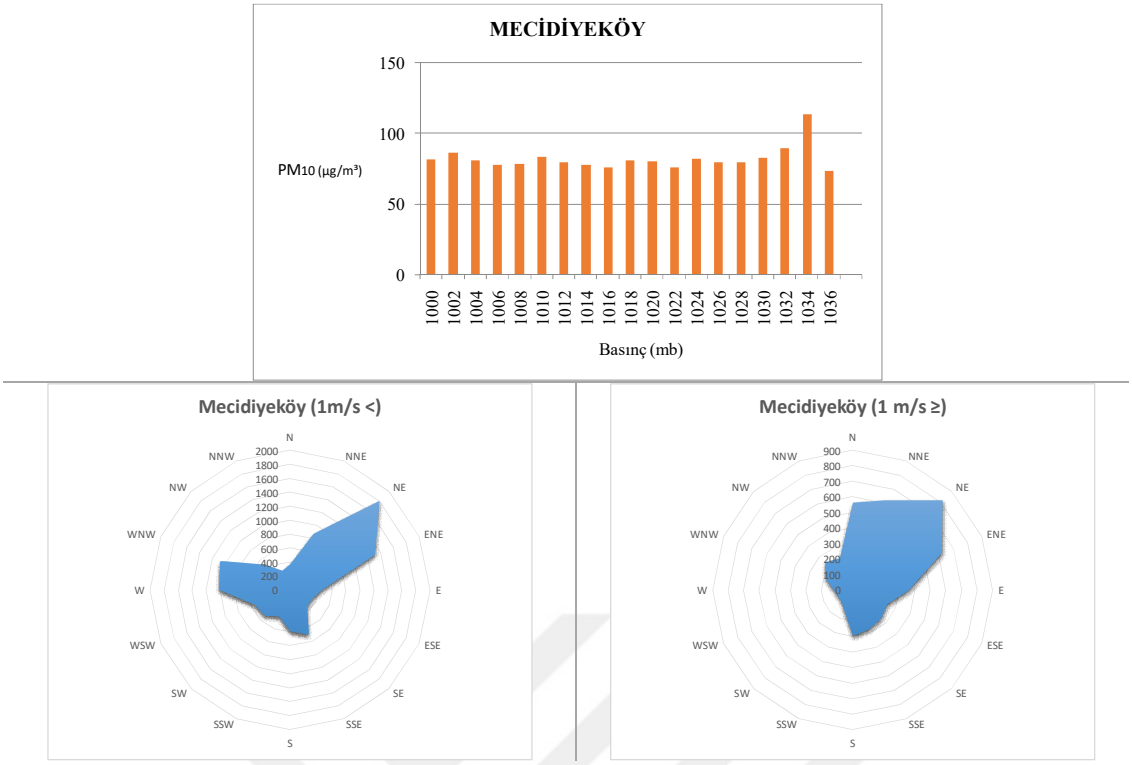
Şekil A.51 : Yalova Armutlu istasyonu için günlük ortalama PM_{10} konsantrasyon değerlerinin Mart 2013-Aralık 2018 arasında değişimi.



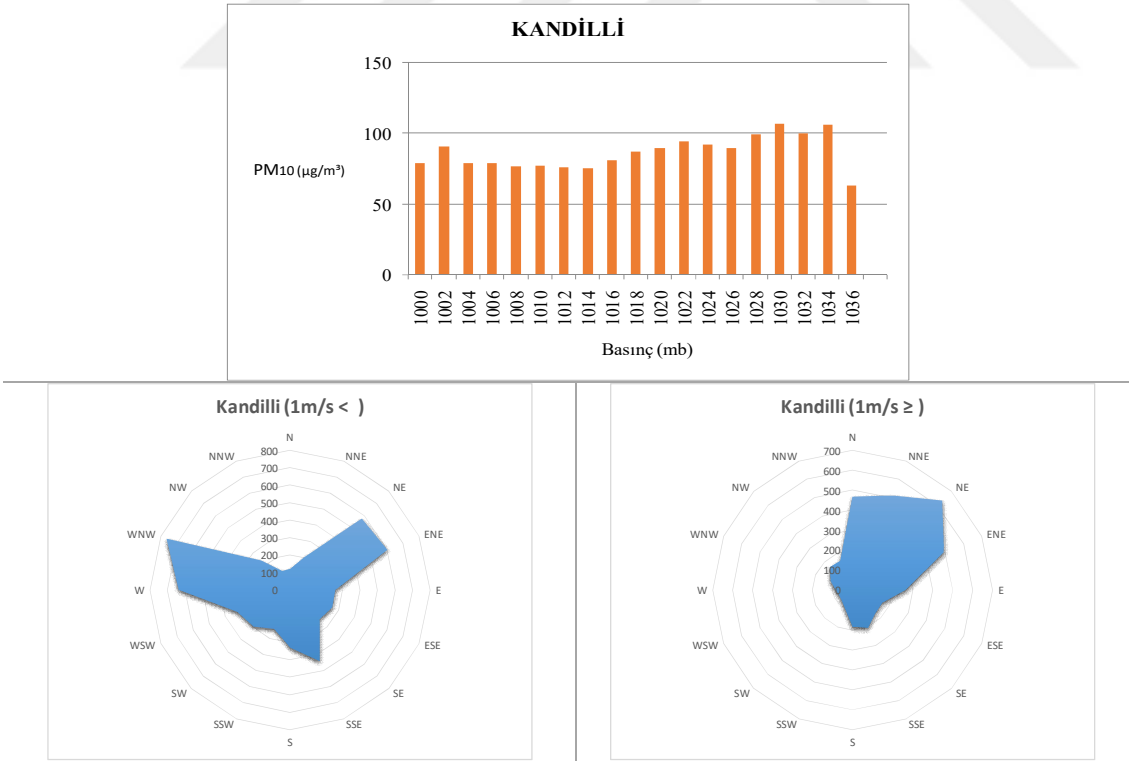
Şekil A.52 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Başakşehir istasyonuna ait PM_{10} seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



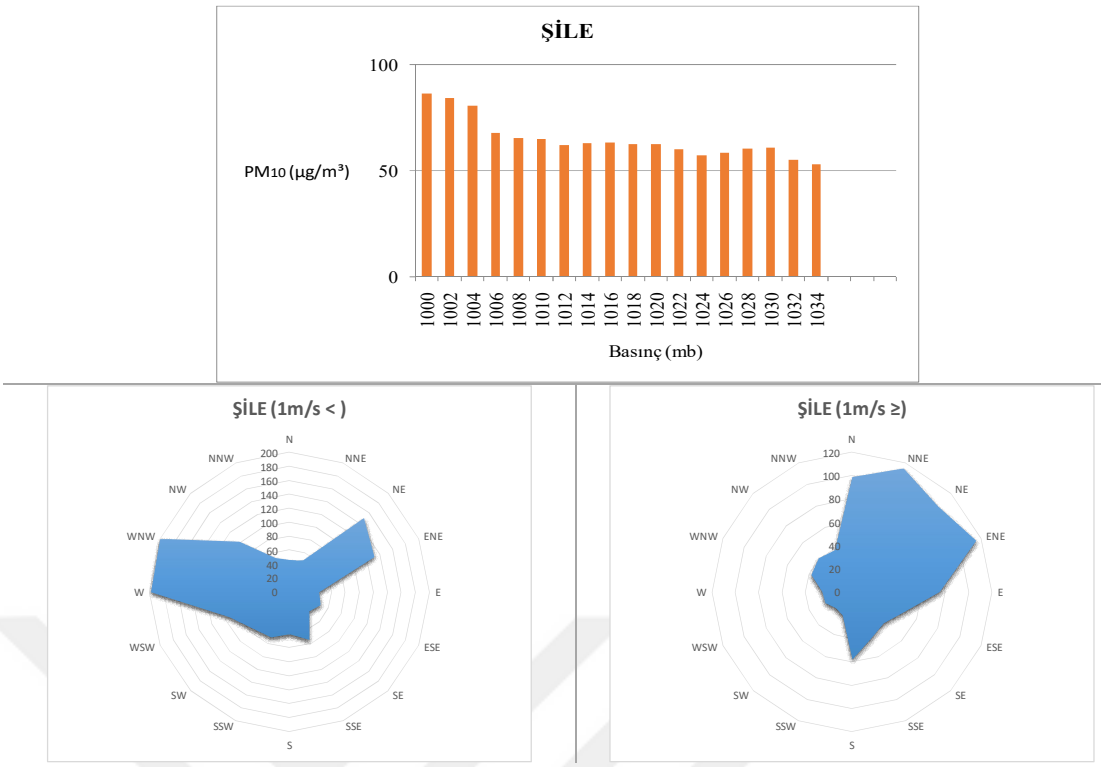
Şekil A.53 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Esenyurt istasyonuna ait PM_{10} seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



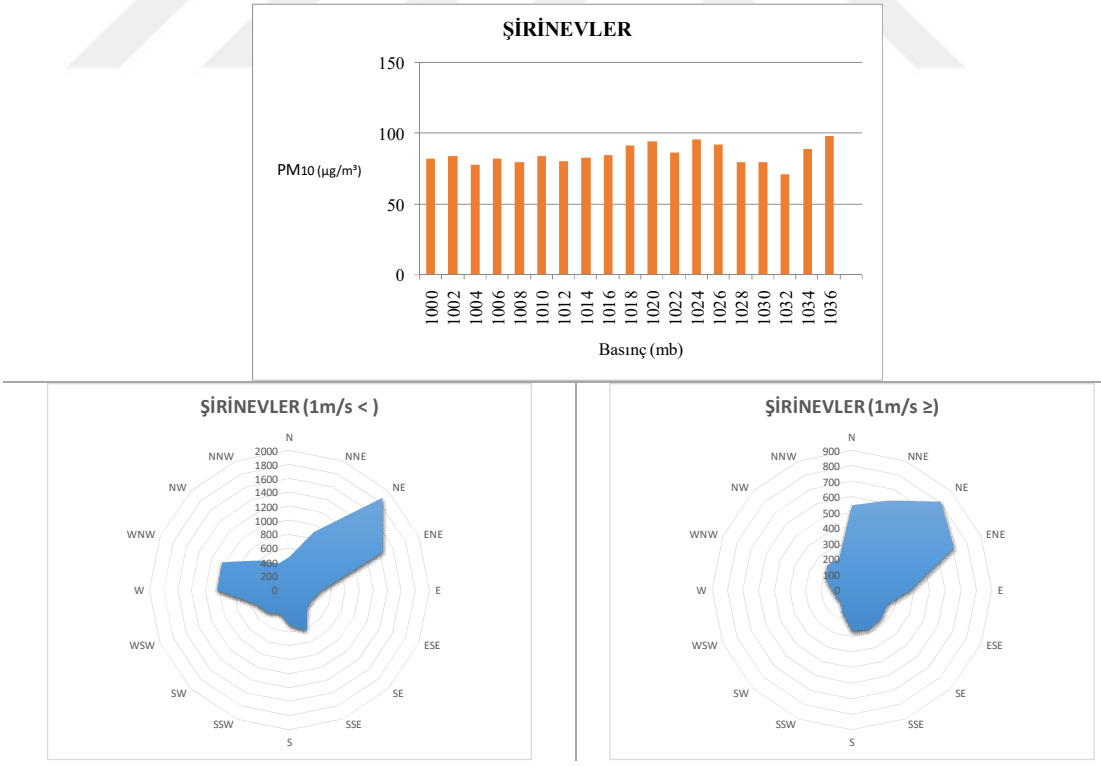
Şekil A.54 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Mecidiyeköy istasyonuna ait PM_{10} seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



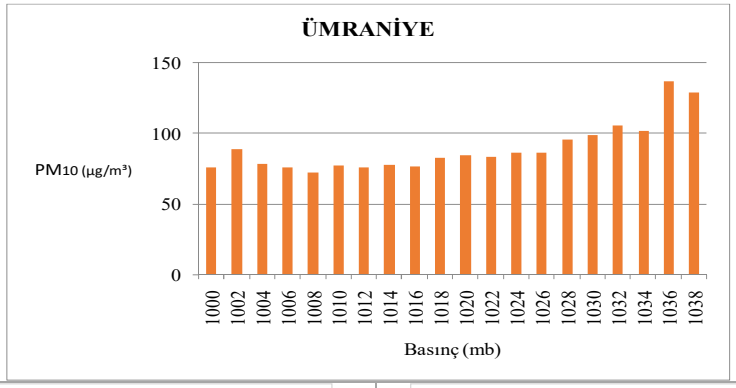
Şekil A.55 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Kandilli istasyonuna ait PM_{10} seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.

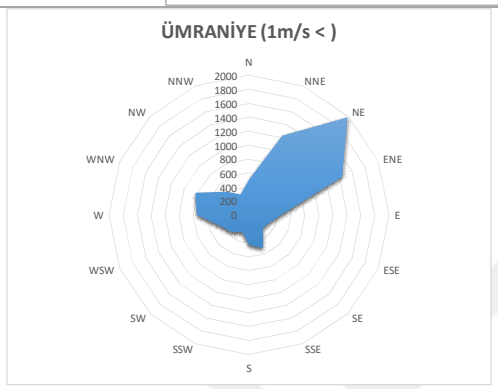


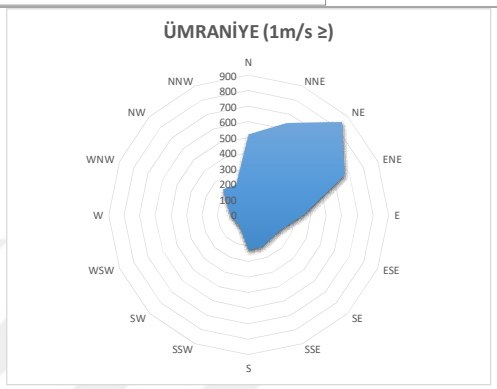
Şekil A.56 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Şile istasyonuna ait PM_{10} seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



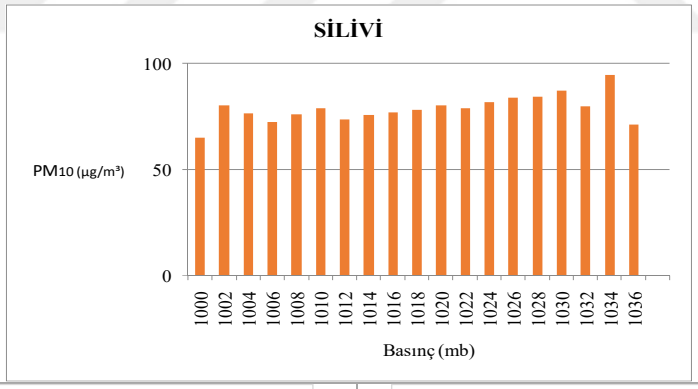
Şekil A.57 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Şirinevler istasyonuna ait PM_{10} seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.

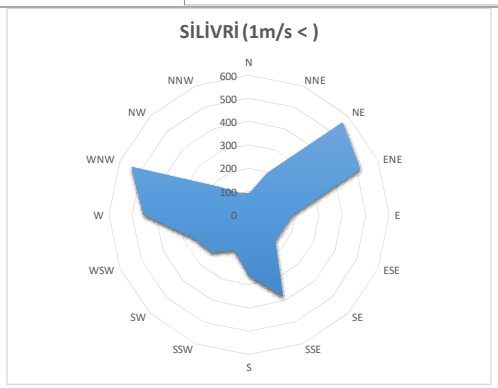


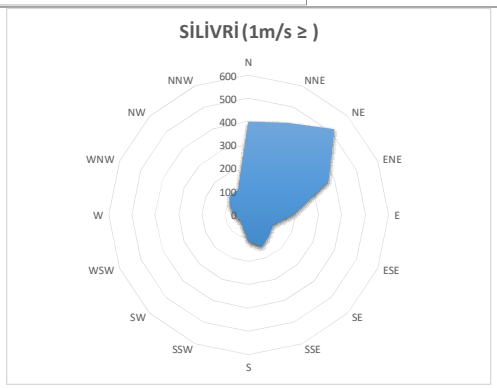




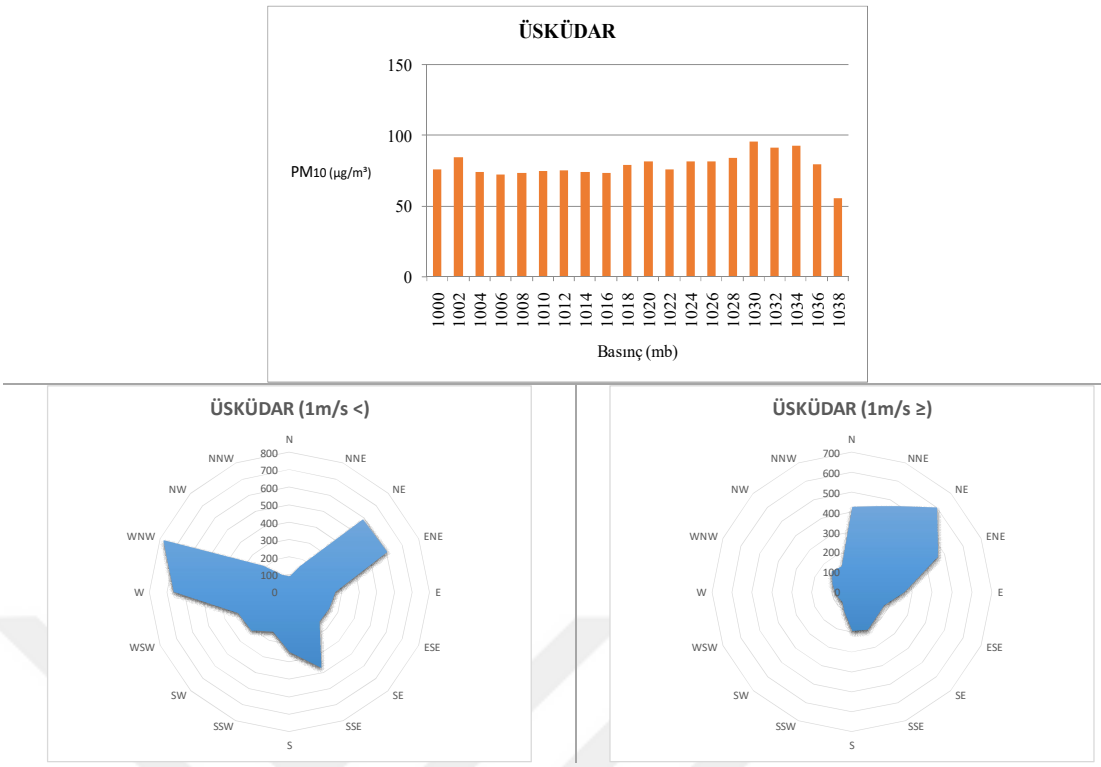
Şekil A.58 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Ümraniye istasyonuna ait PM_{10} seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



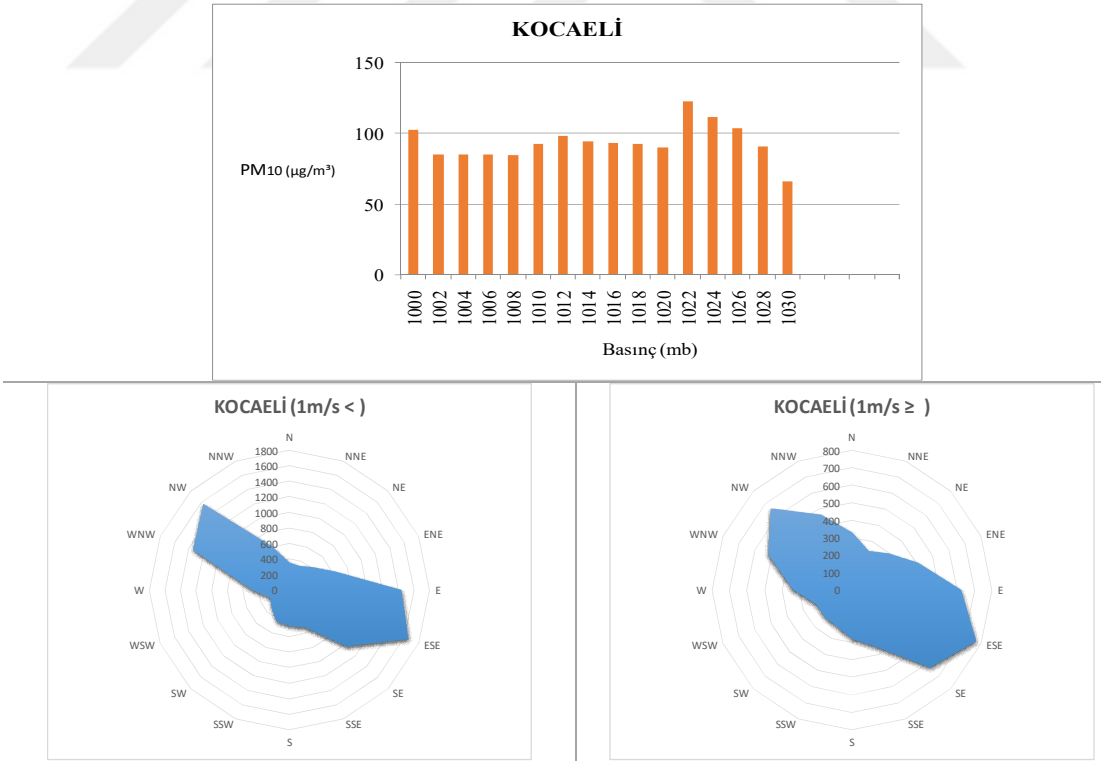




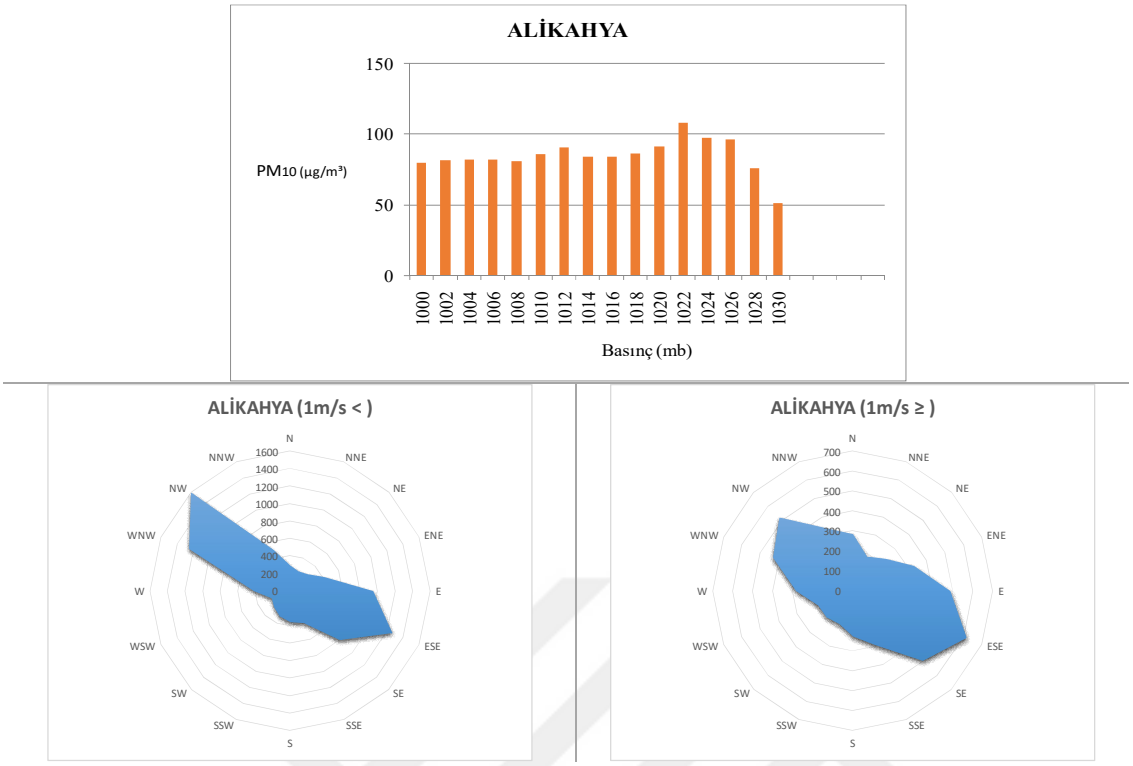
Şekil A.59 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Silivri istasyonuna ait PM_{10} seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



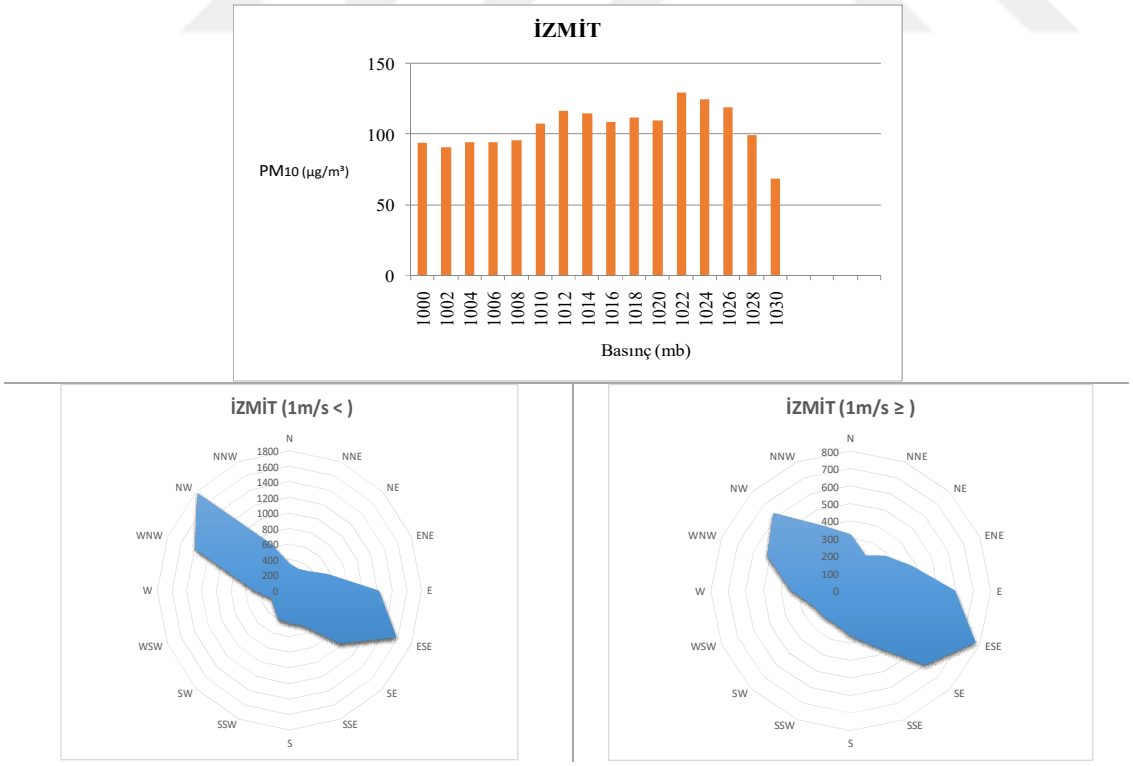
Şekil A.60 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Üsküdar istasyonuna ait PM_{10} seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



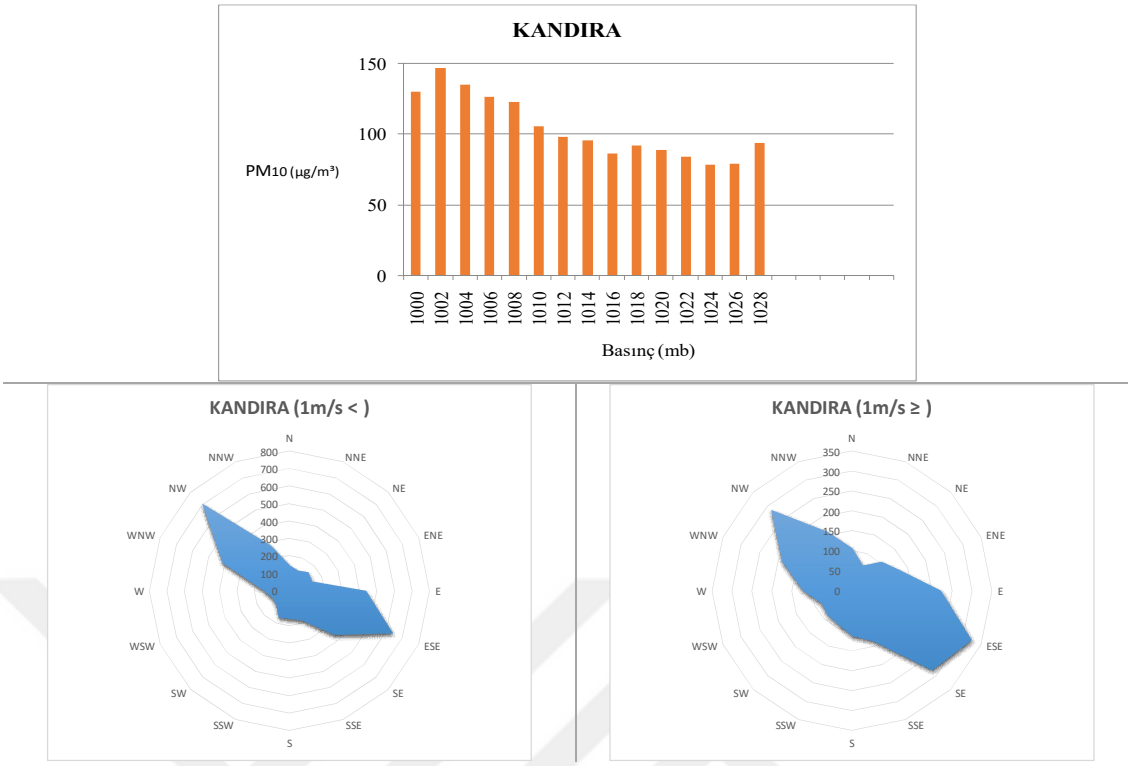
Şekil A.61 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Kocaeli istasyonuna ait PM_{10} seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



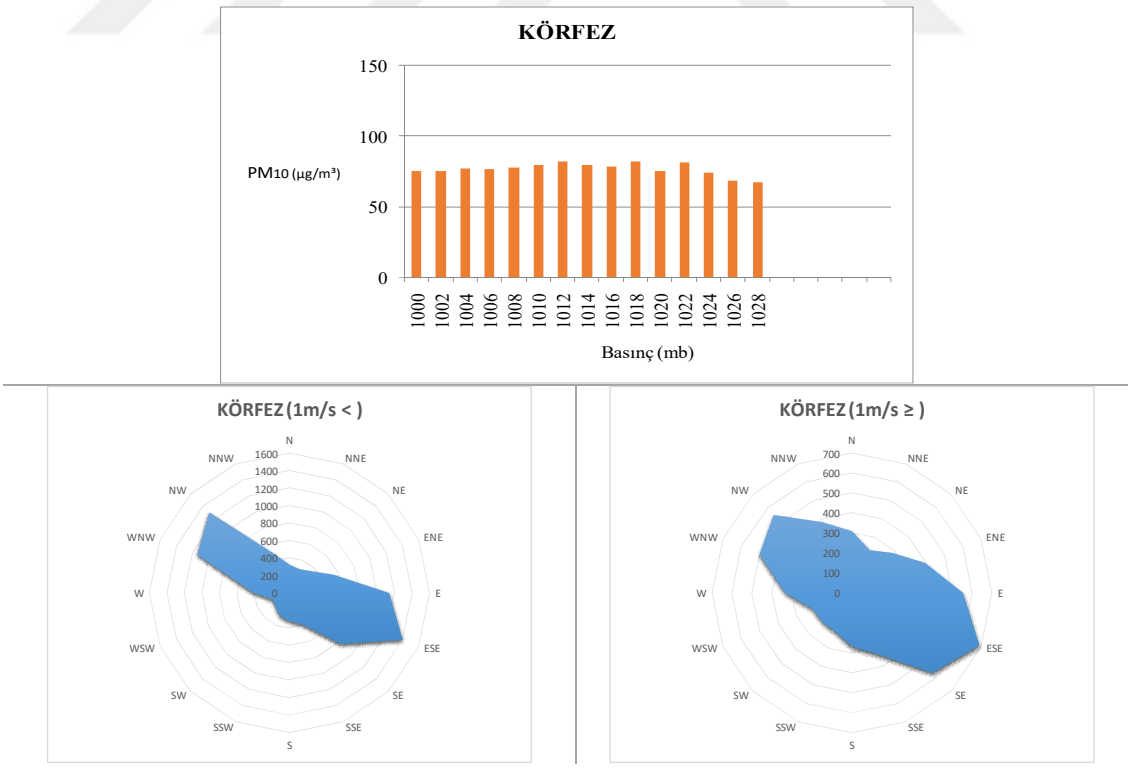
Şekil A.62 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Alikahya istasyonuna ait PM_{10} seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



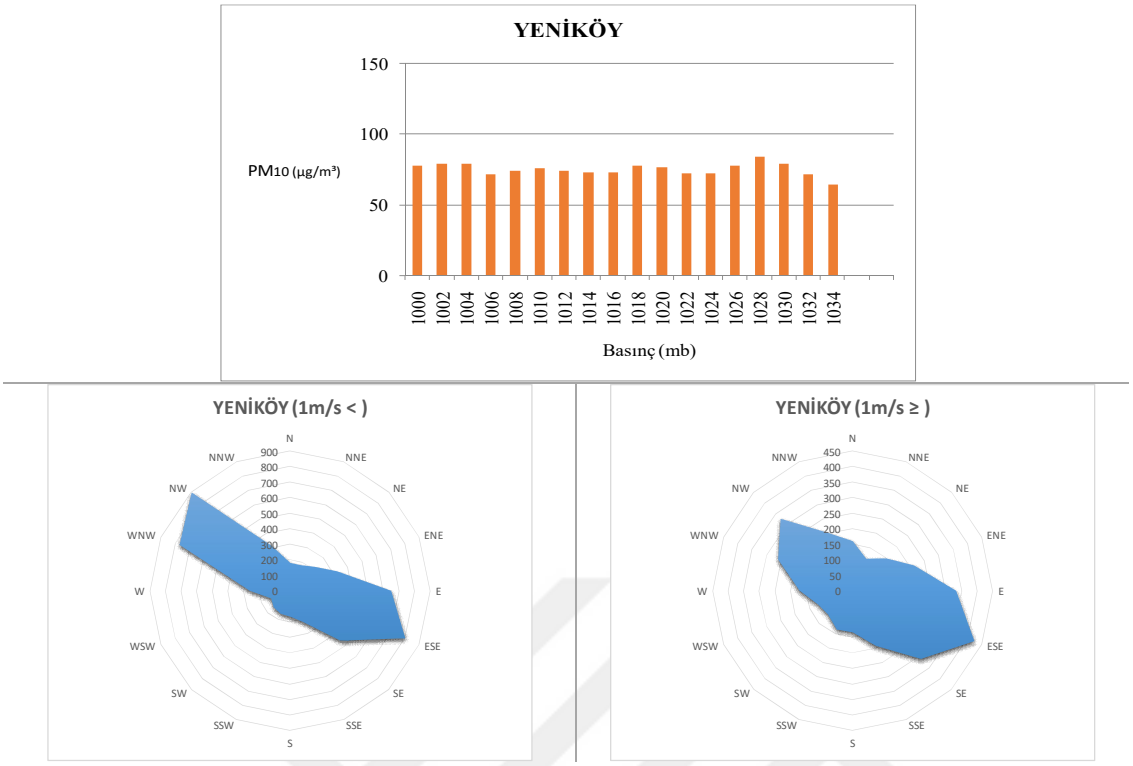
Şekil A.63 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, İzmit istasyonuna ait PM_{10} seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



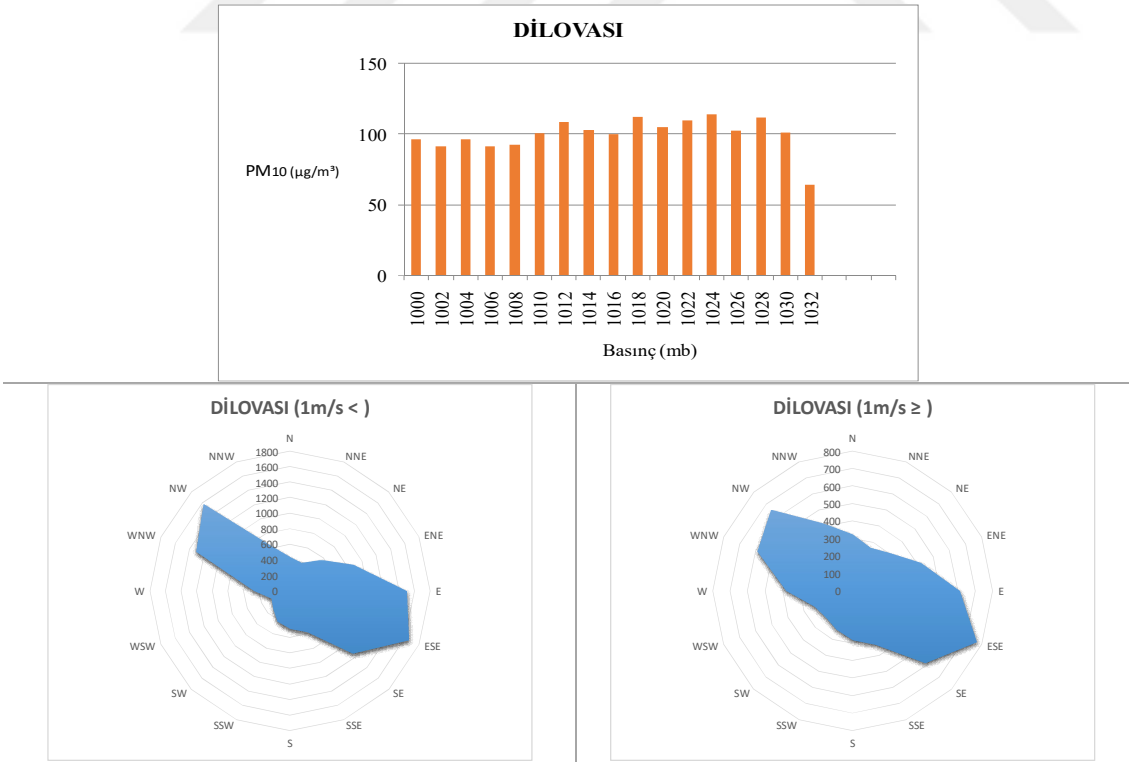
Şekil A.64 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Kandıra istasyonuna ait PM_{10} seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



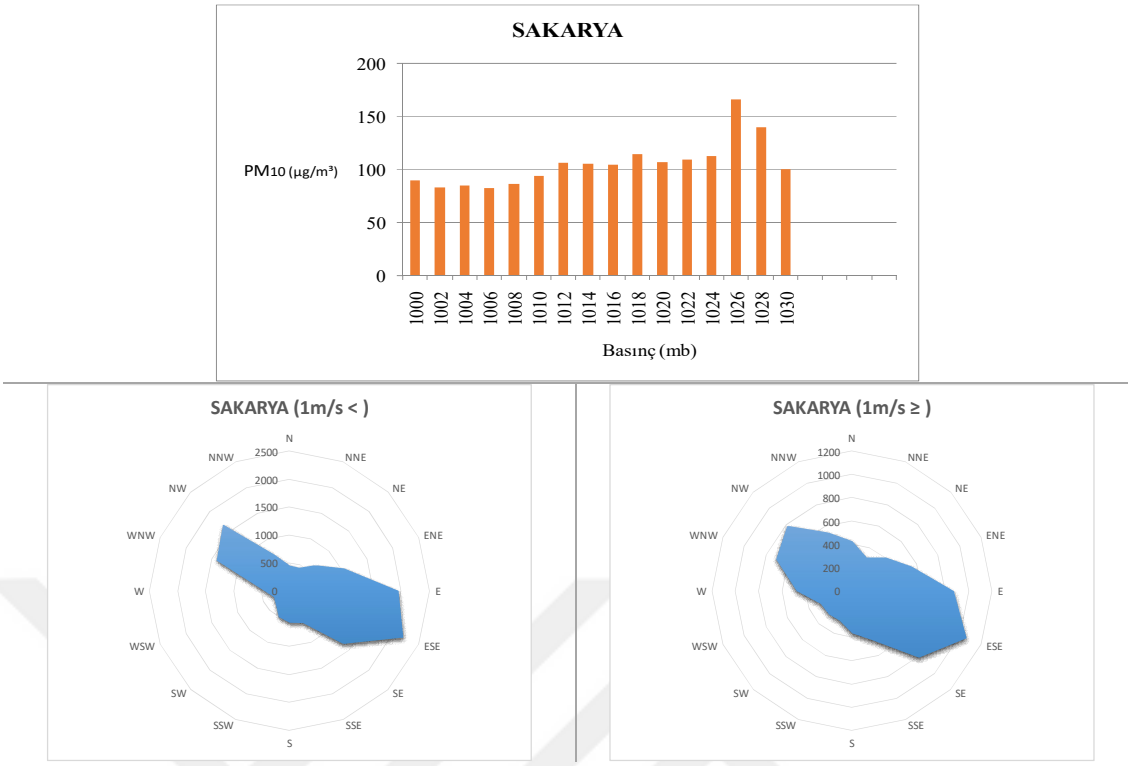
Şekil A.65 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Körfez istasyonuna ait PM_{10} seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



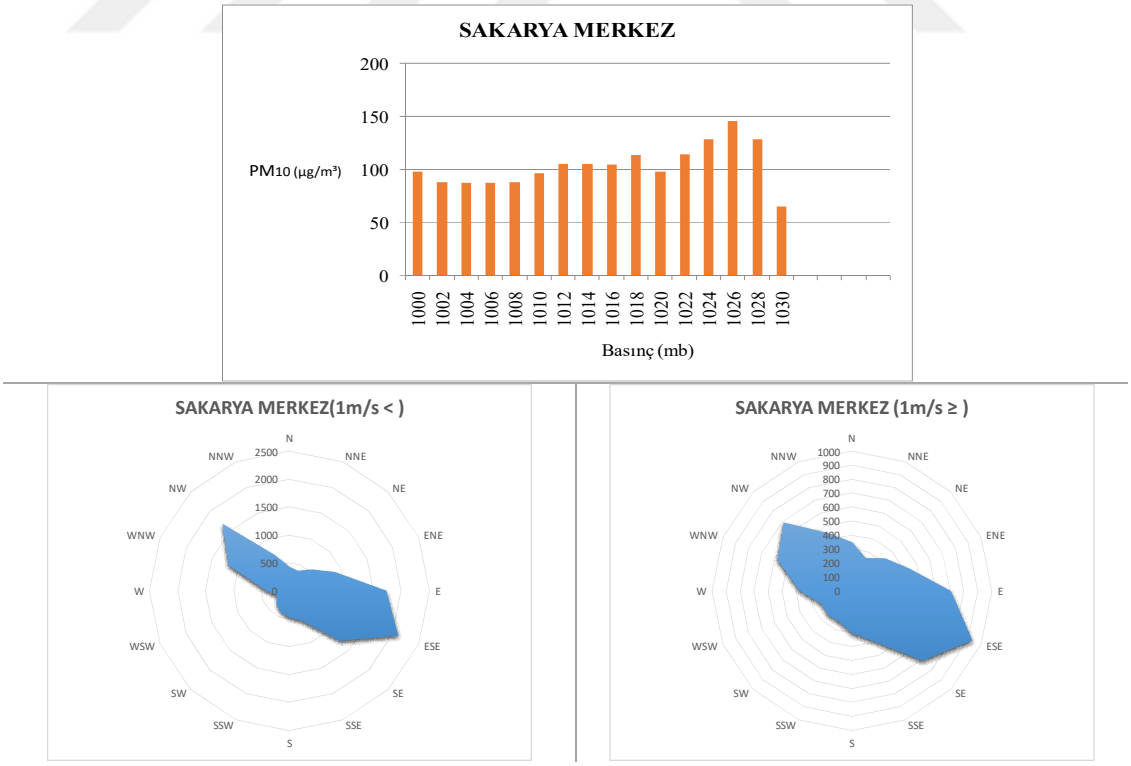
Şekil A.66 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Yeniköy istasyonuna ait PM_{10} seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



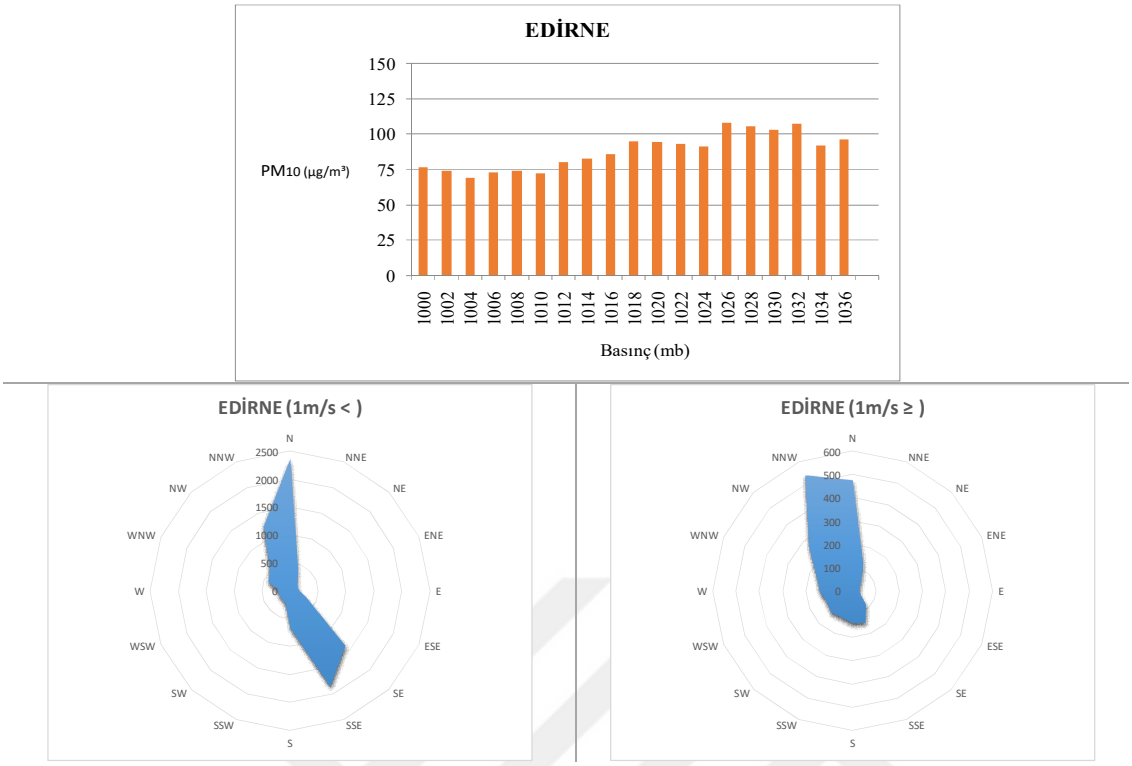
Şekil A.67 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Dilovası istasyonuna ait PM_{10} seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



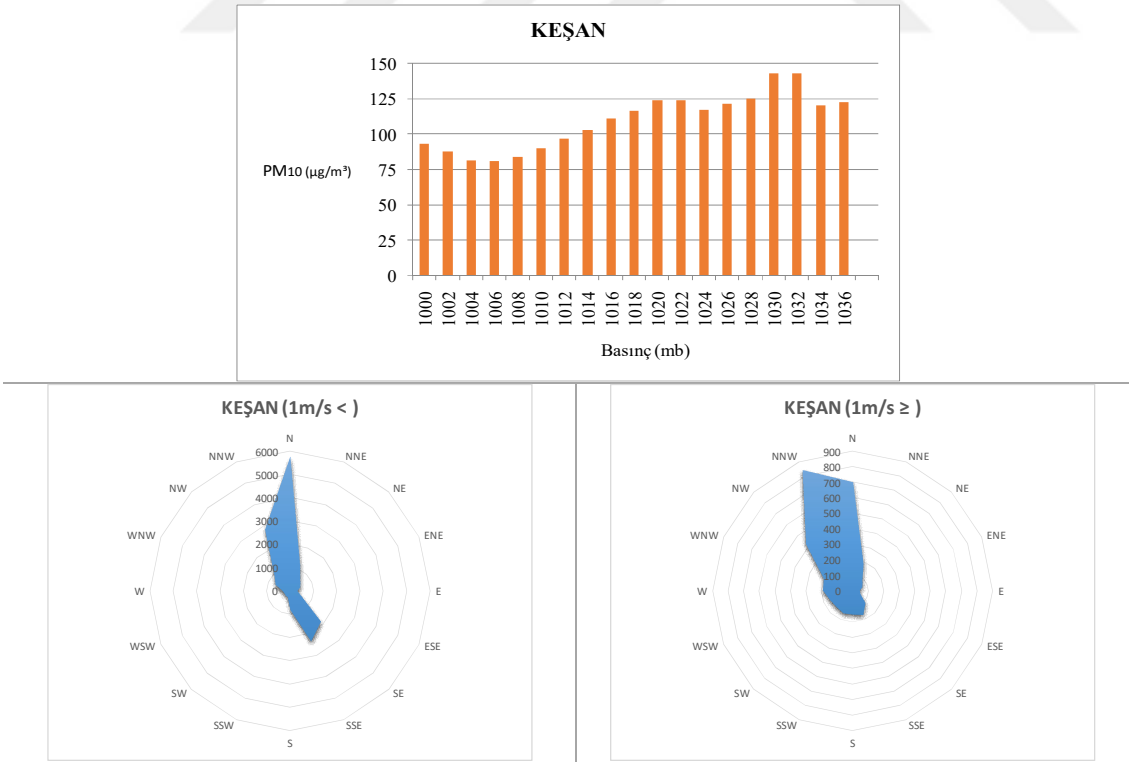
Şekil A.68 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Sakarya istasyonuna ait PM_{10} seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



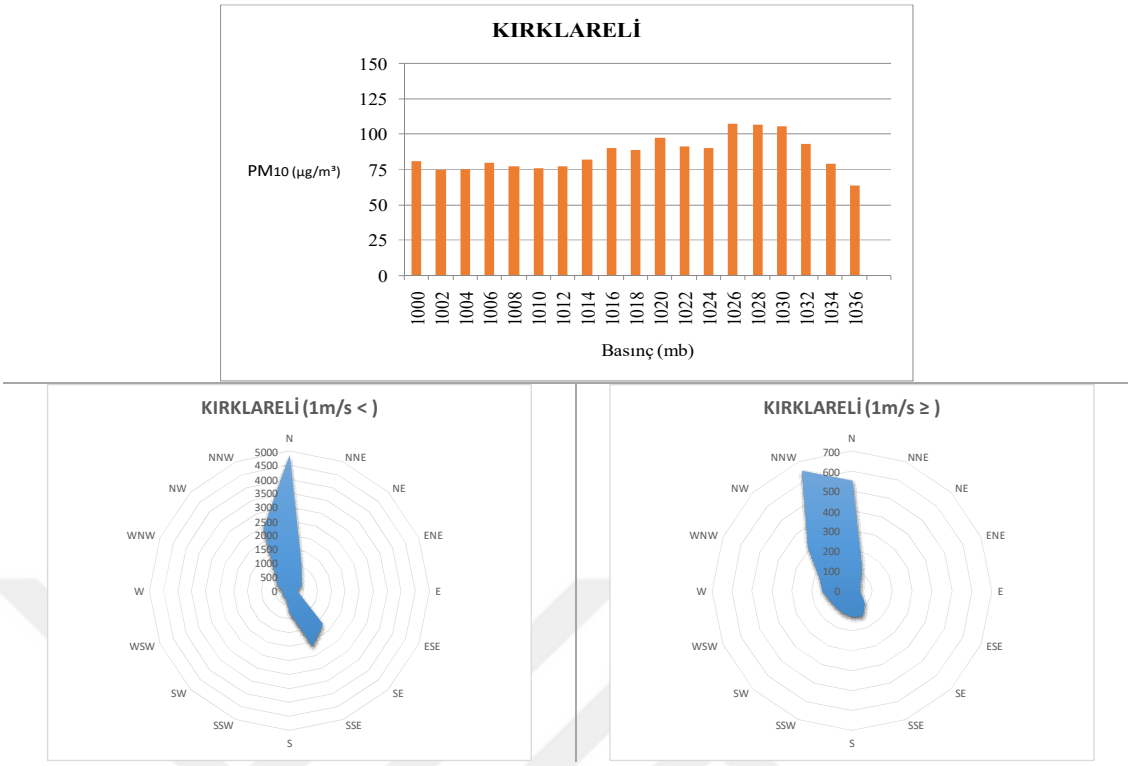
Şekil A.69 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Sakarya Merkez istasyonuna ait PM_{10} seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



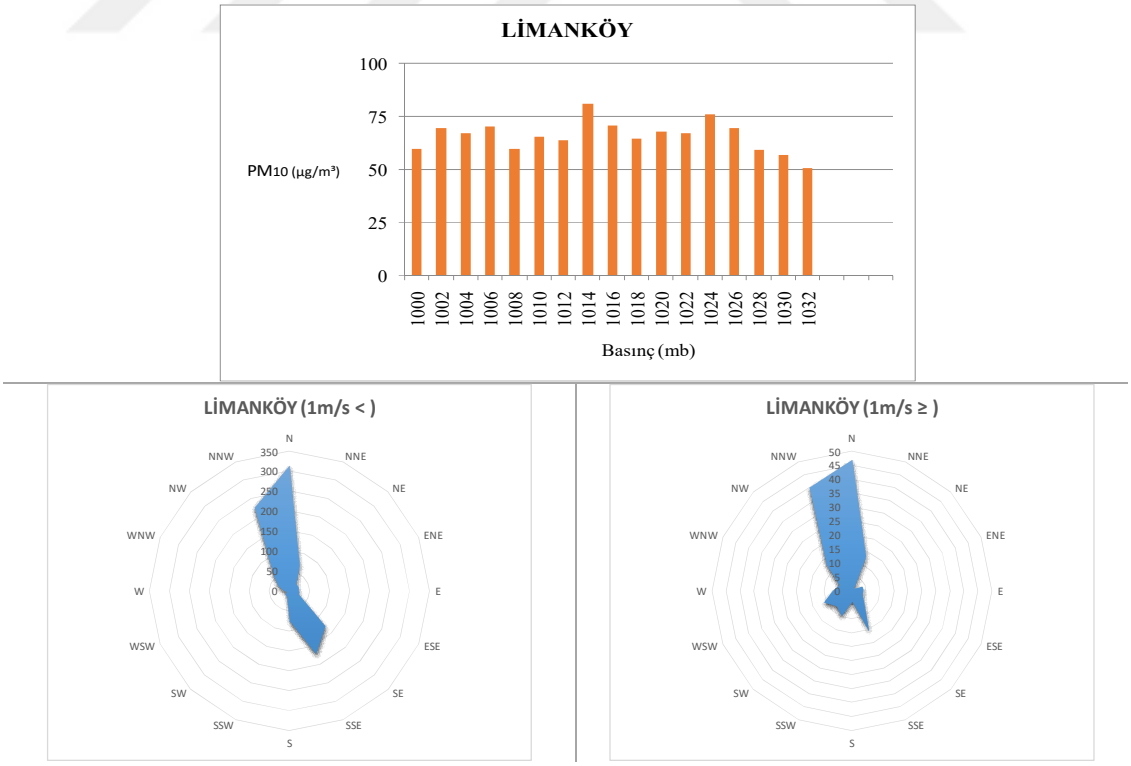
Şekil A.70 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Edirne istasyonuna ait PM_{10} seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



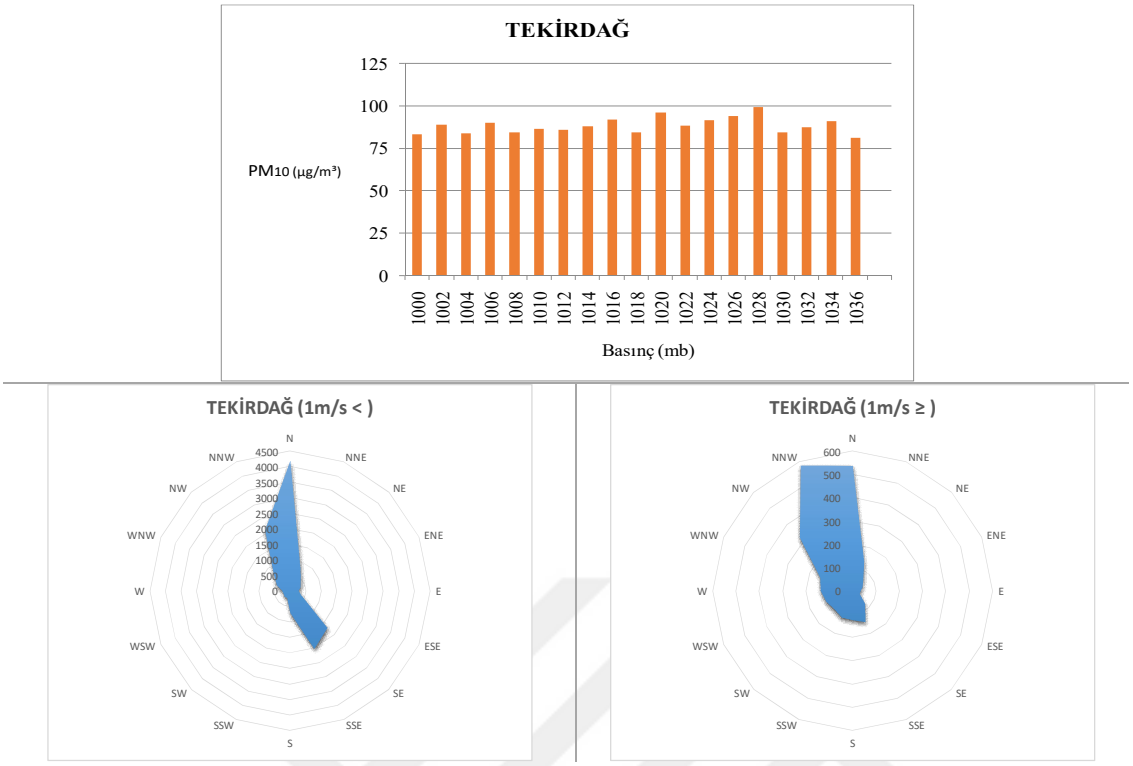
Şekil A.71 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Keşan istasyonuna ait PM_{10} seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



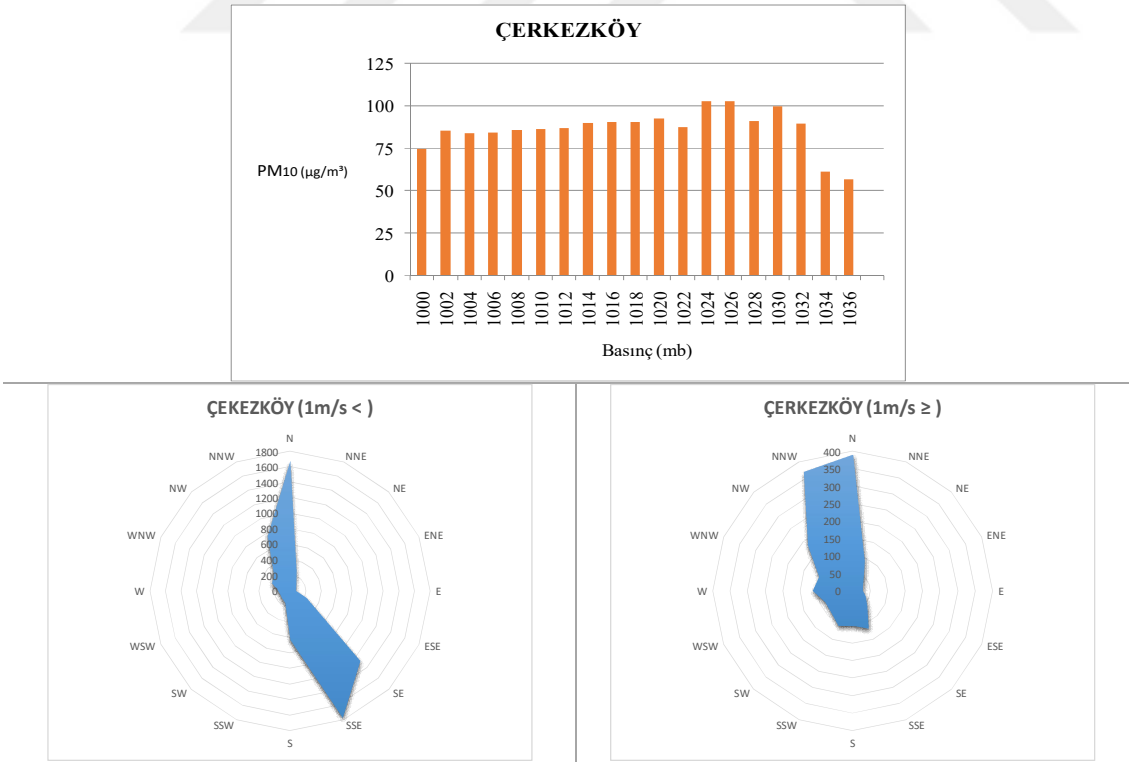
Şekil A.72 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Kırklareli istasyonuna ait PM_{10} seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



Şekil A.73 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Limanköy istasyonuna ait PM_{10} seviyesi kriteri, yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



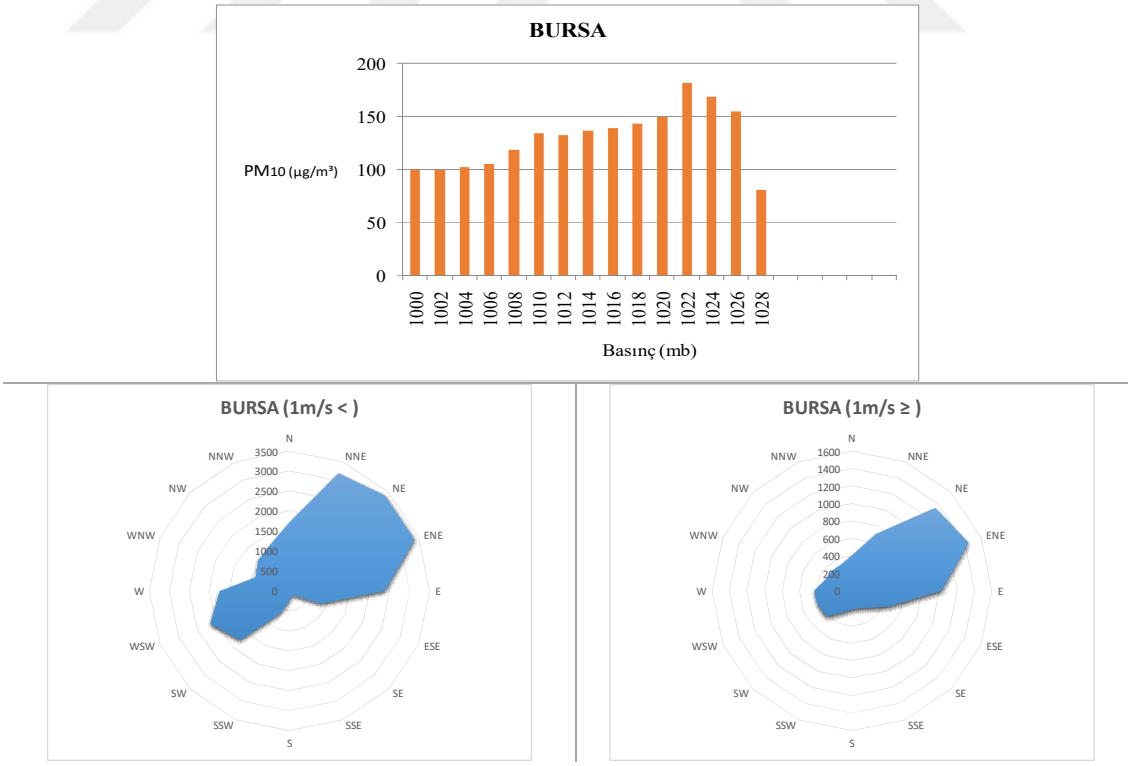
Şekil A.74 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Tekirdağ istasyonuna ait PM10 seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



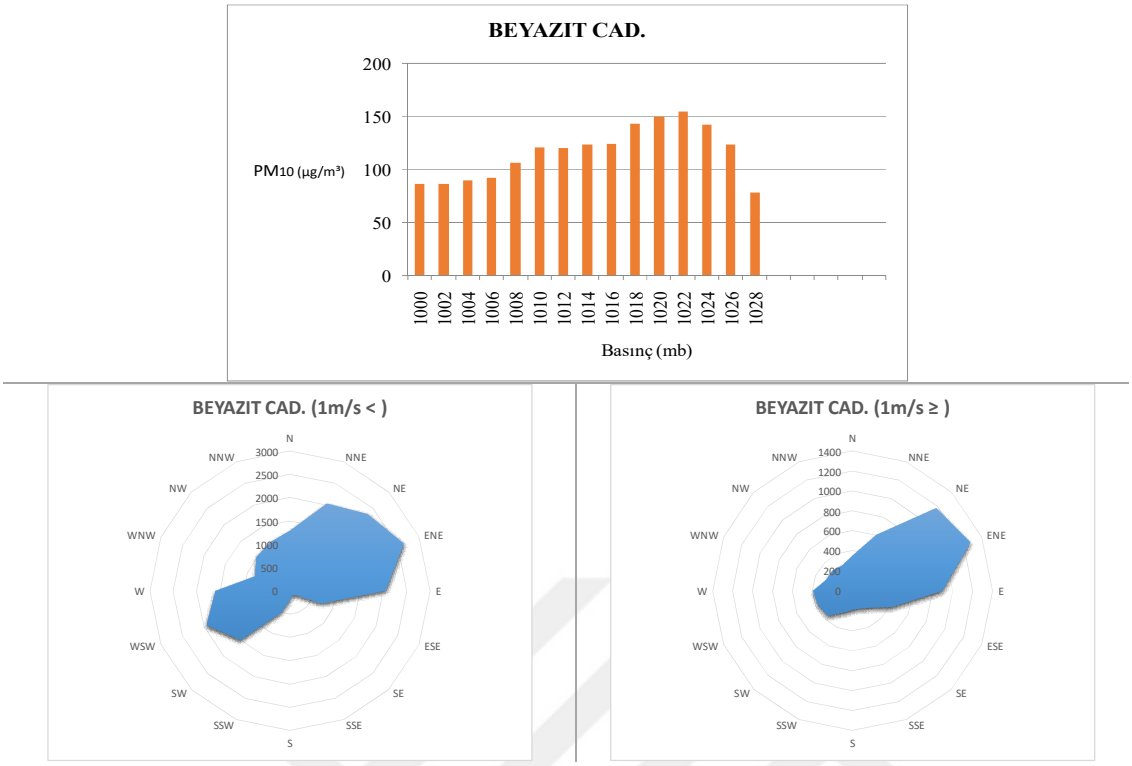
Şekil A.75 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Çerkezköy istasyonuna ait PM10 seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



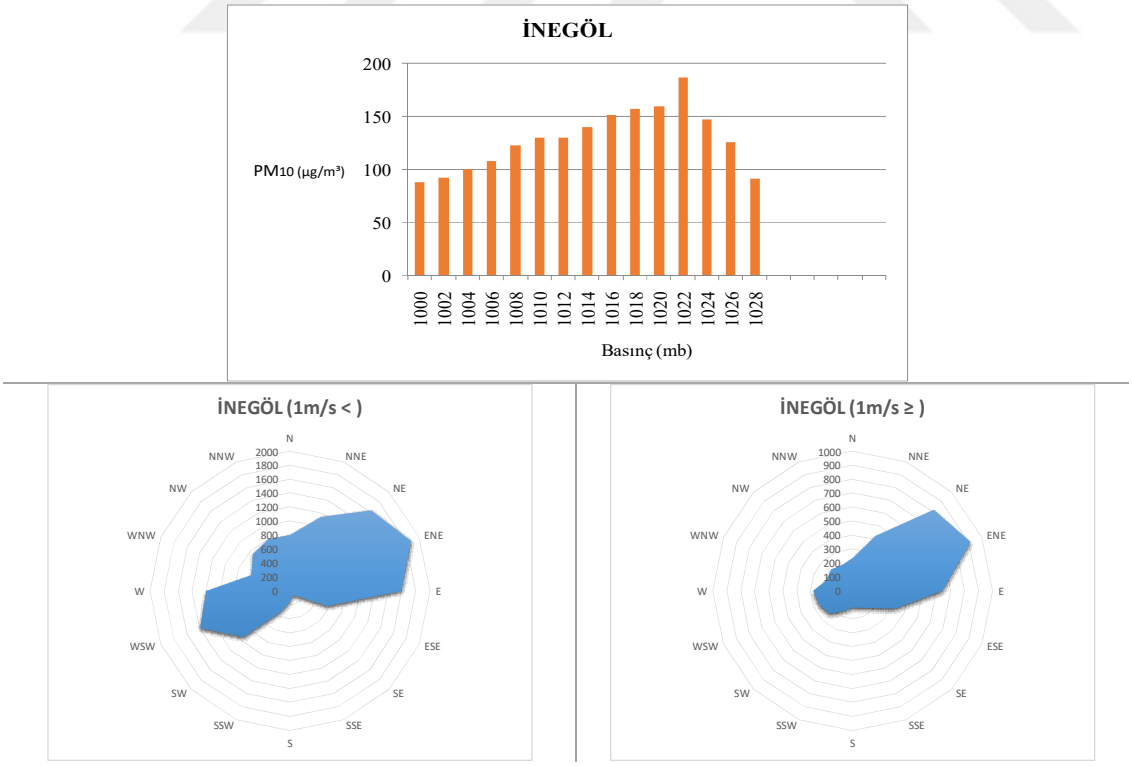
Şekil A.76 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Tekirdağ Merkez istasyonuna ait PM_{10} seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



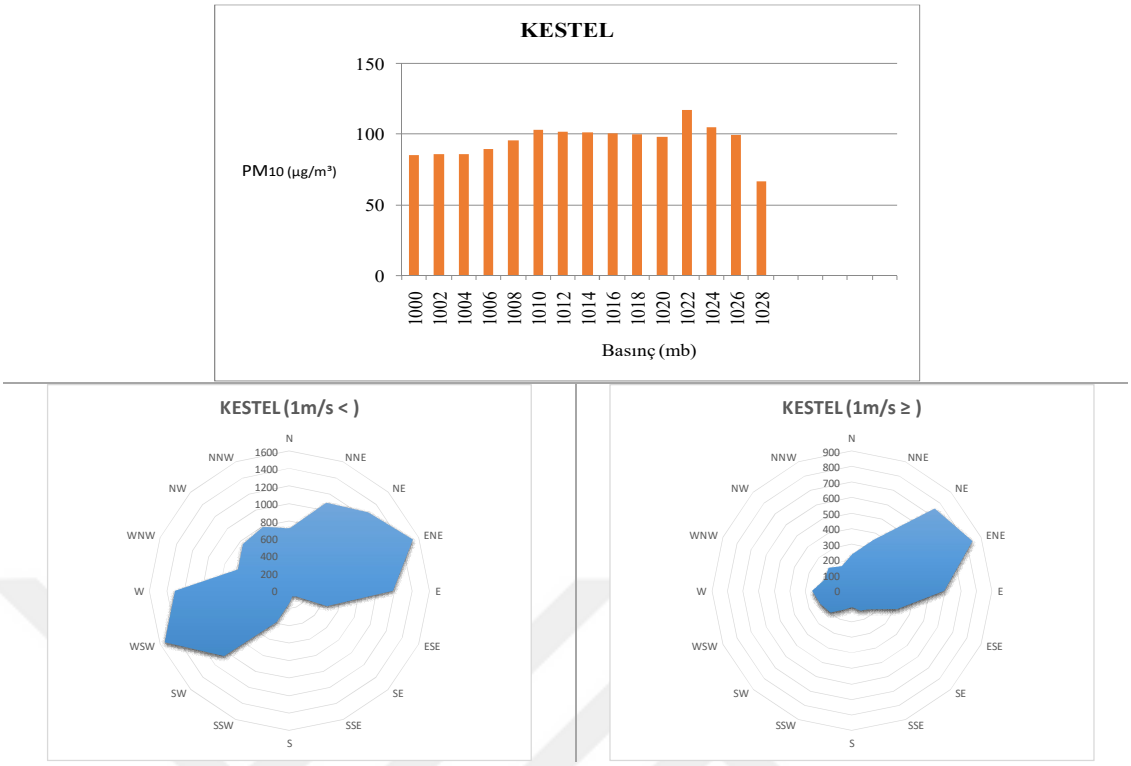
Şekil A.77 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Bursa istasyonuna ait PM_{10} seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



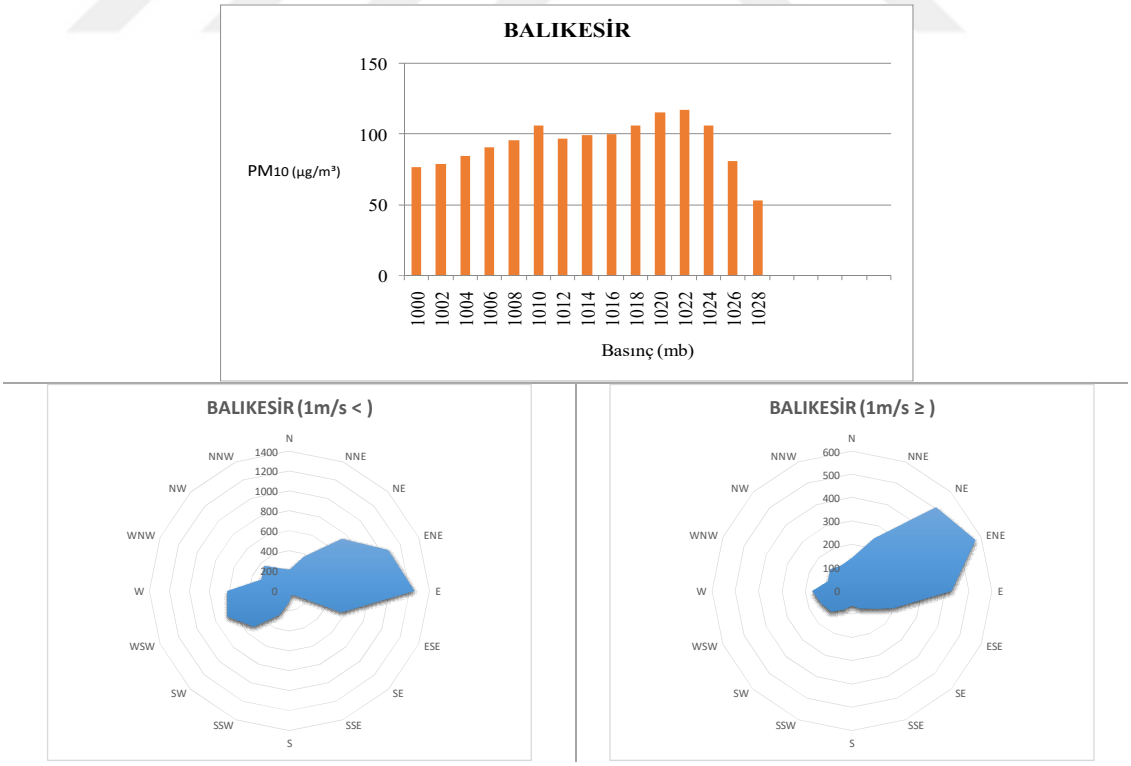
Şekil A.78 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Beyazıt Caddesi istasyonuna ait PM_{10} seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



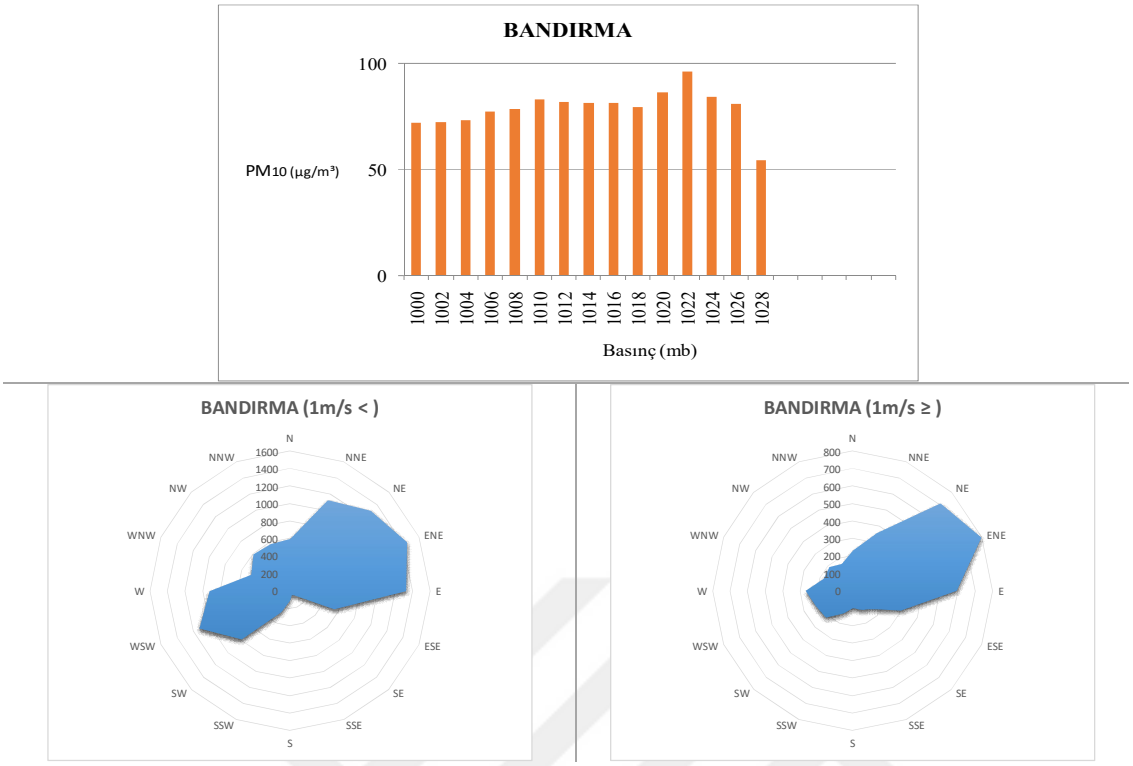
Şekil A.79 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, İnegöl istasyonuna ait PM_{10} seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



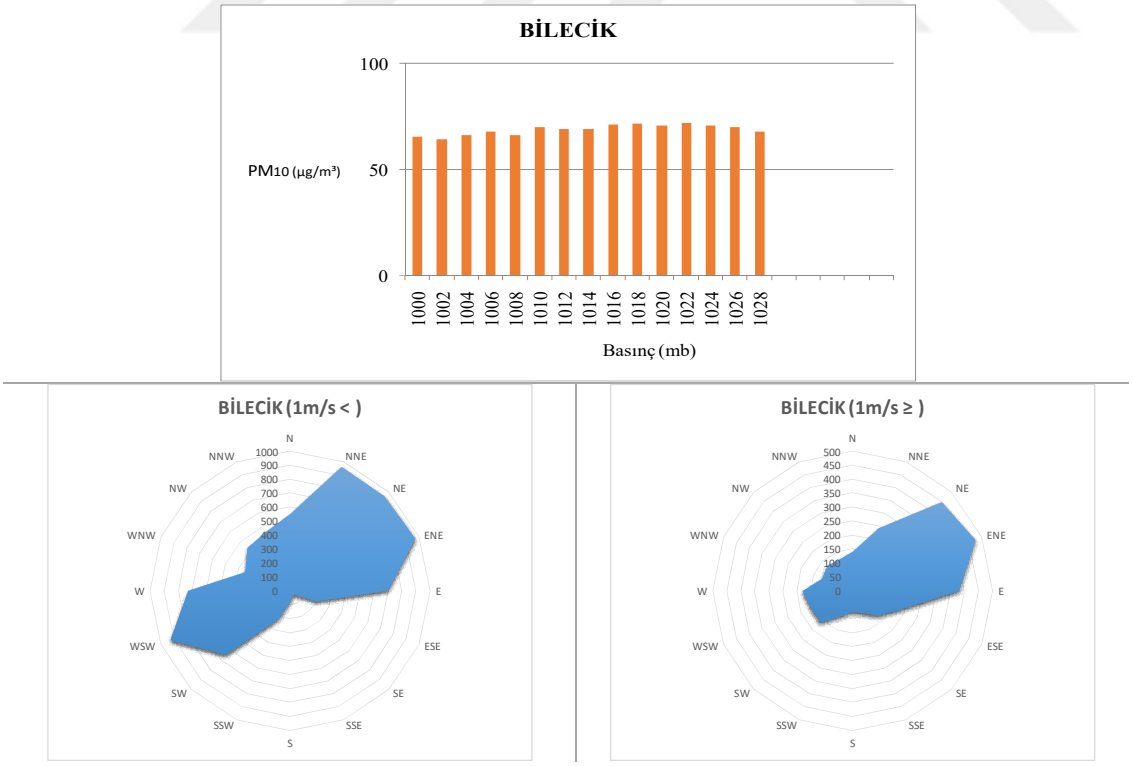
Şekil A.80 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Kestel istasyonuna ait PM10 seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



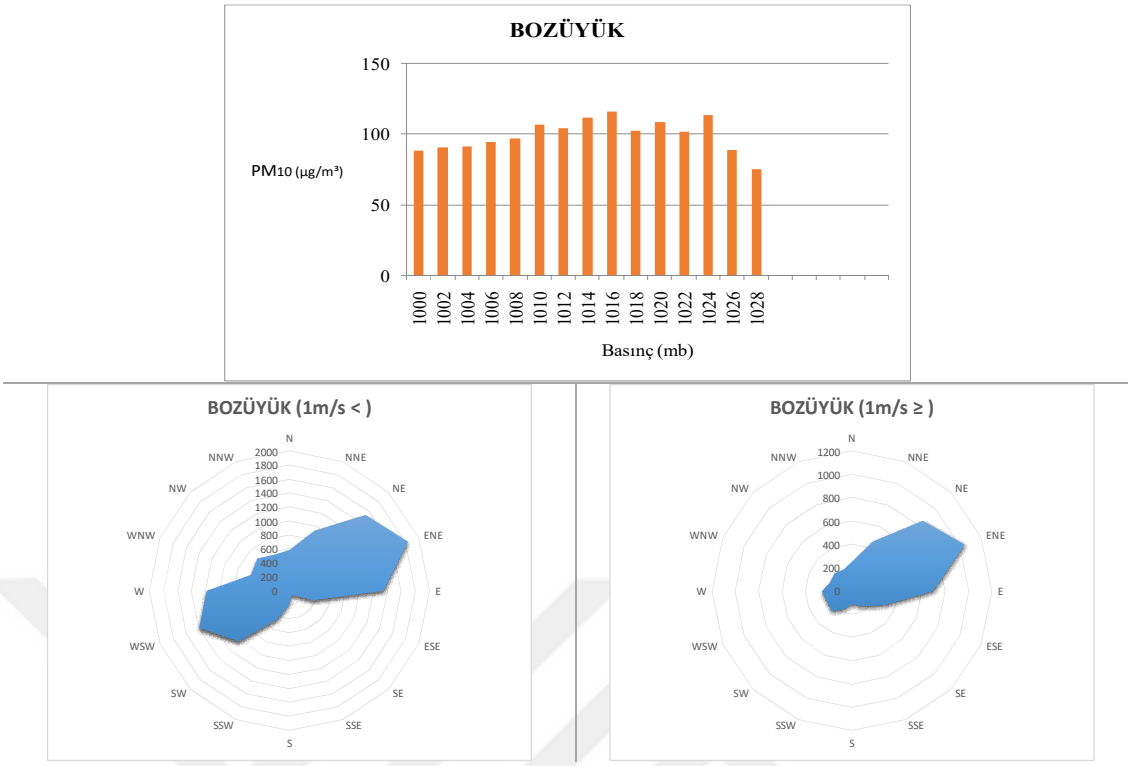
Şekil A.81 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Balıkesir istasyonuna ait PM10 seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



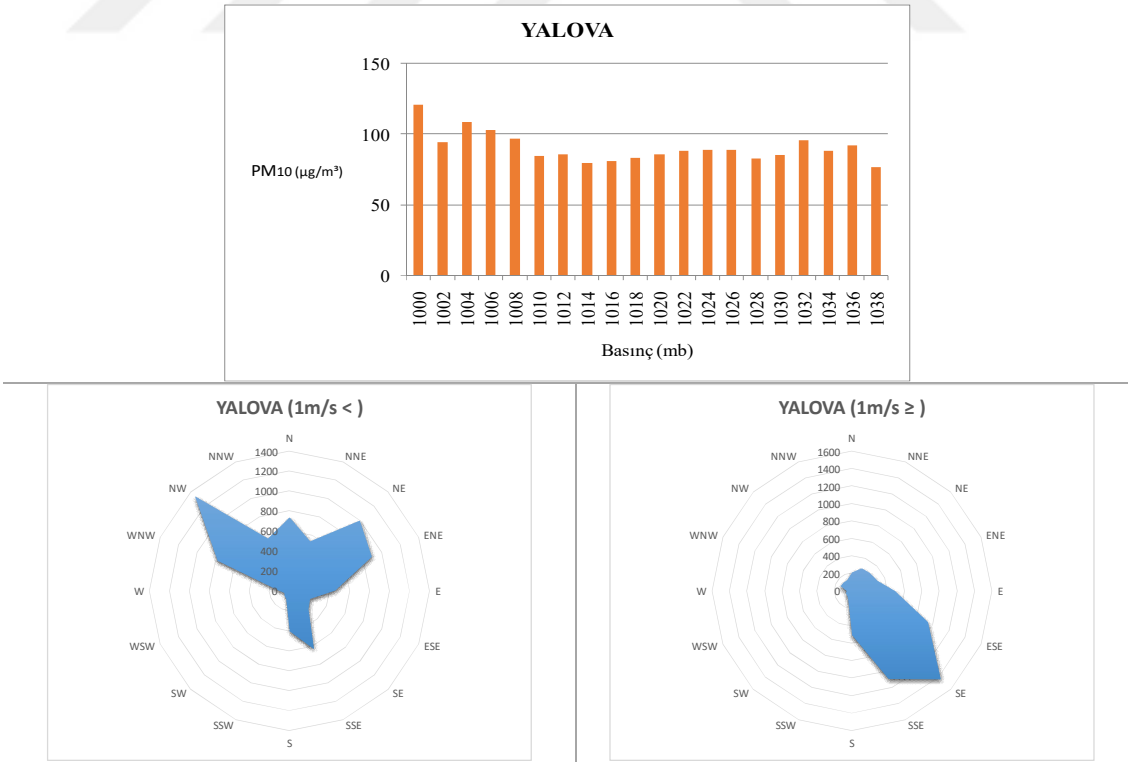
Şekil A.82 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Bandırma istasyonuna ait PM_{10} seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



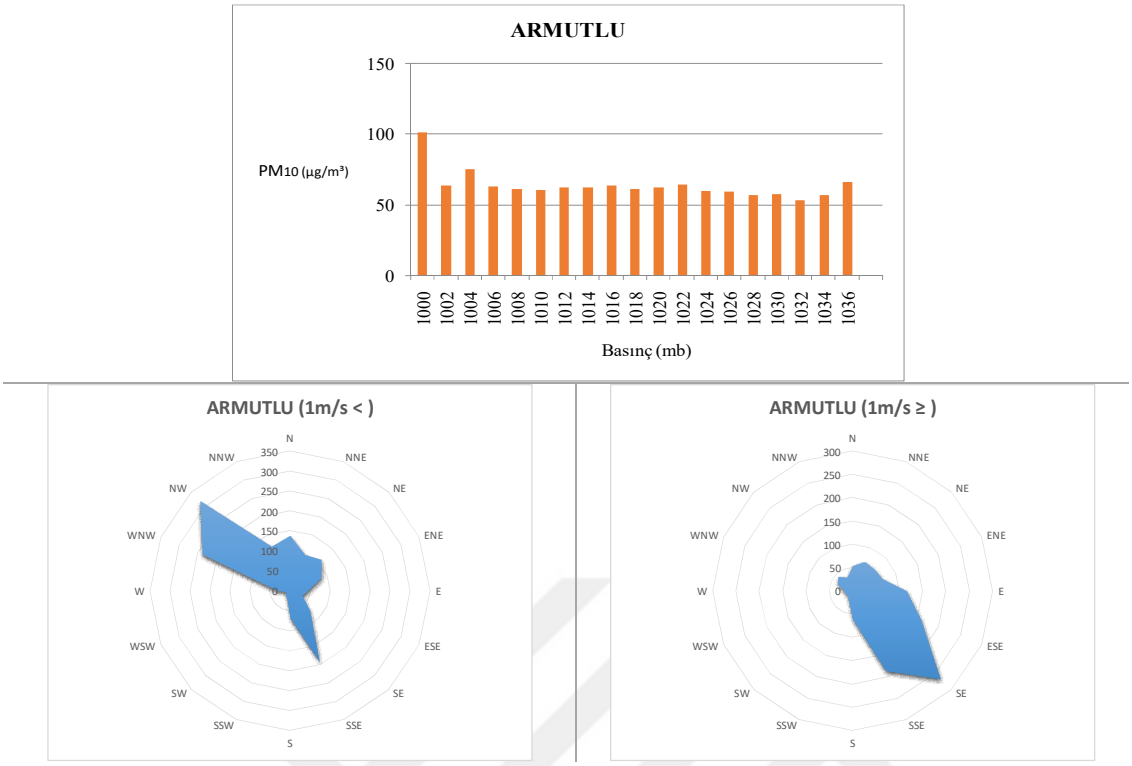
Şekil A.83 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Bilecik istasyonuna ait PM_{10} seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



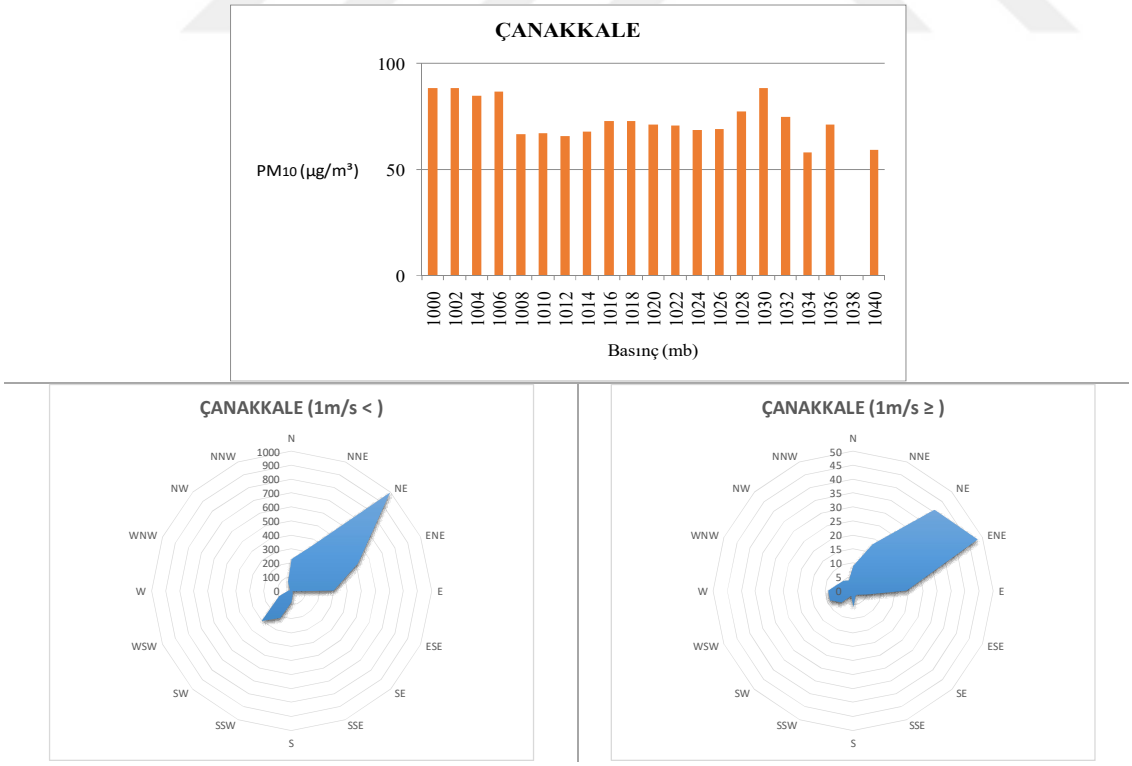
Şekil A.84 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Bozüyük istasyonuna ait PM_{10} seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



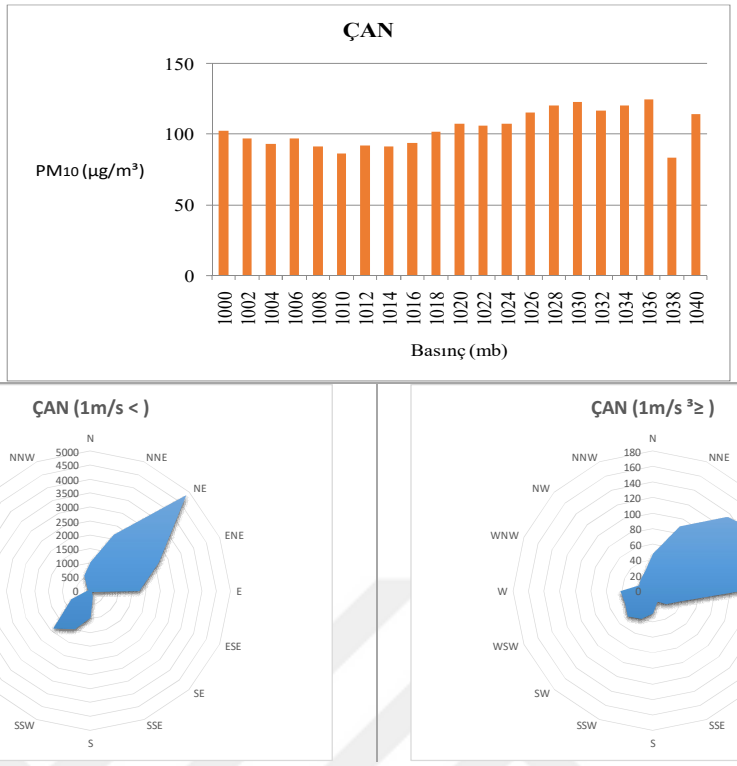
Şekil A.85 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Yalova istasyonuna ait PM_{10} seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



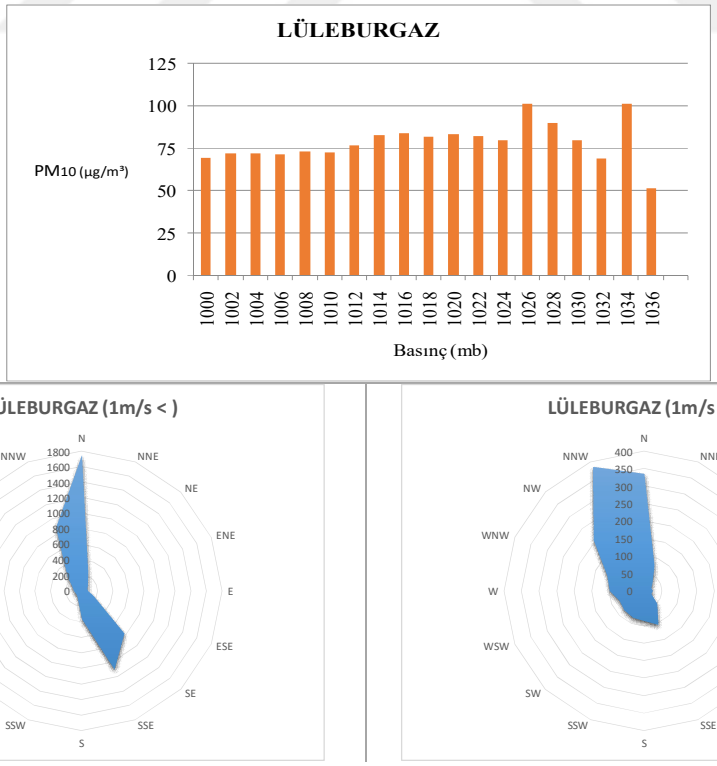
Şekil A.86 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Armutlu istasyonuna ait PM_{10} seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



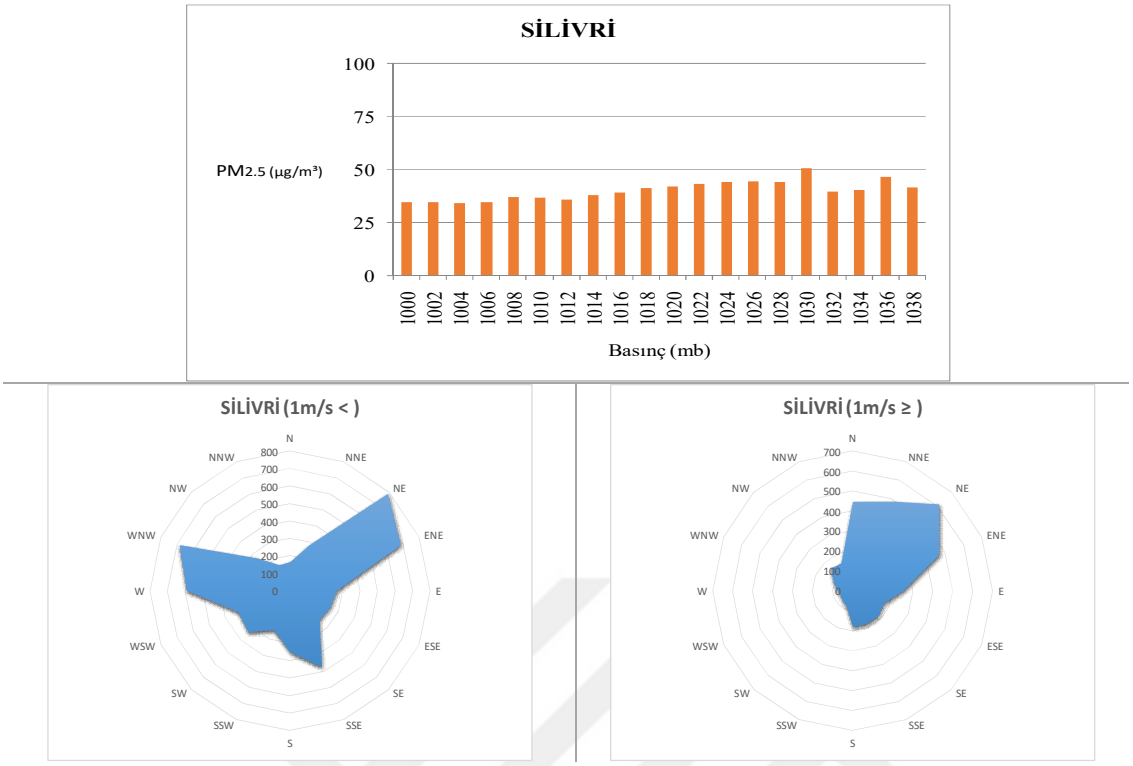
Şekil A.87: Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Çanakkale istasyonuna ait PM_{10} seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



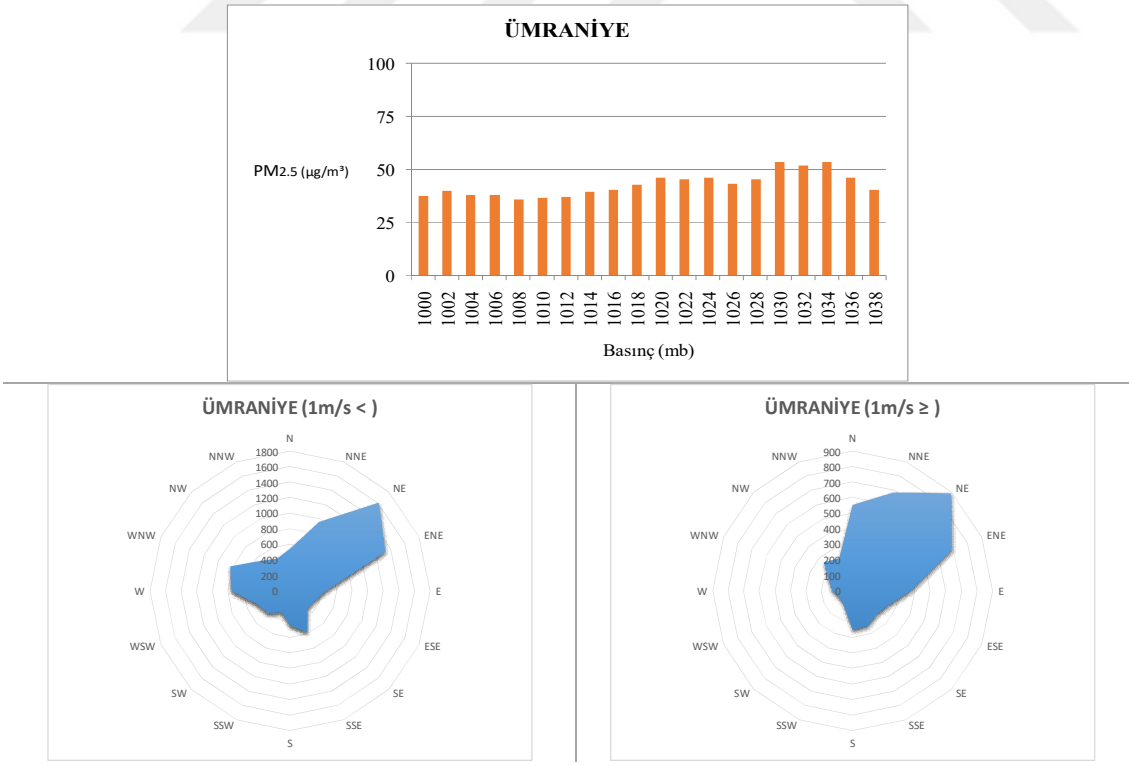
Şekil A.88 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Çan istasyonuna ait PM10 seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



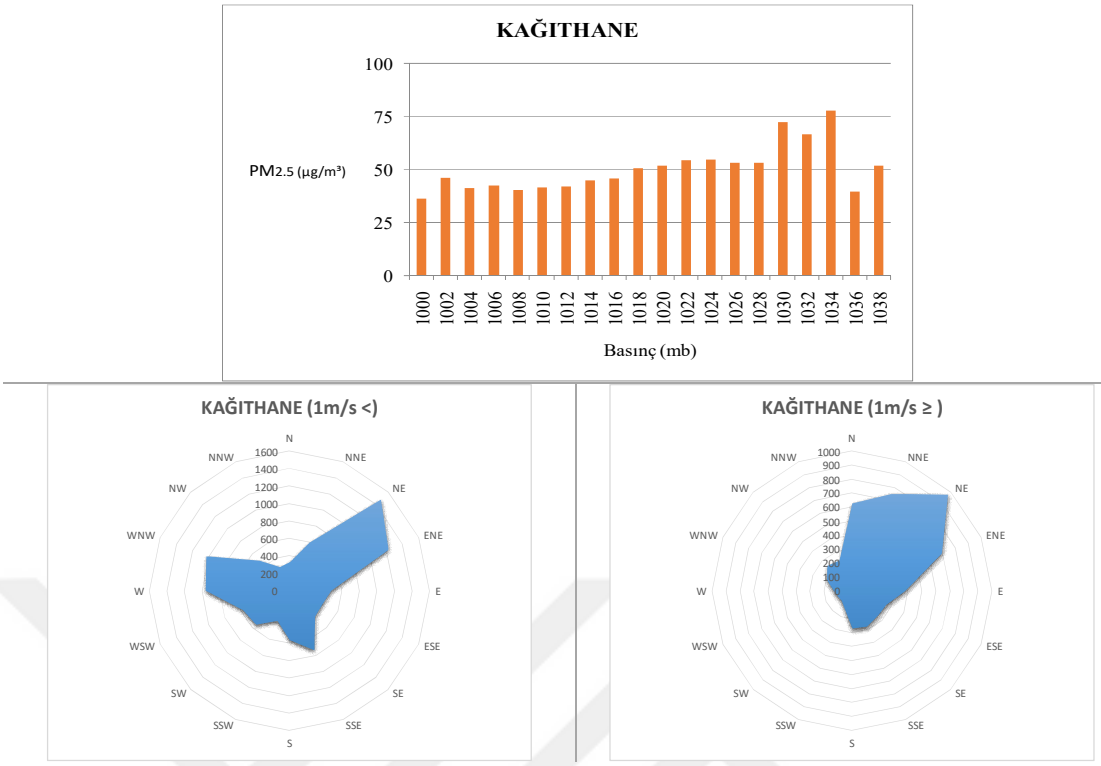
Şekil A.89 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Lüleburgaz istasyonuna ait PM10 seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



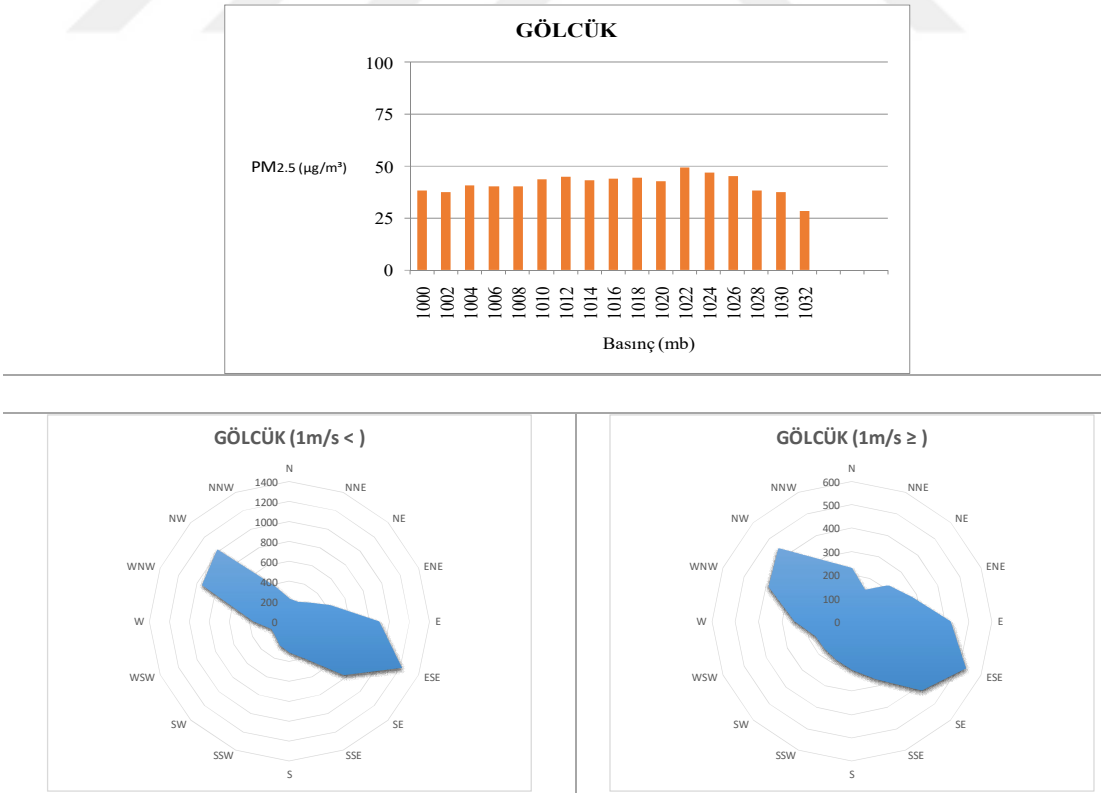
Şekil A.90 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Silivri istasyonuna ait $PM_{2.5}$ seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



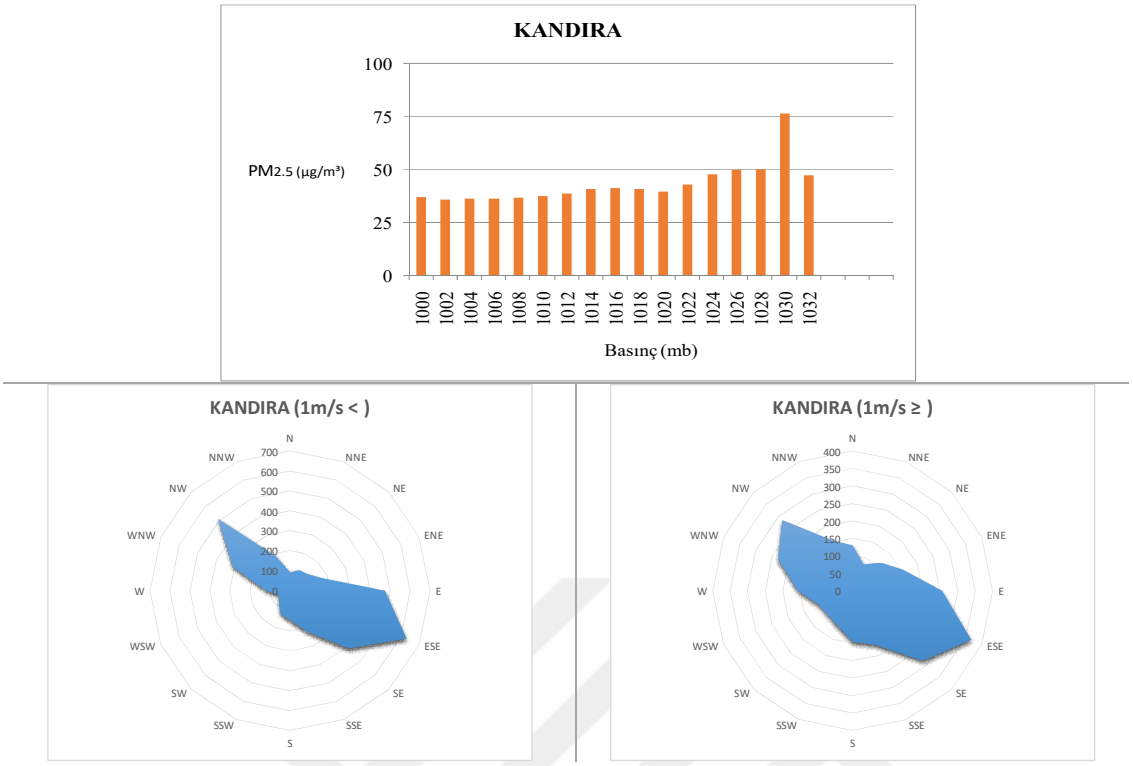
Şekil A.91 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Ümraniye istasyonuna ait $PM_{2.5}$ seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



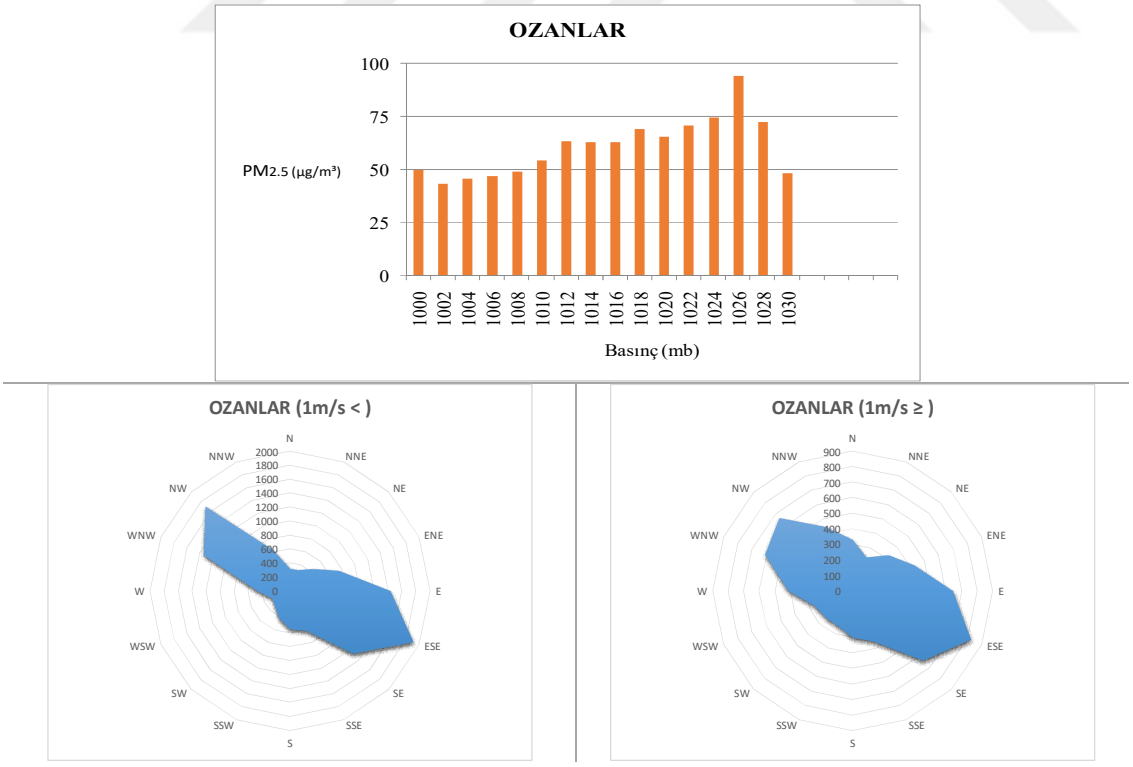
Şekil A.92 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Kağıthane istasyonuna ait $PM_{2.5}$ seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



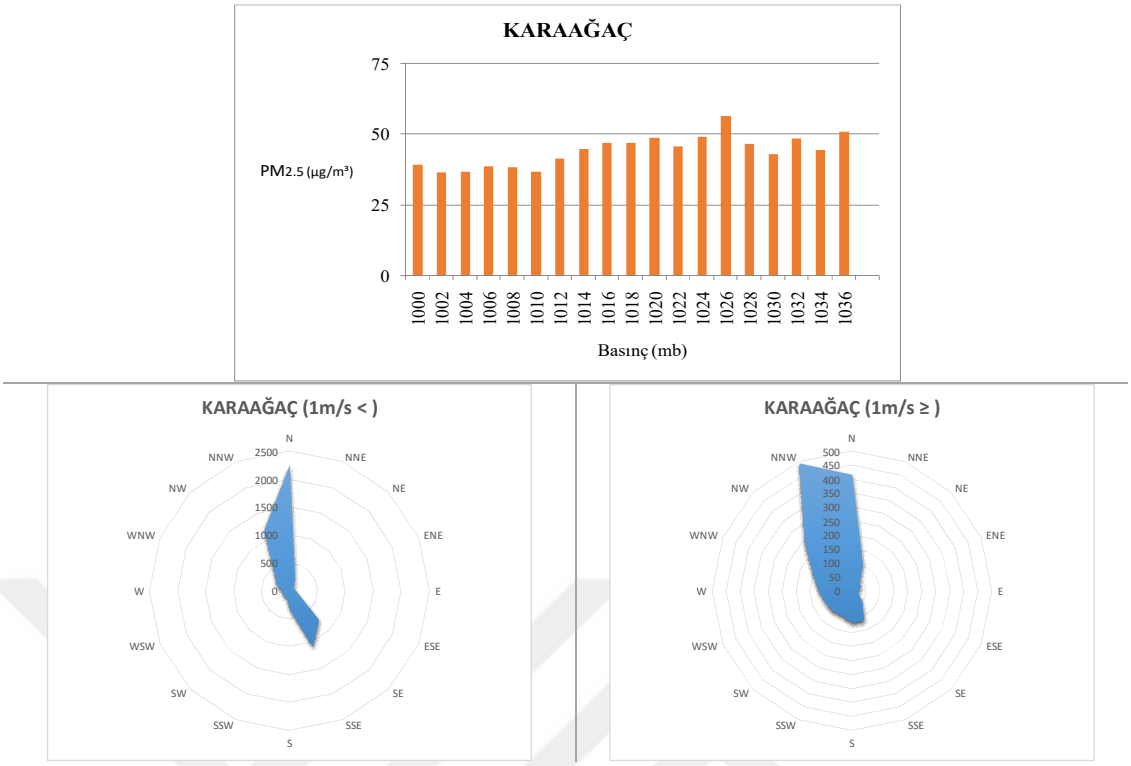
Şekil A.93 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Gölcük istasyonuna ait $PM_{2.5}$ seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



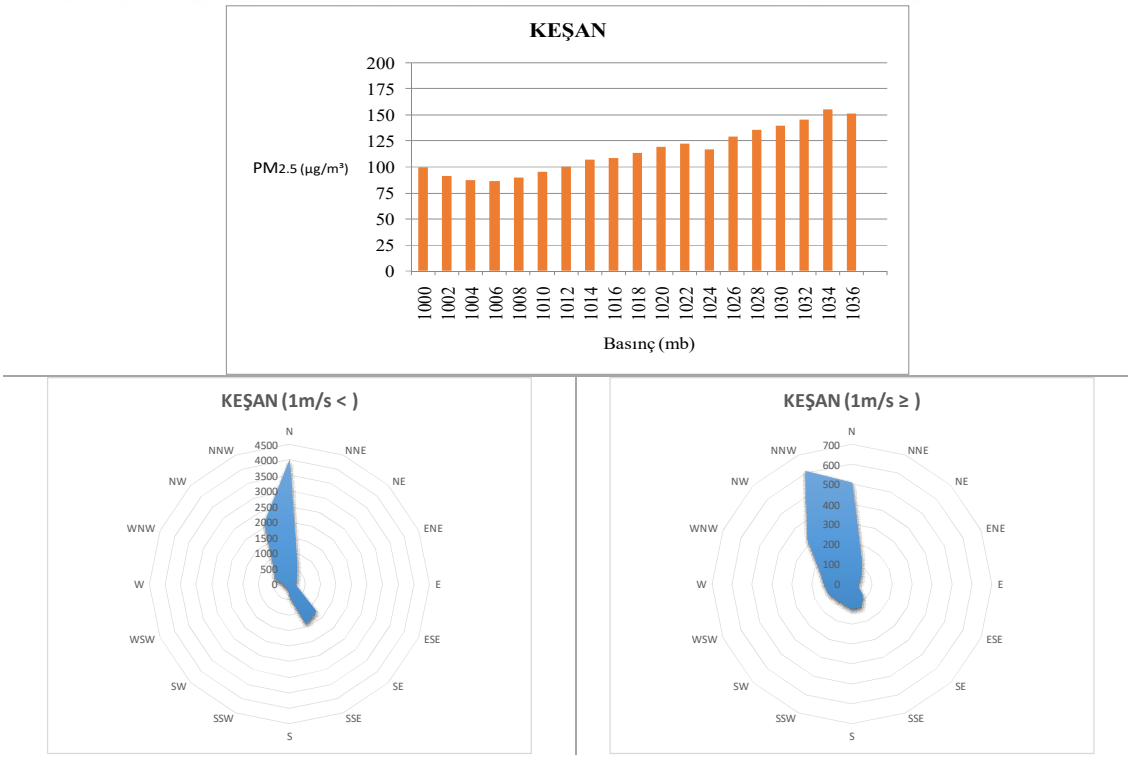
Şekil A.94 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Kandıra istasyonuna ait $PM_{2.5}$ seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



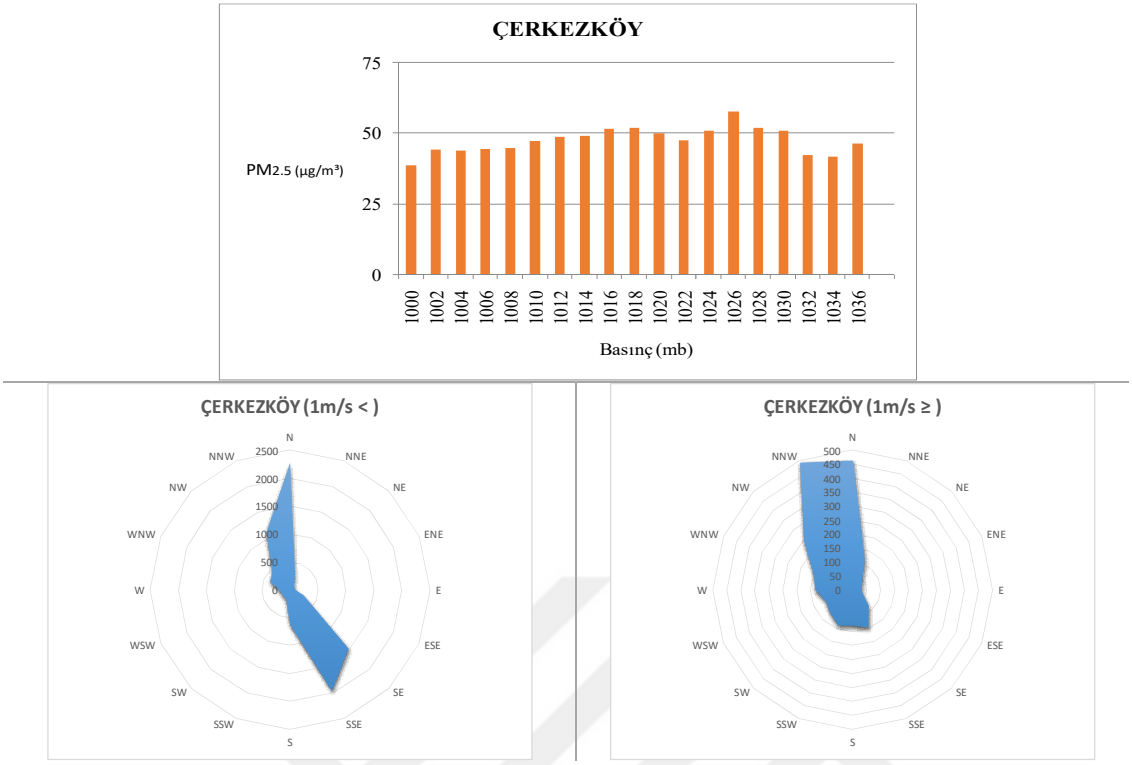
Şekil A.95 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Ozanlar istasyonuna ait $PM_{2.5}$ seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



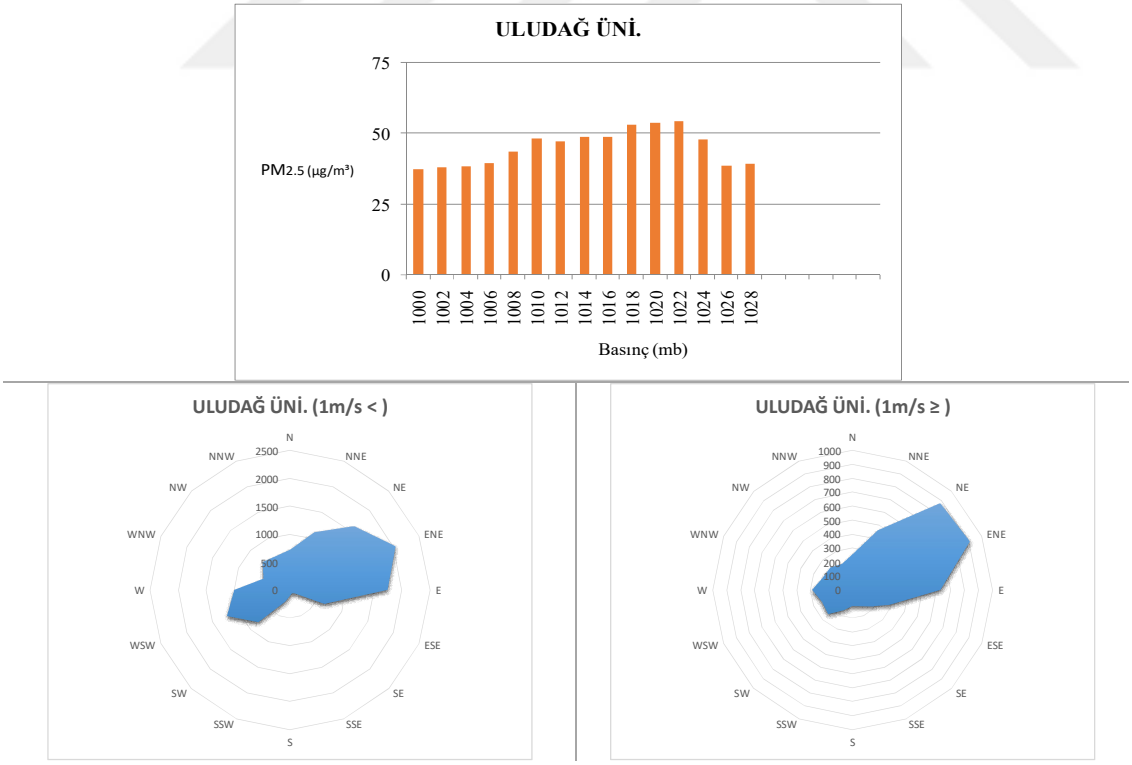
Şekil A.96 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Karaağaç istasyonuna ait $PM_{2.5}$ seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



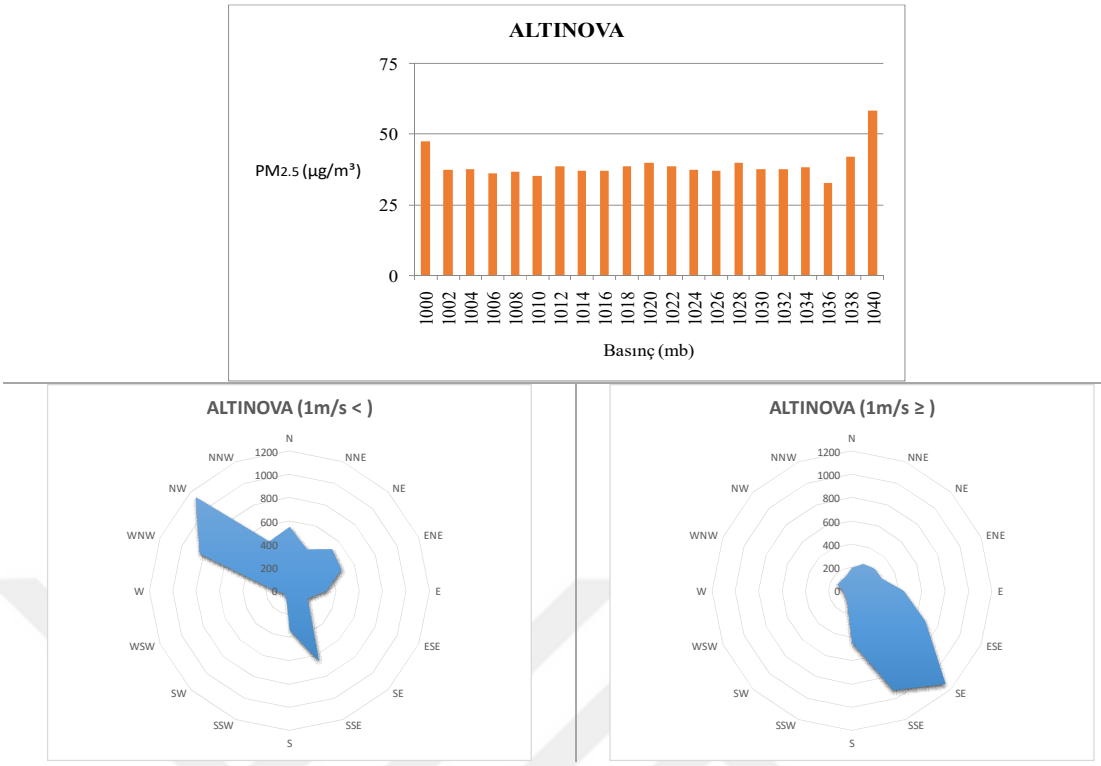
Şekil A.97 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Keşan istasyonuna ait $PM_{2.5}$ seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



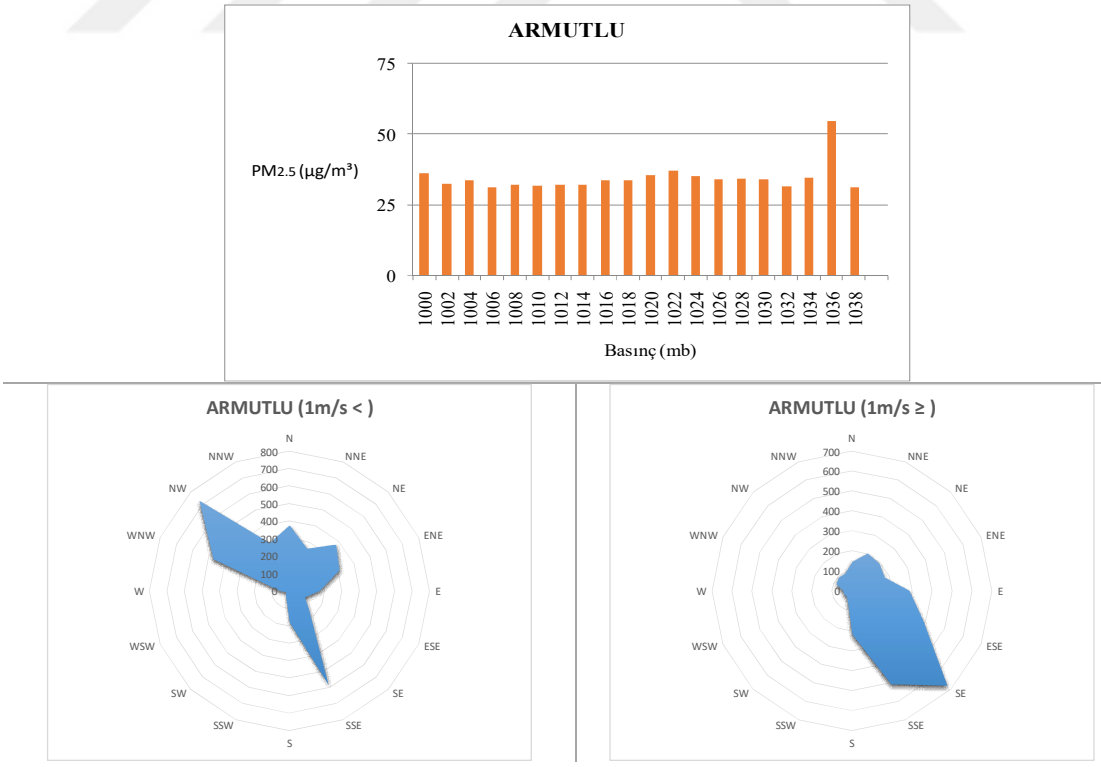
Şekil A.98 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Çerkezköy istasyonuna ait $PM_{2.5}$ seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



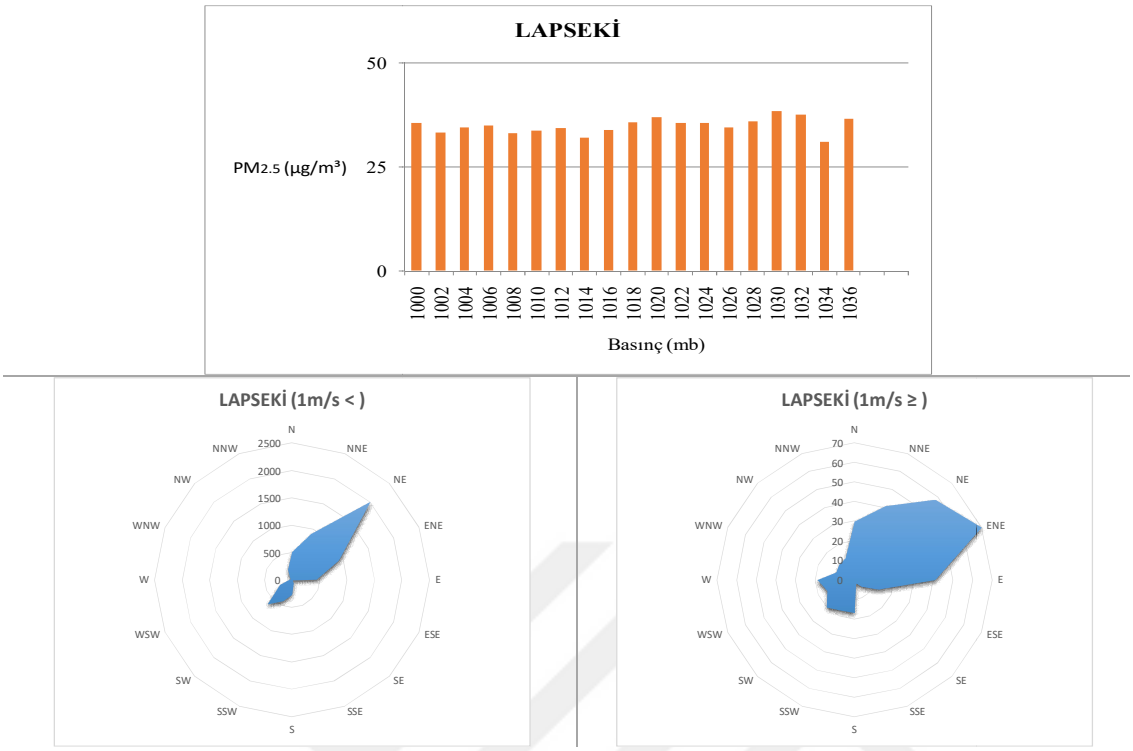
Şekil A.99 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Uludağ Üniversitesi istasyonuna ait $PM_{2.5}$ seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



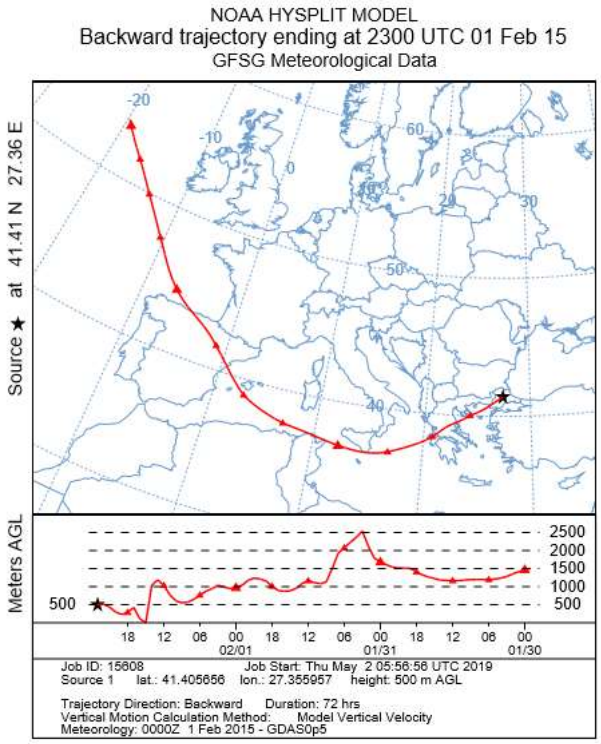
Şekil A.100 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Altınova istasyonuna ait $PM_{2.5}$ seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



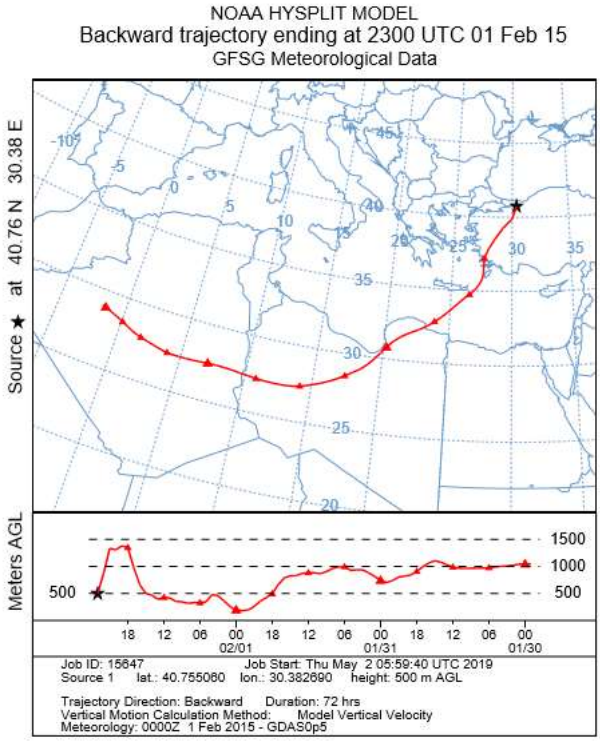
Şekil A.101 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Armutlu istasyonuna ait $PM_{2.5}$ seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



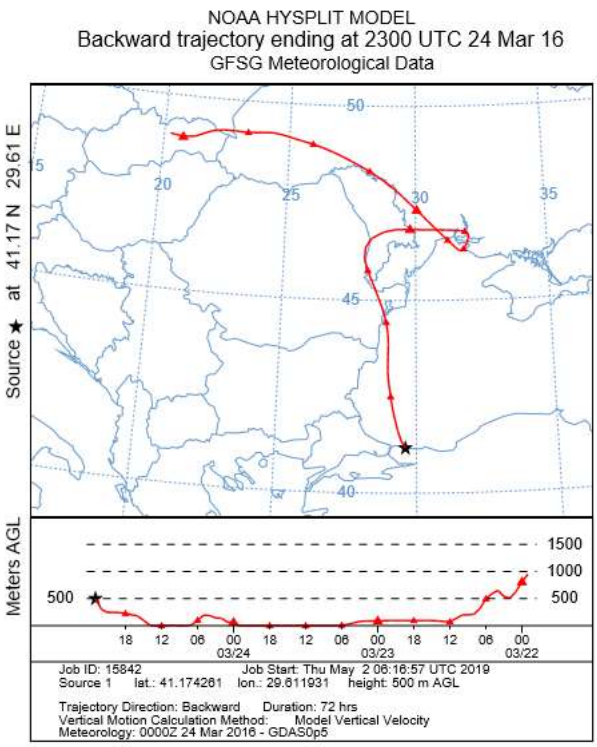
Şekil A.102 : Ocak 2014-Aralık 2018 dönemi, Lapseki istasyonuna ait $PM_{2.5}$ seviyesi kriteri yüzey basıncı sıklık dağılımı ve rüzgar gülleri.



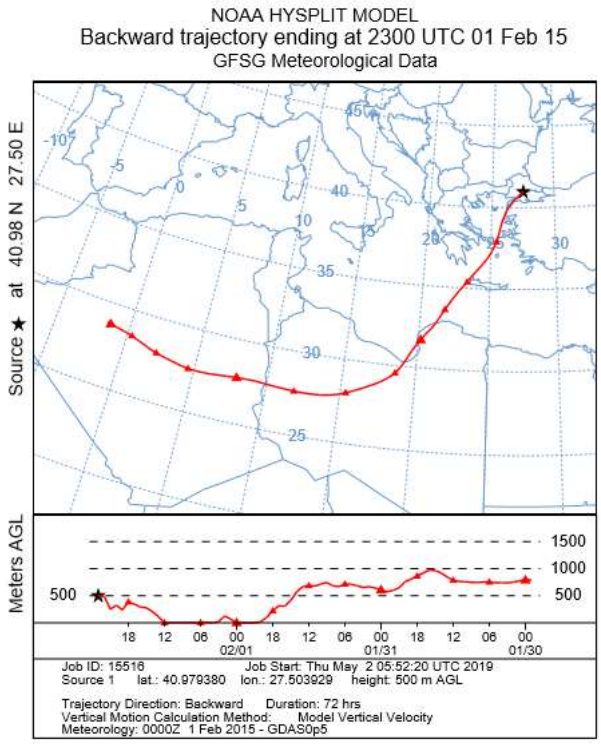
Şekil A.103 : Lüleburgaz istasyonuna ait 01.02.2015 günü Noaa Hysplit modeli yörüngesi.



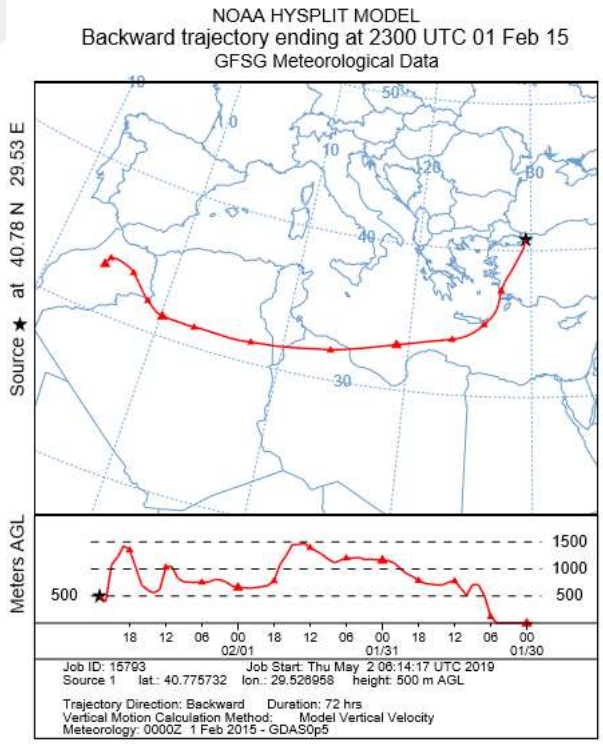
Şekil A.104 : Sakarya istasyonuna ait 01.02.2015 günü Noaa Hysplit modeli yörüngesi.



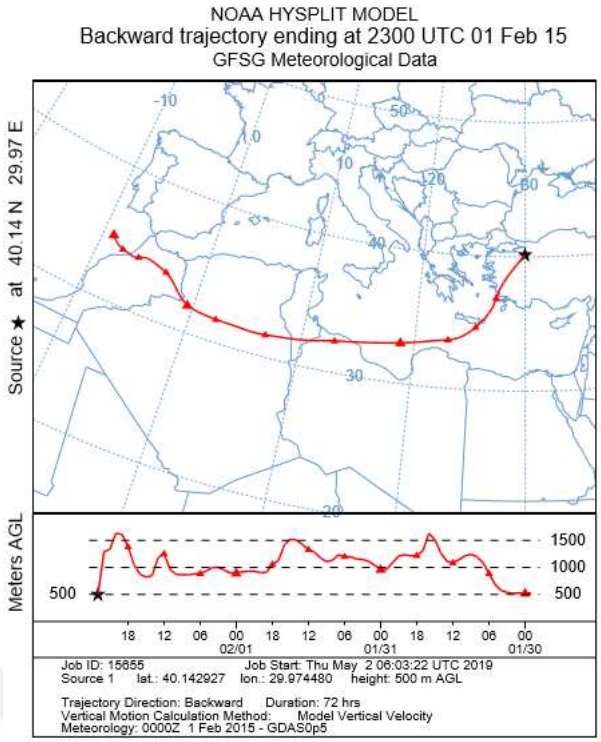
Şekil A.105 : Şile istasyonuna ait 24.03.2016 günü Noaa Hysplit modeli yörüngesi.



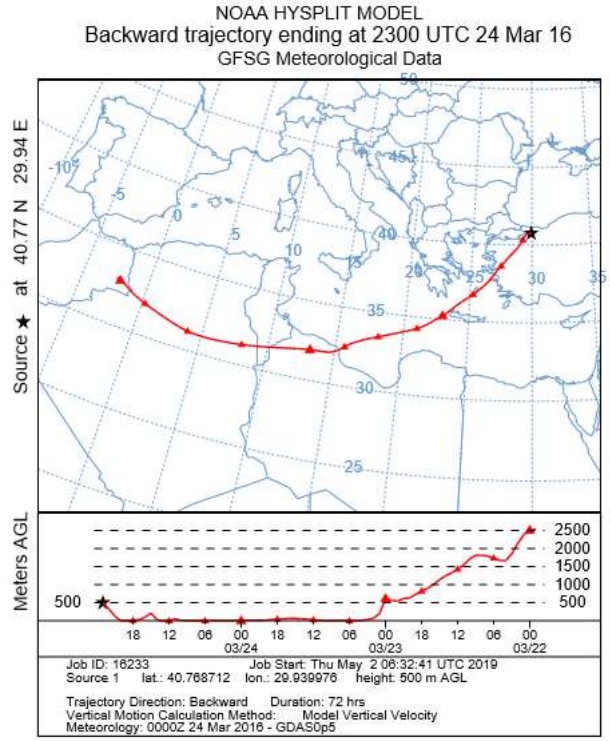
Şekil A.106 : Tekirdağ istasyonuna ait 01.02.2015 günü Noaa Hysplit modeli yörüngesi.



Şekil A.107 : Dilovası istasyonuna ait 01.02.2015 günü Noaa Hysplit modeli yörüngesi.



Şekil A.108 : Bilecik istasyonuna ait 01.02.2015 günü Noaa Hysplit modeli yörüngesi.



Şekil A.109 : Kocaeli istasyonuna ait 24.03.2016 günü Noaa Hysplit model yörüngesi.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Ece Özer

Doğum Tarihi ve Yeri : 20.03.1975, İstanbul

E-posta : eceozer@hotmail.com

ÖĞRENİM :

- **Lisans** : 1997, İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisi

LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Batuk, D.N.; Gürsoy, E.; Artut. H.; Erdun, H.; İncecik, S.** 1997. Analyses of SO_2 and TSP Under Meso-scale Weather Conditions in İstanbul. Final Program of The Symposium on Air Quality Management, September 23-26, 1997 İstanbul, Turkey.