İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZAKTAN ALGILAMA SİSTEMLERİ İLE İSTANBUL'DA ATMOSFERİK SINIR TABAKA VE HAVA KALİTESİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hande TEMUR

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

TEMMUZ 2020

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZAKTAN ALGILAMA SİSTEMLERİ İLE İSTANBUL'DA ATMOSFERİK SINIR TABAKA VE HAVA KALİTESİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hande TEMUR
511171010

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ali DENİZ

TEMMUZ 2020

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 511171010 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Hande TEMUR, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "Uzaktan Algılama Sistemleri İle İstanbul'da Atmosferik Sınır Tabaka Ve Hava Kalitesi Etkilerinin Araştırılması" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Ali Deniz** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ş. Sibel Menteş** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Haldun Karan .....
TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi

Teslim Tarihi : 15 Haziran 2020
Savunma Tarihi : 23 Temmuz 2020

Aileme,

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans öğrenimim boyunca yardımlarını ve katkılarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Ali DENİZ'e, verilerin temin edilmesi ve derlemesinde katkılarından dolayı Ar. Gör. Veli YAVUZ, Cem ÖZEN, Özkan ÇAPRAZ başta olmak üzere burada isimlerini sayamadığım kıymetli arkadaşlarıma ve hayatımın her anında desteklerini hiç esirgemeyen değerli aileme yardımları için teşekkür ederim.

116Y224 numaralı TÜBİTAK 1001 projesinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2020

Hande TEMUR
Meteoroloji Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
SEMBOLLER ..... **xii**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xix**
SUMMARY ..... **xxii**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amacı 2
1.2 Literatür Araştırması 2
2. ATMOSFERİK SINIR TABAKA **9**
2.1 Uzaktan Algılama Sistemler İle Atmosferik Sınır Tabaka Tespiti 12
2.1.1 SODAR İle Atmosferik Sınır Tabaka Belirleme 15
2.1.2 Silyometre İle Atmosferik Sınır Tabaka Belirleme 16
2.2 Atmosferik Sınır Tabakanın Hava Kalitesi Üzerine Etkileri 18
2.2.1 Hava Kirliliği 20
3. VERİ VE YÖNTEM **21**
3.1 Kağıthane Hava Kirliliği Ölçüm İstasyonu Verileri 22
3.2 SODAR Cihazı Ölçüm Verileri 25
3.3 Silyometre Ölçüm Verileri 27
3.4 HYSPLIT Model Yöntemi 29
4. ANALİZ **31**
4.1 KağıthaneÖlçüm İstasyonunun Verilerinin Analizi 31
4.1.1 Meteorolojik Ölçüm Verileri Analizi 31
4.1.2 Hava Kirliliği Ölçüm Verileri Analizi 34
4.1.2.1 PM10 Analizi 35
4.1.2.2 PM2.5 Analizi 36
4.1.2.3 SO2 Analizi 37
4.1.2.4 NO2 Analizi 38
4.1.2.5 O3 Analizi 38
4.1.2.6 Kirletici Verilerin Aylık Analizi 39
4.1.3 PM2.5 İçin Episodik Günler 40
4.1.3.1 Episod 1 (18.02.2019 – 22.02.2019) 41
4.1.3.2 Episod 2 (04.03.2019 – 09.03.2019) 46
4.1.3.3 Episod 3 (28.04.2019 – 30.04.2019 50
4.2 SODAR Cihazı Ölçüm Analizi 54
4.2.1 SODAR Cihazı İle Episod Günleri Analizi 57
4.2.1.1 SODAR ile Episod 1 Analizi 58
4.2.1.2 SODAR ile Episod 2 Analizi 61

4.2.1.3 SODAR ile Episod 3 Analizi 64
4.3 Silyometre Cihazı Ölçüm Analizi 67
4.3.1 Silyometre Cihazı İle Episod Günleri Analizi 70
4.3.1.1 Silyometre ile Episod 1 Analizi 71
4.3.1.2 Silyometre ile Episod 2 Analizi 74
4.3.1.3 Silyometre ile Episod 3 Analizi 77
4.4 HYSPLIT Model Sonuçları 80
4.5 Analizlerin İlişkilendirilmesi 82
5. SONUÇ 85
KAYNAKLAR 87
EKLER 93
ÖZGEÇMİŞ 99

KISALTMALAR

AB : Avrupa Birliği
ABL : Atmospheric Boundary Layer
AST : Atmosferik Sınır Tabaka
CBL : Convective Boundary Layer
HYSPLIT : Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model
LIDAR : Light Detection And Ranging
MGM : Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MLH : Mixing Layer Height
NBL : Nocturnal Boundary Layer
SODAR : Sound Detection And Ranging

SEMBOLLER

Δx	**:** Sinyalin aldığı yol
$\lambda sound$	**:** Ses hızı dalga boyu
P(x, ƛ)	**:** Alıcıdan kaydedilen güç
P_0	**:** Cihazdan gönderilen lazer puls gücü
c	**:** Işık hızı
Δt	**:** Lazer pals süresi
A	**:** Alıcının alanı
n	**:** Alıcının verimliliği
O(x)	**:** İletilen ışın ile alıcının görüş alanı arasındaki aralığa bağlı örtüşme integralidir
β(x, ƛ)	**:** Geri saçılım katsayısı
τ(x, ƛ)	**:** Atmosferin iletimi ile ölçüm sistemi arasındaki saçılma hacmi
ƛ	**:** Dalga boyu
X	**:** Ölçüm cihazından saçılma hacmina kadar olan mesafe

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1: İstanbul'da evsel/ticari ve endüstriyel yanmadan kaynaklanan emisyonlar (İm ve diğ., 2008) **22**
Çizelge 4.1 : Hava kirleticisi ölçüm değerleri istatistik değerleri. **34**
Çizelge 4.2 :18.02.2019 – 22.02.2019 tarih aralığında günlük ortalama kirletici değerleri. **42**
Çizelge 4.3 :04.03.2019 – 09.03.2019 tarih aralığında günlük ortalama kirletici değerleri. **46**
Çizelge 4.4 :28.04.2019 – 30.04.2019 tarih aralığında günlük ortalama kirletici değerleri. **50**
Çizelge 4.5 : Sodar Cihazı ile ölçülen ortalama rüzgar ve en yüksek rüzgar değerleri **54**
Çizelge 4.6 : Genel ölçüm rüzgar hızı ile episod 1 rüzgar hızı verileri karşılaştırma **59**
Çizelge 4.7 : Genel ölçüm rüzgar hızı ile episod 2 rüzgar hızı verileri karşılaştırma **62**
Çizelge 4.8 : Genel ölçüm rüzgar hızı ile episod 3 rüzgar hızı verileri karşılaştırma **65**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Atmosferik Sınır Tabaka'nın 24 saatlik genel değişimi (Environmental Fluid Mechanics, 2008, Bölüm 12). 10
Şekil 2.2 : Gündüz konvektif sınır tabakasındaki tipik dikey profiller. a) CBL boyunca yüksek ve neredeyse tekdüze değere sahip (rasgele birimler) ve yukarıda daha sakin bölgedeki önemli ölçüde daha düşük değerlere sahip toz partikül konsantrasyonu, kirliliğin konvektif tabaka boyunca iyi karıştırılma eğiliminde olduğunu ancak neredeyse tamamen sınırlı kaldığını göstermektedir b) Yerin yakınında ince kararsız bir bölge, CBL (1000 m'ye kadar) boyunca homojenlik ve yukarı doğru tabakalaşmayı sergileyen potansiyel sıcaklık (Garatt, 1994). 11
Şekil 3.1 : İstanbul'daki sanayi alanları (Url-9) 22
Şekil 3.2 : Kağıthane hava kalitesi ölçüm istasyonu. 23
Şekil 3.3 : a) Ölçüm cihazı (Url-10), (b) Thermo Scientific FH 62 C14 PM_{10} ölçüm cihazı, (c) Kağıthane bölgesi uydu görüntüsü ve Hava Kalitesi Ölçüm İstasyon. 24
Şekil 3.4 : a) ve (b) REMTECH PA 0 SODAR Ölçüm Cihazı, (c) SODAR Ölçüm İstasyonu noktası..... 27
Şekil 3.5 : (a) Silyometre Ölçüm İstasyonu , (b) Silyometre Ölçüm Cihazı (Url-11)28
Şekil 4.1 : Kağıthane hava kalitesi istasyonu 01.06.2017 - 31.08.2019 tarihleri arası günlük ortalama hava sıcaklığı (°C) değerleri 32
Şekil 4.2 : Kağıthane hava kalitesi istasyonu 01.06.2017 - 31.08.2019 tarihleri arası günlük ortalama bağıl nem (%) değerleri 32
Şekil 4.3 : Kağıthane hava kalitesi istasyonu 01.06.2017 - 31.08.2019 tarihleri arası günlük ortalama basınç (mb) değerleri 33
Şekil 4.4 : Kağıthane hava kalitesi istasyonu 01.06.2017 - 31.08.2019 tarihleri arası günlük ortalama rüzgar hızı (m/s) değerleri 33
Şekil 4.5 : Kağıthane hava kalitesi istasyonu 01.06.2017 - 31.08.2019 tarihleri arası rüzgar gülü 34
Şekil 4.6 : Kağıthane hava kalitesi istasyonu 01.06.2017 - 31.08.2019 tarihleri arası günlük ortalama PM_{10} (µg/m³) konsantrasyonları 35
Şekil 4.7 : Kağıthane hava kalitesi istasyonu 01.06.2017 - 31.08.2019 tarihleri arası günlük ortalama $PM_{2.5}$ (µg/m³) konsantrasyonları..... 36
Şekil 4.8 : Kağıthane hava kalitesi istasyonu 01.06.2017 - 31.08.2019 tarihleri arası günlük ortalama SO_2 (µg/m³) konsantrasyonları 37
Şekil 4.9 : Kağıthane hava kalitesi istasyonu 01.06.2017 - 31.08.2019 tarihleri arası günlük ortalama NO_2 (µg/m³) konsantrasyonları..... 38
Şekil 4.10 : Kağıthane hava kalitesi istasyonu 01.06.2017 - 31.08.2019 tarihleri arası günlük ortalama O_3 (µg/m³) konsantrasyonları 39
Şekil 4.11 : Haziran 2017 – Ağustos 2019 tarihleri arası aylık ortalama PM_{10}, $PM_{2.5}$, NO_2 ve SO_2 değerleri..... 40

Şekil 4.12 : Haziran 2017 – Ağustos 2019 tarihleri arası aylık ortalama O_3 ve sıcaklık değerleri 40
Şekil 4.13 : 2019 yılına ait İstanbul $PM_{2.5}$ günlük ortalama **d**eğişim grafiği ve episod günleri 41
Şekil 4.14 : 1. Episod boyunca gözlenen aktüel sıcaklık değerleri..... 42
Şekil 4.15 : 1. Episod boyunca yer seviyesinde gözlenen rüzgar şiddeti değerleri ... 43
Şekil 4.16 : 1. Episod boyunca yer seviyesinde gözlenen rüzgar yönü ve dağılımları 43
Şekil 4.17 : 1. Episod boyunca gözlenen basınç değerleri..... 44
Şekil 4.18 : 18.02.2019 – 22.02.2019 tarihlerindeki 500 hPa jeopotansiyel yükseklik ve basınç haritaları a) 18.02.2019 12UTC b) 19.02.2019 12 UTC c) 20.02.2019 12 UTC d) 21.02.2019 12 UTC e) 22.02.2019 12 UTC. ... 45
Şekil 4.19 : 2. Episod periyodu süresince gözlemlenen aktüel sıcaklık değerleri. ... 47
Şekil 4.20 : 2. Episod boyunca yer seviyesinde gözlemlenen rüzgar şiddeti değerleri. 47
Şekil 4.21 : 2. Episod boyunca yer seviyesinde gözlenen rüzgar yönü dağılımları. . 48
Şekil 4.22 : 2. Episod boyunca yer seviyesinde gözlemlenen basınç değerleri. 48
Şekil 4.23 : 04.03.2019 – 09.03.2019 tarihlerindeki 500 hPa jeopotansiyel yükseklik ve basınç haritaları a) 04.03.2019 12UTC b) 05.03.2019 12 UTC c) 06.03.2019 12 UTC d) 07.03.2019 12 UTC e) 08.03.2019 12 UTC d) 09.03.2019 12 UTC..... 49
Şekil 4.24 : 3. Episod periyodu süresince gözlenen aktüel sıcaklık değerleri. 51
Şekil 4.25 : 3. Episod boyunca yer seviyesinde gözlenen rüzgar şiddeti değerleri. .. 51
Şekil 4.26 : 3. Episod boyunca yer seviyesinde gözlenen rüzgar yönü dağılımları. . 52
Şekil 4.27 : 3. Episod boyunca yer seviyesinde gözlemlenen basınç değerleri. 52
Şekil 4.28 : 28.04.2019 – 30.04.2019 tarihlerindeki 500 hPa jeopotansiyel yükseklik ve basınç haritaları a) 28.04.2019 12UTC b) 29.04.2019 12 UTC c) 30.04.2019 12 UTC..... 53
Şekil 4.29 : Sodar cihazı tarafından üretilen beş seviyeye ait rüzgar şiddeti değerleri. 55
Şekil 4.30 : a)30m, b)60m, c)90m, d)120m, e) 240 metre seviyelerine ait rüzgar yön değerleri. 56
Şekil 4.31 : Genel gözlem periyodu ve episod sürelerindeki ortalama rüzgar değerleri. 57
Şekil 4.32 : Sodar cihazından elde edilen 5 farklı seviyeye ait rüzgar şiddeti değerleri (18.02.2019-22.02.2019)..... 61
Şekil 4.33 : Sodar cihazından elde edilen 5 farklı seviyeye ait rüzgar şiddeti değerleri (04.03.2019 – 09.03.2019). 63
Şekil 4.34 : Sodar cihazından elde edilen 5 farklı seviyeye ait rüzgar şiddeti değerleri (28.04.2019 – 30.04.2019). 67
Şekil 4.35 : Silyometre bulut taban yükseklik verileri (1.,2.,3.,4. Seviye). 68
Şekil 4.36 : Silyometre bulut kapalılık miktarı (1.,2.,3.,4. Seviye). 69
Şekil 4.37 : 1. Seviye için bulut taban yüksekliği (18.02.2019 ile 19.02.2019). 72
Şekil 4.38 : 1. Seviye için bulut kapalılığı (18.02.2019 ile 19.02.2019). 72
Şekil 4.39 : Bulut taban yüksekliği 24 saatlik değişimi (18.02.2019 - 19.02.2019).. 73
Şekil 4.40 : Bulut taban yüksekliği kutu grafiği (18.02.2019 - 19.02.2019). 73
Şekil 4.41 : 1. Seviye için bulut taban yüksekliği (04.03.2019 – 09.03.2019). 75
Şekil 4.42 : 1. Seviye İçin bulut kapalılığı (04.03.2019 – 09.03.2019). 75
Şekil 4.43 : Bulut taban yüksekliği 24 saatlik değişimi (04.03.2019 – 09.03.2019). 76
Şekil 4.44 : Bulut taban yüksekliği kutu grafiği (04.03.2019 – 09.03.2019). 77

Şekil 4.45 : 1. Seviye için bulut taban yüksekliği (28.04.2019 – 30.04.2019)..... 78
Şekil 4.46 : 1. Seviye için bulut kapalılığı **(**28.04.2019 – 30.04.2019)..... 78
Şekil 4.47 : Bulut taban yüksekliği 24 saatlik değişimi **(**28.04.2019 – 30.04.2019). 79
Şekil 4.48 : Bulut taban yüksekliği kutu grafiği **(**28.04.2019 – 30.04.2019). 79
Şekil 4.49 : 20.02.2019 tarihi için toz taşınımı..... 81
Şekil 4.50 : 08.03.2019 tarihi için toz taşınımı..... 81
Şekil 4.51 : 29.04.2019 tarihi için toz taşınımı..... 82

UZAKTAN ALGILAMA SİSTEMLERİ İLE İSTANBUL'DA ATMOSFERİK SINIR TABAKA VE HAVA KALİTESİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Uzaktan algılama ölçüm sistemlerinden olan Doppler SODAR ve Lidar-silyometre cihazlarından elde edilen veriler ile atmosferik sınır tabakanın (AST) fiziksel özelliklerinin tespit edilmesi ve atmosfer dağılım modellemesi çalışması ile İstanbul üzerinde hava kalitesinin atmosferik şartlarla olan ilişkisini ortaya koymak bu tez çalışmasının ana amacıdır. Bu amaca yönelik olarak, farklı coğrafik bölgelere konuşlandırılmış uzaktan algılama cihazları ile belirlenen AST özelliklerinin hava kalitesi üzerine etkilerinin araştırılması hedeflenmiştir.

Atmosferik karışma tabakası, hava kalitesini doğrudan etkilemekte, güneşten gelen radyasyon miktarı, topografya, pürüzlülük çeşidi ve diğer fiziksel etkenler nedeniyle gün boyunca çeşitli değerler göstermektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün (MGM) yer gözlem istasyonları ile ölçülen rüzgar ve diğer meteorolojik paremetreler 2 metre ya da 10 metre gibi yüksekliklerde ölçülmeleri ve radyozonde gözlemlerinin seyrek yapılması nedeniyle meteorolojik değişkenlerin ve AST'nin zamansal ve mekansal değişimlerinin gerçek anlamda belirlenmesi mümkün olmamaktadır. Elde edilen bu meteorolojik verilerin hava kalitesi modellerinde bir girdi olarak kullanılması halinde ölçümlerin yeterli sıklıkta olmamasından ve düşey olarak atmosferin dikey yapısını tam anlamıyla temsil edilememesinden dolayı AST'nin termodinamik ve kinematik yapısı hakkında tam olarak bilgi sahibi olunamamaktadır ve hava kalitesi modellerinin ürettiği sonuçlar güvenilir olmamaktadır. Uzaktan algılama cihazlarıyla daha yukarı seviyelerde ve sürekli ölçümlerle bu belirsizlik azaltılmaktadır.

Atmosferik şartlara bağlı olarak hava kalitesindeki değişimin belirlenebilmesi için ve hava kirleticilerinin zamanla taşınım, dağılım ve konsantrasyonlarının tahminlerinin doğru bir şekilde analiz edilebilmesi için AST'nin yüksekliği, rüzgar karakteristiği, termodinamiği ve kararlılığı hakkında doğru analizler ile belirlenmesi mümkündür. Sel, dolu, fırtına, hortum gibi yıkıcı ve şiddetli meteorolojik olayların ve kirletici taşınımlarının doğru bir şekilde analiz edilmesi ve öngörülerinin yapılması yukarıda bahsedilen AST değişkenleriyle, özellikle AST yüksekliği ve rüzgar karakteristikleriyle son derece yakın ilişkilidir.

Bu çalışma kapsamında SODAR cihazıyla yapılan rüzgar ölçümleri ve Lidar-Silyometre cihazı ile ölçülen bulut yapısı ve bulut taban yükseklikleri değerleriyle AST yüksekliği belirleme çalışmaları yapılmıştır ve bu AST yüksekliğinin hava kalitesine etkileri incelenmiştir.

Şehirleşme etkisindeki bölgelerde hava kirletici konsantrasyonlarının özellikle kış aylarındaki artışları yalnızca kirletici emisyon miktarındaki artış ile açıklanamazlar. AST yüksekliği, AST rüzgar hızı ve yönleri de kirletici konsanstrasyonları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu etkinin araştırılması amacıyla hafif ve kolaylıkla taşınabilir bir SODAR cihazı ile her çeşit atmosferik koşullarda çalışabilen tam

otomatik CL51 Lidar silyometre cihazı kullanılarak ve HYSPLIT atmosferik dağılım modellemesi yapılarak sonuçlar analiz edilmiştir.

Bu projede endüstrileşme faaliyetlerinin ve şehir yapılaşmasının etkin olduğu Kağıthane bölgesindeki bir hava kalitesi ölçüm istasyonundan temin edilen kirletici ölçüm verilerinden faydalanılmıştır. Terkos gölü çevresindeki bir bölgeye yerleştirilen SODAR cihazı ile 30m, 60m, 90m, 120m ve 240 metre seviyelerindeki rüzgar profili ve İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi'nin çatısına yerleştirilen silyometre cihazıyla bulut taban ölçümleri ile AST yüksekliği ve bu atmosferik sınır tabakanın hava kalitesi üzerine etkileri araştırılmıştır. Kağıthane bölgesinde bulunan ölçüm cihazından 01.06.2017 - 31.08.2019 tarihleri arasında $PM_{2.5}$'un kritik sınırı aştığı tarihler için üç farklı episod periyotları belirlenerek incelenmiştir.

İlk episod tarihi 18.02.2019 – 22.02.2019 aralığındadır. PM_{10} değeri 112,7 $\mu g/m^3$ ve $PM_{2.5}$ değeri ise 98,5 $\mu g/m^3$'tür. Bu tarihler arasındaki meteorolojik verilere göre rüzgar 0 - 3.19 m/s aralığında oldukça sakindir, sıcaklık değerinde ciddi bir değişim söz konusu değildir. Basınç değerlerinden ise yüksek basınç hakimiyeti olduğu görülmektedir. SODAR ile yapılan her beş seviyedeki (30m, 60m, 90m, 120m, 240m) rüzgar ölçümleri değerlendirildiğinde, rüzgarın aşağı seviyelerde artış oranının daha yüksek, yükseklikle artış oranının daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda AST yüksekliğinin yer seviyesine doğru yaklaşması nedeniyle lokal sıkışmalar yüzünden bu orantısallığın oluştuğu ve AST yüksekliğinin yer yüzeyine yakın bir seviyede olabileceği öngörülmüştür. Silyometre ile bulut tabanı yükseklikleri ölçümlerinden AST bulut taban yüksekliğinin 275 metreden yukarda, 2400 metreden aşağıda ve ortalama 1040 m civarında olduğu görülmüştür. HSPLIT dağılım modellemesine göre ilk episod için belirlenen tarih aralığında Doğu Avrupa üzerinden bir toz taşınımı olduğu analiz edilmiştir. İlk episod için belirlenen tarihlerde AST yüksekliğinin yere yakın, rüzgarın oldukça sakin olması ve bu tarihlerde toz taşınımı olması nedeniyle kirlilik artışına sebep olan koşulların oluştuğu gözlemlenmiştir.

İkinci episod 04.03.2019 – 09.03.2019 tarihleri arasında belirlenmiştir. PM_{10} 75,8 $\mu g/m^3$, $PM_{2.5}$ 67,5 $\mu g/m^3$ değerlerine ulaşmıştır. Meteorolojik ölçümlere göre sıcaklık değerinde ciddi bir değişimin olmadığı ve rüzgarın 0,5 - 3 m/s aralığında çok sakin olduğu görülmüştür. SODAR ölçümlerinde 30 metreden 60 metreye geçişte ve 60 metreden 90 metreye geçişteki artış oranları, genel ölçüm değerlerine göre daha fazla artış gösterdiği tespit edilmiştir. Her bir seviyedeki artış oranından sıkışma ya da hızlanma saptanamadığı için AST yüksekliğinin 240 metrenin oldukça üzerinde olabileceği öngörülmüştür. Silyometre ölçümleri analizine göre AST bulut taban yüksekliklerinin 1066 metreden yukarda, 2400 metreden aşağıda ve ortalama 1700 metre civarında olabileceği öngörülmüştür. HYSPLIT model analizine göre bu episod sürecinde Batı Avrupa üzerinden bir toz taşınımının olduğu görülmüştür. Belirlenen ikinci episod için AST'nin ortalama bir yükseklikte olduğu, rüzgarın sakin olmamasına rağmen Avrupa üzerinden gelen toz taşınımı nedeni ile artış gösterdiği öngörülmüştür.

Üçüncü episod periyodu ise 28.04.2019 – 30.04.2019 tarihleri arasında belirlenmiştir. Günlük bazda PM_{10} değeri 103,1 $\mu g/m^3$, $PM_{2.5}$ 53,8 $\mu g/m^3$ değerlerine ulaşmıştır. Meteorolojik ölçümlere göre gece ve gündüz arasında sıcaklık değerlerinde 12 derecelik ciddi farklılıklar görülmektedir. Basınç değeri çok yüksek değildir ve rüzgar hızı 0-2 m/s aralığında çok düşük değerlerde seyretmektedir. SODAR ölçümleri değerlendirilmesinde 30 metreden 60 metreye geçişte hem ortalama rüzgar hızlarında

hem de maksimum ortalama rüzgar hızlarında negatif rüzgar kayması değeri saptanmıştır. Diğer seviyelerde yükseklikle beraber orantısal olarak bir artış gözlemlenmiştir. Yer seviyesine yakın bu rüzgar kayması değerinden AST yüksekliğinin 240 metre yakınlarında olduğu öngörülmüştür. Silyometre verileri ile bulut tabanı verilerine dayanılarak yapılan analize göre AST bulut taban yüksekliğinin 1600 metreden yukarda, 2500 metreden aşağıda ve ortalama 2100 metre civarında olabileceği öngörülmüştür. Radyozonde verileri incelendiğinde gece ve gündüz arası ciddi bir sıcaklık farkı görülmektedir. Geceleri yere çok yakın seviyelerde enverziyon ve dolayısıyla AST yüksekliği alçak seviyelerde, gündüzleri ise konvektif hareketler nedeniyle AST yüksekliği geceye göre nispeten çok yukardadır. HYSPLIT analizine göre episod periyodunda Sahra Çölü üzerinden bir toz taşınımı görülmektedir.

SODAR ve silyometre ile yapılmış ölçümler ile AST yüksekliği belirleme ve bu AST yüksekliğinin hava kalitesi etkileri üzerine yapılmış bu çalışmalar gelecek yıllarda LIDAR verileri ile genişletilerek yapılması öngörülmektedir.

INVESTIGATION OF ATMOSPHERIC BOUNDARY LAYER AND ITS EFFECT OF AIR QUALITY BASED ON REMOTE SENSING IN İSTANBUL

SUMMARY

The main purpose of this thesis is to determine the physical properties of the atmospheric boundary layer (ABL) with the data obtained from ground based remote sensing measurement instruments such as Doppler SODAR and LIDAR-ceilometer devices and to analyze the impact of the atmospheric boundary layer on air quality by atmospheric dispersion modeling effort (HYSPLIT). For this purpose, the study aimed to investigate the effects of the properties of the ABL on air quality determined by ground based remote sensing instruments located in different geographical regions and to understand the relationship between the observed air quality and meteorological conditions obtained through remote sensing measurements.

The atmospheric mixing layer (for the ABL) has a direct impact on air quality and experiences significant diurnal variations as the amount of incoming radiation, topography, roughness and other type of physical processes change in time and place. Since the surface meteorological stations make measurements of wind and other meteorological parameters at 2 m and 10 m heights, and as radiosonde observations are rather rare, it is not possible to correctly identify temporal and spatial variations of the meteorological parameters without additional observation methods. Due to the lack of frequent observation (in the case of radiosonde observations) and not being able to provide the vertical structure of the atmosphere (because measurements are made at 2 and 10 metres), the thermodynamic and kinematic structure of the ABL cannot be well understood, also air quality models can as a result be less reliable. This uncertainity is reduced by remote sensing devices thanks to continuous measurements at higher levels.

In order to determine the change in air quality depending on atmospheric conditions and to accurately analyze the forecast for transport, dispersion and concentrations of air pollutant over time, it is possible to determine the ABL with accurate analysis about the height, wind characteristics, thermodynamics and stability. Correct assessment and the accurate prediction of hazardous phenomena (e.g., flash floods, hail, violent winds, tornadoes) and the transport or dispersion of pollutants strongly depend on the above mentioned ABL parameters especially ABL height and wind characteristics.

Within the scope of this study, the effects of the ABL on air quality were investigated with ABL height, SODAR (Sonic Detection And Ranging) wind measurements and cloud structure measurements by Lidar(Light Detection And Ranging)-ceilometer.

Increased air pollution concentrations over urban areas, especially under winter conditions, cannot be explained by just the amount of pollutants released. The ABL height (the height of the mixing layer), wind speed and wind direction have an important effect on the observed air pollutant concentrations. In order to investigate

and analyze this effect, a light and easily portable SODAR instrument and fully automatic CL51 LIDAR-ceilometer instrument which can operate in all kinds of atmospheric conditions were used and HYSPLIT atmospheric dispersion modeling was applied.

In this project, air pollutant data obtained from an air quality measurement station in Kağıthane, where industrialization activities are intense, was used. The wind profiles at 30m, 60m, 90m, 120 m and 240 meters measured from SODAR which is located in an area around Terkos Lake and cloud base measurements from a Ceilometer which is located on the roof at the Faculty of Aeronautics and Astronautics of İstanbul Technical University are investigated. ABL height and its effects on air quality have been investigated. Three different episode periods were determined from the measuring instruments in the Kağıthane region; between the dates of 01.06.2017-31.08.2019 for the dates when $PM_{2.5}$ concentration exceeded the critical limit.

The first episode date was in the range of 18.02.2019 – 22.02.2019. The concentration of PM_{10} was 112,7 $\mu g/m^3$ and $PM_{2.5}$ was 98,5 $\mu g/m^3$ in this episodic period. According to meteorological data for the episodic period, the wind was quite calm in the range of 0-3,19 m/s, there was no strong change in temperature values and it was seen that there was high pressure dominance from the pressure measurements. While evaluating the wind measurements by SODAR at all five measurement levels (30m, 60m, 90m, 120m, 240m), it was found that the rate of increase in the lower levels of the wind was higher and the rate of increase with height was less. In this case it was predicted that this occurs proportionally due to local compression (due to approaching of the ABL height towards the surface ground level). So the height of the ABL may be close to 240 meters. According to cloud structure and coverage data which was measured by ceilometer, it was predicted that the ABL cloud base height is above 275 meters, and below 2400 meters and an average value of the height of the ABL cloud base be around at 1040 meters. According to HYSPLIT pollution dispersion modeling, it was analyzed that, there was a dust transport from Eastern Europe to İstanbul during the episodic period. As a result, it was observed that dust transport and the meteorological conditions caused the increase in pollution due to the low altitude of the height of the ABL and the calm wind conditions for the first episode.

The second episode was determined between 04.03.2019 and 09.03.2019 according to high particulate matter values. PM_{10} reached a value of 75,8 $\mu g/m^3$ and $PM_{2.5}$ a value of 67,5 $\mu g/m^3$. According to meteorological data, it was observed that there was no strong change in temperature values and the wind was very calm in the range of 0,5-3 m/s (in Kağıthane). According to SODAR data, it was determined that, for the second episode the increase rates from 30 meters to 60 meters and from 60 meters to 90 meters were higher than the general measurement period values for the same range. Since no compression or acceleration could be detected from the increase rate at each level in SODAR data, it was predicted that the height of the ABL could be considerably higher than 240 meters. According to cloud structure and coverage data which was measured by ceilometer, it was seen that the ABL cloud base height could be above 1066 meters, and below 2400 meters and an average value of the height of the ABL cloud base could be around 1700 meters. According to the HYSPLIT model analysis, it was observed that there was a dust transport from Western Europe to Istanbul during the second episodic period. As a result, it was predicted that the height of the ABL was at an average height and not so calm wind condition and also dust transport from Europe caused the increase of particulate matter pollution.

The third episode period was determined between 28.04.2019 and 30.04.2019. On a daily basis the value of PM_{10} reached 103,1 $\mu g/m^3$ and the value of $PM_{2.5}$ reached 53,8 $\mu g/m^3$. According to meteorological measurements, there was strong changes (12 degree differences) in temperature values between day time and night. The pressure values were not so high and the wind speed was very low around 0 to 2 m/s. In the evaluation of SODAR data, the negative wind shear was observed between 30 meters and 60 meters for average wind speed and maximum average wind speed. At other levels, a proportional increase was observed with an increase in height. From this negative wind shear close to the ground level, the height of the ABL was estimated as lower level. According to ceilometer data , it was seen that the height of the ABL cloud base could be above 1600 meters, and below 2500 meters and an average value of the height of the ABL cloud base could be around 2100 meters. When the radiosonde data was analysed, it was seen that, there was a strong temperature differences between day time and night. Due to inversion very close to ground level at night and because of convective movements during the day; during the days the height of the ABL was relatively higher than the nights. According to the HYSPLIT analysis, a dust transport from the Sahara Desert to Istanbul was observed during the episode period. It was understood that pollution increases in calm wind conditions with the inversion that occurs at night and thus the lowering of the height of the atmospheric boundary layer.

These studies on the determination of the ABL height by measurements with SODAR and ceilometer; the air quality effects of the ABL height are foreseen to be expanded with LIDAR data in the coming years.

1. GİRİŞ

Yeryüzeyini çepeçevre saran atmosfer, yoğunluğu yükseklikle azalan, kalınlığı 560 kilometreye kadar ulaşan bir gaz katmanıdır (Url-1). Eski Yunanca'da nefes anlamına gelen "Atmos" ile küre anlamına gelen "Sphere" kelimelerinin birleşmesinden meydana gelir (Url-2). Canlıların yaşaması için gerekli Oksijen, Karbondioksit, Azot gibi önemli gazlar atmosferde bulunurlar ve bu gazların yanı sıra aerosoller de yer alır (Url-1). Bu tabakada yer yüzeyi ve atmosfer arasındaki momentum, ısı, nem ve diğer maddelerin değişimi göz önüne alındığında, bu hava parselindeki kirleticilerin yayılımı üzerinde önemli bir etkisi vardır (Peng J. ve diğ.,2017).

Atmosfer temel olarak troposfer, stratosfer, mezosfer ve termosfer olmak üzere 4 tabakaya ayrılır. Bu dört tabakadan yer yüzeyine en yakın olan katman Troposfer, atmosferde bulunan gazların %75-80 kadarını içersinde barındırır. Sıcaklık, yükselme, soğuma, çökme hareketleri nedeniyle hava olaylarının büyük bir bölümünü ihtiva etmesi açısından oldukça önemlidir (Url-1).

Meteorolojide planeter sınır tabaka olarak da bilinen atmosferik sınır tabaka (AST) troposferin en alt kısmını oluşturur ve kalınlığı genellike 1-2 kilometredir civarındadır (Url-3). Yaşadığımız ve nefes aldığımız bu atmosferik sınır tabaka, canlılar için hayati öneme sahiptir. Yaşamsal faaliyetlerimiz açısından çok önemli olan bu tabaka aynı zamanda yeryüzünden gazların salındığı ve çözündüğü tabakadır. Bu yüzden aşağı atmosferdeki bu tabaka hava kalitesi için çok önemlidir ve onu etkileyen fiziksel, çevresel akışkanlar mekaniğinin önemli bir unsurunu oluşturmaktadır.

Kalınlığının topografik ve meteorolojik şartlara göre değiştiği, polenlerden trafik partiküllerine, endüstriyel emisyonlara kadar bir dizi aerosolün biriktiği bu yerel atmosferik sınır tabakayı anlamak, emisyon türlerinin analizi, soluduğumuz hava kalitesini analiz etmek ve anlamak için oldukça önemlidir. Toplum sağlığı ile birlikte yerel ya da bölgesel yönetimlerin de ekonomik hedeflerini, emisyon türlerinin kontrolü, yapılaşma, enerji tipi kontrolü gibi olgular üzerindeki kontrolleri için önemli bir etkiye sahiptir.

Atmosferik sınır tabakada sürekli değişen atmosferik koşullar, radyosonde gibi geleneksel teknoloji kullanılarak saptanmaya çalışılıyordu; gelişen teknoloji ile beraber SODAR, silyometre, LIDAR gibi yeni yer tabanlı uzaktan algılama teknolojilerle atmosferik sınır tabakanın tespitinde daha iyi saptamalar yapılabilmektedir (Hennemuth ve Lammert, 2006).

1.1 Tezin Amacı

İstanbul, Türkiye'deki nüfus yoğunluğunun en yüksek olan şehridir. Endüstri faaliyetleri ve artan nüfus nedeniyle hava kirliliği sorunları da meydana gelmektedir. Bu çalışmada uzaktan algılama yöntemleriyle atmosferik sınıf tabaka yapısını belirlemek, topografyanın saip olduğu özelliklerin AST yapısına ve gelişimine etkilerini saptamak, hava kirliliği konsatrasyonları ve meteorolojik ölçüm verileri ile atmosferdeki kirletici konsatrasyonlarının yoğunluğu ve dağılımları üzerindeki etkilerini araştırmaktır. HYSPLIT modeli ile taşınım çıktılarının değerlendirilmesi, Silyometre cihazı ile karışma tabakasının incelenmesi ve Doppler SODAR ölçümleri ile uzun periyotlar şeklinde gözlemlenen AST yapısının araştırılması ve özgün istatiksel verilerin elde edilmesi amaçlanmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Dünya genelinde LIDAR, SODAR ve silyometre gibi uzaktan algılama cihazları ile atmosferik sınır tabaka belirleme ve atmosferik sınır tabakanın hava kalitesi üzerine ve daha birçok alanda çeşitli çalışmalar yapılmış ve sonuçları incelenmiştir. Yapılan çalışmaların bir kısmı aşağıda özetlenmiştir.

SODAR uygulamaları ile yapılan çalışmalara örnek olarak, atmosferik sınır tabakanın bölgesel ikliminin araştırılması, hava kirliliği meteorolojisi, kararlı ve kararsız atmosferik şartlarda orta ölçekli türbülans yapısının araştırılması, mikrodalga ve ışın yayılma koşullarının incelenmesi gibi uygulamalar gösterilebilir (Kallistratova ve Coulter, 2004).

Gera ve diğ. (2000) ve Gariazzo ve diğ. (2002) SODAR kullanarak karışma yüksekliklerini, Pasquill kategorilerini ve ortalama rüzgar hızını, yüzey ozonu, CO,

SO_2 konsantrasyonları ile düşey hızın standart sapmasını karşılaştırdıkları çalışmalar yapmışlardır.

Keder ve diğ. (2002) SODAR ile tespit edilen ortalama rüzgar hızı ile LIDAR ile elde edilen hava kirliliği değerlerini karşılaştırdıkları bir çalışma yapmışlardır.

Angevine ve ark. (2015), akustik (SODAR), radar rüzgar profilleri, radyo akustik sondaj sistemleri ve optik (lidar) gibi uzaktan algılama cihazları ile temel olarak yere dayalı gözlemleri ve havadaki lidar ölçümlerini de kapsayan hava kalitesi, sınır tabaka fiziği araştırması, mezoölçek fırtına ve meteoroloji, iklim izleme ve havacılık algılaması gibi uygulamalar üzerinde çalışmalar yapmışlardır.

Emeis ve ark. (2004) Almanya'da silyometre, SODAR ve RASS cihazları ile 3 günlük karışma tabakası yüksekliğini inceleyen bir çalışma sunmuşlardır. Çalışmalarına göre bu üç cihaz birbirini tamamlayan bilgiler vermektedir. Bu çalışmayla kentsel atmosferik sınır tabakasının dikey yapısının günlük değişiminin nasıl olduğu hakkında bilgi edinmişlerdir. Silyometre ile havanın aerosol içeriği hakkında, RASS ile sınır tabakasındaki dikey sıcaklık dağılımının hakkında bilgi toplamışlardır, RASS ve silyometre ölçümleri SODAR tarafından algılanmayan sınır tabakanın nem yapısı hakkında bilgi verdiğini öne sürmüşlerdir Özellikle SODAR verilerinden türetilen verilerle enverziyon arasında uyumlu bir ilişki olduğunu tespit etmişlerdir.

Coulter (1979), LIDAR ve SODAR ölçümlerinden elde edilen sıcaklık profillerini karşılaştırmıştır. Sabah erken saatlerde ve öğleden sonraki saatlerde, LIDAR verileri sistematik olarak SODAR verilerinden daha yüksek konvektif sınır tabaka (CBL) değerlerine ulaşmıştır. Her iki uzaktan algılama yöntemiyle elde edilen veriler, sıcaklık profilinin değerlendirilmesinde her zaman daha yüksek konvektif sınır tabaka (CBL) tepesi saptanmıştır.

DEVERA ve diğ. (1995) gece kararlı sınır tabaka (stable boundary layer) üzerinde yapılan bir çalışmada LIDAR ve SODAR ölçümlerini karşılaştırmışlardır. Beyrich ve Görsdorf (1995), karışım tabakasını belirlemek için 5 hafta boyunca aynı anda SODAR ve rüzgar profili verilerini kullanmışlardır. Her iki cihazın konvektif sabah saatlerinde karşılaştırılabilir sonuçlar verdiğini bulmuşlardır. Marsik ve ark. (1995) bir RASS ve iki LIDAR cihazı verilerini bir radyosonde verileri ile karşılaştırdıkları bir çalışma yapmışlardır. Yerel saatle 08:00 civarında karışma tabakası belirlenirken bu

üç cihaz arasında güçlü sapmalar gözlenmiş, öğle civarında sapmaların azaldığı daha iyi sonuçlar verdiği ve öğleden sonra ise yine sapmaların arttığını gözlemlemişlerdir.

Peng ve diğ. (2017), Çin'in Şangay şehri için Vaisala CL51 silyometre ile atmosferik sınır katmanı çalışmaları yapmışlardır. Silyometre verileri ile radyosonde verilerinden alınan sınır tabakası yükseklikleri karşılaştırmışlardır. Sınır tabakası yüksekliğinin sonbahar ve kış aylarında yaz ve ilkbahar mevsimlerine göre daha yüksek olduğunu saptamışlardır. Bu durum bölgenin denize yakın olmasından dolayı deniz melteminden etkilenen meteorolojik koşullara bağlamaktadırlar.

Bachour ve Astudillo (2016), bulut tabanı yükseklik algılamasına ek olarak atmosferdeki aerosol katmanlarını da inceledikleri bir çalışma bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında 2013- 2014 yılları arasında Doha, Katar'da bir yıl süre için Vaisala CL51 silyometre ile geri saçılan sinyaller üzerindeki incelemeleri yer almaktadır. Yapılan bu çalışma bulutsuz günlerdeki silyometre sinyalleriyle birlikte gürültü verisinin incelenmesine imkan sağlamıştır. Bu gürültü analizi, bulutsuz atmosfer şartlarında maksimum atmosferik seviyede silyometre sinyallerinin güvenilirliğinin anlaşılmasını sağlamıştır. Geri saçılım sinyallerinin atmosferin farklı yüksekliklerinde günden güne değişkenliklerini değerlendirmek için birkaç test uygulamışlardır. Yüksek oranda aerosol yüklü bir bölgede ilk kez bir silyometrenin sinyal performansı nispeten uzunca bir müddet boyunca incelenmiştir. Tüm yıl göze alındığında, atmosferin dinamikliğinden kaynaklanan dahili sinyaller ile daha yüksek seviyelerdeki şartlarda gürültünün daha yüksek olduğu, sinyallerin ayıklanması açısından 5 veya 6 kilometre daha temsili olduğunu, kış aylarında ise bu limitin 7 kilometreye kadar ulaşabileceği sonucuna varmışlardır.

Schafer ve diğ. (2009) Vaisala LD40 silyometre Mexico city'deki hava alanında bir haftalık karışma tabakası yüksekliği belirleme çalışması yapmışlardır. Hava alanındaki NO, NO_x, CO ve O_3 gibi hava kirleticilerinini yanı sıra rüzgar, sıcaklık ve radyasyon ölçümleri gibi meteorolojik parametreler de bu hava alanındaki bir ölçüm istasyonunda yapılmıştır. Saptanan karışma tabakasının rüzgar, sıcaklık ve bulutluluk ile birlikte hava kirliği üzerine etkisini araştırmışlardır. Bu sürekli karışma tabakası ve meteorolojik veriler, eşzamanlı olarak ölçülen hava kirleticileri ile ilişkili olduğunu ve karışma tabakası yüksekliğinin hava kalitesi üzerindeki etkisini göstermişlerdir.

Geiβ ve diğ. (2017), Vaisala CL51 silyometre ile yapılan sürekli AST ölçümleri ve bir hava kalitesi ağından yapılan ölçümlere dayanarak, AST ve yüzeye yakın kirletici konsantrasyonları arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Haziran-Ağustos 2014 tarihleri arasında Almanya'nın Berlin şehrinde BAERLIN2014 projesi verilerini kullanmışlardır. Ortalama günlük döngüler dikkate alındığında kabullerin makul olduğunı belirlemişlerdir. Berlin'in metropol alanındaki farklı yerler için farklı kirletici emisyonlarında ve konsantrasyonlarından (PM_{10}, O_3 ve NO_x) elde edilen AST arasındaki korelasyon hesaplanmıştır. PM_{10} ile olan korelasyon net bir model göstermememektedir ama farklı alanlar için oldukça farklı değerler olduğunu, ancak NO_x ile korelasyonu ana yollardaki emisyon kaynaklarının yakınlığa bağlı olduğunu belirlemişlerdir. İkincil kirletici olarak Ozon ile açık bir korelasyon bulunmuştur. Emisyon kaynaklarının heterojenliğinin, taşıma sırasında kimyasal sürecin ve karışmanın etkilerini, farklı AST geri saçılmalarından kaynaklanan farklılıkları aştığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca, özellikle trafik emisyonlarını baskın olduğu durumlarda, AST ile, Berlin gibi şehri temsil eden yüzeye yakın kirletici konsantrasyonları (düz arazi) arasında korelasyon ilişkisinin gerçekçi ve anlamlı olduğu sonucunu çıkarmışlardır.

AST'yi saptama yaklaşımlarının kapsamlı bir incelemesini de Seibert ve ark.(2000) yapmışlardır. Parçacıkların dikey dağılımının ölçülmesine izin verdiği için aktif uzaktan algılama tekniklerinin faydalarını vurgulamışlardır.

AST'yi belirlemek için farklı metodolojileri tanıtan lidar verilerine dayanan bazı istatiksel çalışmalar ise; Endlich ve ark. (1979) ve Flamant ve diğ.(1977) geri saçılma sinyalinin ilk türevlerine dayanan algoritmalar kullanmıştır; Menut ve diğ. (1999) ikinci türevi kullanmıştır; Hooper ve Eloranta (1986) zamansal varyans; Cohn ve Angevine (2000), Brooks (2003) ve Baars ve ark. (2008) dalgacık kovaryans dönüşümlerini uygulamışlardır; Caicedo ve diğ. (2017) küme analizini; Eresme ve ark. (2006) ve Lange ve ark. (2014) istatiksel methodları kullanmışlardır.

Schafer ve diğ. (2006) CT25k ve LD40 silyometreleri (Vaisala) ölçümlerini SODAR verileriyle karşılaştırdıkları bir çalışmayı sunmuşlardır. Öncelikle Hannover'de kış şartlarında PM_{10} ve AST arasında büyük bir antikorelasyon buldular. Ayrıca arazi topografyasına ve yatay rüzgara bağlı olarak CO ve Nox için oldukça değişken R^2 ile negatif korelasyon bulmuşlardır. Yaz ve kış ölçümleri arasında da farklılıklar gözlenmiştir. Bu bulgular, benzer cihazlarla Macaristan'ın Budapeşteşehrinde yapılan

bir çalışmadan elde edilen sonuçlarla uyumludur (Alföldi ve ark., 2007). En gelişmiş silyometreleri içeren örnekler arasında Pekin, Çin (örn. Sun ve diğerleri, 2013; Tang ve diğerleri, 2015), Essen, Almanya (Wagner ve Schafer, 2015) ve Paris, Fransa (Pal ve Haeffelin, 2015) ve kırsal alanlar (Pal ve diğerleri, 2014) üzerinde yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları ayrıca gaz halindeki kirleticilerle (örneğin Czader ve ark. (2013), Houston, Teksas için. Pekin için yüzey NO konsantrasyonu) ve AST arasında anlamlı negatif korelasyonlar bulmuşlardır (Schafer ve ark., 2012). Paris üzerinde yapılan bir çalışmada Diedonne ve ark. (2013), NO2 yüzey konsantrasyonları NO_2 kolon miktarı ve karışma tabakası yüksekliği (MLH) arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Sonuçları, NO_2 yüzey konsantrasyonları ile kolon miktarı arasındaki tutarsızlıkların AST'deki farklılıklar ile açıklanabileceğini göstermişlerdir.

Drzeniecka ve diğ. (2001) Wroclaw Üniversitesi Meteoroloji Departmanında kentsel iklim araştırmaları kapsamında Doppler SODAR ölçümleri ile birlikte kirlilik ölçümleri gerçekleşmiştir. Bazı kirletici konsantrasyonları ile SODAR cihazıyla belirlenen AST'yi tanımlayan parametreler arasında ilişki olduğunu kanıtlanmışlardır. Çalışmalarıyla hava kirliliği meteorolojisi için SODAR sondajının kullanışlı olduğunu göstermişlerdir. SODAR verilerinin doğruluğunu kontrol etmek için, bazı saha deneyi sırasında, senkron akustik sondajlar ve balon ölçümlerini de dahil etmişlerdir.

Pekour ve ark. (1993), Moskova üzerindeki atmosferik sınır tabakası parametrelerinin 24 saatlik SODAR ölçümleri yapmnmışlardır. 1990 yılında bir yaz mevsiminde bir ay boyunca ve 1991 yılının kış ayında bir ay boyunca şehir ve banliyölerdeki iç kesimlerde ölçümler gerçekleştirmişlerdir. Bazı kirleticilerin lokal konsantrasyonları ile SODAR tarafından ölçülen parametreler (karışma yüksekliği ve rüzgar hızı) arasında ilişkiyi ortaya koymuşlardır. SODAR gözlemlerinini hava kirliliği meteorolojisi için yararlı olduğunu doğrulamaktadır. Yaz ve kış mevsimlerinde sınır tabakası parametrelerinin istatistikleri ile kentteki mekansal varyasyonlarına ilişkin veriler elde etmişlerdir.

Freedman ve ark. (2001), Orange, Massachusetts ve Harvard üzerinde atmosferik sınır tabaka ve bu tabakada yer alan bulutları incemele çalışmaları yapmışlardır. Silyometre gözlemleri neticesinde sınır tabakada gözlemlenen kümülüs bulutları ile karbondioksit oranı arasında bir ilişki olduğunu tesbit etmişlerdir. Teixeira ve Hogan (2002), silyometre cihazı ile iklim değerlendirmeleri yapmak için subtropikal atmosferik sınır tabakataki bulut türlerini incelemişlerdir.

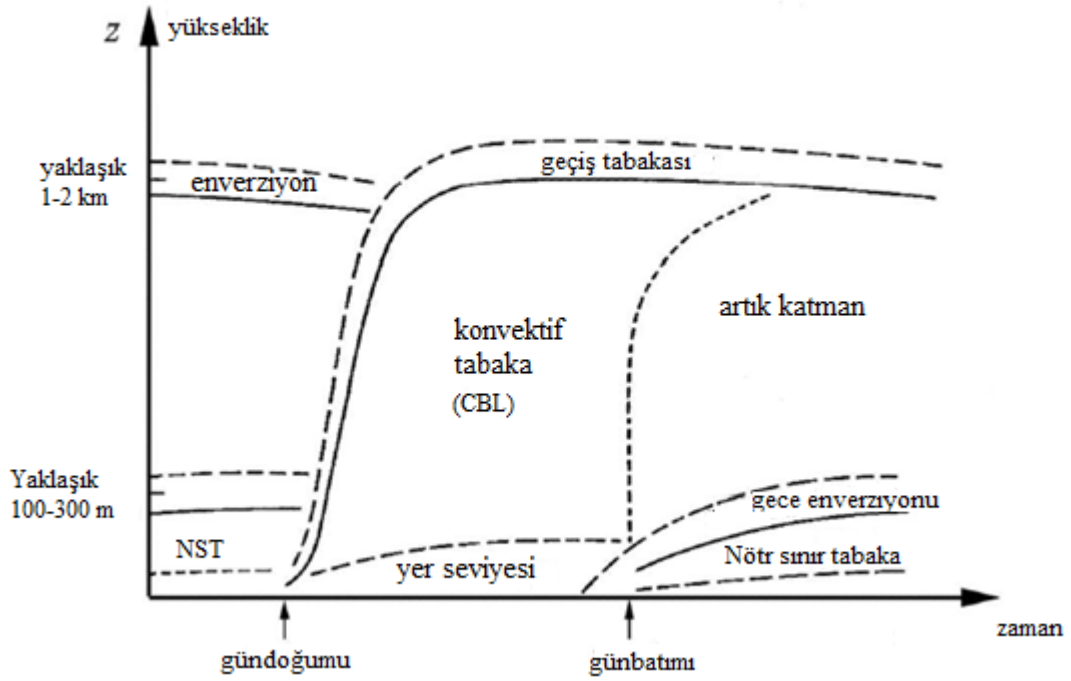
Burley ve Ray (2007), Yosemite Ulusal Park'taki 2003 ve 2005 yaz aylarında portatif uzaktan algılama ozon ölçüm cihazları ile yüzey ozon konsantrosyonu üzerinde çalışmalar yapmışlardır ve bu sonuçlar ile modellemelere katkıda bulunmak ve kompleks araziler ile ozon konsantrasyonları interpole edilerek tahmin edilmesi amaçlamışlardır. Taşınabilir monitörlerden elde edilen veriler, parkın içindeki iki uzun vadeli izleme istasyonundan (Turtleback Dome ve Merced River) eşzamanlı ve geçmişe dönük veriler ve pasif numune alıcılarla yapılan önceki araştırmalarla birleştirilmiştir. Sonuçlar, Yosemite'deki çoğu alanın, gün içindeki ozon konsatrasyonlarının benzer olduğunu, gece ise benzer olmadıklarını göstermiştir. Akşam saatlerinde serbest troposfere çokça maruz kalan yerlerde daha yüksek (ve daha değişken) ozon konsatrasyonları olduğu, gündüz ise daha az ozon konstanstasyonu olduğu görülmüştür. Gece dönemlerinde serbest troposfere daha zayıf şekilde maruz kalan yerler, akşam saatlerinde çok düşük ozon, gündüz saatlerinde ise daha büyük farklılıklar gösterdiği saptanmıştır. Ozon konsatrasyonları tipik olarak parkın batı ve güney kısımları için yüksek; doğu ve kuzey bölgeleri için daha düşüktür ve önemli ölçüde mekansal ve zamansal değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Geri saçılım analizleri, Yosemite'de en yüksek ozon konsantrasyonlu havanın genellikle San Francisco Körfez Bölgesinden kaynaklandığını ve parka girmeden önce Orta Kaliforniya Vadisi boyunca ilerlediğini göstermiştir.

2. ATMOSFERİK SINIR TABAKA

Troposfer içinde yere en yakın olan bölge Atmosferik Sınır Tabaka (AST) olarak adandırılır. Yaklaşık 1-2 km kalınlığındadır ve atmosferin zemin yüzeyi (kara veya deniz, göl) ile temas ettiği katmanı oluşturur. Atmosferik sınır tabaka; türbülans, ısı, nem ve rüzgarın yanı sıra kirlilik açısından da oldukça önemlidir ve basit bir sistem olmaktan çok uzaktır (Url-4). Fiziği, günlük bileşenleri (genellikle gündüz konveksiyon, geceleri ise tabakalaşma), arazi pürzlülüğü (binalar, ormanlar, tepeler ve dağlar gibi) ve daha büyük hava olayları (hava kütlelerin hakim rüzgarlarla değerlendirilmesi, bulutlar ve yağış) gibi önemlli unsurları ve olayları içerir.

Sürtünme hızı atmosferik sınır tabakadaki türbülans seviyesi ile önemli ölçüde ilişkilidir. Troposferin yere yakın alt kısmı ile zemin yüzeyi arasındaki termal temas kaynağı güneş radyasyonundan kaynaklanmaktadır. Atmosferin büyük ölçüde şeffaf olması yani ışığı daha geçirgen bir yapıda olması nedeniyle güneşten gelen elektromanyetik radyasyon yer yüzeyine ulaşır. Bu nedenle, güneş ışınımının çoğu atmosferi geçer ve yeryüzüne ulaşır. Buna karşılık, kara yüzeyi opaktır, deniz ve göllerdeki su biraz şeffaftır ancak havadan çok daha opaktır ve sonuç olarak güneş radyasyonunun çoğu toprak veya su yüzeyin hemen altında absorbe edilir. Bu yüzeyler ısınır ve ısıyı sırasıyla üzerindeki hava tabakasına yaymaya başlar. Geceleri ise yeryüzeyi uzun dalga boylu radyasyon yayarak soğuma yapar. Dünya yüzeyi güneşten çok daha soğuk olduğu için, ısıyı elektromanyetik dalga spektrumunun çok daha düşük frekanslarında yani uzun dalga boyu halinde yayar. Bizim için görünmeyen ancak ısısı hissedilen bu radyasyon atmosferde yukarı doğru yayılır ve bir kısmı atmosferden kaçmasına rağmen su buharı, karbondioksit ve diğer gazlar tarafından absorbe edilir. Bu ısı tutma sera etkisi olarak da adlandırılır (Environmental Fluid Mechanics, 2008, Bölüm 12).

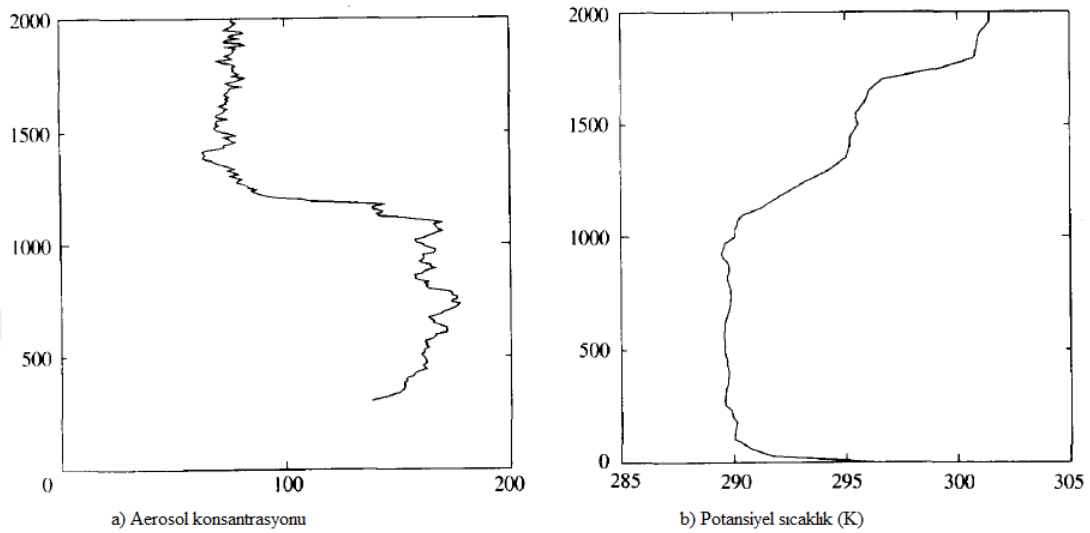
Şekil 2.1'de atmosferik sınır tabakasının (AST) karada ve açık gökyüzü altında gün boyunca tipik bir evrimi gösterilmektedir. Güneşin doğuşuyla, yeryüzünün güneş radyasyonu ile ısınmasının ardından konvektif bir sınır tabakası (CBL) oluşurken, günbatımından itibaren yer yüzeyinden uzun dalga boylu radyasyon yayılımı ile ısı kaybı konveksiyonu sonlandırır ve gece ince bir sınır tabakası (NBL) oluşur (Environmental Fluid Mechanics, 2008, Bölüm 12).



Şekil 2.1: Atmosferik Sınır Tabaka'nın 24 saatlik genel değişimi (Environmental Fluid Mechanics, 2008, Bölüm 12)

Karışma hareketleri tipik olarak atmosferin en düşük 1-2 kilometresi içersinde kalır, bu yükseklik AST'nin kalınlığı için yaygın olarak kullanılan bir boyuttur. Şekil 2.1'de açık gökyüzünde AST'nin aralıklı konvektif davranışı görülmektedir. Gün batımından sonra genellikle karışım rüzgar sürtünmesinden kaynaklandığı sığ bir gece tabakası (NBL) ile sona erer. Bu katmanın kalınlığı, hakim rüzgar hızına ve yüzeyin pürüzlülüğüne bağlıdır, ancak nadiren 300 m'yi aşar. Gece boyunca yer yüzeyinden uzun dalga boylu radyasyon yayıldığı için NBL hafifçe tabakalı bir yapıdadır. Güneşin doğduğunda, yeryüzü ısınmaya başlar ve konvektif hareketler hızla türbülans oluşturur. Penetratif konveksiyon, gece boyunca oluşturulan tabakalı yapıyı kademeli olarak aşındırarak konvektif sınır tabakasını oluşturmaya başlar. Bu tabakalaşmanın NBL'deki katmanın ne kadar zayıf olduğuna bağlı olarak Şekil 2.1'de gösterildiği gibi penetrasyon konveksiyonu nispeten hızlı olabilir. Rüzgar kaynaklı türbülans, (her ikisinde de eşit yoğunluğa sahip olduğu CBL'nin tabanı hariç), konveksiyon kaynaklı türbülanstan çok daha zayıftır. Bu bölgeye yüzey tabakası denir ve konvektis sınır tabakası (CBL) konvektif bölgeden arta kalandır. Zaman geçtikçe büyüyen konvektif bölge sonunda bir önceki güne kadar yükselir (bir günden diğerine mükemmel

tekrarlanabilirliği varsayılırsa). Yüzeyden ısı girdisini günbatımıyla birlikte sona ermesi konveksiyonu durdurur ve CBL olarak oluşan katman, "artık tabaka" olarak adlandırılan yeni bir artık (residual) karışık katman haline gelir. Yere yakın, rüzgar sürtünmeye neden olur ve yeni bir NBL oluşur (Environmental Fluid Mechanics, 2008, Bölüm 12).



Şekil 2.2: Gündüz konvektif sınır tabakasındaki tipik dikey profiller. a) CBL boyunca yüksek ve neredeyse tekdüze değere sahip (rasgele birimler) ve yukarıda daha sakin bölgedeki önemli ölçüde daha düşük değerlere sahip toz partikül konsantrasyonu, kirliliğin konvektif tabaka boyunca iyi karıştırılma eğiliminde olduğunu ancak neredeyse tamamen sınırlı kaldığını göstermektedir b) Yerin yakınında ince kararsız bir bölge, CBL (1000 m'ye kadar) boyunca homojenlik ve yukarı doğru tabakalaşmayı sergileyen potansiyel sıcaklık (Garatt, 1994)

Şekil 2.2'de konvektif sınır tabaka (CBL) ve ötesindeki potansiyel sıcaklık ve kirletici konsantrasyonlarının tipik dikey profillerini görülmektedir. Potansiyel sıcaklık, basınç altında sıkıştırılabilirlik etkisi için düzeltilmiş gerçek sıcaklıktır. Isı iletimi zeminde maksimumdan başlar ve daha sonra CBL'de yüksek derecede karışma olduğunu gösteren kayda değer bir şekilde homojen hale gelir. CBL'nin tepesi, profildeki bir çıkıntı (gösterilen örnekte 1000 m'nin hemen üzeri) açıkça tanımlanabilir ve potansiyel sıcaklık, termal tabakalaşmanın göstergesi olarak yükseklikle kademeli olarak yükselir. Aerosol (toz) konsantrasyonu da, CBL genelinde yüksek derecede homojenlik gösterir ve profilde potansiyel sıcaklık profili ile aynı seviyede açıkça işaretlenmiş bir çıkıntı bulunur. CBL üzerindeki aerosol katmanı bu örnekte

homojendir, bu da karışma periyodunda termal tabakalaşmanın gerçekleştiğinin bir göstergesidir, ama CBL ve üzerindeki tabaka arasında kirlilik konsantrayonlarının değerlerinin farklı olması, topraktan yayılan kirlilik kaynaklarının konvektif tabaka boyunca yayılma eğilimi göstermesinden kaynaklanmakta olduğna işaret eder (Garrat, 1994). Atmosferik sınır tabakasının özellikleri bu kirleticilerin nasıl yayılacağını belirler. Örneğin kararlı bir tabakada yayılan kirleticiler yatay bir dağılım sergilerken, kararsız bir yapıdaki tabakada daha dikey bir dağılım söz konusudur.

Sınır tabakasının uzaktan algılama ölçümleri çok çeşitli uygulamalarda kullanılır. Örneğin hava kalitesi araştırması ve operasyonel ölçümleri, temel AST fiziği araştırması, mezo ölçek fırtınalar, iklim izlemesi ve havacılık gibi önemli uygulama alanlarında kullanılır (Angevine, W.M ve Senff, C.J, 2015).

Genellikle iyi karışmış AST'nin yüksekliği bazı çeşitli uygulamalar için gereklidir. Bunların arasında seçilen birkaç rüzgar ölçümünden gelen akış alanını belirleyen rüzgar alanı modellerinin kullanımı, AST'de yayılan maddelerin seyrelmesini hesaplayan dispersiyon modelleri, sis ve bulutların tahmini için prognostik modeller, karışım tabakası yüksekliğini belirlemek için gelişmiş bazı sayısal akış modelleri ve uydu ölçümlerinden alınan kimyasal parametrelerin hesaplanması için yeniden analizi gibi uygulamalar için oldukça önemlidir. Ayrıca, atmosferik aerosol optik kalınlığın uzaktan algılama ölçümlerinden elde edilerek bölgesel hava kalitesi araştırmaları için karışım tabakası yükseklik bilgisine ihtiyaç vardır (Emeis ve diğ., 2004).

2.1 Uzaktan Algılama Sistemler İle Atmosferik Sınır Tabaka Tespiti

Atmosferik sınır tabaka seviyesi hakkında bilgi sıklıkla gerekli olsa da, bu yüksekliğin belirlenmesi için benzersiz belirli bir prosedür yoktur. (Seibert ve diğ., 2000). Çünkü Balon, uçak gibi aletler ile geçici ölçümlerle AST'yi zamansal olarak belirlemek yeterli değildir ve zemine dayalı (yersel) cihazlar kullanımı da zordur. Uydulardan gelen verilerin kullanımı, düşük dikey çözünürlükleri, uydunun dönüş hızı, bulut örtüsünün potansiyel etkileri nedeniyle kullanışlı olmayabilir (Emeis ve diğ., 2004).

Alternatif yöntem olarak atmosferik sınır tabaka yüksekliğini belirlemek için sodar ve lidar gibi yöntemler kullanılır (Peng J. ve diğ.,2017).

Planeter atmosferik sınır tabakası (AST), radyo, optik ve akustik enerji kullanan hem aktif hem de pasif çok çeşitli teknikler kullanılarak gözlemlenir. AST ile ilgilenen çok çeşitsi zamansal ve mekansal ölçeklere ve ölçülmesi gereken çok sayıda parametreye yanıt olarak çeşitli araçlar geliştirilmiştir (Angevine, W.M ve Senff, C.J, 2015). Örneğin SODAR ile akustik uzaktan algılama, saçılan sinyalin bir Doppler kayma analizinden dikey rüzgar profilinin yapısı ve saçılan akustik sinyalin gücünden sıcaklık yapısı anlaşılır. LİDAR veya silyometre ile optik uzaktan algılama, saçılıp geri dönen lazer sinyalin gücünden bir aerosol profilinin hesaplanmasını sağlar. RASS cihazı ile, ses dalgasının hızını ve dolayısıyla dikey rüzgar hızı için gerekli düzeltmelerden sonra sıcaklık profilinin yapısı anlaşılabilir. Ek olarak bu cihazdan geri gönderilen elektromanyetik sinyalin gücü esas olarak nem yapısı paramtresine bağlıdır. Yükseklik tahsisi SODAR, LIDAR ve silyometre için hareket süresini analiz ederek veya RASS için iletilen ve alınan sinyal arasındaki frekans kayması analiz edilerek yapılır (Emeis ve diğ., 2004).

Sınır tabakası uzaktan algılama cihazları aktif ve pasif olmak üzere iki ana kategoriye ayrılır. Aktif aletler elektromanyetik veya akustik radyasyon yayar ve bu radyasyonun atmosferi hedef hacminden geri dönen kısmını algılar. Pasif cihazlar ise atmosfer tarafından dağılmış veya değiştirilmiş doğal kaynaklardan gelen radyasyonu tespit eder. Aktif cihaz kategorileri radar, lidar ve SODAR'dır. En basit durumda radarlar, lidarlar ve sodarlar sırasıyla radyo frekansı, optik veya akustik radyasyon darbeleri yayar ve atmosfer tarafından geri dağılan her bir darbenin küçük bir kısmını tespit eder. Geri saçılan radyasyonun özellikleri atmosfer hakkında bilgi taşır ve bu bilgiler radyasyonun dalga boyu ve türüne ve dolayısıyla radyasyonun atmosferle etkileşime girme yollarına bağlı olarak değişir. Bu etkileşimlere saçılma mekanizmaları denir (Angevine, W.M ve Senff, C.J, 2015).

ABL araştırmalarında kullanılan maksimum lidar aralığı çoğu durumda tüm ABL'yi ve serbest troposferin ABL'nin hemen üzerindeki kısmını kapsamak için yeterlidir. Minimum menzil tipik olarak birkaç yüz metredir. Bir tarama lidarı ile minimum aralığın altındaki rakımlar, ışın ufkunun birkaç derece üzerine işaretlenerek

proplanabilir. Bazı meteorolojik koşullar yararlı lidar menzilini kısıtlar. Optik kalın bulutlar (kümülüs veya stratus gibi) veya yoğun siste yapılan lidar ölçümleri mümkün değildir, çünkü lidar sinyalleri ilk on metreye yayılır ve emilir. Yağış olayları sırasında, lidar operasyonu sağlıklı değildir ve imkansız olabilir. Lidarların ölçüm yetenekleri onları birçok ABL araştırma alanında değerli araç haline getirmektedir. Lidar ile ölçülen aerosol geri saçılma, nem, eser gaz konsatrasyonlaı, sıcaklık ve türbülans profilleri, ABL araştırmalarında önemli parametre olan ABL yüksekliğini çıkarmak için kullanılabilir. Lidarlar ile elde dilebilecek yüksek zaman ve aralık çözünürlüğü nedeniyle, üçüncü ve dördüncü dereceden anlar da dahil olmak üzere ABL'deki türbülans istatiklerini araştırmak mümkündür (Angevine, W.M ve Senff, C.J, 2015).

Bazı çalışmalar konvektif sınır tabakayı, radarlardan elde edilen rüzgar profili ile belirlenmesinde başarı göstermişlerdir ve radardan türetilen sınır tabakası derinliği ile aerosol karışma derinliği arasında bir ilişki olduğunu göstermiştir (White ve diğ., 1993). Bu prosedür, konvektif sınır tabakasında, kırılma indeksi yapı parametresinin değeri ile ilişkilidir, bu değer dalgalanmalardaki lokal maksimum değerlerinden elde edilir. Çünkü bu dalgalanmalar, rüzgar profili saptayan radarların geri saçılma gücündeki aralık düzeltme sinyal – gürültü oranıyla doğru orantılıdır, böylece sınır tabaka derinliğinin sürekli olarak izlenmesine izin verir. Örneğin Angevine ve arkadaşlarının sınır tabaka derinlik tahminin yöntemi; ilk olarak 30 dakika boyunca maksimum değeri hesaplarlar, 30 dakikalık süre boyunca beş boyutlu gönderilen ışından geri dönen sinyal gürültü oranından maksimum değeri hesaplarlar, ve daha sonra bu değerlerin medyanını bularak sınır tabakanın yüksekliği olarak hesaplarlar. Alternatif olarak, önce sinyal-gürültü oranı profilinden medyan alınarak, ardından profildeki maksimum yüksenliğin bulunması da benzer bir sonuç verir. Her ne kadar bu yöntem sınır tabaka derinliğinin belirlenmesi konusunda önemli bir beceri sunsa da, birkaç nedenden dolayı başarısız olabilir. Birincisi, zemin pürüzlülüğü, radyo frekansı parazitleri ya da kuşlar gibi etkenlerden dolayı sinyal-gürültü oranında hatalar olabilir. Birden fazla ışından gelen verilerin dahil edilmesi, ışınların çoğunda bir pürüzlülük yoksa, pürüzlülük etkilerini azaltmaya yardımcı olabilir. İkincil olarak, bir önceki günün sınır katmanıyla ilişkili olan bir enverziyon ile ilgili yüksek bir kırılma katmanı varsa bu algoritma başarısız olabilir. Üçüncü olarak, algoritma, sürükleme işleminin zayıf olduğu veya sürükleme bölgesinin büyük olduğu dönemlerde sınır

tabakanın derinliğinin tahmin edilmesinde önemli hatalara neden olabilir ve bu da neredeyse homojen sinyal-gürültü oranı ile derin bir tabaka algılanmasına neden olabilir. Bu hatalardan dolayı, sınır tabakanın derinlik algoritması otomatik rüzgar profili işleme rutini olarak uygulamak mümkün değildir (Bianco ve Wilczak, 2002).

2.1.1 SODAR İle Atmosferik Sınır Tabaka Belirleme

SODAR (Sound Detection and Ranging) faaliyetleri ile atmosferik sınır tabakanın karmaşık yapısının araştırılmasında önemli katkılar sağlar. SODAR teknolojisi sesüstü (ultrasound) ses dalgalarıylarüzgar profillerinin ortaya çıkarılması bakımından radar teknolojisiyle benzerdir fakat bu cihazı radarlardan ayıran en önemli özellik atmosfere radyo dalgası göndermek yerine ses dalgası göndererek ölçüm yapmasıdır. Monostatik, bistatik ve Doppler olarak uygulunabilen bu akustik radarların çalışma frekansı genellikle 1.6 kHz ile 3.0 kHz değerleri arasındadır. Atmosferden saçılan ses dalgalarını analog veya sayısal olarak kaydedilmek üzere yer seviyesindeki rüzgar hızı ve aşağı atmosfer tabakasının termodinamik özellikleri saptanabilmektedir (İncecik, 1994)

SODAR 1960'lı yıllarda yavaş yavaş gelişim gösterdi ve 1980'lerde rutin kullanılmaya başlandı. Bugün SODAR'lar, enerji üretim santrallerinde ve diğer kirlilik kaynaklarında normal kule yüksekliklerinini üzerindeki rüzgarların operasyonel olarak izlenmesi için kullanılmaktadırlar ve genellikle atmosferik sınır katmanı araştırma çalışmalarına dahil edilmektedirler (Angevine, W.M ve Senff, C.J, 2015).

Çalışma prensibi olarak en basit, SODAR'lar, sınır tabakadaki sıcaklık ve hızın türbülanslı yapısını sadece geri saçılma yoğunluğu ile ölçerler. Türbülanslı yapının zaman ve yükseklikle değişimi, çeşitli sınır tabaka fenomenlerini açıklamak için yorumlanabilir. Doppler Sodarlar, geri saçılan akustik sinyalin Doppler kaymasını ölçme kabliyetibi arttırır ve Doppler kaymasını akustik ışık yönü boyunca bir hıza dönüştürür (Angevine, W.M ve Senff, C.J, 2015).

Şiddetli yağış ve kar gibi güçlü termal karışımın neden olduğu adyabatik koşullar nedeniyle SODAR ölçümleri başarısız olabilir. Sadece homojen olmayan sıcakalık alanında geri saçılma sinyalleri dalga boyunun yarısı kadar ($\Delta \boldsymbol{x} = \lambda \boldsymbol{sound}/\boldsymbol{2}$) bir

geri saçılma sinyali alınır. Normalde bu türbülans spektrumunun ataletsel alt araılığı içindedir. Bu nedenle akustik geri saçılma, sınır katmanındaki türbülans yapısı hakkında bilgi verir fakat dikey sıcaklık gradyanı hakkında bilgi vermez (Emeis ve diğ., 2004). Potansiyel sıcaklığın düşey gradyanının ortadan kaybolması durumunda hala türbülans hareketleri olsa bile geri saçılma sinyallerinini yoğunluğu düşük olur (Maughan ve ark., 1982). Sakin rüzgar ve güçlü termal enverziyonların olduğu hava koşullarında ortalama dikey sıcaklık gradyanının geri saçılım yoğunluğuna katkısı türbülans hareketinin katkısı kadar etkili olabilir (Beyrich, 1997). Bu da geceleri kararlı yapıdaki katmanların algılanmasını sağlar. Cihazın ses yansıtıcılığı aralığı genellikle Doppler kayma tanımlamasından daha büyüktür (Emeis ve diğ., 2004). Akustik geri saçılmanın en çarpıcı farkı, CBL'nin üst kısmındaki ve enverziyondaki elektromanyetik geri saçılımın yüksek yoğunluğu akşama kadar izlenebilmesidir, akustik geri saçılım ise 15 veya 16 UTC'den sonra neredeyse tamamen yok olur. Akustik geri saçılmadaki azalmanın nedeni öğleden sonra iyi karışmış bir CBL'deki dikey potansiyel sıcaklık gradyanının kaybolması, yerden ısıtmanın durmasıdır (Maughan ve ark., 1982). Bu düşey bileşen sigma (w) günlük olarak maksimum değeri CBL'nin üst kısmına yakın bir yerde azalmaya başlamadan 2 saat önce ve 2 saat sonra tesbit edilir. Bu maksimumlar türbülansı gösterir ve bu aralıkta büyük sıcaklık dalgalanmaları olmaksızını adyabatik profilden sorumludur (Emeis ve diğ., 2004).

MLH'nin bir SODAR ile ölçülmesinde dikkate değer bir deneyim mevcuttur (Beyrich, 1997). Bu cihazın ana eksikliği sınırlı menzili ve bazı hava koşullarında (özellikle öğleden sonra adyabatik olarak sıralı katmanlı) veri kullanılabilirliğinin azalmasıdır (Emeis ve diğ., 2004).

2.1.2 Silyometre ile Atmosferik Sınır Tabaka Belirleme

Başlangıçta sadece bulut taban yüksekliğini belirlemek için tasarlanmış silyometreler zamanla atmosferik profili belirlemek için de kullanılabilir hale gelmiştir (Emeis ve diğ., 2004). Silyometre havanın optik geri saçılım yoğunluğunu ölçer ve bu sinyal saçılımı şu denklem ile belirlenir:

$$P(x,\lambda) = \frac{c\Delta t}{2}\ \mathrm{P0}\frac{AnO(x)}{x^2}\beta(x,\lambda)\tau^2(x,\lambda)$$

P(x, ⅄)= Alıcıdan kaydedilen güç

P_0=cihazdan gönderilen lazer puls gücü

c=ışık hızı

Δt=lazer puls süresi

A=Alıcının alanı

n=alıcının verimliliği

O(x)=iletilen ışın ile alıcının görüş alanı arasındaki aralığa bağlı örtüşme integralidir. ($0 \leq O(x) \leq 1$)

β(x, ʎ)=geri saçılım katsayısı

τ(x, ʎ)=atmosferin iletimi ile ölçüm sistemi arasındaki saçılma hacmi

ʎ=dalga boyu

X= ölçüm cihazından saçılma hacmina kadar olan mesafe (Emeis ve diğ., 2004).

Karışma tabakasını belirlemek için sıklıkla kullanılan bir yaklaşım, silyometreler, otomatatik ve göz güvenli tek dalga boylu geri saçılma lidarı olarak adlandırılır (Wiegner ve diğ., 2014; Geiβ ve diğ., 2017). Bir "silyometrenin" teknik özelliklerinin kesin bir tanımı olmadığından, son zamnlarda ALC (automated lidars and ceilometers-otomatik lidar ve silyometre) terimi geliştirilmiş ve genellikle eşanlamlı olarak kullanılmaktadır (Geiβ ve diğ., 2017).

Silyometreler, dikey aerosol saçılma profillerinden bulut taban yüksekliğini belirlemek için tasarlandıklarından, sınır tabaka üzerindeki veri saptama potansiyeline sahiptir ve tüm hava koşullarında çalışabilme avantajına sahiptir (Peng J. ve diğ.,2017). Fakat, geri saçılma şiddeti esas olarak havadaki partikül yoğunluğuna bağlıdır ve birçok parçacık nem içerebilir. Bu nem parçacık boyutuna göre değişkenlik gösterir, bir bakıma atmosferdeki yansıtıcılık atmosferdeki nemden büyük ölçüde etkilenir. Bu sebeple bulutlar ve yağış gibi meteorolojik olaylar silyometre ölçümlerini engelleyebilmektedir. (Emeis ve diğ., 2004).

Karışma tabakası aralığının belirlenmesi için, silyometrenin düzeltilmiş sinyalleri, genellikle tescilli yazılım kullanılarak analiz edilimektedir. Son zamanlarda, silyometre ağları çeşitli ulusal hava durumu servisleri (örneğin Almanya Hava Durumu Servisi tarafından neredeyse 100 cihaz) tarafından kurulmuştur ve yakın gelecekte gerçek zamanlı veri sağlayan yoğun ağların Avrupa ölçeğinde mevcut olması beklenmektedir. Hava kalitesi çalışmaları için kentsel ağların uygulanması da muhtemeldir, en azından zaman zaman kirlilik olaylarından muzdarip seçilmiş şehirler için kullanılabileceği öngörülmüştür. Örneğin bu amaca yönelik Paris'te üç silyometre cihazı kurulmuştur (Geiβ ve diğ., 2017).

Bununla birlikte, en son teknolojiye sahip silyometreler aerosol katlamnlarının açık bir şekilde tanımlamasını sağlamasına rağmen AST'nin algılanması bir sorundur,

genellikle birkaç atmosferik katman tesbit edilir ancak hangisinin karışım tabakası olduğu belirsizdir. Bu sorun özellikle belirli atmosferik koşullar için optimize edilmiş otomatik algılamalarda ciddi sorunlara neden olabilir. Aerosol konsantrasyonu aşırı düşük veya yüksekse, ya da cihazın çalışma aralığından kaynaklanan sorunları varsa sinyal alımları başarısız veya yetersiz olabilir ya da olduğundan daha fazla tahminlere yol açabilir. Sonuç olarak karışma tabakası ve kirlilik arasında herhangi bir korelasyon ve dolayısıyla karışma tabakasındaki hava kalitesi araştırmalarında kullanma potansiyeli seçilen cihazın karışma tabakası sinyali geri alma tekniğine bağlı olabilir (Geiβ ve diğ., 2017).

2.2 Atmosferik Sınır Tabakanın Hava Kalitesi Üzerine Etkileri

AST'yi belirleyen parametreler dinamik ve termal yapıdadır (Emeis ve diğ., 2004). Oluşan bu tabakada yer yüzeyi ve atmosfer arasındaki momentum, ısı, nem ve diğer maddelerin değişimi göz önüne alındığında, bu hava parselindeki krileticilerin yayılımı üzerinde de önemli bir etkisi vardır (Peng J. ve diğ.,2017).

Kentsel hava kalitesinin değerlendirilmesi, yalnızca rüzgar yönü ve rüzgar hızı gibi meteorolojik parametrelerin zamansal ve mekansal yapısı hakkında bilgi gerektirmez, çünkü bu değişkenler yüzeye yakın kirleticilerin hızla karışması için dikey alanı kontrol eder (Schäfer ve diğ., 2009). Kararsız atmosfer tabakası düşey hava hareketlerini destekleyen bir yapıdayken, kararlı atmosfer şartlarında ise bu düşey hava hareketlerini engelleyici bir yapıya sahip olur. Bu sebeple de kararlı bir atmosferde salınan kirleticiler düşey olarak değil yatay bir biçimde dağılır (Çapraz, 2013) . Özellikle Enverziyon tabakası veya artık tabaka yüksekliği, atmosferin en alt kısmını serbest atmosferden ayıran bu kritik yükseklikte tipik olarak öğleden sonra karışma katmanından ayrıştırıldığından, serbest atmosferden daha fazla aerosol içerir. Bu nedenle aerosol konsantrasyonunda artma ve azalma enverziyon ile yakın ilişkili olduğu söylenebilir (Peng J. ve diğ.,2017).

Hava kirliliği, insan sağlığı üzereindeki olumsuz etkileri nedeniyle metropoliten alanlardaki en önemli çevresel sorunlardan biridir. Trafik, endüstri veya ısıtmadan kaynaklanan kirleticiler, özellikle güçlü bir emisyon altında bulunduğunda ve meteorolojik koşullar kirli ve temiz hava değişimini engellediğinde hava kalitesini önemli ölçüde azaltır. Bu nedenle, çeşitli eser gazlar ve partikül kütle konsantrasyonları federal belediye veya eyalet idareleri tarafından uygulanan yüzeye

yakın hava kirliliği izleme ağları tarafından sürekli olarak izlenir ve yasal olarak kritik eşiklerin aşılması durumunda, kirliliği azaltmak için önlemler alınması zorunlu hale gelebilir. Örneğin motorlu bireysel trafik kısıtlamaları gibi uygulamalar görülebilir. Gaz halindeki kirleticilerin NO_x, O_3, SO_2 veya CO ve PM gibi yüzey konsatrasyonları yerinde izleme istasyonları tarafından rutin olarak ölçülür. Doğrudan gözlemleri daha iyi anlamak veya desteklemek için hava kalitesi, aerosol optik derinliği gibi ayrılmaz parametrelere veya AST gibi meteorolojik parametrelere bağlanabilir. Karışma tabakası yüksekliği, atmosferik sınır tabakası içindeki dikey karışım için bir ölçü olarak düşünüldüğü için ve zemine yakın yayılan kirleticilerin seyreltilmesini belirlediği için AST bölgesel kimya taşınım modellerinin değerlendirme çalışmalarında veya bir girdi parametresi olarak kimyasal modellerde sıklıkla incelenmektedir. Türbülanslı dikey değişim ve yüzeye yakın hava kalitesi arasındaki yakın ilişki nedeniyle, karışma tabakası veya yüzeye yakın kirletici konsantrasyonları arasında korelasyon kurmak için çeşitli girişimlerde bulunulmuştur (Geiβ ve diğ., 2017).

Bir sınır tabakanın (AST) yapısı, özellikle karışım tabakasının derinliği ve hava kalitesi için önemli bir anlama sahiptir (Drzeniecka, n.d.). Karışma tabakasının kirlilik için rolü ve sağlık üzerindeki olumsuz etkileri 50 yıldan uzun bir süredir vurgulanmaktadır. Özellikle yalnızca niteliksel sonuçlar çıkarıldığında, farklı çalışmaların karşılaştırılmasının doğası gereği zor olduğu vurgulanmalıdır. Bir yandan, farklı meteorolojik koşullar ve türler, yani farklı gazlı kirleticiler ve kırsal veya kentsel ortamlardaki farklı alanlar araştırılmaktadır. Öte yandan, kavramsal farklılıklar bulunmaktadır, yani istatiksel analizler, birkaç hafta veya hatta mevsimlerde ortalama olarak saatlik değerlere, günlük ortalamalara veya günlük döngülere dayanır ve ölçümlerden veya sayısal modellemelerden AST'yi belirlemek için farklı yaklaşımlar vardır (Geiβ ve diğ., 2017)

2.2.1 Hava Kirliliği

Atmosferdeki toz, duman, gaz, koku ve su buharı şeklinde bulunan kirleticilerin insanlar ve canlı sağlığını olumsuz yönde etkileyen çevresel ve maddi zararlar verebilecek seviyelere yükselmesi "Hava Kirliliği" olarak tanımlanır (Url-5). Hava kirliliği; deniz tuzu serpintisi, çöl tozu taşınımı ve yanardağ patlamaları gibi doğal kaynaklardan ortaya çıkabileceği gibi, insan faaliyetleri sonucu açığa çıkan kirleticilerden de kaynaklanır. Kirli havanın içerisinde; insan sağlığına ve diğer canlılara zarar verecek seviyede istenmeyen maddeler yer alır. Bazı kirleticiler, kaynağından atmosfere salındığında doğrudan havayı kirletir bazıları ise atmosferde iki kirleticinin tepkimeye girmesiyle yeni bir kirletici meydana getirebilir. Sıcaklık ve nem gibi meteorolojik parametreler kirleticilerin dönüşmesinde etkili olur (Url-6). Hava kirliliği, insan sağlığı, ekosistem, iklim değişikliği üzerine etkileri, iklim değişikliği, kültürel miras ve ekonomi üzerine etkileri önemlidir. Yaşadığımız troposferin en alt tabakasında yer alan atmosferik sınır tabaka hava kirliliğine önemli bir etki teşkil etmektedir. Bu yüzden atmosferik sınır tabaka ve hava kirliliği ilişkileri üzerine yapılan çalışmalar önemli hale gelmektedir.

3. VERİ VE YÖNTEM

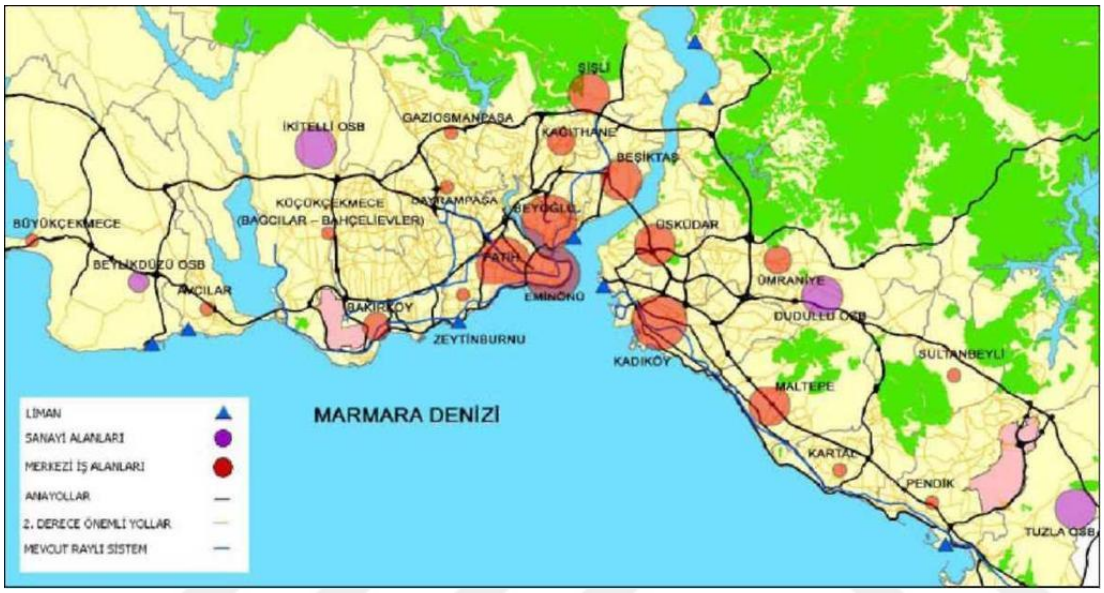
Dünyanın en eski şehirlerinden biri olan İstanbul, Türkiye'nin ekonomik ve kültürel açılardan en önemli kenti konumundır. 5461 km^2 yüzölçümü ve yaklaşık 15 milyon nüfusu ile Avrupa'nın nüfus açısından en yoğun şehirlerindendir, kıtalararası bir metropoldür.

Tarihi çok eskiye dayanan İstanbul, bulunduğu coğrafik konumu nedeniyle her dönemde önemli bir ekonomik merkez olmuştur. İstanbul'da ilk sanayi faaliyetleri Haliç (Tersane ve Feshane bölgesi), Beykoz (kağıt fabrikası), Bakırköy(demir vbasma fabrikaları) çevrelerinde başlamıştır (Doğan,2013). Türkiye nüfusunun yaklaşık %18.6'sını barındıran İstanbul, endüstriyel istihdamın %20'sine ve endüstri tesislerinin %38'ine sahiptir (URL-7). GSYH'sinin ise yaklaşık %17'sini oluşturmaktadır (Url-8). Sanayileşme ile ekonomik büyüme arasında doğrudan bir ilişki olduğu söz konusudur. Ekonomik büyümenin temel ölçütlerinden biri GSYH'dir. GSYH göz önüne alınarak Türkiye'deki illere göre İstanbul'un gelişmişlik düzeyinin daha ileride olduğu görülebilir. Şehirlerde hava kalitesinin bozulması ve özellikle nüfusu 10 milyonu aşan ve mega şehir diye tanımlanan şehirlerin en önemli problemi haline gelmiştir (İncecik ve İm, 2013). Zamanla artan nüfus baskısı ve şehrin dışına doğru yönelen çarpık yerleşim faaliyetleri meydana getirmiştir. İstanbul'da sanayii alanları Asya ve Avrupa olmak üzere Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Artan nüfus ile birlikte gelişen bu ekonomik ve endüstrileşme faaliyetleri sonucu İstanbul, hem doğrudan hem de dolaylı yoldan sera gazı emisyonlarının yoğunlaştığı alanların başında gelmektedir, buna bağlı olarak çevre kirliliğinin de artması sonucunu doğurmuştur.

İstanbul'da da evsel / ticari ve endüstriyel kaynaklı tüketilen yakıtlardan meydana gelen emisyonlar üzerine yapılan bir çalışma Çizelge 3.1'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre emisyonların büyük bir bölümü endüstriyel yanmadan kaynaklanmaktadır. Özellikle fosil yakıtlardan kaynaklanan SO_2 emisyonları, diğer kirleticilerle kıyaslandığında daha yüksek miktarlardadır (İm ve.diğ., 2008).

Çizelge 3.1: İstanbul'daEvsel / ticari ve endüstriyel yanmadan kaynaklanan emisyonlar (İm ve.diğ., 2008).

Kaynak	SO_2 (ton)	NO_X(ton)	CO(ton)	VOC(ton)
Evsel/Ticari	25960	5762	2113	4354
Endüstriyel	51866	8090	2503	6040
Toplam	77826	13853	4616	10393



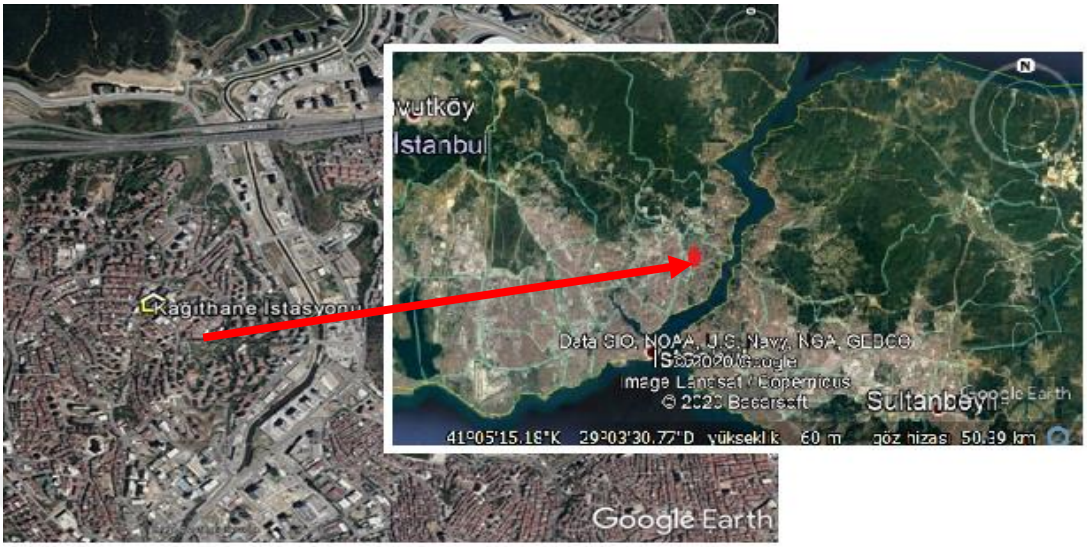
Şekil 3.1: İstanbul'daki sanayi alanları (Url-9)

Bu tez çalışmasında 116Y224 numaralı "İstanbul'da Atmosfer Şartlarının Doppler Sodar ve Lidar Ceilometer Cihazlarıyla Tespiti ve Hava Kalitesine Etkilerinin Araştırılması" TÜBİTAK 1001 projesinden sağlanan Kağıthane ölçüm istasyonu verileri, SODAR ölçüm verileri ve Silyometre ölçüm verilerinden faydalanılmıştır. Bu veri türleri ve ölçüm noktaları ile ilgili açıklama ve tanımlar aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

3.1 Kağıthane Hava Kirliliği Ölçüm İstasyonu Verileri

Birçok tepe ve vadiye sahip olan şehri Boğaz, kuzey doğu – güney batı dorğultusunda uzanarak İstanbul'u Avrupa ve Asya olarak ikiye ayırmaktadır. Cumhuriyet döneminde ise 1940'lı yıllardan itibaren günümüze kadar çarpık kentleşmenin geliştiği görülmektedir. Nufüs ve konut artışının önemli bir etkeni 1. ve 2. Boğaz köprülerinin açılmasından kaynaklanmıştır. Buna bağlı olarak Kağıthane bölgesinde sanayileşme

ve endüstri faaliyetleri de hızla artmış bulunmaktadır. Bu sanayileşme faaliyetleri sonucunda da partikül maddde salınımı da artış göstermiştir.



Şekil 3.2: Kağıthane hava kalitesi ölçüm istasyonunun lokasyonu.

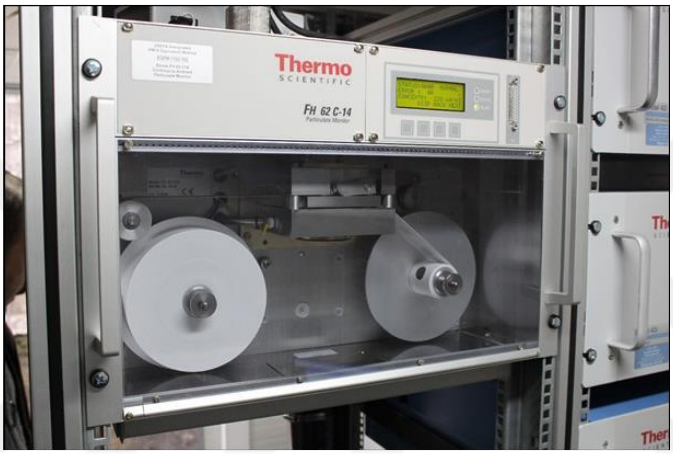
Kağıthane İlçesi'nde bulunan, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Marmara Temiz Hava Merkezi Hava Kalitesi Ölçüm İstasyonu Şekil 3.3'de görüsterilmiştir. İstasyonun üç tarafı da trafik akışının sık olduğu yollarla çevrilidir. İstasyonun batısındaki bölgede özellikle sabah ve akşam saatlerinde yoğun bir trafik oluşmaktadır. İstasyon yakınlarında bulunan Cendere Deresi hem Ayazağa hem de Kemerburgaz yönünden yıl boyunca atık su taşımaktadır. Aynı zamanda istasyon etrafında pek çok küçük ve orta ölçekli üretim tesisi, fabrika ve atölyeler bulunmaktadır.

Kağıthane ölçüm istasyonunun yeri ve ölçüm cihazı Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Bu ölçüm istasyonunun hava kirliliği ölçümleri 2010 yılında başlamıştır ve şu anda ölçümler sağlıklı bir şekilde devam etmektedir.

Bu ölçüm istasyonu tarafından 01.06.2017 – 31.08.2019 tarihleri arasındaki yaklaşık 27 ay süreyle ölçümü yapılan meteorolojik parametreler ve hava kirliliği (NO_2-NO_x, SO_2, PM_{10} ve $PM_{2.5}$ ile O_3) verileri değerlendirilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.3: (a) ölçüm cihazı, (b) Thermo Scientific FH 62 C14 Continuous PM10 ölçüm cihazı, (c) Kağıthane bölgesi uydu görüntüsü ve Hava Kalitesi Ölçüm İstasyonu

3.2 Sodar Cihazı Ölçüm Verileri

Bu proje kapsamında yapılan çalışmaların bir kısmı İstanbul Terkos Gölü sınırları içersinde bir noktadan yapılan SODAR ölçümleri değerlendirilmiştir. Terkos Gölü İstanbul Avrupa yakasında, şehir merkezinden yaklaşık 50 kilometrelik bir mesafede Çatalca ve Arnavutköy ilçelerine yakın bir konumdadır. Uzun yıllar önce Karadeniz'de bir koy olan Terkos gölü zamanla genişliği yaklşık 2 kilometre olan bir kumsal ile denizden ayrılarak bör göle dönüşmüştür. (Köken 1991, Aygün 1994). Çevresinde yer alan Belgrad Deresi, Fındık Dere, Kanlı Dere, Deli Yununs Deresi, Çiftlikköy Deresi ve Başköy Deresi tarafından beslenmektedir. Terkos Gölü, 100-150 m yüksekliğinde tepelik bir alanın kenarında bulunmaktadır ve göl çevresindeki topografya dalgalı düzlükler ve batıya doğru yükseklikleri giderek artan yüksek eğimli tepeler yer almaktadır. Göl çevresi az engebeli bir morfolojiye sahiptir (Çetiner ve ark. 1995). Göl çevresindeki yükseltilerin eğimi %0-3 arasında, batıya doğru gittikçe %3-15 değerleri arasında değişmektedir, kuzeybatısında ise %15-25 derecelik eğimli bir yapı mevcuttur. Göl çevresindeki toprakları oluşturan ana materyallere bakıldığında erozyona uğrayabilecek eğimli bir yapı görülmektedir (Eruz ve ark. 1995). Bitki örütsünün ormanlık ağaç ve maki vejeterasyonunun olduğu bölge yerleşim açısından köy evlerinin bulunduğu bir yapıdır. İSKİ SKHY gereği yerleşim bakımından yapaılaşma artışı görülmemektedir fakat Tayakadın ve Yeniköy köylerindeki tarım arazilerinin yerleşim amaçlı kullanılmaya başlamasıyla bu bölgedeki yapılaşma oranı artmaktadır (Baylan ve Karadeniz, 2006).

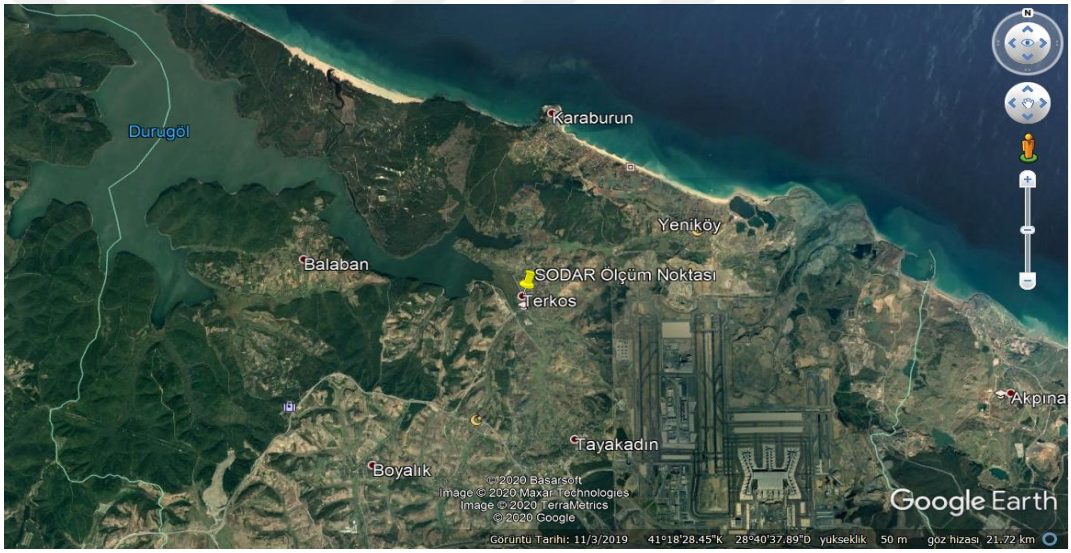
SODAR faaliyetleri kapsamında, ölçüm yeri Şekil 3.4 (c)'de görüldüğü gibi İSKİ-Terkos gölü sınırları içersinde bir noktadır. Kullanılan SODAR cihazı Şekil 3.4 (a) ve (b)'de gösterilen Remtech Model PA-0 serisidir. Cihaz üzerinde her biri 3.6 kHz ile çalışan 64 adet anten yer almaktadır. Bu cihazın temel özellikleri minimum 15 metre ve ortalama 700 metreye kadar ölçüm aralığı vardır. Hava sıcaklığı 15 ^{0}C ve %70 bağıl nem oranına sahip hava koşullarında efektif bir şekilde çalışmaktadır. SODAR cihazı ile rüzgarın yatay ve dikey rüzgar bileşenleri kaydedilir. Cihaz ile atmosfere gönderilen ses dalgalarının havadaki moleküllere çarpıp geri dönen ses dalgalarının dijital olarak kaydedilmesi ile ölçümler gerçekleştirilir.

SODAR cihazı ile 01.06.2017 - 31.08.2019 tarihleri arasında 5 farklı seviye için (30m, 60m, 90m, 120m, 240m) rüzgar şiddeti ve yön ölçümleri yapılmıştır. İki farklı zaman diliminde ölçümler gerçekleştirilememiştir. Bunun sebebi öncelikle 19.12.2017 –

14.04.2018 tarihleri arasında cihaz kablosunun aşınmasından dolayı meydana gelen elektrik kesintisidir. SODAR cihazı güç kaynağından 15 metre uzaktaki bir alana yerleştirilmiştir. Böylece ağaçlar, binalar ve benzeri gibi sinyali bozabilecek fiziksel bir engelden korunmuş olmaktadır. Bu 15 metre boyunca bağlantı kablosunun trafoya gittiği hat taşlı bir yol üzerinde kalmıştır. Daha sonra trafoya giden bu taşlı yol üzerinde bazı yapısal değişiklikler yaşandığı için bu alana ağır tonajlı araç giriş çıkışları kablonun serili olduğu güzergah üzerinden olmuştur. Bu araçların bağlantı kablosuna yaptığı tahribat nedeniyle bağlantı kesilmiştir ve kablo işlevini yitirmiştir. Yaşanan bu sorunun ardından firma ile görüşülerek kablonun temin edilmesi için yurt dışı firmalar ile bağlantıya geçilmesi sağlanmıştır. Kablonun temini için geçen bu süre boyunca veri kaybı yaşanmıştır ve kablo tekrardan Nisan 2018'de bağlanarak SODAR cihazı yeniden işlevsel hale getirilmiştir. İleriki bir tarihte SODAR cihazından yeniden farklı bir sorun meydana geldiği için için 05.08.2018-25.09.2018 tarihleri arasında veri alınamamıştır. Cihazın bağlı bulunduğu güç kaynağında sürekli sigorta atması nedeniyle bağlantı yeri değiştirilmiştir. Yenilenen trafo merkezinde yaşanan bu durumdan sonra güvenli bir güç kaynağı ile yeniden bağlantı sağlanarak veri teminine devam edilmiştir.



(a) (b)



(c)

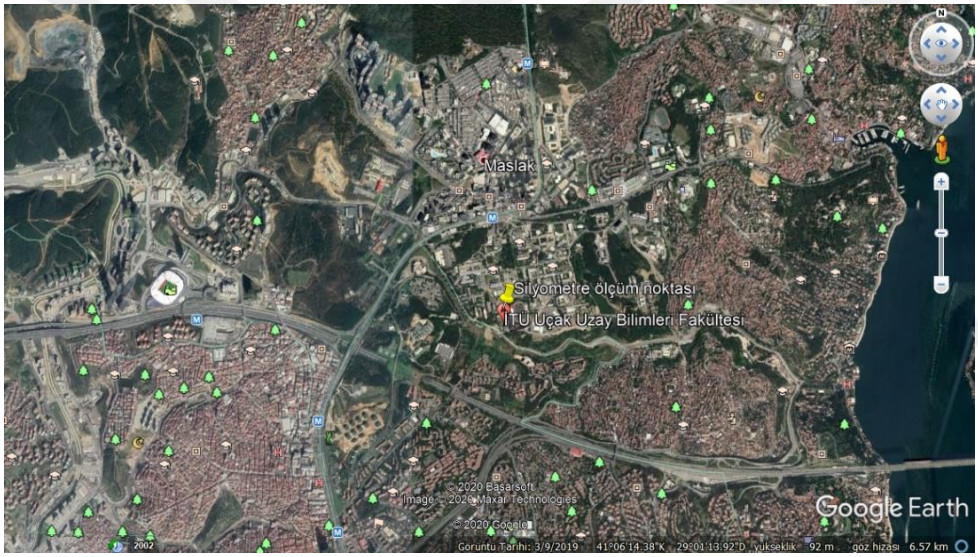
Şekil 3.4: (a) ve (b) REMTECH PA 0 SODAR Ölçüm Cihazı, (c) SODAR Ölçüm İstasyonu noktası

3.3 Silyometre Ölçüm Verileri

Silyometre cihazı ile yapılan üçüncü gözlem noktası İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi'nin çatısında bulunmaktadır. Bu fakülte İstanbul'un Sarıyer ilçesine bağlı Ayazağa semtinde yer almaktadır. Bu semtin 300 yıllık bir tarihi olduğu bilinmektedir. Ayazağa'nın üç tarafı ormanlarla çevrilidir ve Dereboyu,

Yeşiltepe ve Merkez olmak üzere üç bölüme ayrılmıştır. İTÜ Ayazağa yerleşkesi Merkeze yakın konumdadır. Çevre alanlarda Fatih Sultan Mehmet Köprüsü bağlantı yoluna bağlanan ana trafik hatları yer almaktadır ve bu çevrede yapılaşma oranı çok fazladır.

Bu çalışma çalışma kapsamında kullanılan CL51 model silyometre Şekil 3.5 (b)'da görülmektedir. Teknik özellikleri bakımından 5 metre çözünürlüktedir ve yaklaşık 7.6 kilometreye kadar ölçüm yapar. Silyometre cihazı Şekil 3.5 (a)'de gösterildiği gibi İstanbul Teknik Üniversitesi çatısına yerleştirilmiştir. Bu lokasyonda 01.01.219 – 31.08.2019 tarihleri arasında alınan veriler değerlendirilmiştir. Silyometre cihazı ile 4 farklı düşey seviyeye ait bulut taban yükseklikleri ve bulut kapalılık miktarı değerleri günlük ortalamalar alınarak analiz edilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.5: (a) Silyometre Ölçüm İstasyonu , (b) Silyometre Ölçüm Cihazı (Url-11)

3.4 HYSPLIT Model Yöntemi

Bu çalışma kapsamında,beşinci bir yöntem olarak ABD Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA)'nın Hava Kaynakları Laboratuvarı tarafından geliştirilmiş olan Hibrid Tek Parçacık Lagrange Entegre Yörünge Modeli (HYSPLIT - Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model) kullanılmıştır. HYSPLIT modelinde bölge koordinatları haritada işaretlenerek geçmiş yörüngeler (backtrajectory) oluşturulmuş ve toz taşınımını gösteren haritalar elde edilerek incelenmiştir.

HYSPLIT, hava parseli yörüngelerinin belirlenmesi, yayılması ve çökmesi simülasyonlarını hesaplayan bir modeldir. Hava kirliliğinin yapısını tespit ederken aynı zamanda bu kirleticilerin lokal, bölgesel ve küresel ölçekteki taşınımını ve dağılımını da modeller (Özdemir ve diğ., 2012).

4. ANALİZ

Kağıthane ölçüm istasyonundan 01.06.2017 - 31.08.2019 tarihleri arasında 27 ay süre ile PM_{10}, $PM_{2.5}$, SO_2, NO_2 ve O_3 kirletici ölçümleri yapılarak hava kalitesi izlenilmiştir ve partikül maddelerin sınır değer üzerine çıktığı üç farklı tarih aralıkları için episodik günler belirlenmiştir. Bu episodik günler için SODAR ve silyometre cihazları ile AST belirlenmeye çalışılmıştır ve bu AST ile partikül madde konsantrasyonu arasındaki ilişki incelenmiştir.

4.1 Kağıthane Hava Kirliliği Ölçüm İstasyonu Verilerinin Analizi

Kağıthane ölçüm istasyonunda; 01.06.2017 - 31.08.2019 tarihleri arasında 27 ay süre ile hava kalitesi gözlemleri ve meteorolojik parametreler incelenmiştir. Bu bölümde $PM_{2.5}$ kirletivisinin kritik eşik değer üzerine çıktığı günler için episod süreleri belirlenmiş ve değerlendirme sonuçları bu bölümde incelenmiştir.

4.1.1 Meteorolojik Ölçüm Verileri Analizi

Kağıthane bölgesinde bulunan kirlilik ölçüm istasyonunda aynı zamanda meteorolojik parametrelerin de ölçümü gerçekleşmektedir. Bu ölçüm istasyonundan 01.06.2017 - 31.08.2019 tarihleri arasında elde edilen meteorolojik verilere göre sıcaklık değerlerinin en yüksek değerlerin 30 ^{0}C'yi aşmadığı ve en düşük sıcaklık değerinin 0 ^{0}C altına düşmediği gözlemlenmiştir. Şekil 4.1 üzerinde görüldüğü gibi en yüksek sıcaklık değerleri temmuz ayında gerçekleşirken en düşük sıcaklık değerleri ocak ayında gözlemlenmiştir.

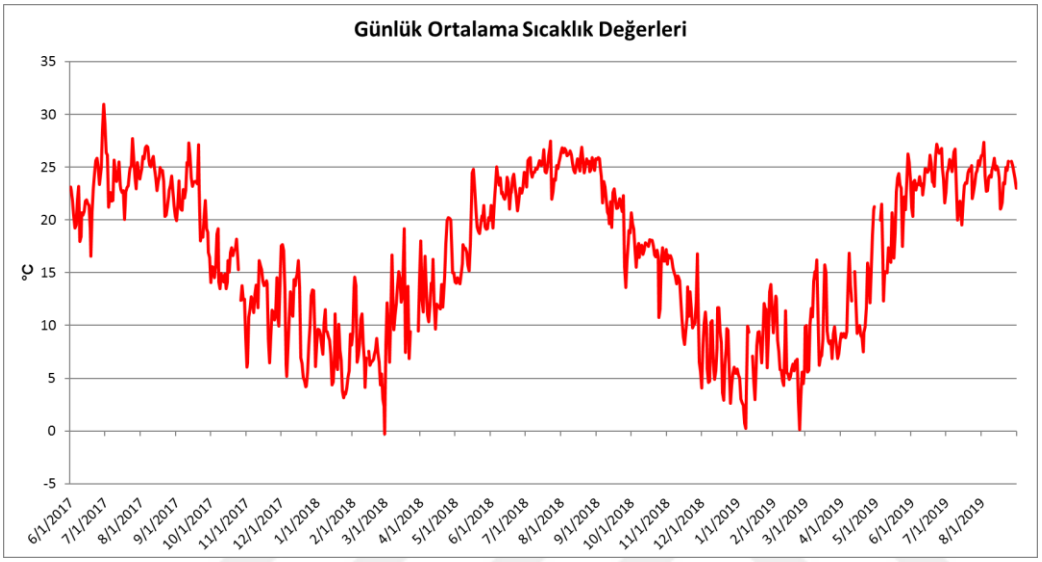
Şekil 4.2 üzerinde verilen nem değerleri sıcaklık değerleri ile karşılaştırıldığında sıcaklığın diğer günlere nispeten daha yüksek olduğu günlerde bağım nem değerlerinin azaldığı görülmektedir.

Basınç değerleri ise Şekil 4.3'de görüldüğü gibi en yüksek 1020 mb ve en düşük 990mb olmak üzere bu aralıklar arasında gelen hava sistemine bağlı olarak değişkenlik gösterir.

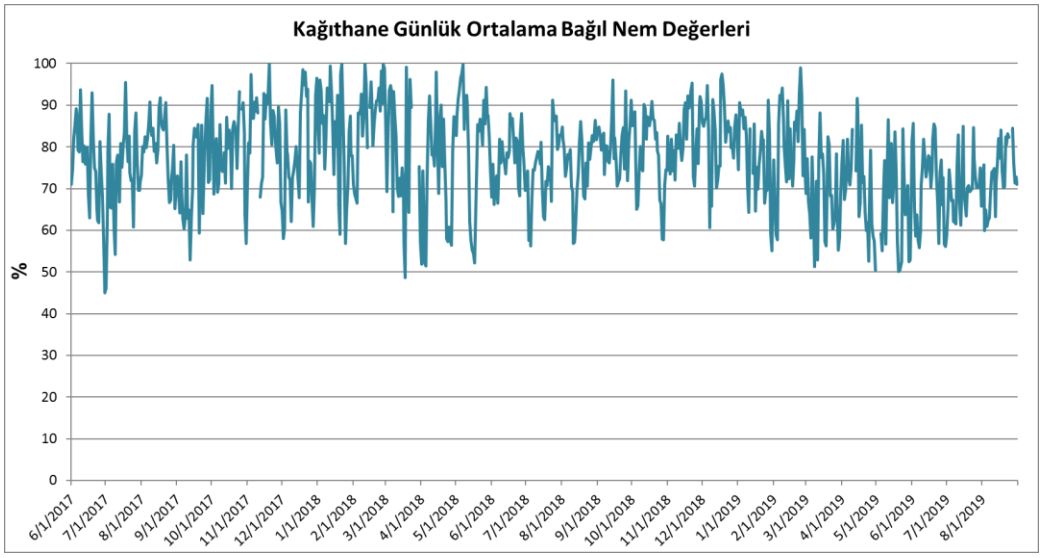
Günlük ortalama rüzgar değerlerinini değişimi Şekil 4.4 'te verilmiştir. Günlük ortalama rüzgar değerleri en düşük 0.03 ms^{-1} ve en yüksek 6.6 ms^{-1} değerleri arasında

değişmektedir. Yapılan gözlemlere göre rüzgar şiddeti en yüksek değerine şubat ayında ulaşmıştır.

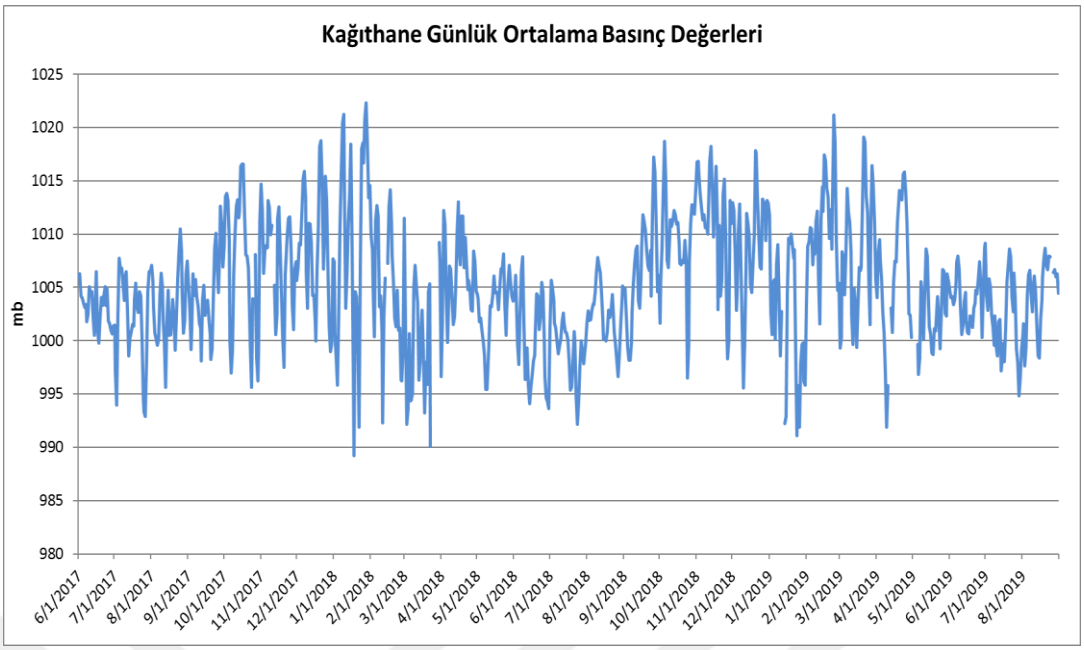
Kağıthane Hava Kalitesi Ölçüm İstasyonu'nda 01.06.2017 - 31.08.2019 tarihleri arasında yapılan rüzgar ölçümlerine göre, Şekil 4.5'te görüldüğü gibi bu stasyondaki ana hakim rüzgar yönü kuzeydoğuludur, ikinci ana yön ise güneybatılıdır.



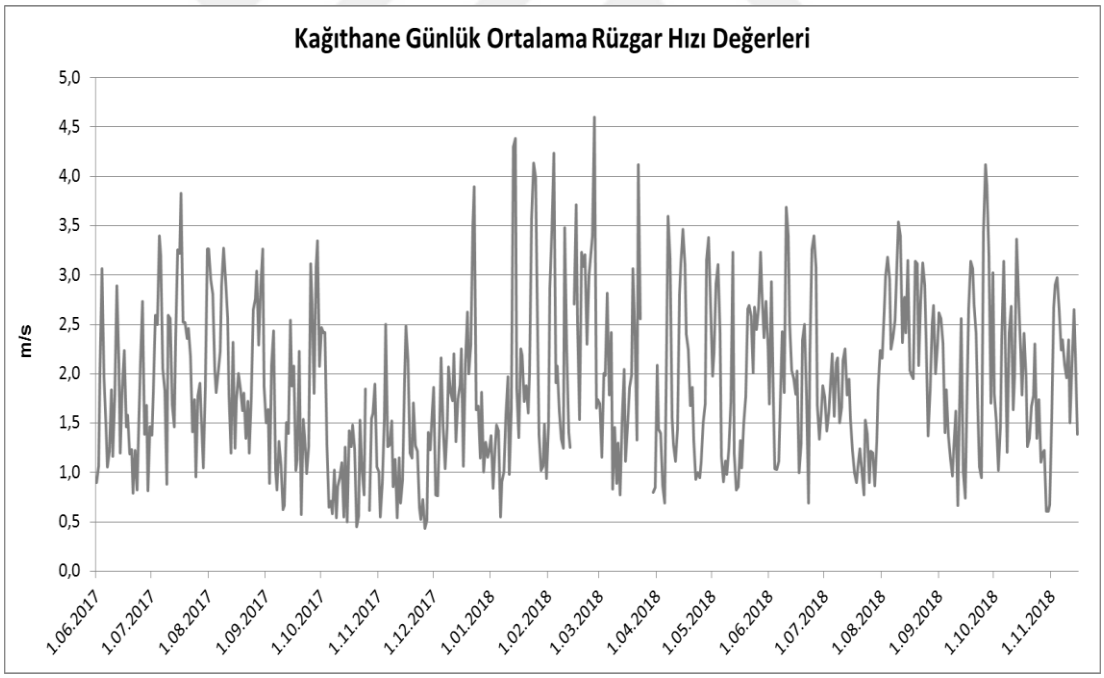
Şekil 4.1: Kağıthane hava kalitesi istasyonu 01.06.2017 - 31.08.2019 tarihleri arası günlük ortalama hava sıcaklığı (°C) değerleri



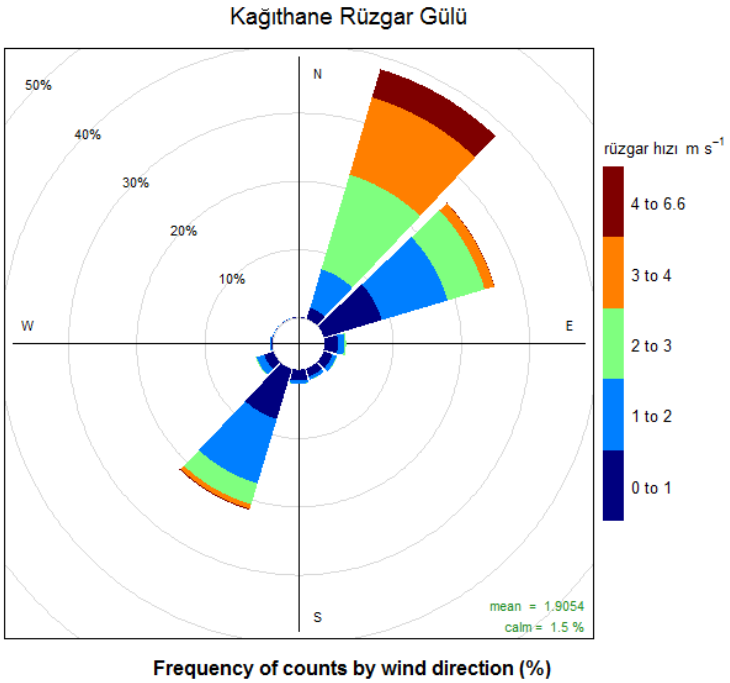
Şekil 4.2: Kağıthane hava kalitesi istasyonu 01.06.2017 - 31.08.2019 tarihleri arası günlük ortalama bağıl nem (%) değerleri



Şekil 4.3: Kağıthane hava kalitesi istasyonu 01.06.2017 - 31.08.2019 tarihleri arası günlük ortalama basınç (mb) değerleri



Şekil 4.4: Kağıthane hava kalitesi istasyonu 01.06.2017 - 31.08.2019 tarihleri arası günlük ortalama rüzgar hızı (m/s) değerleri



Şekil 4.5: Kağıthane hava kalitesi istasyonu 01.06.2017 - 31.08.2019 tarihleri arası rüzgar gülü

4.1.2 Hava Kirliliği Ölçüm Verileri Analizi

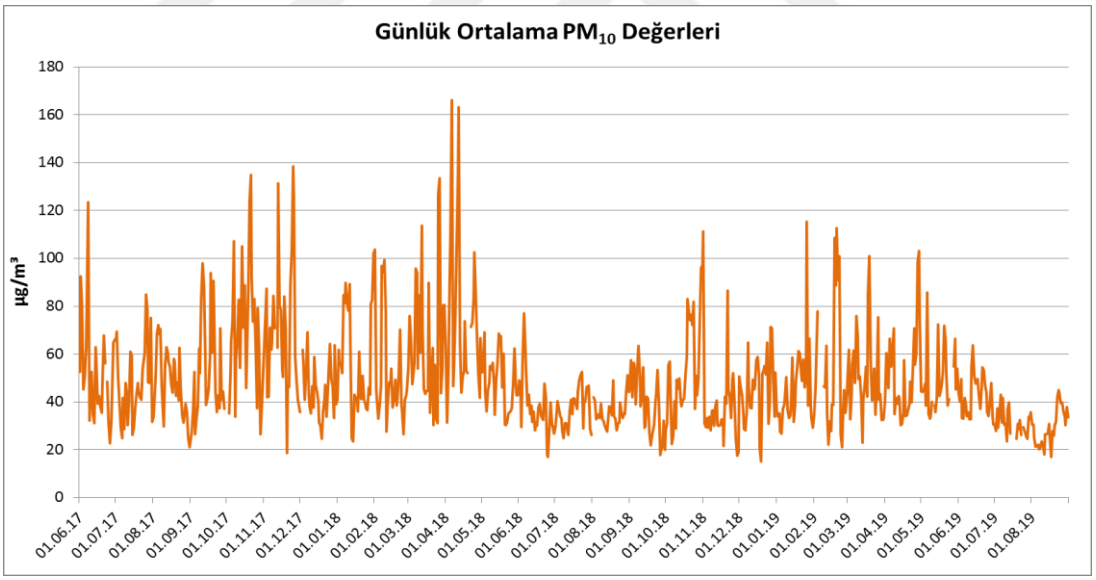
Kağıthane Hava Kalitesi Ölçüm istasyonunda 01.06.2017 - 31.08.2019 tarihleri arasında yaklaşık 27 aylık ölçüm sürecinde elde edilen istatistiki bilgiler Çizelge 4.1'de verilmiştir. Kirleticilerin her biri için yapılan gözlemler bu bölümde sunulmuştur.

Çizelge 4.1: Hava kirleticisi ölçüm değerleri istatistik değerleri

	PM_{10} ($\mu g/m^3$)	$PM2_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	SO_2 ($\mu g/m^3$)	SO_2 ($\mu g/m^3$)	O_3 ($\mu g/m^3$)
Minimum	14,9	5,7	0,6	3,4	5,6
İlk çeyreklik	34,5	15,5	2,3	19,8	33,5
Medyan	43	21,4	4	29,1	51,3
Ortalama	48,8	25,6	5,6	33,2	50,2
Üçüncü çeyreklik	56,5	31,3	7,6	43,1	66,1
Maksimum	166,2	98,5	28,9	107,1	109,4

4.1.2.1 PM_{10} Analizi

Bu çalışmada Kağıthane Hava Kalitesi Ölçüm İstasyonunda PM_{10} ölçümleri yapılmadığından dolayı Kağıthane İstasyonuna yakın bir mesafede bulunan Şirinevler Hava Kalitesi Ölçüm İstasyonuna ait PM_{10} verileri kullanılmıştır. Şirinevler İstasyonu'nda PM_{10} günlük salınımı 31.2 – 58.5 µg/m^3 değerleri arasında değişim göstermektedir (Çizelge 4.1). PM_{10} konsantrasyonu genel olarak değerlendirildiğinde Şekil 4.6'ta görüldüğü gibi kış ve ilkbahar aylarında daha yüksek değerlere ulaştığı gözlemlenmiştir. Ölçüm süresi boyunca elde edilen ölçümlerden ortaya çıkan PM_{10} değeri 48,8 µg/m^3'tür (Çizelge 4.1). Türkiye için hava kalitesi standartlarına göre PM_{10} miktarının miktarının 40 µg/m^3 olduğu göz önüne alınırsa Şirinevler İstasyonu'nda ölçülen 48.8 µg/m^3 değeri ile sınır değerin üzerine çıkıldığı görülmektedir. Şirinevler İstasyonunde günlük ortalama PM_{10} sınır değeri ise 50 µg/m^3'tür ve bu istasyonda 2019 yılı boyunca 57 kez günlük sınır değer aşımı olmuştur (Şekil 4.6). Bu ölçüm istasyonun trafik istasyonu olması nedeniyle PM_{10} kirliliğine katkı sağladığı söylenebilir.

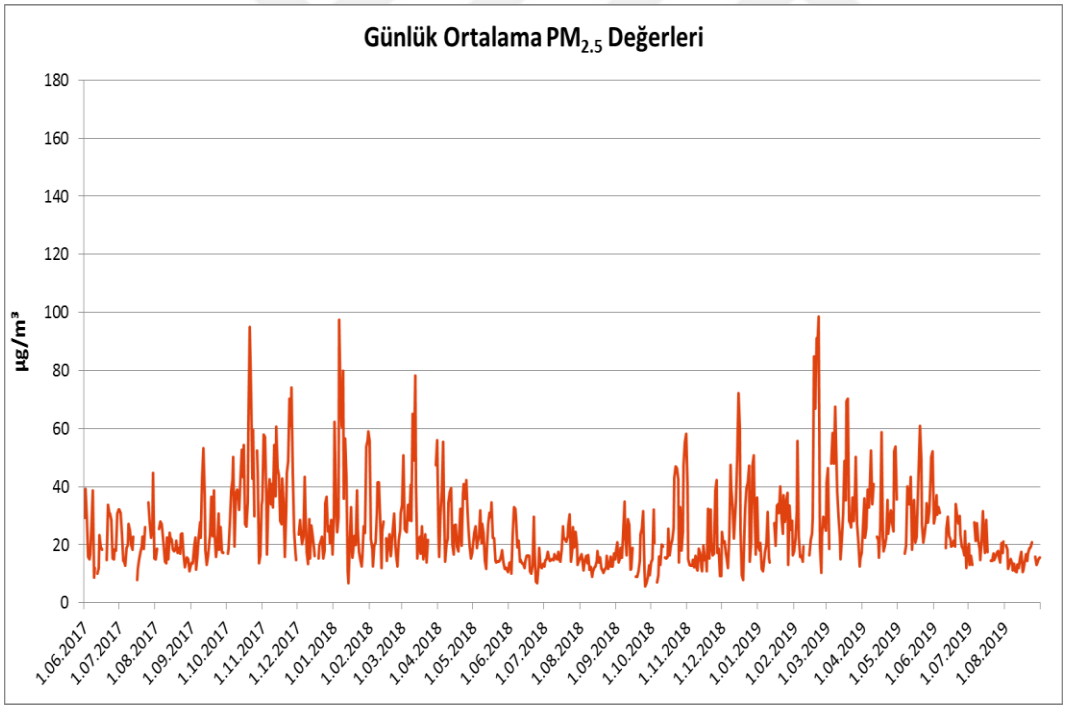


Şekil 4.6: Şirinevler hava kalitesi istasyonu 01.06.2017 - 31.08.2019 tarihleri arası günlük ortalama PM_{10} (µg/m³) konsantrasyonları

4.1.2.2 $PM_{2.5}$ Analizi

Kağıthane hava kalitesi istasyonundan elde edilen $PM_{2.5}$ değerlerinin günlük salınımı (Çizelge 4.1) 14.2 – 30.4 µg/m^3 arasında değiştiği görülmektedir. Ölçüm süresi boyunca ortaya çıkan ortalama $PM_{2.5}$ değeri 25,6 µg/m^3 olarak hesaplanmıştır(Çizelge 4.1)

Avrupa Birliği standartlarına göre yıllık ortalama belirlenen $PM_{2.5}$ miktarının 25 µg/m^3 ile ölçülen $PM_{2.5}$ değerleri karşılaştırıldığında sınır değerininin aşıldığı görülmektedir. Ölçüm istasyonun çevresinde fabrikaların ve trafiğin yoğun bulunduğu anayollar bulunmasından kaynaklı olarak ve buna ek olarak ölçüm istasyonun bulunduğu topografik özelliğin vadi olmasından dolayı $PM_{2.5}$ kirliliğinin yüksek olduğu gözlemlenmektedir (Şekil 4.7). Yapılan gözlemler neticesinde $PM_{2.5}$ konsatrasyonu genel olarak değerlendirildiğinde Şekil 4.7'de görüldüğü gibi kış ve ilk bahar aylarında daha yüksek değerlere sahiptir.

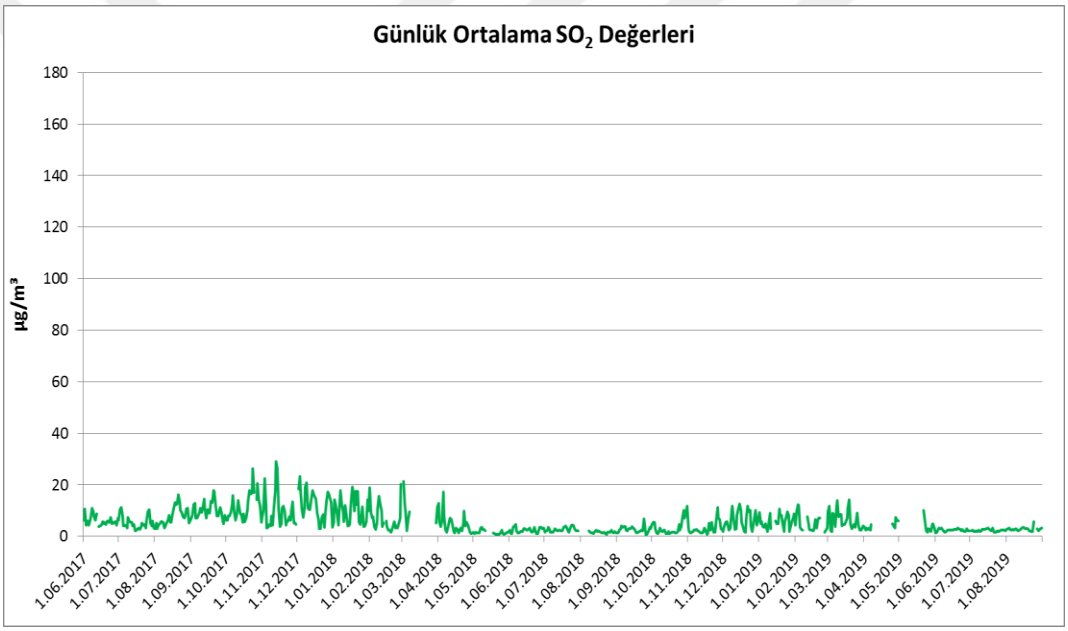


Şekil 4.7: Kağıthane hava kalitesi istasyonu 01.06.2017 - 31.08.2019 tarihleri arası günlük ortalama $PM_{2.5}$ (µg/m³) konsantrasyonları

4.1.2.3 SO_2 Analizi

Yapılan kirlilik ölçümleri neticesinde SO_2 konsantrasyonlarının günlük salınımı (Çizelge 4.1) ölçüm periyodu boyunca Şekil 4.8'de görüldüğü üzere 2.1 – 7.4 µg/m^3 değerleri arasında değişim göstermiştir. Kağıthane'de ölçüm süresi boyunca ortaya çıkan ortalama SO_2 değeri 5,6 µg/m^3'tür (Çizelge 4.1)

Avrupa Birliği standartlarına göre günlük ortalama SO_2 için sınır değeri 125 µg/m^3, yıllık ortalama SO_2 sınır değeri ise 20 µg/m^3'tür. Buna göre, bu sınır değerler ile ölçüm periyodu içerisinde SO_2 değerleri karşılaştırıldığında sınır değerin oldukça aşağısında kalmıştır.

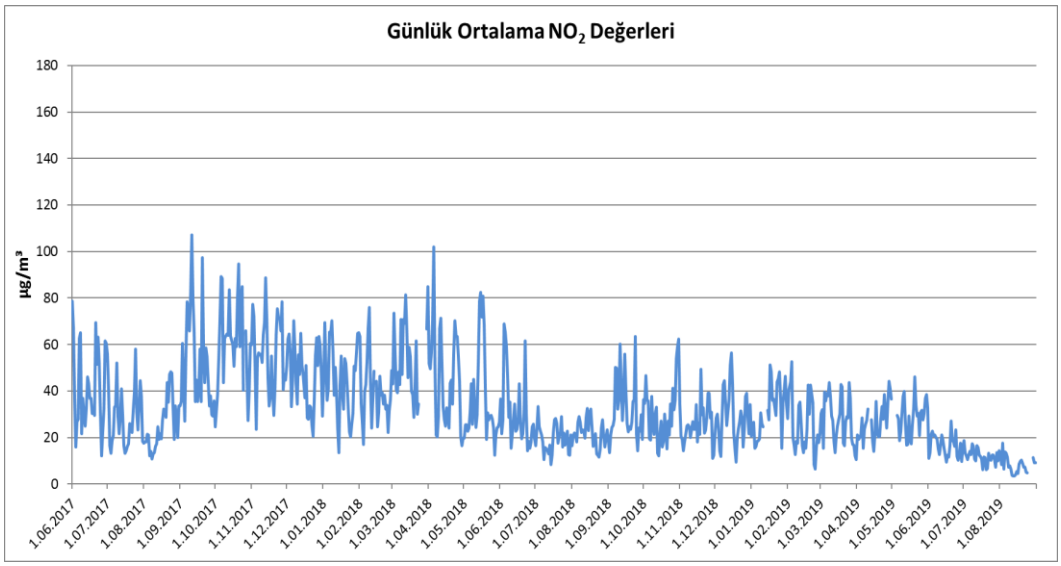


Şekil 4.8: Kağıthane hava kalitesi istasyonu 01.06.2017 - 31.08.2018 tarihleri arası günlük ortalama SO_2 (µg/m³) konsantrasyonları

4.1.2.4 NO_2 Analizi

NO_2 konsantrasyonlarının ölçüm periyodu en düşük ve en yüksek değerleri (Çizelge 4.1) günlük salınımı 16.1 – 44.9 µg/m^3 araasındadır ve bu değerler arasındaki salınımı Şekil 4.9 üzerinde görülmektedir. Kağıthane'de ölçüm süresi boyunca ortaya çıkan ortalama NO_2 değeri 33,3 µg/m^3'tür. (Çizelge 4.1)

Avrupa Birliği standartlarına göre NO_2 değerleri saatlik olarak 200 µg/m^3 ve yıllık ortalama olarak ise 40 µg/m^3 olarak belirlenmiştir. Kağıthane İstasyonu'nda ölçülen NO_2 konsantrasyonlarıın sınır değerleri ölçüm periyodu boyunca hiç aşmadığı görülmektedir (Şekil 4.9)



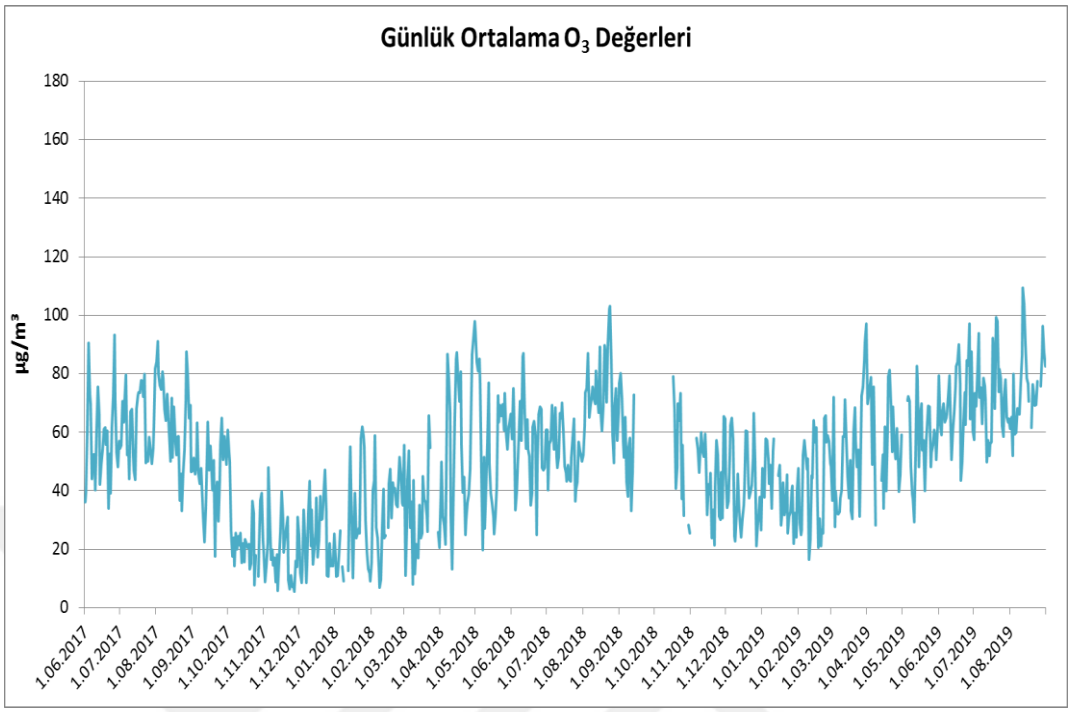
Şekil 4.9: Kağıthane hava kalitesi istasyonu 01.06.2017 - 31.08.2019 tarihleri arası günlük ortalama NO_2 (µg/m³) konsantrasyonları

4.1.2.5 O_3 Analizi

O_3 konsantrasyonlarının Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi en düşük ve en yüksek değerleri 23.9 – 73.7 µg/m^3'tür. Ölçüm periyodu boyunca günlük ortalama O_3 konsantrasyonlarının değeri Şekil 4.10'da görüldüğü gibidir Kağıthane'de ölçüm süresi boyunca ortaya çıkan ortalama O_3 değeri 50,2 µg/m^3'tür (Çizelge 4.1)

Avrupa Birliği standartlarına belirlenmiş kritik O_3 kirletisicisi değeri 8 saatlik kayan ortalama ile belirlenmiştir ve O_3 değerleri 125 µg/m^3'ü geçmemelidir. Ölçüm

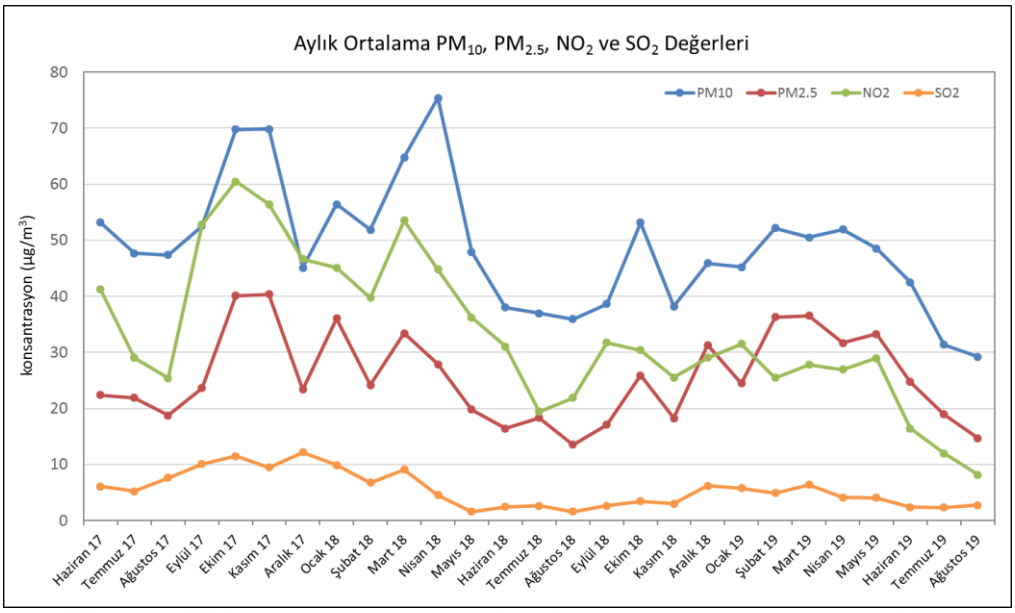
periyodu içinde O_3 değerlerinin sınır değeri hiç aşmadığı Şekil 4.10 üzerinde görülmektedir.



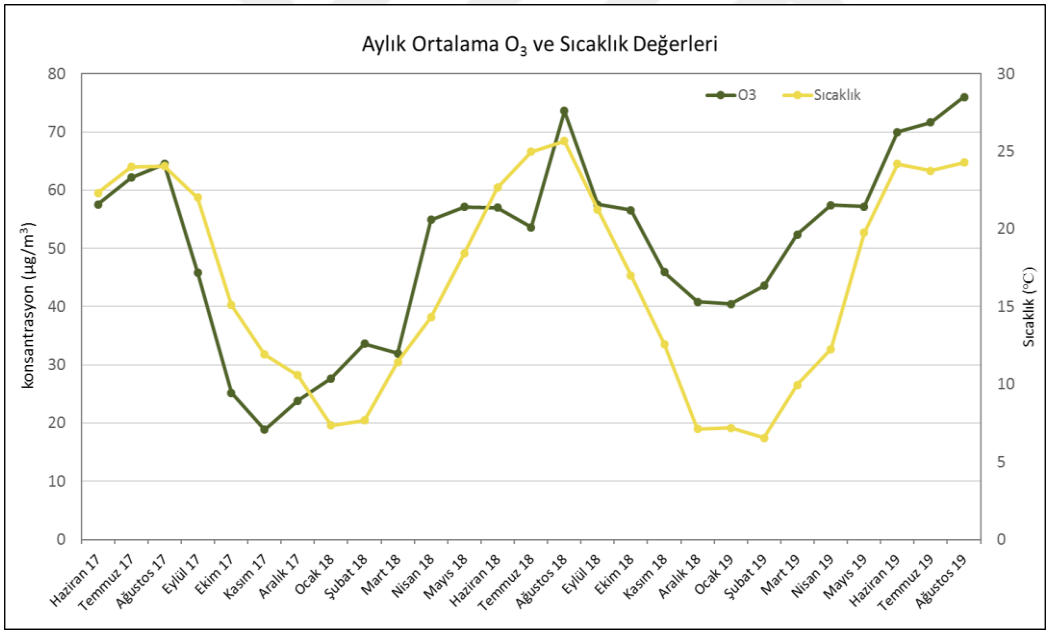
Şekil 4.10: Kağıthane hava kalitesi istasyonu 01.06.2017 - 31.08.2019 tarihleri arası günlük ortalama O_3 (µg/m³) konsantrasyonları

4.1.2.6 Kirletici Verilerin Aylık Analizi

Kağıthane Hava Kalitesi Ölçüm İstasyonu'nda 01.06.2017 - 31.08.2019 tarihleri arasında 27 aylık süre için ölçülen kirleticilerin değişimleri değerlendirmelerine göre 2017 yılından bu yana PM_{10} ve NO_2 değerlerinde belirgin bir düşüş olduğu görülmektedir. $PM_{2.5}$ değerlerinde önemli bir değişiklik olmadığı gözlemlenirken (Şekil 4.11), O_3 değerlerinde bir artış eğilimi olduğu gözlenmektedir (Şekil 4.12). SO_2 değerleri ise düşük seviyelerde seyretmektedir.



Şekil 4.11: Haziran 2017 – Ağustos 2019 tarihleri arası aylık ortalama PM_{10}, $PM_{2.5}$, NO_2 ve SO_2 değerleri

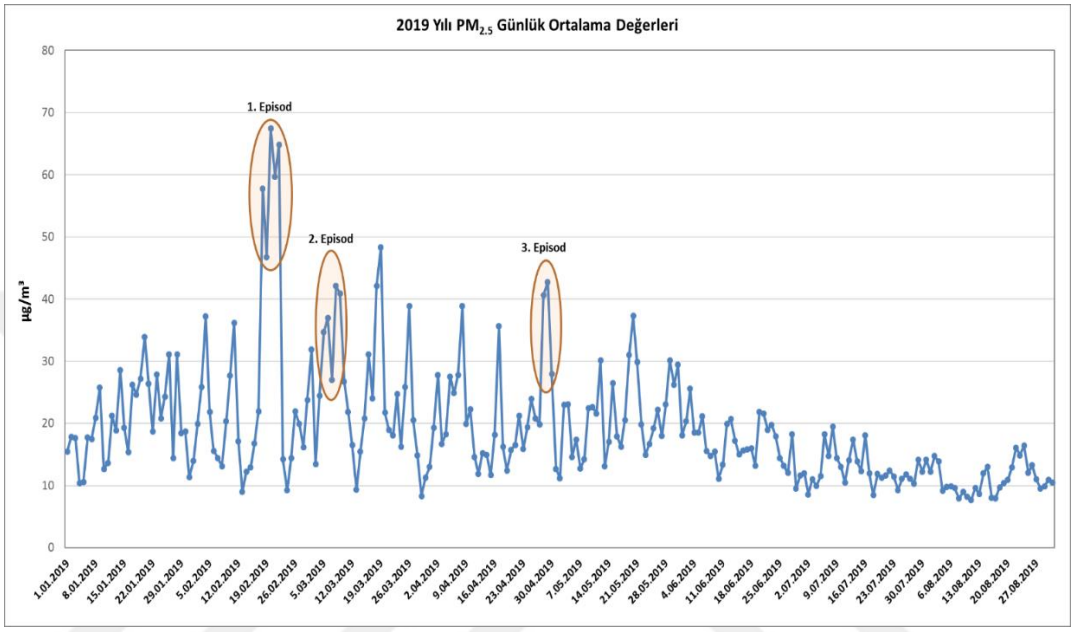


Şekil 4.12: Haziran 2017 – Ağustos 2019 tarihleri arası aylık ortalama O_3 ve sıcaklık değerleri

4.1.3 $PM_{2.5}$ İçin Episodik Günler

Kağıthane ölçüm istasyonundan elde edilen edilen $PM_{2.5}$ kirleticisinin 2019 yılı içersinde kirlilik değerinin 3 farklı episod periyodu için kritik düzeyi aştığı gözlemlenmiştir. 2019 yılı içersinde Şekil 4.13'de gösterildiği üzere kirlilik

seviyesinin en yüksek seviyeye ulaştığı belirlenen 3 farklı tarih aralıkları için analizler yapılmıştır. Bu doğrultuda ilk episod periyodu 18.02.2019 – 22.02.2019 tarihleri arası, ikinci episod periyodu 04.03.2019 – 09.03.2019 tarihleri arası ve üçüncü episod periyotları da 28.04.2019 – 30.04.2019 tarihleri arası olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.13: 2019 yılına ait İstanbul $PM_{2.5}$ günlük ortalama değişim grafiği ve episod günleri

4.1.3.1 Episod 1 (18.02.2019 – 22.02.2019)

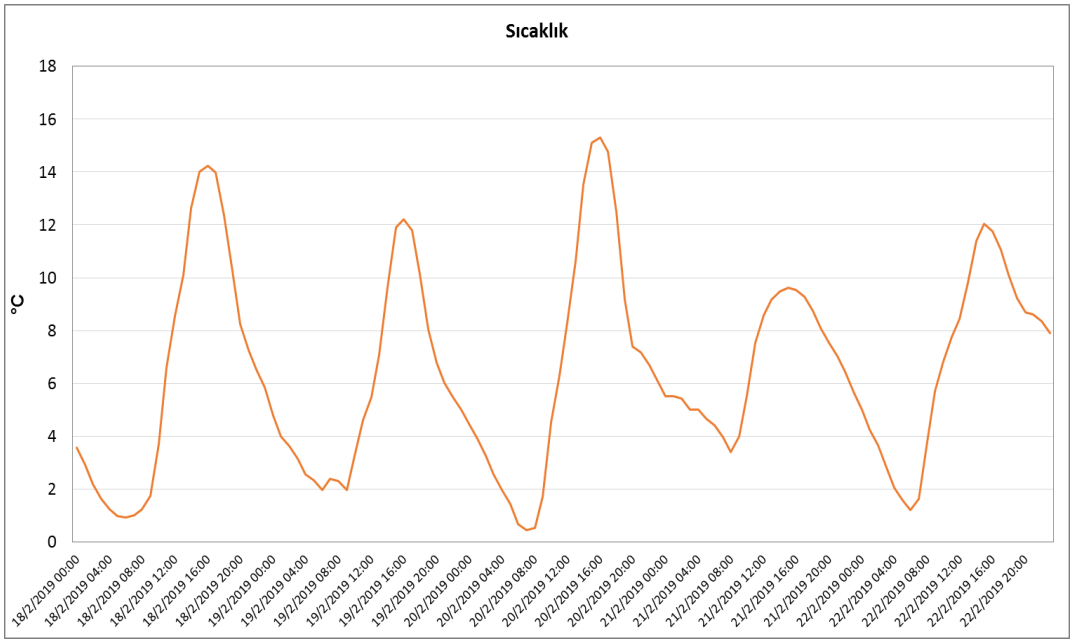
Kağıthane kirlilik ölçüm istasyonundan elde edilmiş Çizelge 4.2'de kirleticilerin günlük ortalama değerleri ve epsiod tarihleri arasındaki günlük ortalama değerleri verilmiştir. Bu tabloya göre günlük ortalama 48,8 µg/m^3 değerine sahip olan PM_{10} değerinin 18.02.2019 – 22.02.2019 tarihleri arasında günlük bazda maksimum PM_{10} 112.7 µg/m^3 değerlerine ulaştığı gözlemlenmiş. Günlük ortalama değeri 25.6 µg/m^3 olan $PM_{2.5}$ kirleticisinin belirtilen episod tarihleri arasında günlük ortalaması 98,5 µg/m^3 değerine yükselmiştir. SO_2 kirleticisinin ise günlük ortalama değeri günlük ortalama 5.6 µg/m^3'ten 7,1 µg/m^3 değerine yükselmiştir. NO_2 kirleticisi ise günlük ortalama değeri 33.2 µg/m^3 iken bu episod süresiboyunca ortalaması 42,5 µg/m^3 olarak genel ortalamanın üzerine çıktığı görülmüştür. O_3 kirleticisinin günlük ortalama değeri 50,2 µg/m^3 iken 18.02.2019 – 22.02.2019 tarihleri arasında 30,4 µg/m^3 değerine

düşmüştür. Diğer kirleticiler ortalama değerlerinin 2-3 katına çıkarken O_3 kirleticisi ortalama değerin altında kalmıştır.

Çizelge 4.2: 18.02.2019 – 22.02.2019 tarih aralığında günlük ortalama kirletici değerleri.

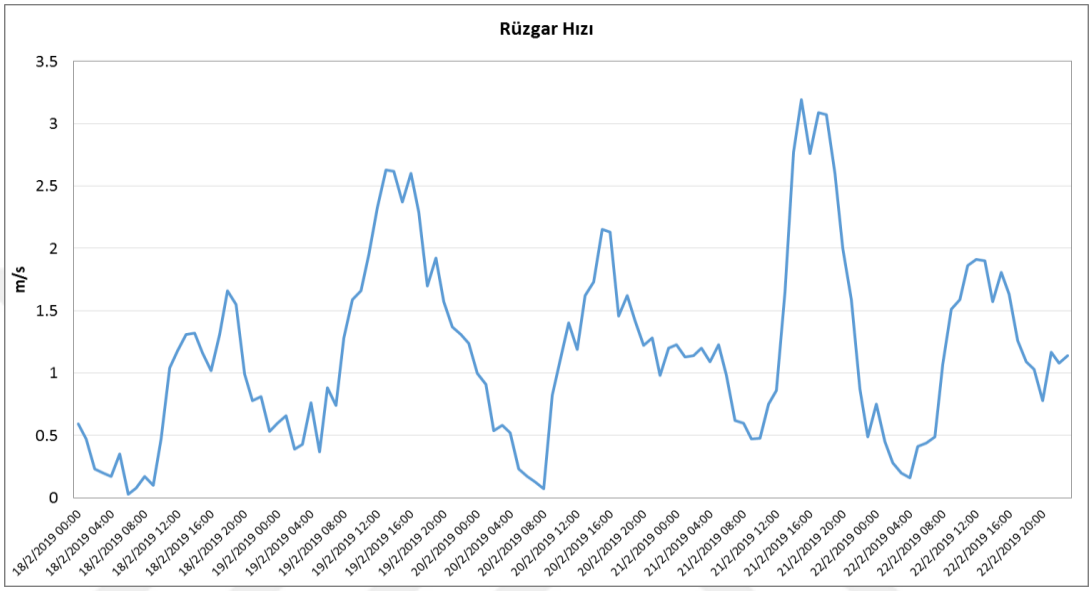
	Genel Gözlem Periyodu	Episod 1 (18. 02.2019 – 22.02.2019)
PM10 (µg/m3)	48,8	112,7
$PM_{2.5}$ (µg/m3)	25,6	98,5
SO_2 (µg/m3)	5,6	7,1
NO_2 (µg/m3)	33,3	42,5
O_3 (µg/m3)	50,2	30,4

Meteorolojik değerlendirmede ise; seçilen episod periyodu olarak 18.02.2019 – 22.02.2019 tarihleri arasında Kağıthane ölçüm istasyonundan alınan bu 5 gün için aktüel sıcaklık değerleri Şekil 4.14'de verilmiştir. 21 Şubat tarihinden itibaren gündüz sıcaklıklarında düşüş meydana gelmiştir ve bununla birlikte, periyot boyunca sıcaklık değerlerinde ciddi bir değişim gözlenmemiştir.

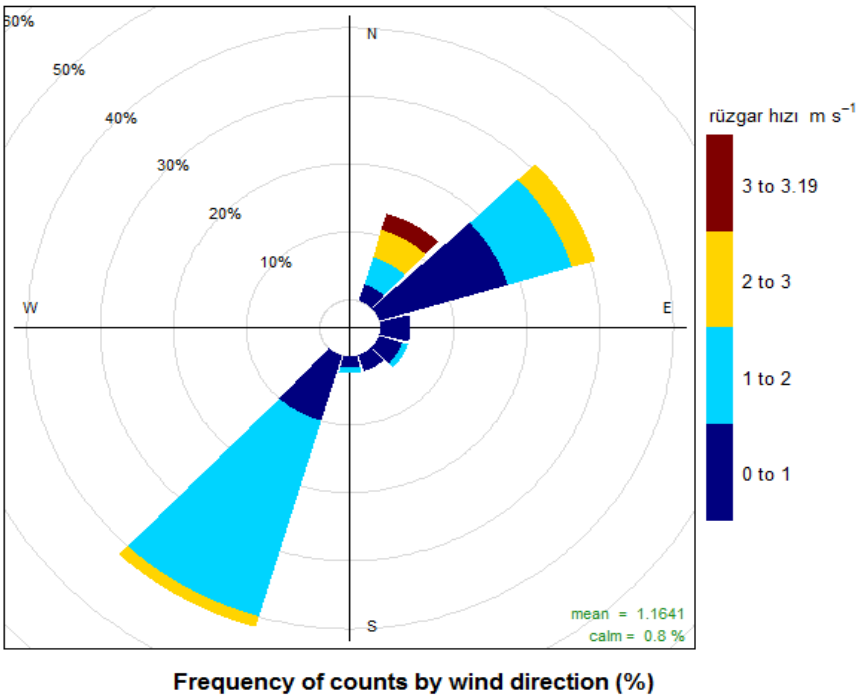


Şekil 4.14: 1. Episod boyunca gözlenen aktüel sıcaklık değerleri

Kağıthane ölçüm istasyonundan temin edilen yer seviyesindeki ortalama rüzgar şiddeti değişimi Şekil 4.15'te verilmiştir. Kirliliğin gözlendiği 18.02.2019 – 22.02.2019 tarihleri arasında bu süre boyunca rüzgar hızı değerleri yaklaşık olarak 0 - 3.19 m/s aralığında düşük değerlerde seyretmektedir. Şekil 4.16'da ise rüzgar yön bilgisi gösterilmektedir. Bu beş günlük periyot boyunca rüzgarın ana hakim yönü güneybatılı ve ikinci hakim yön ise kuzeydoğuludur.

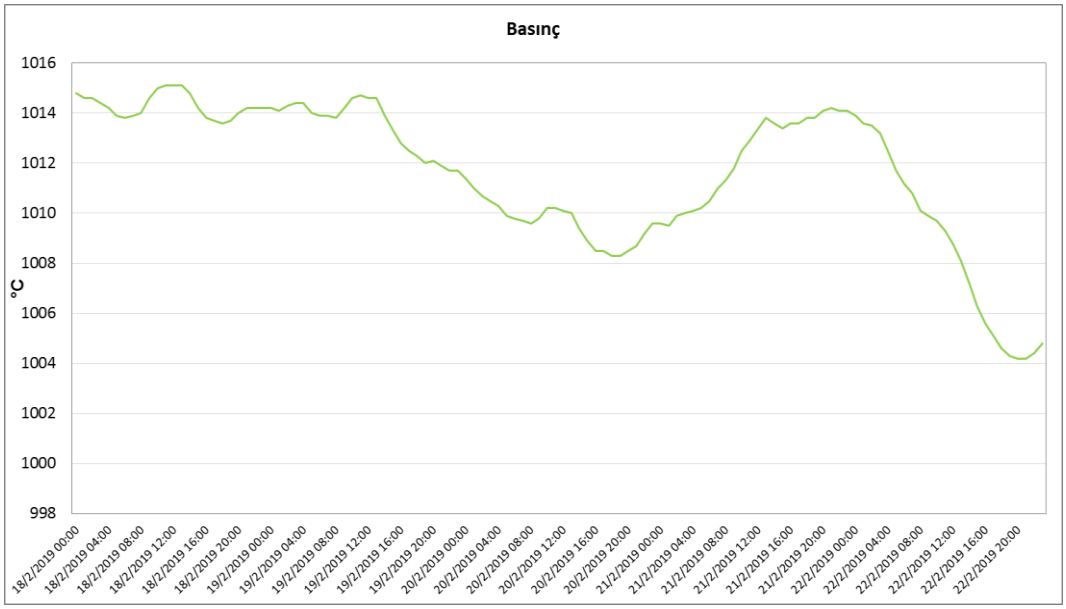


Şekil 4.15: 1. Episod boyunca yer seviyesinde gözlenen rüzgar şiddeti değerleri



Şekil 4.16: 1. Episod boyunca yer seviyesinde gözlenen rüzgar yönü dağılımları

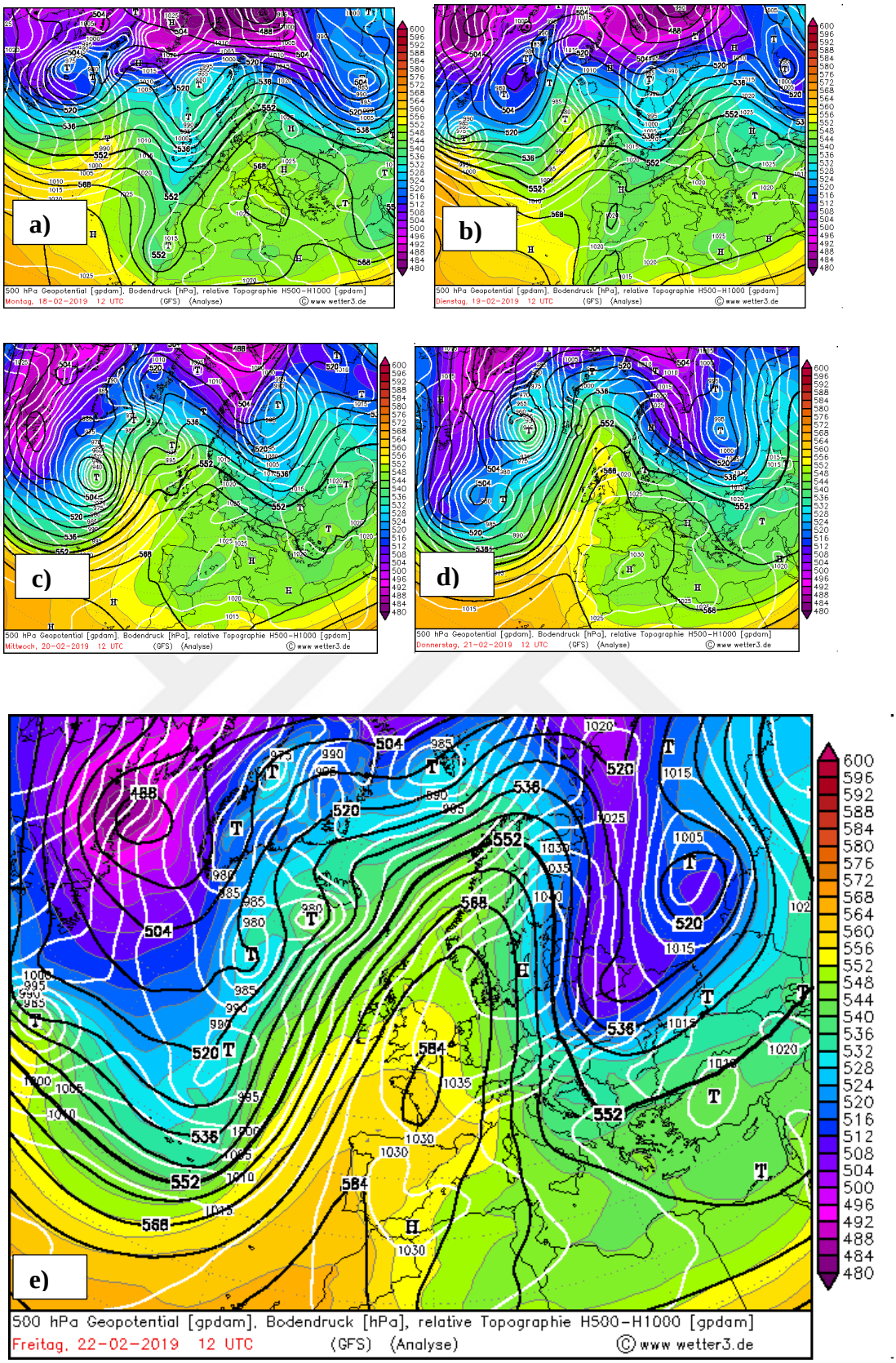
Genellikle hava kirliliğinin artış gösterdiği kararlı atmosfer koşullarında yüksek basınç sistemi etkisi görülmektedir. Kağıthane ölçüm istasyonundan elde edilen basınç verisinin saatlik değişimi Şekil 4.17 üzerinde görülmektedir. Bu değerlere göre episod periyodu boyunca bölgenin yüksek basınç sisteminin etkisinde olduğu anlaşılmaktadır. Episod periyodu süresince yüksek basınç yükselici hareketlere ve düşey karışıma engel olarak $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının yükselmesine neden olmuştur. 22.02.2019 tarihinden itibaren basınç azalmaya başlamış olduğunu ve ardından yağışlı ve rüzgarlı bir bir sistemin geldiğini görebiliriz.



Şekil 4.17: 1. Episod boyunca gözlenen basınç değerleri

18.02.2019 – 22.02.2019 tarihleri arasında yüksek seviye haritaları incelenerek atmosferin kararlılık durumu hakkında değerlendirme yapılmıştır. Belirlenen episod süreleri boyunca her bir güne ait 1200 UTC için 500 hPa jeopantiyel yükseklik ve basınç haritaları Şekil 4.18'de görülmektedir. Bu haritalara göre 18.02.2019 tarihinde Balkanlar üzerinde etkili olan bir yüksek basınç İstanbul'u da etkisi altına almıştır.

18 Şubat tarihinden sonra sonra ilerleyen günlerde sırt etkisini arttırarak aşağı enlemlere doğru gelişimini sürdürmüştür. Sibirya üzerinden gelen oluk yaklaşması nedeniyle Balkanlar üzerinde bulunan derin bir sırt sistemi bu periyot süresince İstanbul üzerinden hareketine zayıflayarak devam etmiştir.



Şekil 4.18: 18.02.2019 – 22.02.2019 tarihlerindeki 500 hPa jeopotansiyel yükseklik ve basınç haritaları a) 18.02.2019 12UTC b) 19.02.2019 12 UTC c) 20.02.2019 12 UTC d) 21.02.2019 12 UTC e) 22.02.2019 12 UTC

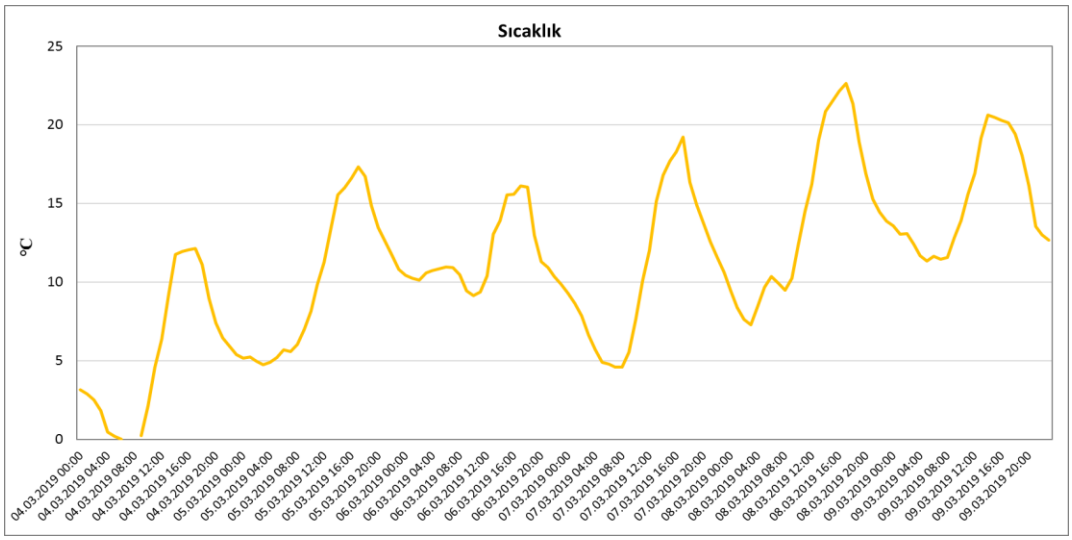
4.1.3.2 Episod 2 (04.03.2019 – 09.03.2019)

04.03.2019 – 09.03.2019 tarihleri arasında belirlenen ikinci episod periyodu için Kağıthane kirlilik ölçüm istasyonundan elde edilen günlük ortalama kirletici-değerleri Çizelge 4.3'te görülmektedir. Bu tabloya göre günlük bazda PM_{10} değerinin 75,8 $\mu g/m^3$, $PM_{2.5}$ kirleticisinin 67,5 $\mu g/m^3$, SO_2 kirleticisinin 13,9 $\mu g/m^3$, NO_2 kirleticisinin 43,6 $\mu g/m^3$ değerlerine ulaşarak genel günlük ortalama değerinin üzerine çıktığı görülmektedir. O_3 kirleticisi ise 39,8 $\mu g/m^3$ değerine ulaşarak ortalamanın altında bir değer izlemiştir.

Çizelge 4.3: 04.03.2019 – 09.03.2019 tarih aralığında günlük ortalama kirletici değerleri.

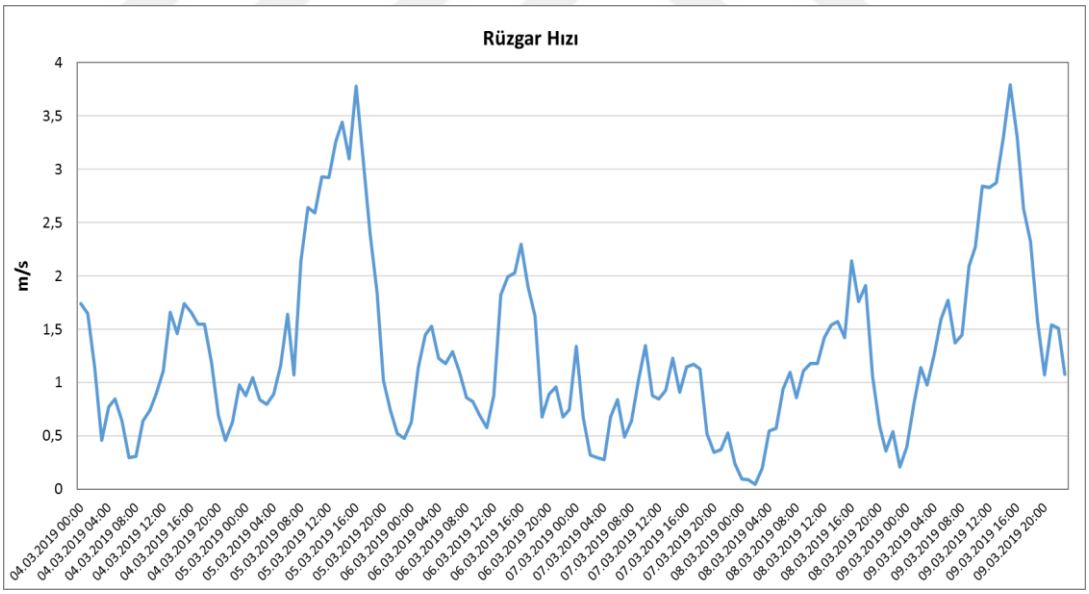
	Genel Gözlem Periyodu	Episod 2 (04.03.2019 – 09.03.2019)
PM10 (µg/m3)	48,8	75,8
$PM_{2.5}$ (µg/m3)	25,6	67,5
SO_2 (µg/m3)	5,6	13,9
NO_2 (µg/m3)	33,3	43,6
O3 (µg/m3)	50,2	39,8

Altı günlük periyot için aktüel sıcaklık değerleri Şekil 4.19'a göre sıcaklık verileri genel olarak mevsim normalleri üzerinde seyrettiği görülmektedir. Episod periyodu boyunca şiddetli bir sıcaklık dalgalanmasının olmadığı gözlemlenmiştir. Bu durumda, ölçüm bölgesi üzerinden bir siklon ya da cephesel bir geçişin olmadığı anlaşılabilir

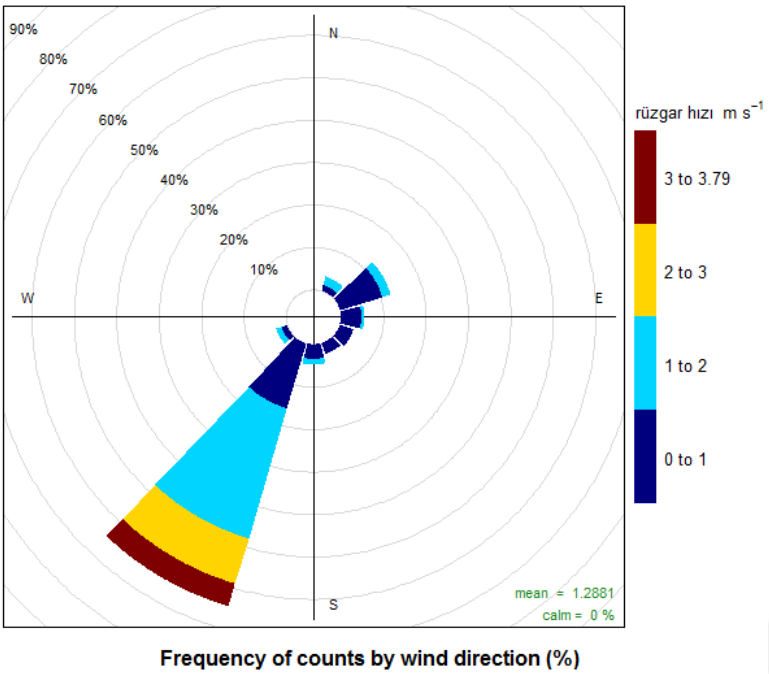


Şekil 4.19: 2. Episod periyodu süresince gözlemlenen aktüel sıcaklık değerleri

Kağıthane ölçüm istasyonundan elde edilen yer seviyesine ait rüzgar hızı değişimi Şekil 4.20 üzerinde görülmektedir. Kirlilik seviyesnini yüksek olduğu bu episod periyodu boyunca rüzgar hızı değerleri zaman zaman yükselse de yaklaşık olarak 0,5 - 3 m/s aralığında düşük değerlerde seyretmektedir. Rüzgar yön verileri ise Şekil 4.21 üzerinde görülmektedir. Rüzgarın ana hakim yönü güneybatılıdır.

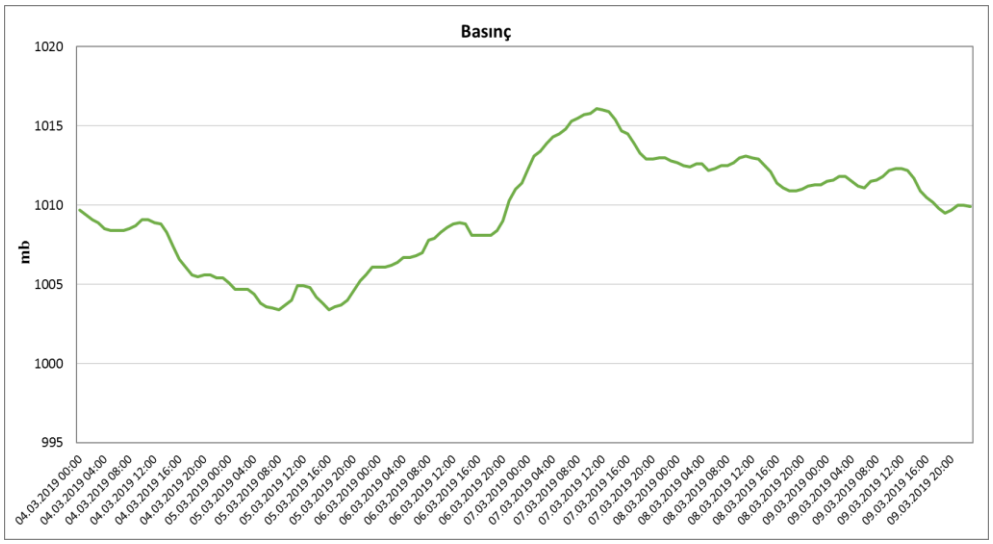


Şekil 4.20: 2. Episod boyunca yer seviyesinde gözlenen rüzgar şiddeti değerleri



Şekil 4.21: 2. Episod boyunca yer seviyesinde gözlenen rüzgar yönü dağılımları

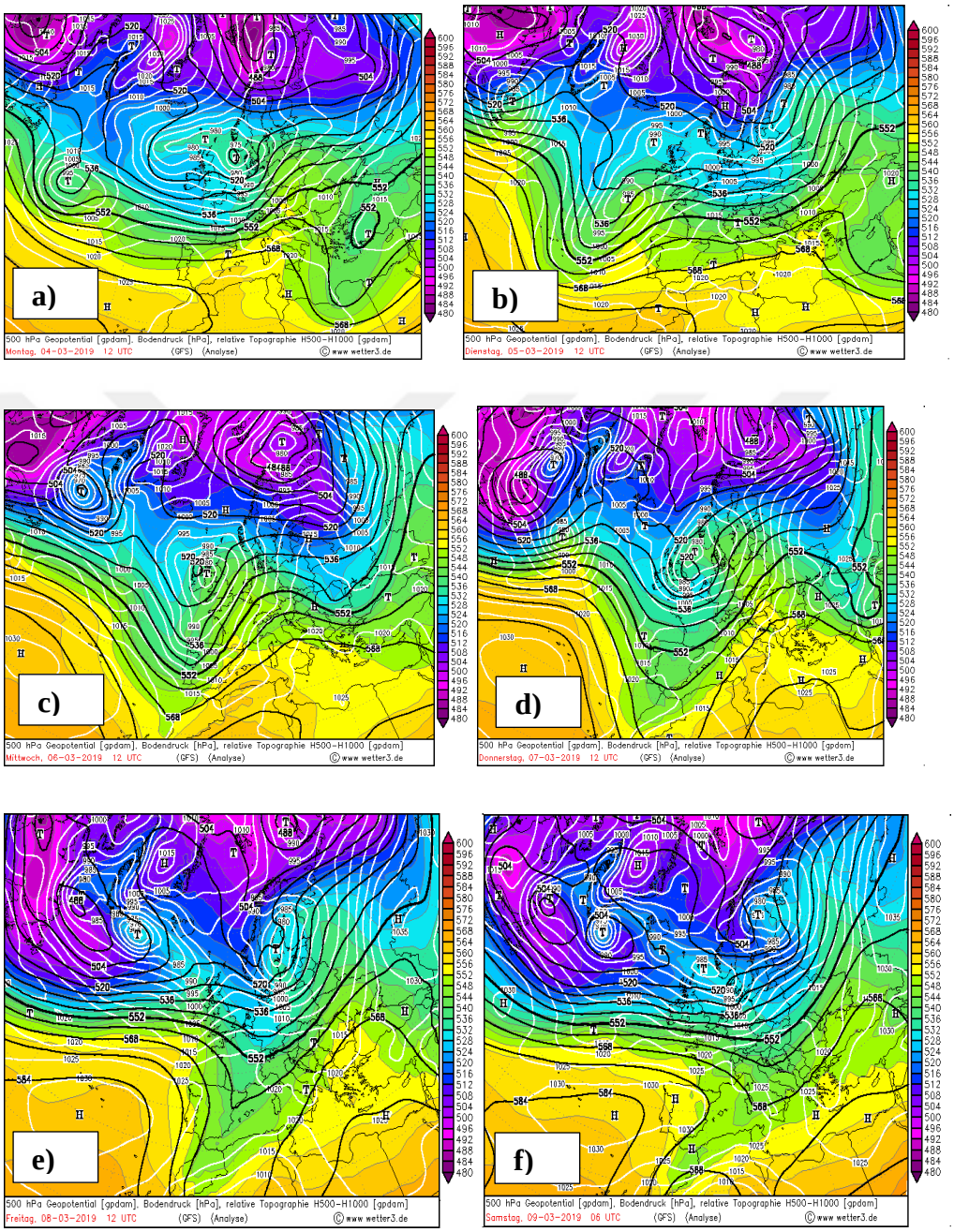
Episod süresince basıncın saatlik değişimi Şekil 4.22'de üzerinde görülmektedir. Periyodun ortalarından itibaren yüksek basınç etkisinde olduğu gözlenen bölge için özellikle 07.03.2019 tarihinde maksimum basınç değerlerine ulaşılmıştır. Yüksek basınç sisteminin sahip olduğu kararlı yapı, düşey hareketlerin olmayışı veya az olması nedeniyle kirleticilerin değerlerinde artış olmuştur.



Şekil 4.22: 2. Episod boyunca gözlenen basınç değerleri

04.03.2019 – 09.03.2019 tarih aralığında her güne ait saat 1200 UTC için 500 hPa jepotansiyel yükseklik ve basınç haritaları incelenmiştir. (Şekil 4.23) 04.03.2019 tarihinde libya üzerinde etkili olan sırt Türkiyeyi'de etkisi altına almıştır. İlerleyen

günlerde Sibirya üzerinden aşağı enlemlere inen oluk, Libya üzerinden gelen bu sırt sisteminin ilerleyişini durdurmuştur, bu sebeple episod süresince İstanbul bu sırt bölgesinde etkisi altında kalmıştır.



Şekil 4.23: 04.03.2019 – 09.03.2019 tarihlerindeki 500 hPa jeopotansiyel yükseklik ve basınç haritaları a) 04.03.2019 12UTC b) 05.03.2019 12 UTC c) 06.03.2019 12 UTC d) 07.03.2019 12 UTC e) 08.03.2019 12 UTC d) 09.03.2019 12 UTC

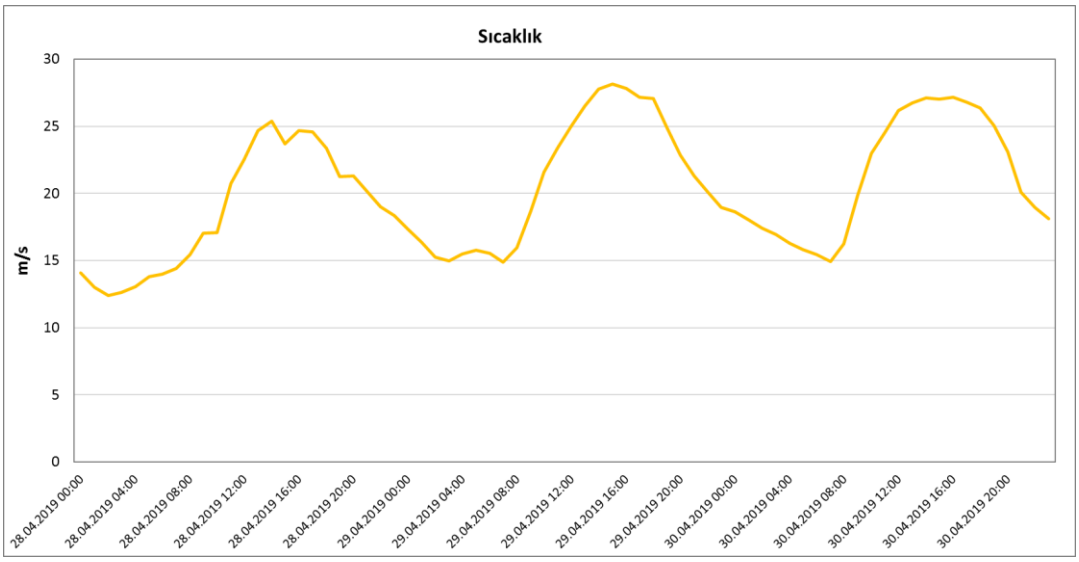
4.1.3.3 Episod 3 (28.04.2019 – 30.04.2019)

Kağıthane ölçüm istasyonundan alınan verilere göre belirlenen kirliliğin yüksek olduğu 3. Episod periyodu 28.04.2019 – 30.04.2019 tarihleri arasındadır. Çizelge 4.4'te genel günlük ortalama değerleri ve episod süresince gözlemlenen kirleticilerin günlük ortalama değerleri gösterilmiştir. Günlük bazda PM_{10} kirleticisinin değeri 103,1 µg/m^3, $PM_{2.5}$ kirleticisi 53,8 µg/m^3, SO_2 7,4 µg/m^3, NO_2 44,2 µg/m^3 ve O_3 59,1 µg/m^3 değerine ulaşmıştır. Daha önceki episod aralıklarında olduğu gibi yine bu episod periyodunda da özellikle partikül madde konsantrasyonlarının değerleri ortalamanın oldukça üzerine ulaşmıştır.

Çizelge 4.4: 28.04.2019 – 30.04.2019 tarih aralığında günlük ortalama kirletici değerleri.

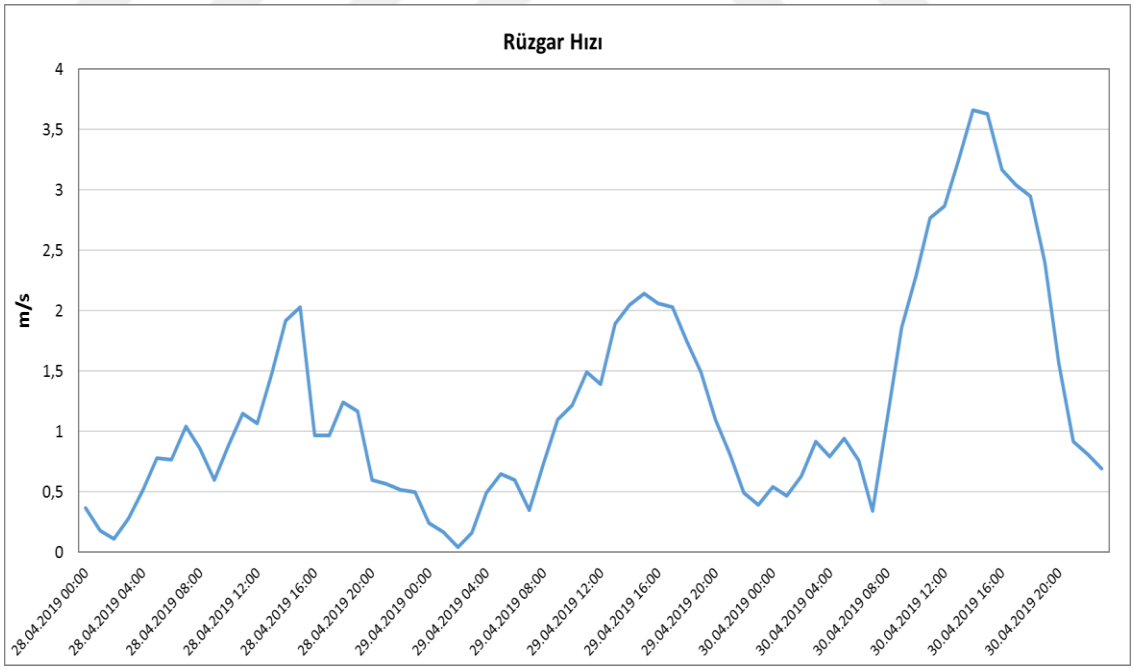
	Genel Gözlem Periyodu	Episod 3 (28.04.2019 – 30.04.2019)
PM10 (µg/m3)	48,8	103,1
$PM_{2.5}$ (µg/m3)	25,6	53,8
SO_2 (µg/m3)	5,6	7,4
NO_2 (µg/m3)	33,3	44,2
O3 (µg/m3)	50,2	59,1

Üç günlük periyot için Kağıthane ölçüm istasyonundan elde edilen aktüel sıcaklık değerleri Şekil 4.24'de verilmiştir. Sıcaklık değerlerinde artan bir trend olduğu gözlemlenmektedir. Gece ve gündüz arasındaki sıcakalık farkının yaklaşık olarak 12 derece ile ciddi bir farklılık yaşandığı görülmektedir.

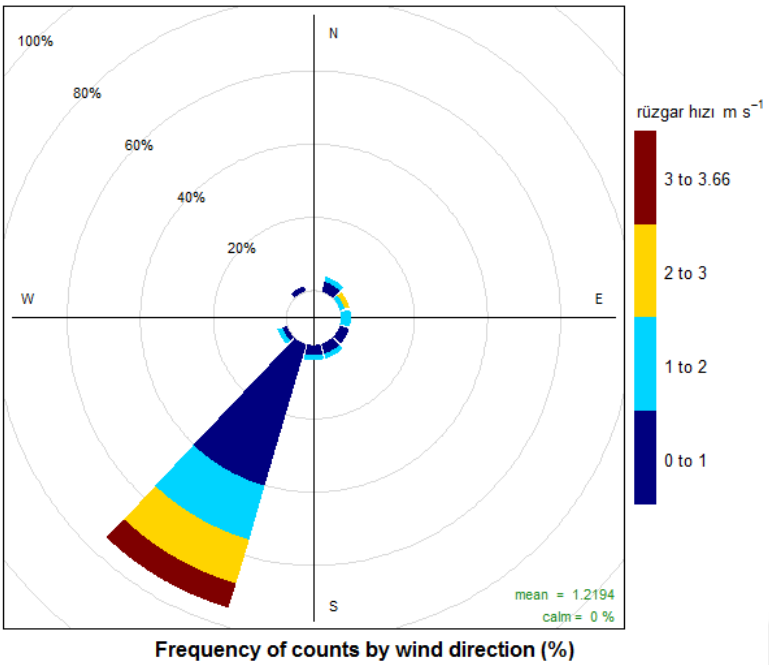


Şekil 4.24: 3. Episod boyunca gözlenen aktüel sıcaklık değerleri

Kağıthane ölçüm istasyonundan temin edilmiş yer seviyesine ait rüzgar şiddeti değişimi Şekil 4.25'de verilmiştir. Rüzgar hızı değerleri yaklaşık olarak 0 - 2 m/s aralığında düşük değerlerde seyretmektedir. Kirliliğin dağılmaya başladığı episod aralığının son gün ise rüzgar şiddetinin 3,7 m/s hızına çıktığı gözlenmiştir. Bu üç günlük süreç içersinde rüzgar hakim yönü güneybatılıdır (Şekil 4.26).

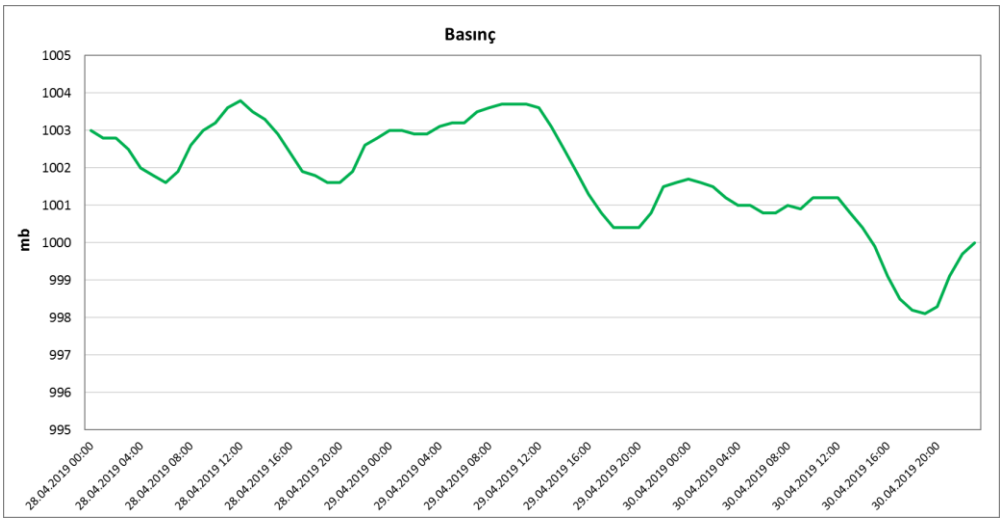


Şekil 4.25: 3. Episod boyunca yer seviyesinde gözlenen rüzgar şiddeti değerleri



Şekil 4.26: 3. Episod boyunca yer seviyesinde gözlenen rüzgar yönü dağılımları

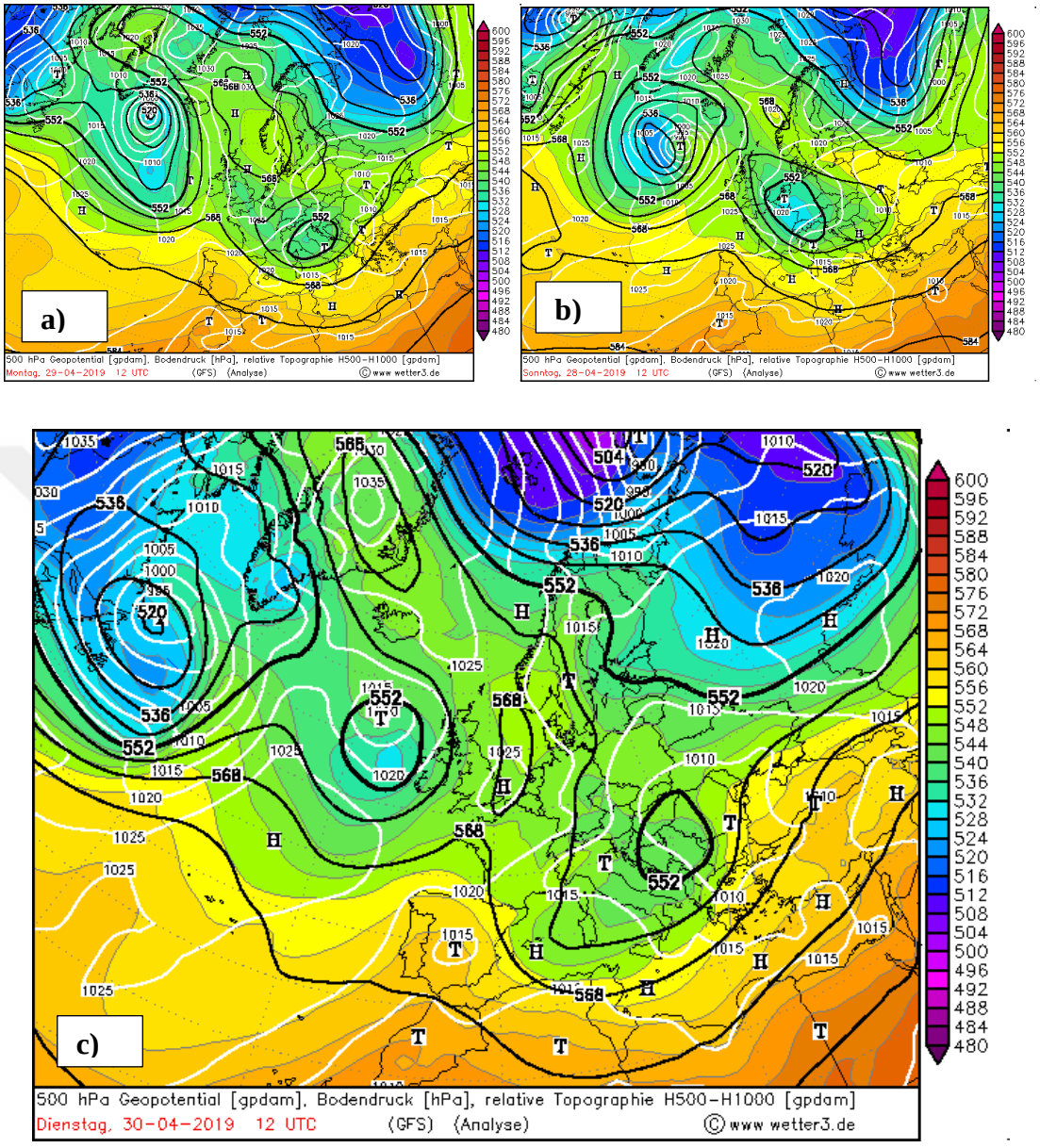
Episod süresi boyunca basınçta gözlemlenen saatlik değişim Şekil 4.27'de verilmiştir. Basınç değerleri episod süresi boyunca çok yüksek değerlere ulaşmamıştır. Kirletici değerlerinin azaldığı 30 Nisan tarihi itibariyle basınç değerlerinde düşüş olduğu görülmektedir. Yine bu üçüncü episod periyodunda kararlı yapıdan dolayı kirlilik artışının olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 4.27: 3. Episod boyunca gözlenen basınç değerleri

28. 04.2019 – 30.04.2019 tarihleri aralığında belirlenen üçüncü episod süresi için her güne ait saat 1200 UTC için 500 hPa jepotansiyel yükseklik ve basınç haritaları incelenmiştir. Şekil 4.28 üzerinde verilen bu haritalara göre 28.04.2019 tarihinde

Türkiye üzerinden bir sırt etkisi altındadır. İlerleyen günlerde bu sırtın zayıflayarak sönümlendiği gözlemlenmektedir.



Şekil 4.28: 28.04.2019 – 30.04.2019 tarihlerindeki 500 hPa jeopotansiyel yükseklik ve basınç haritaları a) 28.04.2019 12UTC b) 29.04.2019 12 UTC c) 30.04.2019 12 UTC

4.2 Sodar Cihazı Ölçüm Analizi

TÜBİTAK 116Y224 numaralı proje kapsamında Terkos gölü arazi sınırlarına konuşlandırılan SODAR cihazı ile 01.06.2017 - 31.08.2019 tarihleri arasında 5 farklı seviye için yapılan ölçüm neticesinde her bir seviye için elde edilen ortalama rüzgar hızları Çizelge 4.5'te görüldüğü gibi 30m için 4,97 ms^{-1}, 60m için 5,64 ms^{-1}, 90m için 6,31 ms^{-1}, 120m için 6,57 ms^{-1} ve 240m için 7,27 ms^{-1} olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.5: Sodar Cihazı ile ölçülen ortalama rüzgar ve en yüksek rüzgar değerleri.

	30 metre	60 metre	90 metre	120 metre	240 metre
Ortalama Rüzgar Şiddeti (m/s)	4,97	5,64	6,31	6,57	7,27
Ortalama Rüzgar Şiddeti (m/s)	24,45	24,22	24,33	24,61	26,80
Ortalama rüzgar Artış oranı (%)		13,5	11,9	4,1	10,7
Maksimum rüzgar artış oranı (%)		-0,9	0,5	1,2	8,9

Çizelge 4.5'te gösterilen Sodar cihazı ile ölçülen en yüksek rüzgar şiddetleri ise; 30m için 24,45 ms^{-1}, 60m için 24,22 ms^{-1}, 90m için 24,33 ms^{-1}, 120m için 24,61 ms^{-1} ve 240m için 26,80 ms^{-1} olarak bulunmuştur.

Her bir seviye için bir önceki seviyeye göre ortalama rüzgar artış oranları karşılaştırıldığında, %13,5 değeri ile en yüksek artış oranını 30 metreden 60 metreye geçildiğinde görülmektedir. Bunun sebebi arazideki yapılaşma, bitki örtüsü gibi pürüzlülükten kaynaklanıyor olabilir. 60 metreden 90 metreye geçerken ortalama rüzgar %11,9 oranında artmıştır. Bir önceki seviyeye göre artış oranının en düşük değeri %4,1 ile 90 metreden 120 metreye geçiş aralığında gerçekleşmiştir. 120 metreden 240 metreye geçişte ise ortalama rüzgar hızında %10,7 oranında bir artış meydana gelmiştir. Bunun sebebi ise 120 metreden 2 katı yükseklikteki bir seviyede

artık sürtünme etkisinden tamamen kurtulup rüzgar daha akışkan bir hale gelmiş olmasından kaynaklanmaktadır.

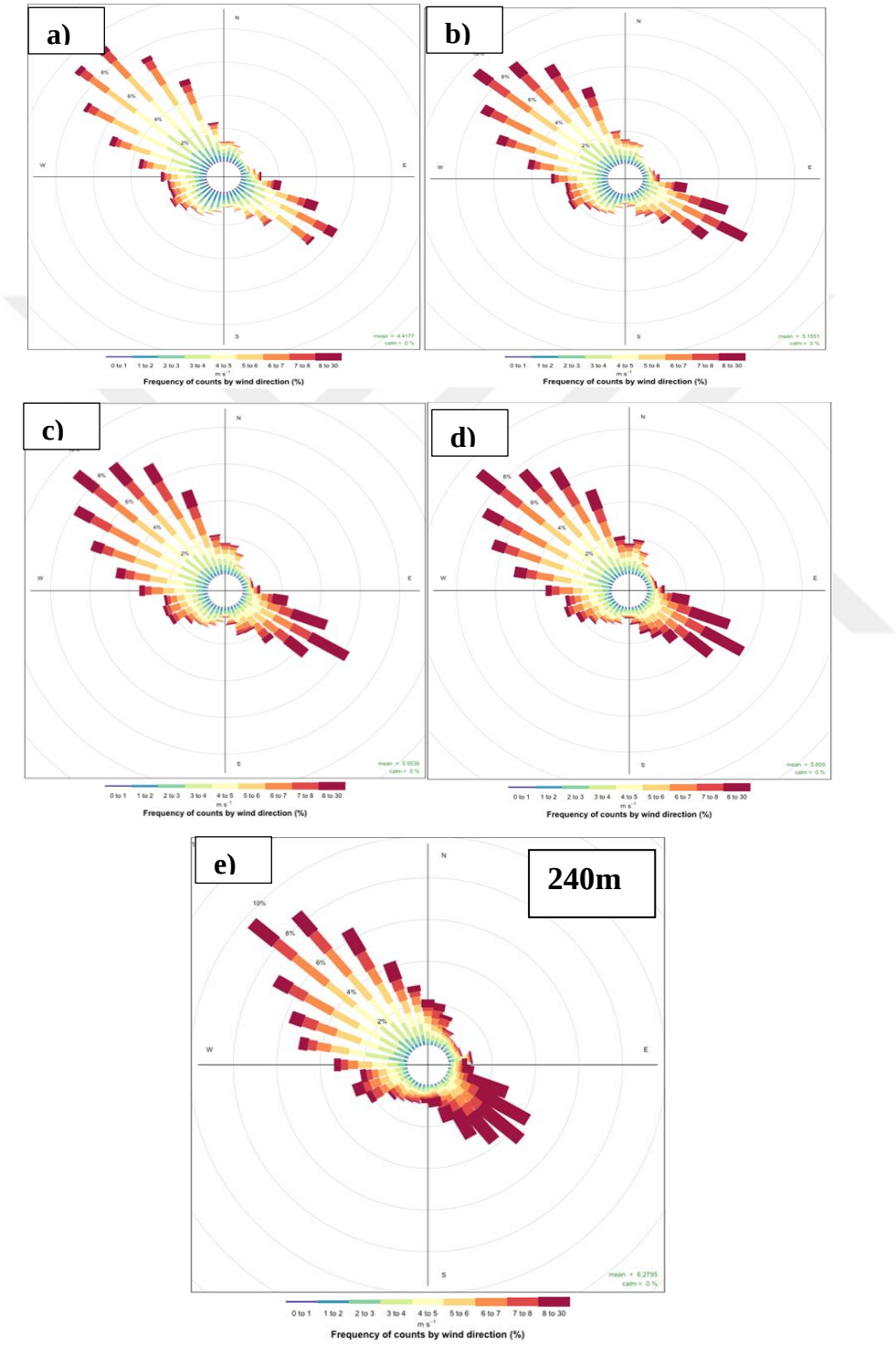
Maksimum rüzgarlardaki her seviye için artış oranları ele alındığında, %8,9 değeri ile en yüksek oran 120 metreden 240 metreye geçiş aralığında meydana gelmiştir. Diğer seviyelerdeki maksimum rüzgar artış oranları birbirine yakın ve düşüktür.

Ölçüm periyodu boyunca ortalama rüzgar şiddetlerinde tüm seviyeler için belirgin bir trend olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.13'te görüldüğü gibi ölçümlerin değerlendirildiği tüm bu beş seviyede mevsimsel olarak ele alındığında ortalama rüzgar şiddetlerinde artış sonbahar aylarında olmuştur. Yaz aylarında ise rüzgar hızının ortalama rüzgar seviyesinin altında ya da ortalama değer seviyelerinde estiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.13). Mayıs 2019 yılında her beş seviyede ekstrem bir rüzgar artışı görülmektedir. Bu durum cihazın resetlendiği anda sensörlere çok yüksek bir elektriksel pals göndermesinden kaynaklanmaktadır, gerçek bir rüzgar verisi değildir.



Şekil 4.29: Sodar cihazı tarafından üretilen beş seviyeye ait rüzgar şiddeti değerleri

Sodar cihazı ile beş farklı seviye için ölçülen rüzgar yön değerleri Şekil 4.30'da görülmektedir. Bütün bu beş seviye için birincil ana hakim yön kuzeybatılı, ikinci ana hakim rüzgar yönü iste güneydoğuludur. Rüzgar yönü bakımından her beş seviye birbiriyle uyumludur.

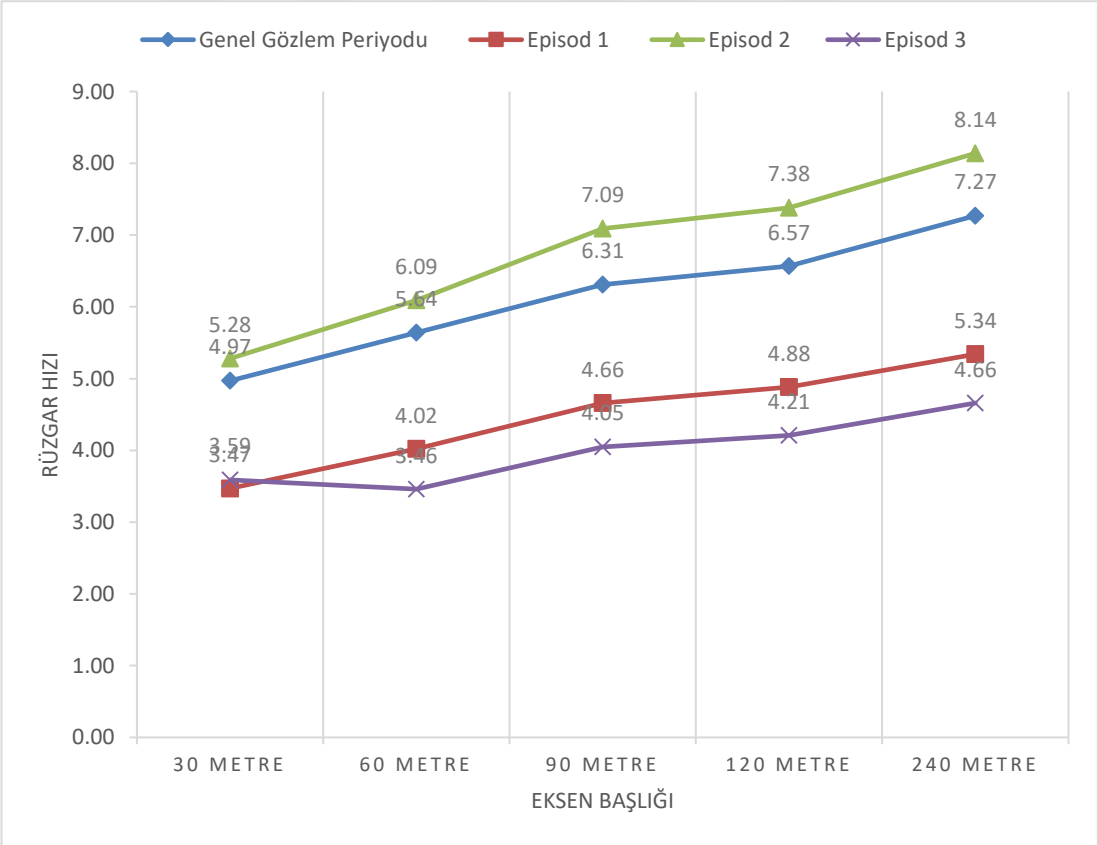


Şekil 4.30: a)30m, b)60m, c)90m, d)120m, e) 240 metre seviyelerine ait rüzgar yön değerleri

4.2.1 SODAR Cihazı İle Episod Günleri Analizi

Kağıthane ölçüm istasyonundan elde edilen $PM_{2.5}$ kirleticisinin 2019 yılı içersinde kirlilik değerinin 3 farklı episod periyodu için kritik düzeyi aştığı episod günleri belirlenmiştir. İlk episod periyodu 18.02.2019 – 22.02.2019 , ikinci episod periyodu 04.03.2019 – 09.03.2019 ve üçüncü episod periyotları da 28.04.2019 – 30.04.2019 tarihleri arasında belirlenmiştir. Bu episodik günler için SODAR cihazından alınan veriler ile analizler yapılmıştır**.** Şekil 4.31 üzerinde genel gözlem süresince her beş seviyede elde edilen ortamala rüzgar değerleri ile üç farklı episod sürecindeki ortalama rüzgar değerleri görülmektedir.

Bu çalışmada kullandığımız SODAR menzili 240 metre olduğu için atmosferik sınır tabaka bu 240 metre yüksekliğin üzerinde gerçekleşeceğinden, SODAR ölçümü ile atmosferik sınır tabaka belirleme için yetersiz olduğu durumlar olabilir fakat atmosferik sınır tabakanın 240 metreye yakın veya uzak olma durumunu anlamak için her beş seviyedeki ölçümlerin birbiriyle orantıları incelenmiştir.



Şekil 4.31: Genel gözlem periyodu ve episod sürelerindeki ortalama rüzgar değerleri

4.2.1.1 SODAR ile Episod 1 Analizi

İlk episod periyodu olan 18.02.2019 – 22.02.2019 tarih aralığı için Sodar cihazından elde edilen rüzgar şiddeti değerleri Şekil 4.32'de verilmiştir.

Bu episod periyodunda SODAR cihazı ile ölçülen ortalama rüzgar hızları sırasıyla; 30 metrede 3,47 ms^{-1}, 60 metrede 4,02 ms^{-1}, 90 metrede 4,66 ms^{-1}, 120 metrede 4,88 ms^{-1} ve 240 metrede ise 5,34 ms^{-1} olarak bulunmuştur. Ölçülen ortalama maksimum rüzgar hızları ise ; 30 metrede 9,44 ms^{-1}, 60 metrede 11,01 ms^{-1}, 90 metrede 12,84 ms^{-1}, 120 metrede 13,37 ms^{-1} ve 240 metrede 14,73 ms^{-1} olarak bulunmuştur. Çizelge 4.6 'da 01.06.2017 - 31.08.2019 tarihleri arasındaki genel ortalama ve maksimum ortalama rüzgar hızları ile episod süresi boyunca ölçülen ortalama ve maksimum ortalama rüzgar hızları mukayese edildiğinde; ilk episod süresinde gözlemlenen ortalama rüzgar hızları ve maksimum rüzgar hızları her beş seviye (30m, 60m, 90m, 120m, 240m) için daha düşük degerlerdedir, rüzgar daha sakindir. Düşük rüzgar hızı yetersiz yayılım koşulları oluşturduğundan bölgedeki kirlilik artışına yardımcı olmaktadır.

Çizelge 4.6: Genel ölçüm rüzgar hızı ile episod 1 rüzgar hızı verileri karşılaştırma.

	30 m	60 m	90 m	120 m	240 m
Ort. rüzgar şiddeti (m/s)	4,97	5,64	6,31	6,57	7,27
Mak. rüzgar şiddeti (m/s)	24,45	24,22	24,33	24,61	26,80
Ortalama rüzgar artış oranı (%)		13,5	11,9	4,1	10,7
Maksimum rüzgar artış oranı (%)		-0,9	0,5	1,2	8,9
Episod2 ortalama rüzgar (m/s)	3,47	4,02	4,66	4,88	5,34
Episod2 max. rüzgar (m/s)	9,44	11,01	12,84	13,37	14,73
Episod2 ort. rüzgar artış oranı (%)		15,9	15,9	4,7	9,4
Episod2 max rüzgar Artış oranı (%)		16,6	16,6	4,1	10,2
Genel ortalamaya göre episod2 ortalama rüzgar artış oranı (%)	-30,2	-28,7	-26,1	-25,7	-26,5
Genel max rüzgara göre episod2 max rüzgar artış oranı	-61,4	-54,5	-47,2	-45,7	-45,0

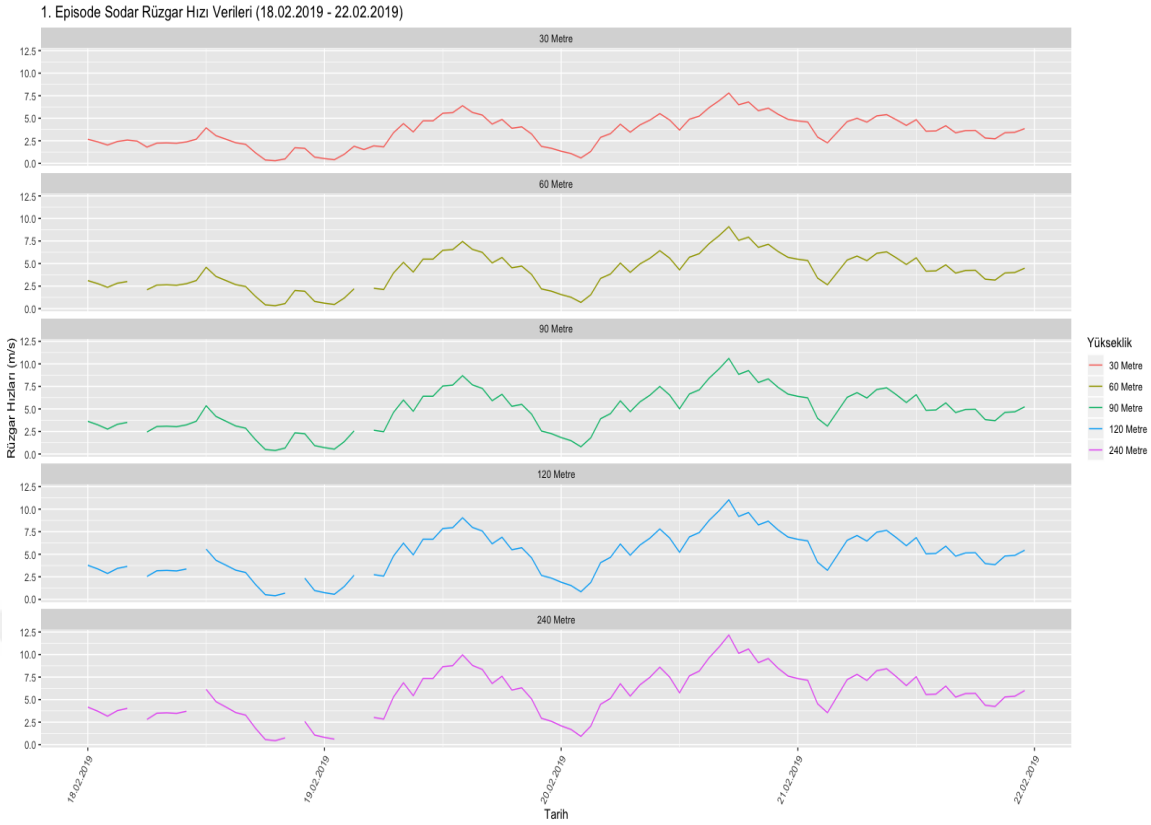
18.02.2019 – 22.02.2019 episod süresi boyunca 30 metrede ölçülen rüzgar, genel ortalama rüzgar hızına göre %30,2 azalmış, 60 metrede %28,7 azalmış, 90 metrede % 26,1 azalmış, 120 metrede %25,7 azalmış ve 240 metrede %26,5 azalmıştır. Episod süresi boyunca her beş seviyedeki ortalama rüzgar, genel gözlem periyodu boyunca ölçülen ortalama rüzgar değerlerinden oldukça düşüktür, rüzgar sakindir.

Genel ortalamalar ile episod süresince gözlemlenen her beş seviyede (30m, 60m, 90m, 120m ve 240 metrede) ölçülen ortalama rüzgar değerleri kıyaslandığında her seviyedeki ortalama rüzgar değerinde bir düşüş belirlenmiştir. Fakat her bir ölçüm yüksekliğindeki ortalama rüzgar, kendisinden bir alt seviyesinde bulunan ölçüm yüksekliğindeki değerlere göre kıyaslandığında genel ortalama ile episod süresi arasında gözlemlenen farklılıklar şu şekildedir: 30 metreden 60 metreye rüzgar artış

oranı % 15,9 (genel ortalamada bu değer %13,5) ve 60 metreden 90 metreye geçişte yine bu artış oranı %15,9 (genel ortalamada bu oran %11,9) olarak tespit edilmiştir. Bir önceki seviyeye göre en düşük artış oranı %4,7 değeri ile 90 metreden 120 metre yüksekliğine geçişte yaşanmıştır (genel ortalamada bu değer %4,1'di) ve 120 metreden 240 metreye geçişteki artış oranı %9,4 değerindedir (genel ortalamada bu değer % 10.7).

Genel gözlem süresince ölçülen ortalama maksimum rüzgar hızları ile birinci episod sürecinde gözlemlenen ortalama maksimum rüzgar hızları karşılaştırıldığında; 30 metreden 60 metreye geçerken artış hızı %16,6 (genel ortalama maksimum için bu değer %-0,9), 60 metreden 90 metreye artış oranı %16,6 (genel ortalama maksimum için bu değer %0,5), 90 metreden 120 metreye artış oranı %4,1 (genel ortalama maksimum için bu değer % 1,2) ve 120 metreden 240 metreye geçişteki artış oranı %10,2'dir (genel ortalama maksimum için bu değer % 8,9).

Yani hem ortalama rüzgar hızı oranlarından hem de ortalama maksimum rüzgar hızı oranlarından anlaşılacağı üzere; rüzgarın aşağı seviyelerde artış oranı daha yüksek, yükseklikle rüzgarın artış oranı daha düşüktür. Buradan rüzgarın alt seviyelerde sıkışmaya uğradığı, yukarı seviyelere doğru daha yumuşak bir geçiş olduğu anlaşılmaktadır. Atmosferik sınır tabaka yüksekliğinin yer seviyesine doğru yaklaşmasıyla aşağı seviyede rüzgar alanında, arazi yapısındaki sürtünmeler nedeniyle lokal olarak sıkışma yaptığı için oransal artış farklılıkları bu sebepten kaynaklanıyor olabilmektedir.



Şekil 4.32: Sodar cihazından elde edilen 5 farklı seviyeye ait rüzgar şiddeti değerleri (18.02.2019-22.02.2019)

4.2.1.2 SODAR ile Episod 2 Analizi

İkinci episod periyodu için SODAR cihazından elde edilen rüzgar şiddeti değerlerine ait ölçüm verileri Şekil 4.33'de verilmiştir. Çizelge 4.7'de ikinci episod periyodunda SODAR ölçüm verilerine göre, ortalama rüzgar şiddetleri sırasıyla; 30 metrede 5,28 ms^{-1}, 60 metrede 6,09 ms^{-1}, 90 metrede 7,09 ms^{-1}, 120 metrede 7,38 ms^{-1} ve 240 metrede 8,14 ms^{-1} olarak gözlemlenmiştir. Episod sürecine ait ortalama maksimum rüzgar hızları ise ; 30 metrede 8,95 ms^{-1}, 60 metrede 10,44 ms^{-1}, 90 metrede 12,17 ms^{-1}, 120 metrede 12,67 ms^{-1} ve 240 metrede 13,96 ms^{-1} olarak gözlemlenmiştir.

İkinci episod sürecinde ölçülen ortalama rüzgar hızları ve ortalama maksimum rüzgar hızları Çizelge 4.7'de genel ortalama rüzgar ve ortalama maksimum rüzgar hızları ile mukayese edilmiştir.

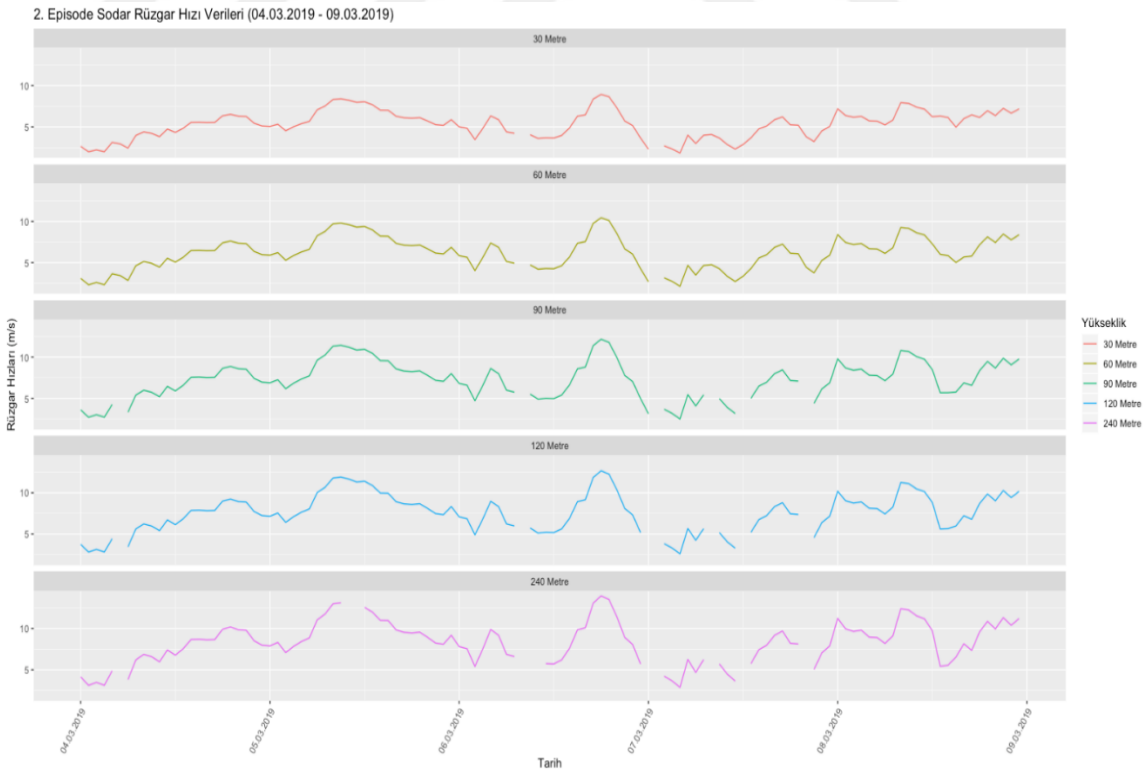
Çizelge 4.7: Genel ölçüm rüzgar hızı ile episod 2 rüzgar hızı verileri karşılaştırma.

	30 m	60 m	90 m	120 m	240 m
Ort. rüzgar şiddeti (m/s)	4,97	5,64	6,31	6,57	7,27
Mak. rüzgar şiddeti (m/s)	24,45	24,22	24,33	24,61	26,80
Ortalama rüzgar artış oranı (%)		13,5	11,9	4,1	10,7
Maksimum rüzgar artış oranı (%)		-0,9	0,5	1,2	8,9
Episod2 ortalama rüzgar (m/s)	5,28	6,09	7,09	7,38	8,14
Episod2 max. rüzgar (m/s)	8,95	10,44	12,17	12,67	13,96
Episod2 ort. rüzgar artış oranı (%)		15,3	16,4	4,1	10,3
Episod2 max rüzgar Artış oranı (%)		16,6	16,6	4,1	10,2
Genel ortalamaya göre episod2 ortalama rüzgar artış oranı (%)	6,2	8,0	12,4	12,3	12,0
Genel max rüzgara göre episod2 max rüzgar artış oranı	-63,4	-56,9	-50,0	-48,5	-47,9

04.03.2019 – 09.03.2019 tarihleri arasında ikinci episod periyodu boyunca 30 metrede ölçülen ortalama rüzgar hızı genel ortalamaya göre %6,2 artmış, 60 metrede %8,0 artmış, 90 metrede %12,4 artmış, 120 metrede %12,3 artmış ve 240 metrede %12,0 artmıştır. Bu artış oranları ikinci episod süresince her bir seviyede ölçülen ortalama rüzgar hızı genel gözlem periyodunda ölçülen ortalama rüzgar hızlarından yaklaşık 1 ms^{-1} değerinden daha fazladır. Fakat ikinci episod süresince ölçülen ortalama maksimum hızlar genel ortalamada ölçülen maksimum hız oranlarıyla kıyaslandığında, maksimum hızlarda oldukça sert bir düşüş görülmektedir (30 metrede

%63,4, 60 metrede %56,9, 90 metrede %50, 120 metrede %48,5 ve 240 metrede %47,9 oranında azalma vardır).

Genel rüzgar ortalama hızları ile episod süresince gözlemlenen her beş seviyede (30m, 60m, 90m, 120m ve 240 metrede) ölçülen ortalama rüzgar hızı değerleri kıyaslandığında her seviyedeki ortalama rüzgar hızı değerinde bir artış belirlenmiştir. Fakat her bir ölçüm yüksekliğindeki ortalama rüzgar hızı, kendisinden bir alt seviyede olan ölçüm yüksekliğindeki değerlere göre kıyaslandığında genel ortalama ile episod süresi arasında gözlemlenen farklılıklar şu şekildedir: 30 metreden 60 metreye artış oranı %15,3 (genel ortalamada bu değer %13,5) ve 60 metreden 90 metreye geçişte bu artış oranı %16,4 (genel ortalamada bu oran %11,9) olarak tespit edilmiştir. Bir önceki seviyeye göre en düşük artış oranı %4,1 değeri ile 90 metreden 120 metre yüksekliğine geçişte yaşanmıştır (genel ortalamada bu değer %4,1'di) ve 120 metreden 240 metreye geçişteki artış oranı %10.3 değerindedir (genel ortalamada bu değer % 10,7). Yani ikinci episod periyodunda görülen 30 metreden 60 metreye geçişte ve 60 metreden 90 metreye geçişteki artış oranlar genel gözlem periyodundaki artış oranlarından daha fazladır, diğer seviyeler için hemen hemen aynıdır.



Şekil 4.33: Sodar cihazından elde edilen 5 farklı seviyeye ait rüzgar şiddeti değerleri (04.03.2019 – 09.03.2019)

4.2.1.3 SODAR ile Episod 3 Analizi

28.04.2019 – 30.04.2019 tarihleri arasındaki üçüncü episod süresince SODAR cihazından elde edilen ortalama rüzgar hızı değerleri Şekil 4.34'te verilmiştir.

Üçüncü episod süresi için SODAR cihazı verileri ortalama rüzgar hızları; 30 metrede 3,59 ms^{-1}, 60 metrede 3,46 ms^{-1}, 90 metrede 4,05 ms^{-1}, 120 metrede 4,21 ms^{-1} ve 240 metrede 4,66 ms^{-1} olarak ölçülmüştür. Üçüncü episod sürecindeki maksimum rüzgar şiddetleri ise ; 30 metrede 6,68 ms^{-1}, 60 metrede 6,29 ms^{-1}, 90 metrede 6,82 ms^{-1}, 120 metrede 7,48 ms^{-1} ve 240 metre için 9,36 ms^{-1} olarak bulunmuştur.

Üçüncü episod süreci boyunca ölçülen ortalama ve ortalama maksimum rüzgar hızları Çizelge 4.8'de genel ortalama rüzgar ve genel ortalama maksimum rüzgar hızları ile mukayese edilmiştir.

Çizelge 4.8: Genel ölçüm rüzgar hızı ile episod 3 rüzgar hızı verileri karşılaştırma

	30 m	60 m	90 m	120 m	240 m
Ort. rüzgar şiddeti (m/s)	4,97	5,64	6,31	6,57	7,27
Mak. rüzgar şiddeti (m/s)	24,45	24,22	24,33	24,61	26,80
Ortalama rüzgar artış oranı (%)		13,5	11,9	4,1	10,7
Maksimum rüzgar artış oranı (%)		-0,9	0,5	1,2	8,9
Episod3 ortalama rüzgar (m/s)	3,59	3,46	4,05	4,21	4,66
Episod3 max. rüzgar (m/s)	6,68	6,29	6,82	7,48	9,36
Episod3 ort. rüzgar artış oranı (%)		-3,6	17,1	4,0	10,7
Episod3 max rüzgar Artış oranı (%)		-5,8	8,4	9,7	25,1
Genel ortalamaya göre episod3 ortalama rüzgar artış oranı (%)	-27,8	-38,7	-35,8	-35,9	-35,9
Genel max rüzgara göre episod3 max rüzgar artış oranı	-72,7	-74,0	-72,0	-69,6	-65,1

28.04.2019 – 30.04.2019 episod süresince 30 metrede ölçülen ortalama rüzgar hızları genel ortalamaya göre %27,8 azalmış, 60 metrede %38,7 azalmış, 90 metrede %35,8 azalmış, 120 metrede %35,9 azalmış ve 240 metrede %35,9 azalmıştır. Episod süresi boyunca her beş seviyedeki ortalama rüzgar hızları, genel gözlem periyodu boyunca ölçülen ortalama rüzgar hızları değerlerinden oldukça düşüktür, rüzgar sakindir.

Genel ortalamalar ile episod süresince gözlemlenen her beş seviyede (30m, 60m, 90m, 120m ve 240 metrede) ölçülen ortalama rüzgar hız değerleri kıyaslandığında her

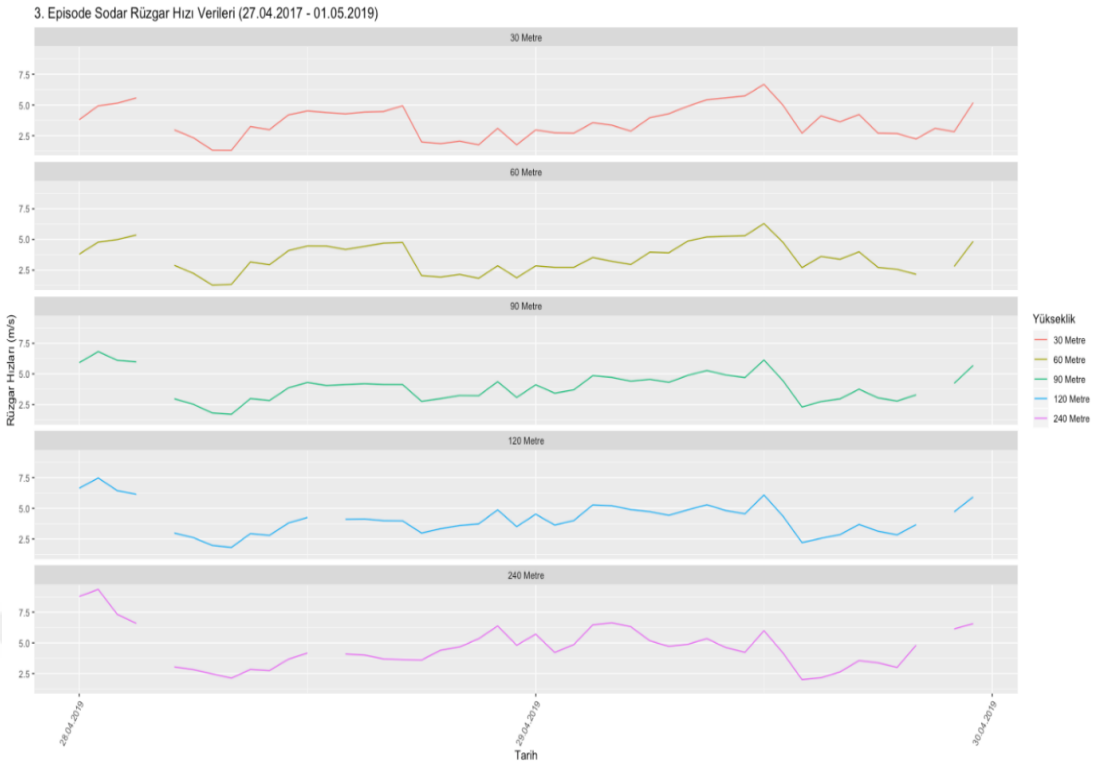
seviyedeki ortalama rüzgar değerinde bir düşüş belirlenmiştir. Fakat her bir ölçüm yüksekliğindeki ortalama rüzgar, kendisinden bir alt seviyede bulunan ölçüm yüksekliğindeki değerlere göre kıyaslandığında genel ortalama ile episod süresi arasında gözlemlenen farklılıklar şu şekildedir: 30 metreden 60 metreye ortalama rüzgar hızı oranında % 3,6 azalma olmuştur (genel ortalamada bu değer %13,5 artış var), 60 metreden 90 metreye geçişte artış oranı %17,1 (genel ortalamada bu oran %11,9) olarak tespit edilmiştir. Bir önceki seviyeye göre artış oranı %4,0 değeri ile 90 metreden 120 metre yüksekliğine geçişte yaşanmıştır (genel ortalamada bu değer %4,1'di) ve 120 metreden 240 metreye geçişteki artış oranı %10 değerindedir (genel ortalamada bu değer % 10.7).

Üçüncü episod periyodunda 30 metreden 60 metreye geçerken ortalama rüzgar hızında negatif bir rüzgar kayması görülmektedir, 60 metreden 90 metreye geçerken ortalama rüzgar oranındaki artış diğer seviyelerdeki oranlara kıyasla oldukça yüksektir.

Genel gözlem süresince ölçülen ortalama maksimum rüzgar hızları ile üçüncü episod sürecinde gözlemlenen ortalama maksimum rüzgar hızları karşılaştırıldığında; 30 metreden 60 metreye geçerken %5,8 oranında azalma vardır, (genel ortalama bu değer %-0,9), 60 metreden 90 metreye artış oranı % 8,4 (genel ortalamada bu değer %0,5), 90 metreden 120 metreye artış oranı %9,7 (genel ortalamada bu değer % 1,2) ve 120 metreden 240 metreye geçişteki artış oranı % 25,1'dir (genel ortalamada bu değer % 8,9).

Bu episod süresince ortalama rüzgar hızında olduğu gibi, ortalama maksimum rüzgar hızı için de 30 metreden 60 metreye geçerken negatif bir rüzgar kayması görülmektedir. Orantısal olarak maksimum ortalama rüzgar hızlarında en büyük artış oranı120 metreden 240 metreye geçişte görülmüştür.

Üçüncü episod periyodunda, 30 metreden 60 metreye geçerken hem ortalama rüzgar hızında, hem de maksimum ortalama rüzgar hızında görülen bu negatif rüzgar kayması, ardından yükseklikle rüzgarın daha da hızlanması bir enverziyon tabakası varlığına işaret eder. Ek 1'de yer alan radyozonde değerleri ile karşılaştırıldığında geceleri enverziyon olduğu görülmektedir.



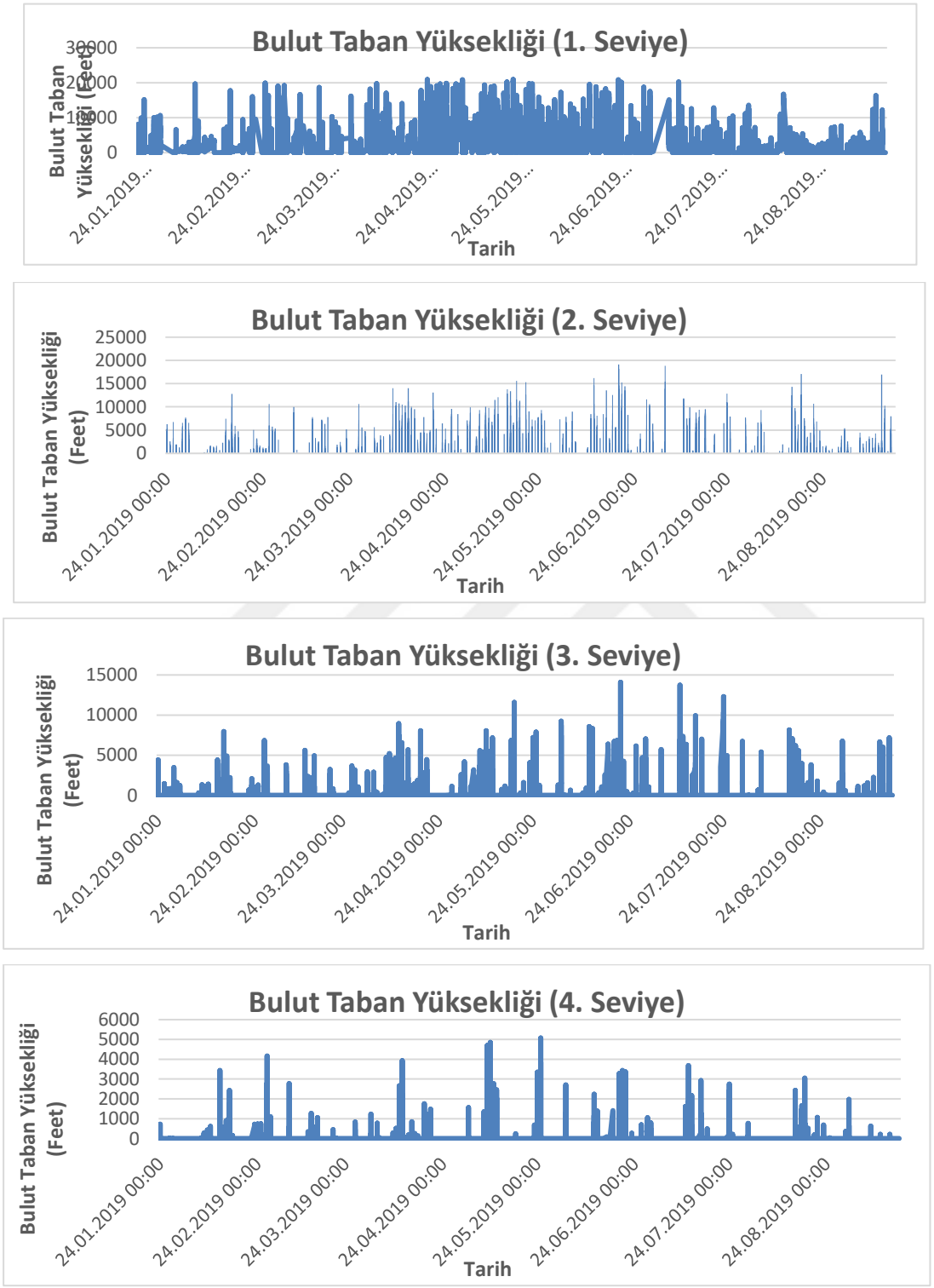
Şekil 4.34: Sodar cihazından elde edilen 5 farklı seviyeye ait rüzgar şiddeti değerleri (28.04.2019 – 30.04.2019)

4.3 Silyometre Cihazı Ölçüm Analizi

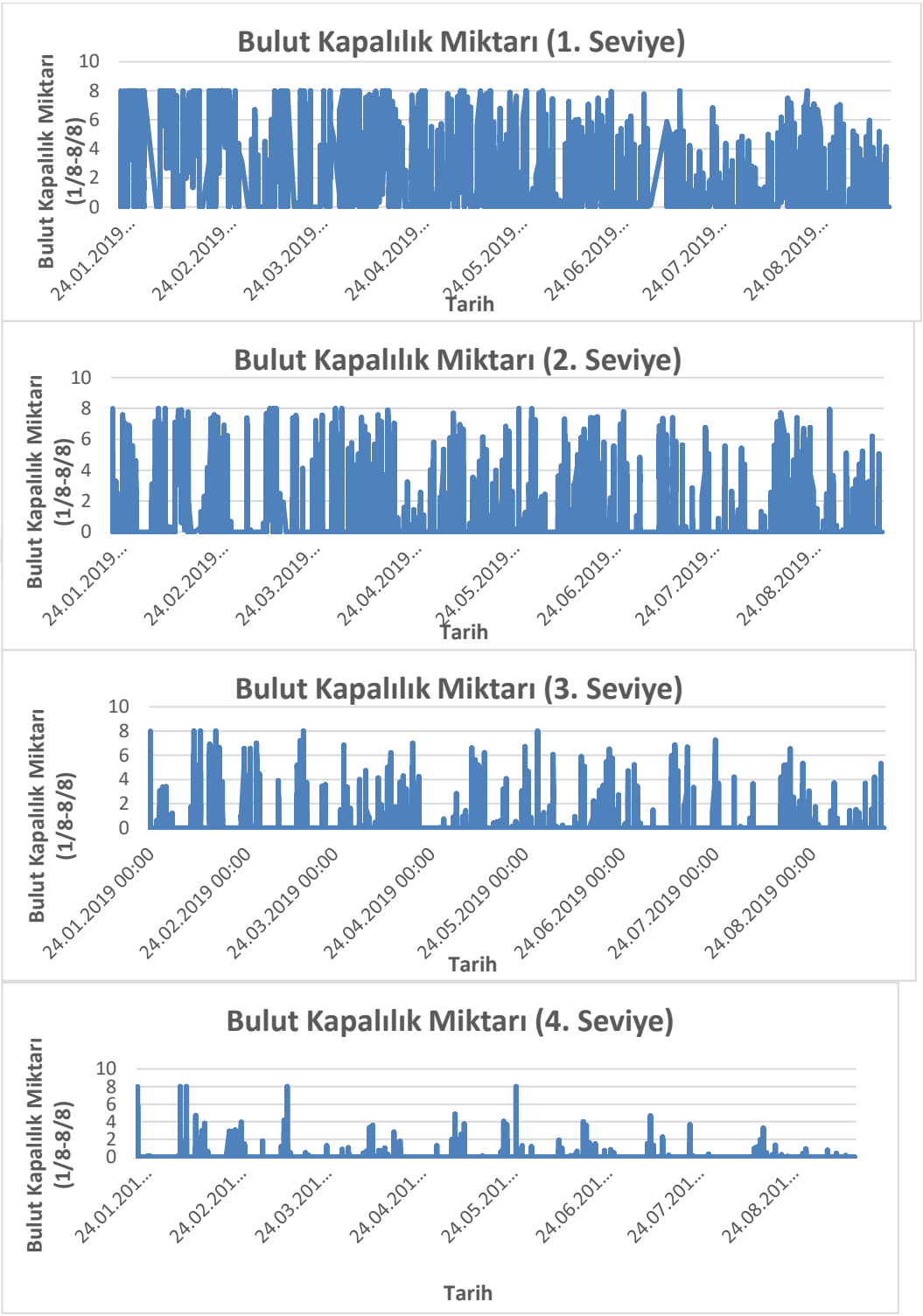
İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi çatısına konuşlandırılmış silyometre cihazı ile 01.01.2019 – 31.08.2019 tarihleri arasında dört farklı seviye için bulut taban yükseklik ve bulut kapalılık analizleri yapılmıştır (Şekil 4.35, Şekil 4.36).

İlk olarak 1. Seviye için yapılan ölçümlerde algılanan en alt seviyedeki bulut taban yükseklikleri ortalama 4195 feet'tir. Birinci seviyede gözlemlenen kapalılık miktarı fazla olmasından dolayı 2. Seviyedeki ölçümlere ait bulut taban yükseklikleri ortalama 4827 feet civarında ve daha altındaki seviyelerde yer almaktadır. 3. ve 4. seviyelerde ise 1. ve 2. seviyedeki kapalılığın az olduğu, orta ve alçak seviye bulutlarının görülmediği durumlarda 3. ve 4. Seviyelerde bulut taban yükseklik değerleri elde edilebilmiştir. Genel olarak bu seviyelerde bulut taban yükseklik değerlerinin çok yüksekte olması ya da hiç görülmemesinin nedeni hem 1 ve 2. seviyedeki bulutluluğun

hem de havanın tamamen açık ya da yukarı ve orta seviye bulutlarının mevcudiyetinden kaynaklanmaktadır (Şekil 4.35).



Şekil 4.35: Silyometre bulut taban yükseklik verileri (1.,2.,3.,4. Seviye)



Şekil 4.36: Silyometre bulut kapalılık miktarı (1.,2.,3.,4. Seviye)

Silyometre cihazın ile dört farklı düşey seviye için bulut kapalılık verileri Şekil 4.36'te görülmektedir. Silyometre cihazı yersel bir ölçüm cihazı olduğu için ilk seviyedeki kapalılık miktarı arttığı zaman yukarı seviyelerdeki kapalılık hakkında bilgi alınması konusunda sorunlara neden olmaktadır. Örneğin, yere en yakın seviyedeki bulut kapalılık oranının 8/8 olması durumunda diğer seviyeler için veri elde

edilememektedir. Bu doğrultuda 1. seviyede günlük ortalama kapalılık miktarı genel ölçüm periyodu için "2.08/8" olarak hesaplanmıştır.

Genelde sonbahar ve kış aylarında 5/8-8/8 değerleri aralığında yüksek kapalılık değerleri gözlemlenirken, yaz aylarında ise kapalılık oranı 1/8-2/8 oranlarında oldukça düşük değerler arasında seyretmiştir.

Benzer şekilde 2. Seviyede günlük ortalama kapalılık miktarı 1.11/8, 3. Seviyede 0.39/8 ve 4. Seviyede ise 0.08/8 olarak hesaplanmıştır. Yine 2, 3 ve 4. Seviyelerde de aynı 1. Seviyede olduğu gibi sonbahar ve kış aylarında yüksek kapalılık değerleri ve yaz aylarında ise daha az kapalılık değerleri gözlemlenmiştir.

4.3.1 Silyometre Cihazı İle Episod Günleri Analizi

Kağıthane ölçüm istasyonu verilerinden elde edilen $PM_{2.5}$ kirleticisinin 2019 yılı içersinde kirlilik değerinin kritik düzeyi aştığı episod günleri için silyometre cihazı ile yapılan ölçümler bu bölümde analiz edilmiştir. İlk episod periyodu 18.02.2019 – 22.02.2019 , ikinci episod periyodu 04.03.2019 – 09.03.2019 ve üçüncü episod periyotları da 28.04.2019 – 30.04.2019 tarihleri arasındadır. Bu episodik günler için silyometre cihazından alınan veriler ile atmosferik sınır tabakadaki bulut taban yükseklikleri hakkında araştırmalar yapılmıştır.

Silyometre ile atmosferik sınır tabaka belirleme çalışmaları, "clear mode" durumunda, silyometre ile gönderilen sinyalin aeresoller tarafından geri saçılma sinyalleri analiz edilerek belirlenir (Emeis ve diğ, 2004). Bu çalışma için kullandığımız silyometre "clear mode" olarak kullanılmamıştır, bulut taban yüksekliği belirleme yöntemi ile çalışılmıştır. Atmosferik sınır tabaka yüksekliğini anlamak için nem içeriği ve kararlı yapıdaki stratiform tipi ya da alçak seviye iyi hava kümülüs bulut tipi gibi aşağı seviye bulutları episod sürelerinde incelenmiştir.

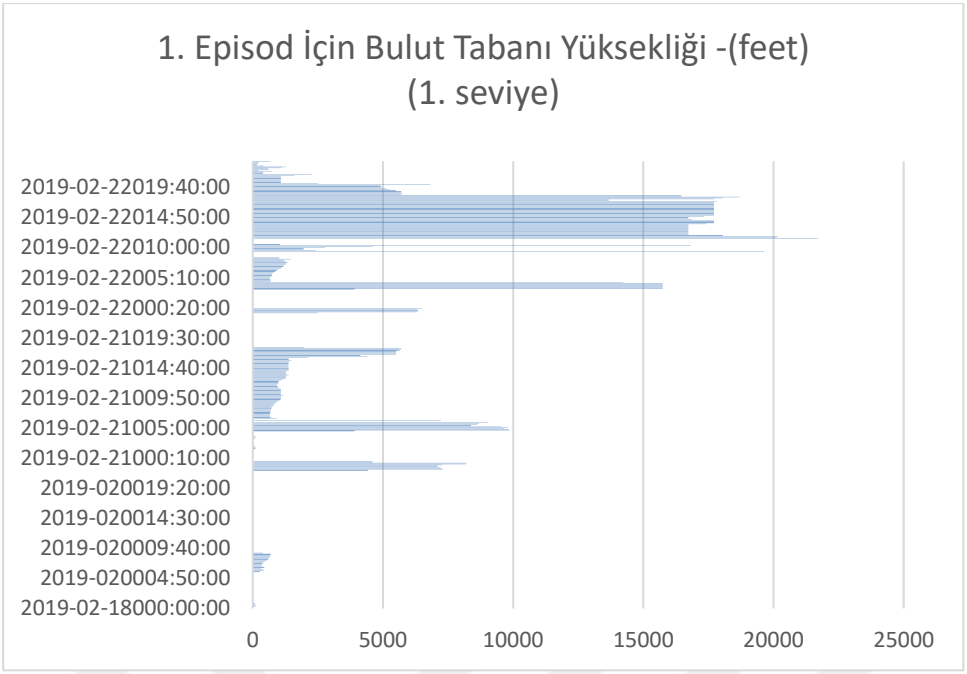
Atmosferik sınır tabaka bulutları, atmosferin ışıma bütçesi ve dolaşımların modülasyonları üzerinde temel bir role sahiptir. Stratokümülüs, sığ kümülüs oluşumu, iklim sisteminin önemli bir özelliğidir. Örneğin stratokümülüs bulut örtüsünün büyük

değerleri genellikle soğuk deniz yüzeyi sıcaklıkları ve atmosferik çökme ile ilgilidir. Yüksek albedo nedeniyle, stratokümülüs yüzeyler üzerinde önemli bir soğutma etkisine sahiptir. Son zamanlarda stratokümülüsün tropikal ve subtropikal dolaşımın belirlenmesinde önemli bir rol oynadığı öne sürülmüştür. Öte yandan sığ konveksiyonun hem tropik bölgelerde hem de orta boylamlarda büyük ölçekli dolaşım üzerinde önemli bir etkisi vardır. Subtropikal sınır tabakası bulutları genel olarak atmosferik sınır tabakası türbülans yapısı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. (Teixeira ve Hogan, 2002) . Sınır tabakası kümülüs bulutları (iyi hava kümülüsleri) sınır tabakası içinde ve üstünde radyasyon, ısı ve nem değişimini modüle etmede önemli bir rol oynar. Ayrıca, sınır tabakası kümülüs bulutlarının (Blcu) varlığı, bu enerji alışverişi yoluyla altta yatan bitki örtüsünün türü ve miktarı ile güçlü bir şekilde ilişkilidir (Freedman ve ark., 2001). Bu nedenden dolayı alt seviye bulutları AST yapısı hakkında bilgi verebileceğinden silyometre ölçümlerinden elde edilen veriler ile episod günleri için analizler yapılmıştır.

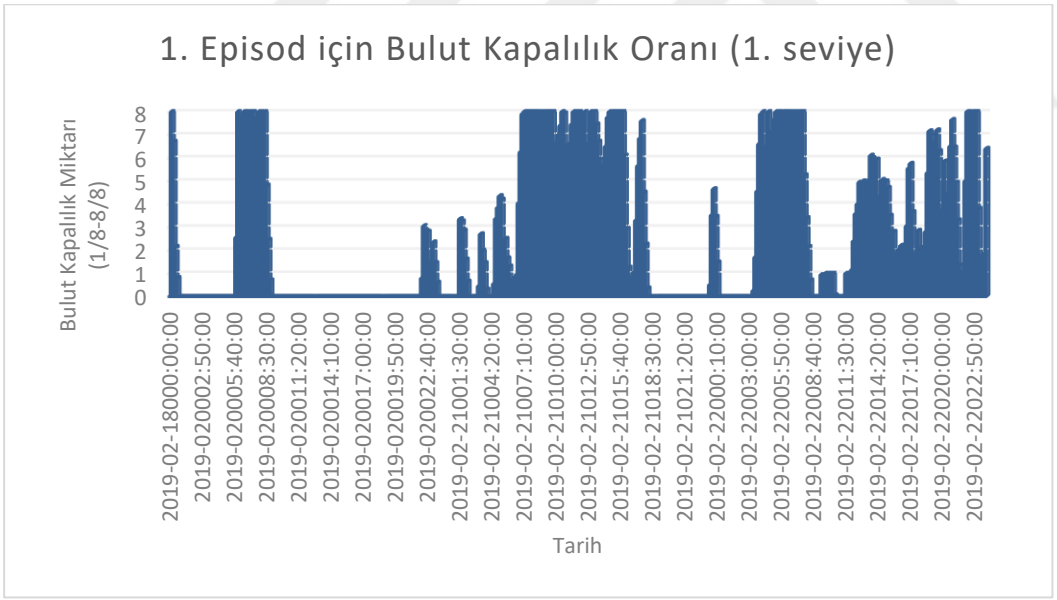
4.3.1.1 Silyometre ile Episod 1 Analizi

PM_{10} ve $PM_{2.5}$'in artış gösterdiği 18.02.2019 – 22.02.2019 tarihleri aralığında birinci seviye için bulut yüksekliği Şekil 4.37'de ve bulut kapalılık oranı Şekil 4.38'de görülmektedir. Atmosferik sınır tabaka araştırma çalışması kapsamında bu episod değerlendirmesi için yalnızca yere en yakın olan 1. Seviye bulut tabanı yükseklik verisi ve bulut kapalılık ölçümleri değerlendirilmiştir.

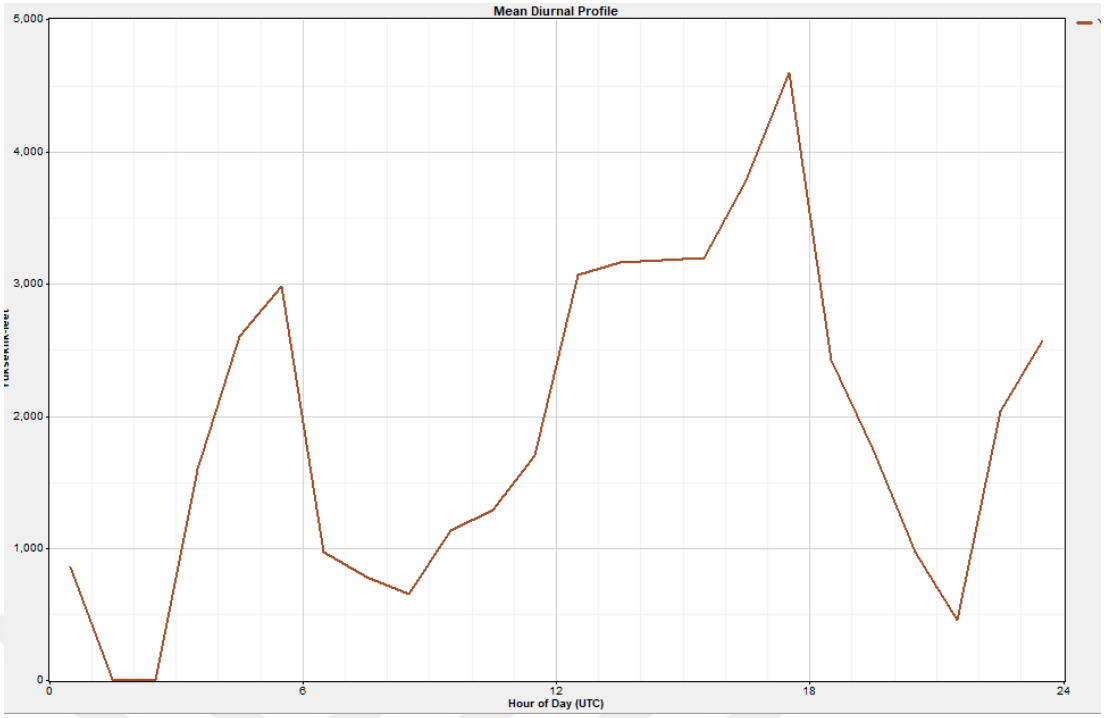
Belirlenen episod tarihleri arasında (18.02.2019 ile 19.02.2019) elektrik kesintileri nedeniyle 2 gün için silyometreden veri alınamamıştır. Bu nedenle 21.02.2019 – 22.02.2019 tarihleri arasındaki silyometre ölçümleri değerlendirilmiştir.



Şekil 4.37: 1. Seviye için Bulut taban yüksekliği (18.02.2019 ile 19.02.2019)

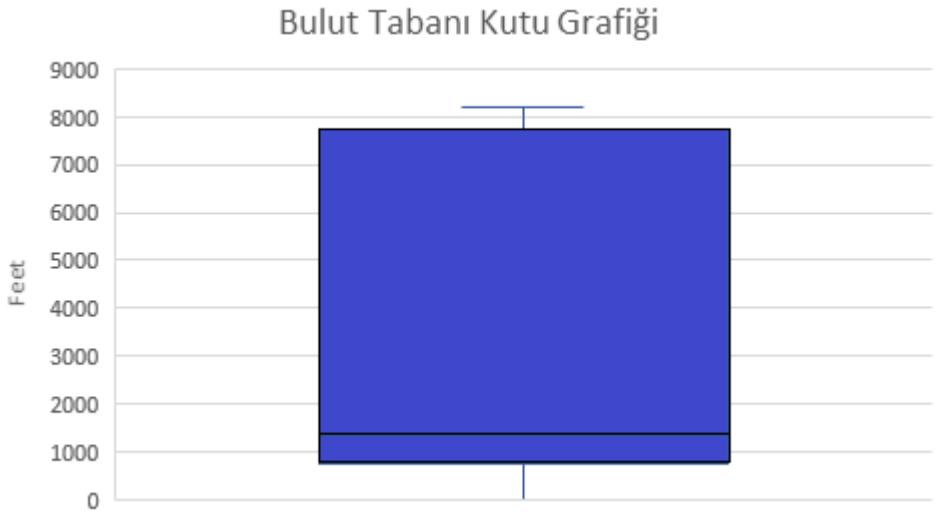


Şekil 4.38: 1. Seviye için bulut kapalılığı (18.02.2019 ile 19.02.2019)



Şekil 4.39: Bulut taban yüksekliği 24 saatlik değişimi (18.02.2019 - 19.02.2019)

Şekil 4.40'a göre bulut tabanının episod süresi boyunca günlük değişim grafiği görülmektedir. Sabah erken saatlerde çok az miktarda bulutlanma varken öğleden sonra bulut tabanı yükseklikleri 4500 feet üzerine çıkmaktadır. En yoğun dağılım 3000 feet altında (~914 metre) 12:00 ile 18:00 saatleri arasında görülmektedir.



Şekil 4.40: Bulut taban yüksekliği kutu grafiği (18.02.2019 -19.02.2019)

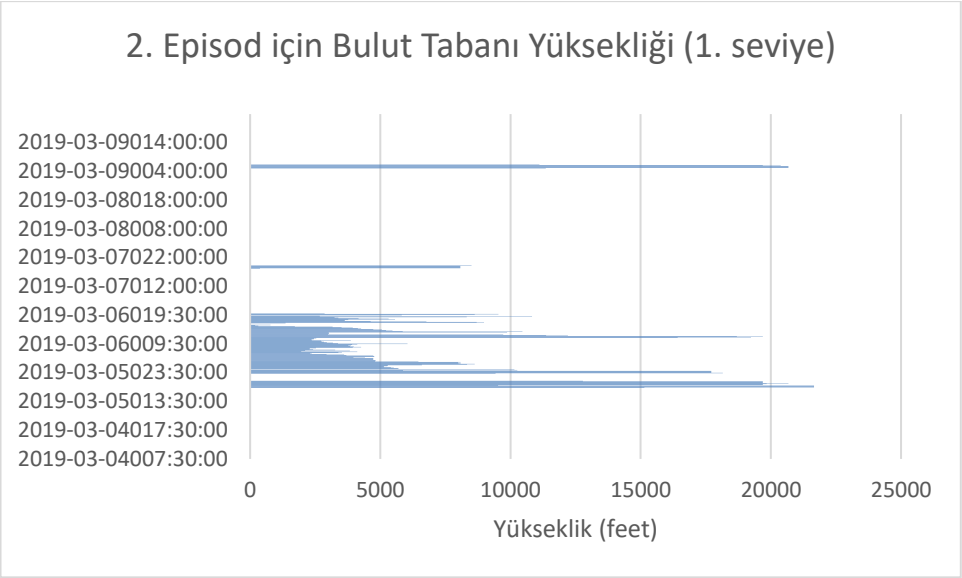
Atmosferik sınır tabaka bulut yapısını araştırdığımız için ~8200 feet'ten (2500 metre) yukarı seviyedeki bulutlar ihmal edilmiştir. En düşük bulut tabanı 22 feet (6 metre) olarak ölçülmüştür. Bulut taban ölçüm verilerinden "sıfır" değerleri atılarak Şekil 4.39'deki kutu grafiği oluşturulmuştur. Bu grafikten anlaşıldığı üzere en yüksek bulut tabanı 8200 feette (~2500 m) görülmüş, bulut tabanları %75 oranında ~900 feetten (~274 m) daha yukarı bir yükseklikte oluşmuştur, medyan değeri yaklaşık 1300 feet (~396 m) civarındadır. Silyometre ile ölçülen verilerin aritmetik ortalaması yaklaşık 3415 feettir (~1040 metre).

Nispeten yere yakın stratiform tipi bulut tabanı verilerinden konvektif hareketlerin güçlü olmadığı anlaşılmaktadır. Düşey hareketlerin zayıf olması nedeniyle kirlilik oluşum koşullarına neden olan atmosferik şartların oluştuğu anlaşılabilir.

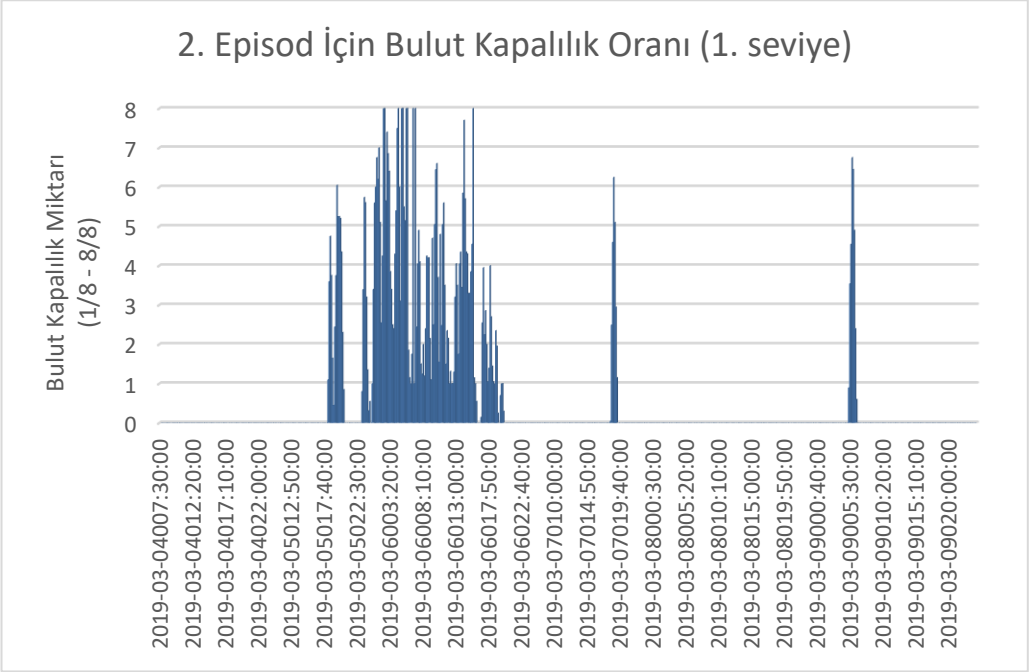
EK 1'de yer alan radyosonde ölçümlerinden elde edilmiş skew-T diyagramlarından anlaşılacağı üzere, karışma tabakası yüksekliği episod süresi boyunca ortalama 300 metre üzerinde 900 metrenin altında seyretmiştir.

4.3.1.2 Silyometre ile Episod 2 Analizi

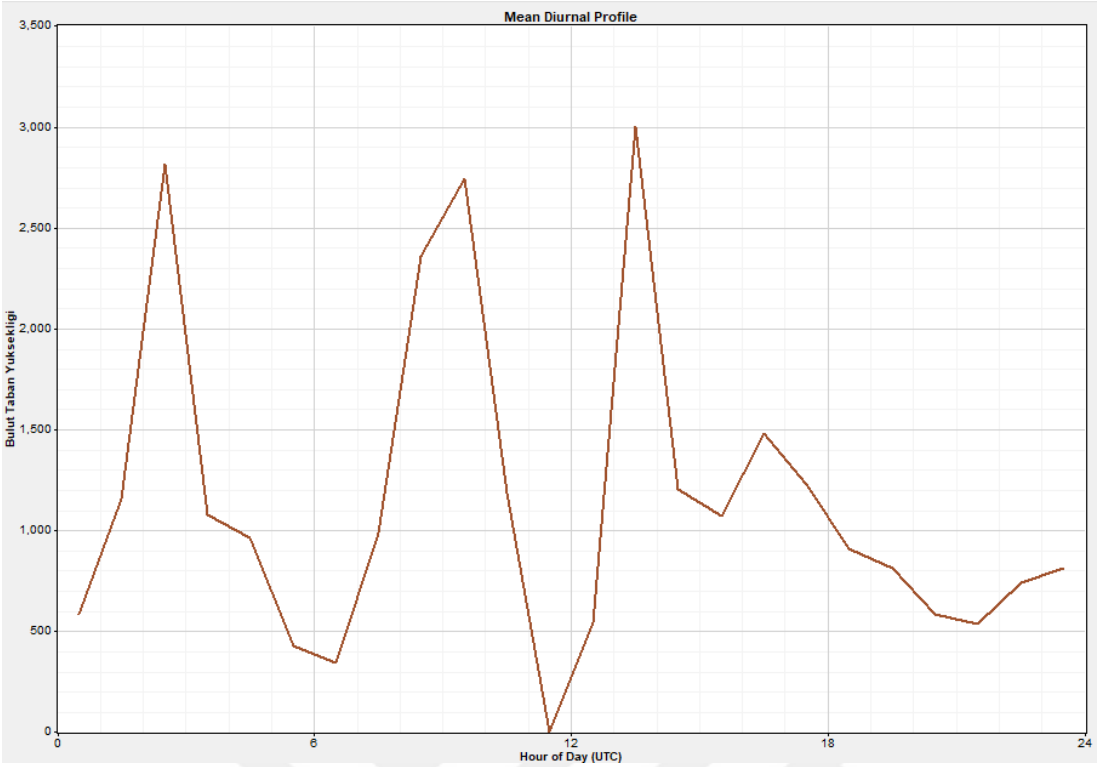
PM_{10} ve $PM_{2.5}$'in artış gösterdiği 04.03.2019 – 09.03.2019 tarihleri aralığında birinci seviye için bulut yüksekliği Şekil 4.41'de ve bulut kapalılık oranı Şekil 4.42'de görülmektedir. Atmosferik sınır tabaka araştırma çalışması kapsamında bu episod değerlendirmesi için yalnızca yere en yakın olan 1. Seviye bulut tabanı yükseklik verisi ve bulut kapalılık ölçümleri değerlendirilmiştir.



Şekil 4.41: 1. Seviye için bulut taban yüksekliği (04.03.2019 – 09.03.2019)



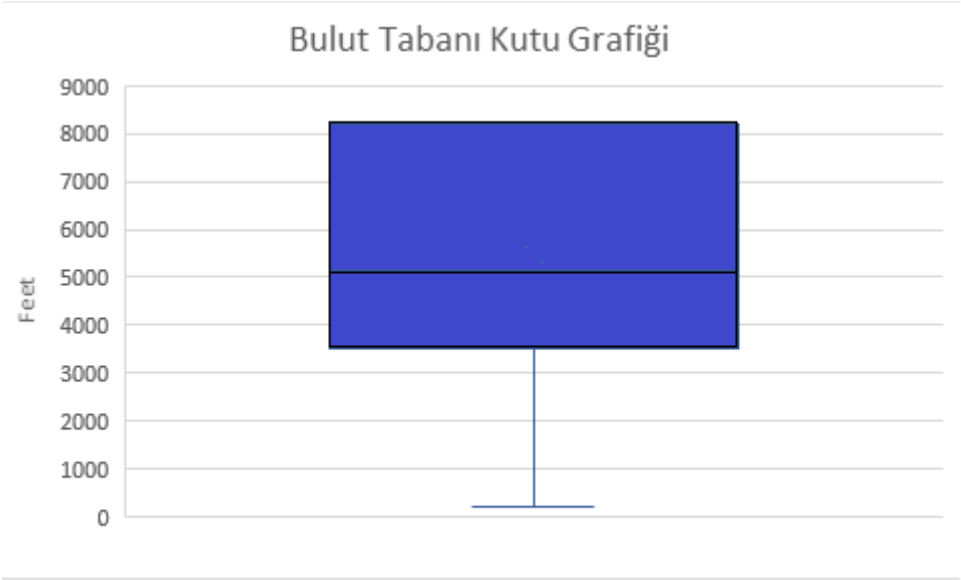
Şekil 4.42: 1. Seviye İçin bulut kapalılığı (04.03.2019 – 09.03.2019)



Şekil 4.43: Bulut taban yüksekliği 24 saatlik değişimi (04.03.2019 – 09.03.2019)

Şekil 4.43'e göre bulut tabanının episod süresi boyunca günlük değişim grafiği görülmektedir. Bulut tabanı seviyelerindeki yükseliş ilk olarak gece saatlerinde artış göstererek 03:00 civarında lokal bir pik yapar ve sabah 06:00 saatlerine kadar bulut taban değerleri 500 feet altına kadar iner. Güneş doğmasının ardından konvektif hareketlerle tekrardan saat 12:00'a kadar 3000 feet değerine yükselir.Öğleden sonra saat 13:00-14:00 arası tekrar 3000 feete kadar ulaşan bulut taban seviyeleri öğleden sonra akşama kadar alçalmaya devam eder veya bulut oluşumu görülmez.

.



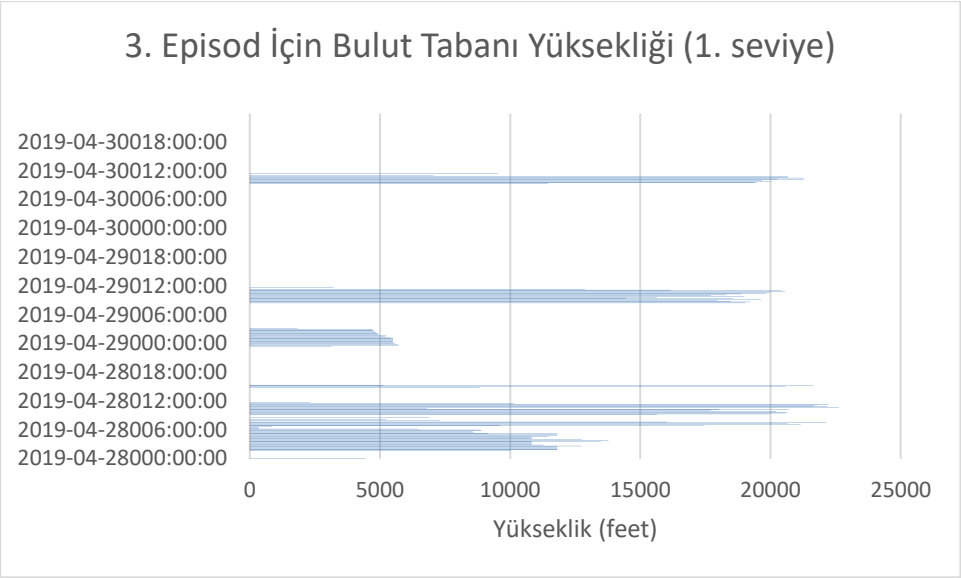
Şekil 4.44: Bulut taban yüksekliği kutu grafiği (04.03.2019 – 09.03.2019)

Atmosferik sınır tabaka bulut yapısını araştırdığımız için ~8200 feet'ten (2500 metre) yukarı seviyedeki bulutlar ihmal edilmiştir. En düşük bulut tabanı 196 feet (~60 m) olarak ölçülmüştür. Bulut taban ölçüm verilerinden "sıfır" değerleri atılarak Şekil 4.44'teki kutu grafiği oluşturulmuştur. Bu grafiğe göre en yüksek bulut tabanı 8200 feette (~2500 m) görülmüş, bulut tabanları %75 oranında ~3500 feetten (~1066 m) daha yukarı bir yükseklikte oluşmuştur, medyan değeri yaklaşık 5000 feet (~1524 m) civarındadır. Silyometre ile ölçülen verilerin aritmetik ortalaması yaklaşık 5485 feettir (~1671 m).

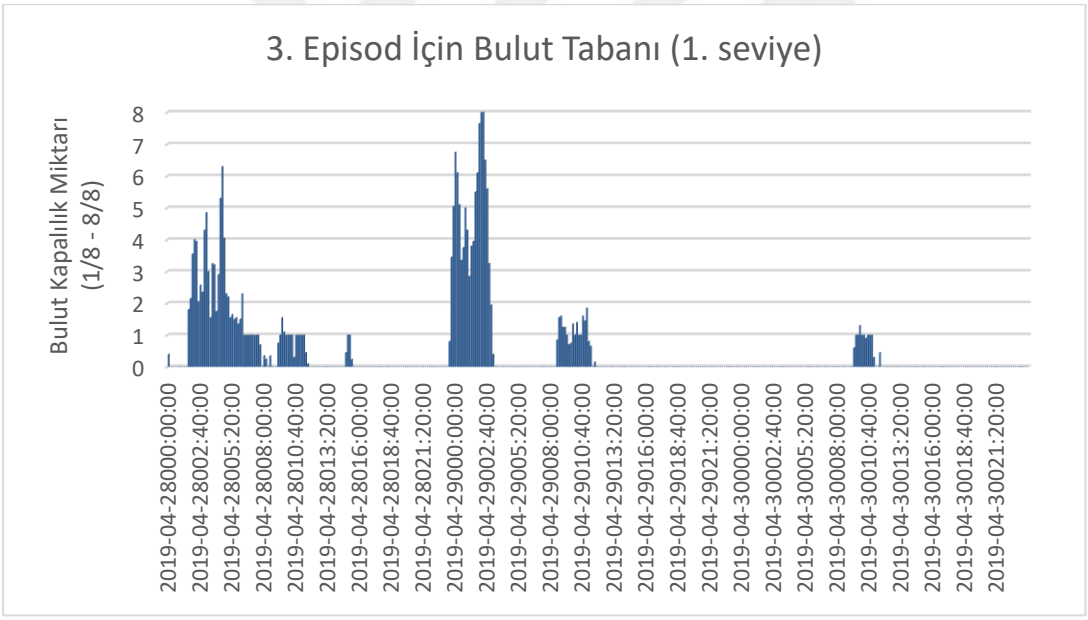
EK 1'de yer alan radyosonde ölçümlerinden elde edilmiş skew-T diyagramlarından anlaşılacağı üzere, atmosferik sınır tabaka episod süresi boyunca karışma tabakası yüksekliği ortalama 200 metre üzerinde 2000 metrenin altında seyretmiştir.

4.3.1.3 Silyometre ile Episod 3 Analizi

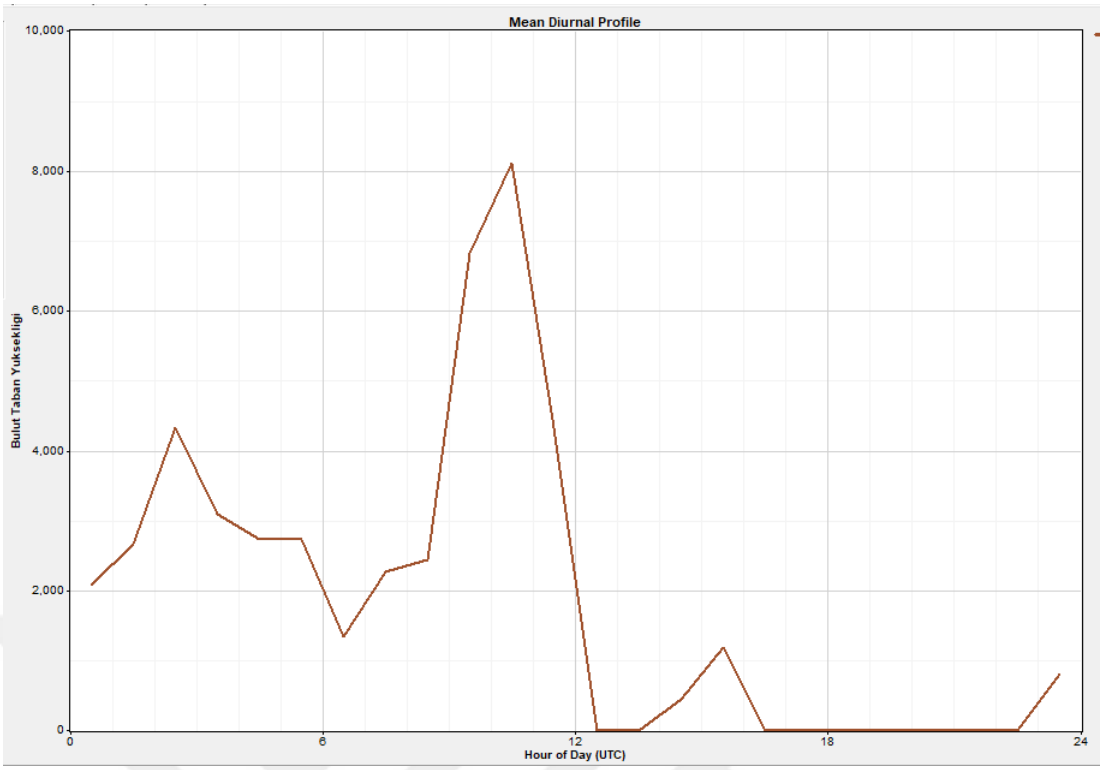
PM_{10} ve $PM_{2.5}$'in artış gösterdiği 28.04.2019 – 30.04.2019 tarihleri aralığında birinci seviye için bulut yüksekliği Şekil 4.45'te ve bulut kapalılık oranı Şekil 4.46'da görülmektedir. Atmosferik sınır tabaka araştırma çalışması kapsamında bu episod değerlendirmesi için yalnızca yere en yakın olan 1. Seviye bulut tabanı yükseklik verisi ve bulut kapalılık ölçümleri değerlendirilmiştir.



Şekil 4.45: 1. Seviye için bulut taban yüksekliği (28.04.2019 – 30.04.2019)

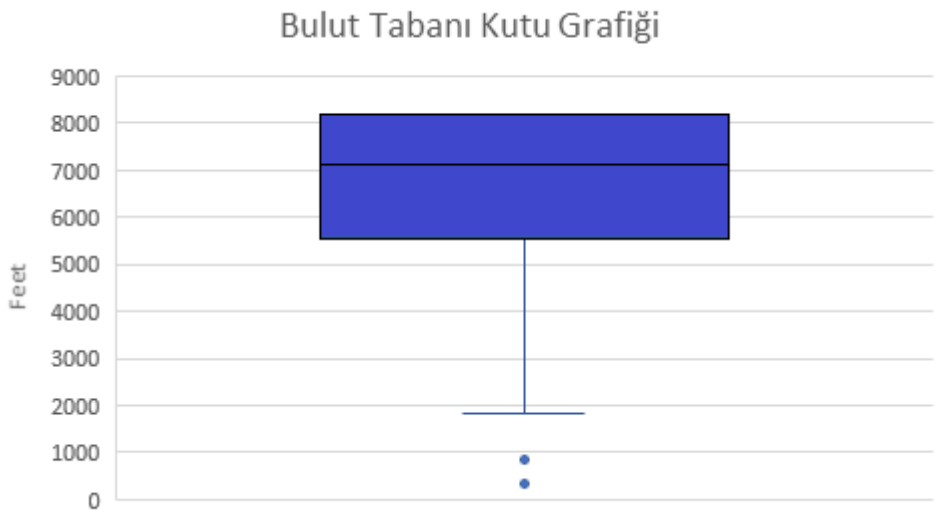


Şekil 4.46: 1. Seviye için bulut kapalılığı **(**28.04.2019 – 30.04.2019)



Şekil 4.47: Bulut taban yüksekliği 24 saatlik değişimi **(**28.04.2019 – 30.04.2019)

Şekil 4.47'ye göre bulut tabanının episod süresi boyunca günlük değişim grafiği görülmektedir. Geceleri 02:00 03:00 saatleri arasında tabanı 4000 feet (~1219 m) yüksekliklerine ulaşan bulutlanma varken sabah saatlerine doğru azalır. Gün doğumundan itibaren 09:00 ile 11:00 saatleri arasında bulut tabanı değerleri 8200 feet (2500m) civarına kadar yükselir ve öğleden sonra tamamen kaybolur.



Şekil 4.48: Bulut taban yüksekliği kutu grafiği **(**28.04.2019 – 30.04.2019)

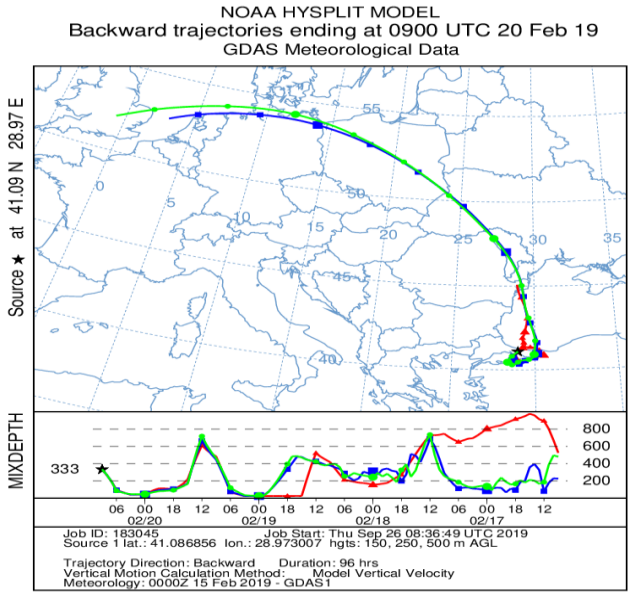
Atmosferik sınır tabaka bulut yapısını araştırdığımız için ~8200 feet'ten (2500 metre) yukarı seviyedeki bulutlar ihmal edilmiştir. En düşük bulut tabanı 350 feet (~107 m) olarak ölçülmüştür. Bulut taban ölçüm verilerinden "sıfır" değerleri atılarak Şekil 4.48'deki kutu grafiği oluşturulmuştur. Bu grafikten anlaşıldığı üzere en yüksek bulut tabanı 8200 feette (~2500 m) görülmüş, bulut tabanları %75 oranında ~5500 feetten (~1676 m) daha yukarı bir yükseklikte oluşmuştur , medyan değeri yaklaşık 7100 feet (~2164 m) civarındadır. Silyometre ile ölçülen verilerin aritmetik ortalaması yaklaşık 7124 feettir (~2172 m). Üçüncü episod sürecinde oluşan bulutlar, önceki iki episoda göre daha yüksek seviyelerde bulut tabanları görülmüştür. Üçüncü episoddaki konvektif hareketler diğer episodlara daha etkilidir.

EK 1'de yer alan radyosonde ölçümlerinden elde edilmiş skew-T diyagramlarından saptanan ortalama karışma tabakası yüksekliklerinde gece ve gündüz değerleri arasında 2 kilometreyi bulan sapmalar görülmektedir. Her üç gün için geceleri enverziyon oluşmuştur, karışma tabakası yer seviyesine oldukça yakındır, gündüzleri sıcaklığın geceye göre şiddetli artması nedeniyle karışma tabakası geceye göre çok fazla yukarı yükselmiştir.

4.4 HYSPLIT Model Sonuçları

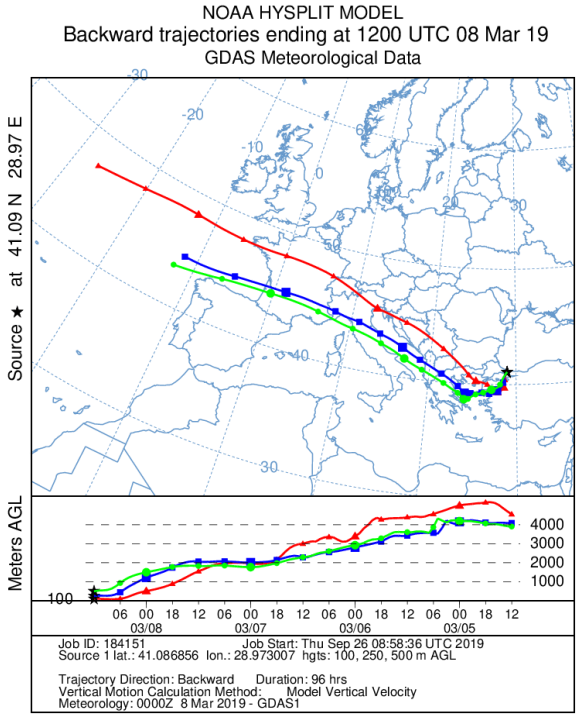
NOAA-HYSPLIT modeli ile, çalışma alanı üzerinde geriye dönük yörüngeyi belirlemek için NCEP tarafından üretilen meteorolojik veriler ile hava taşınımının adveksiyon ve dispersiyon ile nasıl dağılacağını hesaplar. Bu doğrultuda HYSPLIT modelinde bölge koordinatları harita üzerinde seçilerek geriye dönük yörünge (backtrajectory) oluşturulmuş ve toz taşınımını ve dağılımını gösteren haritalar elde edilmiştir. Özellikle PM_{10} ve $PM_{2.5}$ kirleticilerinin yüksek olduğu günler için belirlenmiş episodik periyotları kapsayan HYPLIT analizleri elde edilmiştir.
Şekil 4.49'de gösterildiği gibi, 20.02.2019 tarihinde saat 09:00 UTC'den geriye doğru 96 saat olarak çalıştırılan HYSPLIT Modeli geçmiş yörünge analizine göre, bu tarihte

İstanbul'da partikül madde (PM_{10} ve $PM_{2.5}$) konsantrasyonlarının yükselmesine neden olan tozların İstanbul üzerine Doğu Avrupa'dan taşındığı görülmektedir.



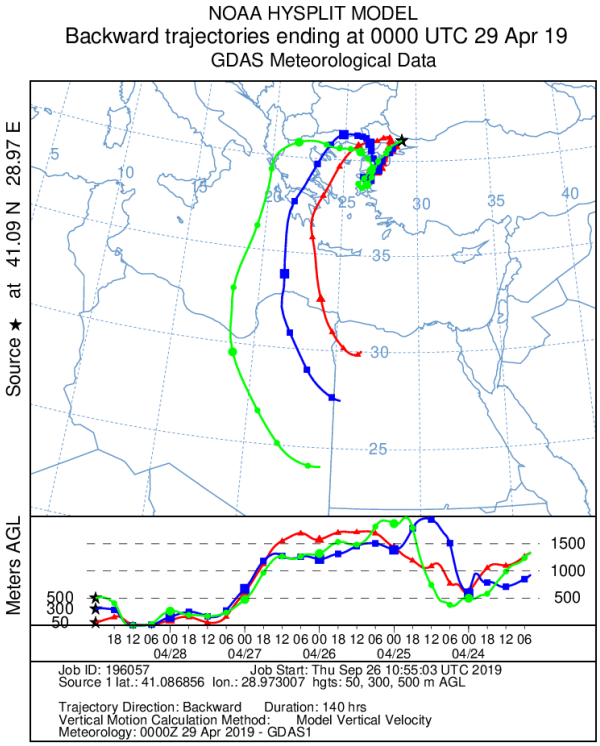
Şekil 4.49: 20.02.2019 tarihi için toz taşınımı

HYPLIT modeliyle geçmiş yörünge analizinde Şekil 4.50'da gösterilen 08.03.2019 tarihinde 12:00 UTC'den geriye doğru 96 saat olarak çalıştırılan analize göre, İstanbul üzerinde partikül madde (PM_{10} ve $PM_{2.5}$) konsantrasyonlarının yükselmesine neden olan toz taşınımının Batı Avrupa'dan geldiği görülmektedir.



Şekil 4.50: 08.03.2019 tarihi için toz taşınımı

29. 04.2019 tarihi için ve 00:00 UTC'den geriye doğru 140 saat olarak çalıştırılan HYSPLIT Modeli geçmiş yörünge analizine göre, belirtilen tarihte İstanbul'da partikül madde (PM_{10} ve $PM_{2.5}$) konsantrasyonlarının yükselmesine Sahra Çölü üzerinden gerçekleşen toz taşımının neden olduğu Şekil 4.51'da görülmektedir.



Şekil 4.51: 29.04.2019 tarihi için toz taşınımı

4.5 Analizlerin İlişkilendirilesi

Değerlendirilen üç farklı episod periyodu için farklı yöntemlerle elde edilen analiz sonuçları birbiriyle ilişkilendirilerek maddeler halinde aşağıda sıralanmıştır:

a) İlk episod, PM_{10}'nin 112,7 µg/m^3 ve $PM_{2.5}$'nin ise 98,5 µg/m^3 değerleri ile kritik sınırı aştığı 18.02.2019 – 22.02.2019 tarihleri arasında belirlenmiştir. Kağıthane ölçüm istasyonundan elde edilen meteorolojik ölçüm verileri incelendiğinde; sıcaklık değerlerinde ciddi bir değişimin olmadığı gözlenmemiştir, rüzgar hızı 0 - 3.19 m/s aralığında oldukça sakindir. Basınç verileri ise yüksek değerlerdedir. Bu meteorolojik verilerden İstanbul üzerinde kirlilik değerlerinin artışına sebep olabilecek kararlılık şartlarının oluştuğu anlaşılmaktadır. Aynı zamanda bu episod periyodu için HYSPLIT modeli ile 20.02.2019 tarihinde saat 09:00 UTC'den geriye dönük 96 saat çalıştırılmıştır.

Model sonucuna göre Doğu Avrupa'dan İstanbul üzerine toz taşınımı gerçekleşmiştir.

SODAR ile yapılan ölçüm analizinde, ilk episod periyodundaki ortalama rüzgar değerleri genel gözlem periyodu ile karşılaştırılmıştır. Episod periyodunda ölçülen rüzgarın aşağı seviyelerdeki artış oranı daha yüksektir ve yükseklikle rüzgarın artış oranının genel gözlem sürecine göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda atmosferik sınır tabaka yüksekliğinin yer seviyesine doğru yaklaşmasıyla aşağı seviyede rüzgar alanında, arazi pürüzlülüğü nedeniyle lokal sıkışma yaptığından oransal artış farklılıkların olabileceği öngörülmüştür.

Silyometre ile ölçülen bulut tabanı değerlerinden atmosferik sınır tabaka bulutları araştırma neticesinde, AST bulut taban yüksekliklerinin 275 metreden yukarda, 2400 metreden aşağıda ve ortalama 1040 metre civarında olduğu öngörülmüştür.

SODAR ölçümleri neticesinden de gözlemlendiği üzere rüzgar sakindir ve kirlilik oluşması için şartlar elverişlidir.

b) İkinci episod PM_{10}'nin 75,8 $\mu g/m^3$ ve $PM_{2.5}$'in 67,5 $\mu g/m^3$ değerlerine ulaştığı 04.03.2019 – 09.03.2019 tarihleri arasındaki günler seçilmiştir. Kağıthane ölçüm istasyonundan elde edilen meteorolojik verilerin analizine göre; sıcaklık değerlerinde şiddetli bir değişim yoktur, ölçülen rüzgar hızı 0,5 - 3 m/s aralığında düşük değerlerde seyretmektedir ve basınç değerleri yüksektir. 08.03.2019 tarihinde saat 12:00 UTC'den geriye dönük 96 saat çalıştırılan HYSPLIT model sonucuna göre, İstanbul'a Batı Avrupa üzerinden bir toz taşınımı olduğu tespit edilmiştir.

İkinci episod periyodunda SODAR ölçümleri analizine göre, 30 metreden 60 metreye geçişte ve 60 metreden 90 metreye geçişteki artış oranları genel gözlem periyodundaki artış oranlarından daha fazla olduğu görülmektedir. Diğer seviyeler için rüzgar artış oranlarının hemen hemen aynıdır.

Silyometre ile ölçülen bulut tabanı değerlerinden atmosferik sınır tabaka bulutları araştırma neticesinde AST bulut taban yüksekliğinin 1066 metreden yukarda, 2400 metreden aşağıda ve ortalama 1700 metre civarında olduğu öngörülmektedir.

Rüzgar değerleri çok düşük değildir ama bu tarihler arasında Avrupa üzerinden gelen toz taşınımı ile kirliliğin oluşumu meydana gelmiştir.

c) Üçüncü episod periyodu 28.04.2019 – 30.04.2019 tarihleri arasında PM10'in 103,1 $\mu g/m^3$, $PM_{2.5}$'nin 53,8 $\mu g/m^3$ değerlerine ulaştığı günler seçilmiştir. Kağıthane ölçüm istasyonundan elde edilen meteorolojik veriler incelendiğinde; gece ve gündüz sıcaklık değerleri arasındaki yaklaşık olarak 12 derecelik ciddi bir farklılığın oluştuğu görülmektedir. Ortalama rüzgar hızı ise 0 - 2 m/s aralığında düşük değerlerde seyretmektedir. Episod süresi boyunca basınç çok yüksek değerlere ulaşmamıştır ve episodun son günü olan 30 Nisan'da basınç değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. 29.04.2019 tarihi için 00:00 UTC'den 140 saat geriye dönük çalıştırılan HSYPLIT geçmiş yörünge analizine göre İstanbul'a Sahra Çölü üzerinden bir toz taşınımının olduğu görülmektedir.

Üçüncü episod periyodu için yapılan SODAR ölçümleri analizinde; 30 metreden 60 metreye geçerken hem ortalama rüzgar hızında hem de maksimum ortalama rüzgar hızında negatif rüzgar kayması görülmüştür. 60 metrenin üzerinde yükseklikle rüzgarın daha da hızlandığı görülmüştür. Bu oranlardan yer seviyesine çok yakın bir enverziyon tabakası varlığı olabileceği saptanmıştır. EK 1'de yer alan radyozonde verileri incelendiğinde geceleri oluşan enverziyon tabakasının SODAR ile yakalandığı anlaşılmaktadır.

Silyometre ile ölçülen bulut tabanı değerlerinden atmosferik sınır tabaka bulutları araştırma neticesinde AST bulut taban yüksekliğinin 1600 metreden yukarda, 2500 metreden aşağıda ve ortalama 2100 metre civarında olduğu öngörülmektedir. Üçüncü episod sürecindeki oluşan bulut taban seviyeleri önceki iki episoda göre daha yukarı bir seviyededir. Bu durumda üçüncü episoddaki konvektif hareketler önceki episodlara göre nispeten daha kuvvetlidir. Geceleri sakin rüzgar şartlarında ve enverziyon tabakası varlığı ve Sahra çölü üzerinden gelen toz taşınımı nedeniyle kirlilik artışı oluşmuştur.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, kirliliğin yoğun olarak gözlemlendiği Kağıthane bölgesinde $PM_{10,}$ $PM_{2,5}$, SO_2, NO_2, O_3 konsantrasyonları değerlendirilmiştir. $PM_{2.5}$ konsantrasyonunun kritik seviyeyi aştığı günler için üç farklı episod tarihi belirlenmiştir. Bu episod tarihlerinde Terkos gölü çevresindeki bir bölgeye yerleştirilen SODAR cihazı ile 30m, 60m, 90m, 120m ve 240 metre seviyelerindeki rüzgar profili ve İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi'nin çatısına yerleştirilen silyometre cihazıyla bulut taban ölçümleri ile AST yüksekliği belirlenmesi ve bu atmosferik sınır tabakanın hava kalitesi üzerine etkileri araştırılmıştır.

Kağıthane bölgesinde ölçüm cihazından 01.06.2017 - 31.08.2019 tarihleri arasında elde edilen meteorolojik verilere göre sıcaklığın 0 ^{0}C altına düşmediği ve 30 ^{0}C üzerine çıkmadığı, ekstrem sıcaklık değerlerinin görülmediği bir bölgedir. Ölçüm süresince rüzgar genellikle sakindir. PM_{10} 48,8 $\mu g/m^3$ değerine ulaşarak AB'nin belirlemiş olduğu limit üzerine çıkmıştır. $PM_{2.5}$ kirleticisi 25.6 $\mu g/m^3$ değeri ile sınır değere ulaşmıştır. NO_2 33,2 $\mu g/m^3$ değeri ile kritik düzeye yaklaşmakta olduğu görülmektedir. SO_2 ve O_3 kirletici değerleri ise Avrupa Birliği limit seviyesinin altında seyretmişlerdir.

PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsatrasyonları, mevsimsel olarak kış ve ilkbahar aylarında daha yüksek gözlemlenmiştir. SO_2 ise kış aylarında artış göstermiştir, ilkbahar aylarından itibaren azalarak yazın en düşük değerlere ulaşmıştır. NO_2 sonbahar ve kış aylarında artış gösterirken yaz aylarında ise konsatrasyon değerinde azalma görülmektedir. O_3 konsantrasyonu ise yaz aylarında daha yüksek değerlerdedir.

Silyometre cihazı ile bulut taban ölçümleri dört farklı seviyede yapılmıştır. Birinci seviyedeki bulut tabanları ilkbahar ve yaz aylarında daha yüksek değerlerdedir. İkinci seviyede de yaz aylarındaki bulut taban seviyeleri diğer mevsimlere göre nispeten daha yukarıda gözlemlenmiştir. Üçüncü ve dördüncü dördüncü seviyelerde de ilkbahar aylarında daha yüksek bulut tabanına sahip veriler görülmektedir.

Silyometre ile gözlemlenmiş birinci seviyedeki bulut kapalılık değerlerine göre sonbahar ve kış aylarında 5/5-8/8 değerleri aralığında yüksek kapalılık oluşmaktadır. İkinci, üçüncü ve dördüncü seviyelerde yine sonbahar ve kış aylarında yüksek kapalılık değerleri görülmektedir.

PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsatrasyonlarının artış gösterdiği periyotlar için episod tarihleri analiz sonuçları aşağıda sırasıyla verilmiştir.

a) İlk episod periyodu 18.02.2019 – 22.02.2019 tarihleri aralığındadır. Bu tarihler arasında yüksek basınç sistemi ile kararlı atmosferik şartlar oluşmuştur ve rüzgar oldukça sakindir, aynı zamanda Doğu Avrupa üzerinden bir toz taşınımı gerçekleşmiştir. SODAR ölçümlerine göre rüzgar sakindir ve Silyometre cihazları ile AST bulut taban yüksekliklerinin alçak bir seviyede stratiform tipi bulutlar olduğu görülmüştür. Kararlı atmosfer koşulları altında partikül madde konsantrasyonlarının artışı arasında doğrusal bir ilişki olduğu öngörülmüştür.

b) İkinci episod 04.03.2019 – 09.03.2019 tarihleri arasındadır. Bu episod için atmosferik kararlılık şartlarının oluştuğu, rüzgarın sakin olduğu gözlemlenmiştir. Bu periyot süresince Avrupa üzerinden toz taşınımı gerçekleşmiştir. Kararlı atmosfer şartları ve toz taşınımı nedeniyle partikül madde konsantrasyonu artış göstermiştir. SODAR ölçümlerine göre rüzgar sakin değerlerde değildir ve silyometre cihazları ile AST bulut taban seviyelerin ortalama ~1700 m civarında olduğu öngörülmüştür. Rüzgar değerleri sakin olmasa bile Batı Avrupa üzerinden gelen toz taşınımı nedeniyle kirlilik artışı meydana gelmiştir.

c) Üçüncü episod periyodu 28.04.2019 – 30.04.2019 tarihleri arasındadır. Bu episod periyodunda gece ve gündüz arasında ciddi sıcaklık farklılıklar oluşmuştur. Geceleri yere çok yakın bir seviyede enverziyon oluşurken gündüz ise konvektif hareketler meydana gelmiştir. SODAR ölçümleri ile aşağı seviyelerdeki rüzgar kayması değerlerinden yüzeye yakın enverziyon saptanmıştır. Gece enverziyonu nedeniyle kirlilik oluşumu şartlarının oluştuğu anlaşılmaktadır. Silyometre ölçüm verilerine göre bu episod periyodundaki bulut taban yükseklikleri diğer iki episoda göre daha yüksek seviyededir. Bu üçüncü episod sürecindeki gündüz düşey hareketler nispeten kuvvetlidir.

Silyometre ve SODAR cihazları ile AST yüksekliği belirleme ve AST'nin hava kalitesine etkilerinini araştırıldığı bu çalışmaların gelecek yıllarda LIDAR verilleriyle genişletilerek yapılması öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

Alföldy, B., Osán, J., Toth, Z., Török, S., Harbusch, A., Jahn, C., Emeis, S., and Schäfer, K., (2007). Aerosol optical depth, aerosol composition and air pollution during summer and winter conditions in Budapest. Sci. Total Environ., 383, 141–163, 2007

Angevine, W.M., & Senff, C.J., (2015). Observational Technique: Remote. Revision of the previous edition article by Angevine, Senff Westwater, volume 1, pp 271-279, © 2003, Elseiver Ltd.

Aygün, N., (1994). Terkos Gölü ve Çevresindeki Yerleşim Alanlarının İçme Suyu Üzerindeki Etkileri. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Beşeri ve İktisadi Coğrafya Anabilim Dalı, 65 s. , İstanbul

Baars, H., Ansmann, A., Engelmann, R., and Althausen, D., (2008). Continuous monitoring of the boundary-layer top with lidar, Atmos. Chem. Phys., 8, 7281–7296 https://doi.org/10.5194/acp-8-7281- 2008, 2008

Bachhour, D. & Astudillo, D.P. (2016). Ceilometer signal performance with height in high aerosol loads. Journal of Atmosphericand Solar Terrestrial Physics 138-139 (2016) 215-226

Baylan E., & Karadeniz, N., (2006). Terkos Gölü (İstanbul) örneğinde doğal ve kültürel çevrenin korunması ve geliştirilmesi üzerine bir araştırma. Tarım Bilimleri Dergisi 2006, 12 (2) 151-161 Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi

Beyrich, F., (1997).Mixing height estimation from sodar data-a critical discussion. Atmospheric Environment 31, 3941-3953

Beyrich, F., Görsdorf, U., (1995). Composing the diurnal cycle of mixing height from simultaneous SODAR and wind profiler measurements. Boundary-Layer Meteorology 76, 387–394

Bianco, L. & Wilczak, J.M. (2002). Convective boundary layer depth: improved measurement by doppler radar wind profiler using fuzzy logic methods. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology (2002) 19 (11): 1754-1758

Brooks, I. M., (2003). Finding Boundary Layer Top: Application of a Wavelet Covariance Transform to Lidar Backscatter Profiles, J. Atmos. Ocean. Tech., 20, 1092–1105

Burley, J.D. & Ray, J.D. (2007). Surface ozone in Yosemite National Park. Atmospheric environment 41 (2007) 6048-6062

Caicedo, V., Rappenglück, B., Lefer, B., Morris, G., Toledo, D., and Delgado, R., (2017). Comparison of aerosol lidar retrieval methods for boundary layer height detection using ceilometer aerosol backscatter data. Atmos. Meas. Tech., 10, 1609–1622, https://doi.org/10.5194/amt-10-1609-2017, 2017

Cohn, S. A. and Angevine, W. M., (2000). Boundary Layer Height and Entrainment Zone Thickness Measured by Lidars and Wind- Profiling Radars, J. Appl. Meteorol., 39, 1233–1247, 2000

Coulter, R.L., (1979). A comparision of three methods for measuring mixing layer height. Journal of Applied Meteorology 18, 1495-1499

Czader, B. H., Li, X., and Rappenglueck, B., (2013). CMAQ modeling and analysis of radicals, radical precursors and chemical transformations. J. Geophys. Res., 118, 11376–11387, https://doi.org/10.1002/jgrd.50807, 2013

Çetiner, A., Türkoğlu, H., ve Güngör, Ö.,. (1995). Terkos Havzası Sonuç Raporu Cilt I. İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Koruma Genel Müdürlüğü, İstanbul

Çapraz, Ö. (2013). İstanbul'da 2007-2012 yılları arasında hava kirliliğinin ölümler üzerindeki etkilerinin modellenmesi. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Devera, P.C.S., Ernest Ray, P., Murthy, B.S., Pandithurai, G., Sharma, S., Vernekar, K.G., (1995). Intercomparison ofnocturnal lower-atmospheric structure observed with LIDAR and SODAR techniques at Pune. Indian Journal of Applied Meteorology 34, 1375–1383

Dieudonné, E., Ravetta, F., Pelon, J., Goutail, F., and Pommereau, J.-P., (2013). Linking NO2 surface concentration and integrated content in the urban developed atmospheric boundary layer. Geophys. Res. Lett., 40, 1247–1251, https://doi.org/10.1002/grl.50242, 2013

Doğan, M., (2013). Geçmişten günümüze İstanbul'da sanayileşme süreci ve son 10 yıllık geelişimi. Marmara Coğrafya Dergisi, Sayı 27, Ocak 2013 S. 511-550.

Drzeniecka, A. (t.y..). Sodar application for air pollution meteorology. Retrieved May 20, 2020, from http://meteo.geo.uni.lodz.pl/icuc5/text/P_6_8.pdf

Emeis, S., (2009). Surface based remote sensing of the atmospheric boundary layer. Karlsruhe Instute of Technology Instute for Meteorology and Climate

Emeis, S., Münkel, C., Vogt, S., Müller, W.J., & Schafer, K. (2004). Atmospheric boundary layer structure from simultaneous SODAR, RASS and ceilometer measurements. Atmopsheric Environment 38 (2004) 273-286

Eresmaa, N., Karppinen, A., Joffre, S. M., Räsänen, J., and Talvitie, H., (2006). Mixing height determination by ceilometer. Atmos Atmos. Chem. Phys., 6, 1485–1493, https://doi.org/10.5194/acp 6-1485-2006, 2006

Eruz, E., Şengönül, K., ve Karagöz, Ö., (1995). Terkos Havzası Sonuç Raporu Cilt I. İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Koruma Genel Müdürlüğü, İstanbul

Endlich, R. M., Ludwig, F. L., and Uthe, E. E., (1979). An automatic method for determining the mixing depth from lidar observations. Atmos. Environ., 13, 1051–1056, https://doi.org/10.1016/0004-6981(79)90015-5, 1979

Flamant, C., Pelon, J., Flamant, P. H., and Durand, P., (1997). Lidar determination of the entrainment zone thickness at the top of the unstable marine atmospheric boundary layer. Bound.-Lay. Meteorol., 83, 247–284, https://doi.org/10.1023/A:1000258318944, 1997

Freedman, J.M., Fitzjarrald, D.R., Moore, K.E., & Skai, R.K. (2001). Boundary layer clouds and vegetation atmosphere feedbacs. Journal of Climate (2001) 12 (2):180-197.

Gariazzo, C., Pelliccioni, A., Scalisi, G., Sallusti, F. (2002). Air pollution concentrations analyzed by SODAR observa- tions and turbulence surface measurements. *Proceedings of 11th Symp. ISARS,* (pp.427–430). Italy: CNR/Rome, June 24-28

Garratt, J. R. (1992). Atmospheric Boundary Layer, Cambridge University Press 316 pp. Gill, A.E. 1982. Atmosphere-Ocean Dynamics, Academic Press, 662 pp.

Geiβ, A., Wiegner, M., Bonn, B., Schäfer, K., Forkel, R., Schneidemesser, E., Münkel, C., Chan, K.L., & Nothard, R. (2017). Mixing layer height as an indicator for urban air quality. Atmos. Meas. Tech., 10,2996-2988,2017, https://doi.org/10.5194/amt-10-2969-2017.

Gera, B.S., Singh, G., Ojha, V.K., Saxena, N., Gupta, P.K., Dutta, H.N. (2000). Studies of boundary layer parameters and air pollution concentration at different traffic junctions. *Proceedings of 10th Symp. ISARS,* (pp.256–259). New Zealand/Auckland, 26 Nov – 1 Dec

Hennemuth, B. & Lammert, A. (2006). Determination of the Atmospheric Boundary Layer Height From Radiosonde and Lidar Backscaktter. Boundary-Layer Meteorology (2006) 120: 181–200 DOI 10.1007/s10546-005-9035-3

Hooper, W. P., & Eloranta E. W., (1986). Lidar Measurements of Wind in the Planetary Boundary Layer: The Method, Accuracy and Results from Joint Measurements with Radiosonde and Kytoon, J. Clim. Appl. Meteorol., 25, 990–1001

İncecik, S., İm, U. (2013). *Megaşehirlerde hava kalitesi ve İstanbul örneği.*. Retrieved May 20, 2020, from http://hkadtmk.org/hkad/makaleler/cilt2/sayi4/HKAD-13-018.pdf

İncecik, S., (1994). A case study of nocturnal boundary layer using a diagnostic approach, Proc. 7th Int. Sym. on Acoustic Remote Sensing and Associated Techniques of the Atmosphere and Oceans, Boulder CO,31-36

İm, U., Ünal, A., Kindap, T., Yenigün, O., İncecik, S., (2013). İstanbul için yüksek çözünürlükte emisyon envanteri. Hava kirliliği ve kontrolü ulusal sempozyumu-2008, 22-25 Ekim 2008, Hatay

Kallistratova, M. A. & Coulter R. L. (2004). Application of SODARs in the study and monitoring of the environment. *Meteorology and Atmospheric Physic, 85,* 21-37

Keder, J., Berger, P., Cerny, A., Engst, P., Folttiny, F., Strizik, M. (2002). Operational measurement of air pollution concentrations in the Czech

Republic by combined LIDAR/SODAR techniques. *Proceedings of 11th Symp. ISARS*, (pp. 417–422). Italy: CNR/Rome, June 24-28

Köken, A., (1991). Terkos ve Büyükçekmece Gölleri Çevresinin Litolojik Özellikleri ve Jeomorfolojisi. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 112 s., İstanbul

Lange, D., Tiana-Alsina, J., Saeed, U., Tomas, S., and Rocadenbosch, F, (2014). Atmospheric Boundary Layer Height Monitoring Using a Kalman Filter and Backscatter Lidar Returns IEEE T. Geosci. Remote Sens. 52, 4717–4728, https://doi.org/10.1109/TGRS.2013.2284110, 2014

Marsik, F.J., Fischer, K.W., McDonald, T.D., Samson, P.J., (1995). Comparison ofmethods for estimating mixing layer height used during the 1992 Atlanta field initiative Journal of Applied Meteorology 34, 1802–1814.

Menut, L., Flamant, C., Pelon, J., and Flamant, P. H., (1999). Urban Boundary-Layer Height Determination from Lidar Measurements Over the Paris Area. Appl. Optics, 38, 945–954, https://doi.org/10.1364/AO.38.000945, 1999.

Maughan, R.A., Spanton, A.M., Williams, M.L. (1982). An analysis of the frequency distribution of SODAR derived mixing heights classified by atmospheric stability. Atmospheric Environment 16, 1209-1218

Özdemir, H., Unal, A., Kindap, T., Turuncoglu, U.U., Durmusoglu, Z.O., Khan, M., Tayanc, M., Karaca, M. (2011) Quantification of the urban heat island under a changing climate over Anatolian Peninsula**.** *Theoretical and Applied Climatology***.** doi:10.1007/s00704-011-0515-8

Pal, S., & Haeffelin, M., (2015). Forcing mechanisms governing diurnal, seasonal, and interannual variability in the boundary layer depths: Five years of continuous lidar observations over a suburban site near Paris. J. Geophys. Res.-Atmos., 120, 11936–11956, https://doi.org/10.1002/2015JD023268, 2015

Pal, S., Lee, T. R., Phelps, S., & De Wekker, S. F. J., (2014). Impact of atmospheric boundary layer depth variability and wind reversal on the diurnal variability of aerosol concentration at a valley site. Sci. Total Environ., 496, 424–434, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.07.067, 2014

Pekour, E., M.S, Kallistratova, M.A., (1993). SODAR study of the boundary layer over Moscow for air pollution application, Appl. Phys. B 57, 49-55, 1993

Peng, J., Grimmond, C.S.B., Fu, X., Chang, Y., Zhang, G., Guo, J., Tang, C., Gao, J., Xu, X., & Tan, J. (2017). Ceilometer-based analysis of Shangai's boundary layer Height (under rain and fog free conditions). Journal of Atmospheric and Oceanic Technology (2017) 34 (4):749-764

Roisin, B.C. (2008). Environmental Fluid Mechanics. Thayer Shool of Engineering, Darthmouth Collage, Hannower, New Hamisphere 03755/USA.

Schäfer, K., Wagner, P., Emeis, S., Jahn, C., Münkel, C., and Suppan, P., (2012). Mixing layer height and air pollution levels in urban area, in: Remote Sensing of Clouds and the Atmosphere XVII; and Lidar Technologies, Techniques, and Measurements for Atmospheric Remote Sensing VIII,

edited by: Kassianov, E. I., Comeron, A., Picard, R. H., Schäfer, K., Singh, U. N., and Pappalardo, G., Proc. of SPIE, 8534, https://doi.org/10.1117/12.974328, 2012

Schäfer, K., Jardines, E.F., Emeis, S., Grutter, M., Kurtenbach, R., Wiesen, P., Münkel, C. (2009). Determination of mixing layer heights by ceilometer and influences upon air quality at Mexico City airport. The International Society for Optical Engineering, 2009, DOI:10.1117/12.830425

Schäfer, K., Emeis, S., Hoffmann, H., and Jahn, C., (2006). Influence of mixing layer height upon air pollution in urban and sub-urban areas. Meteorol. Z., 15, 647–658, 2006

Seibert, P., Beyrich, F., Gryning, S. E., Joffre, S., Rasmussen, A., and Tercier, P., (2000). Review and intercomparison of operational methods for the determination of the mixing height, Atmos. Environ., 34, 1001–1027, 2000

Sun, Y., Song, T., Tang, G., and Wang, Y., (2013). The vertical distribution of PM2:5 and boundary-layer structure during summer haze in Beijing. Atmos. Environ., 74, 413–421, https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.03.011, 2013

Tang, G., Zhu, X., Hu, B., Xin, J., Wang, L., Münkel, C., Mao, G., & Wang, Y., (2015). The vertical distribution of PM2:5 and boundary-layer structure during summer haze in Beijing. Impact of emission controls on air quality in Beijing during APEC 2014: lidar ceilometer observations, Atmos. Chem. Phys., 15, 12667–12680, https://doi.org/10.5194/acp-15- 12667-2015, 2015

Teixeria, J., & Hogan, T. (2002). Boundary layer clouds in a global atmospheric model: simple cloud cover parametrizations. J.Climate (2002) **15** (11): 1261–1276. https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<1261:BLCIAG>2.0.CO;2

Wagner, P. and Schäfer, K., (2015). Influence of mixing layer height on air pollutant concentrations in an urban street canyon. Urban Climate, https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.11.001, in press, 2015

White, A. B., (1993). Mixing depth detection using 915-MHz radar reflectivity data. Preprints, *Eighth Symp. on Observations and Instrumentation*, Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc., 248–250.

Url-1 <https://www.mgm.gov.tr/genel/sss.aspx?s=atmosfer
Url-2 <https://www.etimolojiturkce.com/kelime/atmosfer
Url-3 <https://www.britannica.com/science/planetary-boundary-layer
Url-4
<https://www.metoffice.gov.uk/research/foundation/parametrizations/boundary-layer
Url-5 <http://cevreonline.com/hava-kirliligi/
Url-6 <https://www.temizhavahakki.com/kara-rapor/
Url-7 <http://www.resmiistatistik.gov.tr/

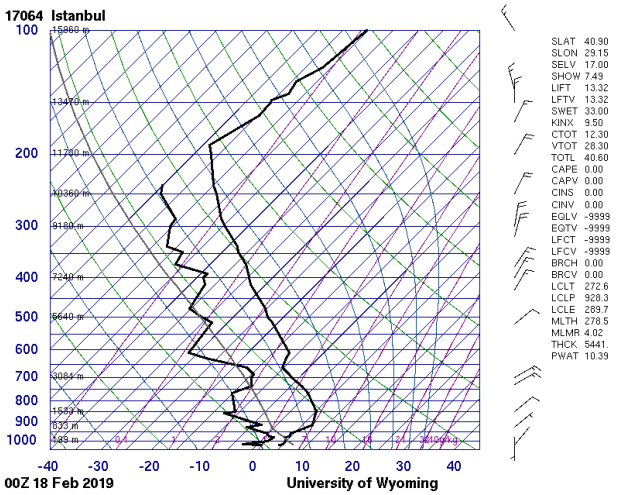
Url-8 <https://www.tepav.org.tr/tr/haberler/s/4052
Url-9
<https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fprofile%2FYolcu_Aldirmaz%2Fpublication%2F322303063%2Ffigure%2Ffig2%2FAS%3A631594687688721%401527595316388%2Ffigure-fig2_Q320.jpg&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fpublication%2F322303063_Istanbul_Ilinde_Sanayi_Tarihsel_Gelisim_Yapisal_Degisim_Mekansal_Donusum&tbnid=B8tja-eiyGBKYM&vet=12ahUKEwil6rf4mv3pAhXq8eAKHaQNC8oQMygFegUIARCxAQ..i&docid=EwqOiHrw6qcM1M&w=320&h=320&q=istanbuldaki%20sanayi%20b%C3%B6lgeleri%20haritas%C4%B1%20&ved=2ahUKEwil6rf4mv3pAhXq8eAKHaQNC8oQMygFegUIARCxAQ#h=320&imgdii=zGd8Wq-pSWZX8M&vet=12ahUKEwil6rf4mv3pAhXq8eAKHaQNC8oQMygFegUIARCxAQ..i&w=320
Url-10 <https://havakalitesi.ibb.istanbul/Pages/AirQualityDetails/d9f15eae-128a-4a71-ad30-141b4728a520

Url-11 <https://www.biral.com/product/cloud-ceilometer/

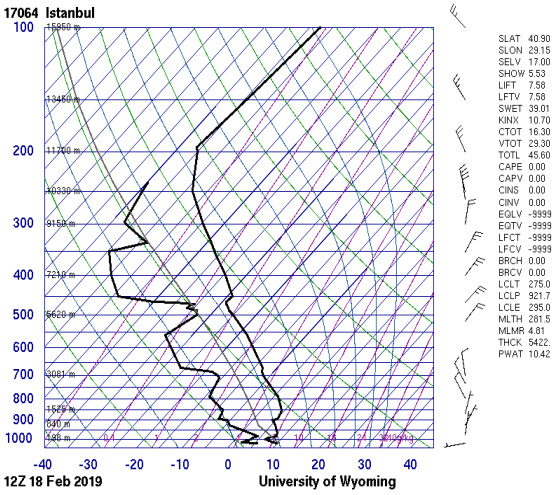
EKLER

EK 1: Skew-T Diyagramları

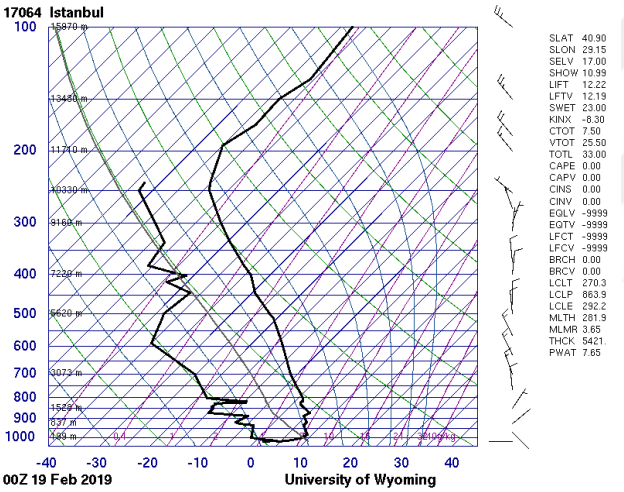
EK 1


17064 Istanbul
SLAT 40.90
SLON 29.15
SELV 17.00
SHOW 7.49
LIFT 13.32
LFTV 13.32
SWET 33.00
KINX 9.50
CTOT 12.30
VTOT 28.30
TOTL 40.60
CAPE 0.00
CAPV 0.00
CINS 0.00
CINV 0.00
EQLV -9999
EQTV -9999
LFCT -9999
LFCV -9999
BRCH 0.00
BRCV 0.00
LCLT 272.6
LCLP 926.3
LCLE 289.7
MLTH 278.5
MLMR 4.02
THCK 5441.
PWAT 10.39
00Z 18 Feb 2019
University of Wyoming

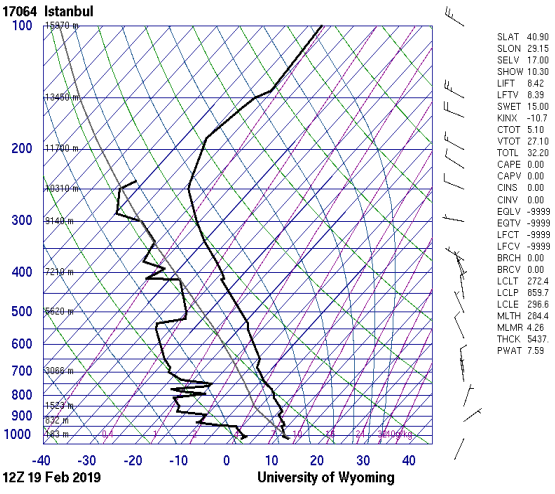
(a)


17064 Istanbul
SLAT 40.90
SLON 29.15
SELV 17.00
SHOW 5.53
LIFT 7.58
LFTV 7.58
SWET 39.01
KINX 10.70
CTOT 16.30
VTOT 29.30
TOTL 45.60
CAPE 0.00
CAPV 0.00
CINS 0.00
CINV 0.00
EQLV -9999
EQTV -9999
LFCT -9999
LFCV -9999
BRCH 0.00
BRCV 0.00
LCLT 275.0
LCLP 921.7
LCLE 295.0
MLTH 281.5
MLMR 4.81
THCK 5422.
PWAT 10.42
12Z 18 Feb 2019
University of Wyoming

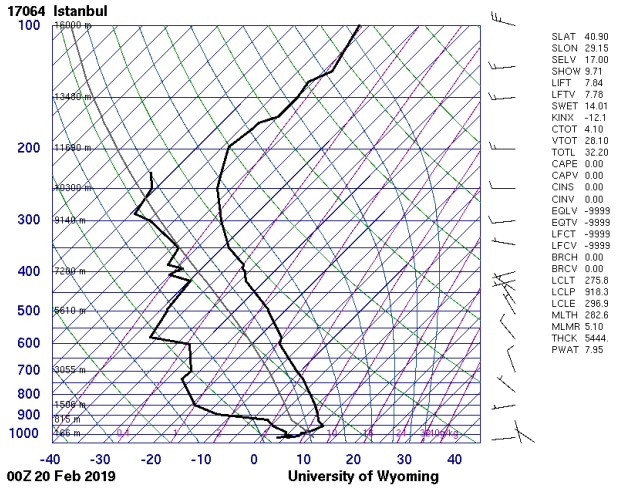
(b)


17064 Istanbul
SLAT 40.90
SLON 29.15
SELV 17.00
SHOW 10.99
LIFT 12.22
LFTV 12.19
SWET 23.00
KINX -8.30
CTOT 7.50
VTOT 25.50
TOTL 33.00
CAPE 0.00
CAPV 0.00
CINS 0.00
CINV 0.00
EQLV -9999
EQTV -9999
LFCT -9999
LFCV -9999
BRCH 0.00
BRCV 0.00
LCLT 270.3
LCLP 863.9
LCLE 292.2
MLTH 281.9
MLMR 3.65
THCK 5421.
PWAT 7.65
00Z 19 Feb 2019
University of Wyoming

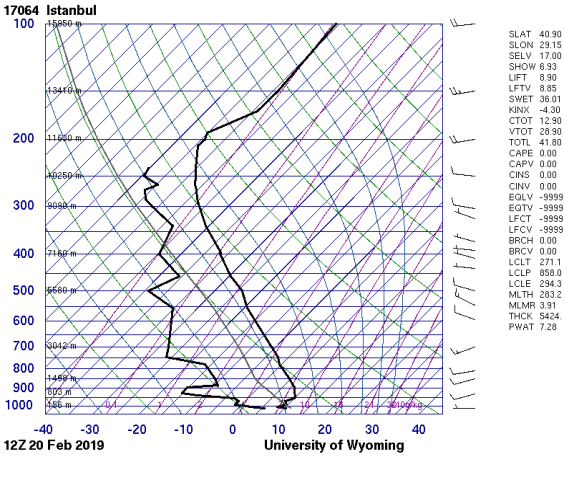
(c)


17064 Istanbul
SLAT 40.90
SLON 29.15
SELV 17.00
SHOW 10.30
LIFT 8.42
LFTV 8.39
SWET 15.00
KINX -10.7
CTOT 5.10
VTOT 27.10
TOTL 32.20
CAPE 0.00
CAPV 0.00
CINS 0.00
CINV 0.00
EQLV -9999
EQTV -9999
LFCT -9999
LFCV -9999
BRCH 0.00
BRCV 0.00
LCLT 272.4
LCLP 859.7
LCLE 296.6
MLTH 284.4
MLMR 4.26
THCK 5437.
PWAT 7.59
12Z 19 Feb 2019
University of Wyoming

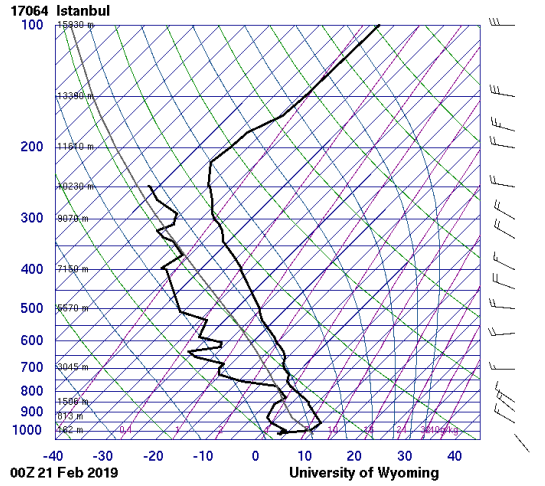
(d)


17064 Istanbul
SLAT 40.90
SLON 29.15
SELV 17.00
SHOW 9.71
LIFT 7.84
LFTV 7.78
SWET 14.01
KINX -12.1
CTOT 4.10
VTOT 28.10
TOTL 32.20
CAPE 0.00
CAPV 0.00
CINS 0.00
CINV 0.00
EQLV -9999
EQTV -9999
LFCT -9999
LFCV -9999
BRCH 0.00
BRCV 0.00
LCLT 275.8
LCLP 918.3
LCLE 296.9
MLTH 282.6
MLMR 5.10
THCK 5444.
PWAT 7.95
00Z 20 Feb 2019
University of Wyoming

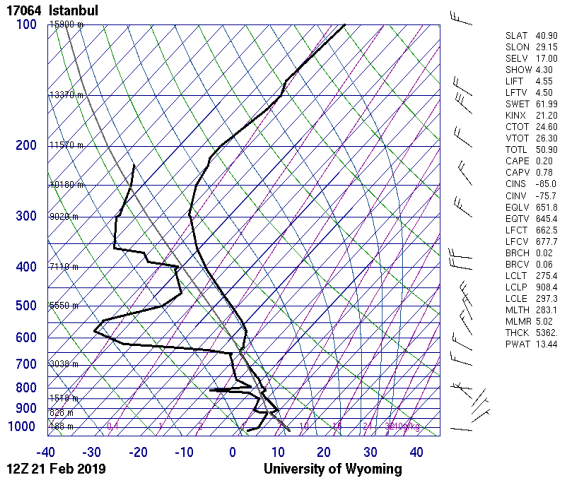
(e)


17064 Istanbul
SLAT 40.90
SLON 29.15
SELV 17.00
SHOW 6.93
LIFT 6.90
LFTV 6.85
SWET 36.01
KINX -4.30
CTOT 12.90
VTOT 28.90
TOTL 41.80
CAPE 0.00
CAPV 0.00
CINS 0.00
CINV 0.00
EQLV -9999
EQTV -9999
LFCT -9999
LFCV -9999
BRCH 0.00
BRCV 0.00
LCLT 271.1
LCLP 858.0
LCLE 294.3
MLTH 283.2
MLMR 3.91
THCK 5424.
PWAT 7.28
12Z 20 Feb 2019
University of Wyoming

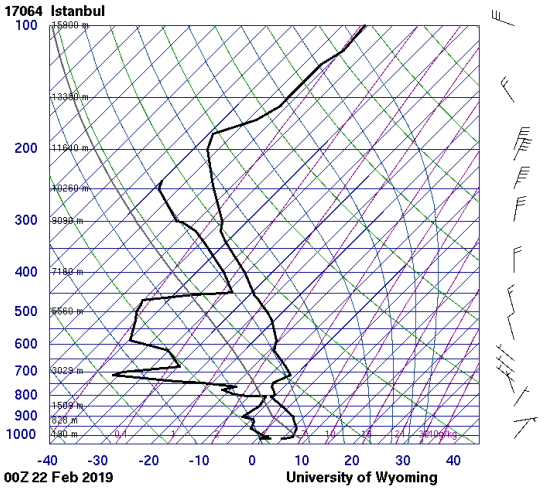
(f)


17064 Istanbul
00Z 21 Feb 2019
University of Wyoming
SLAT 40.90
SLON 29.15
SELV 17.00
SHOW 3.44
LIFT 6.66
LFTV 6.61
SWET 85.01
KINX 12.70
CTOT 22.50
VTOT 28.50
TOTL 51.00
CAPE 0.00
CAPV 0.00
CINS 0.00
CINV 0.00
EQLV -9999
EQTV -9999
LFCT -9999
LFCV -9999
BRCH 0.00
BRCV 0.00
LCLT 274.9
LCLP 911.7
LCLE 295.7
MLTH 282.2
MLMR 4.81
THCK 5408.
PWAT 12.24

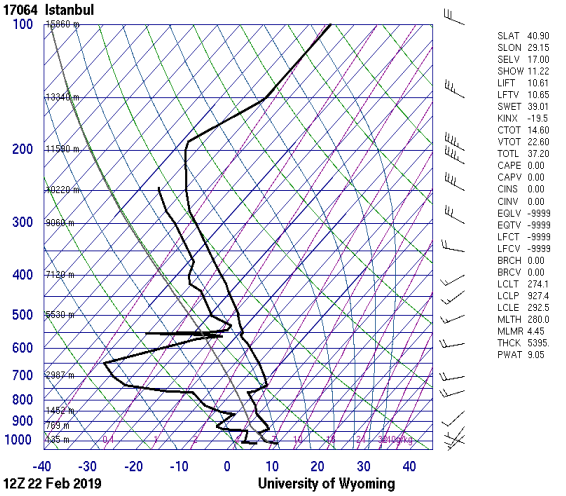
(g)


17064 Istanbul
12Z 21 Feb 2019
University of Wyoming
SLAT 40.90
SLON 29.15
SELV 17.00
SHOW 4.30
LIFT 4.55
LFTV 4.50
SWET 61.99
KINX 21.20
CTOT 24.60
VTOT 26.30
TOTL 50.90
CAPE 0.20
CAPV 0.78
CINS -65.0
CINV -75.7
EQLV 651.8
EQTV 645.4
LFCT 662.5
LFCV 677.7
BRCH 0.02
BRCV 0.06
LCLT 275.4
LCLP 908.4
LCLE 297.3
MLTH 283.1
MLMR 5.02
THCK 5362.
PWAT 13.44

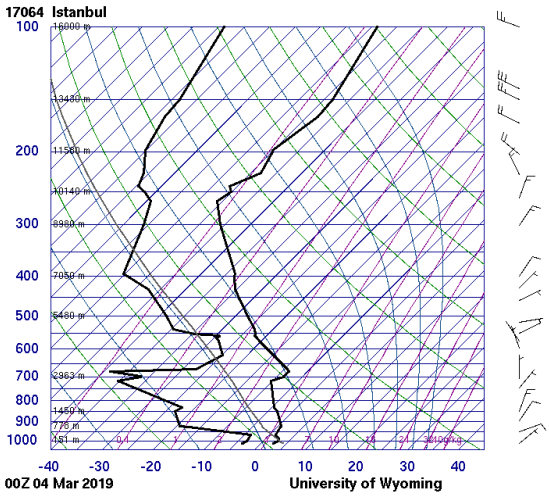
(h)


17064 Istanbul
00Z 22 Feb 2019
University of Wyoming
SLAT 40.90
SLON 29.15
SELV 17.00
SHOW 10.87
LIFT 12.53
LFTV 12.43
SWET 28.01
KINX -17.4
CTOT 17.10
VTOT 21.60
TOTL 38.70
CAPE 0.00
CAPV 0.00
CINS 0.00
CINV 0.00
EQLV -9999
EQTV -9999
LFCT -9999
LFCV -9999
BRCH 0.00
BRCV 0.00
LCLT 271.2
LCLP 893.5
LCLE 290.7
MLTH 280.1
MLMR 3.77
THCK 5370.
PWAT 8.92

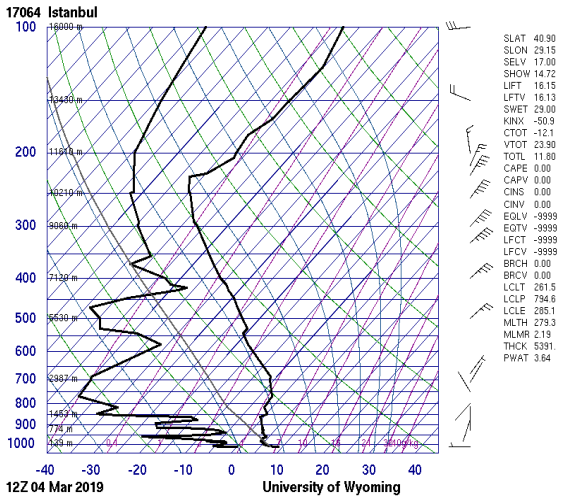
(i)


17064 Istanbul
12Z 22 Feb 2019
University of Wyoming
SLAT 40.90
SLON 29.15
SELV 17.00
SHOW 11.22
LIFT 10.61
LFTV 10.65
SWET 39.01
KINX -19.5
CTOT 14.60
VTOT 22.60
TOTL 37.20
CAPE 0.00
CAPV 0.00
CINS 0.00
CINV 0.00
EQLV -9999
EQTV -9999
LFCT -9999
LFCV -9999
BRCH 0.00
BRCV 0.00
LCLT 274.1
LCLP 927.4
LCLE 292.5
MLTH 280.0
MLMR 4.45
THCK 5395.
PWAT 9.05

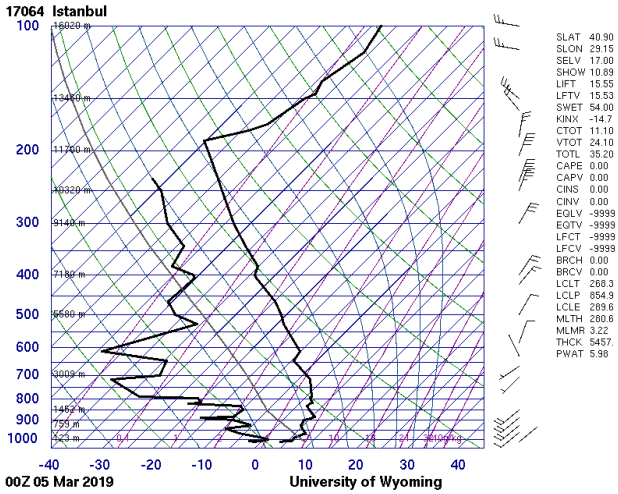
(j)


17064 Istanbul
00Z 04 Mar 2019
University of Wyoming
SLAT 40.90
SLON 29.15
SELV 17.00
SHOW 12.42
LIFT 12.79
LFTV 12.78
SWET 34.01
KINX -26.7
CTOT 4.40
VTOT 24.40
TOTL 28.80
CAPE 0.00
CAPV 0.00
CINS 0.00
CINV 0.00
EQLV -9999
EQTV -9999
LFCT -9999
LFCV -9999
BRCH 0.00
BRCV 0.00
LCLT 268.1
LCLP 899.5
LCLE 284.6
MLTH 276.3
MLMR 2.34
THCK 5329.
PWAT 4.84

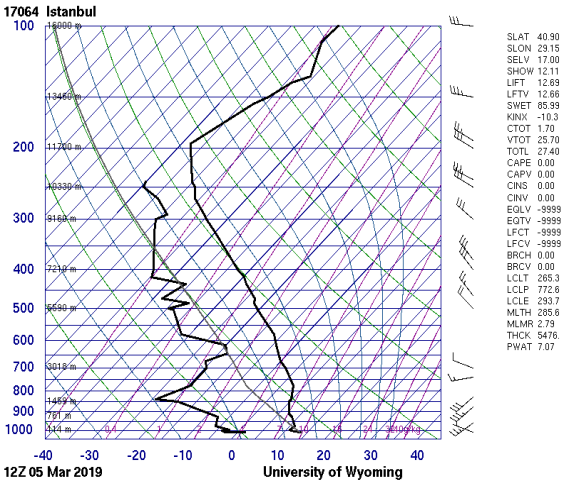
(k)


17064 Istanbul
12Z 04 Mar 2019
University of Wyoming
SLAT 40.90
SLON 29.15
SELV 17.00
SHOW 14.72
LIFT 16.15
LFTV 16.13
SWET 29.00
KINX -50.9
CTOT -12.1
VTOT 23.90
TOTL 11.80
CAPE 0.00
CAPV 0.00
CINS 0.00
CINV 0.00
EQLV -9999
EQTV -9999
LFCT -9999
LFCV -9999
BRCH 0.00
BRCV 0.00
LCLT 261.5
LCLP 794.6
LCLE 285.1
MLTH 279.3
MLMR 2.19
THCK 5391.
PWAT 3.64

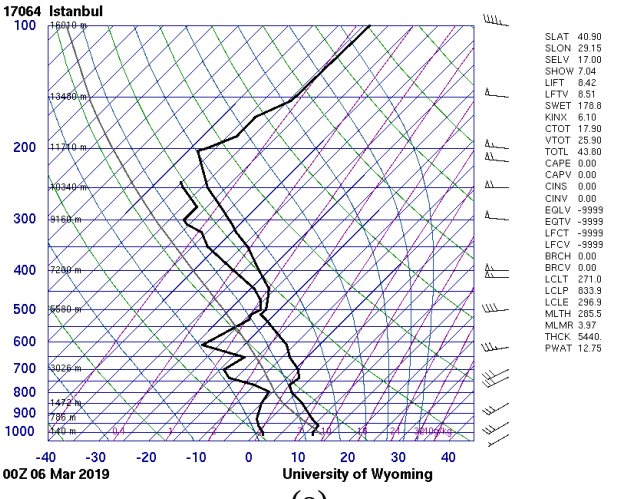
(l)


17064 Istanbul
SLAT 40.90
SLON 29.15
SELV 17.00
SHOW 10.89
LIFT 15.55
LFTV 15.53
SWET 54.00
KINX -14.7
CTOT 11.10
VTOT 24.10
TOTL 35.20
CAPE 0.00
CAPV 0.00
CINS 0.00
CINV 0.00
EQLV -9999
EQTV -9999
LFCT -9999
LFCV -9999
BRCH 0.00
BRCV 0.00
LCLT 268.3
LCLP 854.9
LCLE 289.6
MLTH 280.6
MLMR 3.22
THCK 5457.
PWAT 5.98
00Z 05 Mar 2019
University of Wyoming

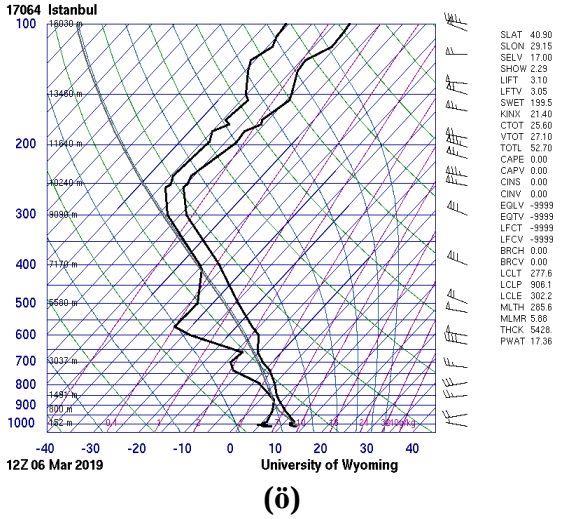
(m)


17064 Istanbul
SLAT 40.90
SLON 29.15
SELV 17.00
SHOW 12.11
LIFT 12.69
LFTV 12.66
SWET 85.99
KINX -10.3
CTOT 1.70
VTOT 25.70
TOTL 27.40
CAPE 0.00
CAPV 0.00
CINS 0.00
CINV 0.00
EQLV -9999
EQTV -9999
LFCT -9999
LFCV -9999
BRCH 0.00
BRCV 0.00
LCLT 265.3
LCLP 772.6
LCLE 293.7
MLTH 285.6
MLMR 2.79
THCK 5476.
PWAT 7.07
12Z 05 Mar 2019
University of Wyoming

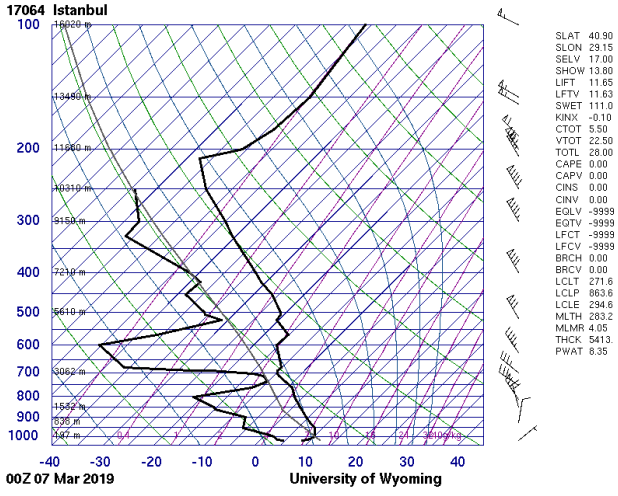
(n)


17064 Istanbul
SLAT 40.90
SLON 29.15
SELV 17.00
SHOW 7.04
LIFT 6.42
LFTV 8.51
SWET 178.8
KINX 6.10
CTOT 17.90
VTOT 25.90
TOTL 43.80
CAPE 0.00
CAPV 0.00
CINS 0.00
CINV 0.00
EQLV -9999
EQTV -9999
LFCT -9999
LFCV -9999
BRCH 0.00
BRCV 0.00
LCLT 271.0
LCLP 833.8
LCLE 296.9
MLTH 285.5
MLMR 3.97
THCK 5440.
PWAT 12.75
00Z 06 Mar 2019
University of Wyoming

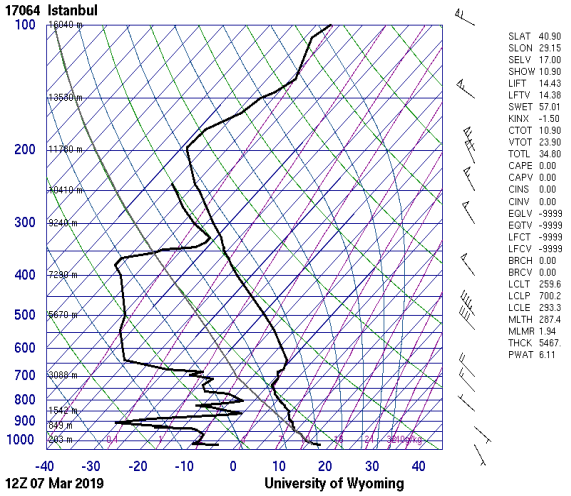
(o)


17064 Istanbul
SLAT 40.90
SLON 29.15
SELV 17.00
SHOW 2.29
LIFT 3.10
LFTV 3.05
SWET 199.5
KINX 21.40
CTOT 25.60
VTOT 27.10
TOTL 52.70
CAPE 0.00
CAPV 0.00
CINS 0.00
CINV 0.00
EQLV -9999
EQTV -9999
LFCT -9999
LFCV -9999
BRCH 0.00
BRCV 0.00
LCLT 277.6
LCLP 906.1
LCLE 302.2
MLTH 285.6
MLMR 5.66
THCK 5428.
PWAT 17.36
12Z 06 Mar 2019
University of Wyoming

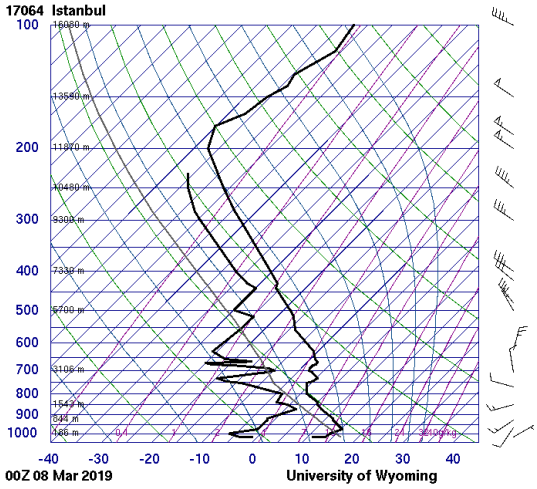
(ö)


17064 Istanbul
SLAT 40.90
SLON 29.15
SELV 17.00
SHOW 13.80
LIFT 11.65
LFTV 11.63
SWET 111.0
KINX -0.10
CTOT 5.50
VTOT 22.50
TOTL 28.00
CAPE 0.00
CAPV 0.00
CINS 0.00
CINV 0.00
EQLV -9999
EQTV -9999
LFCT -9999
LFCV -9999
BRCH 0.00
BRCV 0.00
LCLT 271.6
LCLP 863.6
LCLE 294.6
MLTH 283.2
MLMR 4.05
THCK 5413.
PWAT 8.35
00Z 07 Mar 2019
University of Wyoming

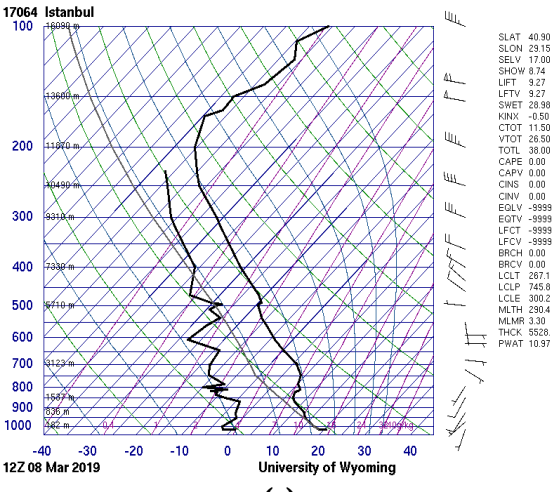
(p)


17064 Istanbul
SLAT 40.90
SLON 29.15
SELV 17.00
SHOW 10.90
LIFT 14.43
LFTV 14.38
SWET 57.01
KINX -1.50
CTOT 10.90
VTOT 23.90
TOTL 34.80
CAPE 0.00
CAPV 0.00
CINS 0.00
CINV 0.00
EQLV -9999
EQTV -9999
LFCT -9999
LFCV -9999
BRCH 0.00
BRCV 0.00
LCLT 259.6
LCLP 700.2
LCLE 293.3
MLTH 287.4
MLMR 1.94
THCK 5467.
PWAT 6.11
12Z 07 Mar 2019
University of Wyoming

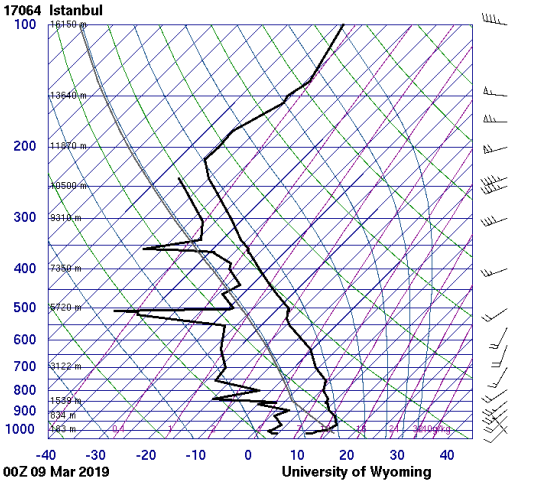
(r)


17064 Istanbul
00Z 08 Mar 2019
University of Wyoming
SLAT 40.90
SLON 29.15
SELV 17.00
SHOW 7.09
LIFT 12.65
LFTV 12.67
SWET 55.98
KINX 16.70
CTOT 18.10
VTOT 24.10
TOTL 42.20
CAPE 0.00
CAPV 0.00
CINS 0.00
CINV 0.00
EQLV -9999
EQTV -9999
LFCT -9999
LFCV -9999
BRCH 0.00
BRCV 0.00
LCLT 265.8
LCLP 754.0
LCLE 296.8
MLTH 288.1
MLMR 2.97
THCK 5514.
PWAT 13.69

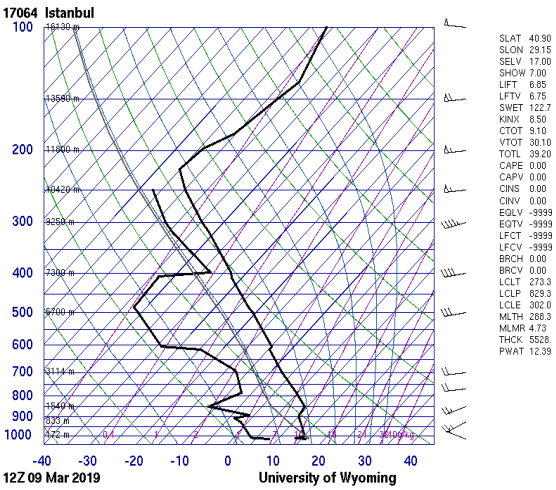
(s)


17064 Istanbul
12Z 08 Mar 2019
University of Wyoming
SLAT 40.90
SLON 29.15
SELV 17.00
SHOW 8.74
LIFT 9.27
LFTV 9.27
SWET 28.98
KINX -0.50
CTOT 11.50
VTOT 26.50
TOTL 38.00
CAPE 0.00
CAPV 0.00
CINS 0.00
CINV 0.00
EQLV -9999
EQTV -9999
LFCT -9999
LFCV -9999
BRCH 0.00
BRCV 0.00
LCLT 267.1
LCLP 745.8
LCLE 300.2
MLTH 290.4
MLMR 3.30
THCK 5528.
PWAT 10.97

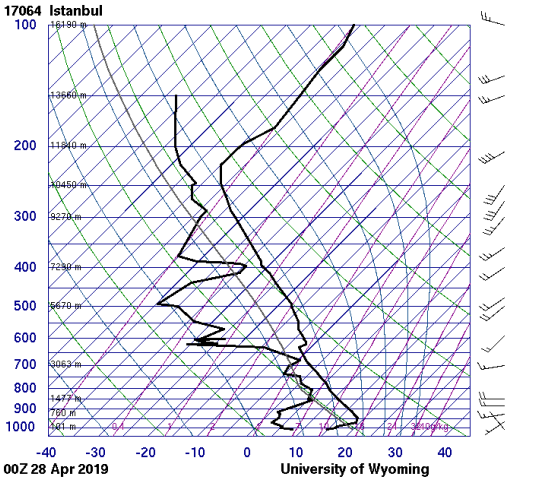
(ş)


17064 Istanbul
00Z 09 Mar 2019
University of Wyoming
SLAT 40.90
SLON 29.15
SELV 17.00
SHOW 7.67
LIFT 9.38
LFTV 9.37
SWET 100.8
KINX 3.90
CTOT 13.50
VTOT 26.50
TOTL 40.00
CAPE 0.00
CAPV 0.00
CINS 0.00
CINV 0.00
EQLV -9999
EQTV -9999
LFCT -9999
LFCV -9999
BRCH 0.00
BRCV 0.00
LCLT 274.3
LCLP 645.0
LCLE 302.1
MLTH 287.8
MLMR 4.96
THCK 5537.
PWAT 13.00

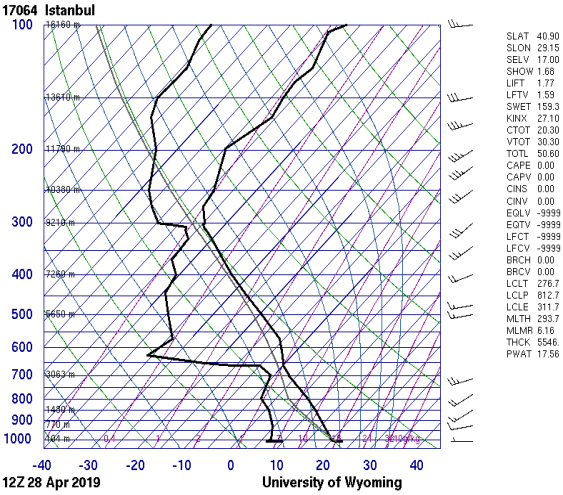
(t)


17064 Istanbul
12Z 09 Mar 2019
University of Wyoming
SLAT 40.90
SLON 29.15
SELV 17.00
SHOW 7.00
LIFT 6.85
LFTV 6.75
SWET 122.7
KINX 8.50
CTOT 9.10
VTOT 30.10
TOTL 39.20
CAPE 0.00
CAPV 0.00
CINS 0.00
CINV 0.00
EQLV -9999
EQTV -9999
LFCT -9999
LFCV -9999
BRCH 0.00
BRCV 0.00
LCLT 273.3
LCLP 629.3
LCLE 302.0
MLTH 288.3
MLMR 4.73
THCK 5528.
PWAT 12.39

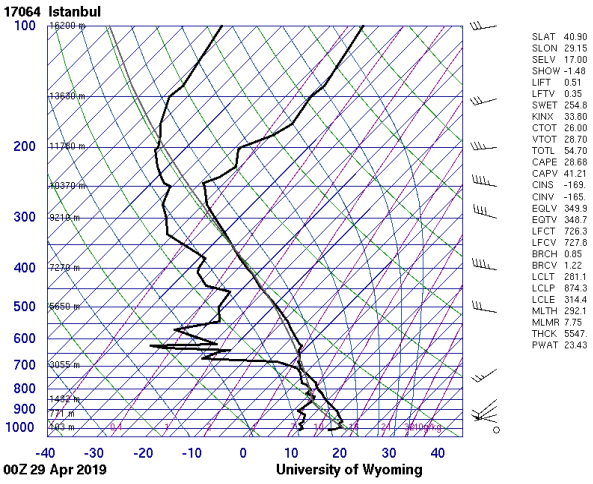
(u)


17064 Istanbul
00Z 28 Apr 2019
University of Wyoming
SLAT 40.90
SLON 29.15
SELV 17.00
SHOW 1.10
LIFT 6.76
LFTV 6.63
SWET 140.9
KINX 28.90
CTOT 22.10
VTOT 28.10
TOTL 50.20
CAPE 0.00
CAPV 0.00
CINS 0.00
CINV 0.00
EQLV -9999
EQTV -9999
LFCT -9999
LFCV -9999
BRCH 0.00
BRCV 0.00
LCLT 274.2
LCLP 798.8
LCLE 307.5
MLTH 292.3
MLMR 5.23
THCK 5569.
PWAT 20.10

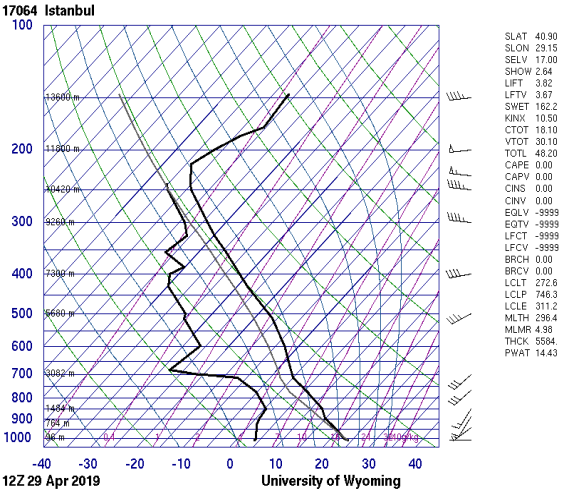
(ü)


17064 Istanbul
12Z 28 Apr 2019
University of Wyoming
SLAT 40.90
SLON 29.15
SELV 17.00
SHOW 1.68
LIFT 1.77
LFTV 1.59
SWET 159.3
KINX 27.10
CTOT 20.30
VTOT 30.30
TOTL 50.60
CAPE 0.00
CAPV 0.00
CINS 0.00
CINV 0.00
EQLV -9999
EQTV -9999
LFCT -9999
LFCV -9999
BRCH 0.00
BRCV 0.00
LCLT 276.7
LCLP 812.7
LCLE 311.7
MLTH 293.7
MLMR 6.16
THCK 5546.
PWAT 17.56

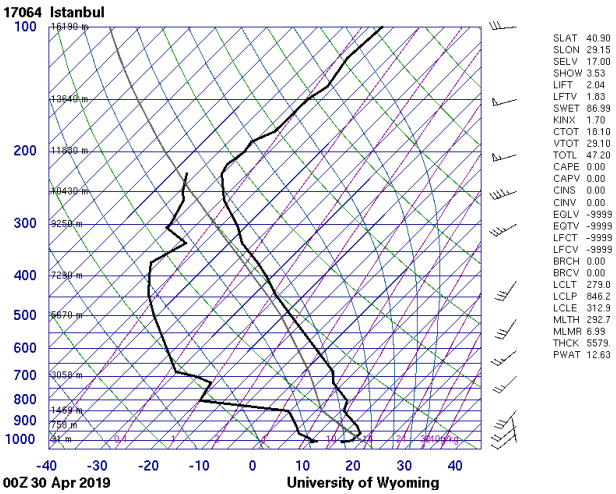
(v)


17064 Istanbul
SLAT 40.90
SLON 29.15
SELV 17.00
SHOW -1.48
LIFT 0.51
LFTV 0.35
SWET 254.8
KINX 33.80
CTOT 26.00
VTOT 28.70
TOTL 54.70
CAPE 28.68
CAPV 41.21
CINS -169.
CINV -165.
EQLV 349.9
EQTV 348.7
LFCT 726.3
LFCV 727.8
BRCH 0.85
BRCV 1.22
LCLT 281.1
LCLP 874.3
LCLE 314.4
MLTH 292.1
MLMR 7.75
THCK 5547.
PWAT 23.43
00Z 29 Apr 2019
University of Wyoming

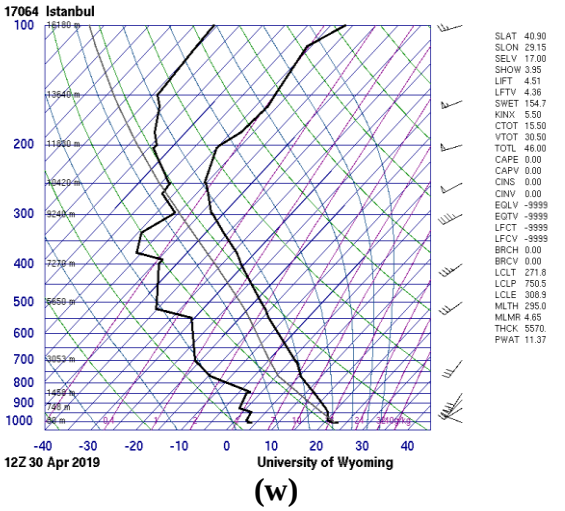
(y)


17064 Istanbul
SLAT 40.90
SLON 29.15
SELV 17.00
SHOW 2.64
LIFT 3.82
LFTV 3.67
SWET 162.2
KINX 10.50
CTOT 18.10
VTOT 30.10
TOTL 48.20
CAPE 0.00
CAPV 0.00
CINS 0.00
CINV 0.00
EQLV -9999
EQTV -9999
LFCT -9999
LFCV -9999
BRCH 0.00
BRCV 0.00
LCLT 272.6
LCLP 746.3
LCLE 311.2
MLTH 296.4
MLMR 4.98
THCK 5584.
PWAT 14.43
12Z 29 Apr 2019
University of Wyoming

(z)


17064 Istanbul
SLAT 40.90
SLON 29.15
SELV 17.00
SHOW 3.53
LIFT 2.04
LFTV 1.83
SWET 86.99
KINX 1.70
CTOT 18.10
VTOT 29.10
TOTL 47.20
CAPE 0.00
CAPV 0.00
CINS 0.00
CINV 0.00
EQLV -9999
EQTV -9999
LFCT -9999
LFCV -9999
BRCH 0.00
BRCV 0.00
LCLT 279.0
LCLP 846.2
LCLE 312.9
MLTH 292.7
MLMR 6.99
THCK 5579.
PWAT 12.63
00Z 30 Apr 2019
University of Wyoming

(x)


17064 Istanbul
SLAT 40.90
SLON 29.15
SELV 17.00
SHOW 3.95
LIFT 4.51
LFTV 4.36
SWET 154.7
KINX 5.50
CTOT 15.50
VTOT 30.50
TOTL 46.00
CAPE 0.00
CAPV 0.00
CINS 0.00
CINV 0.00
EQLV -9999
EQTV -9999
LFCT -9999
LFCV -9999
BRCH 0.00
BRCV 0.00
LCLT 271.8
LCLP 750.5
LCLE 308.9
MLTH 295.0
MLMR 4.65
THCK 5570.
PWAT 11.37
12Z 30 Apr 2019
University of Wyoming

(w)

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad **:Hande Temur**

Doğum Tarihi ve Yeri **:20.05.1985 / Ankara**

E-posta **:** temurh@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2014, İstanbul Teknik Üniversitesi Meteoroloji Mühendisliği