

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İSTANBUL KAĞITHANE BÖLGESİNDE YÜKSEK PM10
KONSANTRASYONLARININ METEOROLOJİK OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kübra AĞAÇ

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

ARALIK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İSTANBUL KAĞITHANE BÖLGESİNDE YÜKSEK PM10
KONSANTRASYONLARININ METEOROLOJİK OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Kübra AĞAÇ
(511131010)**

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ali DENİZ

ARALIK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 511131010 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Kübra AĞAÇ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “İSTANBUL KAĞITHANE BÖLGESİNDE YÜKSEK PM10 KONSANTRASYONLARININ METEOROLOJİK OLARAK İNCELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Ali DENİZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Selahattin İNCECİK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mete TAYANÇ
Marmara Üniversitesi

Teslim Tarihi : 26 Kasım 2015
Savunma Tarihi : 08 Mart 2016

Ailem'e,

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans öğrenimim boyunca yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Ali DENİZ'e, tezimin ortaya çıkışında büyük yardımları olan hocam Yard.Doç.Dr. Hüseyin ÖZDEMİR'e, hava kirliliği verilerinin temin edilmesini sağlayan Muhammet DOĞAN'a, başta Araş Gör. Toprak ASLAN, Araş.Gör. Bahtiyar EFE, Mert SAYINTA, Nur GÖKTEPE, Merve AÇAR, Zeki ÇELİKBAŞ olmak üzere burada isimlerini sayamadığım kıymetli arkadaşlarıma ve hayatımın her aşamasında moral ve motivasyon kaynağı olan aileme yardımları için teşekkür ederim.

112Y319 No'lu projeden dolayı TÜBİTAK' a teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2015

Kübra Ağaç
Meteoroloji Mühendisi / Matematik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	xix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xviii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	25
1.1 Tezin Amacı	27
1.2 Literatür Araştırması	27
2. HAVA KİRLİLİĞİ	31
2.1 Partiküler Madde Kirliliği	32
2.2 Hava Kirliliğini Etkileyen Meteorolojik ve Çevresel Faktörler.....	33
2.2.1 Rüzgar etkisi.....	33
2.2.2 Atmosferik sınır tabaka kararlılığı	33
2.2.3 Topoğrafya etkisi.....	34
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	37
3.1 Çalışma Alanı ve Veri	37
3.2 Meteorolojik Analizler	42
3.2.1 WRF modeli.....	42
3.2.2 HYSPLIT modeli	44
3.2.3 SODAR ölçümleri.....	45
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	49
4.1 PM10 Ölçüm Sonuçları.....	49
4.2 Meteorolojik Analizler	53
4.3 Model Sonuçları (WRF ve HYSPLIT).....	57
4.4 SODAR Analizleri	73
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	77
KAYNAKLAR	81
ÖZGEÇMİŞ.....	85

KISALTMALAR

EU	: European Union
WRF	: Weather Research and Forecasting
HYSPLIT	: Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory
SODAR	: Sound Detection and Ranging
PM	: Particulate Matter
RAQMS	: Real-Time Air Quality Modelling System
CMAQ	: Community Multiscale Air Quality
CALPUFF	: California Puff Model
AOD	: Aerosol Optical Depth
RegCM4.1	: Regional Climate Model 4.1
ANN	: Artificial Neural Network
KOAH	: Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı
NCAR	: The National Center for Atmospheric Research
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration
NCEP	: National Center for Environmental Prediction
FSL	: Forecast Systems Laboratory
AFWA	: Air Force Weather Agency
NRL	: Naval Research Laboratory
FAA	: Federal Aviation Administration
NCL	: NCAR Command Language

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Kirletici parametreler ve sağlık etkileri (Url-1).....	31
Çizelge 2.2 : Kirletici parametreler için hava kalitesi sınır değerleri (Url-2).....	32
Çizelge 3.1 : Kağıthane ilçesi nüfus bilgileri.....	37
Çizelge 3.2 : İstanbul'daki emisyonların kaynaklarına göre miktarları	38
Çizelge 3.3 : WRF modeli fizik parametrizasyonu.....	44
Çizelge 4.1 : 2012-2014 yılları arası günlük ortalama PM10 istatistiksel değerleri .	51
Çizelge 4.2 : 15.12.2014 tarihi için düşey hızın (w) yükseklikle değişimi	75

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Rüzgar hızının düşük olduğu (a) ve yüksek olduğu (b) durumdaki kirletici madde konsantrasyonu..	33
Şekil 2.2 : AST'nin kirletici taşınımı üzerine etkisi (a) gündüz (b) gece.	34
Şekil 2.3 : Gece vakitlerinde soğuk havanın vadi tabanına çökmesinin kirleticiler üzerindeki etkisi.	35
Şekil 3.1 : İstanbul'da yer alan organize sanayi bölgeleri ve sanayi tesisleri.	38
Şekil 3.2 : Yıllık PM10 emisyonlarının dağılımı (Tüm kirletici kaynaklardan).	39
Şekil 3.3 : Yıllık PM10 emisyonlarının kaynaklarına göre dağılımı a) Evsel ısınma kaynaklı; b) Endüstri kaynaklı; c) Trafik kaynaklı.	40
Şekil 3.4 : Kağıthane ölçüm istasyonu lokasyonu.	41
Şekil 3.5 : Thermo Scientific FH 62 C14 Continuous Particulate Monitor PM10 ölçüm cihazı.	42
Şekil 3.6 : Çalışmada kullanılan 10x10 km ve 3.3x3.3 km çözünürlüklü WRF çalışma alanları.	44
Şekil 3.7 : SODAR cihazının farklı tipleri ve çalışma prensipleri	46
Şekil 3.8 : REMTECH PA0 SODAR ölçüm cihazı ve ölçüm yeri	47
Şekil 4.1 : 2012-2014 yılı günlük ortalama PM10 konsantrasyonu ve günlük toplam yağış grafiği.	50
Şekil 4.2 : Saatlik PM10 ve yağış, 5-25 Aralık 2014.	51
Şekil 4.3 : Aylık ortalama PM10 konsantrasyonu ve aylık toplam yağış.	52
Şekil 4.4 : Mevsimsel PM10 konsantrasyonu ve mevsimlik toplam yağış (mm).	52
Şekil 4.5 : 15 Aralık 2015 500 hPa haritaları a) 00 UTC b) 06 UTC c) 12 UTC d) 18 UTC.	55
Şekil 4.6 : 15.12.2014 tarihi toplam yağış (mm) haritası a) 00 UTC, b) 06 UTC, c) 12 UTC, d) 18 UTC.	56
Şekil 4.7 : İstanbul için 15.12.2014 00Z SkewT-LogP diyagramı	57
Şekil 4.8 : Dış domain için yer seviyesi sıcaklık, basınç ve rüzgar hızı değerleri a) 00UTC, b) 12UTC	59
Şekil 4.9 : İç domain için yer seviyesi sıcaklık, basınç ve rüzgar hızı değerleri a) 00UTC, b) 12UTC	61
Şekil 4.10 : Dış domain için 850 hPa seviyesi sıcaklık, basınç ve rüzgar hızı değerleri a) 00UTC, b) 12UTC	63
Şekil 4.11 : İç domain için 850 hPa seviyesi sıcaklık, basınç ve rüzgar hızı değerleri a) 00UTC, b) 12UTC	65
Şekil 4.12 : 700 hPa rüzgar hızı, sıcaklık ve yükselik haritası a)00UTC, b)12UTC	67
Şekil 4.13 : 500 hPa rüzgar hızı, sıcaklık ve yükselik haritası a)00UTC, b)12UTC	69
Şekil 4.14 : 15.12.2014 toplam yağış haritası a) 00UTC b) 12UTC	71

Şekil 4.15 : 15 Aralık 2014 18 UTC’ Türkiye’ye ulaşan hava parsellerinin HYSPLIT ile geriye dönük yörünge analizi	73
Şekil 4.16 : Yatay rüzgar hızı profili (SODAR verileri), İTÜ Maslak Kampüsü	74
Şekil 4.17 : Düşey hızın saatlik değişimi (30m ve 50m için).....	75

İSTANBUL KAĞITHANE BÖLGESİNDE YÜKSEK PM10 KONSANTRASYONLARININ METEOROLOJİK OLARAK İNCELENMESİ

ÖZET

Hava kirliliği, artan sanayi ve şehirleşme etkilerinden dolayı tüm dünyada önemli bir sorun haline gelmiştir. Yıllardır ülkemizde ve dünyada hava kirliliğine bağlı olarak çevresel ve sağlık sorunları ortaya çıkmaktadır. 1952 yılında İngiltere’de meydana gelen hava kirliliğinden dolayı 5.000 kişi hayatını kaybetmiştir. 2013 yılında Çin’de meydana gelen hava kirliliği vakasında ise şehirde görüş oldukça azalmış, kirlilik nedeniyle gelen sisten dolayı bir hafta boyunca olan kaza sayısı 70’ e çıkmış ve bir çok astım hastası ve alerjisi olan kişiler de durumdan olumsuz etkilenmiştir. Hava kirliliğinin meydana gelmesi, hava kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Dünya’da da diğer ülkeler hava kirliliğine ve hava kalitesine oldukça önem vermektedir. Özellikle Çin hem sanayi faaliyetlerinin çok fazla olması hem de nüfus yoğunluğu nedeniyle düşük hava kalitesi koşullarına sahiptir. Çin’de yapılan çalışmalar genellikle partiküler kirliliğin sağlık üzerindeki etkileri üzerinedir. Hava kirliliği turizm sektörünü de etkilemektedir ve bu nedenle İspanya’da da PM10 kirliliğinin turizme olan etkileri araştırılmıştır. Avrupa’da da partiküler madde kirliliğinin kaynakları ve partiküler maddenin uzak ve yakın kıta taşınimleri üzerine çalışmalar yapılmaktadır.

Türkiye’ de ise hava kirliliği çalışmaları yaklaşık olarak 1960’ lı yıllarda başlamıştır. İlk önce çalışmalara Ankara’da başlanmış, daha sonra kirliliğin diğer şehirlerde de yaygınlaşmasıyla konuyla ilgili analizler artmıştır. Ancak genel olarak şehrin coğrafi konumundan, etkisinde olduğu iklimsel faktörler açısından, batılı ve güneyli rüzgarlara maruz kalması faktöründen, nüfus yoğunluğuna bağlı olarak artan endüstriyel faaliyet, konutsal ısınma ve motorlu araç emisyonlarından, Boğazdan geçen gemilerin neden olduğu emisyonlardan dolayı artan hava kirliliği sorunu nedeniyle yapılan çalışmalar İstanbul üzerinde yoğunlaşmıştır. İstanbul baz alınarak yapılan spesifik çalışmalar da genellikle trafiğin yoğun olarak görüldüğü bölgeler üzerinde olmuştur.

Hava kirliliği sanayi emisyonlarından, konutsal ısıtma sistemlerinden, organik kaynaklardan (volkanik küller, çöl tozları, çiçek polenleri, vs.), atmosferde meydana gelen bazı kimyasal tepkimeler sonucunda ya da yakın/uzak kıta partiküler madde taşınımından dolayı meydana gelebilmektedir. Hava kirliliğinin ortaya çıkmasında atmosferde bulunan partiküllerin yanı sıra o anki meteorolojik şartlar da oldukça önemlidir. Yüksek basınç, sakın rüzgarlar, yağışın olmaması atmosferde bulunan partiküler maddenin konsantrasyonunu ve atmosferde kalış süresini oldukça etkilemektedir.

İstanbul yaklaşık olarak 15 milyon kişinin yaşadığı mega şehirlerden biridir ve gün geçtikçe nüfus daha da artmaktadır. Nüfus artışına bağlı olarak, motorlu araç sayısı ve konut sayısı da artmaktadır ki bu durumda da araçlardan ve kentsel ısınmadan dolayı

olan emisyonlar da aynı hızla yükselişe geçmektedir. İstanbul aynı zamanda Avrupa'dan batılı rüzgarlar ile taşınan partiküler madde kirliliğine da maruz kalmaktadır ve özellikle güneyli rüzgarların da etkisiyle Afrika'dan Sahra çölü üzerinden genellikle son bahar ve ilk bahar aylarında toz taşınımı görülmektedir. Bu toz taşınımından Türkiye'nin güney kıyıları ve İstanbul önemli derecede etkilenmektedir. Dolayısıyla tüm bu etkenler İstanbul'daki kirliliği arttırıcı rol oynamaktadır.

Bu yüksek lisans bitirme tez çalışmasında İstanbul' da yer alan Kağıthane bölgesi çalışma alanı olarak seçilmiştir. Kağıthane bölgesi bir vadi özelliği göstermektedir ki bölgenin bu özelliğinden dolayı düşük dispersiyon koşulları gözlenmektedir. Yüksek basıncın etkili olduğu ve rüzgar hızının da düşük olduğu zamanlarda kirletici oranları da yüksek olarak ölçüldüğünde, bölgede hava kirliliği ortaya çıkmakta ve hava kalitesi oldukça düşmektedir. Bu amaçla bölgede PM10 ölçümlerini yapmak ve kaynaklarını belirlemek hem çevresel hem de sağlık açısından oldukça önemlidir. Daha önce yapılan çalışmalarda İstanbul' daki PM10 konsantrasyonlarının günlük ve yıllık bazda EU limit değerlerinin üzerinde olduğu saptanmıştır. Çalışmada 2012-2014 yılları arası PM10 konsantrasyonları düzenli olarak ölçülmüş ve günlük, aylık, mevsimlik bazda istatistiksel incelemesi yapılmıştır. Bu incelemeler sonucunda episod gününe karar verilmiştir ve episod gününde yüksek olarak ölçülen PM10 konsantrasyonunun kaynağı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla meteorolojik analizler yapılmış, yüksek seviye kartları incelenmiştir. Meteorolojik analizler sonucunda episod gününde yerde yüksek basıncın etkili olmasıyla, rüzgar hızının da sakin olmasıyla ve enverziyonun da görülmesiyle birlikte PM10 bölge üzerinde çökmüştür. WRF modeli çalıştırılarak yer ve yukarı seviyelerdeki yatay rüzgar hızı değerleri incelenmiştir. Bunlara ek olarak, uzak ve yakın kıta PM10 taşınımlarının o gün üzerine olan etkisini belirlemek amacıyla HYSPLIT modeli çalıştırılarak geriye dönük yörünge analizi yapılmış ve taşınımın kısa dönem içerisinde Doğu Avrupa üzerinden ve uzun dönem içerisinde de Sahra çölü üzerinden geldiği ortaya konulmuştur. Yer seviyesindeki taşınımı ortaya koymak açısından SODAR cihazıyla episod günü ölçülen yatay ve düşey rüzgar bileşenleri incelenmiş ve düşeyde taşınımın aşağı yönde olduğu ve enverziyonun olduğu da SODAR ölçümleriyle desteklenerek ortaya konulmuştur.

METEOROLOGICAL INVESTIGATION OF HIGH PM10 CONCENTRATION IN ISTANBUL KAĞITHANE REGION

SUMMARY

Air pollution has become an important problem in the world because of industrialization and urbanization. For years, in our country and the world, there are health and environmental issues connected with the air pollution. In 1952, nearly 5.000 people lost their lives because of the effect of air pollution in England. In 2013 in China, visibility decreased due to the fog event causing from air pollution, the number of traffic accident rose to 70 and lots of allergic and asthma people were affected from this pollution. Occurrence of air pollution decreases the air quality in the atmosphere. In the world, the other countries attach quite importance to air pollution and air quality. Especially China has lower air quality conditions due to its high population density and higher industrial activities. Studies done in China are generally about effects of particulate pollution on health effects. Air pollution affects the tourism sector so that in Spain PM10 pollution effects on tourism were investigated. Also, in Europe studies and analyzes include particulate matter sources and particulate matter's transboundary transportations over continentals.

In Turkey, studies about air pollution had begun in 1960's and at first, studies were done in Ankara then with the increase of air pollution problems in other cities, studies and analysis became widespread. Studies were generally focused on Istanbul because of increasing air pollution due to the city's geographical location, climate conditions, factor of westerly and southerly winds, domestic heating and motor vehicle emissions, ships emissions passing over Bosphorus. The other specific studies based on Istanbul were done over the regions, which have high traffic density.

Industrial emissions, domestic heating, organic sources (volcanic ashes, desert dusts, pollens, etc.) and chemical reactions in the atmosphere or transboundary particulate matter transportation cause air pollution in the atmosphere. Meteorological conditions are also have important effects on occurrence of air pollution besides particulates in the atmosphere. Especially high pressure, calm winds and no precipitation conditions increase the particulate matter concentration and duration in the air.

Istanbul is one of the megacities with approximately 15 million people living in and population density increases rapidly day by day. The number of residences increases along with the increment of the population and usage of motor vehicles and at the same time, emissions due to domestic heating and vehicles are expected to be risen. Also, Istanbul is exposed to particulate matter pollution carried with westerly winds coming from Europe and affected by southerly winds where there is dust transportation from Africa over Saharan Desert at the spring and fall seasons. Turkey's south regions and

İstanbul are affected from this dust transportation significantly. Therefore, all these factors play a role in enhancing pollution in İstanbul.

In this study, Kağıthane region in İstanbul were selected as study area. Kağıthane region is a creek valley and due to this topographical structure, low dispersion conditions are obtained. When high-pressure system and low wind speed conditions occur and high pollutant concentrations are measured, air pollution and air quality decreases dramatically. For this purpose, it is important to do PM₁₀ measurements and determine the sources for environmental and health issues. In other studies, it was put forward that PM₁₀ concentrations exceeded the European Union (EU) limits on daily and monthly bases. In our study, PM₁₀ concentrations were measured regularly in between 2012 and 2014 years and some statistical analysis were done for daily, monthly, seasonally PM₁₀ concentration. In 2012, mean PM₁₀ concentration value was calculated as 80.77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and maximum concentration values were found as 195.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. In 2013, mean PM₁₀ concentration value was calculated as 86.83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and maximum concentration values was found as 329.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and In 2014, mean PM₁₀ concentration value was calculated as 79.66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and maximum concentration values was found as 265.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. To test the homogeneity of the data some quality control and quality assurance tests were done. According to results of homogeneity test, PM₁₀ concentration data belonging to 2014 year were selected as study data. After these analyses, episodic period were determined in between 5 December 2015 and 25 December 2015 because PM₁₀ concentration increases gradually from December 5 to December 25. For this day the sources of PM₁₀ concentration were determined. Meteorological analyses were done and upper level air charts were examined. According to meteorological analysis results, on the episode day, there was a high-pressure system over Turkey and PM₁₀ was sunk over Kağıthane Creek Valley because of calm winds and the inversion effect. Wind speed and direction is obtained by using Weather Research and Forecast model (WRF) and analyses for the episode day were done. With WRF outputs 850hPa temperature, height and wind speed values were visualized for inner (10x10km) and outer (3.3x3.3km) domain. 700hPa and 500hPa upper air maps were plotted to see the upper air particulate matter transportation with higher wind speed. According to these maps, with the effects of low-pressure system over Iceland and approaching high-pressure system over Aegean and Mediterranean to Istanbul on December 15th 2014, there was particulate matter transportation over Eastern Europe to Istanbul by westerly winds from 4500m and 6000m heights in the atmosphere. There was no precipitation on episode day due to the high-pressure system.

The effects of transboundary PM₁₀ transportation on episode day were searched with back trajectory analysis with Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory model (HYSPLIT). According to this trajectory analysis, PM₁₀ transportation were started from eastern Europe at 4500m and 6000m height two days before episode day and PM₁₀ transported from Africa over Saharan Desert with southerly winds at 1500m nearly six days before. These transportations from different locations was caused to measure high level PM₁₀ concentrations.

In addition to these analyses, horizontal and vertical wind speed was measured with SODAR instrument over study area. These measurements were done at different elevations from surface level. In every 30 minutes at different elevations (30, 50, 70, ..., 410m) wind data were recorded. Horizontal wind speed component was measured approximately 2 m/s over surface and there was a decrease in wind speed magnitude at 50m level. From surface to 50m heights, there was an inversion layer on December

15 at 00UTC. After 50m heights, wind speed increases with height. Because of the low wind speed effect, there was not a significant PM10 transportation over surface. Vertical wind speed component was measured and due to the inversion, the motion of air was toward from surface to the 50m height. Vertical wind speed component was measured with negative sign at 00UTC time period. With the effect of vertical wind speed, there is a vertical PM10 transportation over study area and these situations caused PM10 sank. Altogether, meteorological, topographical and human effects caused the higher PM10 concentration measurements over Kağıthane Valley region

1. GİRİŞ

Dünya üzerinde nüfusun ve endüstri faaliyetlerinin artmasıyla birlikte, atmosfere yayılan doğal ve antropojenik kaynaklı partiküler madde konsantrasyonunda artış görülmektedir. Bu artış sanayi ve nüfusun yoğun olduğu yerlerde daha fazla hissedilmektedir. Havadaki partikül madde yoğunluğu hava kalitesini ciddi ölçüde etkilemekte ve “hava kirliliği” oluşturmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü’nün yaptığı tanımlamaya göre hava kirliliği, iç ve dış ortamlardaki kimyasal, fiziksel ve biyolojik kaynaklı etkenlerin atmosferin doğal yapısını değiştirerek oluşturduğu bir kirliliktir (WHO, 2015). Yerel ısınma kaynakları, endüstriyel faaliyetler, orman yangınları, volkanik patlamalar, çöl tozları, deniz tuzları vb.’leri hava kirliliğinin başlıca kaynakları olarak gösterilebilir. Hava kirliliğine neden olan emisyon kaynaklarının yanında, bu maddelerin havada kalış süreleri, taşınimleri, bulundukları yerin topoğrafik özellikleri, meteorolojik parametrelerden ne kadar etkilendikleri de oldukça önemlidir. Hava kirliliğinin çevre, atmosfer, insanlar, bitkiler ve diğer tüm canlılar üzerinde olumsuz etkileri vardır. Özellikle partiküler maddelerin yaşlılar ve çocuklar üzerinde olumsuz etkileri görülmektedir. Büyük şehirlerde insanların kısa dönem ve uzun dönem yüksek partiküler madde konsantrasyonlarına maruz kalmaları solunum ve kardiyovasküler hastalık risklerini arttırmaktadır (Annesi-Maesano ve diğ., 2007; Analitis ve diğ., 2006). İstanbul’da yapılan bir araştırmaya göre de hastaneye başvuru yapan insan sayısı ile PM10 konsantrasyonları arasında pozitif bir ilişki bulunmuştur (Hapçioğlu ve diğ., 2006). Avrupa Birliği Komisyonu’na göre hava kirliliğinin bitkiler, binalar üzerindeki etkileri de göz önüne alındığında topluma maliyeti yılda yaklaşık olarak 23 milyon Euro iken tek başına sağlık maliyeti de 330-940 milyon Euro civarındadır (EC, 2015).

Türkiye’de hava kirliliği üzerine olan çalışmalar 1960’lı yıllarda Ankara’da başlamış olup daha sonra kirliliğin diğer şehirlere de yayılmasıyla genişlemiştir (Tuncel, 2013). Hava kirliliği ile ilgili çalışmaların yoğun olarak yürütüldüğü yer ise İstanbul’dur. İstanbul’un hava kirliliği seviyelerinin belirlenmesine yönelik ilk çalışma 1969 yılında Tebbens tarafından yapılmıştır. Daha sonra Ayalp (1976) İstanbul’un çeşitli

bölgelerinde ölçümler yaparak hava kalitesi seviyelerini analiz etmiş, meteorolojik faktörlerin etkisini araştırmıştır. İstanbul'un Haliç bölgesinin dispersiyon özelliklerini belirlemek amacıyla ilk çalışma İncecik (1986) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada İstanbul – Haliç'te özel ölçümler yapılarak bölgenin mikrometeorolojik yapısı belirlenmiş ve karmaşık topoğrafya nedeniyle hava kirleticilerin dispersiyonunu engelleyen, düşük ventilasyon özelliklerine sahip olduğu gösterilmiştir. İstanbul'daki kirliliğin kaynakları yine daha önce belirtildiği gibi yerleşim, nüfus yoğunluğu, motorlu araç sayısının fazlalığı, boğazdan geçen gemi sayısına bağlı olarak artan emisyonlar, Avrupa'dan gelen tozlar ve Afrika'dan gelen çöl tozları olarak sayılabilir ve bunlar gibi bir çok emisyon kaynağı da mevcuttur. İstanbul'da yoğun olarak partiküler madde kirliliği (PM) görülmektedir. Doğalgaz kullanımının yaygınlaşmasıyla beraber İstanbul geneli göz önüne alındığında, PM10 konsantrasyonlarında azalma görülmüştür fakat bu değerler de bulunan ilçeye ve o ilçenin topoğrafik özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Avrupa Birliği standartlarına göre günlük ortalama PM10 konsantrasyon değeri $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iken bir yıllık bazda bu değer $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tür. İstanbul'da yıllık ortalama konsantrasyon değeri $47.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur (Karaca ve diğ., 2005). Yapılan çalışmaların çoğunda İstanbul günlük bazda EU standartlarını aşmaktadır. Özellikle sanayinin yaygın olduğu Kağıthane ilçesinde PM10 değerleri, bölgenin coğrafi yapısının vadi özelliği göstermesi sebebiyle oldukça yüksek olarak ölçülmektedir.

PM10 seviyesi, yapısı, fiziksel ve termodinamik özellikleri genellikle coğrafi konum ve mevsime göre değişiklik göstermektedir (Alpert ve Hopke, 1981; Finlayson-Pitts ve Pitts, 1986; Seinfeld ve Pandis, 1998). Aynı zamanda kıtalar arası partiküler madde taşınımı da PM10 konsantrasyonunu doğrudan etkilemektedir. Sahra Çölünden Avrupa'ya mineral toz taşınımı Akdeniz kıyısında bulunan ülkeler için sık sık problem olmakla birlikte, örneğin Afrika tozu Marmara bölgesinde PM10 konsantrasyonlarını %35-50 oranında arttırmaktadır (Ağaçayak et al., 2015). Toz taşınımı mevsimlik pik değerlerle birlikte PM10 konsantrasyon değerlerini %80 oranında arttırmaktadır (Pey ve diğ, 2013).

Bu çalışmada da 2012- 2014 yılları arasındaki PM10 konsantrasyon değerleri düzenli olarak ölçülmüş ve seçilen episodik gün için WRF, HYSPLIT modelleri ile yüksek PM10 konsantrasyonunun kaynağı ortaya konulmaya çalışılmıştır. Aynı zamanda SODAR cihazı ile episod gününe ait yüzey seviyedeki PM10 taşınımı incelenmiştir.

1.1 Tezin Amacı

İstanbul Türkiye’deki en kalabalık şehirdir ve artan nüfus yoğunluğu ve sanayileşme de İstanbul’un hava kirliliği sorunuyla karşılaşmasına neden olmaktadır ki bu sorun da partiküler madde kirliliği olarak ilk sırada yer almaktadır. PM10 konsantrasyonlarının yüksek olarak ölçülmesi yaşanan atmosferi ve direk olarak da insan ve diğer canlıların yaşamlarını olumsuz olarak etkilemektedir. Kağıthane bölgesinde yaptığımız bu çalışmada amaç, yüksek PM10 konsantrasyonlarının meteorolojik olarak incelenmesi ve SODAR verilerini de kullanarak yer seviyesindeki taşınımı ortaya koymaktır.

1.2 Literatür Araştırması

Dünya genelinde partiküler madde kirliliği üzerine yapılan çalışmalar oldukça çeşitlidir. PM10 konsantrasyonlarının incelenmesi, PM10’ in kimyasal özelliklerinin araştırılması, Avrupa ve Afrika üzerinden Türkiye’ye olan PM10 taşınımının analizi, modeller yardımıyla PM10 konsantrasyonlarının tahmini PM10’in insan sağlığı üzerine etkileri gibi konular üzerinde bir çok çalışma yapılmış ve sonuçları incelenmiştir. Fakat Türkiye’de PM10 üzerinde olan çalışmalar 1990 yıllarından itibaren önem ve hız kazanmaya başlamıştır. Gelişen sanayi faaliyetleri emisyonların artmasına neden olarak gösterilebilir. Yapılan bu çalışmaların bir kısmı aşağıda özetlenmiştir.

Kabataş ve diğ. (2014) Real-Time Air Quality Modelling System (RAQMS) kullanarak Sahra çöl tozlarının Türkiye’deki yüksek PM10 seviyelerine olan etkilerini incelemiştir. 2008 Nisan ayı verileri, 118 hava kalitesi ölçüm istasyonu ve RAQMS ile karşılaştırılmıştır. Bunun yanında MODIS aerosol üreticisi kullanılarak atmosfere olan aerosol yüklenimi incelenmiştir. RAQMS ve yer gözlem istasyonlarından alınan sonuçlara göre Sahra çöl tozlarının Türkiye’deki yüksek PM10 konsantrasyonuna etkileri benzer paternler göstermiştir ve veri setleri arasında ilişki 0.87 olarak bulunmuştur.

İstanbul’da kış mevsiminde görülen yüksek PM10, sülfat, nitrat ve amonyum seviyeleri yüksek çözünürlüklü WRF/CMAQ modeli kullanılarak araştırılmıştır. Boğaziçi istasyonundaki PM10 seviyesi WRF/CMAQ tarafından istasyonda ölçülenden %10 daha az tahmin edilirken, diğer istasyonlar için %12 oranında fazla

tahmin yapılmıştır ki buralar da trafiğin ve kömür kullanımının çok yoğun olduğu bölgelerdir. Bu çalışmada partiküler madde emisyonlarındaki kontrol sistemlerinin gereğine dikkat çekilmiştir (Im ve diğ., 2010).

Kindap ve diğ. (2006) tarafından yapılan bir çalışmada İstanbul için PM10' in uzak kıta taşınımı üzerinde durulmuştur. Orta vadeli MM5 atmosferik model ile rüzgar alanları tespit edilmiş ve yörünge analizi yapılmış, bu modelden alınan çıktılar gelişmiş bir hava kalitesi modeli olan CMAQ için girdi olarak kullanılmıştır. Geriye dönük yörünge analizleri sonucunda İstanbul'a taşınan PM10'lerin genellikle batılı rüzgarlar ile geldiği ve İstanbul'da çöktüğü öngörülmüştür. Çalışma sonucunda, İstanbul'daki PM10 seviyelerine Avrupa'dan olan katkının %0.5 ile %13 arasında değiştiği görülmüştür. Avrupadaki antropojenik kaynaklı emisyon oranı %50'ye ulaştığı zaman İstanbul'da görülen tepki de %26' ya çıkabilmektedir. Bu çalışma sonucunda da İstanbul'daki PM10 kirliliğinin hemen hemen yarısından kıtalar arası taşınmış olan PM10'in sorumlu olduğu ortaya konulabilir.

Yine PM10 taşınımı konusunda Makra ve diğerleri 2011 yılında Avrupa'daki Selanik, Szeged ve Helsinki şehirleri için çalışma yapmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre; Selanik için Orta ve Güney Avrupa'dan ve ayrıca bazı durumlarda Kuzey Afrika'dan, Szeged için Orta, Güney ve Ortadoğu Avrupa'dan ve ayrıca bazı durumlarda yine Kuzey Afrika'dan, Helsinki için Kuzey, Doğu Avrupa ve Kuzey batı Rusya'dan gelen hava kütleleri sonucunda PM10 konsantrasyonlarında artış görülmüştür. Bunlara göre her bir şehir için orta ve uzun vadeli taşınım yaklaşımları yapılmıştır.

Ağaçayak ve diğ. (2015) 3 boyutlu model, uydu verileri ve yer ölçümlerini beraber kullanarak Marmara ve Ege bölgesindeki episodik periyot için Sahra çöl tozlarının taşınımını ve bunun PM10 üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Diğer çalışmalardan farklı olarak aerosol optik derinlikleri (AOD) RegCM4.1 modelinde girdi olarak kullanılmıştır. PM10 konsantrasyonlarının maksimuma ulaştığı zamanlardaki aerosol optik derinliklerinin de yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu çalışmada PM10 konsantrasyonlarındaki artışın yanı sıra yüksek konsantrasyonların görüldüğü günler için direk radyatif zorlama süreci üzerinde de durulmuştur.

İstanbul'da yapılan diğer bir çalışmada da trafik emisyonlarının çocuklar üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla 2009 yılında seçilmiş olan 5 farklı oyun alanında PM10 ve PM2.5 ölçümleri yapılmıştır. Ana yollara daha yakın olan oyun parklarında

emisyonlar daha yoğun olarak ölçülmüştür ve 5-7 Nisan arasında episod aralığı belirlenmiştir. Konsantrasyon yoğunluğunun nedenini anlamak amacıyla WRF ve HYSPLIT modelleri çalıştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda bölgede yüksek basıncın hakim olduğu ve rüzgarlarında sakin olduğu durumda Sahra çölünden gelen tozların episod gününde PM10 kirliliğine yol açtığı ortaya konulmuştur. (Özdemir ve diğ., 2012).

Demir ve diğ. tarafından 2010 yılında Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network (ANN)) kullanılarak atmosferik kirlilik tahmin edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada İstanbul'daki Sarıyer-Bahçeköy istasyonundan alınan 1 yıllık meteorolojik ve PM10 veri setleri kullanılmış ve veri seti eğitim ve test aşamalarında kullanılmak üzere ikiye ayrılmıştır. Model yardımı ile PM10 tahminleri 2004-2005 yılları arasında yapılmış ve gerçek veri ile tahmin edilen veri arasındaki ilişki 0.60 olarak bulunmuştur.

Çek Cumhuriyeti'nin Brno kentinde Huebnerova ve diğ. günlük PM10 konsantrasyonlarının tahmin edilmesi ile alakalı bir çalışma yürütmüşlerdir. Mevcut olan meteorolojik veriler yardımıyla ki bunlar da sıcaklık, rüzgar hızı ve yönü, bulut kapalılık olmak üzere lineer model kullanılarak PM10 konsantrasyon tahmini yapılmıştır. Buna ek olarak tahmin edilen meteorolojik parametrelerle de PM10 konsantrasyonu öngörülme çalışılmış fakat başarılı sonuç elde edilememiştir. Bu nedenle çalışma istasyonda ölçülmüş olan meteorolojik veriler yardımıyla gerçekleştirilmiş ve çalışma sonucunda ise modelin çevre düzenleme çalışmalarında kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır (2014).

PM10 konsantrasyonlarının ölçülmesi, taşınımı ve tahmini konularının yanı sıra PM10'in sağlık üzerindeki etkileri de oldukça önemlidir. Hapçıoğlu ve diğ. (2006) yaptıkları çalışmada, 1997-2001 yılları arasında İstanbul Üniversitesi Hastanesi'nde KOAH (Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı) nedeniyle acile yapılan başvurular ile aynı dönemde ölçülen dış ortam hava kalitesi verileri ve meteorolojik verilerin aylık ortalamalarını incelemişlerdir. Toplam 1586 adet hasta kaydı kullanılmıştır. KOAH nedeniyle yapılan başvuru sayısı ile ve PM10 arasında pozitif korelasyon bulunmuştur.

Çin'de Hou ve diğ. tarafından 2012 yılında yapılan bir çalışmada 2009 yılındaki PM10 kaynaklı sağlık sorunlarından oluşan ekonomik kayıplar incelenmiştir. Bu çalışmaya göre 2009 yılında PM10 kaynaklı sağlık sorunlarının ekonomik kaybı 106.5 milyar dolar olarak bulunmuş ve bu da Çin'in gayrisafi yurtiçi hasılatının %2.1 kadarına

karşılık gelmektedir. Çin’de yer alan Beijing, Ji’nan ve Chongqing şehirlerinde PM10’ den dolayı kaynaklanan sağlık sorunlarından oluşan ekonomik kayıp 2009 yılının gayrisafi yurtiçi hasılatının %4’ü olarak raporlanmıştır.

2. HAVA KİRLİLİĞİ

Hava Kirliliği; katı, sıvı ve gaz maddelerin insanların sağlığını etkileyecek konsantrasyon ve sürede atmosferde asılı olarak bulunmasıdır. Kirlletici madde olarak adlandırdığımız parametreler SO_x (kükürtoksitler), NO_x (azotoksitler), $PM_{10-2.5}$ (partiküler maddeler), O_3 (ozon) ve CO (karbonmonoksit) ve VOC (Volatile Organic Compounds)' dir. Çizelge 2.1' de kirlletici parametreler, kaynakları ve sağlığa olan etkileri verilmiştir.

Çizelge 2.1: Kirlletici parametreler ve sağlık etkileri (Url-1).

Kirlletici	Ana Kaynağı	Sağlık Etkisi
Kükürtdioksit	Fosil yakıt yanması	Solunum yolu hastalıkları
Azotoksitler	Taşıt emisyonları, Yüksek sıcaklıkta yakma prosesleri	Göz ve solunum yolu hastalıkları, Asit yağmurları
Partikül Madde	Sanayi, yakıt yanması, Tarım ve ikincil kimyasal reaksiyonlar	Kanser, kalp problemleri, Solunum yolu hastalıkları, bebek ölüm oranlarında artış
Karbonmonoksit	Eksik yanma ürünü, taşıt emisyonları	Kandaki hemoglobin ile birleşerek oksijen taşınma kapasitesinde azalma, Ölüm
Ozon	Trafikten kaynaklanan azot oksitler ve uçucu organik bileşiklerin (VOC) güneş ışığıyla değişimi	Solunum sistemi problemleri, Göz ve burunda iritasyon, astım, Vücut direncinde azalma

Bu hava kirliliği kaynakları doğal ve antropojenik olarak ikiye ayrılmaktadır. Doğal kaynaklara çöl tozları, deniz tuzları, volkanik küller, polenler örnek olarak verilebilir. Antropojenik kaynaklar (insan aktiviteleri sonucu) da noktasal ve çizgisel kaynaklar olarak adlandırılabilir. Bu kaynaklar fabrikalar, enerji santralleri, mobil araç, uçak ve gemi olarak çeşitlendirilebilir. Partiküler madde kaynakları ise fabrikalar ve konutsal ısınma emisyonları, fosil yakıt kullanımı, çöl tozları, volkanik küller olarak gösterilebilir. Kirlleticiler birincil ve ikincil kirlleticiler olarak ikiye ayrılmaktadır. Birincil kirlleticiler emisyon kaynağından doğrudan atmosfere salınırlar fakat ikincil kirlleticiler ise havada bulunan su buharı ya da bir başka madde ile reaksiyona girmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. İkincil kirlleticilerin oluşmasına neden olan süreçler; SO_2 ' nin sülfata, NO_2 ' nin nitrata ve organik bileşiklerin organik partiküllere dönüşmesidir.

İkincil partiküler maddeler genellikle çapları $2.5 \mu\text{m}$ ’ den küçük partiküllerdir ve insan sağlığını etkileme potansiyelleri mevcuttur. Aynı zamanda görüşü de düşürmektedirler.

2.1 Partiküler Madde Kirliliği

Partiküler madde ya da partikül kirliliği ya da PM, oldukça küçük katı veya sıvı maddelerin birleşimidir. Partiküler kirlilik asitler, organik kimyasallar, metaller, katı ya da toz tanecikleri içeren bir dizi bileşenden oluşmaktadır (EPA, 2015). Partiküler maddeler aerodinamik çaplarına göre ikiye ayrılırlar: Solunabilen büyük partiküller (PM₁₀) ve küçük partiküller (PM_{2.5}). PM₁₀ olarak adlandırılan partiküler maddeler aerodinamik yarıçapı $10 \mu\text{m}$ ’den küçük $2.5 \mu\text{m}$ ’den büyük partiküllerdir. PM_{2.5} olarak adlandırılan partiküler maddeler ise yarıçapı $2.5 \mu\text{m}$ ve $2.5 \mu\text{m}$ ’den küçük partiküllerdir. EPA’nın da dikkate aldığı partiküler maddeler çapı $10 \mu\text{m}$ ve daha küçük olan maddelerdir. Çünkü bu büyüklükteki partiküller ağız ve burundan geçerek direk olarak akciğerlere ulaşmaktadır (EPA, 2015). Çizelge 2.2’de EU standartlarına ve Türkiye hava kirliliği standartlarına göre kirletici maddelerin yıllık ve günlük bazdaki limit değerleri verilmiştir.

Çizelge 2.2: Kirletici parametreler için hava kalitesi sınır değerleri (Url-2).

İnsan Sağlığı ve Ekosistemin Korunması İçin Hava Kalitesi Sınır Değerleri			
Kirletici Parametreler	Ölçüm Periyodu	Sınır Değerler	
		Ülkemizde Uygulanan	AB Üye Ülkelerde Uygulanan
		(2015 Yılı)	
Kükürtdioksit SO ₂ (µg/m ³)	Saatlik	470	350
	Günlük	225	125
Partikül Madde PM ₁₀ (µg/m ³)	Günlük	90	50
	Yıllık	56	40
	Günlük Aşım Sayısı	-	35
Azotdioksit NO ₂ (µg/m ³)	Saatlik	290	200
	Yıllık	56	40
Azotoksitler NO _x (µg/m ³)	Yıllık (Ekosistem)	30	30
Karbonmonoksit CO (mg/m ³)	8 saatlik Ortalama	14	10
Ozon O ₃ (µg/m ³)	8 saatlik Ortalama	120	120

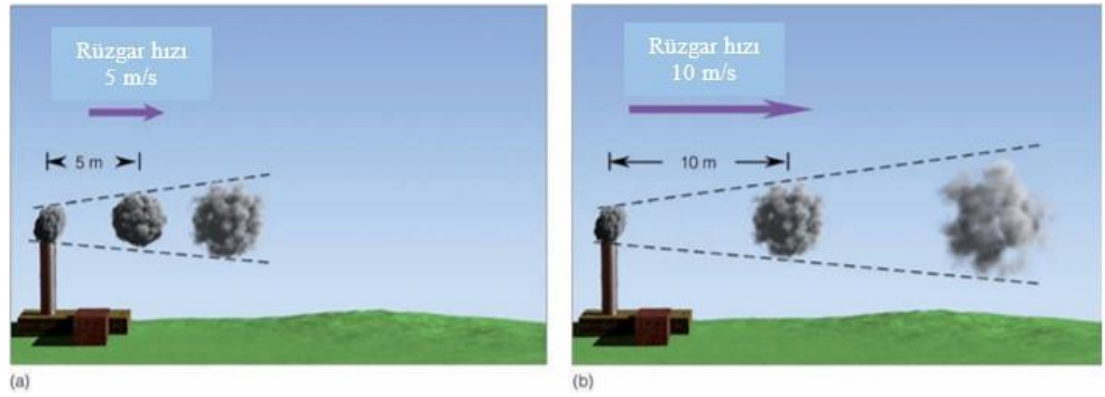
Genellikle İstanbul’da PM10 için verilen sınır değerler trafiğin ve sanayi faaliyetlerinin yoğun olduğu bölgelerde hem günlük hem de yıllık bazda aşılmaktadır.

2. 2 Hava Kirliliğini Etkileyen Meteorolojik ve Çevresel Faktörler

Hava kirliliğinin ortaya çıkmasında kirletici emisyonları kadar meteorolojik parametreler de oldukça önemlidir. Kirletici madde konsantrasyonlarının yüksek olduğu durumlardaki hava basıncı, rüzgar hızı, atmosferik kararlılık kirletici konsantrasyonlarını ve kirleticilerin atmosferde bulunma sürelerini doğrudan etkilemektedir.

2.2.1 Rüzgar etkisi

Rüzgar hızı hava kirliliğinin azaltılmasında önemli rol oynamaktadır. Kuvvetli rüzgarlar kirleticilerin aşağı doğru hareketi sırasında onları ayırarak konsantrasyonun düşmesine olanak sağlarlar (Şekil 2.1) (Ahrens, 2009). Aynı zamanda kuvvetli rüzgarların olması havanın türbülanslı hale gelmesine neden olmaktadır ki bu durum da girdapların oluşmasıyla birlikte kirleticilerin havayla aynı oranda karışması sağlar (Ahrens, 2009). Ayrıca rüzgarlar kirleticileri kaynaklarından uzaklaştırdığından ötürü, rüzgar paternleri kirleticilerin nereye doğru taşındıkları hakkında bilgi de verirler (Kindap, 2008).

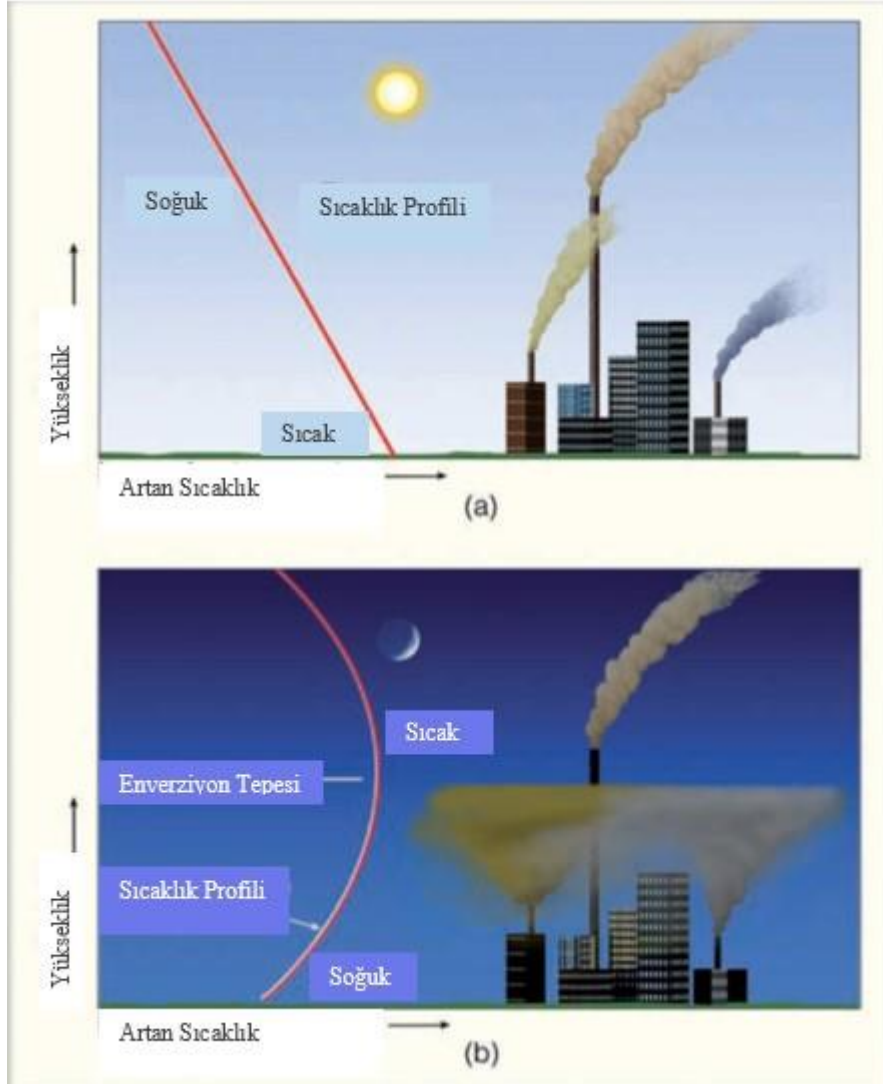


Şekil 2.1: Rüzgar hızının düşük olduğu (a) ve yüksek olduğu (b) durumdaki kirletici madde konsantrasyonu.

2.2.2 Atmosferik sınır tabaka kararlılığı

Atmosferik kararlılık hava kirliliği üzerinde etkili rol oynamaktadır ve hava sıcaklığının yükseklikle değişimiyle belirlenmektedir. Hava sıcaklığı yükseklikle hızla azalıyorsa atmosfer kararsızdır denir ve kirleticiler düşeyde karışmaya başlar (Şekil

2.2 (a)). Ancak hava sıcaklığı hızlı bir şekilde azalmıyorsa ya da yükseklikle sıcaklık artıyorsa atmosfer kararlıdır denir ve soğuk hava aşağıda sıcak hava yukarıda olur. Bu durumda da kirleticiler atmosferde belirli bir seviyeye kadar yükselipbi yere kadar yükselip daha sonra bulundukları yükseklikte yoğunlaşırlar (Şekil 2.2 (b)) (Ahrens, 2009). Sonuç olarak; motorlu araçlardan, yangınlardan ve sanayiden kaynaklanan kirletici emisyonları yer seviyesinden enverziyon sınırına kadar olan bölgede hapsedilir ve bu durum da düşük hava kalitesi koşullarını ortaya koymaktadır (Url-3).

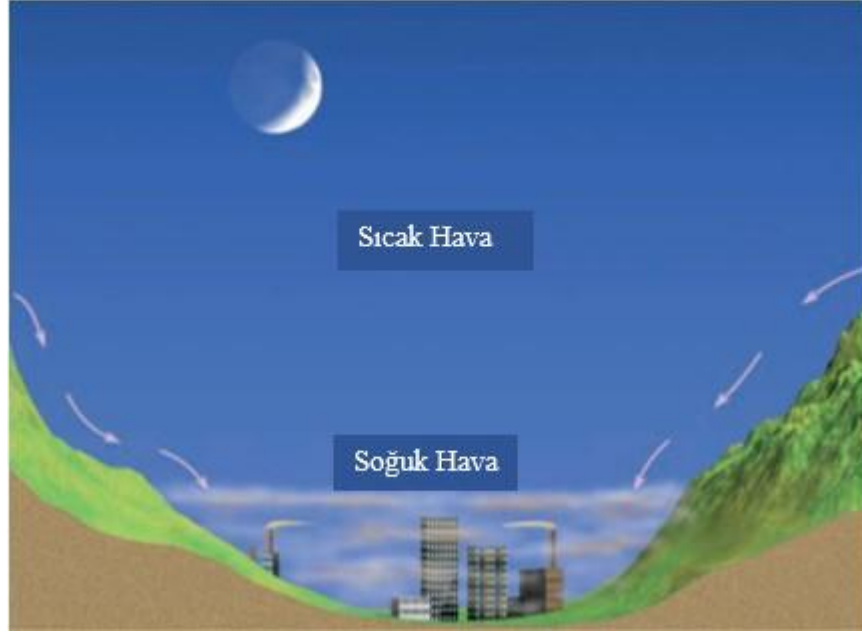


Şekil 2.2: AST'nin kirletici taşınımı üzerine etkisi (a) gündüz, (b) gece.

2.2.3 Topoğrafya etkisi

Topoğrafya etkisi yani yüzey şekilleri, kirleticilerin hapsolmasında ya da dağılmasında oldukça önemli rol oynamaktadır. Gece vakitlerinde soğuk hava düşük yükseltiye sahip havzalarda, vadilerde aşağıya doğru çökmektedir (Şekil 2.3). Soğuk havanın

yüzey üzerinde bir çok etkisi vardır. Bunlardan biri var olan enverziyonu kuvvetlendirmesi ve diğer bölgelerden kirleticileri de havzaya ya da vadi tabanına doğru taşımasıdır. Vadilerin etrafındaki dağlar ve yüksek tepeler bölgeye ulaşan rüzgarları engellemektedir ve hızını düşürmektedir ki bu durumda da vadi tabanında yeterli karışım olmamaktadır. Bu nedenle de kirleticiler atmosferde karışmadığından bölge üzerinde birikmeye başlarlar (Ahrens, 2009).



Şekil 2.3: Gece vakitlerinde soğuk havanın vadi tabanına çökmesinin kirleticiler üzerindeki etkisi.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

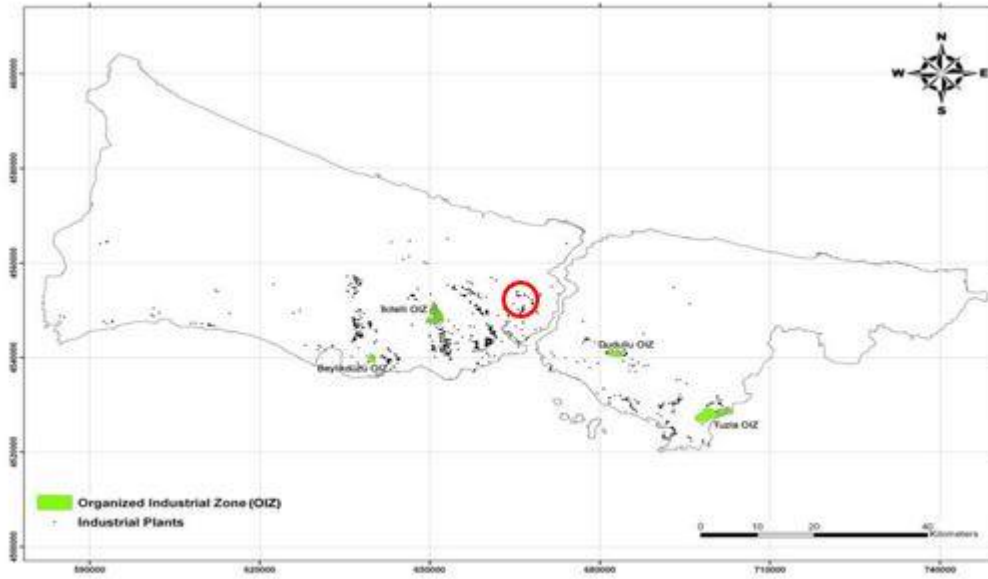
3.1 Çalışma Alanı ve Veri

İstanbul, 5343 km²'lik yüz ölçümü alanında birçok tepeye ve vadiye sahiptir. Boğaz kuzey doğu/güney batı yönünde uzanarak İstanbul' u Avrupa ve Asya olarak ayırmaktadır. Kentin eski bölümü, doğal ve tarihi bir liman olan Haliç kıyısı tarafında uzanmaktadır. Aynı zamanda bu liman, Kağıthane vadisi ile bağlantılıdır (Şekil 3.4). 20.yy' ın başlarına kadar mesire ve eğlence yeri olarak önemini koruyan ve her dönem askeri tesislerin bulunduğu Kağıthane bölgesi 1940'larda harabe halindeki köşk ve kasırların yıktırılmasından sonra askeri bölge haline gelmiştir. 1937'de hazırlanan prost (şehir) planı ve 1950 sonrasındaki diğer kentsel planlama çalışmaları haliç kıyılarını ağır ve orta sanayi kuruluşlarına açarak ilçeyi sanayi merkezi haline getirmiştir. Buna bağlı olarak 1955' te nüfusu 5000'i bile bulmayan Kâğıthane kısa zamanda diğer illerden gelen göç dalgaları ile beslenerek hızla nüfusu artmış, "gecekondu" tarzında evler inşa edilmiş, bina yoğunluğu artmıştır. Nüfus artışında bir diğer önemli etken de 1. ve 2. Boğaz köprülerinin açılmasıdır. Artan nüfus nedeniyle ilçe 1987 yılında Şişli Belediyesi' nden ayrılarak müstakil bir belediye olmuştur. 1990 yılına gelindiğinde Kağıthane ilçesinin nüfusu 270.000'e yaklaşmıştır (Kağıthane Belediyesi, 2014). Çizelge 3.1'de yıllara göre Kağıthane bölgesindeki nüfus artışı görülmektedir.

Çizelge 3.1: Kağıthane ilçesi nüfus bilgileri.

KAĞITHANE İLÇESİ			
Yıllar	Nüfus Sayısı	Artış Oranı	Artış/Azalış
1980	175.504	6.70%	↑
1990	269.042	21.74%	↑
2000	345.239	8.83%	↑
2011	419.865	0.99%	↑
2012	421.356	0.35%	↑
2013	248.755	1.73%	↑
2014	432.230	0.80%	↑

Kağıthane bölgesinde nüfusun bu kadar fazla olması konut sayısını da arttırmaktadır ve buna bağlı olarak da bölgede sanayi faaliyetleri de hızla gelişmektedir. Şekil 3.1’ de İstanbul’da yer alan organize sanayi bölgeleri ve sanayi tesisleri gösterilmiştir. Kırmızı ile gösterilen bölge Kağıthane olup, burada da sanayinin yoğun olduğu görülmektedir. Tüm bu artışlara paralel olarak konutsal ısınmadan dolayı partikül emisyonu da artmaktadır. Bölgede 2014 yılı içerisinde 171 adet ısınmadan kaynaklanan baca şikayeti kayıtlara geçmiştir (Kağıthane Belediyesi, 2014).



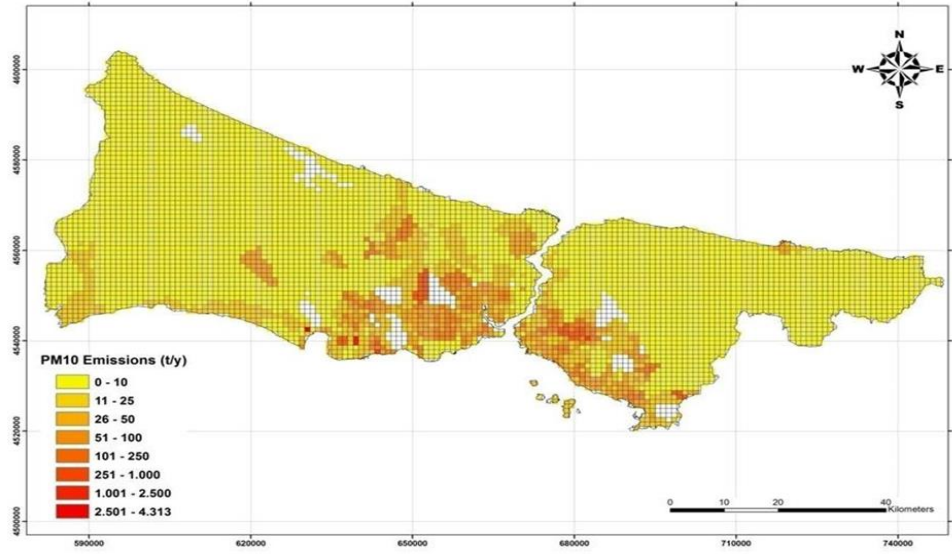
Şekil 3.1: İstanbul’da yer alan organize sanayi bölgeleri ve sanayi tesisleri (İBB Proje Raporu, 2009).

İstanbul’da yapılan ölçümler sonucunda PM10 ve diğer kirleticilerin kaynaklarına göre emisyon değerleri ton/yıl olarak Çizelge 3.2’de verilmiştir. Özellikle PM10’in başlıca kaynaklarının konut ısınması ve sanayi faaliyetleri olduğu Çizelge 3.2’den görülmektedir.

Çizelge 3.2: İstanbul’daki emisyonların kaynaklarına göre miktarları (İBB Proje Raporu, 2009).

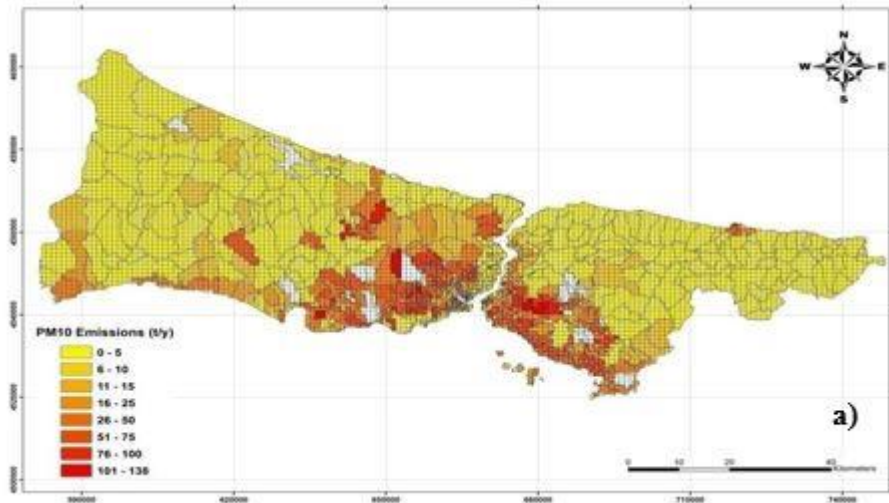
	Emisyon (ton/yıl)				
	PM10	SO ₂	NO _x	NMVOC	CO
Sanayi	7,630	58,468	9,394	117	1,174
Konutsal ısınma	13,631	10,983	7,014	18,351	123,510
Trafik	5,200	1,016	138,000	38,500	270,000
Toplam	26,461	70,467	154,408	56,968	395,224

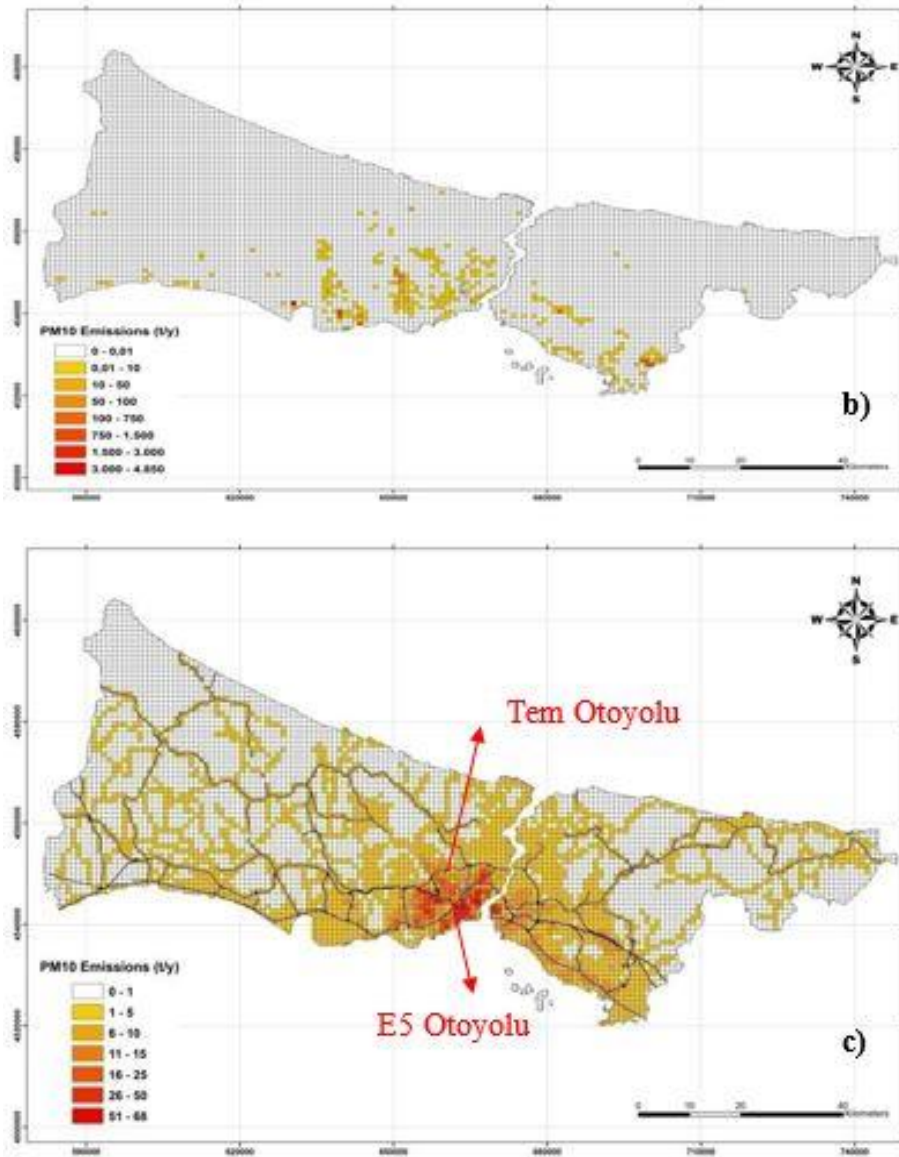
Ayrıca İstanbul Büyükşehir Belediye'nin dokuz Eylül Üniversitesi ile birlikte yaptığı "İstanbul'da Şehir Hava Kalitesi Yönetimi Sistemi İçin GIS Tabanlı Karar Destek Sisteminin Geliştirilmesi" adlı 2007-2009 yılında yapılan projede CALPUFF modeli ile PM10 emisyonları hesaplanmış, emisyon kaynaklarına göre emisyon miktarları ayrı olarak verilmiş ve sonuçlar görselleştirilmiştir.(İBB Proje Raporu, 2009). Şekil 3.2' de PM10 emisyonlarının en yüksek olduğu yerlerin Gaziosmanpaşa, Eminönü ve Kağıthane olduğu görülmektedir Kağıthane ilçesinde yıllık PM10 emisyonunun değeri 101-250 ton/yıl olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.2: Yıllık PM10 emisyonlarının dağılımı (Tüm kirletici kaynaklardan) (İBB Proje Raporu, 2009)

Şekil 3.3' te PM10 emisyonları endüstri, konutsal ısınma ve trafik kaynakları olarak verilmiştir.





Şekil 3.3: Yıllık PM10 emisyonlarının kaynaklarına göre dağılımı a) Evsel ısınma kaynaklı; b) Endüstri kaynaklı; c) Trafik kaynaklı (İBB Proje Raporu, 2009).

Projede Kağıthane ilçesinde PM10 emisyonlarının evsel ısınmadan kaynaklı değeri 101-138 ton/yıl, endüstri kaynaklı değeri 10-50 ton/yıl ve trafik kaynaklı değeri ise 26-50 ton/yıl olarak hesaplanmış. Burada da Kağıthane'deki PM10 emisyonlarının büyük bir kısmının evsel ısınmadan kaynaklandığı oldukça net bir şekilde ifade edilmektedir. Topoğrafik özellikleri nedeniyle düşük rüzgar hızı açısından yetersiz yayılım koşullarına sahip olan Kağıthane vadisi, yıl boyunca artan trafik, sanayi ve konutsal ısınma nedeniyle düşük bir hava kalitesine sahiptir (Unal ve diğ., 2011). Aynı zamanda İstanbul, yazları kurak ve sıcak; kışları ise yağışlı ve ılık geçmesi ile Akdeniz iklimi özellikleri göstermektedir. İncecik (1986) yılında yaptığı bir çalışmada İstanbul'

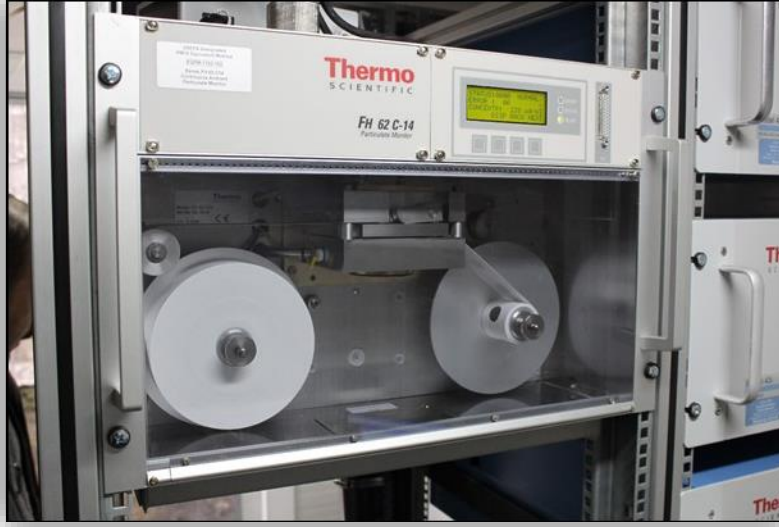
un kış aylarında sıcaklık ortalamasının 6°C , yaz aylarında ise bu ortalamanın 22°C olduğunu ortaya koymuştur. Aynı zamanda bölgede ventilasyonun sabah saatlerinde ve akşam saatlerinde oldukça düşük olduğunu da belirtmiştir. Bu mevsimsel ve meteorolojik koşullar da topoğrafik özelliklerin yanında hava kalitesini etkilemektedir.



Şekil 3.4: Kağıthane hava kalitesi ölçüm istasyonunun lokasyonu.

Kağıthane hava kalitesi istasyonunda hava kirliliği ölçümleri 2010 yılında başlamıştır ve şuanda da ölçümler sağlıklı bir şekilde sürdürülmektedir. İstasyonda ölçülen kirlilik parametreleri PM₁₀, SO₂, NO_x, CO, O₃ olmakla birlikte aynı zamanda meteorolojik parametre ölçümleri de (sıcaklık, rüzgar hızı ve yönü, basınç) yapılmaktadır. Bu çalışmada 2014 yılına ait PM₁₀ verileri kullanılmıştır.

PM₁₀ ölçümleri her saat başı “Thermo Scientific FH 62 C14 Continuous Particulate Monitor” adlı partiküler madde ölçüm cihazıyla yapılmıştır (Şekil 3.5) ve veriler haftanın 7 günü düzenli olarak alınmıştır. Ölçüm cihazının debisi $1\text{ m}^3/\text{h}$ olarak verilmiştir. Verilerin incelenmesi sonucunda $100\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ değerini aşan bölümlerden biri episodik periyod belirlenmiş ve bu periyod 05.12.2014- 25.12.2014 tarihleri arası olarak seçilmiştir.



Şekil 3.5: Thermo Scientific FH 62 C14 Continuous Particulate Monitor PM10 ölçüm cihazı.

3.2 Meteorolojik Analizler

3.2.1 WRF modeli

Hava araştırma ve tahmin modeli WRF (The Weather Research and Forecasting Model), yeni nesil orta ölçekli bir sayısal hava tahmin modelidir. Atmosferik araştırmalar ve operasyonel tahminler için kullanılmak üzere dizayn edilmiş 2 farklı versiyonu vardır. Veri asimilasyon sistemi ve yazılım mimarisi olmak üzere iki dinamik çekirdek özelliği taşımakta ve çoklu disiplinli meteorolojik uygulamalarda kullanılabilmektedir. Modelin geliştirilmesi 1990'lı yıllarda başlamış olup MM5 modelinin devamı niteliğindedir. Ulusal Atmosferik Araştırma Merkezi (The National Center for Atmospheric Research (NCAR)), Ulusal Okyanus ve Atmosfer Yönetimi(National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)),Ulusal Çevre Koruma Merkezi (National Centers for Environmental Prediction (NOAA-NCEP)), Tahmin Sistemleri Laboratuvarı (Forecast Systems Laboratory (FSL)), Hava Kuvvetleri Hava Kurumu (Air Force Weather Agency (AFWA)), Denizcilik Araştırma Laboratuvarı (Naval Research Laboratory (NRL)), Oklahoma Üniversitesi, (University of Oklahoma) ve Federal Hava Kurumunun (Federal Aviation Administration (FAA)) dahil olduğu kuruluşların konsorsiyumu ile gerçekleştirilmiştir. Bu kuruluşların yanı sıra, birçok araştırma geliştirme topluluğunun

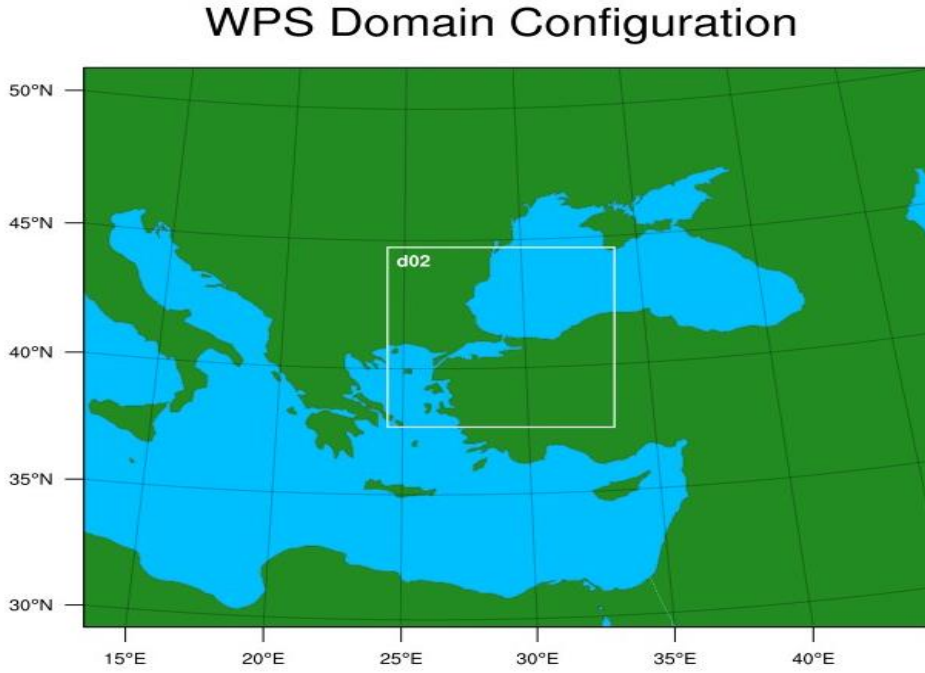
katkıda bulunduğu WRF Modeli, fiziksel, sayısal ve veri asimilasyonu gelişmelerini sağlarken sayısal olarak elverişli ve esnek, kullanıma hazır hava tahmini sağlamaktadır (Skamarock ve diğ., 2008).

İleri düzey WRF araştırma (ARW) modelleme sisteminin güncel versiyonu olan 3.5 versiyon 18 Nisan 2013 tarihinde çıkmıştır. WRF-ARW modeli, tamamen sıkıştırılabilir ve hidrostatik olmayan bir modeldir. Dikey koordinatı, hidrostatik basınç koordinat sistemidir. Grid basamaklandırması Arakawa C-gridi şemasıdır. Modelde, Runge-Kutta 2. ve 3. mertebe zaman integrasyonu, ve dikey ve yatay yönlerde 2. ve 6. mertebe adveksiyon seçeneği gibi yüksek seviye sayısal işlemleri kullanılır. Akustik ve gravite dalgaları için küçük zaman adımı; buna ek olarak tahmin edilen değişkenler için skaler değişkenlerin korunduğu akı formları kullanılır.

WRF-ARW, paralel işlem platformuna uygun ve esnek olarak tasarlanmıştır. WRF Modeli bu uygulamalar için metre mertebelerinden binlerce kilometre mertebelerine kadar ulaşan geniş bir zamansal ölçek kullanmaktadır. WRF modeli ile ilgili başlıca araştırmalar aşağıdaki konularda yapılmaktadır:

- İdealleştirilmiş simülasyonlar (baroklinik dalgalar, konveksiyon gibi),
- Parametrizasyon araştırmaları,
- Veri asimilasyon araştırmaları,
- Tahmin araştırmaları,
- Gerçek zamanlı sayısal hava öngörüsü,
- Kasırğa araştırmaları,
- Bölgesel iklim araştırmaları.

Bu çalışmada WRF modelinde kullanılan veriler 6 saatlik olarak düzenlenen NCEP Final Operational Global Tropospheric Analyses veri setidir. Veri 26 düşey seviyede $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ çözünürlükte arşivlenmiştir. WRF modeli iki domain ile en dış domain 10×10 km en iç domain ise 3.3×3.3 km olmak üzere çalıştırılmıştır (Şekil 3.6). Başlangıç zamanı 14.12.2014 00:00 UTC olarak alınmış ve bitiş zamanı da 16.12.2014 00:00 UTC olarak belirlenmiştir. Çalışmada episod günü olan 15.12.2014 gününün bir gün öncesi ve bir gün sonrası için model koşturulmuştur ve modelde kullanılan parametrizasyon Çizelge 3.3' te verilmiştir. WRF model çıktıları NCL (NCAR Command Language) yardımıyla görselleştirilmiştir.



Şekil 3.6: Çalışmada kullanılan 10x10 km ve 3.3x3.3 km çözünürlüklü WRF çalışma alanları.

Çizelge 3.3: WRF Fizik Parametrizasyonu

WRF Fizik Parametrizasyonları	Parametrizasyon Açıklaması
mp_physics=1	Kessler Scheme
ra_lw_physics=1	RRTM Scheme
ra_sw_physics=1	Dudhia Scheme
sf_sfclay_physics=1	MM5 Monin-Obukhov Scheme
sf_surface_physics=3	RUC Land Surface Model
bl_pbl_physics=1	Yonsei University Scheme
cu_physics=1	Kain-Fritsch Scheme
isfflx=1	Fluxes are on
ifsnow=1	with snow cover effect
icloud=1	Xu-Randall Method
surface_input_source=1	WPS/geogrid

3.2.2 HYSPLIT modeli

HYSPLIT modeli basit hava parseli yörüngelerinin belirlenmesinden daha karmaşık yayılma ve çökme simülasyonlarını hesaplayan tam bir sistemdir. Bu modelin

geliştirilmesi NOAA ve Avustralya Meteoroloji Bürosu tarafından yapılmıştır. HYSPLIT modeli hava kirliliğin yapısını belirlemeye yardımcı olurken kirleticilerin lokal, bölgesel ve global ölçekteki taşınımını ve dağılımını da ortaya koyar. Partiküler madde kaynaklarının atmosferde çok karmaşık bir şekilde yer almasına rağmen olası PM kaynaklarını anlamak ve ortaya koymak geriye dönük yörünge analizleri ile mümkündür (Ozdemir ve diğ., 2012).

Bu çalışmada HYSPLIT modeli episod günü olan 15 Aralık 2014 tarihi için geriye dönük partikül taşınım yörüngelerini belirlemek için yer seviyesinden 1500 m yukarıda ve 72 saatlik süre ile çalıştırılmıştır.

3.2.3 SODAR ölçümleri

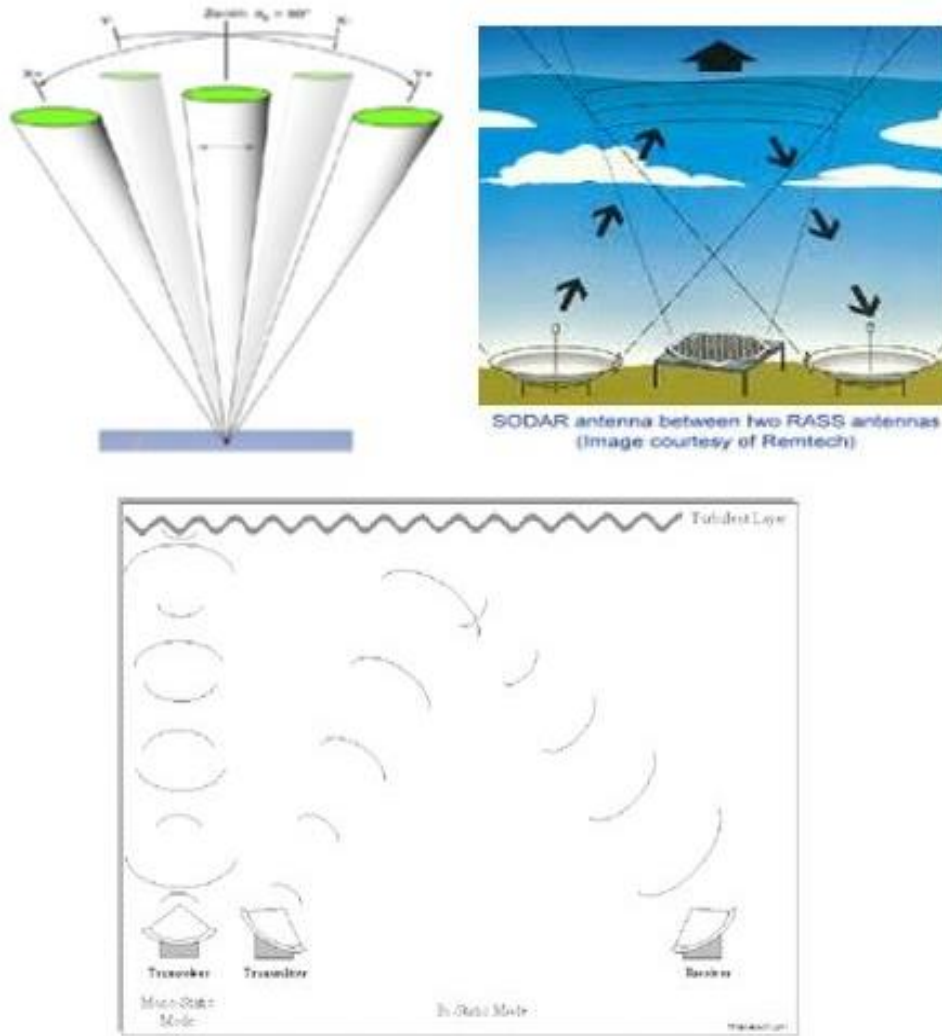
Atmosferik sınır tabaka (AST) troposferin en alt tabakası olup günlük yaşamımızda önemli bir role sahiptir. Sınır tabaka meteorolojisinin çeşitli uygulamaları planeter sınır tabakanın daha iyi anlaşılmasını gerektirir. Bu tabakanın derinliği zaman ve mekana göre değişir. AST' nin derinliği momentum, ısı ve nemin transferini kontrol eder. SODAR (Sound Detection And Ranging) ölçümleri ise AST'nin bu karmaşık yapısının anlaşılmasında son derece faydalı bilgiler sağlar. SODAR teknolojisi, ses yardımıyla rüzgar profillerini ortaya koymaya olanak sağlar ve çalışma prensibi radar teknolojisiyle aynıdır fakat bu cihazı radar sistemlerinden ayıran önemli özelliği, atmosfere radyo dalgası yerine ses dalgası göndererek ölçümü yapmaktır. Monostatik, bistatik ve Doppler olarak çalıştırılabilen akustik radarlar genellikle 1.6 Khz ile 3.0 Khz arasında bir ses frekansı kullanırlar. Atmosferden saçılan ses işaretinin analog ya da sayısal olarak kaydedilmesi koşuluyla yer yüzeyi üzerindeki rüzgar hızı ve aşağı atmosfer tabakasının termodinamik yapısı belirlenebilmektedir (İncecik, 1994).

SODAR uygulamaları geniş bir alanda kullanılmaktadır. Bunlara; mikrodalga ve ışık yayılma koşullarının incelenmesi; atmosferik sınır tabakanın bölgesel ikliminin araştırılması; hava kirliliği meteorolojisi ve hava tahmini; kararlı ve kararsız tabaka şartlarında orta ölçekli akımların ve türbülans yapısının (alçak seviye jet akımları, dalga hareketleri, konvektif termaller) incelenmesi örnek olarak gösterilebilir (Kallistratova ve Coulter, 2004).

Gera ve diğ. (2000) ve Gariazzo ve diğ. (2002) SODAR karışma yüksekliklerini, Pasquill kategorilerini ve ortalama rüzgar hızını ve yüzey ozonu, CO, SO₂ konsantrasyonları ile düşey hızın standart sapmasını karşılaştırmışlardır. Keder ve diğ.

(2002) SODAR ile tespit edilen ortalama rüzgar hızı ile LIDAR ile elde edilen iki boyutlu hava kirliliği profillerini karşılaştırmışlardır.

Çalışmada kullandığımız cihaz Remtech PA0 marka SODAR cihazıdır (Şekil 3.8). Bu cihazda 3.6 KHz frekansında çalışan 64 adet küçük anten bulunmaktadır. Cihaz 80 m ile 650 m arasında, 15 °C sıcaklık ve %70 oranında bağıl nem koşullarında efektif bir şekilde çalışmaktadır. SODAR cihazından alınan parametreler yatay rüzgar hızı (u) ve yönü ve düşey rüzgar bileşenidir. SODAR cihazının çalışma prensibini açıklayacak olursak, cihaz tarafından atmosfere gönderilen ses dalgaları hava moleküllerine çarpmaktadır ve daha sonra saçılan ve geri gelen ses işaretinin dijital olarak kaydedilmesiyle istenilen ölçümler yapılmış olmaktadır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7: SODAR cihazının farklı tipleri ve çalışma prensipleri.

TÜBİTAK 112Y319 no' lu proje kapsamında yapılan SODAR ölçümlerimiz verimli olarak Nisan 2014' te PM10 ölçümlerinin de yapıldığı Kağıthane bölgesinde

başlamıştır (Şekil 3.3). Veriler her 30 dakikada bir 21 seviye için (30, 50, 70, 90, 110, 130, ..., 410m) otomatik olarak kaydedilmiştir. Çalışmada belirlemiş olduğumuz episod döneminde SODAR cihazının yeri birtakım güvenlik problemleri nedeniyle değiştirilmiş ve İstanbul Teknik Üniversitesi Meteoroloji Gözlem Parkı'na getirilerek ölçümler burada alınmıştır. Seçilen episodik periyottaki maksimum PM10 konsantrasyonun gözlemlendiği gün için SODAR cihazından elde edilen veriler yardımıyla yer yüzeyindeki tabakanın kararsızlık durumu incelenmiştir buna göre de PM10 taşınımının düşey yöndeki hareketi ortaya konulmaya çalışılmıştır.

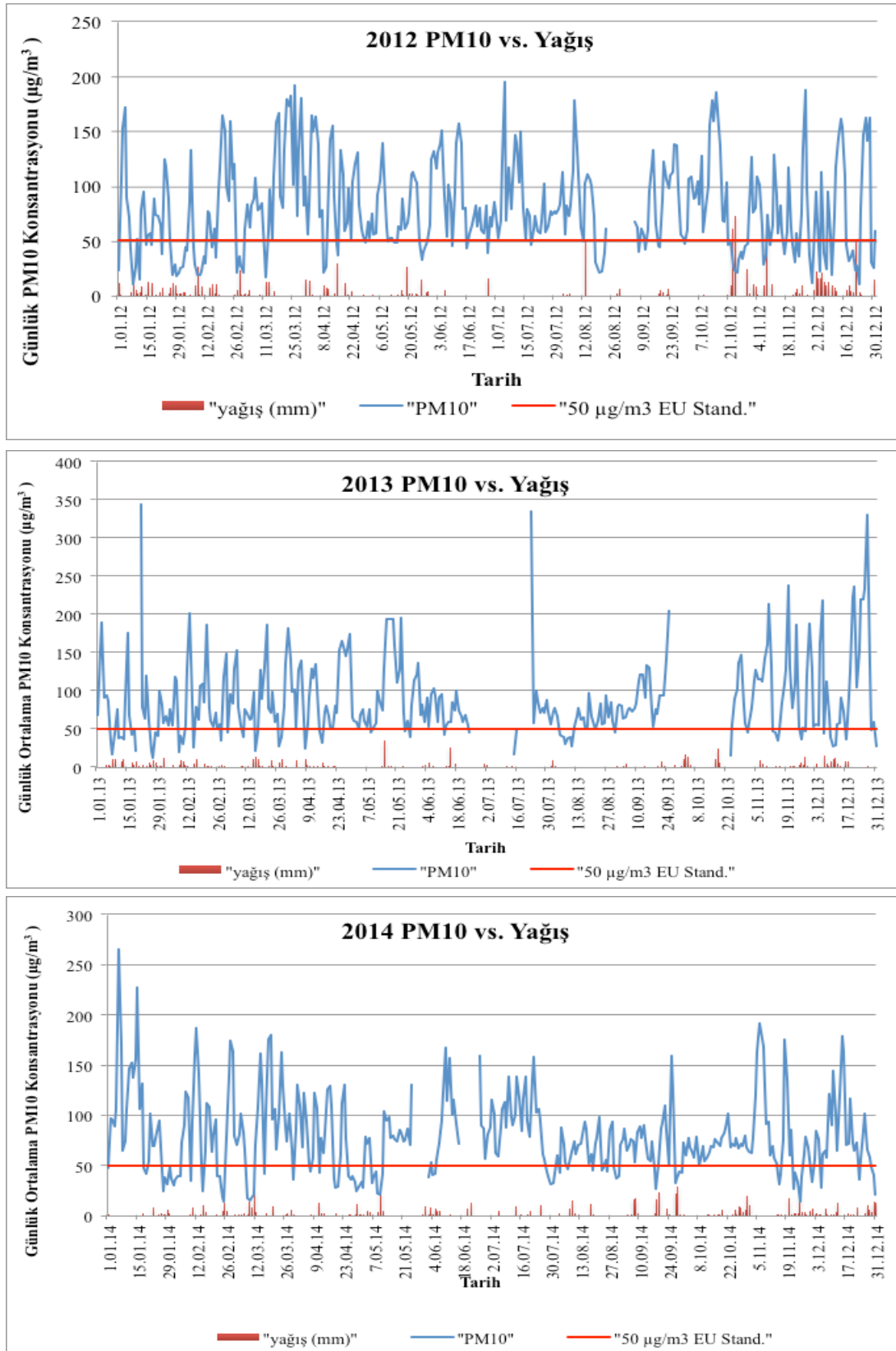


Şekil 3.8: REMTECH PA0 SODAR ölçüm cihazı ve ölçüm yeri.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 PM10 Ölçümleri

Kağıthane ölçüm istasyonundan alınan 2012-2014 yılı PM10 konsantrasyon verileri günlük, aylık, mevsimlik ve yıllık bazda incelenmiştir. PM10 konsantrasyonlarında yağışın da etkisi önemli olduğundan toplam yağış miktarı da PM10 verileri ile birlikte incelenmiştir. 2012-2014 yılları arası günlük PM10 konsantrasyonu, günlük toplam yağış (mm) ve EU PM10 standardı Şekil 4.1’ de verilmiştir. 2012 yılına ait günlük ortalama PM10 konsantrasyon değerleri tüm yıl boyunca genellikle EU standartları limit değeri olan $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ’ ün üzerinde seyretmiştir. PM10 konsantrasyonu genel olarak kış ve ilkbahar aylarında yüksek olarak gözlemlenmiştir fakat belirgin bir episodik dönem bulunamamıştır. 2013 yılı PM10 değerlerine bakacak olursak grafikteki eksik veriler cihaz arızalanmasından kaynaklanmaktadır ve sağlıklı analiz edecek derecede elimizde veri bulunmamaktadır. Ancak yine 2012 yılında olduğu gibi genel olarak PM10 konsantrasyonu yıl boyunca limit değerin üzerinde seyretmiştir 2012 yılında eksik veri çok fazla olduğundan dolayı episodik dönem belirlenmesi mümkün değildir. 2014 yılı PM10 konsantrasyon değerlerine bakacak olursak yıl boyunca limit değerlerin üzerinde konsantrasyon ölçülmüştür ancak 2014 yılı 2012 ve 2013 yılına oranla daha sağlıklı veriler içermektedir. Saatlik olarak incelendiğinde de eksik veri sayısı diğer yıllardan çok daha azdır ve 2014 yılında $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ’ü aşan birden fazla dönem olduğundan ve bu dönemlerden biri olan 05.12.2014 – 25.12.2014 dönemi episodik dönem olarak belirlenmiştir. 5 Aralık 2014 tarihinden 15 Aralık 2014 tarihine kadar PM10 konsantrasyonlarında belirli bir artış ve olay gününde yani 15 Aralık 2014 tarihinde en yüksek konsantrasyon değeri gözlenmiş ve sonrasında konsantrasyon değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Çizelge 4.2’ de 2012-2014 yılları için en yüksek, en düşük ve ortalama PM10 konsantrasyon değerleri verilmiştir. PM10 için yıllık bazda EU limit değeri $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ’ tür ve ele aldığımız üç yıl için de bu limit değeri neredeyse iki katı değerinde aşılmaktadır.



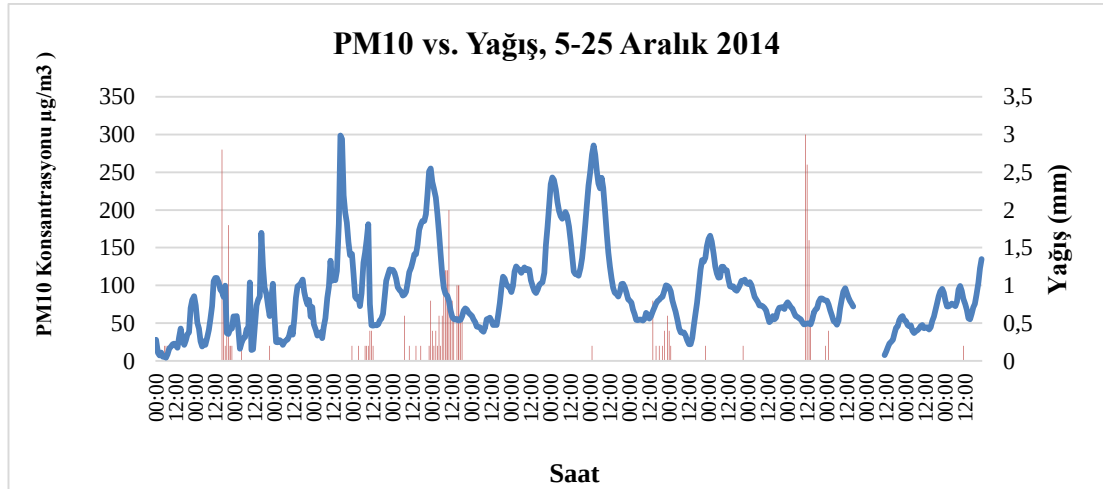
Şekil 4.1: 2012-2014 yılı günlük ortalama PM10 konsantrasyonu ve günlük toplam yağış grafiği.

Çizelge 4.1: 2012-2014 yılları arası günlük ortalama PM10 istatistiksel değerleri.

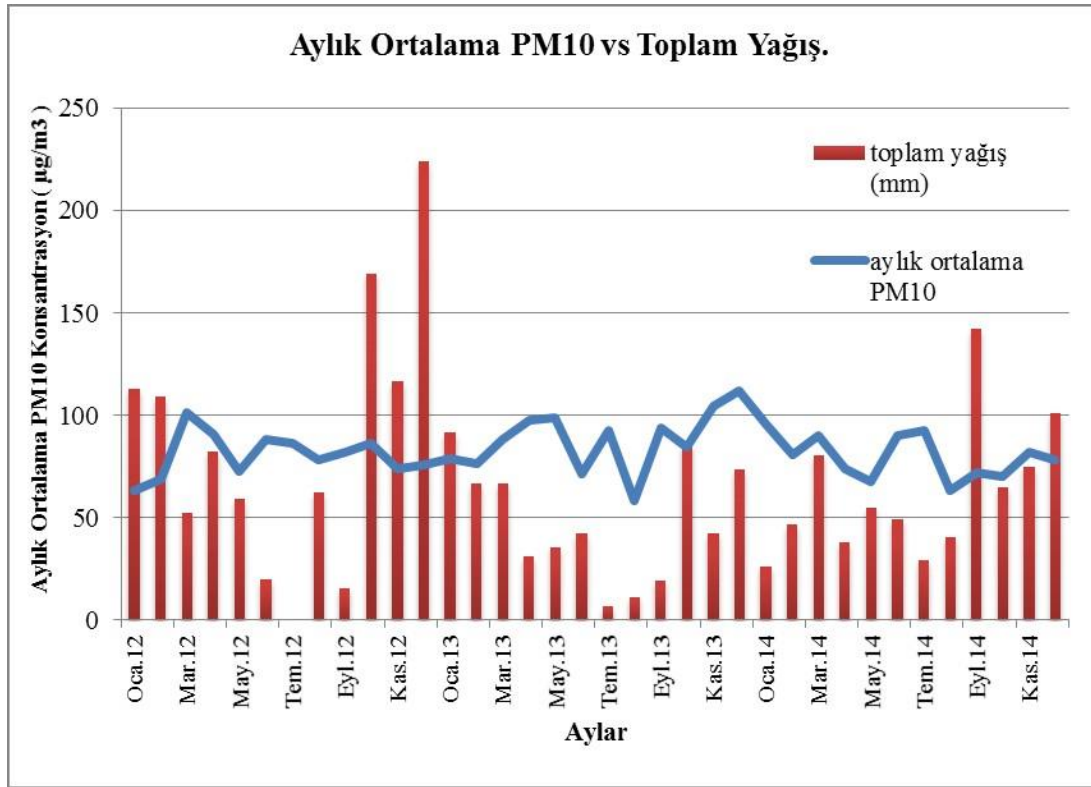
	2012	2013	2014
Minimum [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	10	12.1	13.87
Medyan [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	74.4	74.55	73.5
Maksimum [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	195.2	329.9	265.2
Ortalama [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	80.77	88.46	79.66

PM10 konsantrasyonları yağış olduğu durumda azalma göstermektedir çünkü yağışın görüldüğü atmosfer koşullarında havada bir kararsızlık durumu söz konusudur ki bu durumda da partiküler maddeler atmosferde çökmeyip dağılma eğilimi gösterirler. Şekil 4.2’de saatlik PM10 konsantrasyonuyla birlikte saatlik yağış değerleri incelenmiştir. Günlük bazde inceleyecek olursak yağışın olduğu durumlarda PM10 konsantrasyonlarında azalma görülürken, yağışın olmadığı saatlerde ise yüksek konsantrasyon değerleri gözlemlenmiştir.

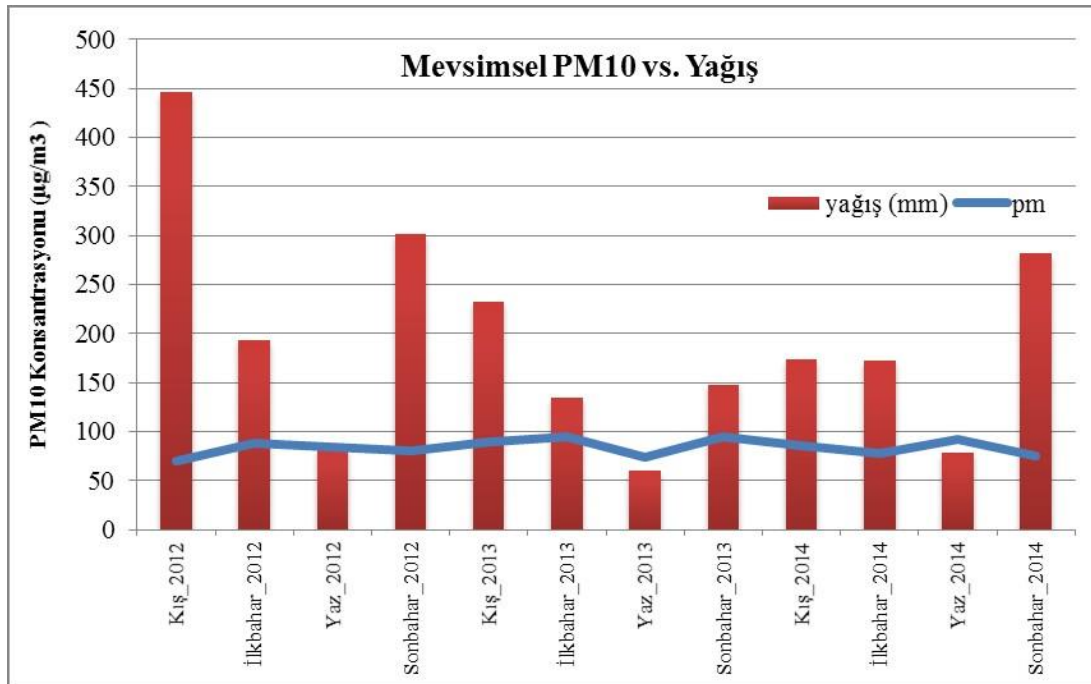
PM10 konsantrasyonlarının 2012-2014 yılları arası aylık değerleri de Şekil 4.3’te verilmiştir.



Şekil 4.2: Saatlik PM10 ve yağış, 5-25 Aralık 2014.



Şekil 4.3: Aylık ortalama PM10 konsantrasyonu ve aylık toplam yağış.



Şekil 4.4: Mevsimsel PM10 konsantrasyonu ve mevsimlik toplam yağış (mm).

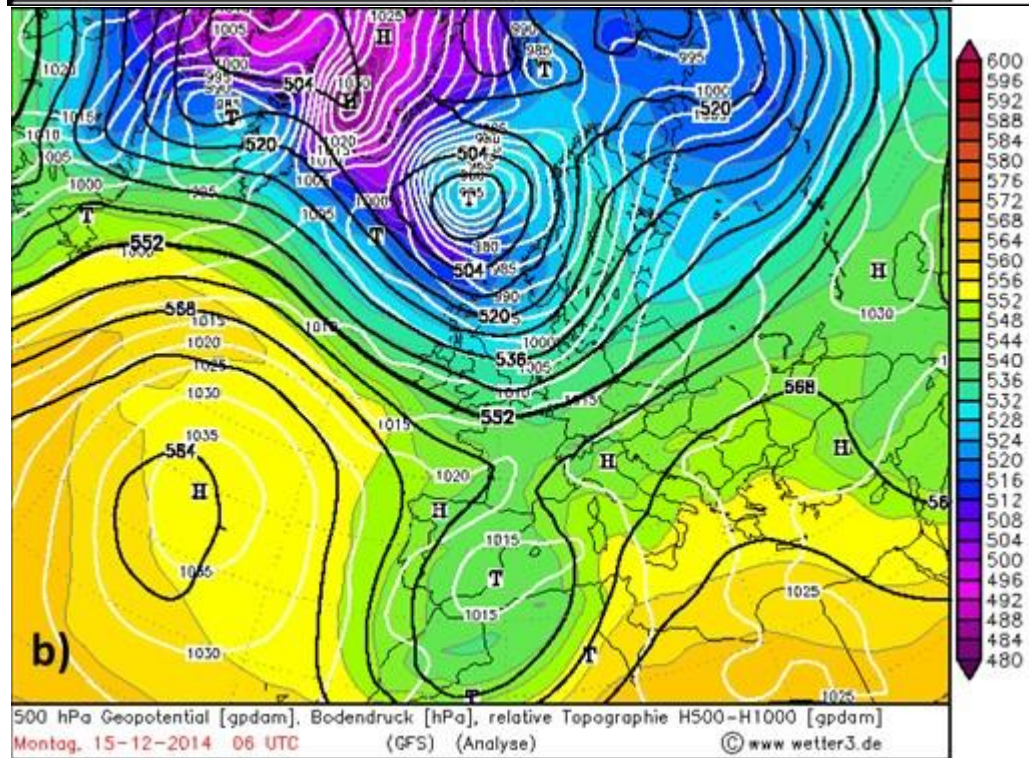
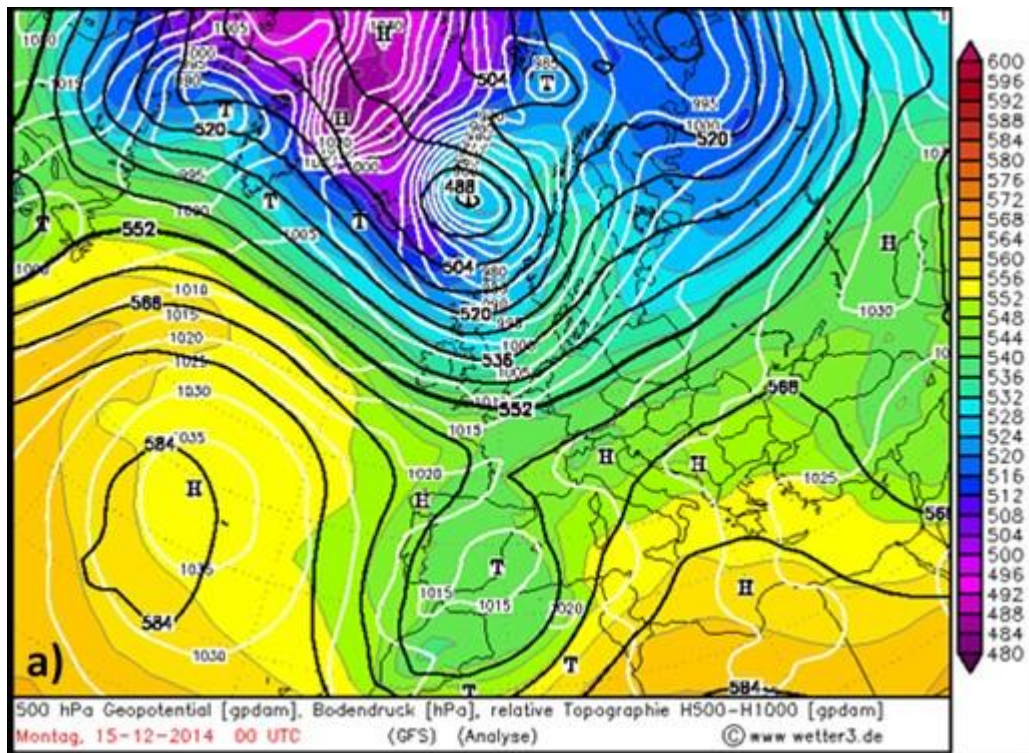
Yukarıdaki grafiğe göre üç senelik periyotta aylık bazda PM10 konsantrasyonları genellikle kış aylarında ve ilkbahar aylarında yüksek olmakla birlikte yaz aylarında

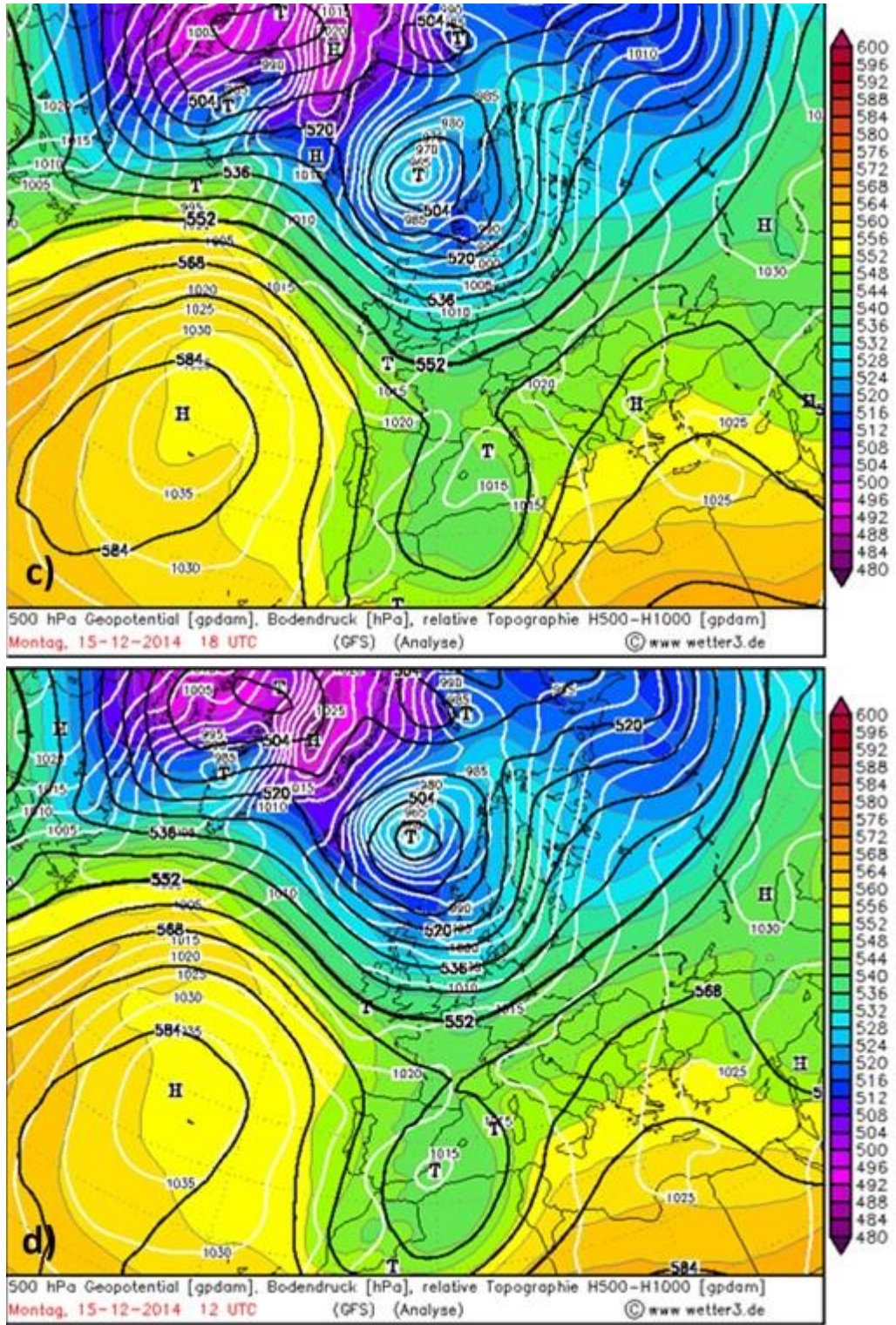
azalmaktadır. Yağışın yüksek olduğu durumlarda ise düşük PM10 konsantrasyonları gözlemlenmiştir. PM10 konsantrasyonlarını mevsimsel olarak değerlendirecek olursak (Şekil 4.4), daha önceki grafiklerde de görüldüğü gibi PM10 konsantrasyonları kış ve ilkbahar aylarında yüksek olarak gözlemlenmiştir. Bu değerler günlük ve yıllık EU limitlerini aşmaktadır.

4.2 Meteorolojik Analizler

Atmosferde meydana gelen olayların tümü atmosferik sınır tabaka olarak tanımladığımız alanda gerçekleşmektedir. Atmosferik sınır tabaka (AST), yüzey ile atmosfer arasında düşey olarak momentum, ısı ve nem değişiminin olduğu bölge olarak tanımlanmaktadır (Panofsky ve Dutton,1984). Partiküler madde kirliliğinde atmosferin durumu oldukça önemlidir. Partiküler maddelerin belirli bir bölge üzerinde çökmesi, yakın kıta ya da uzak kıta taşınımının gerçekleşmesi, partiküler madde yoğunluğunun rüzgarlar ile azalması durumlarının hepsini atmosferin o anki meteorolojik koşulları belirlemektedir.

15.12.2014 tarihi için yüksek seviye haritaları incelenerek atmosferin kararlılık durumu belirlemeye çalışılmıştır. Aynı zamanda yağış parametresine bakılarak o gün yağışın olup olmadığı ve PM10 konsantrasyonu üzerindeki etkisi incelenmiştir. Şekil 4.4’ te 15.12.2014 gününe ait 3 saatlik periyotlarla alınmış 500 hPa jeopotansiyel yükseklik ve basınç haritaları görülmektedir.

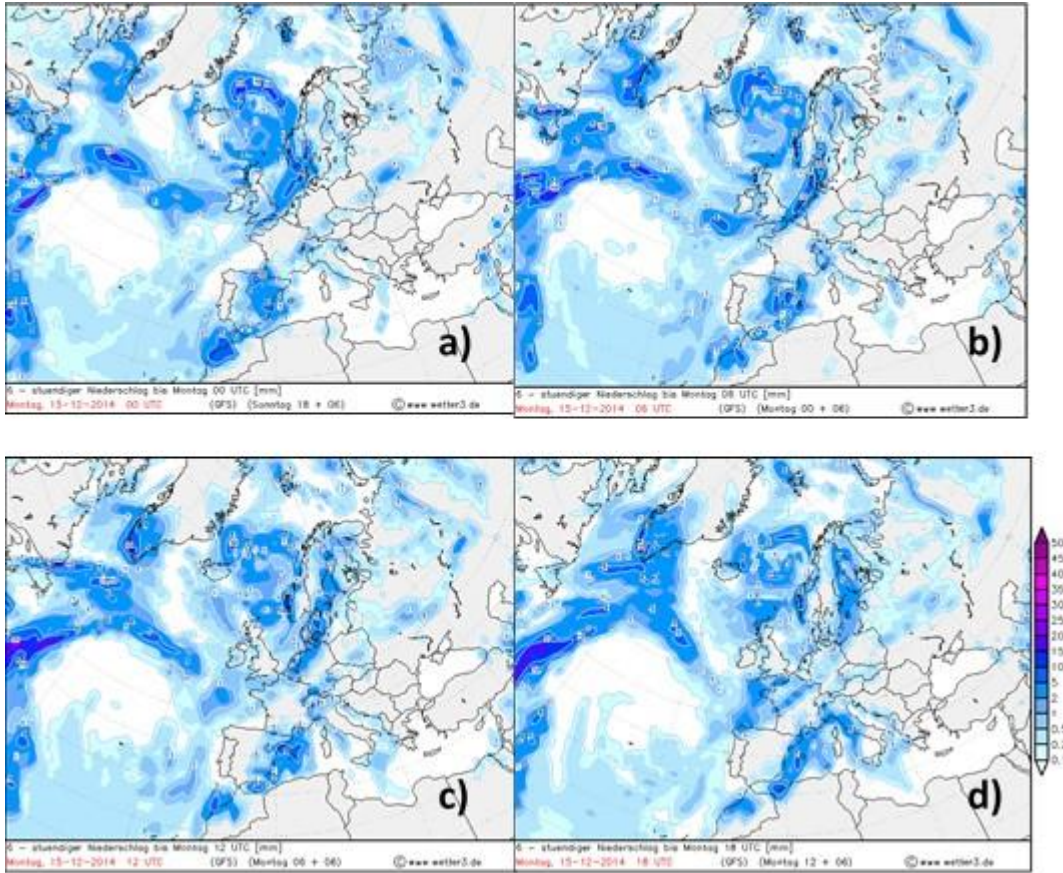




Şekil 4.5: 15 Aralık 2015 500 hPa haritaları a) 00 UTC b) 06 UTC c) 12 UTC d) 18 UTC.

Şekil 4.5' i inceleyecek olursak; 15 Aralık 2014 tarihinde 00 UTC 500 hPa jeopotansiyel haritasına göre İtalya'nın batısında ve kuzeyinde daha derin bir alçak basınç görülmektedir. İzlanda alçak basınç merkezi oldukça derinleşmiş ve minimum

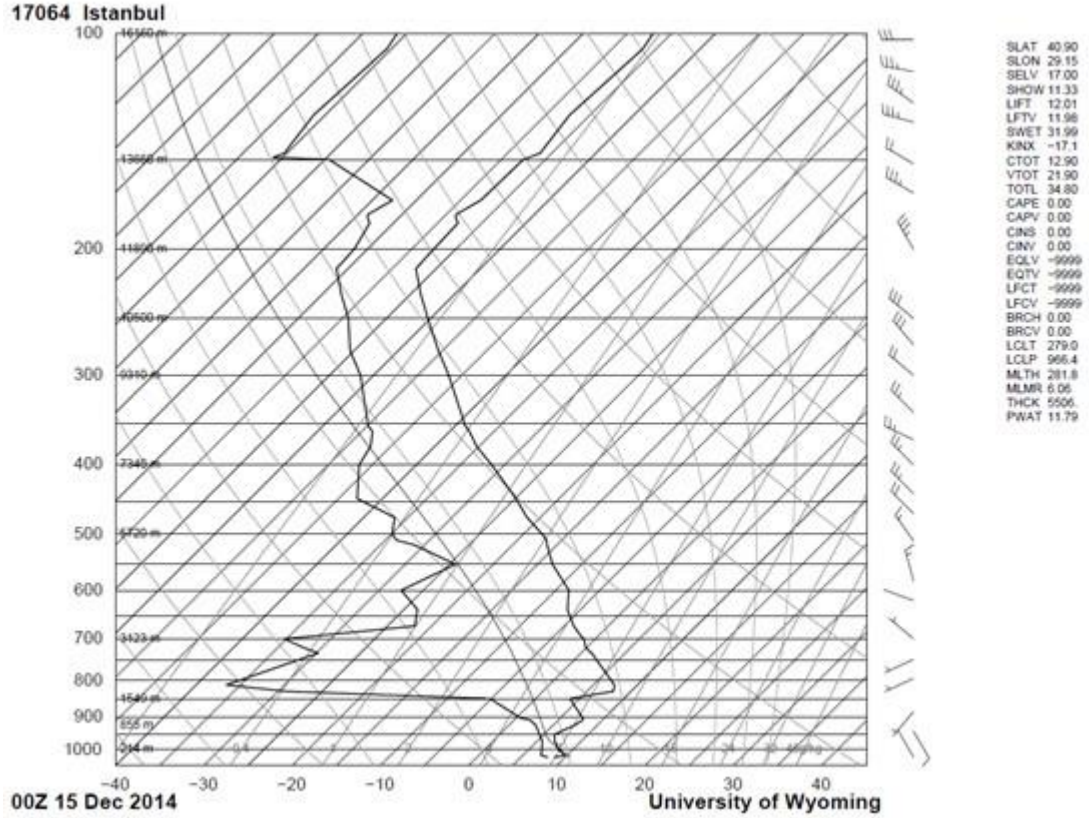
basınç değeri 965 hPa olarak görülmektedir. Türkiye ise yüksek basınç etkisi altındadır ve basınç değeri 1025 hPa' dır. 06, 12 ve 18 UTC haritalarında da durum aynı şekilde seyretmektedir. Gün içinde basınç sistemlerinin hareketi oldukça yavaştır ve Türkiye üzerinde de yüksek basıncın etkisi akşam da devam etmektedir. İstanbul'da da yüksek basınç etkili olduğundan dolayı rüzgarlar genel olarak kuzeybatıdan esmektedir ki bu durum da Doğu Avrupa üzerinden İstanbul'a ve Türkiye' ye toz taşınımını mümkün kılmaktadır. Ancak izobarların arası sık olmadığından rüzgar şiddeti de kuvvetli değildir. Episod günü içerisinde yüksek basınç olduğundan ve yağış hadisesi de (Şekil 4.6) görülmediğinden kirletici konsantrasyonu yüksek olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.6: 15.12.2014 tarihi toplam yağış (mm) haritası a) 00 UTC, b) 06 UTC, c) 12 UTC, d) 18 UTC.

Atmosferin kararlılık durumu için SkewT-LogP (Şekil 4.7) diyagramını da inceleyecek olursak; 15.12.2014 tarihinde atmosferde 50m ile 90m arasında düşey sıcaklık profilinde bir artış görülmektedir ki bu durumda enverziyon olarak adlandırılmaktadır. Enverziyon olduğu durumlarda 50m' nin altındaki hava soğuk 50m ve 90m arasında hava sıcaktır ve yer seviyesinden 50m' ye kadar hava kararlıdır. Göz önüne aldığımız gün için skewT-LogP diyagramında yaklaşık yer seviyesinde

17m yükseklikte basınç 1024 hPa, sıcaklık 9.8 °C iken 50m yukarıda ise sıcaklık 8.8 °C olarak ölçülmüştür. Dolayısıyla yer seviyesinin kararlı durumda olması, partiküler maddelerin çökmesine neden olmaktadır. Enverziyon olması ve rüzgarların da yer seviyesinde sakin olması sebebiyle de PM10 konsantrasyonları episod gününde yüksek olarak ölçülmüştür.

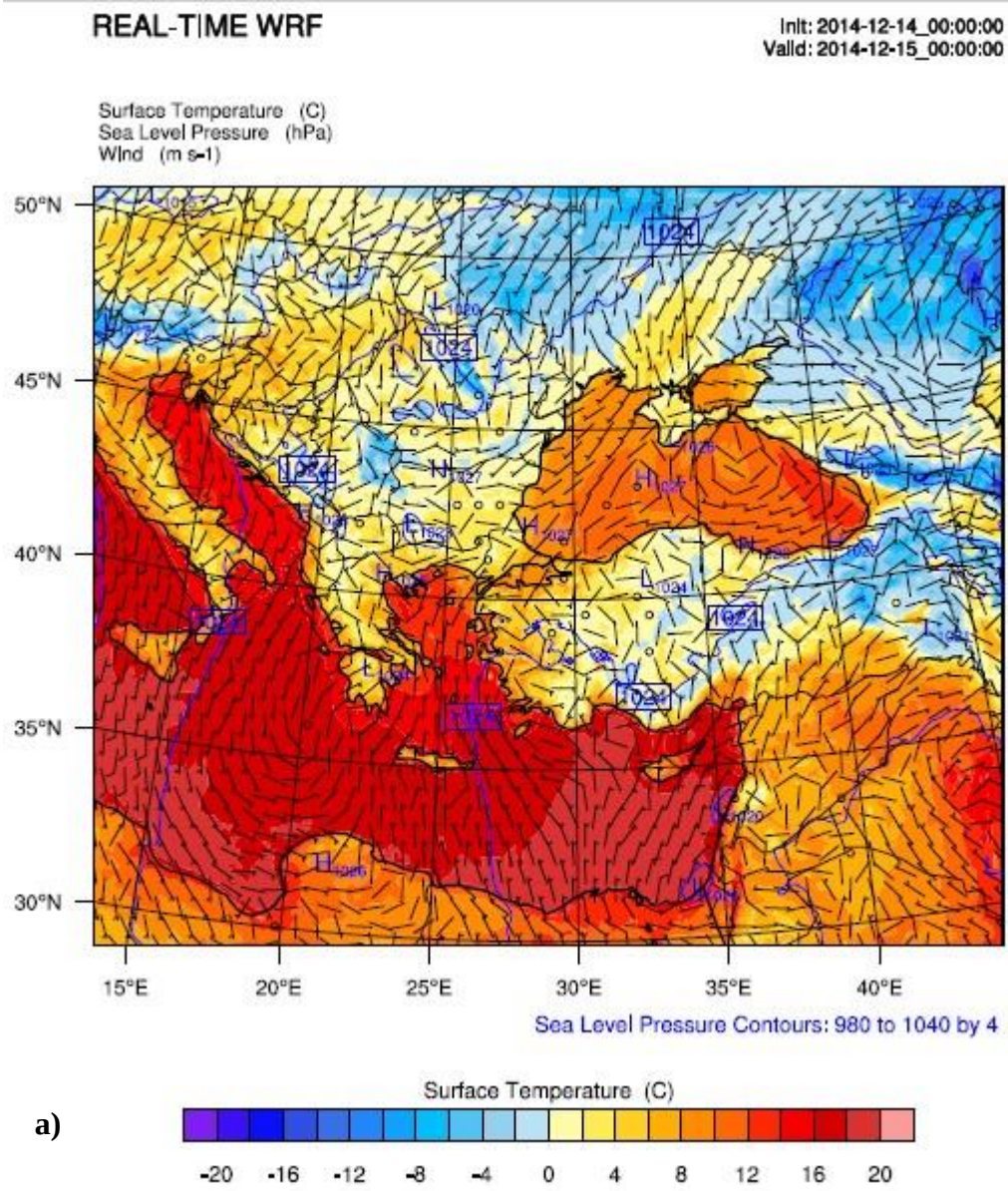


Şekil 4.7: İstanbul için 15.12.2014 00Z SkewT-LogP diyagramı.

4.3 Model Sonuçları (WRF ve HYSPLIT)

Çalışma alanı için WRF-ARW modeli 14.12.2014 00UTC tarihinde başlatılarak en dış domain için 6 saat aralıklarla en iç domain için ise 2 saat aralıklarla 16.12.2014 00UTC'ye kadar koşturulmuştur. WRF modelinden elde edilen çıktılar ile dış domain (Şekil 4.8) ve iç domain (Şekil 4.9) için yer seviyesinde deniz seviyesine indirgenmiş basınç (hPa), yüzey sıcaklığı (°C) ve yatay rüzgar hızı (m/s) değerleri 15.12.2014 tarihi

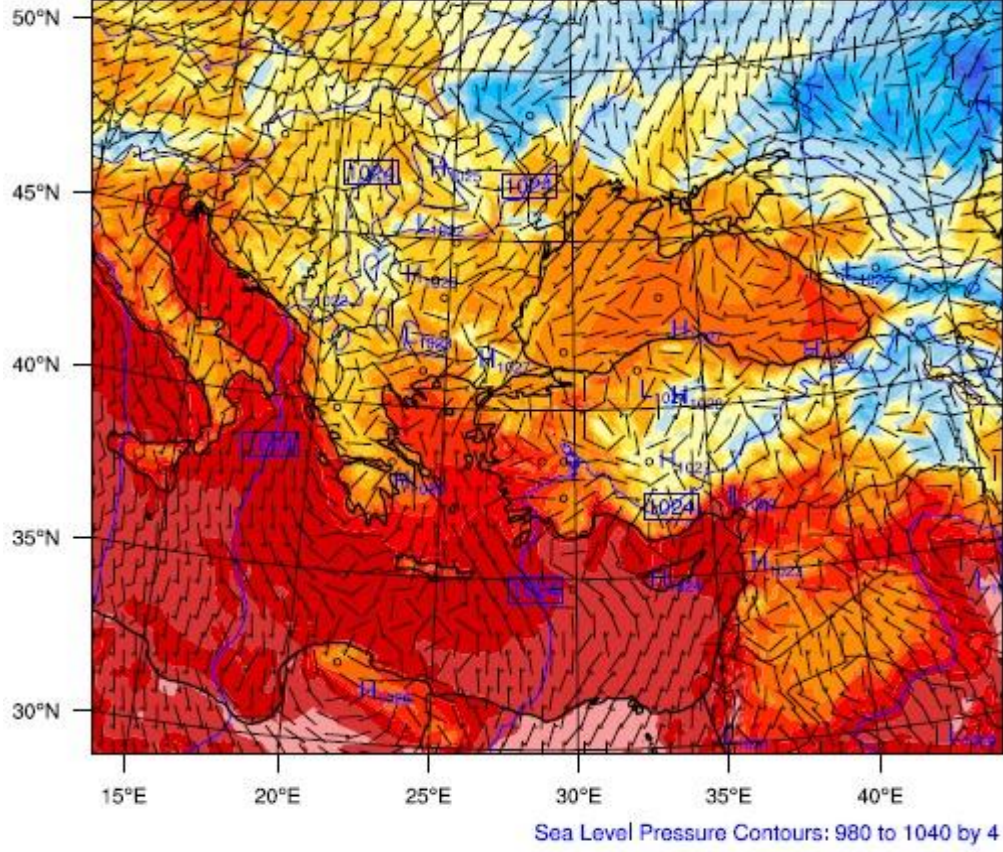
00UTC (Şekil 4.8a) ve 12UTC (Şekil 4.8b) için harita üzerinde NCL programı yardımıyla görselleştirilmiştir.



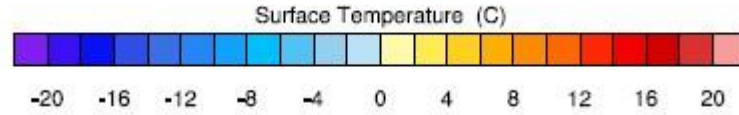
REAL-TIME WRF

Init: 2014-12-14_00:00:00
Vald: 2014-12-15_12:00:00

Surface Temperature (C)
Sea Level Pressure (hPa)
Wind (m s⁻¹)



b)



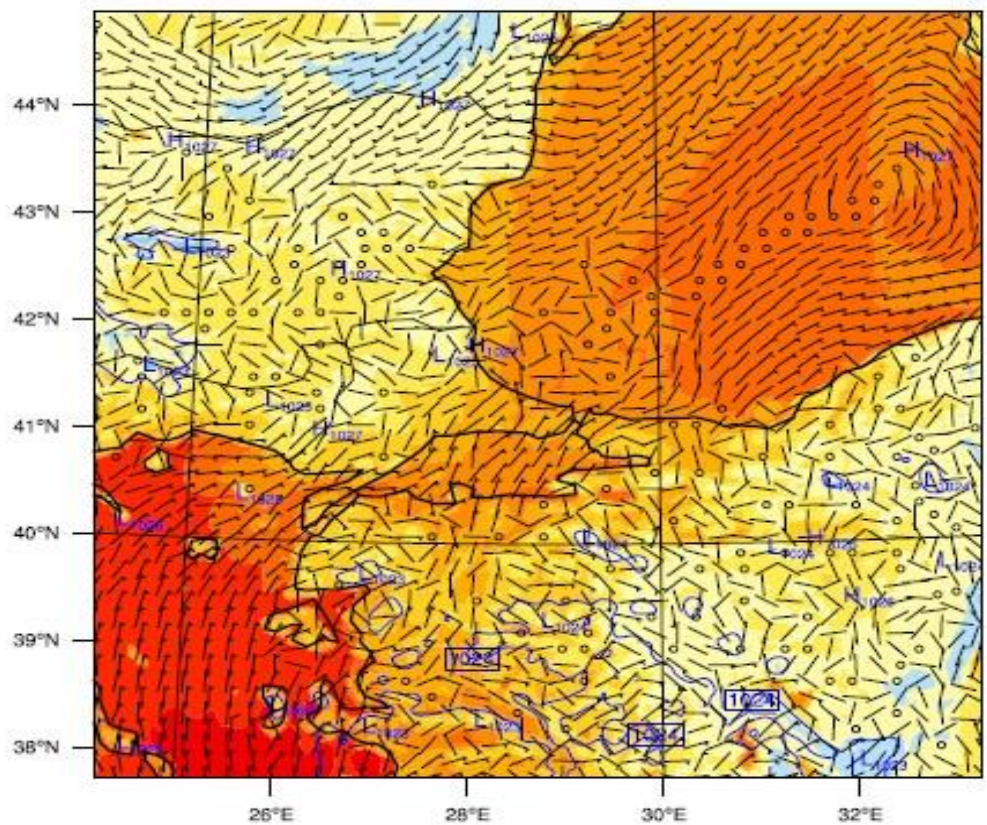
Şekil 4.8: Dış domain için yer seviyesi sıcaklık, basınç ve rüzgar hızı değerleri

a) 00UTC, b) 12UTC.

REAL-TIME WRF

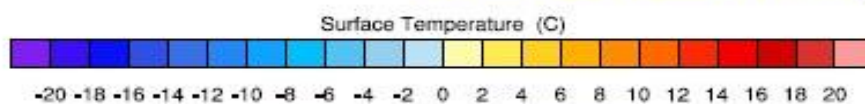
Init: 2014-12-14_00:00:00
 Valid: 2014-12-15_00:00:00

Surface Temperature (C)
 Sea Level Pressure (hPa)
 Wind (m s⁻¹)



Sea Level Pressure Contours: 980 to 1040 by 4

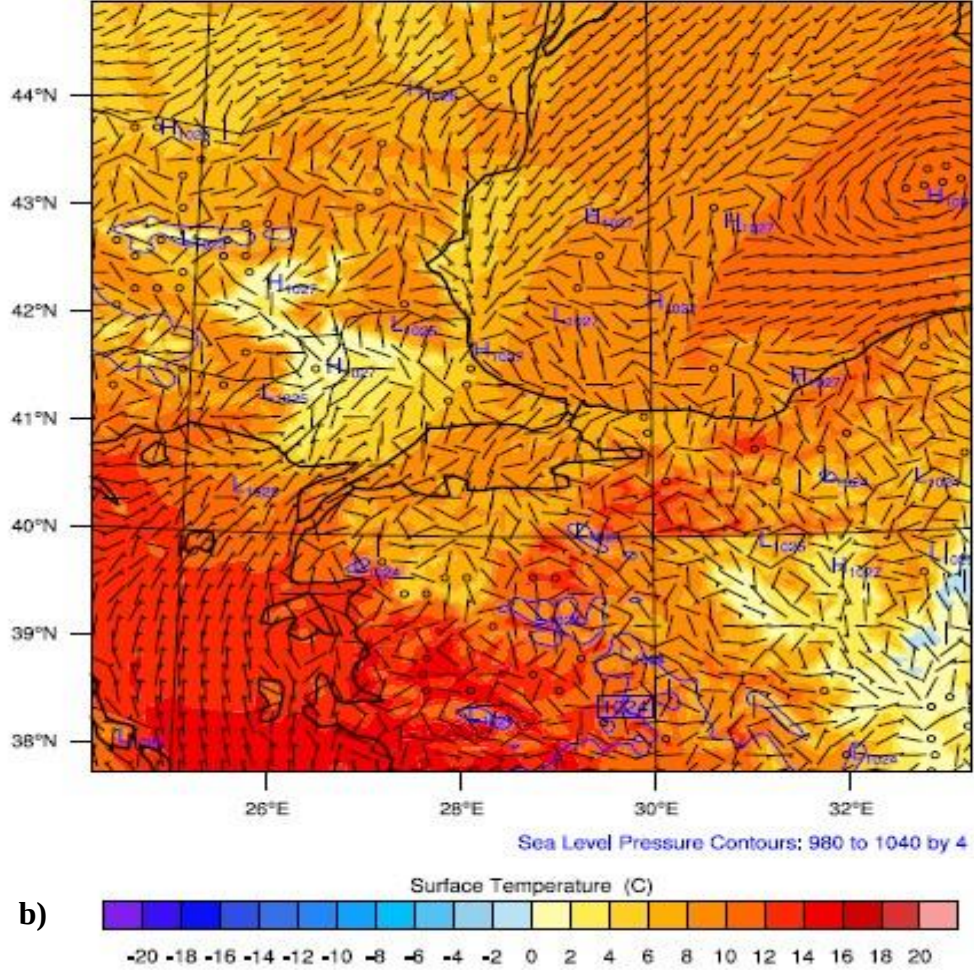
a)



REAL-TIME WRF

Init: 2014-12-14_00:00:00
Valid: 2014-12-15_12:00:00

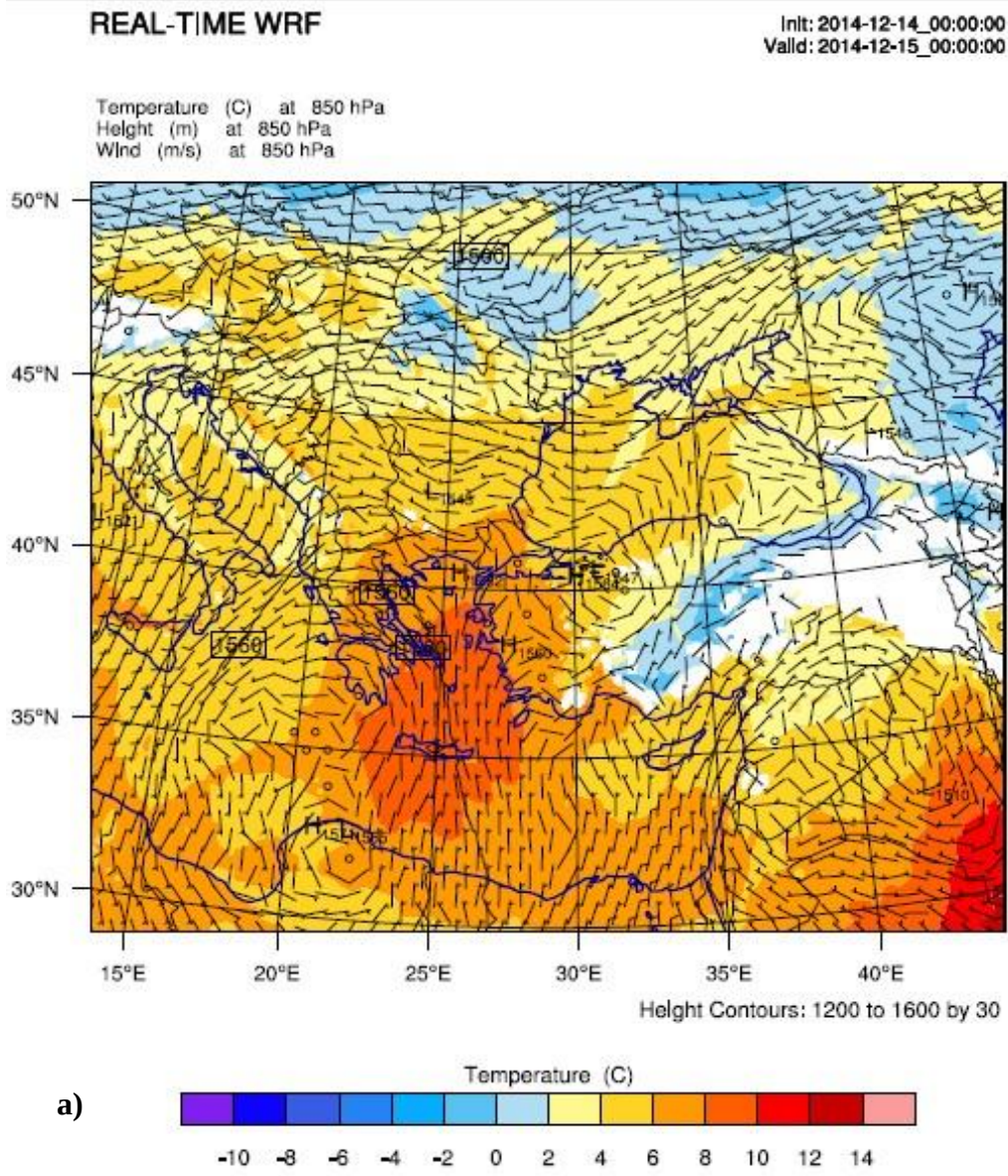
Surface Temperature (C)
Sea Level Pressure (hPa)
Wind (m s⁻¹)



Şekil 4.9: İç domain için yer seviyesi sıcaklık, basınç ve rüzgar hızı değerleri
a) 00UTC, b) 12UTC.

Şekil 4.8 ve 4.9’u inceleyecek olursak, İstanbul için yer seviyesi sıcaklıklarının 6 °C olduğu görülmektedir. Ayrıca denize indirgenmiş basınç değerlerine bakacak olursak 1027 hPa yüksek basıncın etkisinde olduğumuz görülmektedir. Aynı zamanda rüzgar hızı hem Türkiye hem de Doğu Avrupa üzerinde sakin ve rüzgarın genellikle belirtilen zaman adımları için değişik yönlerden maksimum 10 m/s civarında estiği görülmektedir. 850 hPa yerden yaklaşık olarak ortalama 1.5 km yukarısını temsil etmektedir. Bu seviye yere en yakın seviye olmakla birlikte yer seviyesindeki meteorolojik şartlardan etkilenmediği için yaklaşan hava kütesinin etkilerinin değerlendirilmesi açısından oldukça önemli bir seviyedir. Bu amaçla Şekil 4.10 ve

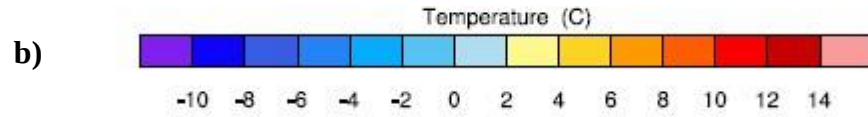
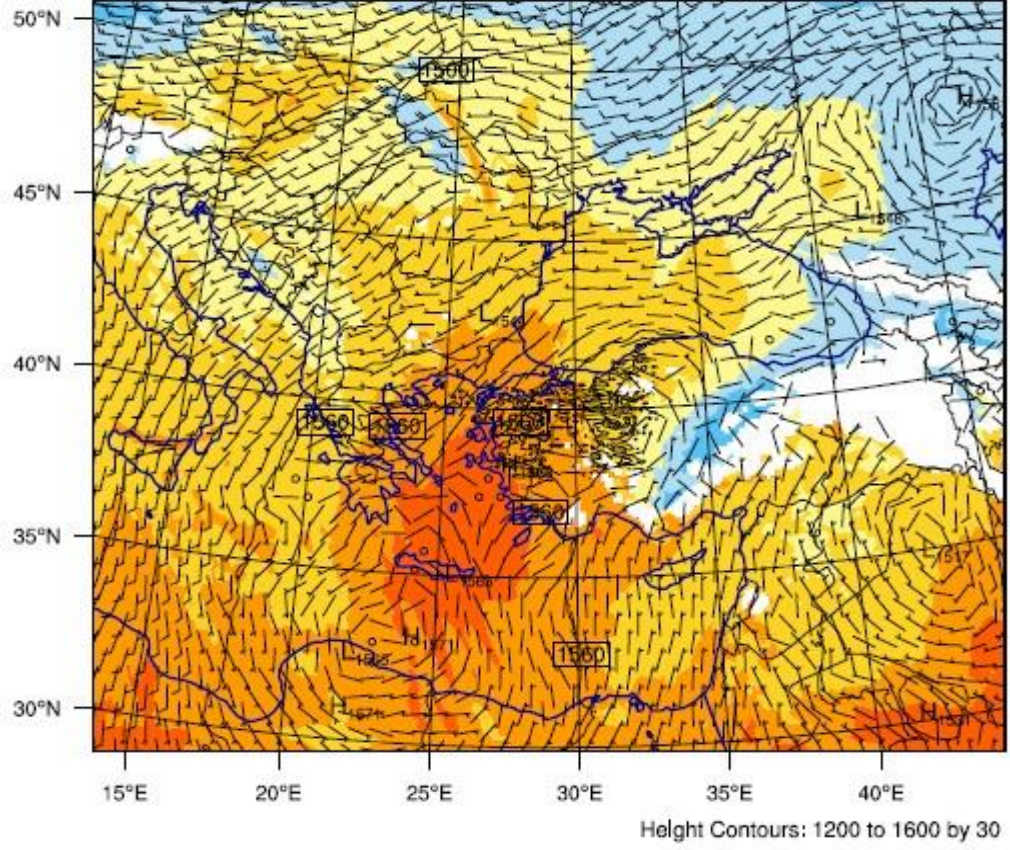
4.11’de iç ve dış domain için 850 hPa sıcaklıkları, jeopotansiyel yükseklikler ve yatay rüzgar hızları çizdirilmiştir.



REAL-TIME WRF

Init: 2014-12-14_00:00:00
Valid: 2014-12-15_12:00:00

Temperature (C) at 850 hPa
Height (m) at 850 hPa
Wind (m/s) at 850 hPa

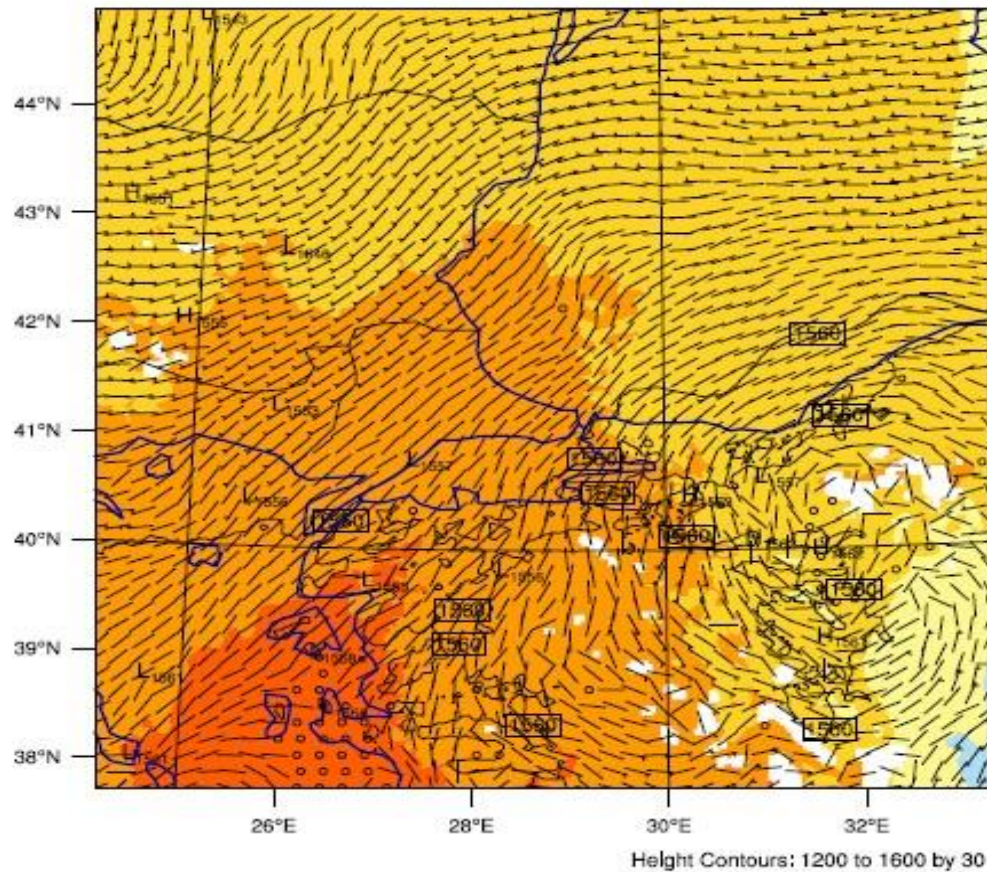


Şekil 4.10: Dış domain için 850 hPa seviyesi sıcaklık, basınç ve rüzgar hızı değerleri, a) 00UTC, b) 12UTC.

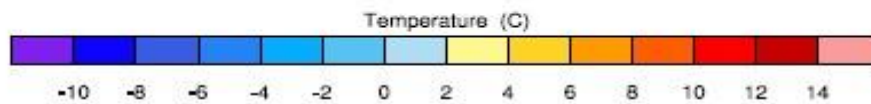
REAL-TIME WRF

Init: 2014-12-14_00:00:00
Valid: 2014-12-15_12:00:00

Temperature (C) at 850 hPa
Height (m) at 850 hPa
Wind (m/s) at 850 hPa



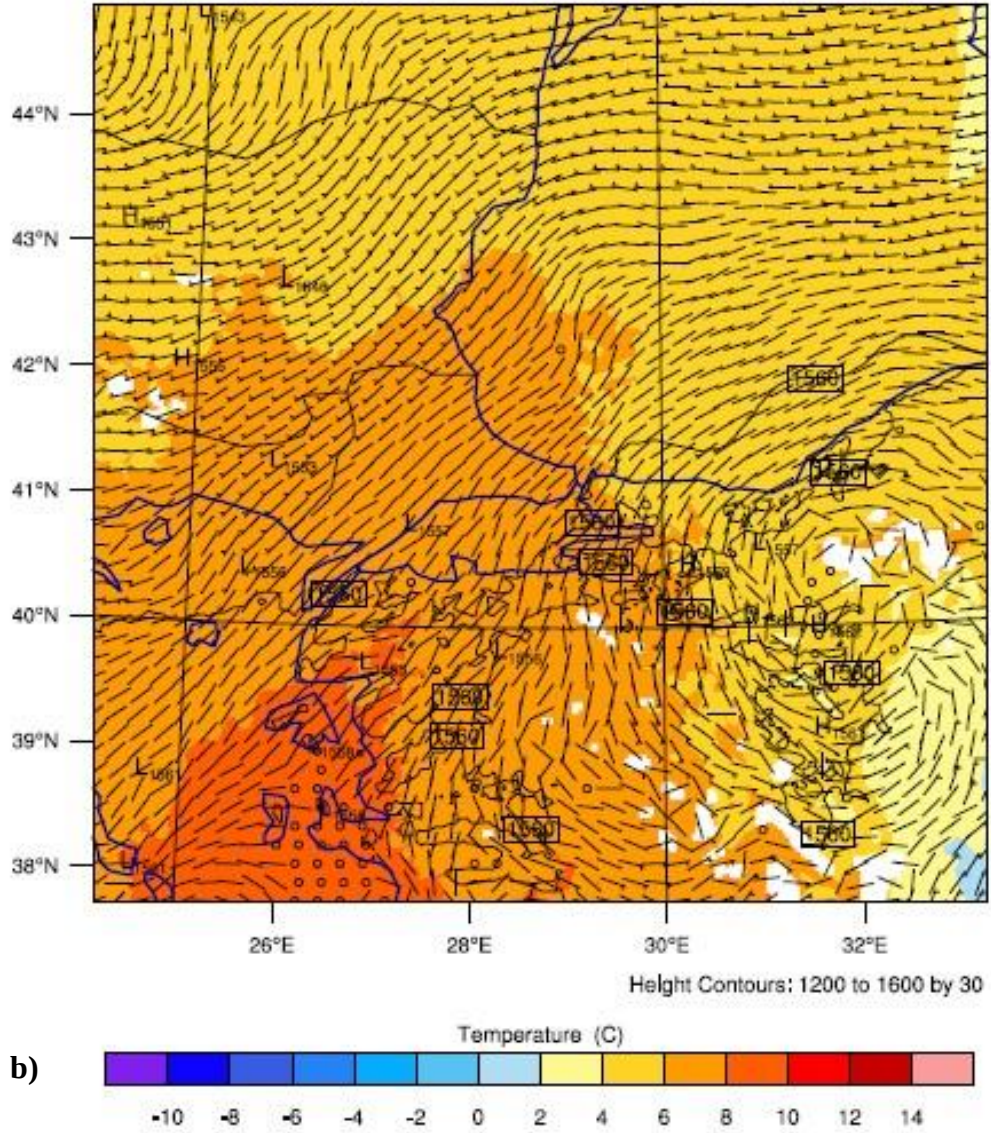
a)



REAL-TIME WRF

Init: 2014-12-14_00:00:00
Valld: 2014-12-15_12:00:00

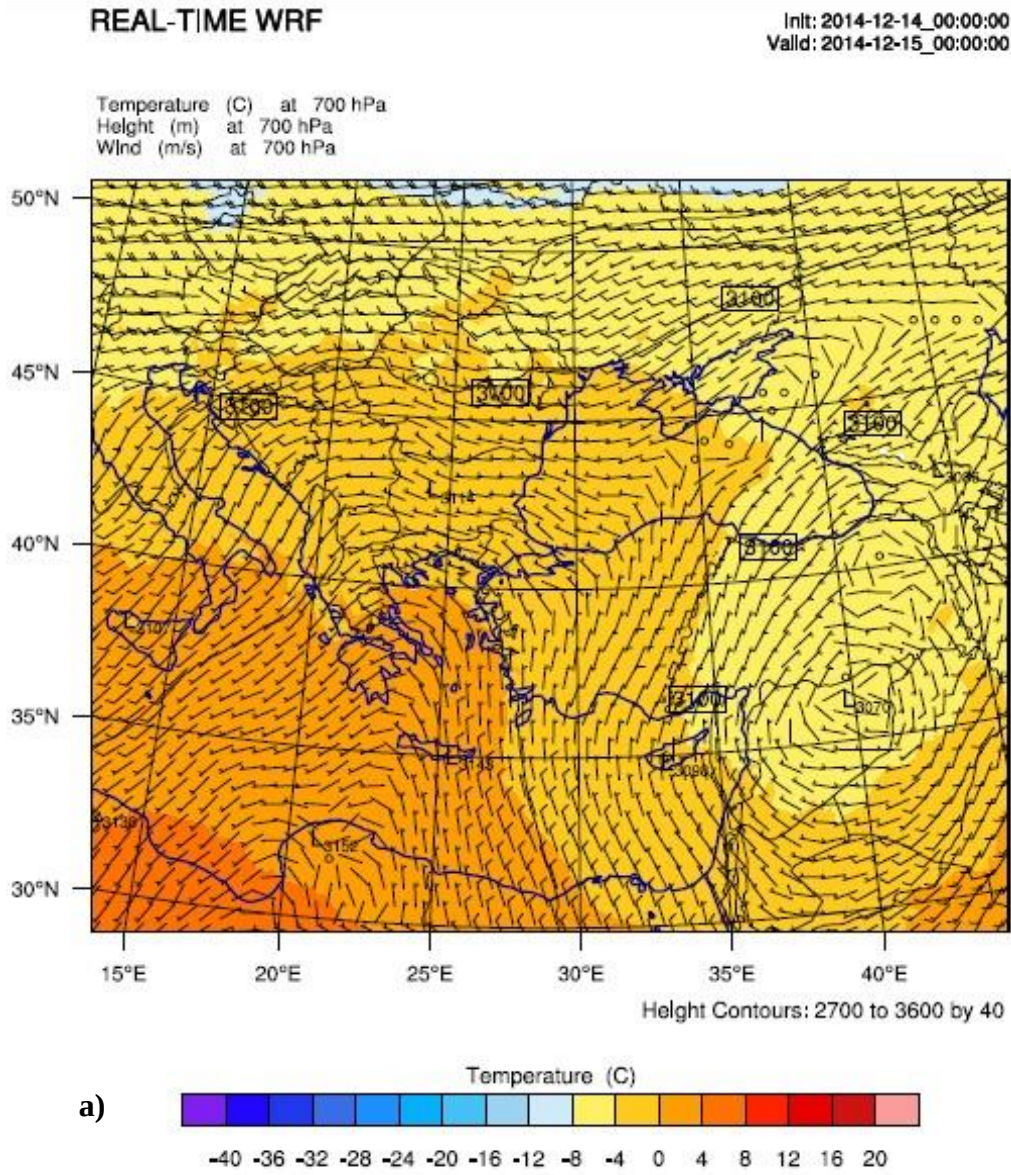
Temperature (C) at 850 hPa
Height (m) at 850 hPa
Wind (m/s) at 850 hPa



Şekil 4.11: İç domain için 850 hPa seviyesi sıcaklık, basınç ve rüzgar hızı değerleri
a) 00UTC, b) 12UTC.

Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de yer alan 15 Aralık 2014 00UTC ve 12UTC’ ye ait 850 hPa haritasını incelediğimizde İstanbul için yerden yaklaşık olarak ortalama 1.5 km yukarıda sıcaklığın 4-6 °C , rüzgar hızının da yaklaşık olarak güney/güneybatı yönlerinden 10 m/s civarında estiği görülmektedir. Bu incelemiş olduğumuz 850 hPa ve yer seviyesi haritaları PM10’ in kıtalar arası taşınımını açıklamakta yetersiz

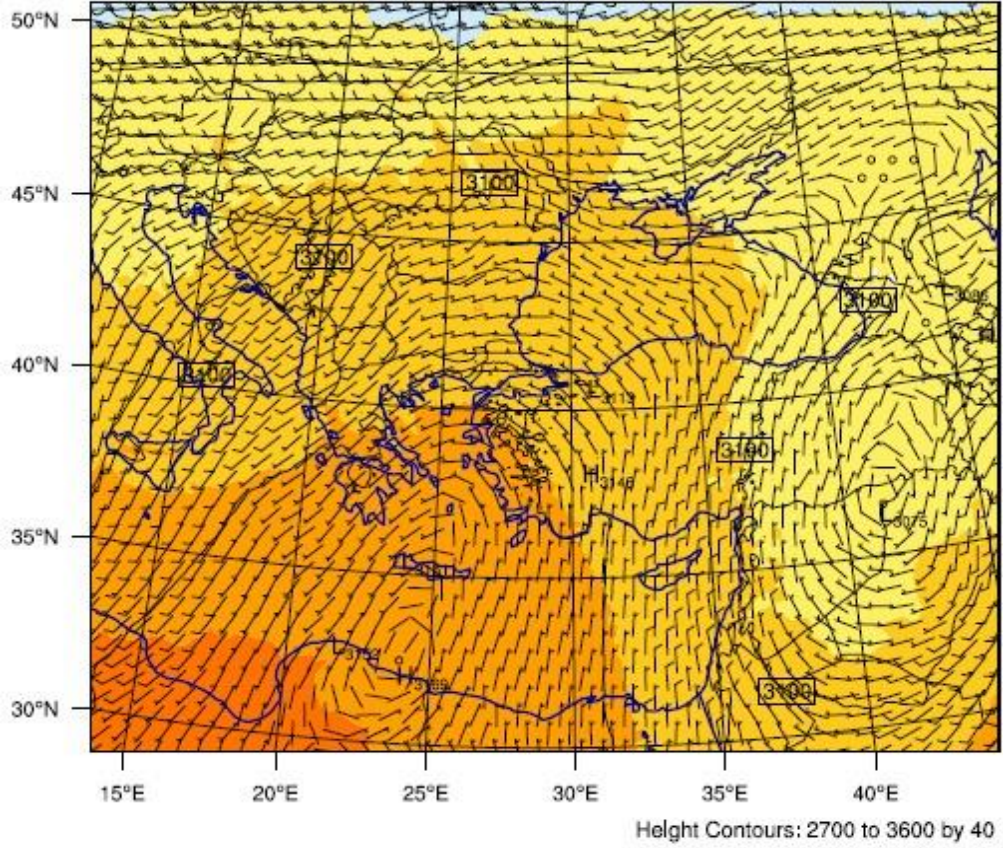
kalmaktadır, asıl taşınım yukarı seviyelerdeki rüzgarlar vasıtasıyla olmaktadır. Bu amaçla Şekil 4.12’ de 700 hPa ve Şekil 4.13’te 500 hPa yukarı seviye rüzgar hızı değerleri çizdirilmiştir.



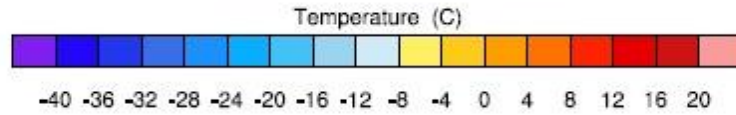
REAL-TIME WRF

Init: 2014-12-14_00:00:00
Valld: 2014-12-15_12:00:00

Temperature (C) at 700 hPa
Height (m) at 700 hPa
Wind (m/s) at 700 hPa



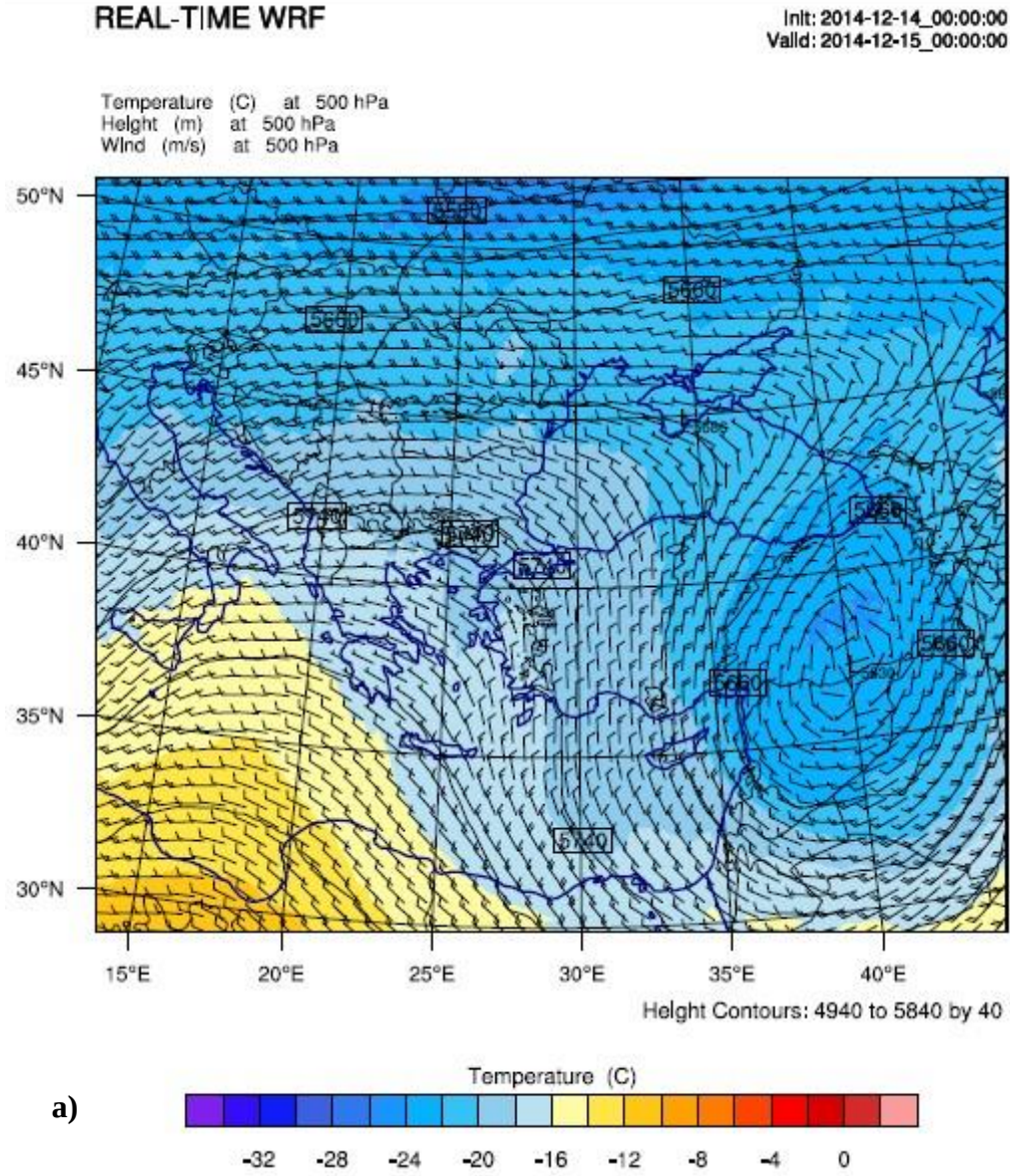
b)

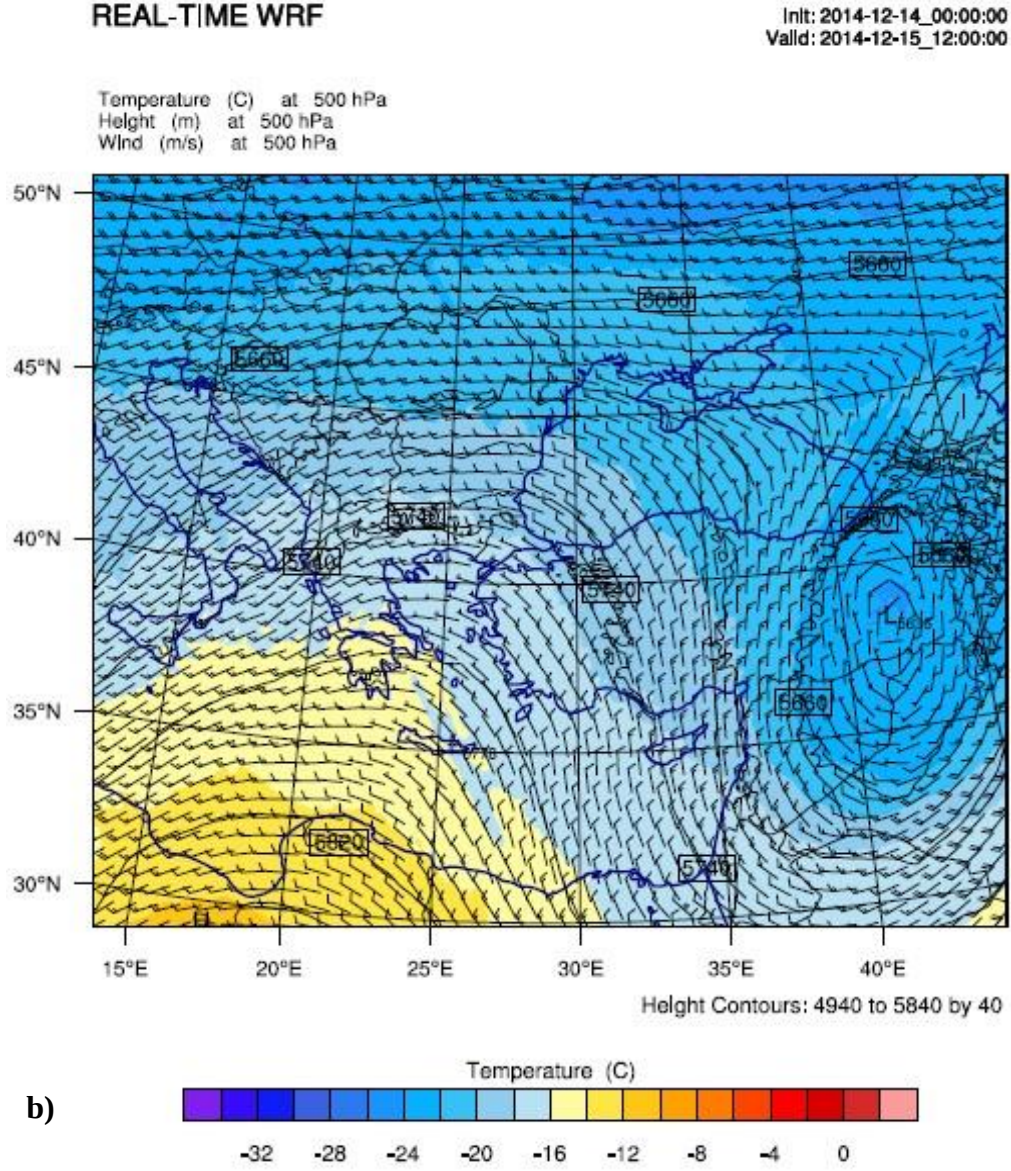


Şekil 4.12: 700 hPa rüzgar hızı, sıcaklık ve yükselik haritası a)00UTC, b)12UTC.

Şekil 4.12' yi incelediğimizde, yaklaşık olarak 3000m yukarıdaki taşınımın Doğu Avrupa üzerinden derin bir alçak basınç olan İzlanda alçak basıncının etkisiyle olduğu görülmektedir. Aynı zamanda Akdeniz ve Afrika üzerinden Türkiye'ye doğru derin bir sırt girişi olmaktadır. Bu etkenlerden dolayı da rüzgarlar kuzey batı yönünden 3-5 m/s arasında esmektedir. Şekil 4.13' ü inceleyecek olursak, 700 hPa haritasında görmüş olduğumuz derin sırt girişi 500 hPa haritasında daha net olarak görülmektedir. Akdeniz üzerinden Türkiye'ye ve dolayısıyla İstanbul'a yaklaşan sırt girişinden dolayı ve İzlanda Alçağının etkisiyle rüzgarlar kuvvetli bir şekilde kuzeybatı yönünden esmektedir. Bu da yukarı seviyelerdeki Doğu Avrupa üzerinden İstanbul'a olan toz

taşımasını açıklamaktadır. İncelemiş olduğumuz bu yer ve yukarı seviye haritaları PM10 taşımasının kısa süreli taşımasını ortaya koymaktadır. Farklı seviyelerde meydana gelen uzun süreli taşımanı HYSPLIT modeli çalıştırılarak ortaya konulmuştur.



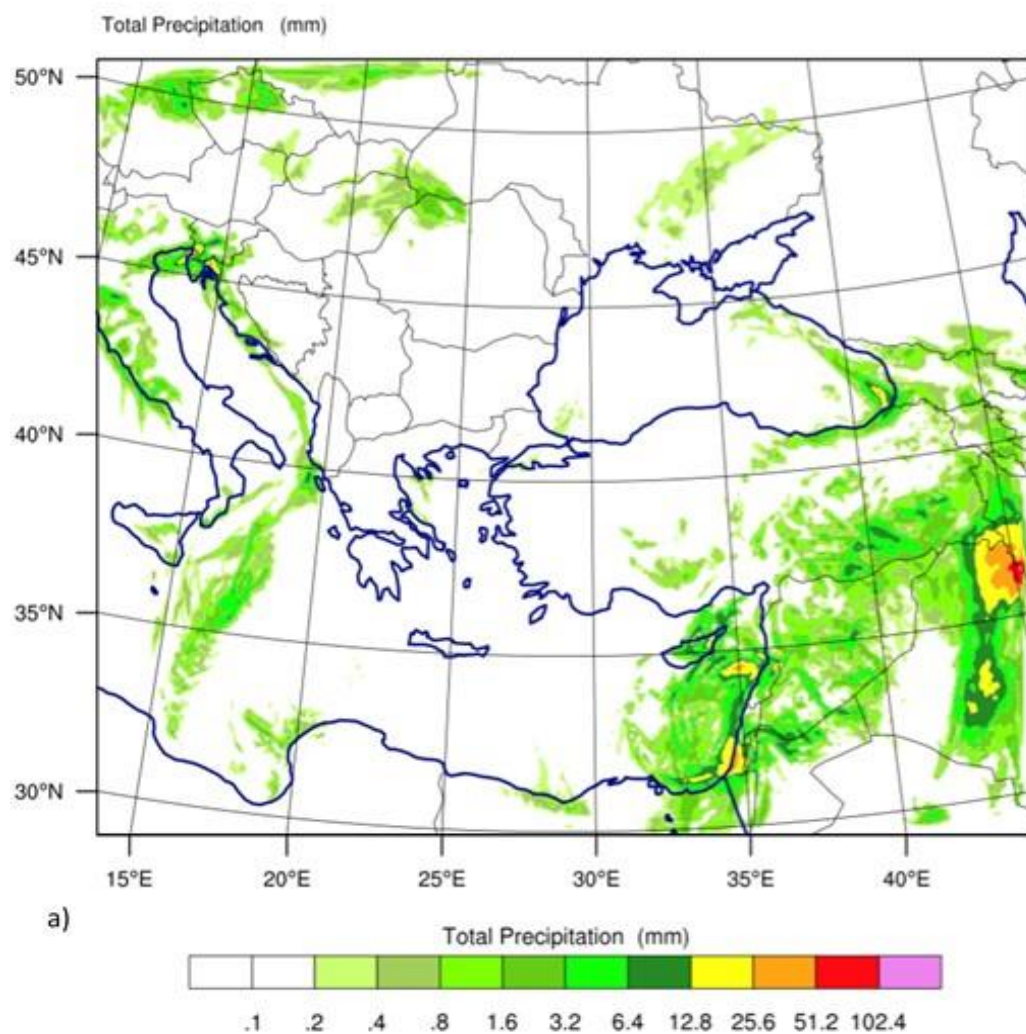


Şekil 4.13: 500 hPa rüzgar hızı, sıcaklık ve yükselik haritası a)00UTC, b)12UTC.

Yağış parametresi de partiküler madde kirliliğinde önemli rol oynamaktadır. Episod günü için toplam yağış (mm) haritası da 00UTC (Şekil 4.14a) ve 12UTC (Şekil 4.14b) çizdirilmiştir.

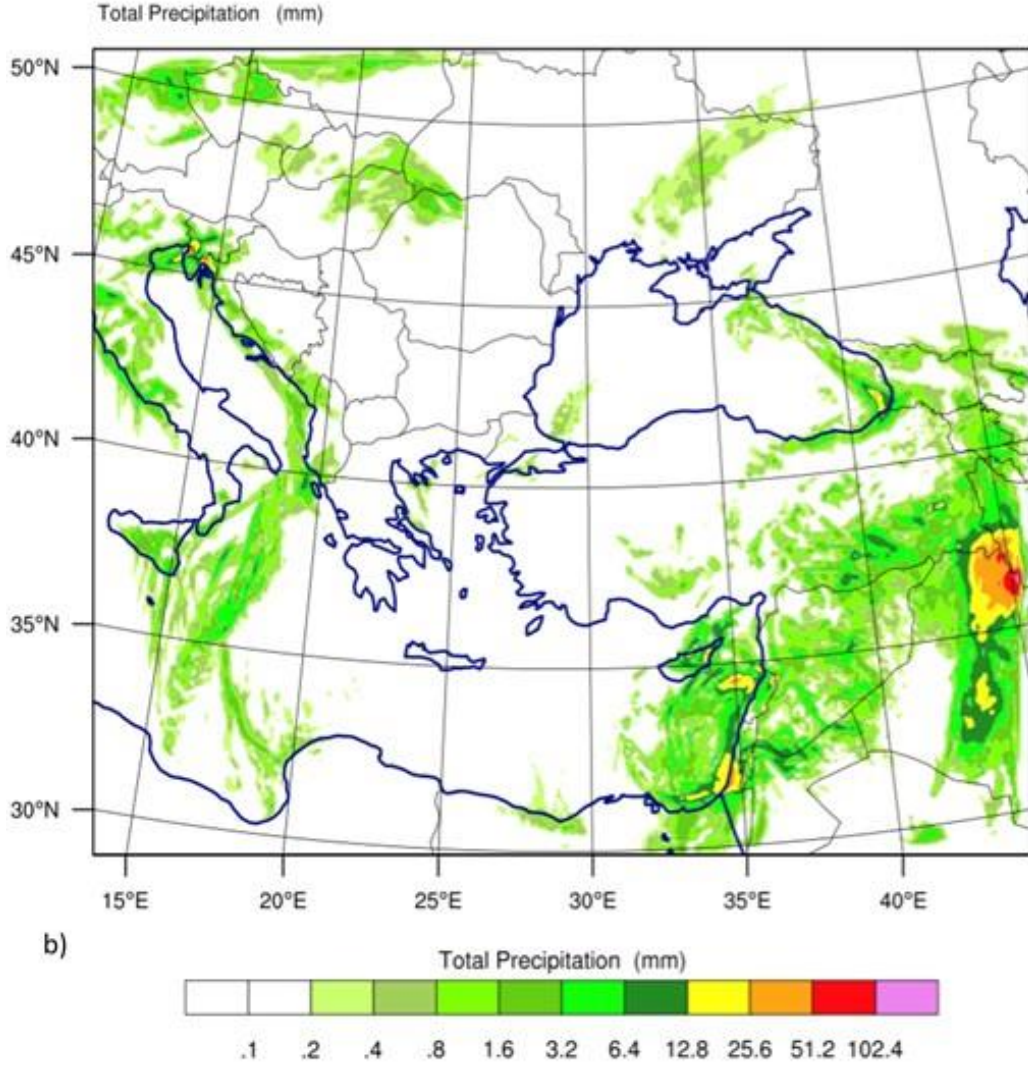
Total Precipitation

Init: 2014-12-14_00:00:00
Valid: 2014-12-15_06:00:00



Total Precipitation

Init: 2014-12-14_00:00:00
Valid: 2014-12-15_12:00:00



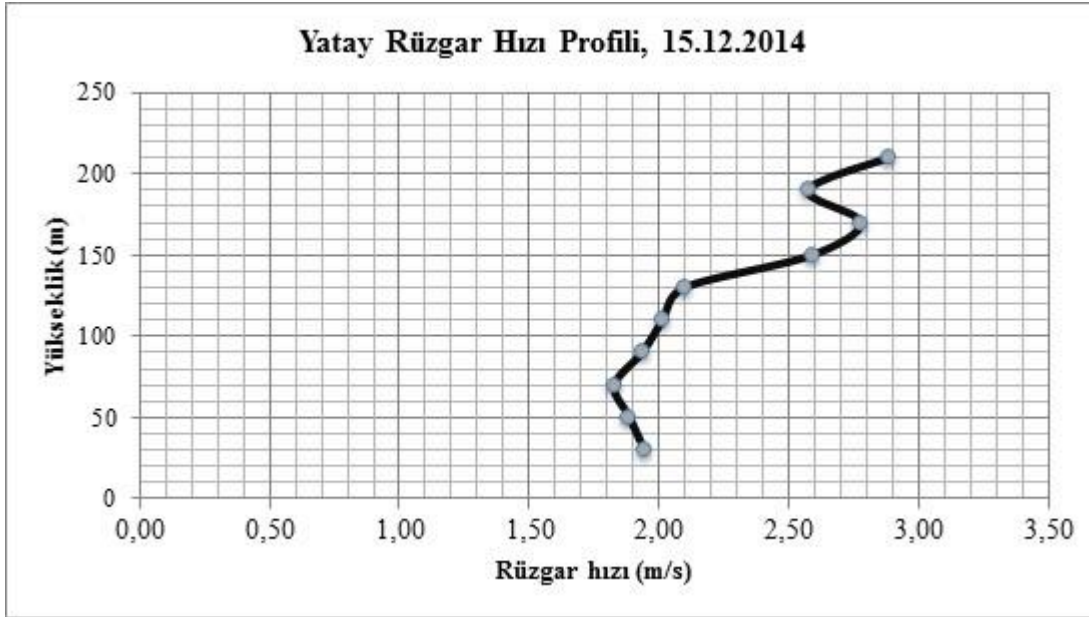
Şekil 4.14: 15.12.2014 toplam yağış haritası a) 00UTC b) 12UTC.

Şekil 4.14' e bakacak olursak 15.12.2014 tarihi için 00UTC ve 12UTC'de Akdeniz üzerinden Türkiye'ye giriş yapmakta olan yüksek basıncın etkisiyle İstanbul üzerinde yağış görülmemektedir. Yağışın olmaması PM10'in havada asılı kalmasına ve konsantrasyonunun yüksek olarak ölçülmesine neden olmaktadır.

Çalışma alanına taşınan partiküler maddenin 4 günlük (96-h) geriye dönük yörüngesinin belirlenmesi için NOAA-HYSPLIT modeli çalıştırılmıştır. Bu model NCEP tarafından üretilen meteorolojik verileri kullanarak hava parselleri için adveksiyon ve dispersiyon hesabı yapmaktadır. Şekil 4.15 15 Aralık 2014 12 UTC'de 1500m yükseklikte biten geriye dönük yörüngeleri göstermektedir. Yer seviyesinden

1500m yukarısının alınmasının nedeni ise, sürtünme tabakasının sona erdiği yükseklik olmasıdır. Partiküller 15 Aralık 12 UTC' ye kadar aşağı doğru olan bir hareketle taşınırken 13 Aralık 00 UTC' de ani bir şekilde 6000 m seviyesinden olan partiküller de bu taşınımına eklenmiş aşağı doğru olan taşınım yine gözlenmiştir. Bu taşınımın hareketi daha önce incelenen 500 hPa haritalarındaki basınç merkezlerinin etkisiyle gerçekleşmiştir. Türkiye'nin batısında İzlanda alçak basınç merkezi olduğundan dolayı toz taşınımları Avrupa üzerinden Türkiye'ye gelmektedir. Türkiye'nin ve Afrika' nın da etkisinde olduğu basınç sistemi yüksek basınç sistemidir. HYSPLIT modelinde görülen farklı seviyelerdeki taşınımlar daha önceki günlere kadar gitmektedir. Sahra Çölü üzerinden olan toz taşınımı 8 Aralık 2014 tarihinde başlamıştır ve olay gününden önce 14 Aralık 2014 tarihinde taşınım İstanbul'u da içine alan geniş bölge üzerinde son bulmuştur. Ancak 13 Aralık 2014 tarihinde yaklaşık olarak 6000m, 4500m ve 3000m seviyelerinde olan taşınım incelemiş olduğumuz 700 hPa ve 500hPa haritaları ile uyum göstermektedir. Ayrıca HYSPLIT yardımı ile yapmış olduğumuz geriye dönük yörünge analizi sayesinde, olay günü olan taşınımın daha önce belirtmiş olduğumuz Doğu Avrupa üzerinden kuvvetli rüzgarlar ile olan toz taşınımının olduğu ortaya konulmuştur.

azalma enverziyon seviyesi ile ilişkilendirilebilir. Yerden 50m' ye kadar rüzgar hızı azalma göstermektedir.



Şekil 4.16: Yatay rüzgar hızı profili (SODAR verileri), İTÜ Maslak Kampüsü.

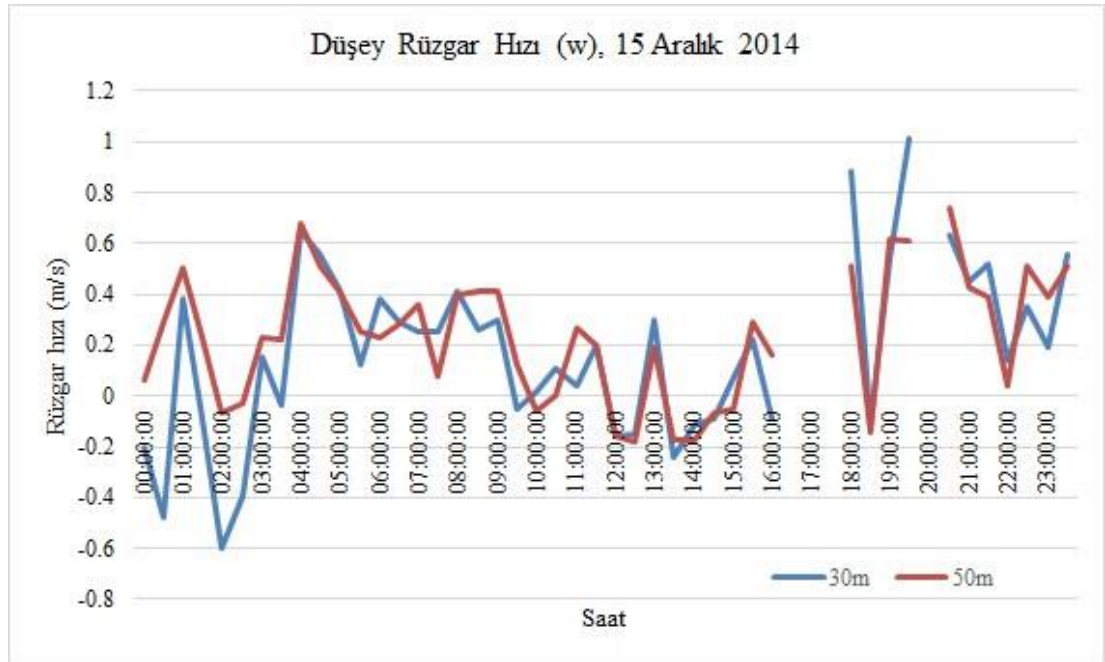
SODAR ile ölçülen bir diğer parametre de düşey rüzgar hızı (w) bileşenidir. Düşey rüzgar hızının negatif olması aşağı doğru inici bir hareketin pozitif olması ise yukarı doğru yükselici bir hareketin olduğunu göstermektedir. 15 Aralık 2014 tarihinde 00UTC'de 50m seviyesine kadar enverziyon görülmektedir. Ölçmüş olduğumuz düşey hızlar da enverziyonun olduğunu destekleyici niteliktedir çünkü belirtilen saatlerde enverziyon sebebiyle düşey rüzgar hızı negatiftir ve bu durumda da havanın çökmesi söz konusudur. Çizelge 4.1'de yarım saatlik aralıklarla 30m ve 50m seviyelerinde ölçülen düşey hızın değişimi verilmektedir. Düşey hız ve yatay hız değerlerini incelediğimizde yer seviyesinde düşey hızın negatif yani aşağı yönlü olduğu görülürken, yatay hızın da şiddetinin enverziyon seviyesine kadar yükseklikle azaldığı görülmektedir. Şekil 4.15' te de görüldüğü üzere yatay rüzgar hızı 2 m/s civarındadır yani yüzeyde rüzgarların sakin olduğu görülmektedir. Bu da yatayda PM10 taşınımının olmadığını düşeyde ise taşınımın aşağı yönlü olduğunu gösterirken PM10'ın bölge üzerinde çökme eğiliminde olduğunu da ortaya koymaktadır.

15 Aralık 2014 günü için 30m ve 50m yükseklikleri için düşey hızın saatlik değişimi de Şekil 4.17' de verilmiştir. Bu grafikte de enverziyonun gözlemlendiği saatlerde 30m ve 50m yükseklikleri için düşey hız negatif değer almaktadır bu da daha önce de

dediğimiz gibi aşağı yönlü hareketin varlığını ortaya koymaktadır. Pozitif işaretli düşey hız değerleri de çok küçük olduğundan yukarı yönlü bir taşınımın da olduğunu tam olarak söyleyemeyiz. Bu durumda 15 Aralık 2014 tarihinde “stagnant” yani durgun hava koşullarının hakim olduğunu söyleyebiliriz.

Çizelge 4.2: 15.12.2014 tarihi için düşey hızın (w) yükseklikle değişimi.

Gün	Ay	Yıl	Saat	Düşey hız (w) m/s	
				30m	50m
15	12	2014	00:00:00	-0,2	0,06
15	12	2014	00:30:00	-0,48	0,29
15	12	2014	01:00:00	0,38	0,5
15	12	2014	01:30:00	-0,09	0,23
15	12	2014	02:00:00	-0,6	-0,07
15	12	2014	02:30:00	-0,39	-0,03
15	12	2014	03:00:00	0,15	0,23
15	12	2014	03:30:00	-0,04	0,22



Şekil 4.17: Düşey hızın saatlik değişimi (30m ve 50m için).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

İstanbul'un gelişme süreci ve lokal kaynak etkileri mega şehrin hava kalitesini etkilemekte ve dolayısıyla da hava kirliliğini meydana getirmektedir. Meydana gelen bu hava kirliliğinin kısa dönem ve uzun dönem periyotlarında çevre ve insan sağlığı üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Bu nedenle kirliliğin yoğun olarak görüldüğü bölgelerde konsantrasyon analizlerini yapmak ve kaynaklarını belirlemek oldukça önemlidir.

Bu çalışmada, kirliliğin yoğun olarak gözlemlendiği Kağıthane bölgesinde PM10 konsantrasyon analizi ve kaynak belirleme işlemleri yapılmıştır. Kağıthane bölgesi vadi özelliği gösterdiğinden dolayı, kirleticiler bölge üzerinde çökme eğilimi göstermektedir. Bu nedenle de günlük ve yıllık bazda incelemeler yapıldığında Kağıthane bölgesinde PM10 konsantrasyonlarının Avrupa Birliği tarafından belirlenen standartları aştığı gözlemlenmiştir. Çalışmada 2012-2014 yılı günlük ortalama PM10 konsantrasyon değerleri kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda 2012, 2013, 2014 yılları için yıllık ortalama PM10 konsantrasyonları sırası ile $80.77 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $88.46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $79.66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur. EU standartlarına göre olması gereken yıllık ortalama PM10 değeri $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tür ve Kağıthane istasyonundan alınan değerlere göre hesaplanan konsantrasyon değerlerinin 3 yıllık periyotta yaklaşık olarak standardın iki katı olduğu görülmektedir. Mevsimsel olarak incelediğimizde ise ele aldığımız periyot sürecinde ilkbahar ve sonbahar aylarında PM10 konsantrasyonlarının yaz ve kış mevsimlerinden daha fazla olduğu görülmektedir.

PM10 konsantrasyonunun yüksek olarak ölçülmesinde o anki meteorolojik şartların da etkisi olduğundan yer seviyesi ve yüksek seviye kartları incelenmiştir. Buna göre, Türkiye'nin yüksek basıncın etkisinde olduğu ve rüzgarların da yer seviyesinde sakin olduğu belirlenmiştir. Yukarı seviyelerdeki akışın kuzey batılı olduğu ve bunun nedeninin de derinleşmiş olan İzlanda Alçak basınç merkezinin etkisiyle olduğu 500hPa haritası incelenerek görülmüştür. Aynı zamanda 15 Aralık 2014 tarihinde 00UTC'de enverziyon olduğu görülmüştür. Enverziyon olduğu durumda atmosferde

yukarı doğru taşınım söz konusu olmadığından PM10 bölge üzerinde çökmüştür ve rüzgarların da sakin olması konsantrasyonun artmasında önemli rol oynamıştır. PM10 konsantrasyonunu etkileyen bir diğer meteorolojik parametre ise yağıştır. Episod gününde Kağıthane bölgesinde ve İstanbul'un genelinde yağış olmadığı WRF sonuçları ile gösterilmiştir. Bölge üzerindeki PM10 taşınımının yüksek seviyelerde olduğu da WRF sonuçları sayesinde ortaya konulmuştur. 700 ve 500 hPa rüzgar hızı haritalarını incelediğimizde Doğu Avrupa üzerinden İstanbul'a doğru bir taşınımın olduğu net bir şekilde görülmektedir. Hem İzlanda Alçak basıncının etkisiyle hem de Akdeniz üzerinden Türkiye'ye doğru derin bir sırt girişinin olmasıyla rüzgarlar genel olarak batı kuzey batı yönlerinden esmektedir. Bu akış sonucunda Avrupa üzerinden İstanbula kısa vadeli bir PM10 taşınımı olmuştur. Ancak bu kısa süreli taşınım konsantrasyon değerlerinin bu kadar yüksek çıkmasını açıklamada yeterli değildir. Bu amaçla HYSPLIT modeli çalıştırılarak geriye dönük yörünge analizi yapılmış ve PM10'lerin nerelerden bölge üzerine taşındığı incelenmiştir. HYSPLIT sonuçları doğrultusunda 9 Aralık 2015 tarihinden itibaren 3000 ve 1200 m seviyelerinde Sahra Çölü üzerinden İstanbul'u da kapsayan bölge üzerine partikül taşınımı olduğu gözlemlenmiştir. Bu taşınım esnasında 13 Aralık 2014 tarihinden itibaren 6000m' den Avrupa üzerinden bir taşınım da başlamış ve 15 Aralık 2014 tarihinde tüm partiküller yüksek basıncında etkisiyle İstanbul'u içine alan bölge üzerinde çökme eğilimi göstermişlerdir. WRF modeli ile kısa vadeli partikül madde taşınımı açıklanırken, HYSPLIT ile hem kısa vadeli hem de uzun vadeli PM10 taşınımı yörünge analizleri sayesinde açıklanmıştır.

İTÜ Maslak Kampüsü Meteoroloji Gözlem Parkında SODAR cihazı ile 30m ile 410m arasında yatay rüzgar hızı ve düşey rüzgar hızı değerleri ölçülmüştür. Bu ölçümlere göre 15 Aralık 2014 tarihinde yer seviyesindeki yatay hızın enverziyon seviyesi olan 50m'ye kadar azaldığı yaklaşık olarak 2 m/s olduğu hesaplanmıştır. Bu seviyeden sonra ise rüzgar hızı genel rüzgar profiline uygun olarak yükseklikle artmıştır. Düşey hız ölçümlerine göre ise enverziyonun gözlemlendiği 00UTC zaman aralığında 30m ve 50m yüksekliklerinde düşey rüzgar hızının negatif olduğu belirlenmiştir. Buna göre, düşey hızın negatif olması atmosferde aşağı yönlü bir hareketin olduğunu ortaya koymaktadır. SODAR analizleri sonucunda yer seviyesinde de yatayda PM10 taşınımının olmadığı düşeyde ise partikül taşınımının aşağı yönlü olduğu ortaya konulmuştur. Burada PM10 ölçüm istasyonu ile SODAR ölçüm istasyonu arasında

bölgesel olarak mesafe olsa da episod günündeki kirliliğin ayak izleri SODAR ölçüm alanında da görülmektedir.

Bu çalışmada, 2014 yılı PM10 konsantrasyon değerleri meteorolojik olarak incelenmiş ve yüksek olarak belirlenen 15 Aralık 2014 tarihindeki PM10 kirliliği WRF, HYSPLIT modelleri ve SODAR verileri kullanılarak açıklanmıştır ve genel olarak yer seviyesindeki rüzgarların sakin olduğu yani “stagnant” durgun hava koşullarının hakim olduğu ve bunun sonucunda seçilen günde yüksek konsantrasyon değerlerinin ortaya çıktığı vurgulanmıştır. Bundan sonraki yapılacak olan çalışmalarda emisyon envanterinin detaylıca bölge üzerinde oluşturulması ile kirletici konsantrasyonunun yerel kaynak ve taşınım oranları belirlenecektir.

KAYNAKLAR

- Ahrens, C.D.** (2009). Meteorology today: an introduction to weather, climate, and the environment, 9th Edition. Brooks/Cole, USA.
- Ağaçayak, T., Kindap, T., Unal, A., Pozzoli, L., Mallet, M., Solmon, F.** (2015). A case study for Saharan dust transport over Turkey via RegCM4.1 model, *Atmospheric Research*, 153, 392-403. doi:10.1016/2014.09.012.
- Allen, G., Sioutas, C., Koutrakis, P., Reiss, R., Lurmann, F.W., Roberts, P.T.** (1997). Evaluation of the TEOM® Method for Measurement of Ambient Particulate Mass in Urban Areas, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 47, 6, 682-689, doi:10.1080/10473289.1997.10463923
- Alpert, D.J. & Hopke, P.K.** (1981). A determination of the sources of airborne particles collected during the regional air pollution study, *Atmospheric Environment*, 15, 675-687.
- Amaral, S.S., Carvalho Jr., J.A., Costa, M.A.M, Pinheiro, C.** (2015). An overview of particulate matter measurement instruments, *Atmosphere*, 6, 1327-1345. doi: doi:10.3390/atmos6091327
- Analitis, A., Katsouyanni, K., Dimakopoulou, K., Samoli, E., Nikoloulopoulos, A.K., Petasakis, Y., Touloumi, G., Schwartz, J., Anderson, H.R., Cambra, K., Forastiere, F., Zmirou, D., Vonk, J.M., Clancy, L., Kriz, B., Bobvos, J., Pekkanen, J.** (2006). Short- term effects of ambient particles on cardiovascular and respiratory mortality, *Epidemiology*, 17, 230-233.
- Annesi-Maesano, I., Forastiere, F., Kunzli, N., Brunekref, B.** (2007). Particulate matter, science and EU policy, *European Respiratory Journal*, 29, 428-431.
- Ayalp A.,** (1976). Atmospheric pollution in Istanbul, PhD Thesis (in Turkish) Istanbul University.
- Demir, G., Özdemir, H., Özcan, H.K., Uçan, O.N., Bayat, C.** (2010). An artificial neural network-based model for short term predictions of daily mean pm10 concentrations, *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 11(3), 1163-1171.
- Finlayson-Pitts, B. & Pitts, J.,** (1986). Atmospheric Chemistry: Fundamentals and Experimental Techniques. Wiley, New York.
- Gariazzo, C., Pelliccioni, A., Scalisi, G., Sallusti, F.** (2002). Air pollution concentrations analyzed by SODAR observations and turbulence surface measurements. *Proceedings of 11th Symp. ISARS*, (pp.427-430). Italy: CNR/Rome, June 24-28.

- 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.
- Giechaskiel, B., Maricq, M., Ntziachristos, L., Dardiotis, C., Wang, X., Axmann, H., Bergmann, A., Schindler, W.** (2014). Review of motor vehicle particulate emissions sampling and measurement: From smoke and filter mass to particle number. *J. Aerosol Sci.* 67, 48–86.
- Hapçıoğlu, B., Issever, H., Kocyigit, E., Disci, R., Vatansever, S. ve Özdilli, K.** (2006). The effect of air pollution and meteorological parameters on chronic obstructive pulmonary disease at an Istanbul Hospital, *Indoor and Built Environment*, 15, 147-153, doi: 10.1177/1420326X06063221.
- Hou, Q., An, X., Wang, Y., Tao, Y., Sun, Z.** (2012). An assessment of China's PM10-related health economic losses in 2009, *Science of the Total Environment*, 435-436, 61-65. doi:10.1016/2012.06.094.
- Huebneravo, Z. & Michalek, J.** (2014). Analysis of daily average PM10 predictions by generalized linear models in Brno, Czech Republic, *Atmospheric Pollution Research*, 5, 471-476. doi: 10.5094/2014.055.
- Im, U., Markasis, K., Unal, A., Kindap T., Poupkou, A., Incecik, S., Yenigün, O., Melas, D., Theodosi, C., Mihalopoulos, N.** (2010). Study of a winter PM episode in Istanbul using the high resolution WRF/CMAQ modeling system, *Atmospheric Environment*, 44, 3085- 3094. doi:10.1016/2010.05.036.
- İncecik, S.** (1986). A mesometeorological investigation of the Golden-Horn, İstanbul, *Boundary Layer Meteorology*, 36, 93-100.
- İncecik, S.** (1994). Hava Kirliliği. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- İstanbul Büyük Şehir Belediyesi,** (2009). İstanbul'da kentsel hava kalitesi yönetimi için cbs tabanlı karar destek sisteminin geliştirilmesi, *Teknik olmayan rapor*. Alınma tarihi 09 Ocak, 2016.
<http://www.ibb.gov.tr/sites/airqualistanbul/documents/emission.htm>
- Kabatas, B., Unal, A., Pierce, R.B., Kindap, T., Pozzoli, L.** (2014). The contribution of Saharan dust in PM10 concentration levels in Anatolian Peninsula of Turkey, *Science of the Total Environment*, 488- 489, 413-421. doi:10.1016/2013.12.045.
- Kağıthane Belediyesi,** (2014). *2014 yılı faaliyet raporu*. Alınma tarihi 5 Ocak, 2016.
<http://www.kagithane.bel.tr/>
- Kallistratova, M. A. & Coulter R. L.** (2004). Application of SODARs in the study and monitoring of the environment. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 85, 21-37.
- Karaca, F., Alagha, O., Erturk, F.,** (2005). Statistical characterization of atmospheric PM10 and PM2.5 concentrations at a non-impacted suburban site of Istanbul, Turkey, *Chemosphere*, 59 (8), 1183-1190.
- Keder, J., Berger, P., Cerny, A., Engst, P., Foltiny, 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.
- Kindap, T., Unal, A., Chen, S.-H., Hu, Y., Odman, M.T., Karaca, M.** (2006). Long-range aerosol transport from Europe to Istanbul, Turkey, *Atmospheric Environment*, 40, 3536-3547. doi:10.1016/2006.01.055.
- Kindap, T.**, (2008). Identifying the Trans-Boundary Transport of Air Pollutants to the City of Istanbul Under Specific Weather Conditions, *Water Air Soil Pollution*, 189, 279–289. doi:10.1007/s11270-008-9618-y.
- Makra, L., Matyasovszky, I., Guba, Z., Karatzas, K., Anttila, P.** (2011). Monitoring the long-range transport effects on urban PM10 levels using 3D clusters of backward trajectories, *Atmospheric Environment*, 45, 2630-2641. doi:10.1016/2011.02.068.
- Nussbaumer, T., Czasch, C., Klippel, N., Johansson, L., Tullin, C.** (2008). Particulate emissions from biomass combustion in IEA countries. In *Proceeding of the 16th European Biomass Conference and Exhibition*, (pp. 40). Zurich, Switzerland, 2–6 June 2008.
- Ozdemir, 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
- Ozdemir, H., Mertoğlu, B., Demir, G., Deniz, A., Toros, H.** (2012). Case study of PM10 pollution in playgrounds in Istanbul, *Theoretical and Applied Climatology*, 108, 553- 562. doi:10.1007/s00704-011-0543-4.
- Panofsky, H.A. & Dutton, J.A.** (1984). *Atmospheric Turbulence*. New York: John Wiley.
- Pey, J., Querol, X., Alastuey, A., Forastiere, F., Stafoggia, M.** (2013). African dust outbreaks over the Mediterranean Basin during 2001–2011: PM10 concentrations, phenomenology and trends, and its relation with synoptic and mesoscale meteorology, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13, 1395–1410.
- Seinfeld, J.H. & Pandis, S.N.**, (1998). *Atmospheric Chemistry and Physics*. Wiley, New York, 1309p.
- Skamarock, W.C., Klemp, J.B., Dudhia, J., Gill, D.O., Barker, D. M., Duda, M.G., Huang, X.Y., Wang, W., Powers, J.G.** (2008). A description of the advanced research WRF version 3, *NCAR Technical Note*.
- Tebbens B. D.** (1970). Investigating air quality in Istanbul, *Bulletin of Istanbul Technical University*, 22, 55-63.
- Tuncel, G.** (2013). Türkiye’de Hava Kirliliği Çalışmaları-I, *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi*, 2, 103-104.
- Unal, Y., Toros, H., Deniz, A., Incecik, S.** (2011). Influence of meteorological factors and emission sources on spatial and temporal variations of PM10 concentrations in Istanbul metropolitan area, *Atmospheric Environment*, 45 (31), 5504–5513. doi:10.1016/2011.06.039.

EPA, United States Environmental Protection Agency. Alınma tarihi 10.09.2015
<http://www3.epa.gov/pm/>

EU, (http://ec.europa.eu/environment/air/index_en.htm). Alınma tarihi 4 kasım 2015

Url-1 <http://www.havaizleme.gov.tr/Default.ltr.aspx> Alınma tarihi 12.11.2015

Url-2 <http://www.havaizleme.gov.tr/Default.ltr.aspx> Alınma tarihi 12.11.2015

Url -3 <http://www.wrh.noaa.gov/slc/climate/TemperatureInversions.php>. Alınma tarihi 10.09.2015

(WHO, 2015), http://www.who.int/topics/air_pollution/en/. Alınma tarihi 10.09.2015

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Kübra AĞAÇ
Doğum Tarihi ve Yeri : 06.02.1990 Eyüp
E-posta : agac@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2013, İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü.
- **Lisans** : 2013, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Matematik Mühendisliği Bölümü (Çift Anadal).
- **Yükseklisans** : 2016, İstanbul Teknik Üniversitesi, Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Atmosfer Bilimleri Programı.