

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**BİR SANAYİ İŞLETMESİNDEN SALINAN HAVA
KİRLETİCİLERİNE AİT DAĞILIM MODELLERİNİN VE OLASI
HALK SAĞLIĞI ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

ÖMER MERT BAYRAKTAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Baybars Ali FİL (Tez Danışmanı)
Doç. Dr. Atilla MUTLU (Eş Danışman)
Prof. Dr. Yücel TAŞDEMİR
Doç. Dr. Umut OKKAN
Doç. Dr. Celalettin ÇEVİK

BALIKESİR, MART - 2022

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Bir Sanayi İşletmesinden Salınan Hava Kirlenmelerine Ait Dağılım Modellerinin ve Olası Halk Sağlığı Etkilerinin İncelenmesi**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Ömer Mert BAYRAKTAR

ÖZET

**BİR SANAYİ İŞLETMESİNDEN SALINAN HAVA KİRLİTİCİLERİNE AİT
DAĞILIM MODELLERİNİN VE OLASI HALK SAĞLIĞI ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÖMER MERT BAYRAKTAR
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. BAYBARS ALİ FİL)
(EŞ DANIŞMAN: DOÇ. DR. ATILLA MUTLU)
BALIKESİR, MART 2022**

Bu çalışmada, Balıkesir’de bir çimento fabrikasından yayılan partikül madde ve toz kirleticisinin, farklı meteorolojik ve hava kalitesi modellerini kullanarak oluşan kirliliğin nereye doğru dağıldığını, hangi modellerin bu çalışma için daha iyi sonuçlar verdiğini ve son olarak işletmeden yayılan ağır metallerin oluşturabileceği sağlık riskinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Balıkesir, sanayi sektöründen turizme, enerjiye ve pek çok farklı sektörlerin bulunduğu bir şehrimiz olarak nüfusu da gün geçtikçe artmaktadır. Tüm bunların sonucu olarak hava kirliliği artarak kişilerde ve canlılarda sağlık riski oluşturmaktadır. Bu çalışmada, lokal meteorolojik istasyonlardan alınan veriler ile AERMET, uydudan alınan meteorolojik veriler ile WRF kullanılarak meteorolojik model alt yapıları hazırlanmıştır. Hava kirliliği dağılımı için iki farklı meteorolojik model kullanılarak AERMOD ve ADMS modelleri hazırlanmıştır. Balıkesir bölgesinde faaliyet gösteren hava kalitesi izleme istasyonu ile korelasyon analiz yapılarak en uygun meteorolojik ve hava kalitesi dağılım modeli tespit edilmiştir. Ağır metallerin salınımı sonucu oluşabilecek akut, kronik ve kanser riski için HARP kullanılmıştır. Sonuç olarak; yapılan analizlere göre modellerde kirlilik daha çok güneğe doğru dağılım göstermiştir. İstatistiksel sonuçlar incelendiğinde, meteorolojik modellerden WRF, hava kalitesi dağılım modellerinden saatlik verilerde ADMS, günlük verilerde AERMOD daha iyi sonuçlar vermiştir. Sağlık etkisi incelendiğinde, akut ve kronik risk açısından sınır değerleri sağlarken kanser riski oranında sınır değerde aşımalar görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELELER: Wrf, aermom, adms, harp, hava kirliliği, sağlık, kanser.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF DISPERSION MODELS AND POSSIBLE PUBLIC HEALTH EFFECTS OF AIR POLLUTANTS EMITTED FROM AN INDUSTRIAL PLANT

MSC THESIS

ÖMER MERT BAYRAKTAR

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

ENVIRONMENTAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: DOÇ. DR. BAYBARS ALİ FİL)

(CO-SUPERVISOR: DOÇ. DR. ATILLA MUTLU)

BALIKESİR, MARCH - 2022

In this study, it was aimed to determine where the particulate matter and dust pollutant emitted from a cement plant in Balıkesir is dispersed by using meteorological and air quality models, which models had better results than the other for this study, and finally, detection of the health risk assessment the releasing of heavy metal from the plant. The population of Balıkesir is constantly increasing since it has many different sectors like industrial, tourism, energy sectors. All these situations caused to increase of air pollution where health effect on people and living creatures. In this study, the meteorological models were prepared taking from the residential meteorological stations using AERMET, and WRF was used with meteorological data from the satellite. AERMOD and ADMS models were prepared by using two different meteorological models for air quality dispersion model. The best meteorological and air quality dispersion model was determined for this study using that air quality monitoring station operating in the Balıkesir region. HARP was used for that acute, chronic, and cancer risks that may occur as a result of the releasing heavy metals. In conclusion, it has been observed that air pollution distributions are mostly distributed towards the southern region. When statistical results were examined, WRF from meteorological model and AERMOD from air quality distribution models gave better results. When statistical results were examined, WRF from meteorological model, ADMS in hourly and AERMOD in daily from air quality distribution models gave better results. When the health effect was examined, it was observed that the limit values were provided in terms of acute and chronic risk, while the limit values were exceeded in the cancer risk ratio.

KEYWORDS: Wrf, aermod, adms, harp, air pollution, health, cancer.

Science Code / Codes : 90312

Page Number : 70

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	v
SEMBOL LİSTESİ	vi
KISALTMALAR LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Literatür Araştırması	3
2. GENEL BİLGİLER	7
2.1 Hava Kirliliği	7
2.2 Hava Kirletici Türleri.....	8
2.3 Hava Kirliliği Dağılım Faktörleri	9
2.3.1 Topoğrafik Özellikler	9
2.3.2 Meteorolojik Faktörler	10
2.4 Hava Kalitesi Dağılım Modelleri	11
2.5 Hava Kirliliği Sağlık Etkisi.....	12
3. MATERYAL VE METOT	13
3.1 Bölge Özellikleri	13
3.2 Çalışma Alanı.....	16
3.3 Emisyon Envanteri.....	19
3.4 Kullanılan Modeller	21
3.4.1 Meteorolojik Veri İşlemcileri.....	21
3.4.2 Yardımcı Program	24
3.4.3 Hava Kalitesi Modelleri	25
3.4.4 Risk Analizi Modeli	27
3.5 Meteorolojik Veri Seçimi	29
3.5.1 Lokal Meteorolojik Veri Seti	29
3.5.2 WRF Çalışma Alanı	30
3.6 Çalışmanın Uygulanması	31
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	33
4.1 Lokal Meteorolojik Veri ile AERMOD Sonuçları.....	33
4.2 WRF ile AERMOD Sonuçları	37
4.3 Lokal Meteorolojik Veri ile ADMS Sonuçları	41
4.4 WRF ile ADMS Sonuçları	46
4.5 HKİİ ve Hava Kalitesi Modelleri İstatistiksel Analizi.....	50
4.6 Kanser Riski Analizi ve Değerlendirilmesi	50
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	58
6. KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ	70

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1: Balıkesir ili.....	14
Şekil 3.2: Balıkesir havalimanı 17150 istasyonu rüzgar gülü örneği (Mutlu, 2020).	15
Şekil 3.3: Balıkesir şehir merkezi ve aktif HKKİ istasyonları konumları.	16
Şekil 3.4: Balıkesir şehir merkezi genel görünümü ve işletme konumu (Map Generator, 2022).	17
Şekil 3.5: İşletmeye ait başlıca PM kaynakları (Mutlu, 2020).	18
Şekil 3.6: Çalışma için kullanılacak olan PM ₁₀ kaynakları (Google, 2022).	19
Şekil 3.7: AERMET akış şeması.	22
Şekil 3.8: WRF modeli akış şeması.	23
Şekil 3.9: WPS-WRF akış şeması.	24
Şekil 3.10: AERMOD işlem safhası.	26
Şekil 3.11: HARP modeli akış şeması.	28
Şekil 3.12: HARP modeli veri işleme birimi.	29
Şekil 3.13: Çalışmada kullanılan istasyonların enlem ve boylam değerleri.	30
Şekil 3.14: WRF modeli çalışma alanı.	31
Şekil 4.1: AERMOD ve lokal istasyon modeli 1 saatlik PM ₁₀ dağılım haritası.	34
Şekil 4.2: AERMOD ve lokal istasyon modeli 24 saatlik PM ₁₀ dağılım haritası.	35
Şekil 4.3: AERMOD ve lokal istasyon modeli 1 yıllık PM ₁₀ dağılım haritası.	35
Şekil 4.4: AERMOD ve lokal istasyon modeli 1 saatlik çöken toz dağılım haritası.	36
Şekil 4.5: AERMOD ve lokal istasyon modeli 24 saatlik çöken toz dağılım haritası.	36
Şekil 4.6: AERMOD ve lokal istasyon modeli 1 yıllık çöken toz dağılım haritası.	37
Şekil 4.7: AERMOD ve WRF modeli 1 saatlik PM ₁₀ dağılım haritası.	38
Şekil 4.8: AERMOD ve WRF modeli 24 saatlik PM ₁₀ dağılım haritası.	38
Şekil 4.9: AERMOD ve WRF modeli 1 yıllık PM ₁₀ dağılım haritası.	39
Şekil 4.10: AERMOD ve WRF modeli 1 saatlik çöken toz dağılım haritası.	40
Şekil 4.11: AERMOD ve WRF modeli 24 saatlik çöken toz dağılım haritası.	40
Şekil 4.12: AERMOD ve WRF modeli 1 yıllık çöken toz dağılım haritası.	41
Şekil 4.13: ADMS ve lokal istasyon modeli 24 saatlik PM ₁₀ dağılım haritası.	43
Şekil 4.14: ADMS ve lokal istasyon modeli 1 yıllık PM ₁₀ dağılım haritası.	44
Şekil 4.15: ADMS ve lokal istasyon 24 saatlik çöken toz dağılım haritası.	45
Şekil 4.16: ADMS ve lokal istasyon 1 yıllık çöken toz dağılım haritası.	46
Şekil 4.17: ADMS ve WRF modeli 24 saatlik PM ₁₀ dağılım haritası.	47
Şekil 4.18: ADMS ve WRF modeli 1 yıllık PM ₁₀ dağılım haritası.	48
Şekil 4.19: ADMS ve WRF modeli 24 saatlik çöken toz dağılım haritası.	49
Şekil 4.20: ADMS ve WRF modeli 1 yıllık çöken toz dağılım haritası.	50
Şekil 4.21: AERMOD ve WRF modeli kanser risk dağılımı.	54
Şekil 4.22: AERMOD ve lokal istasyon modeli kanser risk dağılımı.	55
Şekil 4.23: AERMOD ve WRF modeli akut risk dağılımı.	56
Şekil 4.24: AERMOD ve lokal istasyon akut risk dağılımı.	56
Şekil 4.25: AERMOD ve WRF modeli kronik risk dağılımı.	57
Şekil 4.26: AERMOD ve lokal istasyon kronik risk dağılımı.	58

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Temiz hava içeriği (NOAA, 2020).....	7
Tablo 3.1: PM ₁₀ emisyon konsantrasyonu.....	20
Tablo 3.2: Kirletici emisyon özellikleri.....	20
Tablo 3.3: Ağır metal kirletici konsantrasyonları.....	21
Tablo 4.1: Temin edilen istasyon özellikleri.....	33
Tablo 4.2: AERMOD ve lokal istasyon modeli PM ₁₀ konsantrasyonları.....	34
Tablo 4.3: AERMOD ve lokal istasyon modeli çöken toz akıları.....	36
Tablo 4.4: AERMOD ve WRF modeli PM ₁₀ konsantrasyonları.....	38
Tablo 4.5: AERMOD ve WRF modeli çöken toz akıları.....	39
Tablo 4.6: ADMS ve lokal istasyon modeli PM ₁₀ konsantrasyonları.....	42
Tablo 4.7: ADMS ve lokal istasyon modeli çöken toz akıları.....	44
Tablo 4.8: ADMS ve WRF modeli PM ₁₀ konsantrasyonları.....	47
Tablo 4.9: ADMS ve WRF modeli çöken toz konsantrasyonları.....	48
Tablo 4.10: Merkez istasyonu saatlik modelleme çalışması korelasyon analizi.....	51
Tablo 4.11: Merkez istasyonu 24 saatlik modelleme çalışması korelasyon analizi.....	51
Tablo 4.12: Bahçelievler istasyonu saatlik modelleme çalışması korelasyon analizi.....	52
Tablo 4.13: Bahçelievler istasyonu 24 saatlik modelleme çalışması korelasyon analizi.....	52
Tablo 4.14: Kanser risk tablosu.....	54
Tablo 4.15: Akut risk tablosu.....	55
Tablo 4.16: Kronik risk tablosu.....	57

SEMBOL LİSTESİ

μg	: Mikrogram
95th	: % 95
As	: Arsenik
cm^3	: Santimetreküp
CO	: Karbonmonoksit
Cr	: Krom
g	: Gram
H_2SO_4	: Sülfürik Asit
HC	: Hidrokarbonlar
Hg	: Cıva
kg	: Kilogram
km^2	: Kilometrekare
m	: Metre
m^2	: Metrekare
m^3	: Metreküp
ng	: Nanogram
nm	: Nanometre
NO_2	: Azot Dioksit
NO_x	: Azot Oksit
O_3	: Ozon
PM	: Partikül Madde
PM_x	: Partikül Maddeler
ppm	: Milyonda Bir Birim
R^2	: Belirtme Katsayısı
sn	: Saniye
SO_2	: Kükürt Dioksit
SO_x	: Kükürt Oksitler
VOC	: Uçucu Organik Bileşik

KISALTMALAR LİSTESİ

ADMS	: Atmospheric Dispersion Modeling System
AERMAP	: AERMOD Terrain Preprocessor
AERMET	: AERMOD Meteorological Preprocessor
AERMOD	: American Meteorological Society/Environmental Protection Agency Regulatory Model
AFWA	: Air Force Weather Agency
AMS	: American Meteorological Society
ARW	: Advance Research WRF
CalEPA	: California Environmental Protection Agency
CALMET	: CALPUFF Meteorological Preprocessor
CALPUFF	: California Puff Model
CARB	: California Air Resources Board
CERC	: Cambridge Environmental Research Consultants
CMAQ	: Community Multiscale Air Quality Model
ÇŞB	: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
ECR	: Excess Cancer Risk
EJC	: Engineers Joint Council
FAA	: Federal Aviation Administration
HARP	: Hot Spots Analysis and Reporting Program
HKİİ	: Hava Kalitesi İzleme İstasyonu
HYSPLIT	: Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated
ISCST-3	: Industrial Source Complex Short Term
LPG	: Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
MGM	: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MM5	: Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model
MMIF	: The Mesoscale Model Interface Program
NCAR	: National Center for Atmospheric Research
NCEP	: National Centers for Environmental Prediction
NMM	: Non-hydrostatic Mesoscale Model
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration
NRL	: U.S. Naval Research Laboratory
PFL	: Profile Data
PLT	: AERMOD Plot File
SCICHEM	: Second Order Closure Integrated Puff Model with Chemistry
SFC	: Surface Archive Format
SHT	: Sayısal Hava Tahmini
SKHKKY	: Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
SPSS	: Statistical Package for the Social Sciences
SRTM3	: Shuttle Radar Topography Mission
TNO	: Netherlands Organisation of Applied Scientific Research
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UCAR	: University Corporation for Atmospheric Research
USEPA	: United States Environmental Protection Agency
WHO	: World Health Organization
WPS	: WRF Preprocessing System
WRF	: Weather Research and Forecasting

ÖNSÖZ

Bu çalışma kapsamında Balıkesir’de faaliyet göstermekte olan bir çimento fabrikasından yayılan PM₁₀ ve çöken toz kirletici dağılımını farklı meteorolojik modeller ve hava kalitesi dağılım modelleri kullanılarak kirliliğinin dağılımını, hangi modellerin bu çalışma için daha iyi sonuç verdiğini ve oluşabilecek sağlık riskinin analizi üzerine yapılmıştır.

Tez çalışma süresi boyunca benden yardımlarını esirgemeyen ve kendimi geliştirmemde bana her daim destek olan sayın hocam Doç. Dr. Atilla MUTLU ve WRF modelini öğrenmemde yardımcı olan Umur DİNÇ’e teşekkür etmeyi kendime borç bilirim.

Bugün buralara gelebilmemde bana her daim destek olan annem Nuray BAYRAKTAR ve babam Kemal BAYRAKTAR’a çok teşekkür ederim.

Balıkesir, 2022

Ömer Mert BAYRAKTAR

1. GİRİŞ

20. yüzyıldan itibaren gelişen sanayileşmenin getirdiği sonuçlar doğrultusunda kentsel, bölgesel, kıtasal ve küresel ölçeklerde hava kirletici kaynakları çeşitlenerek artmış ve artık ihmal edilemez bir çevre sorunu haline almıştır. Her ne kadar temiz havanın insanların yaşamlarını sürdürebilmek için en temel ihtiyacı olsa da günümüzde pek çok ülke; United States Environmental Protection Agency (USEPA)'nin belirlediği hava kalitesi sınır değerlerini karşılayamamaktadır (WHO, 2006). Özellikle, Çin'in büyük şehirlerinde her yıl yaklaşık olarak 178.000 kişi hava kirliliği yüzünden hayatını kaybetmektedir (Johnson vd., 1997). Bunun sonucu olarak; yasal limitlerin üzerinde bulunan hava kirleticileri insan ve çevre sağlığını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Ayrıca bölgedeki meteorolojik koşulların etkisiyle birlikte belirli aylarda hava kalitesi değerlerinin daha fazla düşüş göstermesi, insan ve canlı sağlığı açısından daha fazla tehlike arz etmektedir (Tiwari vd., 2014). Olumsuz meteorolojik koşullar kapsamında, Balıkesir ilinde de özellikle kış aylarında sıklıkla görülen sıcaklık terselmesi (enverziyon) önemlilik arz etmektedir. Enverziyon tabakası; evsel, endüstriyel veya çeşitli kaynakların taşınımı ile oluşabilecek hava kirliliği veya olumsuz meteorolojik koşullara bağlı olarak kirli havanın bulunduğu bölgeden, meteorolojik veya yüzey şekillerine bağlı olarak dağılamaması, askıda kalması olarak tanımlanabilir (Enzhong vd., 2015).

Hava kirliliği canlı yaşamı için önemli bir tehdit unsuru olmasından dolayı mevcut hava kalitesini iyileştirmek için pek çok kuruluş oluşabilecek kirliliği kontrol altına almak için belirli çevre politikaları ve standartlar oluşturmuştur. Kirleticilerin oluşturulabileceği zararlar açısından her biri için sınır değerler uluslararası kuruluşlarla veya ülkeler arası yapılan "Hava Kirliliği Standartları" ile belirlenmektedir (Toros, 2000). Örnek olarak; USEPA, World Health Organization (WHO) ve ülkemizde ise Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞB) gibi birçok kurum ve kuruluş tarafından belirlenmektedir (Erdun vd., 2015).

Balıkesir bölgesi 2020 yılına göre 1.240.285 kişiye ev sahipliği yapan orta ölçekli bir şehrimizdir (TÜİK, 2021). Konumu bakımıyla Ege Denizi'ne komşu olması, Kaz Dağı gibi önemli oksijen kaynağına sahip bölgelerin bulunması, İzmir, Bursa ve Manisa gibi illerin geçiş yollarını barındırması, aynı zamanda tarım, sanayi, turizm ve rüzgar enerjisi gibi pek çok faaliyetlerin bir arada bulunması ile önemli bir konumda bulunan bir şehrimizdir (Özcan,

2011; Mat, 2020). Balıkesir bölgesi sosyokültürel ve ekonomik pek çok ayrıcalığa sahip bir şehir olmasının yanı sıra 2020 yılına göre Türkiye'nin en kalabalık 16'ncı ilimizdir (TÜİK, 2021). Bunların yan etkisi olarak bölgede ki hava kirliliğinin artmasının yanı sıra, coğrafik olarak çanak şeklinde bir ova içinde olması sebebiyle hava kirliliği Balıkesir için önemli bir sorundur (Tağıl, 2007; Tecer, 2009; Mutlu, 2019; Çıldır, 2021).

Hava kalitesi dağılım modelleri, mevcut dış ortam kirleticilerinin başta partikül madde (PM₁₀) olmak üzere, konsantrasyon ölçümü ve kontrolü için kullanılmasının yanı sıra farklı kaynaklardan veya kaynağa yakın bir yerde ölçüm yapılmasının ekonomik ya da teknik anlamda uygun olmaması durumunda da başvurulabilecek alternatif bir yöntemdir (USEPA, 2009a; O'Shaughnessy ve Altmaier, 2011; Abu-Allaban ve Abu-Qudais, 2011; Afzali vd., 2017; Adeniran vd., 2019). Bu sebeple pek çok ülke veya kuruluşlar lokal veya bölgesel hava kirliliğini önlemek ve kontrol altında tutmak için çeşitli algoritmalarından oluşan hava kalitesi dağılım modelleri kullanmaktadır (Abu-Allaban ve Abu-Qudais, 2011; Gulia vd., 2015; Afzali vd., 2017; Adeniran vd., 2019). Meteoroloji, topoğrafik ve kent yerleşimi gibi özellikler, hava kirleticilerinin dispersiyon, depolanma ve kimyasal dönüşüm süreçlerine etki eden önemli faktörlerdir. Hava kalitesi dağılım modelleri ile oluşabilecek kirliliğin nereye, ne zaman ve ne seviyede dağılım gösterebileceği gibi soruları gerçeğe en yakın şekilde tahmin edilmesi amaçlanmaktadır (Karatzas ve Kaltsatos, 2007; Aggarwal vd., 2014). Öyle ki; günümüzde teknolojinin gelişmesi ile birlikte modellerin gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edebilmesinin yanı sıra olası sağlık etkilerinin de önceden tahmin edebilmesi mümkün hale gelmiştir (WHO, 2000; Sheppard vd., 2005).

1.1 Tezin Amacı

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı kapsamında Balıkesir'de yapılan "Balıkesir İli Temiz Hava Eylem Planı" raporu incelendiğinde, Balıkesir bölgesindeki PM₁₀ değerlerinde yıllık olarak artış gözlemlenmiştir (ÇŞB, 2020). Artan hava kirliliği ve bölgenin çanak şeklinde bir coğrafi yapıya sahip olması sebebiyle enverziyon oluşumu görülebilmesinin yanı sıra, özellikle şehir merkezinde kış aylarında evsel yakıtların salınımı ile birlikte hava kirliliği açısından önemli artışlara neden olabilmektedir (ÇŞB, 2020). Bu yüzden; Balıkesir bölgesi yapısı gereği hava kirliliğinin kontrolü ve azaltılması açısından dikkat edilmesi gereken önemli bir bölgemizdir.

Bu çalışmada, Türkiye'nin kuzey batı bölgesinde bulunan Balıkesir ilinde faaliyet göstermekte olan bir çimento fabrikasından kaynaklanan hava kirleticilerinin (PM_{10} ve çöken toz) çevreye ve insan sağlığına olan etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için farklı meteorolojik ve hava kalitesi modelleri kullanarak oluşabilecek kirlilik düzeyleri analiz edilmiştir. Ülkemizde faaliyet göstermekte olan lokal meteorolojik istasyonlar incelenerek işletmeye en yakın konumda bulunan istasyonlardan ilgili meteorolojik veriler AERMOD meteorological preprocessor (AERMET), uydudan alınan meteorolojik veriler ile Weather Research and Forecasting (WRF) modeli kullanılarak iki farklı meteorolojik veri tabanına göre hava kalitesi dağılım modelleri hazırlanmıştır. Lokal meteoroloji istasyonlarından elde edilen veriler ile WRF veri tabanında oluşturulan meteorolojik veriler daha sonra ayrı ayrı Gauss tabanlı bir hava kirliliği dağılım modeli olan American Meteorological Society/Environmental Protection Agency Regulatory Model (AERMOD) ve Atmospheric Dispersion Modeling System (ADMS) kullanılarak işletmede oluşan PM_{10} ve çöken toz kirleticilerine ait dağılımlarının modellenmesi yapılmıştır. Çıkan sonuçlar ışığında oluşan hava kirliliği etkisinde, çalışma alanında mevcut olan insan yaşamına etkilerini incelemek için bir akut kanser risk analiz programı olan Hot Spots Analysis and Reporting Program (HARP) kullanılarak, 70 yıllık maruz kalma süresi içerisinde bölgede oluşabilecek kanser, akut ve kronik sağlık risklerinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, iki farklı meteorolojik model (lokal ve WRF) ile oluşturulan dağılım modellerinin sonuçlarına göre; bölgede faaliyet göstermekte olan hava kalitesi izleme istasyonu (HKİİ) verileri ile hava kalitesi dağılım model sonuçları arasında ki benzerlikler incelenerek çalışmada kullanılan modellerden hangisinin bölge için daha geçerli sonuçlar verdiği belirlenmeye çalışılmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Geçmişten günümüze meteorolojik parametreler, kirletici emisyonları, hava kirliliği ve olası sağlık etkileri üzerine pek çok çalışmalar yapılmıştır. Günümüzde ise yeni teknolojik gelişmeler ve yöntemler sayesinde kullanıcının ihtiyacı doğrultusunda pek çok modelleme programları oluşturulmuştur. Bu programlar vasıtasıyla küçük ölçekli çalışma alanlarından küresel çapa kadar istenilen alanlarda çalışabilmenin yanı sıra, gerçeğe daha yakın sonuçlar üretebilmek mümkün hale gelmiştir. Özellikle; son yıllarda modelleme programlarının ev kullanıcısına kadar ulaşması ile birlikte pek çok model programlarını kullanabilmek mümkün hale gelmiştir. Aşağıda bu konular hakkında yapılmış çalışmalara örnekler verilmiştir.

Daha önceki dönemlerde yapılan çalışmalara bakıldığında; model haritalarından önce meteorolojik parametrelerin kirletici emisyonlarına olan ilişkisi ve etkisi daha ön planda olduğu görülmektedir. Bu çalışmalara örnek olarak; Şahin (1994) yapmış olduğu bir çalışmada, İstanbul'un bazı bölgelerinde ölçülen kükürt dioksit (SO₂) ve PM₁₀ ile meteorolojik parametrelerle olan bağıntıları incelenmeye çalışılmıştır. Bunun yanı sıra Spearman korelasyon yöntemi kullanılarak aralarındaki istatistiksel anlamlılıklar incelenmiştir. Çıkan sonuçlar ışığında, kirletici emisyonları ile sıcaklık, rüzgar ve basınç arasında anlamlı sonuçlar verdiği görülmüştür. Bir diğer çalışmada; Adalı (1996) iki farklı zaman periyodu içinde (1994-1995 ve 1995-1996) Trabzon kent merkezinde ısınma sezonunda salınan SO₂ ve PM₁₀ konsantrasyonu verileri ile günlük rüzgar hızı, nem ve sıcaklık verileri kullanılarak Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) yazılımı kullanılarak yapılan regresyon analizi ile aralarındaki bağlantı ölçeklendirilmeye çalışılmıştır. Bu sonuçlar kapsamında; Trabzon kentinde hava kirliliğinin azalmasında meteorolojik koşulların çok fazla bir katkısının olmadığını, bu yüzden PM₁₀ ve SO₂ için düşük yakıt kullanımı teşvik edilmiştir.

Ülkemizde yapılmış olan sayısal hava tahmini (SHT) model haritalarına örnek olarak, Demirarslan (2012), Kocaeli Körfez bölgesinde ki karbonmonoksit (CO), azot oksit (NO_x), SO₂, PM₁₀ ve uçucu organik bileşik (VOC) emisyonlarının modellenmesi amaçlanmıştır. Bunun için kirletici kaynakları belirlenmiş ve ölçüm sonuçları ile modellenmiş sonuçlar kıyaslanarak bölgenin durumu değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile birlikte yapılan istatistiksel analizler incelendiğinde tahmin edilen değerler ile gözlenen değerler arasında farklılıklar görülmüştür. Sonuçlar incelendiğinde, CO ve PM₁₀ için AERMOD daha iyi sonuç verirken, SO₂ için Industrial Source Complex Short Term (ISCST-3) modeli daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Oluşturulan model dağılımları birbirleri arasında benzerlik göstermesine rağmen California Puff Model (CALPUFF) oluşturduğu dağılımın daha fazla olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, modeller arasında emisyon çeşitlerine göre farklı dağılımlar verdiği, CALPUFF modelinin uzak mesafelerde yayılan emisyonların daha stabil olduğu, AERMOD ve ISCST-3'de yayılan konsantrasyonların yayılım mesafesinin artmasına bağlı olarak azaldığı ön görülmüştür. Ulusoy vd. (2015) Ankara ili bölgesi içerisinde olası senaryoda kurulması planlanan bir tesise uygun meteorolojik veriyi seçmek için örnek bir tesis kullanılarak AERMOD ile 2 farklı meteorolojik veri setini kullanarak dağılım modellemesi yapılmıştır. Çalışmada, bölgeye en yakın 2 lokal istasyon verisi ile AERMET, uydudan alınan meteorolojik veriler ile WRF modelinin yanında çıktılarını

AERMOD'un anlayabileceği formata dönüştüren The Mesoscale Model Interface Program (MMIF) kullanılarak AERMOD ile çalıştırılmıştır. Sonuçlar, HKİİ ile model sonuçları arasında yapılan korelasyon analizine göre WRF, lokal istasyonlardan alınan meteorolojik verilerden daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bir başka çalışmada, Özçomak (2016) İzmir'deki hava kirliliğinin modellenmesi için yapılan çalışmada WRF kullanılarak 30 km ile 10 km mesafede 2 farklı çalışma alanı olacak şekilde Ocak 2010 zaman aralığında hazırlanan model, İzmir ili Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Gaziemir istasyonundan alınan meteorolojik verilerle yapılan kıyaslama sonucunda, sıcaklık değerleri yakın değerler verirken, rüzgar hızı ve yönünde farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Çalışma için hava kalitesi dağılım modeli olarak geniş alanlarda ve farklı kirleticilerde çalışma imkanı sunan Community Multiscale Air Quality Model (CMAQ) tercih edilmiştir. Model için emisyon girdisini işletmelere bağlı sektörlere göre Netherlands Organisation of Applied Scientific Research (TNO) envanteri kullanılarak emisyon haritaları oluşturulmuştur. Çıkan sonuçlar ışığında emisyonlarda ve konsantrasyonlarda en yüksek farklılıklar şehir merkezinde görülmüştür.

Hava kalitesi dağılım modelleri ile yapılmış diğer çalışmalar kapsamında, Mohan vd. (2011) AERMOD ve ADMS modellerinin bir arada kullanarak Hindistan'ın Delhi şehrinde partikül madde kirleticisinin analizi ve modeller arası değerlendirilmesi üzerine çalışılmıştır. Yapılan çalışmada 2000–2004 yılları arası kış ayları partikül madde analizi sonucu gözlemlenen değerlere göre ADMS trend korelasyonu, AERMOD'a göre daha iyi sonuçlar verirken, günlük ve aylık ortalama değerler birbirlerine yakın seyretmiştir. Melo vd. (2012) bir hayvancılık çiftliğinden yayılan kokunun AERMOD ve CALPUFF modelleri kullanılarak sonuçlarının karşılaştırılmasını içermektedir. Bitişik iki bina içerisinde bulunan üretim çiftliği, rüzgar tüneli verileri ile dağılan kokunun modellenmesi için iki farklı model ile tahminlerin kıyaslaması yapılmıştır. Sonuç olarak, kullanılan iki model arasında benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Genel olarak değerlendirildiğinde CALPUFF modeli rüzgar tüneli verileri ile daha uyumlu olduğu görülmüştür. Lokal meteorolojik istasyondan alınan meteorolojik veriler ile WRF kullanan bir başka modelde; Lee vd. (2014) Güney Kore'nin Ulsan bölgesinde faaliyet gösteren iki endüstriyel tesisin WRF ve CALPUFF meteorological preprocessor (CALMET) çıktılarını kullanarak CALPUFF ile PM₁₀ ve SO₂ kaynaklarının incelenmesi, çıkan sonuçlar ile gözlemlenen değerlerin istatistiksel sonuçları üzerine yapılmıştır. Çalışmada gözlemlenen veriler ile model çıktılarının sonuçları istatistiksel analizler olan normalleştirilmiş hata kareleri kökü, Pearson korelasyonu, kesirli sapma ve

uygunluk indeksi kullanılmıştır. Çalışma süresince 14 istasyondan gözlemlenen verilerle simülasyon edilmiş verilerle ile kıyaslaması yapılmıştır. Yaz, kış ve yıllık olmak üzere üç farklı zaman periyotları arasında çalışılmıştır. Sonuçlara göre PM₁₀ ve SO₂ çoğunlukla noktasal ve alansal kaynaklardan etkilenmiştir. İstatistiksel analizler sonucunda belirtme katsayısı (R²) değeri PM₁₀ için 0,663 ve SO₂ için 0,528 sonucu ile PM₁₀ değerleri SO₂'ye göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Çıkan sonuçlar ile gözlemlenen değerler arasında iyi bir bağıntı olduğu sonucuna varılırken, rüzgar hızı ve rüzgar yönü verilerinin ilişkili olduğu vurgulanmıştır.

Hava kirliliği modelleri ile birlikte yapılan sağlık etki ve analizi çalışmalarına örnek olarak. Justin ve Rashid (2006), California Air resource Board (CARB) tarafından geliştirilmiş bir sağlık analizi ve raporlama programı olan HARP modeli bu çalışmada atmosferdeki karışım yüksekliği analizi için kullanılmıştır. Çalışmada, Malezya Meteoroloji Servisi yardımıyla 2003 yılının meteorolojik verileri 250-2000 m aralığındaki karışım yüksekliği ile dioksin ve furan emisyonları HARP yardımıyla her bir kirlenici için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Sonuç olarak, yüksekliğe bağlı olarak 500 m ve 750 m yüksekliğinde konsantrasyon ve karışım oranları sabit ilerlerken, 1000 m de konsantrasyon oranının iki katına çıkarken, 2000 m de azalış gösterdiği gözlemlenmiştir. Mokhtar vd. (2014) Malezya'da elektrik üretimi için kömür kullanan bir termik santralden yayılan hava kirliliğini AERMOD ile kanser risk analizi üzerine yapılmıştır. Günde 20.000 ton kömür salınan tesiste, 250 m gridler aralığında merkez salınım noktasından 15 km mesafe alınarak hava kalitesi dağılım modeli yapılmıştır. Model sonuçlarına göre; yıllık ortalama SO₂ konsantrasyonu 2,88 µg/m³ ile benzer çalışmalara göre biraz düşük olduğu sonucuna ulaşılırken, arsenik (As) için 6,63 µg/m³ ve krom (Cr) 17,69 µg/m³ değerine ulaşılmıştır. Sağlık etkisine bakıldığında; işletmeden salınan SO₂ ve cıva (Hg) kirlenicileri için bir kanserojen etkisinin olmadığı belirtilirken, As ve Cr kirlenicilerinin kanserojen etkisinin olduğu belirtilmiştir. HARP kullanılarak yapılan bir başka çalışmada, Donoghue ve Coffey (2014) Avustralya'daki bir alüminyum rafinesinden salınan ağır metal emisyonundan oluşabilecek akut, kronik ve kanser riskinin araştırılması üzerine yapılmıştır. Çalışma alanı olarak işletmeden 3 km ile 5 km'lik bir mesafe aralığında 2 farklı şekilde değerlendirilmesi üzerine yapılmıştır. Sonuç olarak; akut risk 0,3–1,1, kronik risk 0,02–0,04 ve kanser risk $0,1 \times 10^{-6} - 1,2 \times 10^{-6}$ olarak en yüksek değerlere 3 km'lik mesafe aralığında ulaşırken, USEPA'nın ihmal edilebilir sağlık riski sınır değerlerine göre kaynağın faaliyeti sonucu oluşabilecek riskin ihmal edilebilir düzeyde olduğu tespit edilmiştir (USEPA, 2005). Termik santrallerden yayılan kirliliğin sağlık

üzerine olan etkisinde; Karaca vd. (2021) Kazakistan'ın Nur-Sultan bölgesinde faaliyet gösteren kömür yakmalı termik santralinden yayılan Hg kirleticisinin bölgeye olan sağlık etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma için belirli zaman aralıkları için Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT) modeli ile cıva dağılımının modellenmesi üzerine yapılmıştır. Model için arka plan ve tesis konsantrasyonları hesaplanarak diğer ülke şehirleri ile kıyaslaması yapılmıştır. Sonuç olarak; Nur-Sultan bölgesinin arka planda ölçülen cıva değerlerinin çoğu Avrupa şehirlerinden fazla olduğunu, işletmenin termik santralle sınırlı olmasıyla birlikte ısınma sezonu olarak adlandırabileceğimiz kış dönemleri için maruz kalma düzeyinin daha da artabileceğine değinilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Hava Kirliliği

İnsan ve canlı yaşamının sürdürülebilmesi için temel gereksinim olan oksijene ihtiyaç duymaktadır. Oksijen, azot, argon ve karbondioksit gibi gazları bünyesinde bulunduran hava, biz canlıların ihtiyacı olan özellikleri karşılayacak niteliklere sahiptir. Bu gazlar havanın %99,9 gibi bir kısmını oluştururken, geriye kalan kısmı eser miktarda farklı gazlar içermektedir. Dünyamızda ki havanın kirlenmemiş olarak (saf hali) tabir edildiği bileşimi Tablo 2.1'de verilmiştir (NOAA, 2020).

Tablo 2.1: Temiz hava içeriği (NOAA, 2020).

Gazlar	İçerik
Azot	%78,084
Oksijen	%20,947
Argon	%0,934
Karbondioksit	%0,035
Neon	%0,0018
Helyum	%0,0005
Metan	%0,00017
Hidrojen	%0,00005
Nitröz Oksit	%0,00003
Ksenon	%0,000009
Ozon	%0,000004
Nitrit Oksit	%0,00003

Hava kirliliği farklı şekillerde tanımlanabilmektedir. Öyle ki; Engineers Joint Council (EJC) dış ortamda bulunan bir veya birden fazla kirleticinin toz, gaz, duman, koku, mist ve aerosoller gibi karakteristik özellik gösteren ve belirli bir süre zarfında insana, bitkiye, eşyaya zarar verebilen veya yaşamsal rahatlığı olumsuz yönde etkileyebilen istenmeyen durumlar olarak adlandırılır (Handbook of Environmental Engineering, 2004). Hava kirliliği sadece olduğu veya bulunduğu bölgeye bağlı kalmamakla birlikte Dünya’da yaşayan herkesin aynı havayı soluması sebebiyle meydana gelen hava kirliliği, tüm Dünya’yı etkisi altına almakla birlikte oluşan kirleticiler canlı yaşamını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu kirliliğe sebep olan başlıca kirletici kaynakları da NO_x , SO_2 , CO, partikül maddeler (PM_x), VOC ve ozon (O_3)’dur (Saxena ve Naik, 2019). Bu kirleticiler insanlarda astıma, kalp rahatsızlığına, kronik bronşit, diyabet, amfizem ve kanser gibi hastalıklar sebep olmasının yanı sıra çevreye ve doğaya da zarar verebilmektedir (Sadanaga vd., 2004).

2.2 Hava Kirletici Türleri

Hava kirletici kaynakları birden fazla olmasına rağmen meydana gelen etmenlere bağlı olarak iki temel kategoride sınıflandırılabilir. Bunlar; doğal kaynaklar ve insan faaliyetleri sonucunda oluşabilecek antropojenik kaynaklar olarak gösterilebilir (Bai vd., 2018; Zhao vd., 2020). Doğal kaynaklar, doğanın kendi yaşamsal faaliyetleri sonucu kontrolsüz bir şekilde oluşabilen doğa olayları olarak adlandırılır. Bunlara; volkanik patlamalar, orman yangınları, toz fırtınaları, okyanus ve deniz faaliyetleri olarak gösterilebilir (USEPA, 2016). Bu tür doğa olaylarının faaliyetleri sonucu alıcı ortama kirletici gaz ve partikül madde halinde emisyonlar salınabilmektedir. Her ne kadar doğanın kendi yaşamsal faaliyetleri sonucu oluşan olaylar olsa da özellikle çöl fırtınalarından partikül madde, volkanik faaliyetler sonucu oluşan SO_2 ve partikül madde kirleticilerinin salınımı sonucu hava kirliliğine sebebiyet verebilmektedir (Sigurdsson, 1982). Bunun yanı sıra doğa olayları ile antropojenik faaliyetler sonucu oluşan kirlilik arasındaki en büyük fark doğa olayları engellenemezken insan kaynaklı oluşumlar engellenebilmektedir. Antropojenik kaynaklar da kendi içerisinde üç farklı kategori içerisinde sınıflandırılabilir (USEPA, 2016). Bu kaynaklar alansal, noktasal ve çizgisel kaynak olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Alansal hava kirletici kaynakları açık maden ocakları, patlatma ve evsel ısınma kaynaklı meydana gelebilecek kirleticileri kapsamaktadır. Patlatma ve maden ocakları faaliyetleri sonucu toz, partikül madde, karbonmonoksit ve azot oksit gibi kirleticiler oluşabilmektedir (Shvaher ve Komisarenko, 2020). Evsel ısınma da ise kullanılan yakıtın türüne bağlı olarak farklı emisyonlar oluşabilmektedir. Noktasal kaynak tipinde ise endüstriyel, sanayi ve enerji

Üretim tesislerinden salınan emisyonların yanı sıra ağır metallerde salınabilmektedir (Wehner vd., 2002). Bu tip kaynaklar da çoğunlukla tek bir nokta üstünden baca yardımıyla kirletici salınımı yapılmaktadır. Son olarak çizgisel kaynak ise ulaşım faaliyetleri sonucu oluşabilecek sınıftır. Fosil yakıt ve türevleri olan benzin, mazot ve sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ile çalışan ulaşım araçları bu kategoriye girmektedir. Bu kaynakların kullanıldığı yakıtın tipi ve kalitesine bağlı olarak CO, PM_x, kükürt oksitler (SO_x) ve hidrokarbonlar (HC) gibi kirleticiler açığa çıkabilmektedir.

Hava kirliliğinde salınan emisyonlar temel olarak iki farklı şekilde ele alınabilir. Bunlar; gazlar ve partikül maddeler olarak sınıflandırılır. Gazlar için Tablo 2.1'deki temiz havanın içerisindeki ihtiva oranının değişmesine bağlı olarak gösterilebilir. Partikül maddeler için ise kaynağa veya havada bulunan özelliklerine göre değişkenlik gösterebileceği gibi 0,005 nm'den 100 mikrona kadar değişkenlik gösterebilmektedir (Demirarslan, 2012). Partikül maddeler birçok farklı boyutta olsa da çapı 10 mikrondan küçük olan tüm partiküller akciğere solunum yolu ile çekilerek kişide sağlık riskleri oluşturabilmektedir. Bu kirleticinin kaynaklarını enerji, sanayi, maden ve ulaşım gibi sektörler oluştururken aynı zamanda volkan toz fırtınası gibi doğa olayları da neden olabilmektedir.

2.3 Hava Kirliliği Dağılım Faktörleri

Bir kaynaktan salınan gaz formundaki kirleticiler atmosferik koşulların özelliklerine bağlı olarak havada dağılmaktadır. Dağılımı etkileyen çeşitli meteorolojik parametreler bulunurken en etkilisi rüzgar hızı ve yönüdür. Yapılan alışmalar incelendiğinde; gazların maksimum konsantrasyonları salındığı konumda bulunabilirken, dağılan kirletici konsantrasyonu rüzgar yönüne bağlı olarak azalma gösterebilmektedir. Dağılımı etkileyen parametrelere örnek olarak topoğrafik özellikler, zemin yüksekliği, atmosferik koşullar, rüzgar hızı ve yönü gibi pek çok parametre örnek verilebilir (Seangkiatiyuth vd., 2011).

2.3.1 Topoğrafik zellikler

Yeryüzünün sahip olduğu çeşitli yükseltiler, girintiler ve çıkıntılar topoğrafya olarak adlandırılmaktadır. Topoğrafyayı sınıflandıran yükseltileri ölçmek için de deniz seviyesinden yüksekliği baz alınır. Topoğrafik zellikler hava kirliliğini doğrudan etkileyen bir özellikten farklı olarak hava kirliliğinin etkisini arttırıp azaltmasında etkin rol oynamaktadır. Özellikle, dağların veya çeşitli engellerin arkasında bir çanak biçimini andıran yapıya sahip olan bölgelerde, oluşan hava kirliliğinin dağılma süresini etkilemesiyle

birlikte hava kirliliği açısından istenmeyen koşulların oluşmasına da sebep olabilmektedir. Bu tür arazi yapıları kirliliğin seyrelmesi için önemli olan rüzgar faktörünün etkisini azalmasına ve dağılmasına engel teşkil etmektedir (Şahin, 1987; Tağıl, 2007).

Bu tür arazi yapılarının bir yan etkisi olarak da enverziyon tabakası oluşumu görülebilmektedir. Enverziyon tabakası, özellikle soğuk ve kış aylarında yeryüzünün çok hızlı soğumasıyla birlikte hava da soğumakta, soğuyan hava tabakası ile daha üstte bulunan sıcak hava tabakasını geçemediği için soğuk hava yeryüzü ve sıcak hava tabakası arasında sıkışıp kalır. Bunun sonucu olarak soğuk hava içerisinde bulundurduğu kirleticiler ile birlikte kirliliği bir hava tabakası olarak asılı kalarak enverziyon oluşur (Karpuzcu, 2012). Aynı zamanda oluşan katman güneş ışığını absorbe etmesi ve kış aylarında evsel ısınma ihtiyacının artması ile olumsuz yönde etkilemektedir.

2.3.2 Meteorolojik Faktörler

Kirliliğin dağılmasında etki sahibi faktörlerden biride meteorolojik parametrelerdir. Meteorolojik etmenler kirleticiye, yoğunluğuna ve arazi koşullarına bağlı olarak hava kirliliğinin dağılmasında tek başına etkileyebildiği gibi birlikte de etkileyebilmektedir. Genel olarak meteorolojik parametreler sıcaklık, basınç, rüzgar hızı, rüzgar yönü, bulutluluk, nem, yağış ve karışım yüksekliği gibi parametreler örnek verilebilir. Sıcaklık, hava kirliliği dağılımında atmosferin kararlı ve kararsızlık gibi koşulların oluşmasına bağlı olarak artış azalmasında rol oynamaktadır (Katsouyanni vd., 1993; Roberts, 2004). Yükseklik arttıkça sıcaklığın azalmasına bağlı olarak kirletici konsantrasyon yoğunluğunda artış ve azalış meydana gelebilmektedir. Basınç, yüksek ve alçak basınç olarak iki sınıfta inceleyebiliriz. Yüksek basınçta havanın yoğunluğu fazla olduğu için kirliliği hareketsiz kalırken, alçak basınçta yoğunluk azalır ve hava yükselme eğilimi gösterirken kirliliğin dağılmasında rol oynar. Rüzgar hızı ve yönü, kirliliğin nereye doğru dağıldığını belirlemede en önemli faktörlerden biridir (Demirci ve Cuhadaroglu, 2000; Cichowicz vd., 2020). Estiği yöne ve şiddetine bağlı olarak dağılımı etkilerken, topoğrafik özelliklere bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Bulutluluk, güneş ışınlarının yer yüzeyine ulaşarak ulaşmamasında rol oynamaktadır. Bulutlu havanın olmadığı günler güneş ışınları yer yüzeyine ulaşarak sıcaklığın artmasının yanı sıra binaları ısıtması ile ısınmaya bağlı yakıt tüketiminin azalmasını sağlar. Bulutsuz günlerde bunun tam tersi görülür. Nem, güneş ışınlarını absorbe etmesi ile hava kirliliğini etkileyebilirken havaya karışan SO₂ ve sülfürik asit (H₂SO₄)'e dönüşmesine de neden olabilmektedir. Yağış, havadaki nemin yoğunlaşarak yere inmesi olayına yağmur

denir. Yağmur tanelerinin yeryüzüne inmesi ile birlikte ortamda bulunan kirletici ile beraber yeryüzüne inerek havanın temizlenmesinde rol oynar. Karışım yüksekliği, kirleticilerin dağılımında önemli faktörlerden biridir. Kirleticilerin atmosferde karışabildiği katmandır. Mevsimsel koşullarla birlikte yeryüzü topoğrafik yapısı ve basınç gibi faktörlerde bunu etkileyebilmektedir.

2.4 Hava Kalitesi Dağılım Modelleri

Teknolojik ve bilimsel gelişmelerin getirdiği yenilikler sayesinde meteorolojik hava olaylarını ölçmek için uydu sistemleri, radarlar veya hava kalitesi ölçüm istasyonları gibi sayısız kontrol mekanizmaları ve yöntemlerle ölçüm yapılabilmektedir. Özellikle, çeşitli uyduların verilerinin paylaşılması sayesinde bireysel kullanıcılar için bile bir istasyona bağlı kalmaya gerek olmadan istenilen alanın meteorolojik verilerine ulaşmak artık daha kolay bir hale gelmiştir (Karadavut, 2014). Meteorolojik hava olayları, istasyon ve sayısal hava tahmini olarak iki şekilde incelenebilmektedir. İstasyonlar, yapısı gereği sadece bulunduğu konumun koşullarına bağlı olarak veri toplayabilmektedir. Aynı zamanda meteorolojik koşulların sürekli değişkenlik gösterebildiği bir bölgeye bağlı olarak istasyonun ölçümediği verinin kullanım alanını kısıtlaması, çalışma alanları için gerekli olan meteorolojik verinin temin edileceği istasyonun uzaklığı ile birlikte işletme maliyetleri de önem arz etmektedir. Sayısal hava tahmini, meteorolojik koşulları bilgisayar ortamında matematiksel modeller yardımı ile kullanıcıya geçmişe, geleceğe veya gerçek zamanlı tahminler üretmeye odaklanmıştır. Çevresel şartlarının etkisi ile kilometrelerce alanlarda çalışabilen, hava şartlarına veya farklı koşulların oluşması durumunda ne tür sonuçlar doğuracağına yönelik senaryolar hazırlanabilme imkanı sağlayan global modellerdir. Bu modellerin getirdiği yeniliklerin yanı sıra günümüzde hava kirliliği, sağlık ve rüzgar enerjisi gibi pek çok alanda sıklıkla kullanılmaktadır.

Sayısal hava tahmin modelleri, günümüzde ulaşılması ve kullanılması daha kolay bir hal alması ile hava kirliliği modelleri için önemli bir kullanım alanı oluşturmuştur. Hava kirliliği modelleri en basit tanımıyla kaynaktan çıkan kirleticinin coğrafik özellikleri ile birlikte meteorolojik etmenlerin etkisinin yardımıyla kirletici dağılımının modellenmesidir. Bu modellere örnek olarak günümüzde kullanılmış ve kullanılan modellere AERMOD, CALPUFF, ADMS, CMAQ ve WRF-Chem gibi Dünya’da pek çok ülke tarafından kabul görmüş olan farklı modelleme programları kullanılmış ve kullanılmaktadır. Modelleme programları kendi aralarında kullanılan metot, meteorolojik parametreler, çalışma alanı

boyutu ve özellikleri gibi farklılıklar barındırmakla birlikte temelde tüm modelleme programlarının amacı gerçekte oluşabilecek hava kirliliği değerlerine en yakın sonucu vermeyi hedefler. Böylece, geçmişten günümüze gelişen metotlar ve özellikler ile modeller gerçeğe daha yakın ve güncel model haritaları oluşturulabilmektedir.

Hava kirliliği modelleri günümüzde özellikle çevre ve insan sağlığına oluşturabileceği toksik etkileri incelemek üzerine de kullanılmaktadır. Dağılan kirleticinin oluşturulabileceği toksik etkisi, dağıldığı yöndeki çevre koşulları ve bölgesel özelliklere bağlı olarak şiddeti artıp azalmaktadır (He vd., 2017). Günümüzde sektörlere ve kirletici kaynaklarına bağlı belirli standartlar olsa da dikkat edilmez ise canlı yaşamı için geri dönülemeyen zararlara yol açabilmektedir. Bu yüzden; hava kirliliğinin oluşabileceği yerleri önceden tespit edip önlem almak ve oluşabilecek senaryolara bağlı olarak ne kadar etki yaratabileceğine dair bir sağlık analizi yapmak önemlidir.

2.5 Hava Kirliliği Sağlık Etkisi

Soluduğumuz havanın sağlığımıza doğrudan etkisi olduğu bilimsel çalışmalar ile kabul görmüş bir gerçektir (Wilson ve Spengler, 1996; Bernstein vd., 2004; Makri ve Stilianakis, 2008). Normal olarak temiz bir havanın içerisinde bulunması gereken gazlar Tablo 2.1’deki özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu şartların bozulduğu veya sağlanamadığı ortamlarda hava kalitesinin bozulmasına ve hava kirliliğini oluşmasına sebebiyet verebilmektedir. Ortamdaki kirleticinin cinsine bağlı olarak insanlarda ciddi sağlık sorunlarına sebep olabilmektedir. Özellikle ağır metaller solunum veya emilim yolu ile canlı hücreler içinde birikmesi ile vücutta toksik etkiye sebep olmaktadır (Ferreira-Baptista ve De Miguel, 2005; Zheng vd., 2010). Bu tür bir durum kişide solunum yollu enfeksiyonlar, organ yetmezliği ve kanser gibi sağlık sorunlarına sebep olmakla birlikte ölüme kadar götürebilmektedir (Raikwar vd., 2008; Pratush vd., 2018). Günümüzde bu etkileri minimuma indirmek için ağır metallerin çevreye ve insana verdiği riskleri inceleyerek optimum maruz kalma düzeyleri belirlenmeye çalışılmaktadır. Risk ise en basit tanımıyla bir zarara uğrama ihtimali veya olumsuz bir olayın meydana gelme ihtimali ile birlikte etkinin ağırlığını ifade etmek için kullanılmaktadır (Šotić ve Rajić, 2015). Risk de kendi arasında kanser, kronik ve akut risk olarak üç guruba ayrılabilir. Bu risklerde çeşitli farklı kurum veya kuruluşlar tarafından canlıların yaşamsal faaliyetlerini olumsuz yönde etkilemeyecek şekilde bazı sınır değerler belirlenmiştir. USEPA’nın belirlediği bu kriterler incelendiği zaman kanser riski için bir milyonda bir kişi olarak, akut risk değeri için 1’den

az, kronik risk için de 1 değer oranının altı ihmal edilebilir risk olarak kabul edilmektedir (USEPA, 1989; USEPA, 2001; Toxikos, 2003; USEPA, 2009b; Kurt-Karakus, 2012). Kanser riskini hesaplamak için de “excess cancer risk” (ECR) kullanılmaktadır. ECR, toksik kirleticinin ortalama konsantrasyonu (μg veya ng/m^3) ve solunum riski birim değeri ile hesaplanmaktadır (USEPA, 1989; Mutlu vd., 2012).

$$\text{ECR} = \text{Kirletici Konsantrasyon} \times \text{Solunum Riski Birim Değeri} \quad (2.1)$$

Bunlara örnek olarak yapılmış bazı çalışmalar incelendiği zaman, Liu vd. (2007) hava kirliliğinin en yoğun olduğu ülkelerden biri olan Çin’de yapılan bir çalışmada kentsel bölgelerde maruz kalınan ağır metallerin solunum ve deriden vücuda girdiğini belirtirken, tarımsal alanlarda yetiştirilen ürünlerin sindirim yolu ile vücuda girdiği belirtilmiştir. Bir başka çalışmada; Wong vd. (2008) fosil yakıtlardan kaynaklı oluşan hava kirliliği sonucu Bangkok ve Çin’deki Honk Kong, Şangay ve Wuhan şehirlerinde olan ölümler üzerine yapılmış bir çalışmadır. Çalışma; 65 ve 75 yaş üstü normal sebepler sonucu oluşan solunum ve kalp damar rahatsızlıklar ile gerçekleşen ölümleri kullanarak hazırlanmıştır. Hava kirleticisi emisyonları PM_{10} , azot dioksit (NO_2), SO_2 ve 24 saatlik (günlük) meteorolojik veriler bu çalışma için kullanılmıştır. Veriler arasındaki istatistiksel bağıntı için, sağlık verileri ve hava kirliliği verileri kullanılarak doğrusal regresyon analizi kullanılmıştır. Mevsimsel koşullar, günlük ölümler, sıcaklık ve nem verileri ile günlük ölümlerin ve hava kirletici emisyonların analizi üzerine çalışılmıştır. Sonuç olarak; seçilen çalışma alanındaki şehirlerdeki ölümlerin batılı sanayi ülkelerine göre daha yüksek olduğu ve kirletici emisyonları ile bağıntısı olduğu vurgulanmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Bölge Özellikleri

Balıkesir ili yüz ölçümü bakımından 14.292 km^2 kadar bir alana ve toplam 20 ilçeye ev sahipliği yapmaktadır. Bunlar; Merkez ilçeler (Altıeylül, Karesi), Ayvalık, Balya, Bandırma, Bigadiç, Burhaniye, Dursunbey, Edremit, Erdek, Gömen, Gönen, Havran, İvrindi, Kepsut, Marmara, Manyas, Savaştepe, Sındırgı ve Susurluk’tur (Balıkesir Valiliği, 2021). Ege bölgesinde yer alan il, güneyinde Manisa ve İzmir, batısında Ege Denizi ve Çanakkale illeri ile çevirili olan ilimiz, 2020 yılı verilerine göre nüfusu 1.229.782 ve ilin deniz seviyesi

yüksekliği 145 m'dir (TÜİK, 2021). Balıkesir il merkezinin genel görünümü ve ilçeleri Şekil 3.1'de verilmiştir.

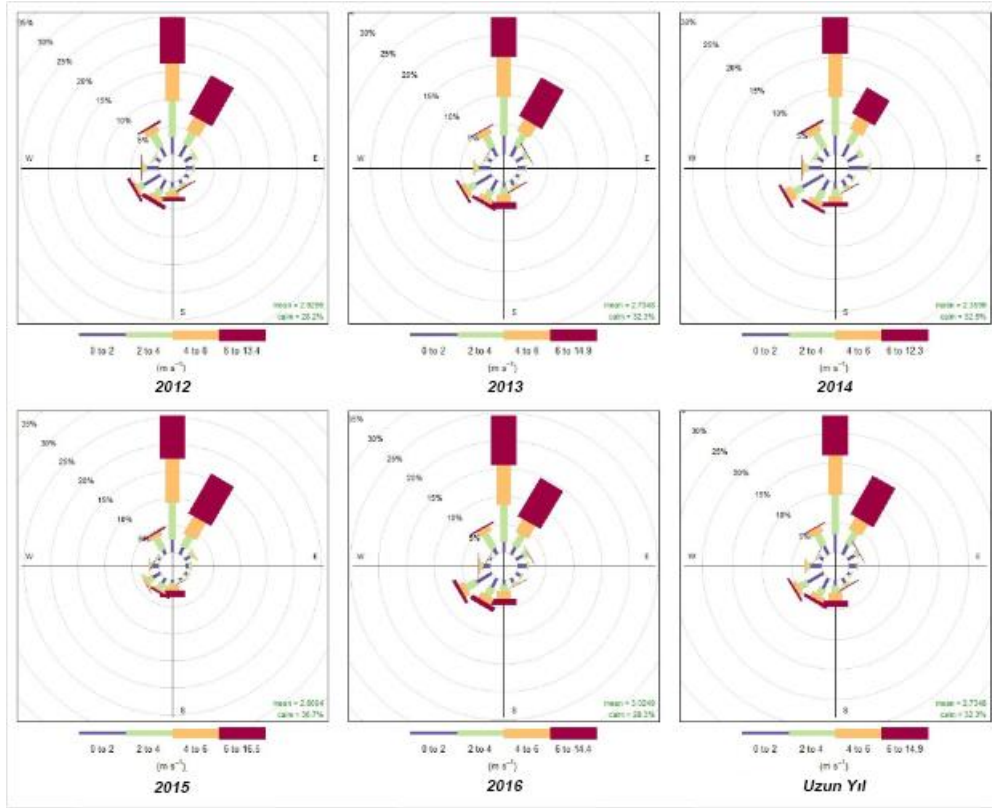


Şekil 3.1: Balıkesir ili.

Balıkesir bölgesi, yaklaşık olarak $39^{\circ}20'-40^{\circ}30'$ Kuzey paralelleri ve $26^{\circ}30'-28^{\circ}30'$ Doğu meridyenleri arasında yer alır (TÜİK, 2021). Kuzeybatı bölgesinde yer alan il, doğusunda Bursa, güneyinde Manisa, batıda Çanakkale ve İzmir ili ile sınır komşusudur. Ovalar bakımından ise Gönen, Manyas, Balıkesir ve Körfez ovaları yanı sıra bölge çeşitli sulak alanlara ev sahipliği yapmaktadır. Bunlar; Manyas ve Tabak Gölü, Susurluk, Gönen, Koca, Havran, Simav, Atnos ve Üzümcü Çayı'dır. Balıkesir bölgesi her ne kadar geniş ovalara ev sahipliği yapıyor olsa da aynı zamanda Türkiye'nin en bilindik dağlarına da ev sahipliği yapmaktadır. Bunlar; Karadağ, Edincik Dağı, Kapıdağ, Keltepe Dağları, Çataldağı, Alaçam Dağları, Madra Dağı, Kazdağı ve Hodul Dağı'dır (Kültür ve Turizm Bakanlığı, 2021).

Balıkesir kıyı şeridinde sahip olması ile birlikte Ege kıyılarında Akdeniz iklimi hakimdir. Batıdan doğuya doğru gidildikçe karasal iklim hakim olmaya başlar. Bu yüzden iç kesimlerde karasal iklimin etkisiyle kış aylarında soğuk ve kar yağışlı olurken, kıyı şeridinde daha ılıman bir iklim görülür (ÇŞB, 2021). Bölgeye ait 40 yıllık sıcaklık periyodu incelendiğinde yıllık olarak ortalama sıcaklık $14,4-14,6^{\circ}\text{C}$ olarak seyretmiştir. Bölgede ölçülen rüzgar hızlarının ortalaması da $1,4 \text{ m/sn}$ 'dir. Bölgedeki hakim rüzgar yönü kuzey rüzgarları olurken ikinci sıra olarak onu kuzey kuzeydoğu takip etmektedir (MGM, 2021).

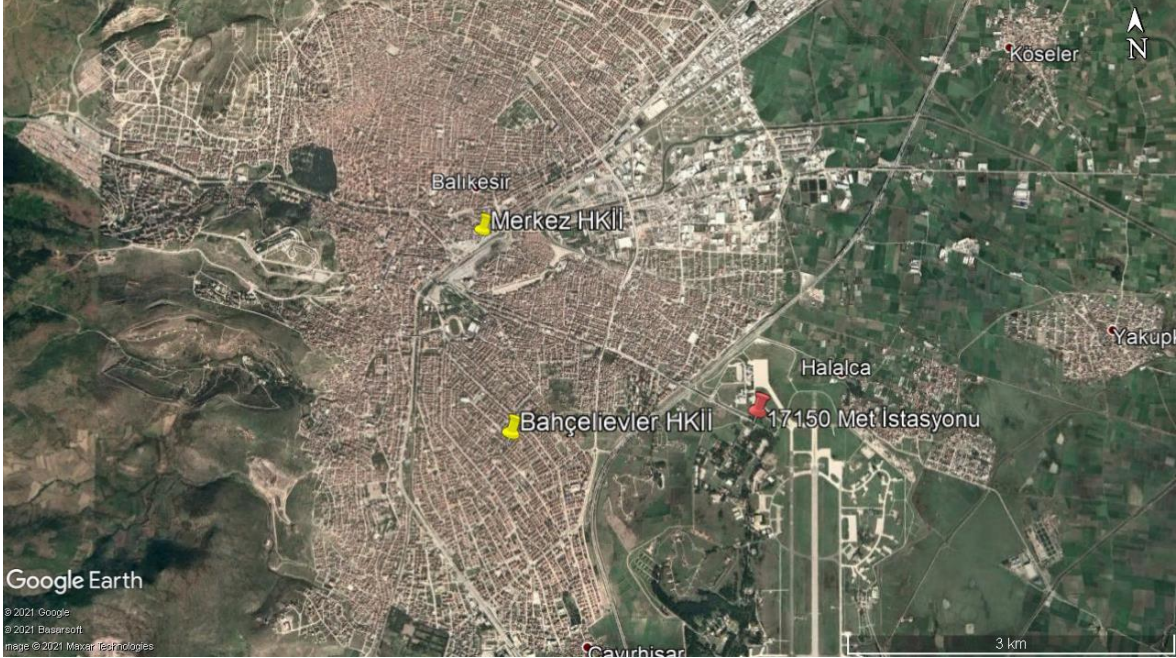
Balıkesir bölgesi sahip olduğu yüz ölçümü ve arazi yapısı özelliklerine bağlı olarak kentin hava olaylarını takip edebilmesi için meteorolojik istasyonlar bulunmaktadır. Bu istasyonlar meteorolojik hava tahminlerinin yanı sıra bölgede yapılacak endüstriyel, tarımsal veya farklı sektörler için gerekli olan meteorolojik verileri temin etmek için kurulmuştur. İstasyonlar, özelliklerine bağlı olarak basınç, bulut yüksekliği, bulut kapallığı, nem, sıcaklık, rüzgar hızı ve rüzgar yönü gibi meteorolojik parametrelerin saatlik olarak ölçümü yapılmaktadır. Buna örnek olarak, Balıkesir Merkez bölgesinde faaliyet gösteren istasyonlardan biri olan 17150 kodlu Balıkesir Havalimanı istasyonundan alınan rüzgar hızı ve rüzgar yönü verileri ile birlikte 2012-2016 yılları ile uzun yıl verileri kullanılarak çalışma alanında Kuzeyli rüzgarların hakim olduğu tespit edilmiştir Çalışma alanına ait karakteristik rüzgar dağılımları Şekil 3.2’de gösterilmiştir (Mutlu, 2020).



Şekil 3.2: Balıkesir havalimanı 17150 istasyonu rüzgar gülü örneği (Mutlu, 2020).

Bölgede meteorolojik istasyonların yanı sıra hava kalitesi değerlerini ölçmek için hava kalitesi izleme istasyonları bulunmaktadır. Bu istasyonlar, hava kirliliğinden oluşabilecek problemleri çözmek ve bu sorunları tespit etmek için atmosferik kirletici konsantrasyonlarını izlemek ve analiz etmek için kullanılır. Ölçülen veriler ve analiz sonuçları bakanlıkça yetkili olan site üzerinden güncel olarak paylaşılmaktadır. Balıkesir ilinde güncel olarak faaliyet

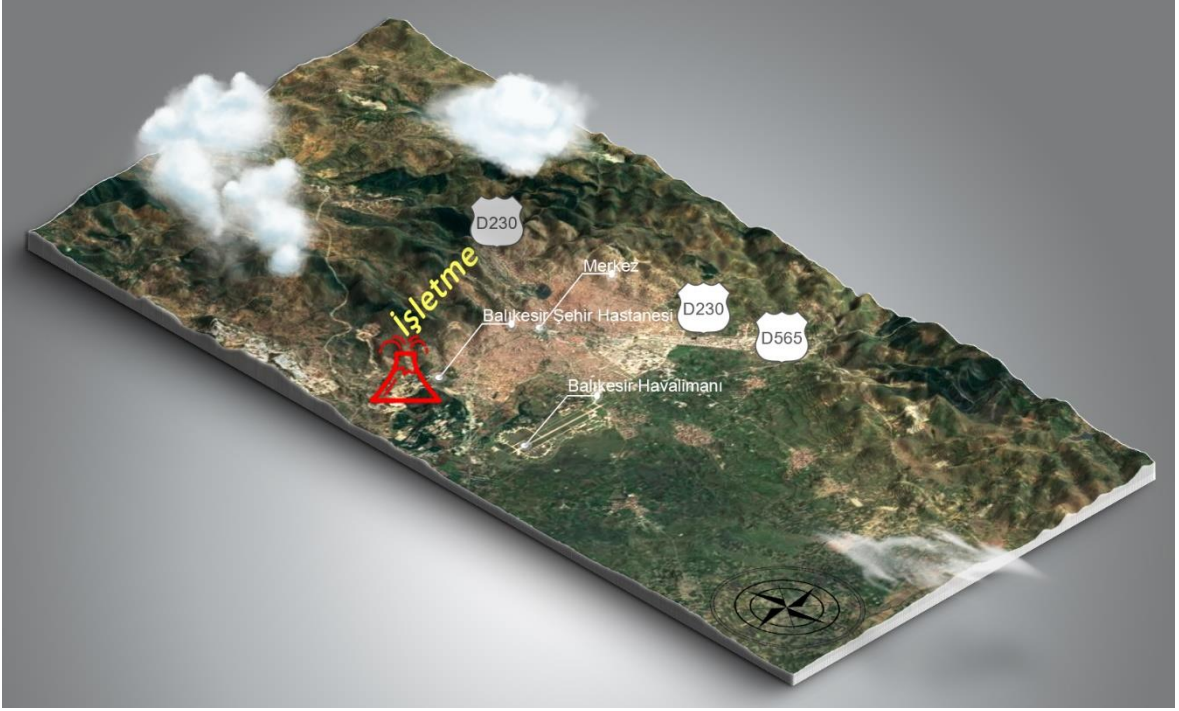
göstermekte olan istasyonlar; Bandırma, Erdek ve Edremit ilçelerinde birer ve merkez ilçesinde iki istasyon olmak üzere toplam 5 adet ölçüm istasyonu bulunmaktadır. Bu çalışma için kullanılacak olan HKİİ'lerin konumları Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3: Balıkesir şehir merkezi ve aktif HKİİ istasyonları konumları.

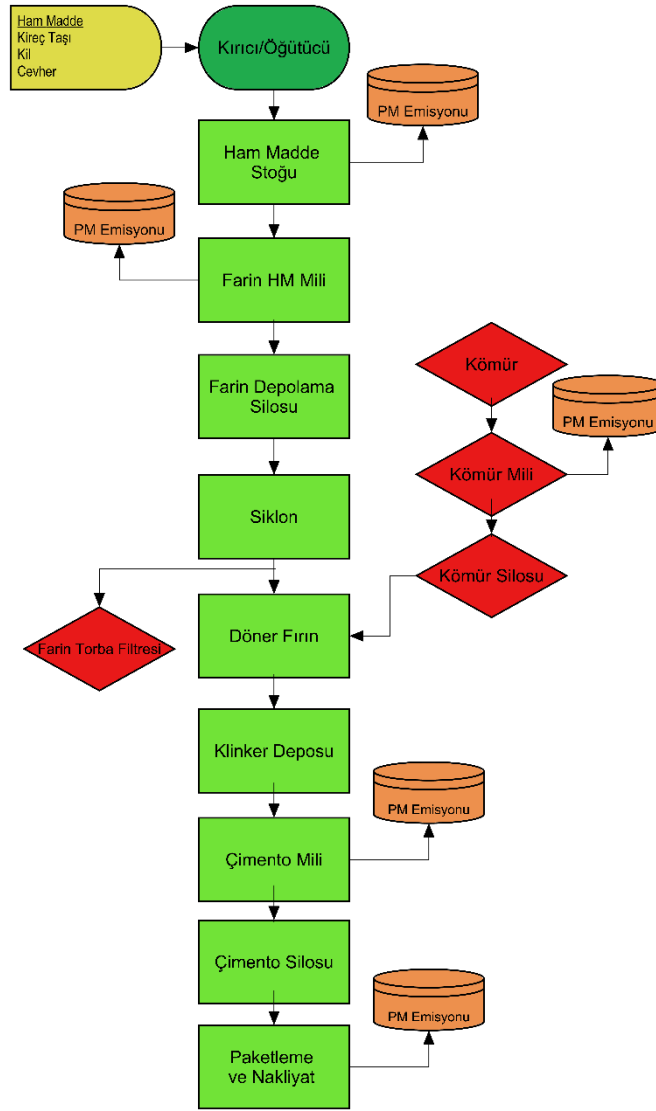
3.2 Çalışma Alanı

İşletme, Balıkesir ili Altıeylül ilçesi Gaziosmanpaşa'da bulunan bir çimento fabrikasıdır. Toplam 1.139.500 m² yüz ölçümlü alan üzerinde yer alan tesis 25.500 m² kapalı alanda “Klinker, Çimento Üretimi” yapılmaktadır. İşletmeden 990.000 ton/yıl klinker üretimi, 1.386.000 ton/yıl çimento üretimi yapılarak hem ülke içi ihtiyacını hem de farklı ülkelere ihracatı yapılmaktadır (ÇŞB, 2014). İşletme de üç vardiya şeklinde sürekli olarak üretim yapılmaktadır. Tesise en yakın yerleşim yeri Balıkesir il merkezinde bulunan Gaziosmanpaşa mahallesi olup, en hassas alıcı ortam ise tesise yaklaşık 1 km uzaklıkta yer alan Balıkesir Şehir Hastanesi'dir. Çalışma alanına ait örnek pafta haritası Şekil 3.4'te verilmiştir (Map Generator, 2022).



Şekil 3.4: Balıkesir şehir merkezi genel görünümü ve işletme konumu (Map Generator, 2022).

Tesis çalışma prensibi olarak ocaklardan gelen kil, kalker, demir cevheri ve alçı taşlarını tras kırıcı gibi ünitelerden geçirilen büyük taneli ham maddeler daha küçük parçalar haline getirilir. Bu kırıcılardan geçirilen ham maddeler bantlar yardımıyla farin değirmenine aktarılır. Farin değirmeninde öğütme ile malzemeler un gibi daha küçük birimlere ayrılarak değirmenlerde yaklaşık 90 μg olacak hale getirilir ve bu karışım farin olarak adlandırılır (Mutlu, 2020). Tesis çalışma sisteminin genel akış diyagramı Şekil 3.5'te verilmiştir.

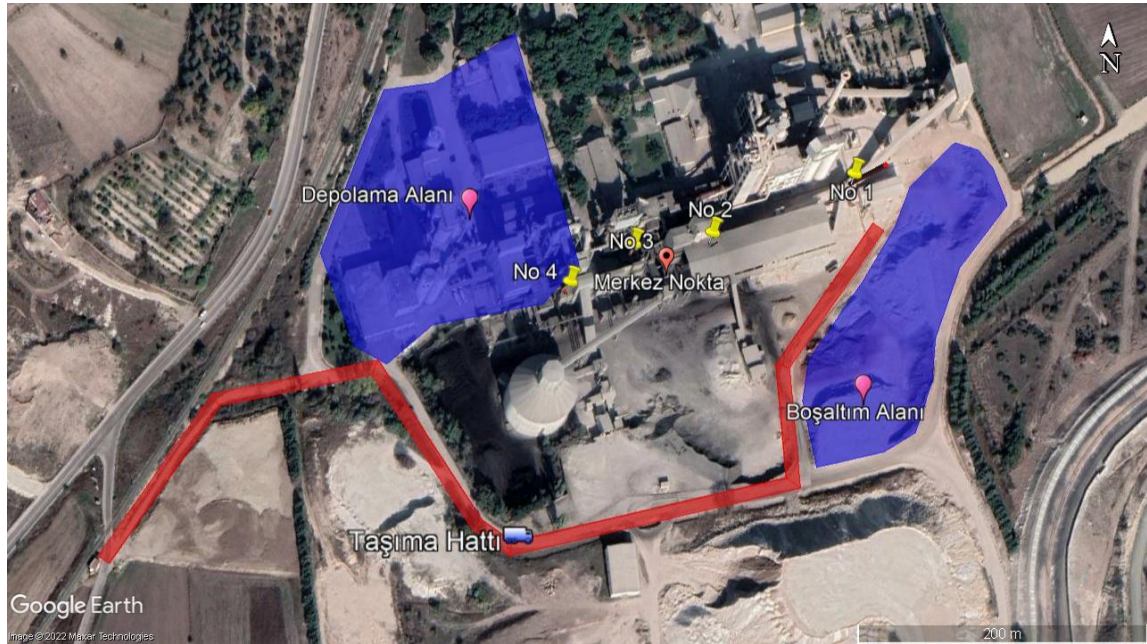


Şekil 3.5: İşletmeye ait başlıca PM kaynakları (Mutlu, 2020).

Hammadde içerisinde yaklaşık olarak %9-12 düzeyindeki rutubeti azaltmak için ortalama 350°C sıcak gaz verilerek rutubet düşürülür. Değirmende toz haline getirilen farin gazlarla birlikte büyük fanlarda emilir. Tozlar, toz tutucu siklonlarda ve torbalı filtrelerde tutulur ve buradan çıkan toz farin 200 µg'dan küçük ve 90–95°C sıcaklığındadır. Tesiste bulunan kömür değirmeni ile ham madde olarak gelen kömür 45 µg da %1-4 arasında bir muhtevaya ulaşmaya dek değirmende öğütülür ve elde edilen ham madde kömür alev borusu ve kalsinatörde kullanılmak üzere 2 farklı siloda depolanır. Klinker üretimi için depolanmış homojene silolardaki farin kantarları ve fırın gazları ile birlikte farinin ısı alışverişinin meydana geldiği üniteye gönderilir. Burada sıcaklıklar 90°C'den 950°C'ye çıkarılarak pişirilir. Bu işlem sonrası farinin kalsine olması için kömür ihtiva edilir. Klinker soğutucuya dökülerek oradan da soğutulur ve klinker silosuna veya açık alanda depolanır. Bu işlemlerden

geçen malzemeler çimento değirmenleri vasıtasıyla harmanlanarak çimento haline getirilir (ÇŞB, 2014).

İşletme faaliyeti süresince hava kirleticileri olarak salınan kaynaklar; farklı boyut ve kapasitede 47 adet sabit baca emisyon kaynağı, depolama ve boşaltma olmak üzere 2 adet alansal kaynak ve taşıma hattı ile birlikte bir de çizgisel kaynak mevcuttur. Bu kaynaklardan salınan kirleticiler sonucu işletmeden CO, NO_x, SO₂, çöken toz ve PM₁₀ kirleticileri açığa çıkmaktadır. Bu çalışma için; kirletici kaynaklarından çıkan PM₁₀ ve çöken toz kirleticileri kullanılmıştır. Bunun için tesisten salınan kirletici kaynakları olan Farin, kömür ve çimento değirmeni bacaları olmak üzere 3 adet ve geriye kalan 44 bacayı temsil etmesi için 1 adet temsili noktasal baca ile toplam 4 adet noktasal baca girdisi hazırlanmıştır. Tesiste faaliyet göstermekte olan depolama ve boşaltma alansal kaynakları ile tesis güzergah hattı olarak 1 adet çizgisel kaynak ile birlikte toplam 7 adet kirletici kaynağı kullanılmıştır. Çalışma alanı ve kaynaklar Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6: Çalışma için kullanılacak olan PM₁₀ kaynakları (Google, 2022).

3.3 Emisyon Envanteri

Tesisten salınan noktasal (baca) kaynaklı emisyonlar; farin değirmeni 4,41 kg/saat, kömür değirmeni 0,48 kg/saat, dik çimento değirmeni 3,29 kg/saat ve temsili 2,21 kg/saat, tesis içi taşıma hattı; 1,75 kg/saat, alansal kaynak; hammadde boşaltım 0,56 kg/saat ve hammadde

depolama alanı 0,30 kg/saat kirletici çıkışı olmaktadır. Tablo 3.1’de bu kirleticilere ait bilgilere yer verilmiştir.

Tablo 3.1: PM₁₀ emisyon konsantrasyonu.

No	Kirletici Tipi	Kaynaklar	PM ₁₀ (kg/saat)
1.Baca (No 1)	Nokta	Farin Değirmeni Bacası	4,41
2.Baca (No 2)	Nokta	Kömür Değirmeni Bacası	0,48
3.Baca (No 3)	Nokta	Dik Çimento Değirmeni Bacası	3,29
4.Baca (No 4)	Nokta	Temsili Baca	2,21
Taşıma Hattı	Çizgisel	Tesis İçi Taşıma Hattı	1,75
Boşaltım Alanı	Alansal	Hammadde Boşaltım Alanı	0,56
Depolama Alanı	Alansal	Hammadde Depolama Alanı	0,30

Tesis içerisinde yayılan toplam çöken tozu hesaplayabilmek için tesisten çıkan partiküllerin kütle ihtivalarının belirlenmesi gerekmektedir. Tablo 3.2’de bu değerlerin özelliklerine yer verilmiştir.

Tablo 3.2: Kirletici emisyon özellikleri.

No	Kütle Çapı (Mikron)	Kütle Kesri	Kütle Yoğunluğu (g/cm ³)
1	0,35	0,224	1
2	0,70	0,076	1
3	1,10	0,082	1
4	2	0,105	1
5	3,6	0,103	1
6	5,5	0,073	1
7	8,1	0,104	1
8	12,5	0,105	1
9	15	0,128	1

Tesiste faaliyet göstermekte olan çeşitli kaynak ve kirletici tiplerinin yanı sıra bacalardan salınan ağır metal kirletici konsantrasyonları bilinmektedir. Bu çalışma için kullanılacak olan ağır metal konsantrasyonları, Tablo 3.1’de düzenlendiği gibi faaliyette olan 47 bacadan salınan kirletici verilerini üç ana ve bir temsili baca olarak ayrılmıştır. Tablo 3.3’te bu değerlere yer verilmiştir.

Tablo 3.3: Ağır metal kirletici konsantrasyonları.

Ağır Metaller	1.Baca (kg/yıl)	2.Baca (kg/yıl)	3.Baca (kg/yıl)	4.Baca (kg/yıl)
Talyum	-	1,36	-	0,45
Arsenik	22,23	0,91	0,45	11,79
Kadmiyum	-	0,91	-	0,45
Kobalt	7,71	-	0,45	2,27
Kurşun	35,83	3,18	0,45	11,34
Bakır	9,98	1,81	0,45	14,97
Mangan	7,71	1,81	0,91	43,09
Krom	43,54	0,45	0,45	16,33
Antimon	14,06	-	-	1,36
Vanadyum	21,32	1,81	0,45	10,43

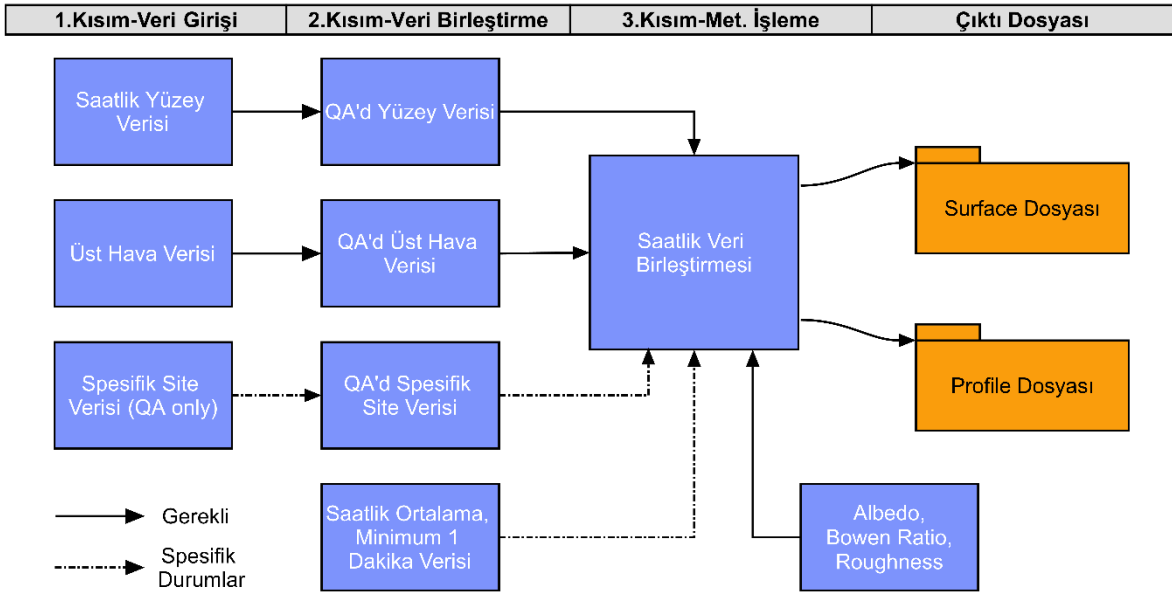
3.4 Kullanılan Modeller

3.4.1 Meteorolojik Veri İşlemcileri

3.4.1.1 AERMET

Hava kalitesi dağılım modeli olan AERMOD'un meteorolojik ön işlemci birimi olan AERMET, USEPA tarafından meteorolojik verileri organize etme ve onları işleyebilme, işlenen bu veri setlerini bir hava kalitesi dağılım modeli programı olan AERMOD'un anlayabileceği veri setine dönüştürdüğü bir alt programdır (Grosch ve Lee, 1998; USEPA, 2019). Aslen 2005'te geliştirilmiş olan AERMET, halen daha güncellenmeye devam etmekte ve günümüzde de aktif olarak kullanılmaktadır. Model çalışması için iki temel veri setine ihtiyaç duymaktadır. Bunlar; 0–10 m aralığındaki yüzey meteorolojik ölçüm verileri ve 0–5000 m aralığındaki atmosferik üst hava verileridir. Model işleniş olarak 3 aşamadan çalışmaktadır. İlk aşamada kullanılacak meteorolojik veriler temin edilir ve AERMET modülünün anlayabileceği şekilde düzenlenir. İkinci aşamada tüm veriler belirlenen zaman periyotları halinde birleştirilerek tek bir veri seti haline getirilir. Son aşamada ise meteorolojik veriler ile birlikte yer yüzeyi özellikleri ile birlikte çalıştırılarak dağılım modeli olan AERMOD için hazır hale getirilir. Bu işlemlerin sonucu olarak AERMET saatlik olmak üzere AERMOD için “surface archive format” (SFC) ve “profile data” (PFL) uzantılı olarak iki adet çıktı verir (USEPA, 2019). Modelde gerekli olan durumlar düz ok işaretleri ile gösterilirken, daha çok spesifik veya farklı durum ve koşullarda programı çalıştırmak için çizgili nokta ok işaretleri kullanılmıştır. Modelin işlem basamaklarının akış diyagramı Şekil 3.7'de yer verilmiştir. Bu çalışma için AERMET versiyon 15181 kullanılmıştır.

AERMET Akış Şeması

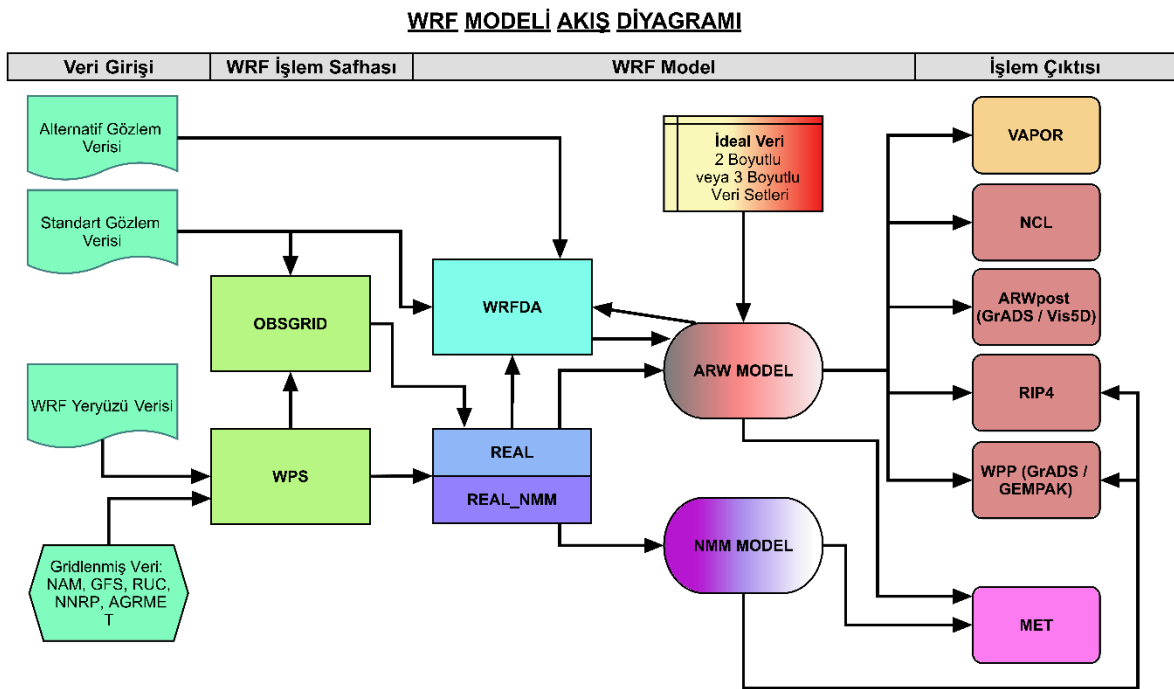


Şekil 3.7: AERMET akış şeması.

3.4.1.2 WRF

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) tarafından geliştirilmiş olan WRF, atmosferde gerçekleşen hava olayları üzerine hava tahminleri üreten bir model olmanın yanı sıra, atmosferik araştırmalardan pek çok alan ve sektörlerde kullanılan büyük ölçekli yeni nesil bir sayısal hava tahmin modelidir (Karadavut, 2014; Kafadar, 2015). Özellik olarak WRF, atmosferik hava tahminleri ve veri analizleri eklentileri içerisinde barındırmanın yanı sıra geçmişe ve geleceğe yönelik hava tahmin hesaplamaları yapabilmeye imkan sağlamaktadır. Açık kaynak kodlu bir yazılım mimarisine sahip olmasının getirdiği özellik ile bireysel kullanıcılarda model üzerinde geliştirme yapma imkanı sunmaktadır. Mimari yapısı olarak paralel hesaplama özelliği ile birlikte günümüzde kişisel bilgisayarlar da dahil olmak üzere kullanabilmek mümkündür. Çalışma prensibi olarak da tam sıkıştırılabilir Eulerian, hidrostatik veya hidrostatik olmayan şekilde de çalışabilmektedir. Bu denklemler skaler değişken özellikte olduğu için gerçek koşullarda kullanılabilir. Model iki farklı şekilde çalıştırılabilir. Bunlar; Advance Research WRF (ARW) ve Non-hydrostatic Mesoscale Model (NMM) olarak ayrılır. National Center for Atmospheric Research (NCAR) tarafından geliştirilen ARW, bilimsel araştırmalar için sigma koordinatları kullanılan topoğrafyada, düşey koordinat sistemini kullanan arazi yapısı için kullanılmasının yanı sıra kompleks dinamik ve fizik özellikleri ile atmosferik araştırmalarda kullanılması için geliştirilmiştir (Janjic, 1997; Rogers vd., 2009).

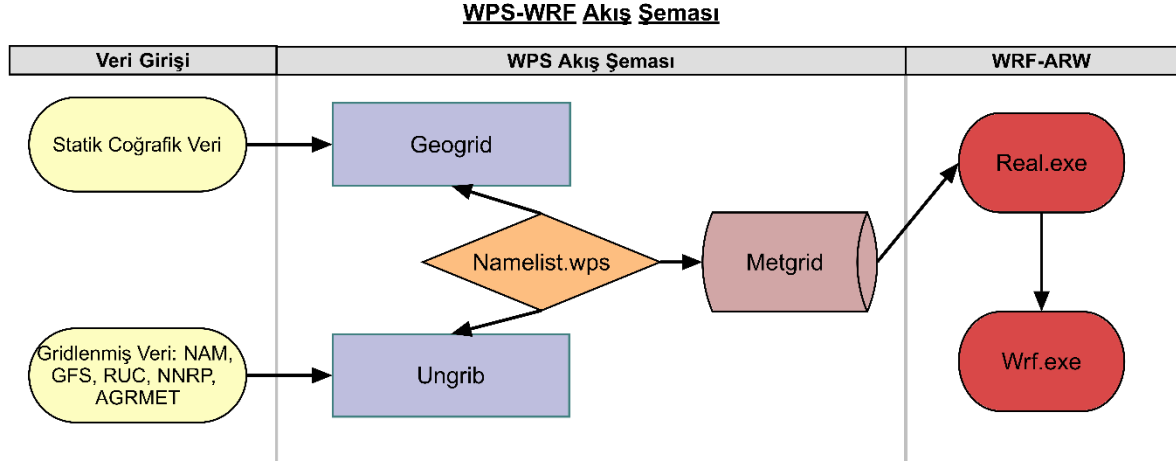
Bir diğeri, NMM ise National Centers for Environmental Prediction (NCEP) tarafından geliştirilmiş, daha çok tahmini ve spesifik amaçlar için kullanılmaktadır. Sigma düzey koordinatlarını kullanan; National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), U.S. Naval Research Laboratory (NRL), Air Force Weather Agency (AFWA) ve Federal Aviation Administration (FAA) gibi kurumlar örnek gösterilebilir (UCAR, 2017). Model aynı zamanda uzun ve kısa dönem klimatolojik çalışmalar, rüzgar enerjisi verimliliği, spesifik bölgesel çalışma alanları, veri analizi ve hidrolojik uygulamaların tahmini gibi pek çok alanda kullanılabilir (UCAR, 2009). Modelin akış şeması diyagramı Şekil 3.8’de gösterilmiştir. Bu çalışma için WRF-ARW versiyon 4.1.5 kullanılmıştır.



Şekil 3.8: WRF modeli akış şeması.

Model kendi içerisinde alt veri işlem modülü olan WRF Preprocessing System (WPS) yardımıyla modellenmektedir. Gerçek verileri kullanarak geçmişe, ileriye veya tam zamanlı olarak senaryolar üretebilmektedir. Bu kısım üç aşamadan oluşmaktadır. Bunlar; geogrid, ungrid ve metgrid’dir. Geogrid’in temel amacı çalışma alanını tespit etmek ve bölgenin ızgara haritalarının oluşturması için interpolate etmektir. Çalışma alanının bulunduğu koordinatlara bağlı olarak farklı topoğrafya haritası seçilebilmektedir. Ungrid, meteorolojik verileri çalışma alanının koordinat ve çözünürlüğüne bağlı olarak WRF modelinin anlayabileceği veri setine dönüştürür. Metgrid ise son olarak geogrid ve ungrid ile modellenmiş olan topoğrafya verileri özellikleri üzerine meteorolojik veriler hazırlanır. En

son aşama da ise real.exe ve wrf.exe çalıştırılarak model hazır hale getirilir (UCAR, 2017). Modelin işlem basamakları sırasıyla veri girişi, WPS ve WRF-ARW olarak Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9: WPS-WRF akış şeması.

3.4.2 Yardımcı Program

3.4.2.1 MMIF

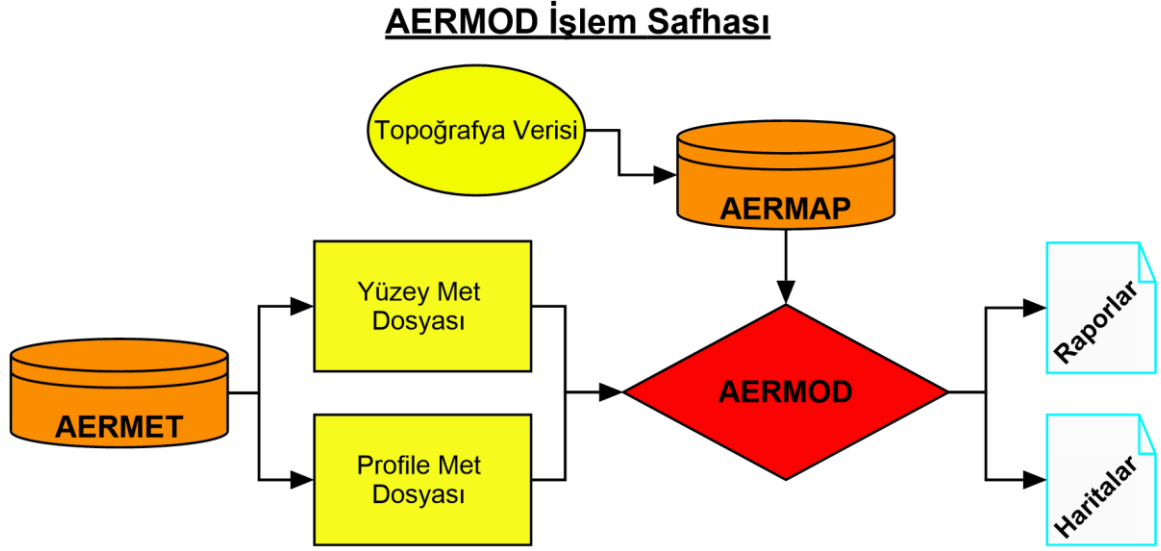
United States Environmental Protection Agency tarafından 2009 yılında geliştirilen MMIF, büyük ölçekli meteorolojik model verilerini çeşitli hava kalitesi dağılım modellerinin anlayabileceği çıktı formatlarına dönüştürme işlemini gerçekleştiren bir programdır (USEPA, 2018a). Model, Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5) ve WRF gibi meteorolojik modellerin çıktı dosyalarını çeşitli hava kalitesi dağılım modellerinin anlayabileceği formatlara çevirerek kullanıcının iş yükünü azaltmaktadır. Özellikle de veri yoğunluğunun çok fazla olduğu bu modeller arasında verileri dönüştürebilmesi ile MM5 ve WRF gibi modelleri günümüzde hava kalitesi dağılım modellerinde kullanmak daha kolay bir hale getirmiştir. Kullanılabildiği hava kalitesi modellerinde AERMOD, Second Order Closure Integrated Puff Model with Chemistry (SCICHEM) ve CALPUFF bulunmaktadır. Günümüzde Linux veya Windows tabanlı olarak iki farklı sistemde kullanılabilmektedir (Brashers ve Emery, 2021). Bu çalışma için Linux işletim sisteminde MMIF 3.4.1 versiyonu kullanılmıştır.

3.4.3 Hava Kalitesi Modelleri

3.4.3.1 AERMOD

American Meteorological Society/Environmental Protection Agency Regulatory Model, American Meteorological Society (AMS) ve USEPA tarafından geliştirilmiş olan bir hava kalitesi dağılım modelidir (USEPA, 2021). Model birden fazla sürüme sahip olmasıyla birlikte geliştiricileri tarafından sürekli olarak geliştirilmektedir. Temel algoritma olarak Gauss dağılım fonksiyonunu kullanarak model haritalarını oluşturmaktadır. Aynı zamanda, yine aynı algoritmaya sahip eski bir hava kalitesi dağılım modeli olan ISCST-3'nin geliştirilmiş olan yeni versiyonu olarak Kasım 2005 tarihinde USEPA tarafından kullanılmaya başlanmıştır (USEPA, 2017). Model; çizgisel, noktasal, alansal ve hacimsel olmak üzere ortaya çıkabilecek hava kirletici emisyonlarını kaynaktan maksimum 50 kilometre çapına kadar gerçeğe yakın dağılabilecek olan kirliliği tahmin etmek için tasarlanmıştır. Model, günümüzde USEPA tarafından kabul görmekte ve farklı birçok kuruluşun kullandığı bir hava kalitesi dağılım modelidir (Öztürk, 2021).

Model çalışma prensibi olarak AERMET modülünden gelen SFC ve PFL verilerini, AERMOD'un başka bir alt birimi olan AERMOD terrain preprocessor (AERMAP) üzerinden topoğrafik arazi yapısını ve çalışma alanı özelliklerine bağlı sınır tabakalarını hazırlayan ve son olarak tüm bu verilerin Gauss modeli kuramında işlenerek hava kalitesi dağılım modeli AERMOD ile çalıştırılır. Modelin işlem akış şeması Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Bu çalışma için, AERMOD versiyon 19191 kullanılmıştır.



Şekil 3.10: AERMOD işlem safhası.

3.4.3.2 ADMS

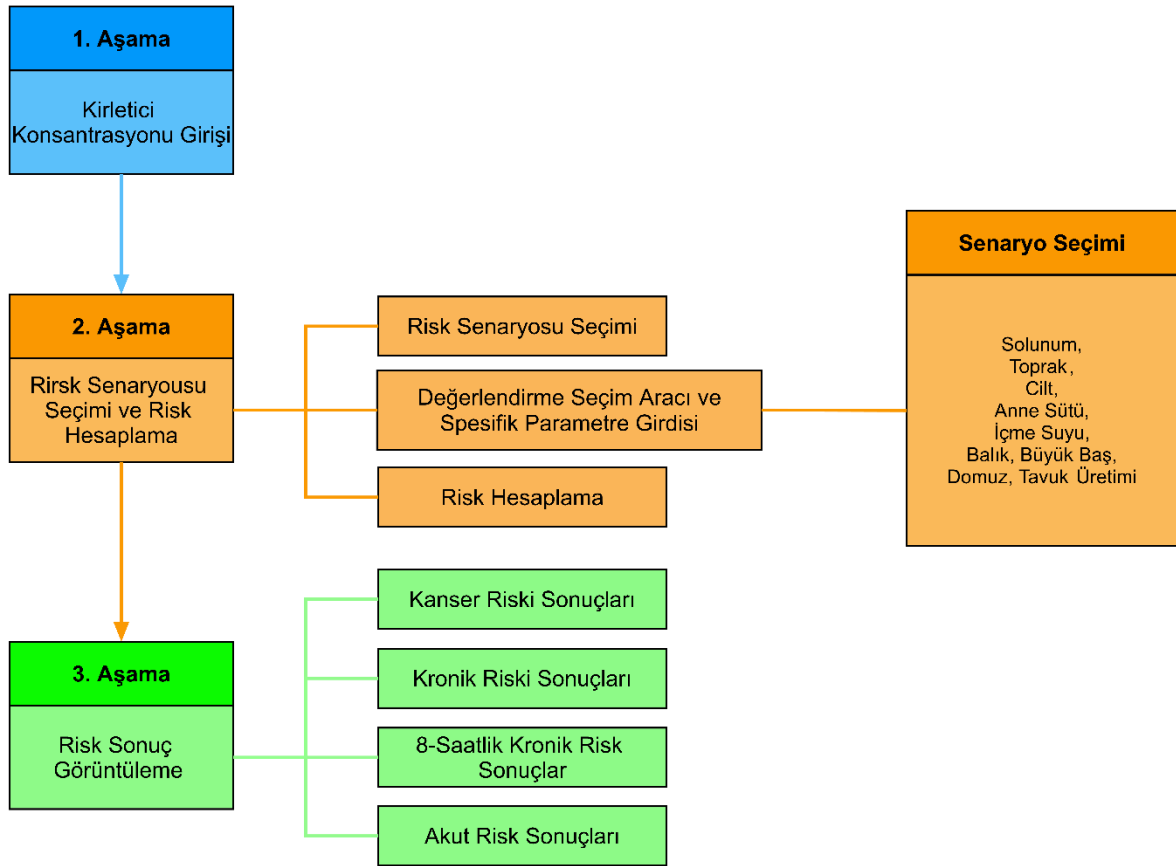
Atmospheric Dispersion Modeling System; noktasal, alansal, çizgisel ve hacimsel kaynaklarından çıkan atmosferik kirleticilerinin dağılımının modellenmesini yapan bir hava kalitesi dağılım modelidir. Model; yer yüzü şekilleri, bina etkisi, meteorolojik ara yüz ve arka plan etkisi gibi işlem birimlerine sahiptir. Temelde ADMS, AERMOD gibi Gauss modeli ile aynı yöntem ve benzer parametreleri kullanılıyor olsa da modeller arasında benzer ve farklı sonuçlar verdiği görülmüştür (Hanna vd., 2001; Carruthers vd., 2009; Mohan vd., 2011; Kalhor ve Bajoghli, 2017). Bu farklılıkların getirdiği sonuçlar neticesinde kirletici konsantrasyonların dağılımları, kullanılan veri seti, parametrik özellikler, çalışma alanı ve programların özelliklerine bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Aslen Cambridge Environmental Research Consultants (CERC), İngiltere Meteoroloji Kurumu, National Power PLC ve Surrey Üniversitesi tarafından geliştirilmiş olan model, 1993 yılında ilk sürümü yayınlanmıştır. Microsoft Windows sürümü için geliştirilmiş olan yazılım halen günümüzde aktif olarak geliştirilmekte ve kullanılmaktadır (CERC, 2016). Model çalışma prensibi olarak AERMOD'a benzer bir yapıya sahip olduğu için ADMS da temelde aynı işlem akış şemasına sahiptir. Bunlar; meteorolojik veri girişi, topoğrafik arazi yapısı, emisyon verisi ve modellenmesi üzerinedir. Bu çalışma için ADMS Versiyon 5 kullanılmıştır.

3.4.4 Risk Analizi Modeli

3.4.4.1 HARP

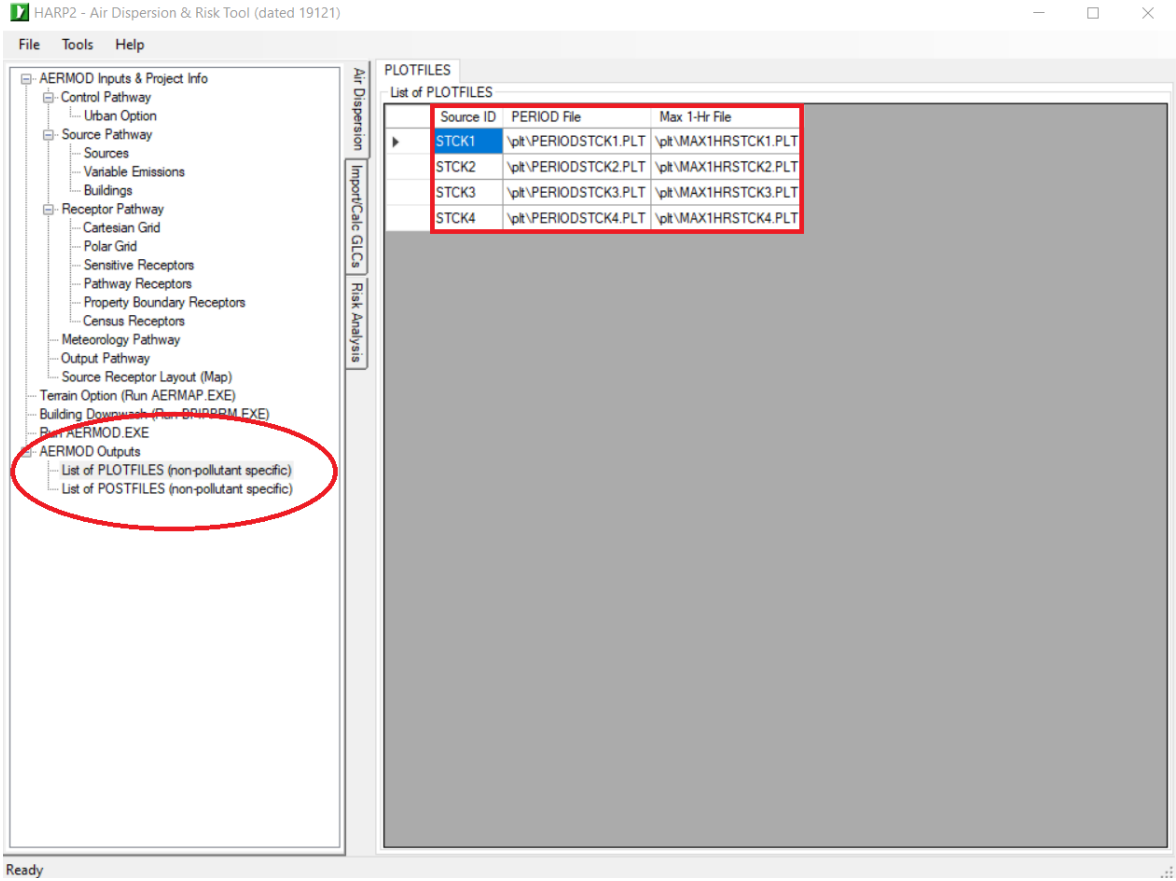
En basit tanımıyla HARP, sağlık analizi ve havadaki toksik kirletici analizi üzerine bir modelleme programı olarak tanımlanabilir. Model, California Air Resources Board tarafından 2015 yılından bu yana geliştirilmekte ve řu an güncel olarak 2. versiyonu bulunmaktadır. Modelin temel amacı bir kaynaktan veya arka planda oluşan hava kirleticinin yaydığı toksik etkinin çevreye, insana veya canlılara verebileceği zararı ve etkisini incelemektir. Model kendi içerisinde 3 ana modülden oluşmaktadır. Bunlar; emisyon envanteri modülü, hava dağılım modeli ve sağlık riski değerlendirme aracıdır. Emisyon envanteri modülü aracılığı ile kaynaktaki kirleticilerin ve kaynak işletme özelliklerinin sınıflandırılması ile oluşturulur. Hava dağılım modeli ve risk analiz aracı içerisinde; hava dağılım analizi ve çalışma alanına bağlı topoğrafik arazi özellikleri hesaplanırken, risk analizi kısmında kirleticilerin yaydığı toksik emisyonlar sınıflandırılarak modele işlenir. Sağlık riskinin analiz raporu için; senaryolara bağlı olarak maruz kalma süresi, risk türevleri, etkilenen kesim ve maruz kalma oranı faktörleri kullanılarak risk durum raporu oluşturulur (CalEPA, 2015). Bu çalışmada HARP versiyon 2'nin 21081 sürümü kullanılmıştır. Modelin ihtiyaç duyduğu işlem basamakları Şekil 3.11'de verilmiştir.

HARP Akış Şeması



Şekil 3.11: HARP modeli akış şeması.

HARP modeli, toksik emisyonların oluşturabileceği zararlı etkisini incelemek ve oluşturabileceği toksik etkileri önceden ön görebilmek için oluşturulmuş bir program olmanın yanı sıra içerisinde AERMOD'u da barındırmaktadır. Bu yüzden; kullanıcıya bağlı olarak HARP içerisinde de çalıştırılabilir veya çıktıları eklenebilmektedir. Şekil 3.12'de bu işlem birimine yer verilmiştir.



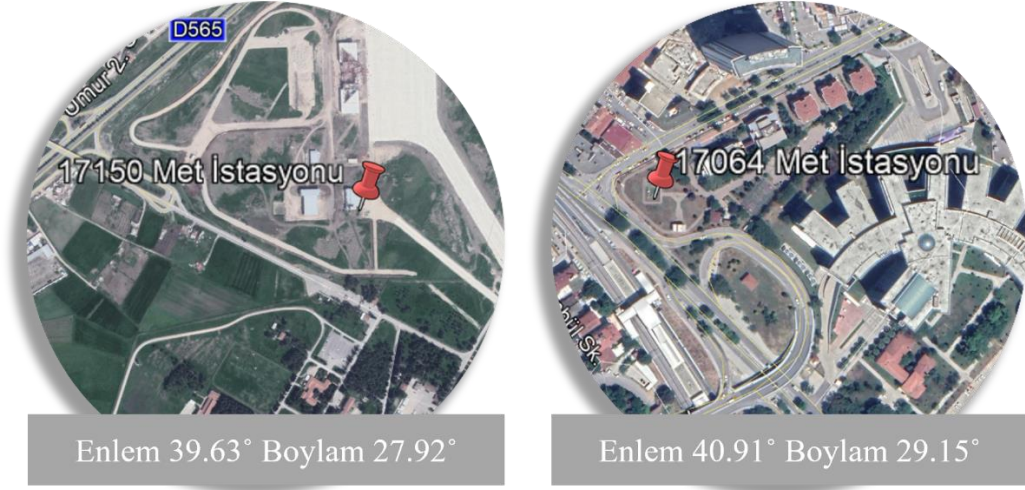
Şekil 3.12: HARP modeli veri işleme birimi.

3.5 Meteorolojik Veri Seçimi

3.5.1 Lokal Meteorolojik Veri Seti

Çalışma için kullanılacak olan lokal meteorolojik veriler T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü sitesinden temin edilmiştir. Bakanlığa bağlı Balıkesir bölgesinde faaliyet göstermekte olan ve çalışma alanına yaklaşık olarak 4,5 km uzaklıktaki 17150 kodlu Balıkesir Havalimanı istasyonu, işletmeye en yakın yüzey meteorolojik ölçüm istasyonu olması, Şekil 3.2'deki uzun yıllık hakim rüzgar yönü şartlarını sağladığı için bu çalışma hazırlanırken en güncel yıl olan 2019 yılına ait veri setleri bu istasyondan temin edilmiştir. İstasyondan temin edilen veriler; rüzgar hızı, rüzgar yönü, basınç, bulut yüksekliği, bulut kapalılığı, nem ve sıcaklık verileri 2019 yılına ait olmak üzere 1 yıllık meteorolojik veri temin edilmiştir. Üst hava meteorolojik verisi ortalama 180 km uzakta bulunan en yakın istasyonlardan biri olan 17064 kodlu İstanbul Bölge istasyonundan yine aynı yıl olmak üzere bu istasyondan temin edilmiştir. İstasyondan temin edilen meteorolojik veriler; basınç seviyesi, yükseklik, sıcaklık, bağıl nem, rüzgar yönü ve rüzgar

hızı temin edilmiştir. İstasyonlardan alınan meteorolojik veriler AERMET modelinin anlayabileceği hale dönüştürüldükten sonra programa işlenen veriler koşturularak meteorolojik alt birim haritaları oluşturulmuştur. Yüzey meteorolojik istasyon 17150 ve üst hava meteorolojik istasyon olan 17064 konumları şekil 3.13'te verilmiştir.

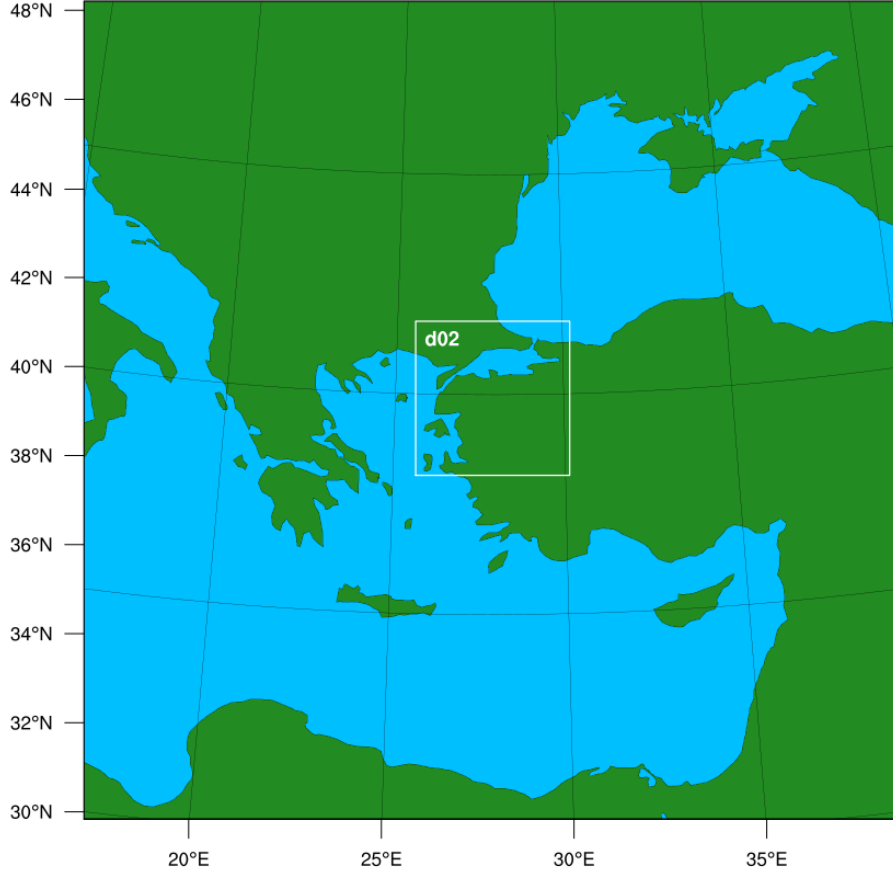


Şekil 3.13: Çalışmada kullanılan istasyonların enlem ve boylam değerleri.

3.5.2 WRF Çalışma Alanı

Model için kullanılacak olan meteorolojik verilerin temini için çalışma alanı Balıkesir şehir merkezi konumu merkez nokta olacak şekilde, 2019 yılına ait NCEP'den 0.25 Degree Global Tropospheric Analyses and Forecast Grids verileri kullanılarak yapılmıştır (NCEP, 2015). Çalışma alanı seçilirken WRF modeli yüksek işlemci gücü gerektirdiği için seçilen çalışma alanı 2 bölge olacak şekilde sınırlandırılmıştır. İlk çalışma alanı yaklaşık 2000 x 2000 km uzunluğunda seçilirken, ölçülecek alıcı noktaları arasındaki mesafe 30 x 30 km olarak ayarlanmıştır. İkinci çalışma alanı yaklaşık 400 x 400 km uzunluğunda seçilirken, ilk bölgeye göre daha dar bir alanda olduğu için alıcı noktaları arasındaki mesafe 10 x 10 km şeklinde alınmıştır. Bu çalışma süresi boyunca iki çalışma alanı birbiri ile bağıntılı olarak çalıştırılarak çalışma alanı bölgesi için en doğru meteorolojik veriler temin edilmeye çalışılmıştır. Hava kalitesi dağılım modelleri için gerekli olan SFC ve PFL veri setleri MMIF yardımı ile işletmenin merkez noktasından temin edilmiştir. Bu çalışma için hazırlanan WRF çalışma alanı Şekil 3.14'te gösterilmiştir.

WPS Domain Configuration



Şekil 3.14: WRF modeli çalışma alanı.

3.6 Çalışmanın Uygulanması

Modellerin hazırlanışı; lokal istasyonlardaki meteorolojik veriler kullanılarak AERMET'te işlenen meteorolojik veriler ile AERMOD ve ADMS modelleri hazırlanmıştır. Uydudan temin edilen meteorolojik veriler ile kullanılan WRF sonucu elde ettiğimiz çıktıları MMIF yardımıyla hava kalitesi modelleri için uygun hale getirilerek AERMOD ve ADMS modelleri hazırlanmıştır. Toplamda iki farklı meteorolojik ve hava kalitesi dağılım modeli kullanılarak 4 farklı model hazırlanmıştır. Modelde yer alan işletmedeki kirletici kaynaklarının konumları birbirlerine yakın bir dağılım gösterdiği için polar alıcı kullanılması uygun görülmüştür (İgri vd., 2011; USEPA, 2018b; Mutlu ve Bayraktar, 2021). Grid mesafeleri 250 m'den 2000 m uzaklığında 0-360° aralığında 10° artacak şekilde 288 alıcı noktası, artı 1 hassas nokta olan Balıkesir Şehir Hastanesi ile birlikte toplam 289 alıcı noktasından oluşmaktadır. Model için kullanılan meteorolojik veri yılı seçimi her iki meteorolojik model için tüm 2019 yılı baz alınarak 289 alıcı noktası ile hazırlanmıştır. Model

kaynak olarak; 4 noktasal, 2 alansal ve 1 çizgisel olmak üzere 7 adet emisyon kirleticisinden yayılan PM₁₀ ve çöken toz dağılımları kullanılarak modelleme çalışması yapılmıştır. Model çıktıları PM₁₀ verileri için konsantrasyon olarak µg/m³ cinsinden verilmiştir. Çöken toz ise konsantrasyondan farklı olarak akı ile ifade edilmektedir. Akı, birim başına düşen alan ve zaman olarak tanımlanmaktadır (EANET, 2010). Çöken tozun içeriği olan kuru ve ıslak tozun ifade edilmesi içinde akı birimi kullanılmaktadır (Fang vd., 2014). Akının birimi de bu çalışma için g/m² olarak alınmıştır. Sonuçlar ve model haritaları, alıcı noktalarının çalışılan zaman aralığında aldığı maksimum değerler üzerinden, ortalama ve minimum olarak oluşturulurken, ortalama değerler medyan üzerinden verilmiştir.

Oluşturulan model haritalarının sonuçlarını değerlendirmek için; Balıkesir il Merkezinde güncel olarak ölçüm yapmakta olan Merkez ve Bahçelievler HKİİ'den 2019 yılına ait saatlik ve günlük PM₁₀ kirletici konsantrasyonları temin edilmiştir. İstasyonlardan temin edilen veriler ile model sonuçlarının karşılaştırılması için tüm özellikler aynı tutularak sadece istasyonların bulunduğu 2 adet alıcı noktası ile AERMOD ve ADMS ayrı olarak koşturulmuştur. Model sonucu elde edilen bulgular ile HKİİ'lerin ölçmüş olduğu veriler arasında işletmenin yaymış olduğu kirleticiler arasında istatistiksel bir anlamlılık olup olmadığını araştırmak için korelasyon yöntemi kullanılmıştır. Yapılan istatistiksel analiz ile hangi meteorolojik modelin ve/veya hangi hava kalitesi modelin bu çalışma için daha uygun olduğu tespit edilmeye çalışılmıştır.

Model sonuçlarının sağlık etkisini incelemek için HARP modelinin Air Dispersion Modeling Risk Tool modülü kullanılarak analizi yapılmıştır. Fakat program sadece AERMOD çıktısını desteklediği için bu çalışmada sadece AERMOD kullanılarak hazırlanan sonuçlar eklenmiştir. Kullanılan 7 adet kirletici kaynaklarından sadece noktasal kaynakların olduğu 4 bacadan salınan ağır metal kirletici verileri bulunduğu için bu kaynaklar kullanılmıştır. HARP modeli yardımıyla bu kaynaklardan yayılan kirleticiler ile oluşabilmesi ihtimalindeki sağlık etkisi incelenmeye çalışılmıştır. Sonuçlar, WRF verileri ile koşturulan model ile lokal meteorolojik veriler kullanılarak koşturulan iki model arasındaki farklar gözlemlenmeye çalışılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 Lokal Meteorolojik Veri ile AERMOD Sonuçları

2019 yılı lokal istasyon verileri kullanılarak modelin meteorolojik alt birimi AERMET'te hazırlanmıştır. Meteorolojik model için ihtiyaç duyulan yüzey meteorolojik verileri Balıkesir Havalimanı istasyonundan basınç, bulut yüksekliği, bulut kapallığı, nem, sıcaklık, rüzgar hızı ve rüzgar yönü verileri temin edilmiştir. İstasyondan temin edilen verilerde yaklaşık olarak %15'lik bir veri kaybı bulunduğu için aynı istasyondan temin edilmiş olan 2012-2016 yılı meteorolojik verileri kullanılarak eksik olan saat aralıklarının ortalaması alınarak doldurulmuştur. Model için gerekli olan ikinci meteorolojik veri olan üst hava meteorolojik verisi Kartal Bölge istasyonundan basınç, yükseklik, nem, sıcaklık rüzgar hızı ve rüzgar yönü temin edilmiştir. Meteorolojik veride herhangi bir kayıp veri bulunmadığı için veriler olduğu gibi TD6201 formatına dönüştürülerek AERMET birimine işlenmiştir. İstasyonların genel özellikleri Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1: Temin edilen istasyon özellikleri.

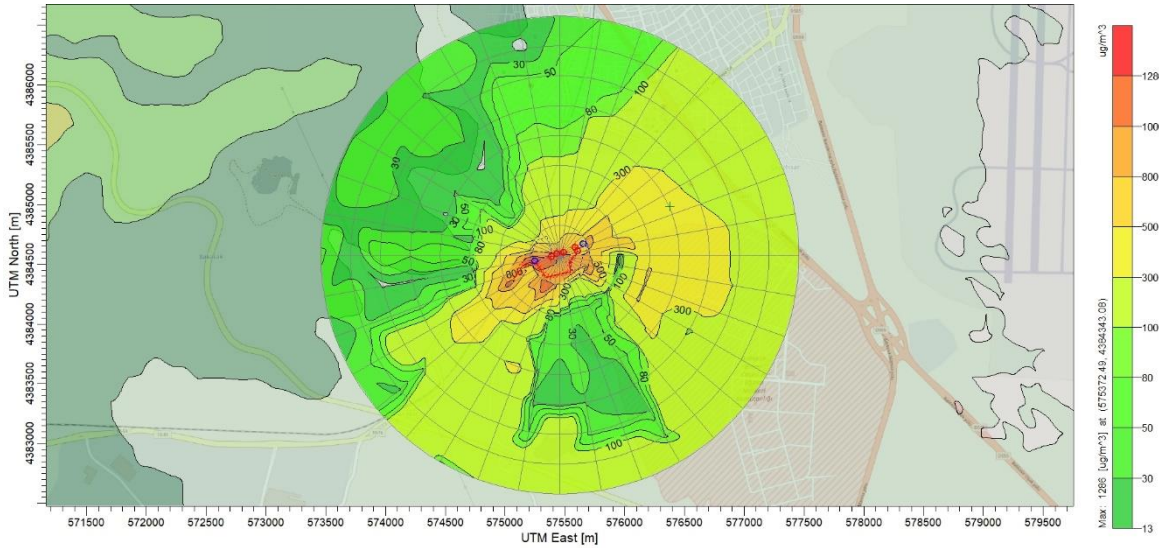
İstasyon Özellikleri	Balıkesir Havalimanı (17150)	Kartal Bölge (17064)
İstasyon Tipi	Yüzey Met. Ölçümü	Üst Hava Met. Ölçümü
Ölçüm Aralığı	0–10 m	0–5000 m
Veri Ölçüm Zaman Aralığı	1 saat	12 saat
İşletmeye Uzaklık	4,5 km	180 km
Konum	Enlem = 39.63° Boylam = 27.55°	Enlem = 40.91° Boylam = 29.15°

Meteorolojik veriler AERMET kullanılarak SFC ve PFL uzantılı dosya formatlarına dönüştürülerek AERMOD modelinin meteorolojik ara yüz birimine işlenmiştir. Model için gerekli olan topoğrafya verisi Shuttle Radar Topography Mission (SRTM3) 90 m olarak seçilmiştir. Temin edilen topoğrafya verisi AERMOD'un AERMAP modülü kullanılarak hazırlanmıştır. Model, ülkemizde ki Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (SKHKKY) dikkate alınarak 2 km yarıçapında 250 m aralıklarla, 10° aralıklar ile kullanılarak ve hassas nokta olmak üzere toplam 289 alıcı noktası için model sonuçları üretilmiştir (Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, 2014). Model sonuçları PM₁₀ ve çöken toz kirleticileri olmak üzere saatlik, 24 saatlik (günlük) ve yıllık olarak 3 farklı zaman periyodları halinde çalıştırılmıştır.

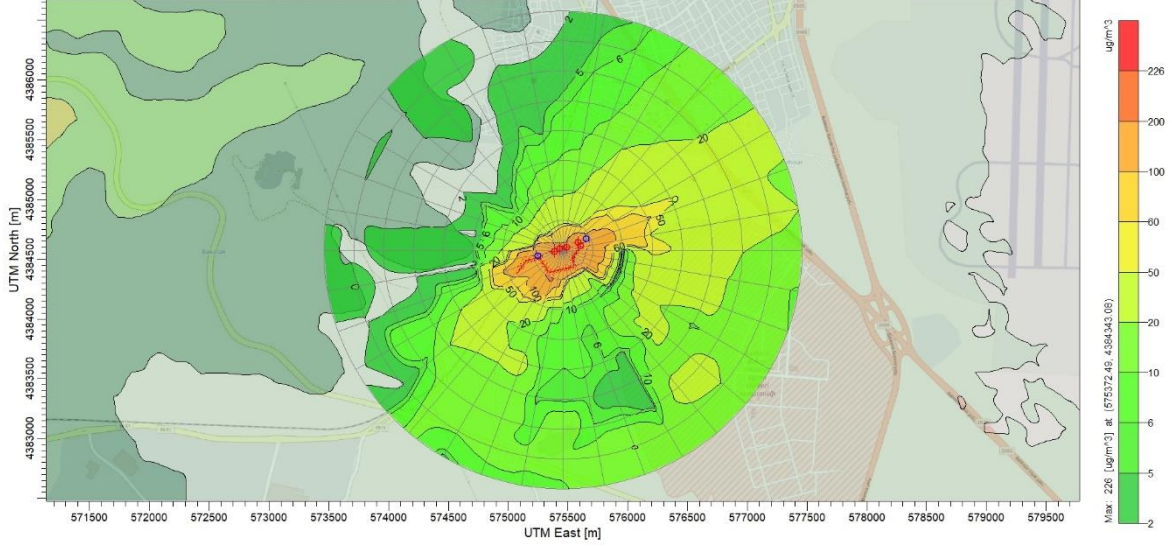
Lokal istasyon verileri kullanılarak hazırlanan PM₁₀ kirleticisi sonuçları incelendiğinde, alıcı noktasının aldığı 1 saat, 24 saat ve 1 yıllık sonuçları sırasıyla; maksimum konsantrasyon 1286,3 µg/m³, 225,7 µg/m³ ve 65,2 µg/m³'tür. Ortalama konsantrasyon sırasıyla 146,4 µg/m³, 12,1 µg/m³ ve 1,2 µg/m³'tür. Minimum konsantrasyon sırasıyla 10,2 µg/m³, 0,8 µg/m³ ve 0,05 µg/m³ olarak bulunmuştur. Sonuçlar Tablo 4.2'de yer verilirken, oluşturulan görsel haritalar Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te yer verilmiştir.

Tablo 4.2: AERMOD ve lokal istasyon modeli PM₁₀ konsantrasyonları.

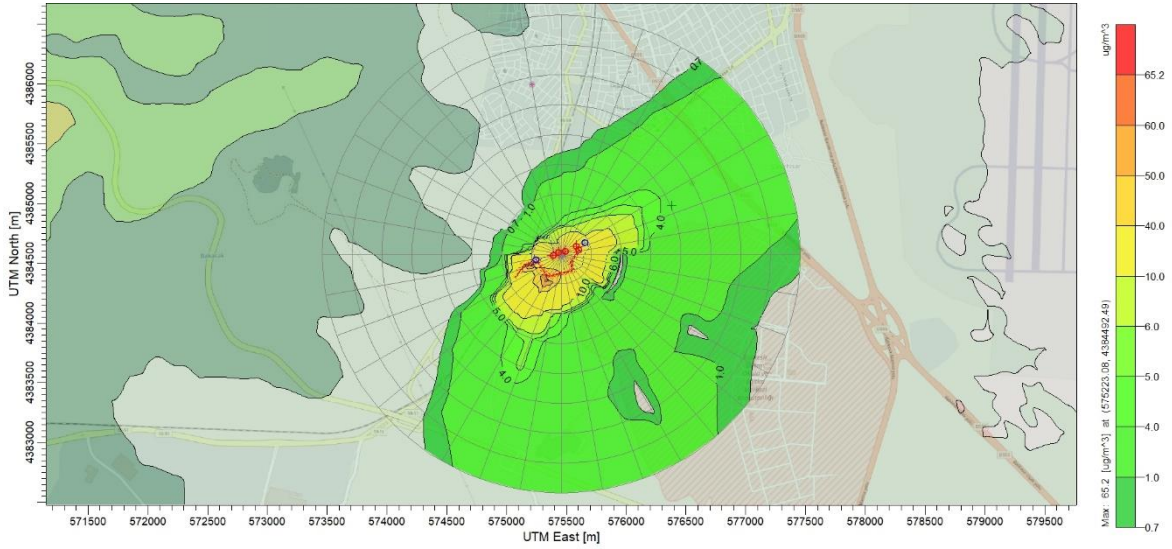
Kirletici	Çalışma Zamanı	Maksimum Konsantrasyon (µg/m ³) ve Zamanı	Ortalama Konsantrasyon (µg/m ³) ve Zamanı	Minimum Konsantrasyon (µg/m ³) ve Zamanı
PM ₁₀	1 Saat	1286,3 (07.12.2019-04.00)	146,4 (06.03.2019-02.00)	10,2 (12.06.2019-24.00)
PM ₁₀	24 Saat	225,7 (24.01.2019)	12,1 (06.03.2019)	0,8 (23.12.2019)
PM ₁₀	1 Yıl	65,2	1,2	0,05



Şekil 4.1: AERMOD ve lokal istasyon modeli 1 saatlik PM₁₀ dağılım haritası.



Şekil 4.2: AERMOD ve lokal istasyon modeli 24 saatlik PM₁₀ dağılım haritası.

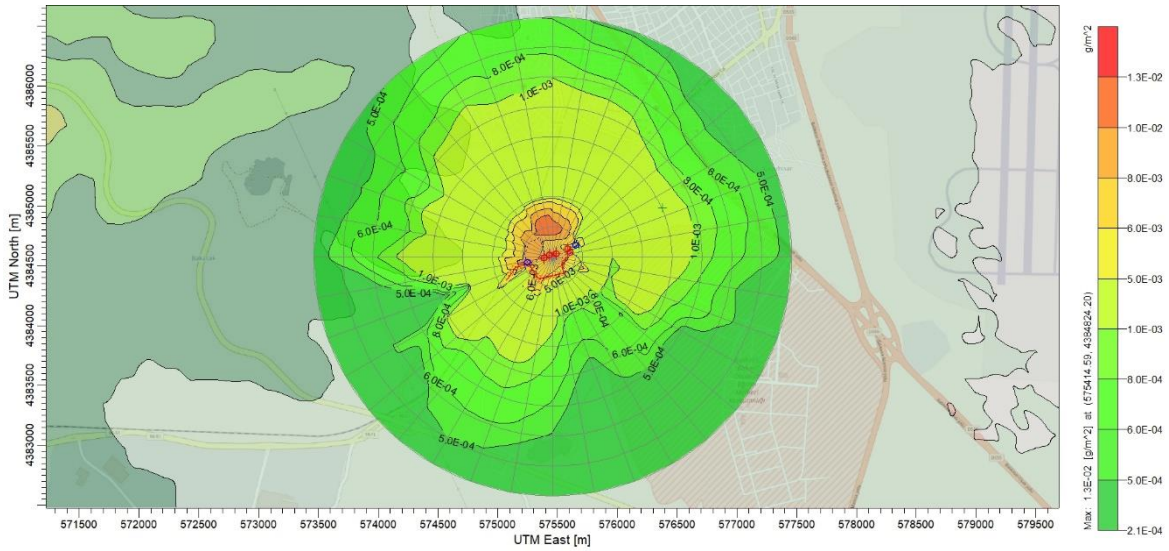


Şekil 4.3: AERMOD ve lokal istasyon modeli 1 yıllık PM₁₀ dağılım haritası.

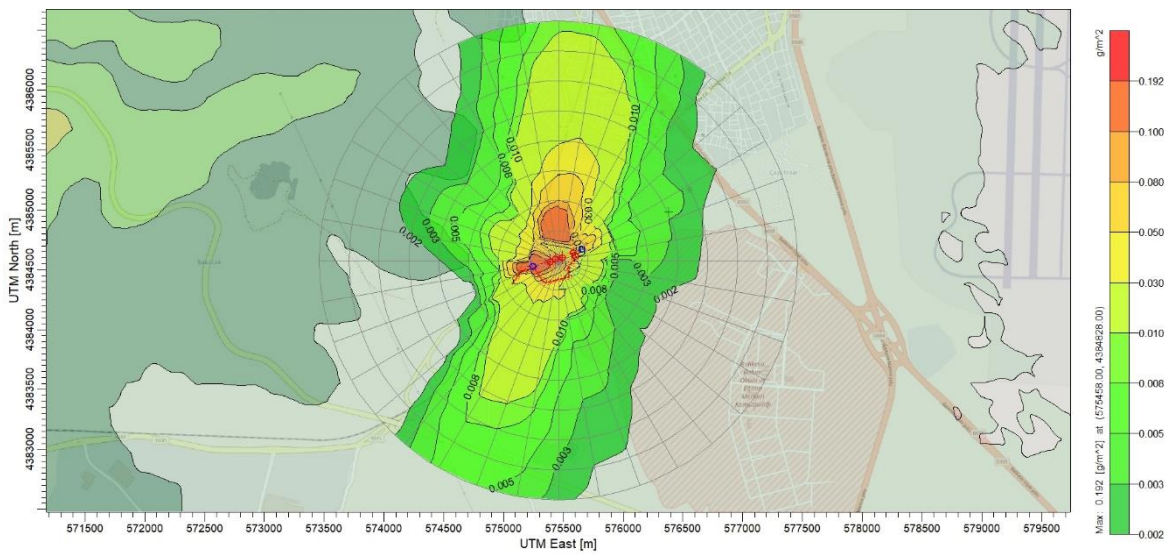
Lokal istasyon verileri kullanılarak hazırlanan çöken toz kirleticisi sonuçları incelendiğinde, alıcı noktasının aldığı 1 saat, 24 saat ve 1 yıllık sonuçları sırasıyla; maksimum akı 0,01 g/m², 0,2 g/m² ve 8,0 g/m²'dir. Ortalama akı sırasıyla 0,001 g/m², 0,004 g/m² ve 0,1 g/m²'dir. Minimum akı sırasıyla 0,0002 g/m², 0,0003 g/m² ve 0,007 g/m² olarak bulunmuştur. Sonuçlar Tablo 4.3'te yer verilirken, oluşturulan görsel haritalar Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da yer verilmiştir.

Tablo 4.3: AERMOD ve lokal istasyon modeli çöken toz akıları.

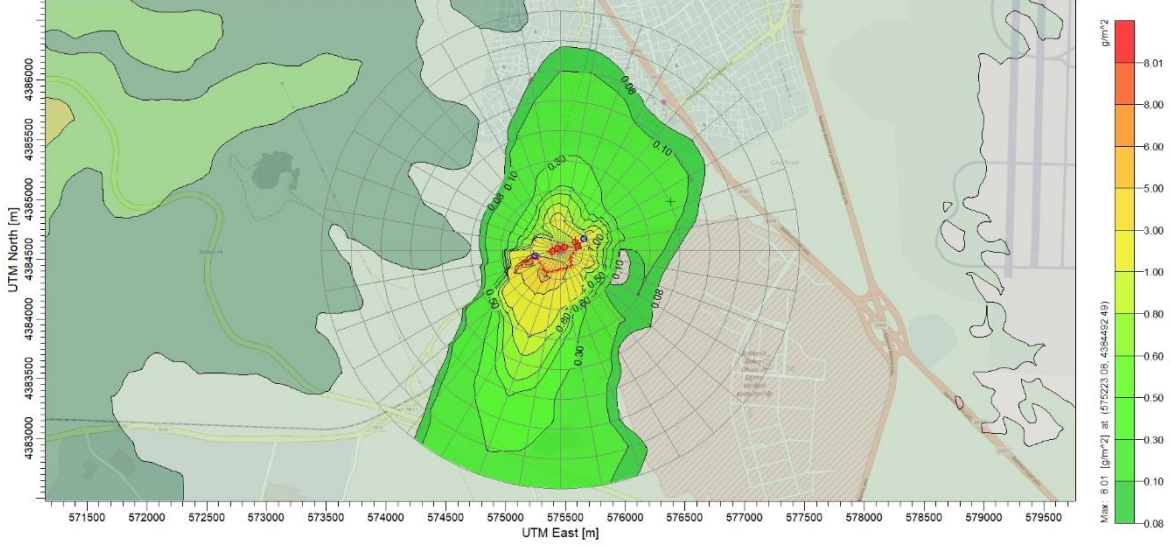
Kirletici	Çalışma Zamanı	Maksimum Akı (g/m ²) ve Zamanı	Ortalama Akı (g/m ²) ve Zamanı	Minimum Akı (g/m ²) ve Zamanı
Çöken Toz	1 Saat	0,01 (13.05.2019-24.00)	0,001 (15.06.2019-03.00)	0,0002 (25.10.2019-06.00)
Çöken Toz	24 Saat	0,2 (06.11.2019)	0,004 (24.01.2019)	0,0003 (06.12.2019)
Çöken Toz	1 Yıl	8,0	0,1	0,007



Şekil 4.4: AERMOD ve lokal istasyon modeli 1 saatlik çöken toz dağılım haritası.



Şekil 4.5: AERMOD ve lokal istasyon modeli 24 saatlik çöken toz dağılım haritası.



Şekil 4.6: AERMOD ve lokal istasyon modeli 1 yıllık çöken toz dağılım haritası.

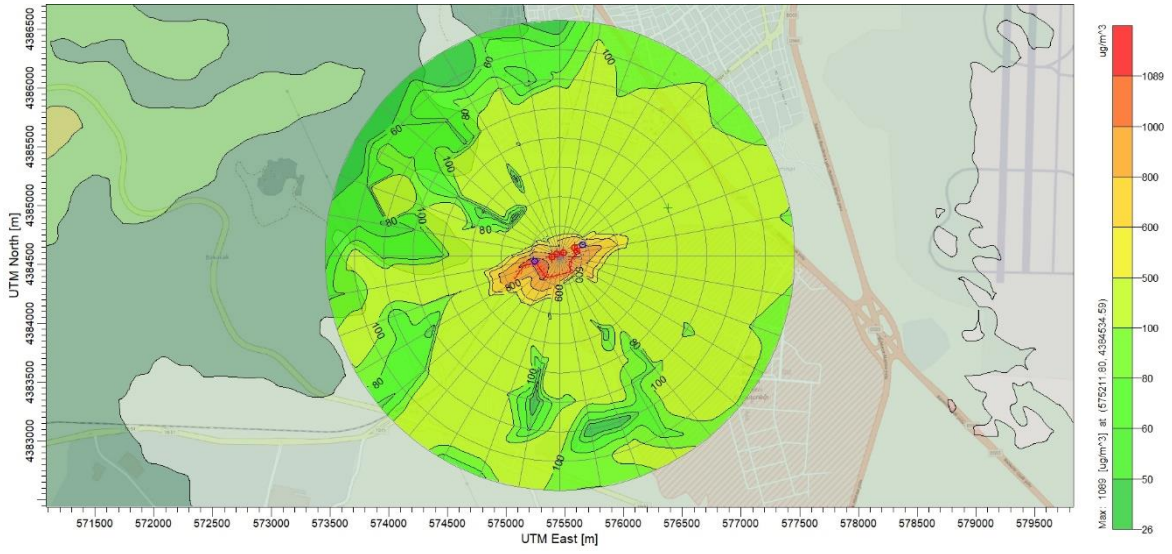
4.2 WRF ile AERMOD Sonuçları

Meteorolojik verilerin temini için NCEP üzerinden 2019 yılına ait veriler WRF için temin edilmiştir. Modelin hazırlanması için WPS içerisinde sırasıyla geogrid, ungrib ve metgrid çalıştırılarak modelin alt tabanları hazırlanmıştır. En son olarak real.exe ve wrf.exe çalıştırılarak model simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan model sonuçlarını AERMOD modelinin anlayacağı formata çevirmek için USEPA'nın yayınlamış olduğu MMIF programı kullanılmıştır. Meteorolojik hava olayları çalışma alanına bağlı olarak değişkenlik gösterebildiği için, gerçeğe en yakın meteorolojik verileri elde etmek için işletmenin merkez noktasındaki meteorolojik veriler kullanılmıştır. Hazırlanan veri setleri AERMOD ile çalıştırılarak hava kalitesi dağılım modelleri hazırlanmıştır

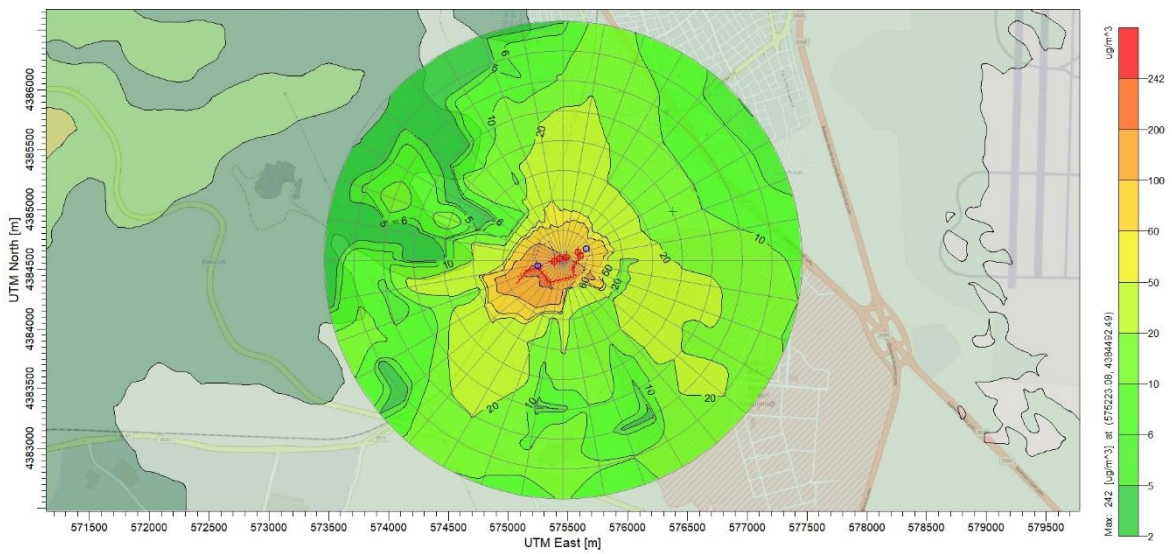
Sonuçlar incelendiğinde, WRF verileri kullanılarak hazırlanan PM₁₀ alıcı noktasının aldığı 1 saat, 24 saat ve 1 yıllık sonuçlar sırasıyla; maksimum konsantrasyon 1089,4 µg/m³, 242,5 µg/m³ ve 56,9 µg/m³'tür. Ortalama konsantrasyon sırasıyla 138,5 µg/m³, 13,7 µg/m³ ve 1,1 µg/m³'tür. Minimum konsantrasyon sırasıyla 26,2 µg/m³, 1,4 µg/m³ ve 0,08 µg/m³ olarak bulunmuştur. Sonuçlar Tablo 4.4'te yer verilirken, oluşturulan görsel haritalar Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da yer verilmiştir.

Tablo 4.4: AERMOD ve WRF modeli PM₁₀ konsantrasyonları.

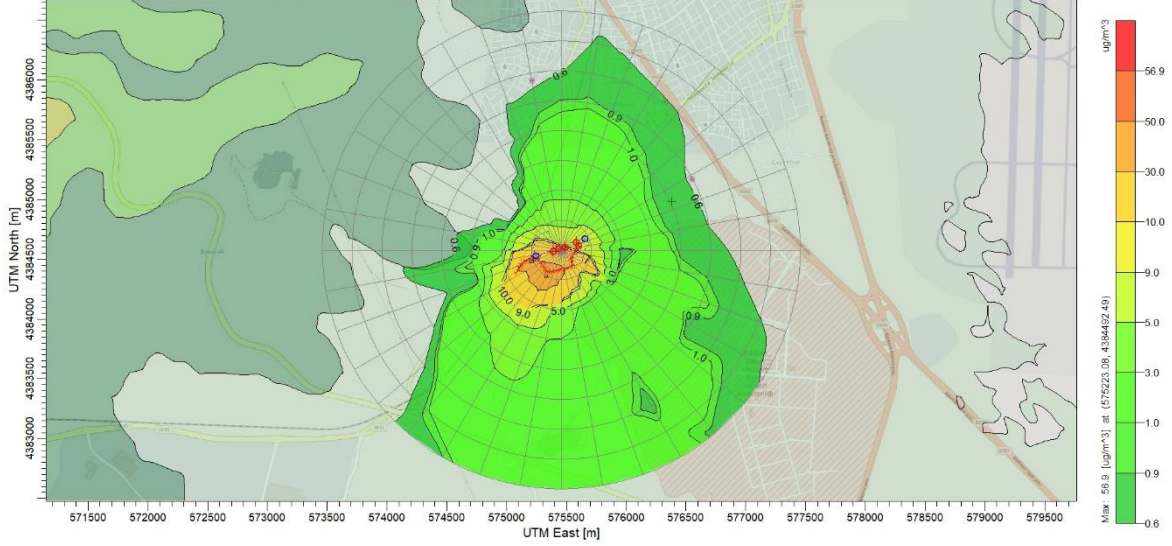
Kirletici	Çalışma Zamanı	Maksimum Konsantrasyon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ve Zamanı	Ortalama Konsantrasyon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ve Zamanı	Minimum Konsantrasyon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ve Zamanı
PM ₁₀	1 Saat	1089,4 (17.03.2019-04.00)	138,5 (13.11.2019-21.00)	26,2 (17.03.2019-02.00)
PM ₁₀	24 Saat	242,5 (12.12.2019)	13,7 (17.01.2019)	1,4 (04.06.2019)
PM ₁₀	1 Yıl	56,9	1,1	0,08



Şekil 4.7: AERMOD ve WRF modeli 1 saatlik PM₁₀ dağılım haritası.



Şekil 4.8: AERMOD ve WRF modeli 24 saatlik PM₁₀ dağılım haritası.

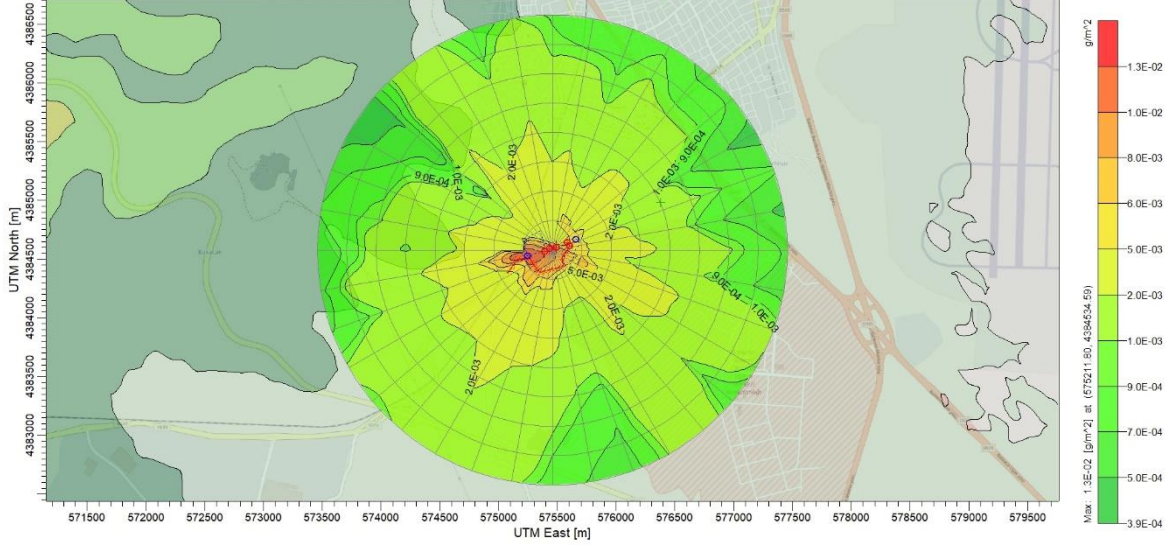


Şekil 4.9: AERMOD ve WRF modeli 1 yıllık PM₁₀ dağılım haritası.

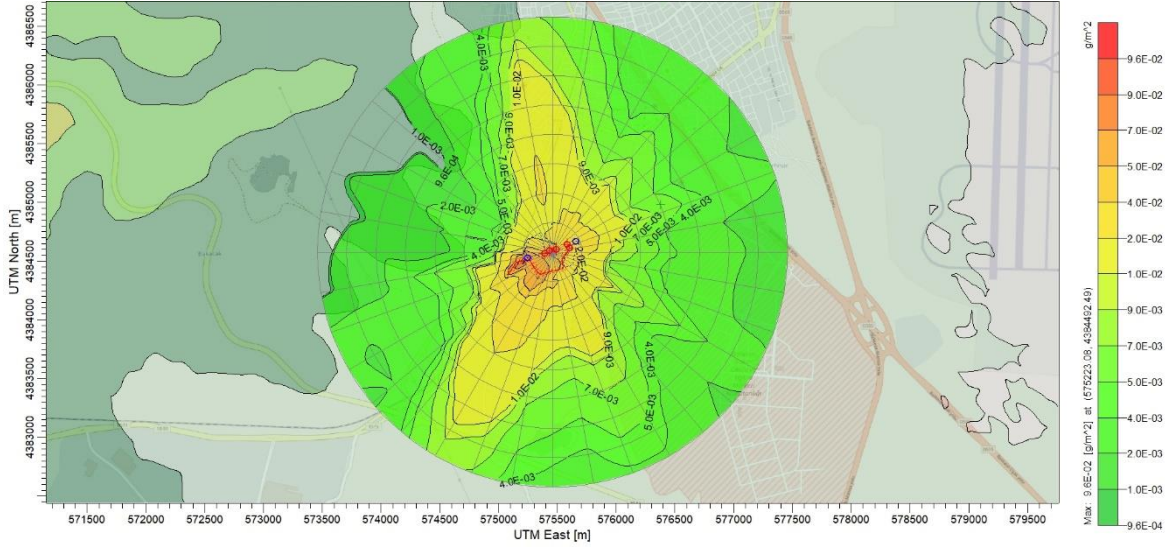
Sonuçlar incelendiğinde, WRF verileri kullanılarak hazırlanan çöken toz alıcı noktasının aldığı 1 saat, 24 saat ve 1 yıllık sonuçlar sırasıyla; maksimum akı 0,01 g/m², 0,1 g/m² ve 14,9 g/m²'dir. Ortalama akı sırasıyla 0,002 g/m², 0,006 g/m² ve 0,1 g/m²'dir. Minimum akı sırasıyla 0,0004 g/m², 0,0005 g/m² ve 0,009 g/m² olarak bulunmuştur. Sonuçlar Tablo 4.5'te yer verilirken, oluşturulan görsel haritalar alıcı noktalarının aldığı maksimum akıya göre Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de yer verilmiştir.

Tablo 4.5: AERMOD ve WRF modeli çöken toz akıları.

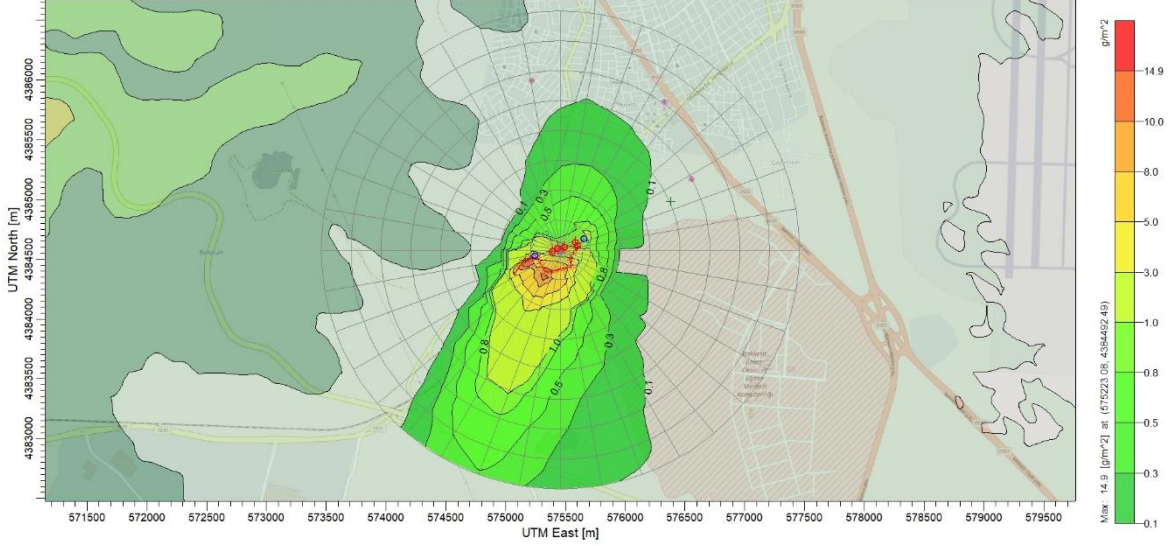
Kirletici	Çalışma Zamanı	Maksimum Akı (g/m ²) ve Zamanı	Ortalama Akı (g/m ²) ve Zamanı	Minimum Akı (g/m ²) ve Zamanı
Çöken Toz	1 Saat	0,01	0,002	0,0004
		(17.03.2019-04.00)	(28.01.2019-07.00)	(12.12.2019-17.00)
Çöken Toz	24 Saat	0,1	0,006	0,0005
		(12.12.2019)	(12.12.2019)	(04.06.2019)
Çöken Toz	1 Yıl	14,9	0,1	0,009



Şekil 4.10: AERMOD ve WRF modeli 1 saatlik çöken toz dağılım haritası.



Şekil 4.11: AERMOD ve WRF modeli 24 saatlik çöken toz dağılım haritası.



Şekil 4.12: AERMOD ve WRF modeli 1 yıllık çöken toz dağılım haritası.

4.3 Lokal Meteorolojik Veri ile ADMS Sonuçları

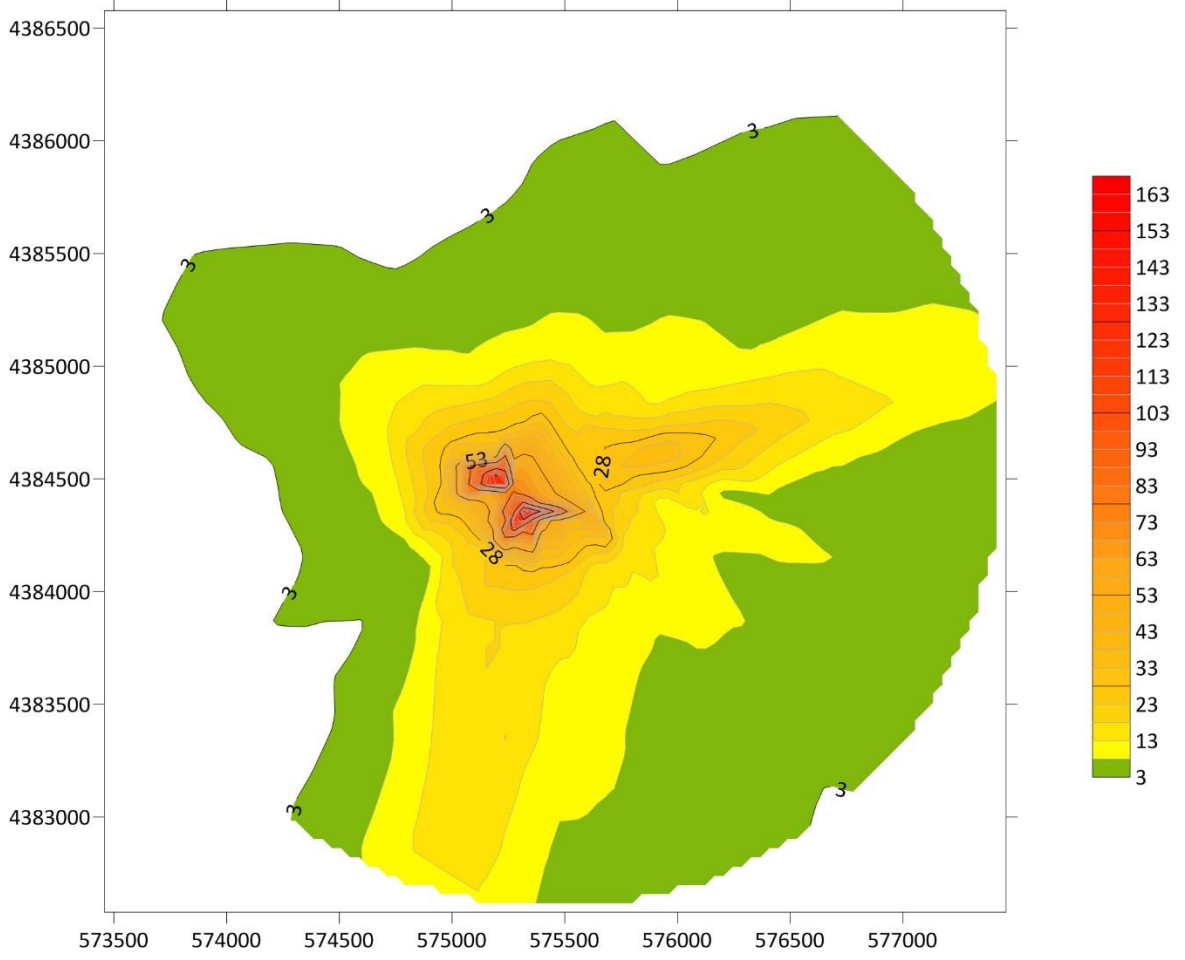
Lokal Meteorolojik veriler kullanılarak hazırlanan ADMS ile AERMOD arasında iki modelin ara yüz ve özellik olarak veri işlem birimlerinde bazı farklılıklar bulunmaktadır. Bu yüzden; model haritaları hazırlanırken orijinal özelliklerine bağlı kalınarak işlenirken, farklı veri seti girişleri de bulunmaktadır. Modelin veri işleme ve model özellikleri detayları aşağıda daha detaylı olarak aktarılmıştır.

Lokal meteorolojik veri setini hazırlamak için AERMOD meteorolojik işlem birimi olan AERMET kullanılmıştır; fakat bu çalışma için ADMS ile birlikte gelen meteorolojik alt işlem birimi temin edilemediği için AERMET modülünün SFC ve PFL çıktıları kullanılmıştır. ADMS içerisinde AERMOD'a ait SFC ve PFL çıktılarını dönüştürebilen araç yardımıyla anlamlı hale getirilerek ADMS için gerekli olan meteorolojik alt taban hazır hale getirilmiştir. Emisyon girdileri ve özellikleri Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'deki değerlere sadık kalınmaya çalışılmıştır. Topoğrafik arazi verileri olarak SRTM3 90m verilerinin modele işlenmesinde sıkıntı çıkardığı için veriler Google Earth üzerinden çalışma alanının bulunduğu konumdaki topoğrafik özellikler işlenmiştir. Hazırlanan modeller PM₁₀ ve çöken toz için 24 saatlik ve 1 yıllık olmak üzere çalıştırılmıştır. Oluşturulan model çıktıları çok yüksek boyut alanlarına çıkması ve alıcı noktasının aldığı maksimum kirletici değerini sadece 24 saatlik ve yıllık olarak verdiği için çalışma zamanları bu zamanlar ile sınırlandırılmıştır. Haritalar görselleştirilirken Surfer programı versiyon 21.1.158 kullanılmıştır.

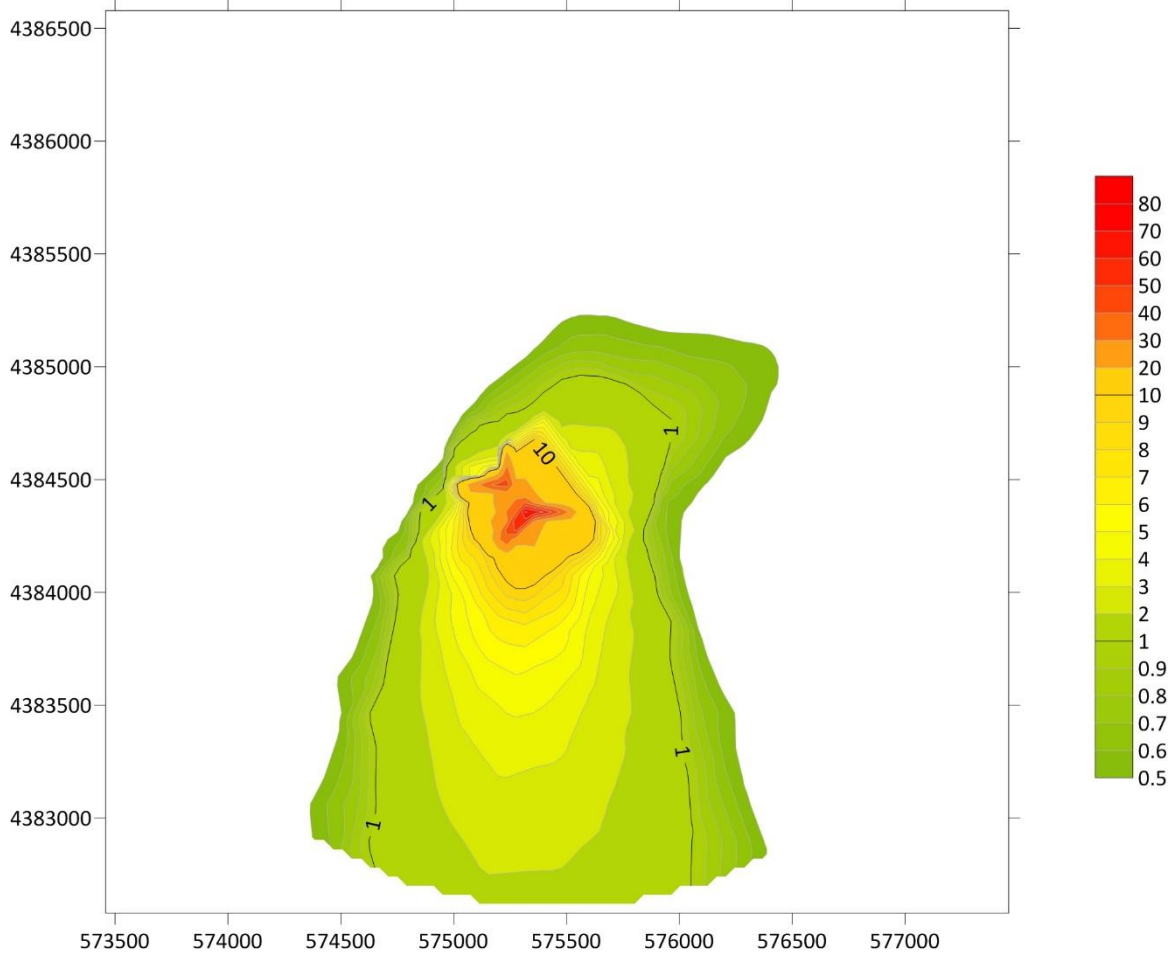
Lokal istasyon verileri kullanılarak hazırlanan PM₁₀ kirleticisi sonuçları incelendiğinde, alıcı noktasının aldığı 24 saat ve 1 yıllık sonuçları sırasıyla; maksimum konsantrasyon 163,4 µg/m³ ve 80,4 µg/m³'tür. Ortalama konsantrasyon sırasıyla 7,1 µg/m³ ve 0,3 µg/m³'tür. Minimum konsantrasyon sırasıyla 0,9 µg/m³ ve 0,02 µg/m³ olarak bulunmuştur. Konsantrasyon değerlerine Tablo 4.6'da yer verilirken, oluşturulan görsel haritalar Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te yer verilmiştir.

Tablo 4.6: ADMS ve lokal istasyon modeli PM₁₀ konsantrasyonları.

Kirletici	Çalışma Zamanı	Maksimum Konsantrasyon (µg/m ³) ve Zamanı	Ortalama Konsantrasyon (µg/m ³) ve Zamanı	Minimum Konsantrasyon (µg/m ³) ve Zamanı
PM ₁₀	24 Saat	163,4 (27.08.2019)	7,1 (06.05.2019)	0,9 (09.12.2019)
PM ₁₀	1 Yıl	80,4	0,3	0,02



Şekil 4.13: ADMS ve lokal istasyon modeli 24 saatlik PM₁₀ dağılım haritası.

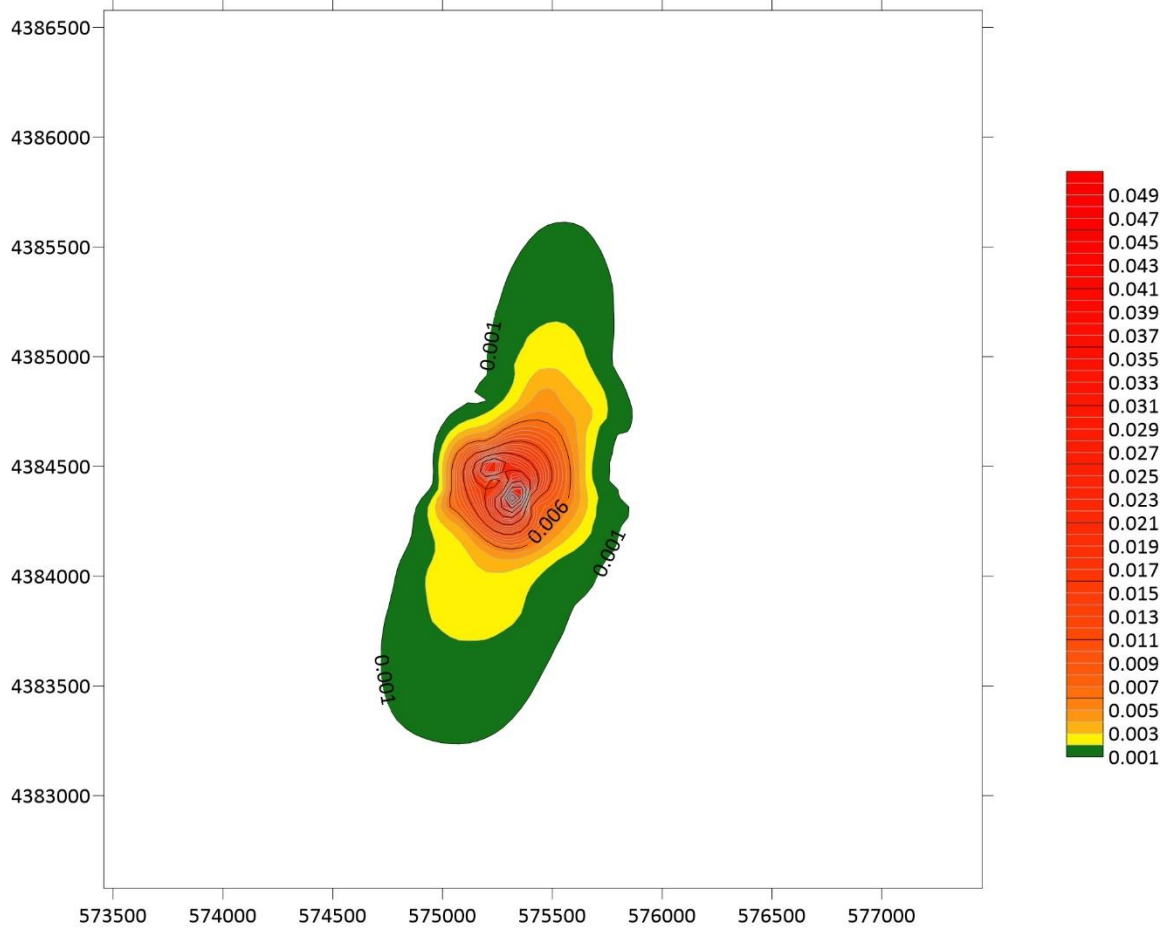


Şekil 4.14: ADMS ve lokal istasyon modeli 1 yıllık PM₁₀ dağılım haritası.

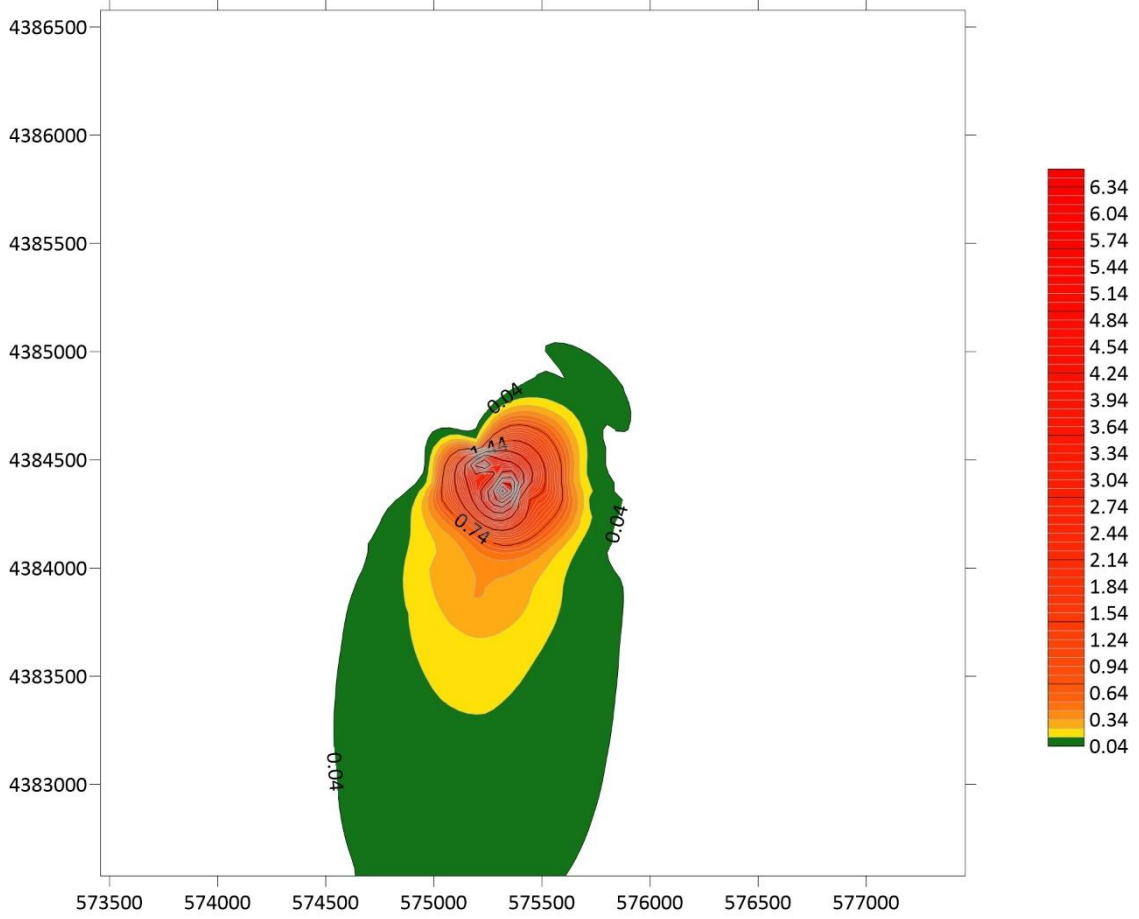
Lokal istasyon verileri kullanılarak hazırlanan çöken toz kirleticisi sonuçları incelendiğinde, alıcı noktasının aldığı 24 saat ve 1 yıllık sonuçları sırasıyla; maksimum akı 0,06 g/m² ve 7,9 g/m²'dir. Ortalama akı sırasıyla 0.0003 g/m² ve 0,013 g/m²'dir. Minimum akı sırasıyla 0,00002 g/m² ve 0,0005 g/m² olarak bulunmuştur. Akı değerlerine Tablo 4.7'de yer verilirken, oluşturulan görsel haritalar Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da yer verilmiştir.

Tablo 4.7: ADMS ve lokal istasyon modeli çöken toz akıları.

Kirletici	Çalışma Zamanı	Maksimum Akı (g/m ²) ve Zamanı	Ortalama Akı (g/m ²) ve Zamanı	Minimum Akı (g/m ²) ve Zamanı
Çöken Toz	24 Saat	0,06 (29.03.2019)	0.0003 (11.08.2019)	0,00002 (03.08.2019)
Çöken Toz	1 Yıl	7,9	0,013	0,0005



Şekil 4.15: ADMS ve lokal istasyon 24 saatlik çöken toz dağılım haritası.



Şekil 4.16: ADMS ve lokal istasyon 1 yıllık çöken toz dağılım haritası.

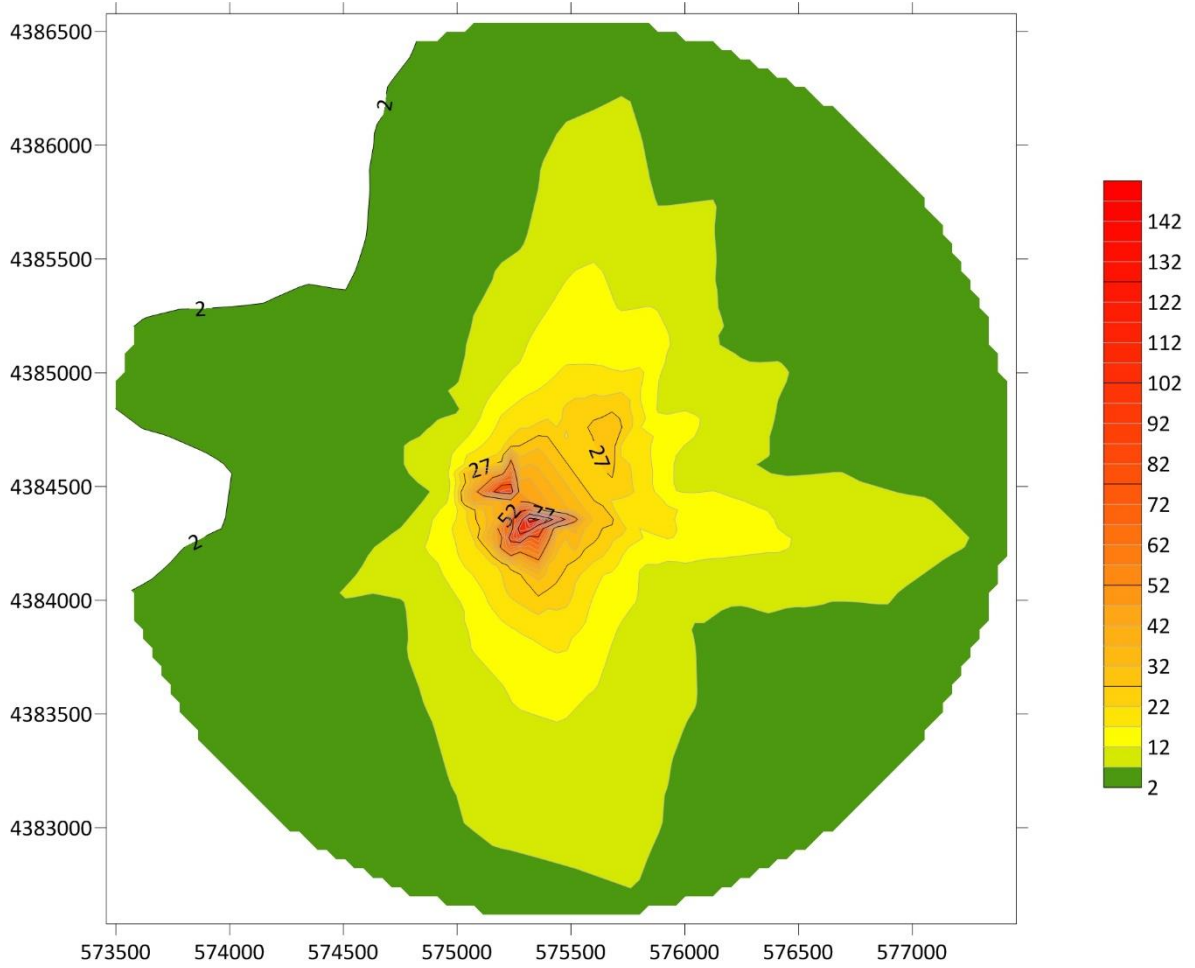
4.4 WRF ile ADMS Sonuçları

Bu çalışmada WRF sonuçları SFC ve PFL formatı halinde hazır bulunduğu için ADMS içerisinde bulunan veri dönüştürücüsü modülü kullanılarak veri setleri modelin anlayabileceği veri formatlarına dönüştürülmüştür. Model, WRF meteorolojik veri seti işlenerek ve geri kalan her özellik lokal veriler kullanılarak koşturulan ADMS ile aynı tutularak koşturulmuştur. Hazırlanan modeller PM₁₀ ve çöken toz için 24 saatlik ve 1 yıllık olmak üzere çalıştırılmıştır. Haritalar görselleştirilirken Surfer programı kullanılmıştır.

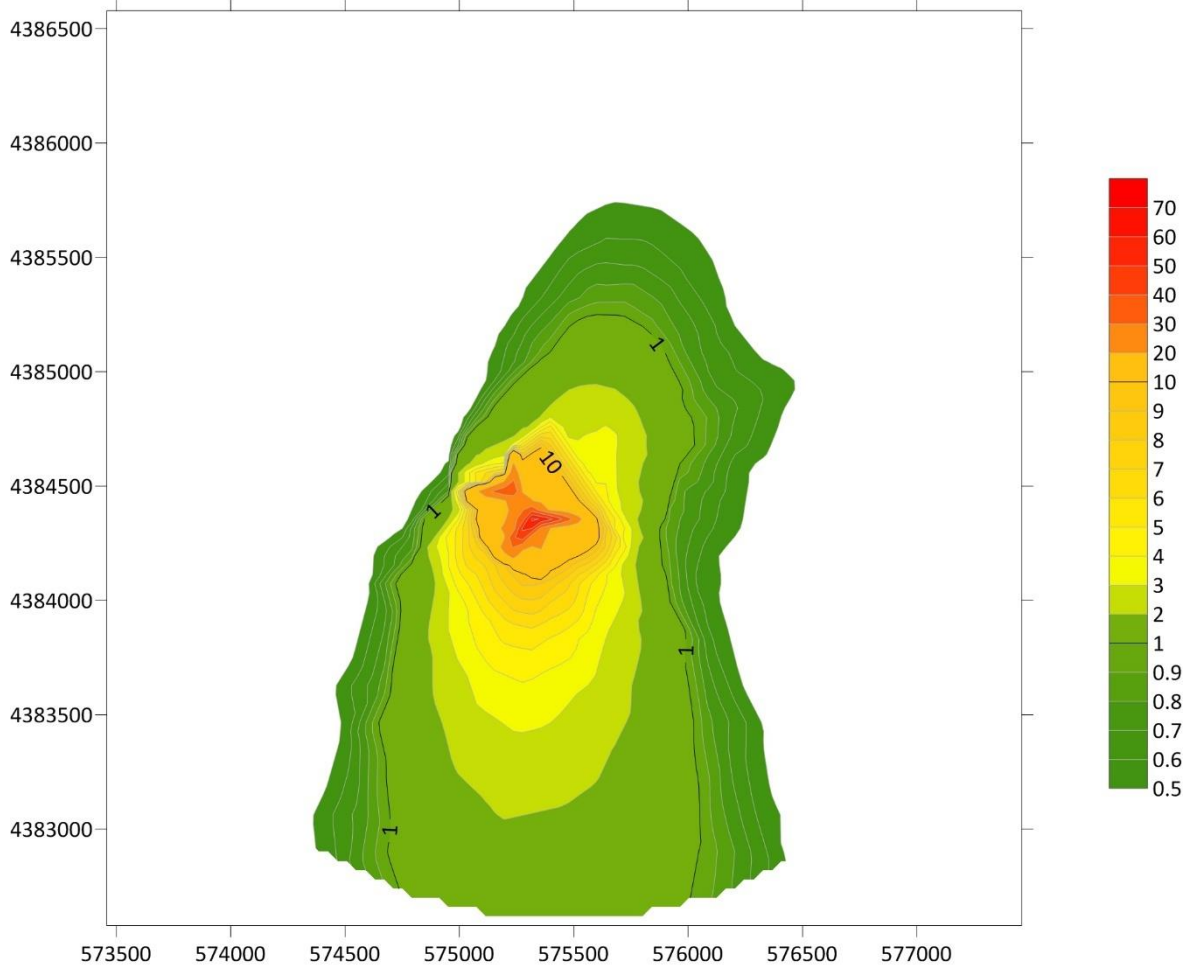
Sonuçlar incelendiğinde, WRF kullanılarak hazırlanan PM₁₀ alıcı noktasının aldığı 24 saat ve 1 yıllık sonuçları sırasıyla; maksimum konsantrasyon 148,3 µg/m³ ve 70,6 µg/m³'tür. Ortalama konsantrasyon sırasıyla 6,7 µg/m³ ve 0,5 µg/m³'tür. Minimum konsantrasyon sırasıyla 0,9 µg/m³ ve 0,03 µg/m³ olarak bulunmuştur. Konsantrasyon değerlerine Tablo 4.8'de yer verilirken, oluşturulan görsel haritalar Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de yer verilmiştir.

Tablo 4.8: ADMS ve WRF modeli PM₁₀ konsantrasyonları.

Kirletici	Çalışma Zamanı	Maksimum Konsantrasyon (µg/m ³) ve Zamanı	Ortalama Konsantrasyon (µg/m ³) ve Zamanı	Minimum Konsantrasyon (µg/m ³) ve Zamanı
PM ₁₀	24 Saat	148,3 (06.10.2019)	6,7 (18.12.2019)	0,9 (25.01.2019)
PM ₁₀	1 Yıl	70,6	0,5	0,03



Şekil 4.17: ADMS ve WRF modeli 24 saatlik PM₁₀ dağılım haritası.

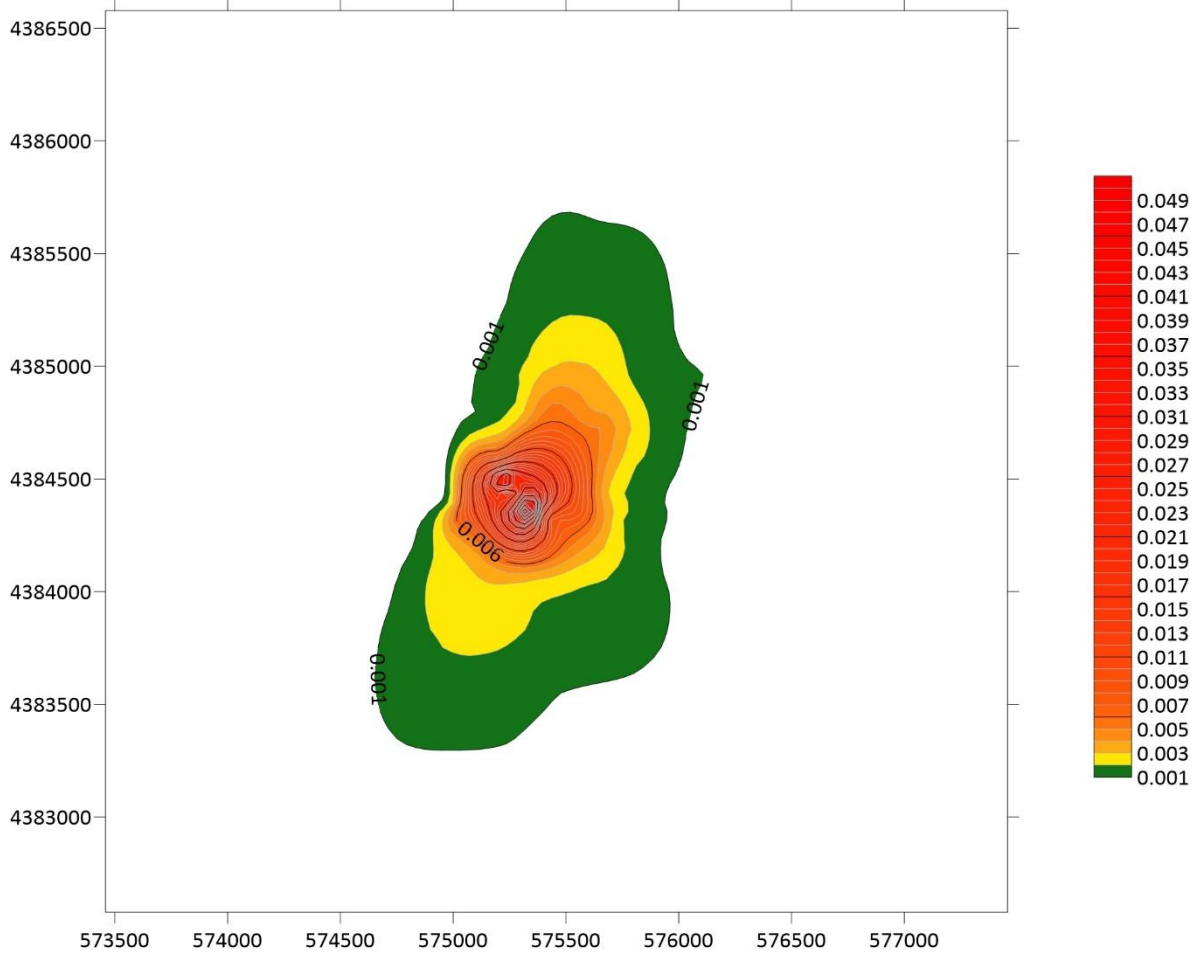


Şekil 4.18: ADMS ve WRF modeli 1 yıllık PM₁₀ dağılım haritası.

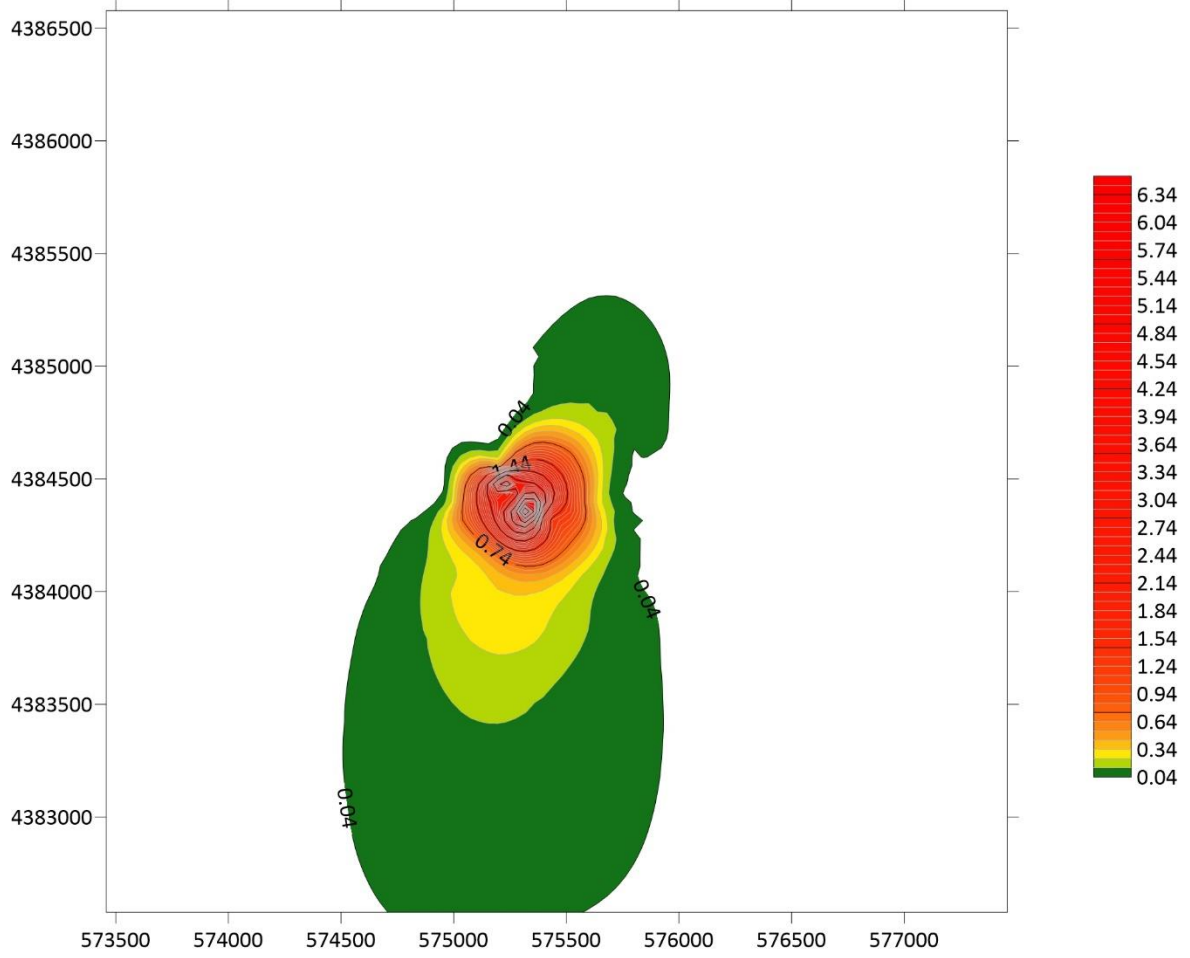
Sonuçlar incelendiğinde, WRF ile yapılan ADMS çöken toz alıcı noktasının aldığı 24 saat ve 1 yıllık sonuçları sırasıyla; maksimum akı 0,06 g/m² ve 7,54 g/m²'dir. Ortalama akı sırasıyla 0,0006 g/m² ve 0,016 g/m²'dir. Minimum akı sırasıyla 0,00003 g/m² ve 0,0007 g/m² olarak bulunmuştur. Konsantrasyon değerlerine Tablo 4.9'da yer verilirken, oluşturulan görsel haritalar Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de yer verilmiştir.

Tablo 4.9: ADMS ve WRF modeli çöken toz konsantrasyonları.

Kirletici	Çalışma Zamanı	Maksimum Konsantrasyon (g/m ²)	Ortalama Konsantrasyon (g/m ²)	Minimum Konsantrasyon (g/m ²)
Çöken Toz	24 Saat	0,06 (14.02.2019)	0,0006 (22.12.2019)	0,00003 (11.05.2019)
Çöken Toz	1 Yıl	7,54	0,016	0,0007



Şekil 4.19: ADMS ve WRF modeli 24 saatlik çöken toz dağılım haritası.



Şekil 4.20: ADMS ve WRF modeli 1 yıllık çöken toz dağılım haritası.

4.5 HKİİ ve Hava Kalitesi Modelleri İstatistiksel Analizi

Balıkesir il merkezinde faaliyet göstermekte olan Bahçelievler ve Merkez HKİİ verileri T.C Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na bağlı Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı üzerinden temin edilmiştir (MGM, 2020). Sistemden saatlik ve günlük olmak üzere PM_{10} kirletici konsantrasyonları temin edilmiştir. İstasyonların bulunduğu konumlar Merkez istasyon 39.64° enleminde 27.89° boylamı üzerinde bulunurken işletmeye olan yaklaşık uzaklığı 4,6 km'dir. Bahçelievler istasyonu 39.63° enleminde 27.89° boylamı üzerinde yer almakta ve işletmeye olan yaklaşık uzaklığı 2,9 km'dir.

Bu çalışma için kullanılan çalışma alanı 4 km çapı ile sınırlı olduğu için HKİİ'nin olduğu konumlar çalışma alanının dışında kalmaktadır. Bu yüzden, sadece istasyonların olduğu konumlar alıcı noktası seçilerek, geriye kalan tüm veri girdileri aynı tutularak modeller tekrardan koşturulmuştur. HKİİ'den 2019 yılına ait 1 saatlik ve 24 saatlik zaman aralığında

PM₁₀ kirletici konsantrasyonu verileri her iki istasyon için temin edilmiştir. İstasyonlardan elde edilen verilerde ölçülmemiş eksik verilerin bulunması ve eksik olan istasyon verisini dolduracak yeterli bilgi ve veri seti bulunmadığı için verileri tamamlamak yerine bu zaman aralıkları çalışmaya dahil edilmemiştir. Model sonuçları elde edilen veriler normal dağılım göstermediği için, hava kalitesi dağılım modellerinin tahmin sonuçları ile istasyonların kirletici konsantrasyonları arasında bir ilişkinin olup olmadığının incelenmesi için Spearman korelasyon analizi yapılmıştır.

Merkez HKİİ ölçüm verileri ile model sonuçlarının 1 saatlik ve 24 saatlik zaman dilimleri arasında yapılan korelasyon analizi incelendiğinde; saatlik zamanda WRF kullanılarak yapılan hava kalitesi modelleri ve lokal veriler ile yapılan ADMS sonuçları Merkez HKİİ ölçüm verileri ile istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülürken, günlük zamanda WRF kullanılarak yapılan hava kalitesi dağılım modelleri yüksek anlamlılık seyretmiştir. Yapılan korelasyon analizinin sonuçları Tablo 4.10 ve Tablo 4.11’de verilmiştir.

Tablo 4.10: Merkez istasyonu saatlik modelleme çalışması korelasyon analizi.

Spearman Korelasyon	Merkez HKİİ	AERMOD WRF	ADMS WRF	AERMOD Lokal	ADMS Lokal
Merkez HKİİ	1	0,043**	0,221**	-0,160**	0,095**
Sig.	-	0,000	0,000	0,000	0,000
N	7997	7997	7997	7997	7997

* % 95 önem düzeyinde istatistiksel olarak önemlidir.

Tablo 4.11: Merkez istasyonu 24 saatlik modelleme çalışması korelasyon analizi.

Spearman Korelasyon	Merkez HKİİ	AERMOD WRF	ADMS WRF	AERMOD Lokal	ADMS Lokal
Merkez HKİİ	1	0,630**	0,443**	0,333**	-0,129*
Sig.	-	0,000	0,000	0,000	0,018
N	333	333	333	333	333

* % 95 önem düzeyinde istatistiksel olarak önemlidir.

Bahçelievler HKİİ ölçüm verileri ile model sonuçlarının 1 saatlik ve 24 saatlik zaman dilimleri arasında yapılan korelasyon analizi incelendiğinde; saatlik olarak sadece ADMS ile yapılmış olan model sonuçları Bahçelievler HKİİ ölçüm verileri ile istatistiksel olarak

anlamli sonuç vermiştir. Günlük yapılan korelasyon analizini incelediğimiz zaman WRF ile yapılmış AERMOD daha yüksek anlamlılık göstermiştir. Yapılan korelasyon analizinin sonuçları Tablo 4.12 ve Tablo 4.13 verilmiştir.

Tablo 4.12: Bahcelievler istasyonu saatlik modelleme çalışması korelasyon analizi.

Spearman Korelasyon	Bahcelievler HKİİ	AERMOD WRF	ADMS WRF	AERMOD Lokal	ADMS Lokal
Bahcelievler HKİİ	1	-0,011	0,099**	-0,150**	0,056**
Sig.	-	0,299	0,000	0,000	0,000
N	8638	8638	8638	8638	8638

* % 95 önem düzeyinde istatistiksel olarak önemlidir.

Tablo 4.13: Bahcelievler istasyonu 24 saatlik modelleme çalışması korelasyon analizi.

Spearman Korelasyon	Bahcelievler HKİİ	AERMOD WRF	ADMS WRF	AERMOD Lokal	ADMS Lokal
Bahcelievler HKİİ	1	0,497**	0,332**	0,153**	-0,203**
Sig.	-	0,000	0,000	0,004	0,000
N	358	358	358	358	358

* % 95 önem düzeyinde istatistiksel olarak önemlidir.

Yapılan korelasyon analizi incelendiğinde hava kalitesi dağılım modellerinde, ADMS dağılım modeli kısa vadeli (saatlik) verilerde, AERMOD dağılım modeli uzun vadeli (günlük) tahminlerde daha anlamlı sonuçlar vermiştir. Meteorolojik modellerde, WRF kullanılarak yapılan hava kalitesi modelleri, lokal istasyon ile hazırlanan modellerden daha iyi sonuçlar vermiştir. Bunun sebepleri olarak; WRF modeli birden fazla meteorolojik parametre kullanması ve çalışma alanını tüm bu verilerle simülasyon edebilmesi ile daha doğru sonuçlar üretebildiği yönünde olmuştur. Lokal istasyon sonuçları içinse; işletmeye uzaklığı, kalibrasyon özellikleri, bulunduğu konum ve eksik veri gibi durumlar sonuçları etkileyebilmektedir. Hava kalitesi dağılım modelleri arası korelasyon değerlerinin farklılık göstermesi olarak; modeller arası veri işlenişi, veri seti farklılığı, parametrik ve dinamik özelliklerinin değişiklik göstermesinin yanı sıra bu çalışmada sadece tek bir işletme kaynağının etkisinin olmasının yanı sıra HKİİ'nin tüm alıcı kaynaklarından gelen kirletici emisyonlarını lmlemesi, tesis kalibrasyonu, bulunduğu konum ve özellikleri gibi etmenlerin sonuçları etkilediği dşnlmştir. Ülkemizde yapılmış benzer bir çalışmada

Ulusoy vd. (2015) WRF ve lokal istasyon verileri kullanılarak hazırlanan AERMOD sonuçları ile HKİİ verileriyle yapılan korelasyon analizi incelendiğinde WRF, Beypazarı istasyonunda yüksek korelasyon değerlerine ulaşılırken, Akıncı istasyonunda düşük korelasyon değerleri seyrettiği görülmüştür.

4.6 Kanser Riski Analizi ve Değerlendirilmesi

Hava kalitesi sonuçlarının sağlık riski analizi için bu çalışmada HARP programının Air Dispersion and Risk Tool modülü kullanılmıştır. Modül kendi içerisinde 3 aşama olacak şekilde ayrılmıştır. Bunlar hava kirleticisi, hesaplama ve kanser analizi olacak şekilde sınıflandırılabilir. Hava kirleticisi kısmı içerisinde tesis bilgileri, kirletici konsantrasyonları, alıcı noktaları, meteorolojik, topoğrafik ve AERMOD işlem birimi yer almaktadır. Bu çalışma için hazır AERMOD sonuçları olduğu için yeniden modeli çalıştırmak yerine Şekil 3.12'deki kısımdan model çıktıları programa işlenmiştir. Programda kullanılacak olan zaman aralığı olarak modele saatlik ve periyodik model çıktıları işlenmiştir. Ağır metal kirletici konsantrasyonları Tablo 3.3'te yer alan değerler bu çalışma için kullanılmıştır. Model sonuçları ile kirletici konsantrasyonları arasındaki ilişki hesaplandıktan sonra son adım olan senaryo seçimi değerlendirilmiştir. Bu çalışmada; tüm 2019 yılına kapsayacak şekilde risk analizi hazırlanarak 289 alıcı noktasının yer aldığı, 4 km çapında, 4 adet bacadan çıkan ağır metal kirletici konsantrasyonlarının tam zamanlı çalışma periyotları alınmıştır. Senaryo seçiminde; sadece solunum yolu oluşabilecek riskin, en yüksek %95'lik (95th), 70 yıllık bir maruz kalma süresi bu çalışma için seçilmiştir. İki farklı meteorolojik alt model (WRF ve AERMET) kullanılarak hazırlanan AERMOD ile akut, kronik ve kanser risk analizi yapılmıştır. Aynı zamanda oluşturulan model haritaları alıcı noktanın aldığı en yüksek değerlere göre hazırlanırken, ortalama oran için medyan yöntemi kullanılmıştır. Risk analizi sonuçlarını değerlendirmek için ise USEPA'nın "Life Time" olarak belirttiği 70 yıllık maruz kalma sınır değerleri kullanılarak, ağır metal salınımından ortaya çıkabilecek sağlık riskleri tahmin edilmeye çalışılmıştır (USEPA, 2009b).

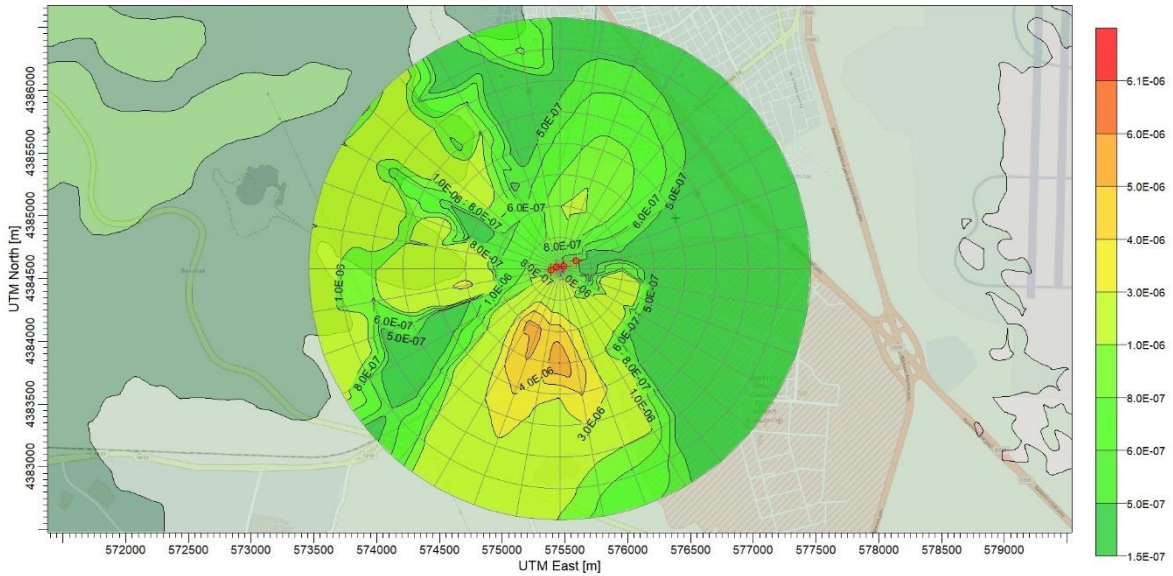
Kanser riski için USEPA'nın temsili olarak belirlemiş olduğu "de minimis" ihmal edilebilir kanser risk değeri olan bir milyonda bir (1×10^{-6}) kişi olarak referans gösterilerek bu değer aşığı durumların riskli olduğu belirtilmiştir (USEPA, 2001; Fiori ve Meyerhoff, 2002; USEPA, 2005; USEPA, 2009b; Donoghue ve Coffey, 2014). Sonuçlar incelendiğinde; alıcı noktasın aldığı en yüksek risk oranı WRF $6,05 \times 10^{-6}$ ve lokal istasyon $7,20 \times 10^{-6}$ olarak sınır değeri aşmaktadır. Sınır değerler WRF için 90, lokal istasyon için 82 tane alıcı

noktasında aşarken, en yakın hassas nokta olan Balıkesir Hastanesi noktasında en yüksek WRF $0,42 \times 10^{-6}$ ve lokal istasyon $0,59 \times 10^{-6}$ ile aşım gözlenmemiştir. Ortalama risk oranı WRF $0,73 \times 10^{-6}$ ve lokal istasyon $0,58 \times 10^{-6}$ bulunmuştur. Minimum risk oranı WRF $0,15 \times 10^{-6}$ ve lokal istasyon $0,11 \times 10^{-6}$ bulunmuştur. Alıcı noktalarının aldığı değerler Tablo 4.14'te yer verilmiştir.

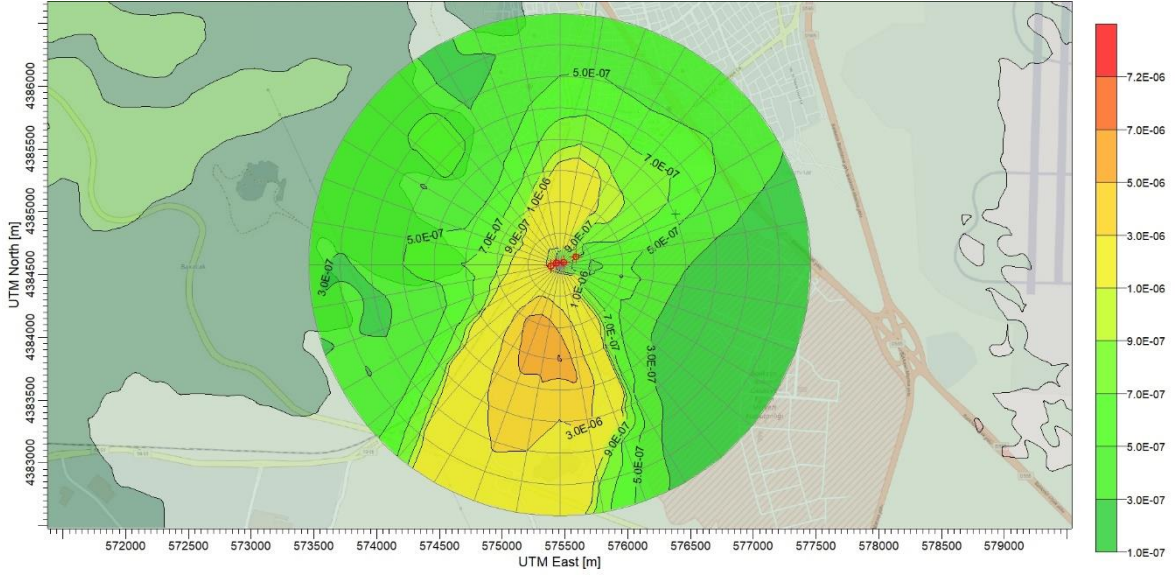
Tablo 4.14: Kanser risk tablosu.

Çalışma Alanı	Sınıflandırma	WRF	Lokal İstasyon
4 km	En Yüksek	$6,05 \times 10^{-6}$	$7,20 \times 10^{-6}$
4 km	Ortalama	$0,73 \times 10^{-6}$	$0,58 \times 10^{-6}$
4 km	Minimum	$0,15 \times 10^{-6}$	$0,11 \times 10^{-6}$

Sağlık etkisinin çıktı sonuçlarını görselleştirmek için AERMOD'un çıktı birimi olan AERMOD plot file (PLT) formatına dönüştürülmüştür. Görselleştirilen modelde 289 alıcı noktasının bulunduğu x ve y düzleminde risk değeri oranları kullanılarak model haritaları hazırlanmıştır. Alıcı noktalarının aldığı kanser riski dağılım haritaları Şekil 4.21 ve Şekil 4.22'de verilmiştir.



Şekil 4.21: AERMOD ve WRF modeli kanser risk dağılımı.

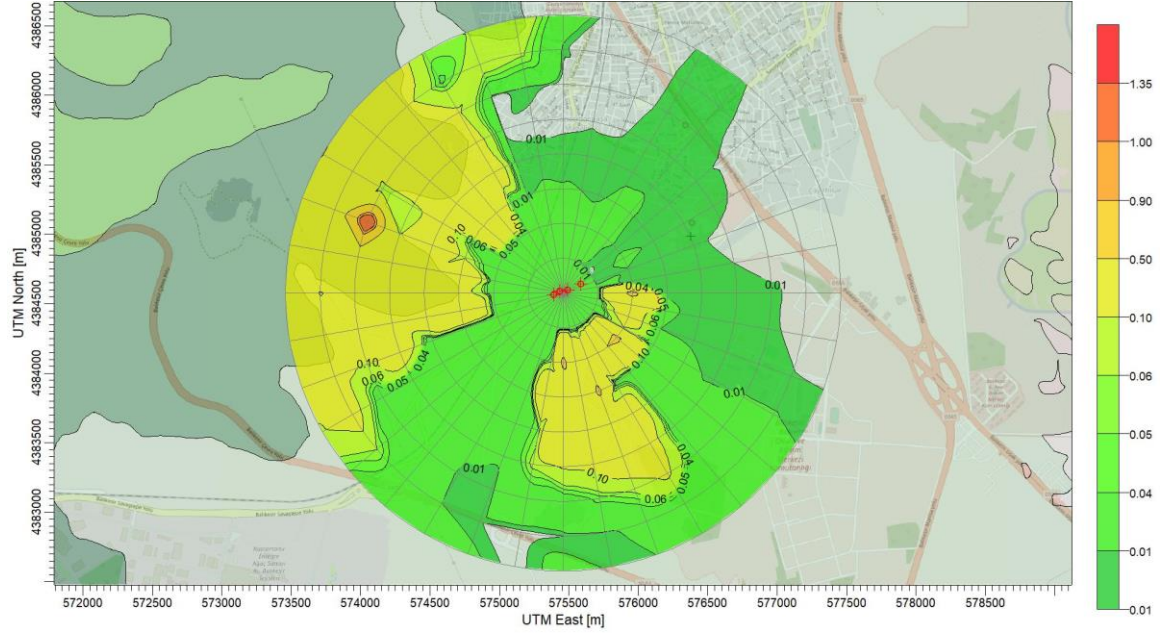


Şekil 4.22: AERMOD ve lokal istasyon modeli kanser risk dağılımı.

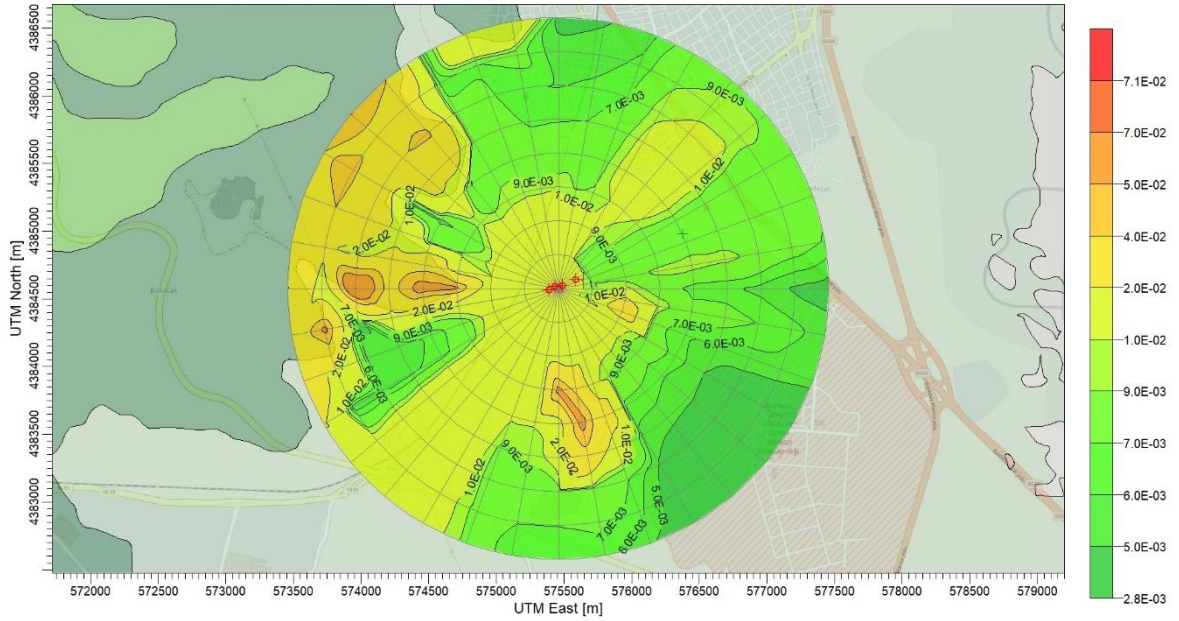
Akut risk kabul edilebilir sınır değerlerinin 1'den az değer göstermesi ihmal edilebilir sağlık riski olarak tanımlanmıştır (USEPA, 2001; Toxikos, 2003; USEPA, 2009b; Donoghue ve Coffey, 2014). Akut risk sonuçları incelendiğinde, WRF 1. en yüksek değeri 1,3468 ile aşarken, 2. en yüksek 0,5875 değeri ile sınır değerinin altında kalmıştır. Lokal istasyon sonucunda en yüksek değer 0,0707'dir. Sonuçlar değerlendirildiğinde sadece WRF ile hazırlanan modelde tek bir noktada sınır değer aşımı görülürken, diğer alıcı noktalarında 1'den az değerinin altında gösterdiği için akut risk sonuçları ihmal edilebilir düzeydedir. Her iki model dağılımları incelendiğinde akut riskinin güney bölgesine oranla batı bölgesinde daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun sebebi olarak dağılım metodu, program özellikleri ve akut riskinin kapsadığı risk gurubu (kardiyovasküler, merkezi sinir sistemi, bağışıklık sistemi vb.) olduğu tahmin edilmektedir (CalEPA, 2015). Alıcı noktalarının aldığı akut risk değerleri Tablo 4.15'te yer verilirken, dağılım haritaları Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'te gösterilmiştir.

Tablo 4.15: Akut risk tablosu.

Çalışma Alanı	Sınıflandırma	WRF	Lokal İstasyon
4 km	En Yüksek	1,3468	0,0707
4 km	Ortalama	0,0120	0,0095
4 km	Minimum	0,0054	0,0004



Şekil 4.23: AERMOD ve WRF modeli akut risk dağılımı.



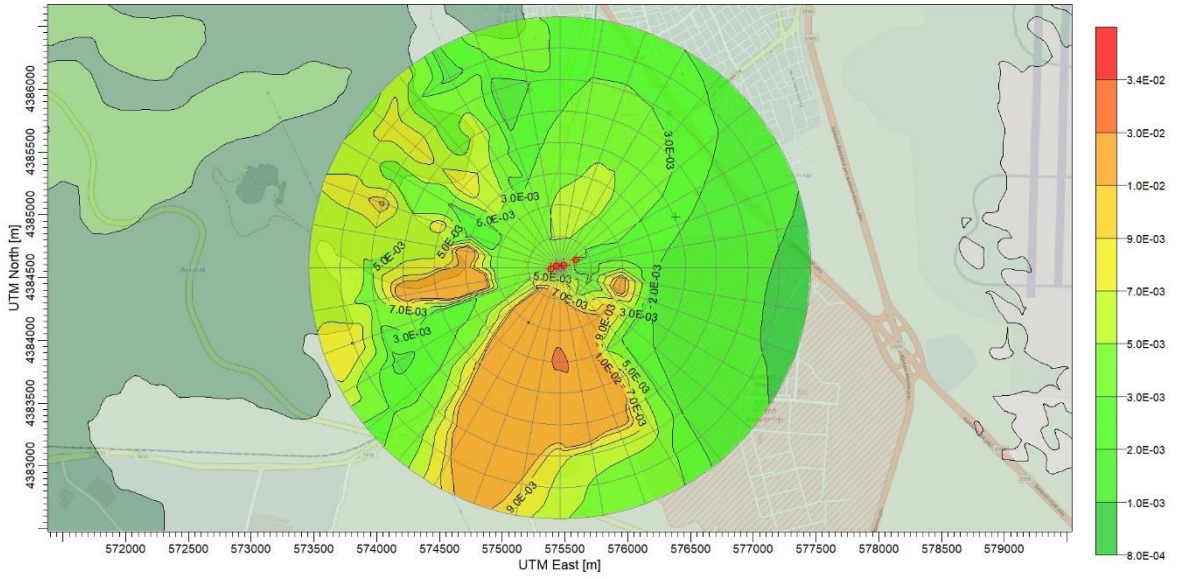
Şekil 4.24: AERMOD ve lokal istasyon akut risk dağılımı.

Kronik risk analizi kabul edilebilir sınır değerlerinin 1'den az değer göstermesi sağlık etkisi olarak tanımlanmıştır (USEPA, 2001; Toxikos, 2003; USEPA, 2009b; Donoghue ve Coffey, 2014). Kronik risk oranı sonuçları incelendiğinde, WRF en yüksek değeri 0,0345 ve lokal istasyon en yüksek değeri 0,0405'dir. Sonuçlar değerlendirildiğinde; her iki modelin de 1'den az değer gösterdiği için kronik risk sonuçları ihmal edilebilir düzeydedir. Alıcı

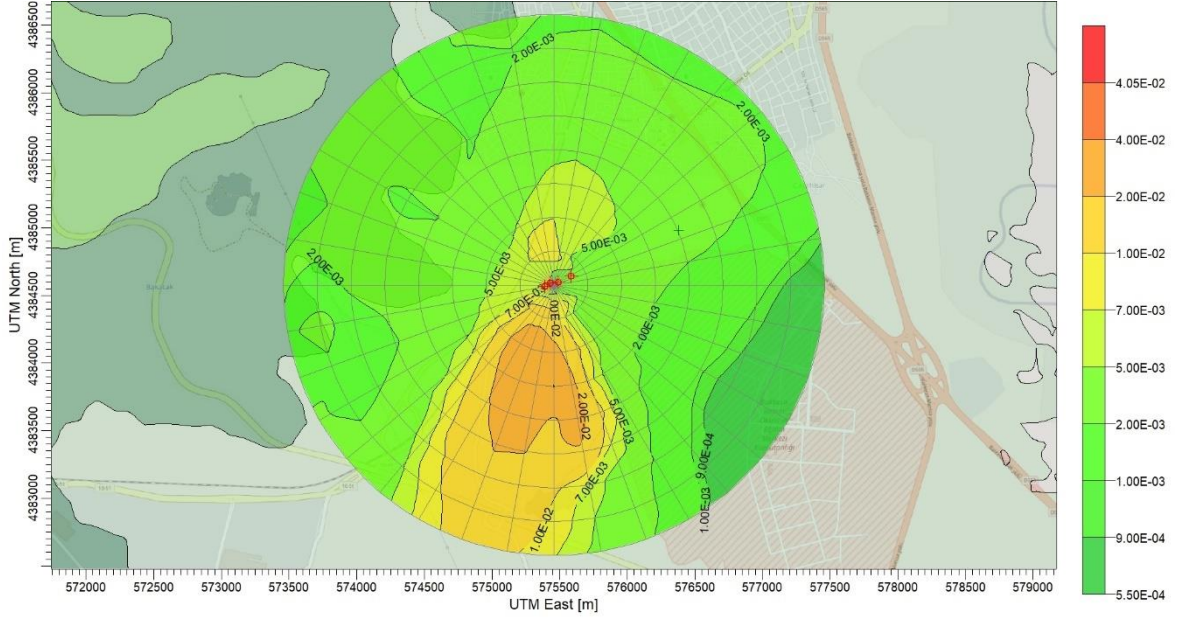
noktalarını aldığı kronik risk değerleri Tablo 4.16’da yer verilirken, dağılım haritaları Şekil 4.25 ve Şekil 4.26’da gösterilmiştir.

Tablo 4.16: Kronik risk tablosu.

Çalışma Alanı	Sınıflandırma	WRF	Lokal İstasyon
4 km	En yüksek	0,0345	0,0405
4 km	Ortalama	0,0040	0,0032
4 km	Minimum	0,0008	0,0006



Şekil 4.25: AERMOD ve WRF modeli kronik risk dağılımı.



Şekil 4.26: AERMOD ve lokal istasyon kronik risk dağılımı.

Kanser, akut ve kronik risk sonuçlarının modellenmiş haritaları incelendiğinde, AERMOD ve ADMS kullanılarak yapılan PM_{10} ve çöken toz model dağılım sonuçları, özellikle yıllık zaman dilimindeki modeller ile benzer bir dağılım göstermiştir. Bölgede kuzeyli rüzgarların hakim olmasından dolayı işletmenin güney bölgesinin bulunduğu alanlarda oluşabilecek kanser, akut ve kronik risk oranı diğer bölgelere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Lokal istasyon ve WRF kullanılarak yapılan hava kalitesi modelleri arasında farklılıklar bulunmaktadır ama çıkan sonuçlar birbirlerine yakın değerler verdiği görülmüştür.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; farklı meteorolojik modeller ile hava kalitesi modellerini kullanarak bölge için en uygun model ile veri setini tespit ederek gerçeğe en yakın sonuçları elde etmek ve tesisin oluşturabileceği sağlık etkisini tespit etmek üzerine hazırlanmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında, WRF modeli sonuçları ile çalıştırılan hava kalitesi modelleri daha iyi sonuç verirken, HKİİ verileri ile yapılan korelasyon analizine göre ADMS modeli kısa vadeli tahminlerde, AERMOD modeli uzun vadeli tahminlerde daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Sağlık riski analizi için kullanılan HARP modeli sonuçları USEPA'nın sınır değerleri ile kıyaslandığında kanser riski tehlikesi oluşturabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Hava kalitesi modelleri için kullanılan; lokal istasyon verisi ile AERMET ve uydu verisi ile kullanılan WRF karşılaştırıldığında WRF'in daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bunun

en büyük nedeni; WRF modelinin çalışma alanını seçebilme, genişletebilme ve ayarlanabilir çözünürlük gibi özelliklerinin yanı sıra yoğun bir meteorolojik veri setine sahip olmasının getirdiği ayrıcalıklarla beraber daha iyi sonuç verirken, AERMET ise sınırlı çalışma imkanının yanı sıra model için temin edilen istasyon verilerinde eksik veri olması, kalibrasyon ve konumu dolayısıyla ölçümleyebildiği verilerde farklılıklar meydana gelebilmektedir. Korelasyon analizi sonuçları incelendiğinde; WRF, lokal istasyon kullanılarak yapılan hava kalitesi dağılım modellerinde daha anlamlı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Hava kalitesi dağılım modelleri olan AERMOD ve ADMS modeli sonuçları incelendiğinde her iki modelinde kirletici dağılımlarının işletmenin güney bölgesinde daha yoğun olduğu görülmüştür. Bunun sebebi; Balıkesir bölgesinin hakim rüzgar yönünün kuzey rüzgarları olmasıdır. İki model arasındaki sonuçlar karşılaştırıldığında, PM₁₀ ve çöken toz kirliliğinin özellikle yıllık zaman diliminde benzer dağılımlar verdiği görülürken, iki model arasındaki sonuçlar kıyaslandığında aralarında farklılıklar olsa da genel olarak yakın değerler seyretmiştir. Bunun sebebi olarak; ADMS modelinin topoğrafya verisi için Google Earth ile temin edilmesi, kaynak işleme, veri temini ve model özellikleri arasındaki bazı farklılıklara sahip olması olarak gösterilebilir. Çoğunlukla yıllık tahmin verilerinde WRF düşük sonuçlar verirken, lokal istasyon verileri daha yüksek sonuçlar vermiştir. Bunun sebebi olarak; lokal istasyon verilerinde sakin havanın (0 m/s) fazla olması, kirliliğin dağılmasını olumsuz yönde etkilediği için yıllık zamanda kirliliğin çalışma alanına yakın alıcı noktalarında daha yüksek değerler seyretmiştir. WRF için ise sakin hava koşullarının olmadığı görülürken, yıllık kirletici dağılımları çalışma alanında daha az, 24 saatlik zaman aralığında ise lokal istasyon değerleri ile yakın değerler vermiştir. Korelasyon analizi sonuçları incelendiğinde, ADMS modeli saatlik periyotta hem Bahçelievler hem Merkez istasyonlarında AERMOD modelinden daha anlamlı sonuç verirken, günlük periyotta AERMOD modeli daha anlamlı sonuç vermiştir.

Çalışma alanının merkezinden 4 km çapında bir mesafede çalıştırılan model ile kanser, akut ve kronik risk analizi için yapılan sonuçlar HARP modeli aracılığı ile incelenmiştir. İki farklı meteorolojik model kullanılarak hazırlanan sonuçlara göre hem lokal veriler kullanan AERMET hem de uydu verileri kullanan WRF tabanlı hava kalitesi model sonuçlarında akut ve kronik riskler ihmal edilebilir düzeyde olurken, kanser riski sonuçlarında USEPA'nın belirlediği standartların üstünde değerler gösterdiği görülmüştür.

6. KAYNAKLAR

- Abu-Allaban, M. and Abu-Qudais, H. (2011). Impact assessment of ambient air quality by cement industry: A case study in Jordan. *Aerosol and Air Quality Research*, 11 (7), 802-810, doi.org/10.4209/aaqr.2011.07.0090.
- Adalı, M. K. (1996). *Trabzon 'daki hava kirliliği ile meteorolojik koşullar arasındaki ilişkinin incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 57861).
- Adeniran, J. A., Yusuf, R. O., Fakinle, B. S. and Sonibare, J. A. (2019). Air quality assessment and modelling of pollutants emission from a major cement plant complex in Nigeria. *Atmospheric Pollution Research*, 10 (1), 257-266.
- Afzali, A., Rashid, M., Afzali, M. and Younesi, V. (2017). Prediction of air pollutants concentrations from multiple sources using AERMOD coupled with WRF prognostic model. *Journal of Cleaner Production*, 166, 1216-1225, doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.196.
- Aggarwal, A., Haritash, D. A. K. and Kansal, G. (2014). Air pollution modelling: A review. *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science*, Volume, (02).
- Bai, L., Wang, J., Ma, X. and Lu, H. (2018). Air pollution forecasts: An overview. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15 (4), 780, doi.org/10.3390/ijerph15040780.
- Balıkesir Valiliği. (2021). Balıkesir Valiliği bölge ve ilçe verileri. <http://www.balikesir.gov.tr/ilcelerimiz>. Erişim tarihi: 30.12.2021.
- Bernstein, J. A., Alexis, N., Barnes, C., Bernstein, I. L., Nel, A., Peden, D., et al. (2004). Health effects of air pollution. *Journal of allergy and clinical immunology*, 114 (5), 1116-1123, doi.org/10.1016/j.jaci.2004.08.030.
- Brashers, B. and Emery, C. (2021). The Mesoscale Model Interface Program (MMIF) version 3.4.3. https://gaftp.epa.gov/Air/aqmg/SCRAM/models/related/mmif/MMIFv3.4.2_Users_Manual.pdf. Erişim tarihi: 28.12.2021.
- CalEPA. (2015). User manual for The Hotspots Analysis and Reporting Program Air Dispersion Modeling and Risk Assessment Tool Version 2. California Environmental Protection Agency.
- Carruthers, D. J., McHugh, C. A., Vanvey, E., Seaton, M. D. and Solazzo, E. (2009).

- Comparison of ADMS and AERMOD meteorological preprocessor and dispersion algorithms. *Proceedings of Air & Waste Management Association, Air Quality Models: Next Generation of Models*, 28-30.
- CERC. (2016). ADMS 5 Atmospheric Dispersion Modelling System user guide. https://www.cerc.co.uk/environmental-software/assets/data/doc_userguides/CERC_ADMS_5_2_User_Guide.pdf. Erişim tarihi: 18.12.2021.
- Cichowicz, R., Wielgosiński, G. and Fetter, W. (2020). Effect of wind speed on the level of particulate matter PM10 concentration in atmospheric air during winter season in vicinity of large combustion plant. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 77, 35-48, doi.org/10.1007/s10874-020-09401-w.
- Çıldır, İ. (2021). *Balıkesir’de hava kirliliği seviyelerinin meteorolojik parametrelere bağlı olarak solunum yolu hastalıkları üzerindenki etkilerinin incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 670356).
- ÇŞB (2014). Çimento Fabrikası Çevresel Etki Değerlendirme Raporu. Çevre Ve Şehircilik Bakanlığı Balıkesir İl Müdürlüğü. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Ankara.
- ÇŞB (2021). Balıkesir ilimiz hakkında. <https://balikesir.csb.gov.tr/ilimiz-hakkinda-i-599>. Erişim tarihi: 30.12.2021.
- ÇŞB. (2020). Balıkesir ili temiz hava eylem planı. https://webdosya.csb.gov.tr/db/balikesir/menu/theop-son-26_20200310014921.pdf Erişim tarihi: 18.12.2021.
- Demirarslan, K. O. (2012). *Kocaeli ili Körfez İlçesi’nde hava kirletici kaynaklarının ve hava kalitesi seviyesinin belirlenmesi* (Doktora Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No.323156).
- Demirci, E. and Cuhadaroglu, B. (2000). Statistical analysis of wind circulation and air pollution in urban Trabzon. *Energy and buildings*, 31 (1), 49-53, doi.org/10.1016/S0378-7788(99)00002-X.
- Donoghue, A. M. and Coffey, P. S. (2014). Health risk assessments for alumina refineries. *American College of Occupational and Environmental Medicine*, 56 (5), 18-22, doi/10.1097/JOM.0000000000000011.
- EANET. (2010). Technical manual on dry deposition flux estimation in East Asia. <https://www.eanet.asia/wp-content/uploads/2019/04/techdry.pdf>. Erişim tarihi:

25.03.2022.

- Enzhong, Z., Yungling, Y., Xiaoyan, D., Yongsheng, Y., Dongge, N. and Jufei, H. (2015). Analysis of meteorological causes of serious air pollution in Xingtai city based on inversion layer. *Meteorological & Environmental Research*, 6(7).
- Erdun, H., Öztürk, A., Çapraz, Ö., Toros, H., Dursun, S. and Deniz, A. (2015). Spatial variation of PM10 in Turkey. In *7th Atmospheric Sciences Symposium, Istanbul, Turkey* (pp. 311-323).
- Fang, G. C., Chang, S. C., Chen, Y. C. and Zhuang, Y. J. (2014). Measuring metallic elements of total suspended particulates (TSPs), dry deposition flux, and dry deposition velocity for seasonal variation in central Taiwan. *Atmospheric Research*, 143, 107-117, doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.02.002.
- Ferreira-Baptista, L. and De Miguel, E. (2005). Geochemistry and risk assessment of street dust in Luanda, Angola: a tropical urban environment. *Atmospheric environment*, 39 (25), 4501-4512, doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.03.026.
- Fiori, J. M. and Meyerhoff, R. D. (2002). Extending the threshold of regulation concept: de minimis limits for carcinogens and mutagens. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 35 (2), 209–216, doi.org/10.1006/rtph.2002.1534.
- Google. (2022). Çalışma alanının işletme konumu. Erişim adresi: <https://earth.google.com/web>. Erişim tarihi: 06.04.2022
- Grosch, T. G. and Lee, R. F. (1998). Sensitivity of the AERMOD air quality model to the selection of land use parameters. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 37, 10, doi.org/10.2495/AIR990771.
- Gulia, S., Nagendra, S. S., Khare, M. and Khanna, I. (2015). Urban air quality management- A review. *Atmospheric Pollution Research*, 6 (2), 286-304, doi.org/10.5094/APR.2015.033.
- Handbook of Environmental Engineering (2004). *Air Pollution Control Engineering* (Vol 1, pp. 157-165). Totowa, NJ: Humana press.
- Hanna, S. R., Egan, B. A., Purdum, J. and Wagler, J. (2001). Evaluation of the ADMS, AERMOD, and ISC3 dispersion models with the OPTEX, Duke Forest, Kincaid, Indianapolis and Lovett field datasets. *International Journal of Environment and Pollution*, 16 (1-6), 301-314.
- He, J., Gong, S., Yu, Y., Yu, L., Wu, L., Mao, H., et al. (2017). Air pollution characteristics and their relation to meteorological conditions during 2014–2015 in major Chinese cities. *Environmental pollution*, 223, 484-496,

- doi.org/10.1016/j.envpol.2017.01.050.
- Igri, P. M., Vondou, D. A. and Kamga, F. M. (2011). Case study of pollutants concentration sensitivity to meteorological fields and land use parameters over Douala (Cameroon) using AERMOD dispersion model. *Atmosphere*, 2 (4), 715-741, doi.org/10.3390/atmos2040715.
- Janjic, Z.I. (1997). Advection scheme for passive substances in the NCEP Eta Model. *Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modeling*, 3, 14.
- Johnson, T., Liu, F. and Newfarmer, R. S. (1997). *Clear water, blue skies: China's environment in the new century* (Vol. 2). World Bank Publications.
- Justin, T. J. L. and Rashid, M. Y. M. (2006). The sensitivity of Harp model on atmospheric boundary mixing heights. *International Conference on Natural Resources Engineering and Technology*, 330-337.
- Kafadar, M. (2015). *COPERT4 modeliyle hesaplanan karayolları emisyonlarının duyarlılığının İstanbul hava kalitesine etkisinin WRF/CMAQ model sistemiyle belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No.418528).
- Kalhor, M. and Bajoghli, M. (2017). Comparison of AERMOD, ADMS and ISC3 for incomplete upper air meteorological data (case study: Steel plant). *Atmospheric pollution research*, 8 (6), 1203-1208, doi.org/10.1016/j.apr.2017.06.001.
- Karaca, F., Kumisbek, A., Inglezakis, V. J., Azat, S., Zhakiyenova, A., Ormanova, G. and Guney, M. (2021). DiMIZA: A dispersion modeling based impact zone assessment of mercury (Hg) emissions from coal-fired power plants and risk evaluation for inhalation exposure. *Engineering Reports*, 3 (7), doi.org/10.1002/eng2.12357.
- Karadavut, C. (2014). *WRF ve ALARO sayısal hava tahmin modelleri için verifikasyon sonuçlarının karşılaştırılması* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No.389172).
- Karatzas, K. D. and Kaltsatos, S. (2007). Air pollution modelling with the aid of computational intelligence methods in Thessaloniki, Greece. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 15 (10), 1310-1319, doi.org/10.1016/j.simpat.2007.09.005.
- Karpuzcu, M. (2012). *Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü*. Vol. 28. Kubbealtı Yayıncılık.
- Katsouyanni, K., Pantazopoulou, A., Touloumi, G., Tselepidaki, I., Moustris, K., Asimakopulos, D., et al. (1993). Evidence for interaction between air pollution and high temperature in the causation of excess mortality. *Archives of Environmental Health: An International Journal*, 48 (4), 235-242,

- doi.org/10.1080/00039896.1993.9940365.
- Kurt-Karakus, P. B. (2012). Determination of heavy metals in indoor dust from Istanbul, Turkey: Estimation of the health risk. *Environmental International*, 50, (47-55), doi.org/10.1016/j.envint.2012.09.011.
- Kültür ve Turizm Bakanlığı (2021). Balıkesir'in Fiziki Özellikleri. <https://balikesir.ktb.gov.tr/TR-65836/fiziki-ozellikler.html>. Erişim tarihi: 30.12.2021.
- Lee, H. D., Yoo, J. W., Kang, M. K., Kang, J. S., Jung, J. H. and Oh, K. J. (2014). Evaluation of concentrations and source contribution of PM₁₀ and SO₂ emitted from industrial complexes in Ulsan, Korea: Interfacing of the WRF-CALPUFF modeling tools. *Atmospheric Pollution Research*, 5 (4), 664-676, doi.org/10.5094/APR.2014.076.
- Liu, W. X., Shen, L. F., Liu, J. W., Wang, Y. W. and Li, S. R. (2007). Uptake of toxic heavy metals by rice (*Oryza sativa* L.) cultivated in the agricultural soil near Zhengzhou city, People's Republic of China. *Bull Environ Contam Toxicol*, 79, 209-213, doi.org/10.1007/s00128-007-9164-0.
- Makri, A. and Stilianakis, N. I. (2008). Vulnerability to air pollution health effects. *International journal of hygiene and environmental health*, 211 (3-4), 326-336, doi.org/10.1016/j.ijheh.2007.06.005.
- Map Generator. (2022). Üç boyutlu model pafta haritası görselleştirme programı. Erişim adresi: <https://www.3d-map-generator.com>. Erişim tarihi: 06.04.2022.
- Mat, B. (2020). *Balıkesir İlinde süt sığırcılığı yapan işletmelerin teknik ve sosyo ekonomik analizi ile rekabet güçlerine etki eden faktörlerin araştırılması* (Doktora Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 635262).
- Melo, A. M. V., Santos, J. M., Mavroidis, I. and Junior N. C. R. (2012). Modelling of odour dispersion around a pig farm building complex using AERMOD and CALPUFF. Comparison with wind tunnel results. *Building and Environment*, 56, 8-20, doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.02.017.
- MGM. (2020). Hava kalitesi – istasyon veri indirme. https://sim.csb.gov.tr/STN/STN_Report/StationDataDownloadNew. Erişim tarihi: 09.06.2020.
- MGM. (2021). Balıkesir ilinin iklim durumu. https://izmir.mgm.gov.tr/FILES/iklim/balikesir_iklim.pdf. Erişim tarihi: 30.12.2021.

- Mohan, M., Bhati, S., Sreenivas, A. and Marrapu P. (2011). Performance evaluation of AERMOD and ADMS-urban for total suspended particulate matter concentrations in megacity Delhi. *Aerosol and Air Quality Research*, 11 (7), 883-894, doi.org/10.4209/aaqr.2011.05.0065.
- Mokhtar, M. M., Hassim, M. H. and Taib, R. M. (2014). Health risk assessment of emissions from a coal-fired power plant using AERMOD modeling. *Process Safety and Environmental Protection*, 92 (5), 476-485, doi.org/10.1016/j.psep.2014.05.008.
- Mutlu, A. (2019). Hava Kalitesi ve Meteoroloji: Korelasyon, Trend ve Epizot Analizleri. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 9 (4), 724-741, doi.org/10.17714/gumusfenbil.563848.
- Mutlu, A. (2020). Air quality impact of particulate matter (PM10) releases from an industrial source. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, 547, doi.org/10.1007/s10661-020-08508-7.
- Mutlu, A. and Bayraktar, Ö. M. (2021). Urban scale air quality analysis due to coal-based residential heating. *Air Quality, Atmosphere & Health*. 14, 1487–1503 10.1007/s11869-021-01063-1.
- Mutlu, A., Lee, B. K., Park, G. H., Yu, B. G. and Lee, C. H. (2012). Long-term concentrations of airborne cadmium in metropolitan cities in Korea and potential health risks. *Atmospheric Environment*, 47, 164-173, doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.11.019.
- NCEP. (2015). Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory, doi.org/10.5065/D65Q4T4Z.
- NOAA. (2020). The Atmosphere. https://www.weather.gov/jetstream/atmos_intro Erişim tarihi: 18.07.2020.
- O'Shaughnessy, P. T. and Altmaier, R. (2011). Use of AERMOD to determine a hydrogen sulfide emission factor for swine operations by inverse modeling. *Atmospheric Environment*, 45 (27), 4617-4625, doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.05.061.
- Özcan, S. (2011). *Turizm işletmelerinin karşılaştığı oldukları pazarlama sorunları Balıkesir ilinde bir uygulama* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 280610).
- Özçomak, D. (2016). *İzmir'deki hava kirliliğinin atmosferik modelleme yoluyla analizi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No.434242).
- Öztürk, E. (2021). *Zonguldak il merkezinde motorlu taşıt emisyonlarının modellenmesi*

- (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No.659825).
- Pratish, A., Kumar, A. and Hu, Z. (2018). Adverse effect of heavy metals (As, Pb, Hg, and Cr) on health and their bioremediation strategies: a review. *International Microbiology*, 21 (3), 97-106, doi.org/10.1007/s10123-018-0012-3.
- Raikwar, M. K., Kumar, P., Singh, M. and Singh, A. (2008). Toxic effect of heavy metals in livestock health. *Veterinary world*, 1 (1), 28.
- Roberts, S. (2004). Interactions between particulate air pollution and temperature in air pollution mortality time series studies. *Environmental research*, 96 (3), 328-337, doi.org/10.1016/j.envres.2004.01.015.
- Rogers, E., DiMego, G., Black, T., Ek, M., Ferrier, B., Gayno, G., et al. (2009, June). The NCEP North American Mesoscale Modeling System: Recent changes and future plans. *23rd Conference on Weather Analysis and Forecasting/19th Conference on Numerical Weather Prediction* (Vol. 2). Omaha, USA.
- Sadanaga, Y., Matsumoto, J. and Kajii, Y. (2003). Photochemical reactions in the urban air: Recent understandings of radical chemistry. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 4 (1), 85–104, doi.org/10.1016/S1389-5567(03)00006-6.
- Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği. (2014, 20 Aralık). *Resmi Gazete* (Sayı: 29211). Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/12/20141220-2.htm>.
- Saxena, P. and Naik, V. (2019). *Air pollution: Sources, impacts and controls*. Cabi, Boston, USA.
- Seangkiatiyuth, K., Surapipith, V., Tantrakarnapa, K. and Lothongkum, A. W. (2011). Application of the AERMOD modeling system for environmental impact assessment of NO₂ emissions from a cement complex. *Journal of Environmental Sciences*, 23 (6), 931–940, doi.org/10.1016/S1001-0742(10)60499-8.
- Sheppard, L., Slaughter, J. C., Schildcrout, J., Liu, L. S. and Lumley, T. (2005). Exposure and measurement contributions to estimates of acute air pollution effects. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 15 (4), 366-376, doi.org/10.1038/sj.jea.7500413.
- Shvahr, N and Komisarenko, T. (2020). Research of new methods for quality air control after massive explosions in the open mine industry. *The International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters*,

- 166 (6), doi.org/10.1051/e3sconf/202016602007.
- Sigurðsson, H. (1982). Volcanic pollution and climate: The 1783 Laki eruption. *EOS, Transactions American Geophysical Union*, 63 (32), 601-602, doi.org/10.1029/EO063i032p00601.
- Šotić, A. and Rajić, R. (2015). The Review of the Definition of Risk. *Special Issue 2015 - Paper selected from International Conference in Applied Protection and Its Trends*, 3 (3),17-26.
- Şahin, C. (1987). Hava ve hava kirliliğini etkileyen doğal çevre faktörleri. *Atatürk Kültür Dil ve Tarih Yüksek Kurumu, Coğrafya Araştırmaları Dergisi*, 1 (1), 25–47.
- Şahin, F. (1994). *İstanbul'da bazı hava kirliliği parametrelerinin meteorolojik parametrelerle ilişkisi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 39770).
- Tağıl, Ş. (2007). Balıkesir’de hava kirliliğinin solunum yolu hastalıklarının mekansal dağılışı üzerine etkisini anlamada jeo-istatistik teknikler. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 5 (1), 37-56, doi.org/10.1501/Cogbil_0000000070.
- Tecer, L. H. (2009). A factor analysis study: Air pollution, meteorology, and hospital admissions for respiratory diseases. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 91 (7), 1399-1411, doi.org/10.1080/02772240902732316.
- Tiwari, S., Bisht, D. S., Srivastava, A. K., Pipal, A. S., Taneja, A., Srivastava, M. K. and Attri, S. D. (2014). Variability in atmospheric particulates and meteorological effects on their mass concentrations over Delhi, India. *Atmospheric research*, 145, 45-56, doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.03.027.
- Toros, H. (2000). *İstanbul'da asit yağışları kaynakları ve etkileri* (Doktora Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 100835).
- Toxikos (2003). Health risk and toxicological assessment of emissions from the upgraded Aloa Pinjarra Alumina Refinery. R. Drew, Toxikos Pty Ltd.
- TÜİK. (2021). Adrese dayalı nüfus kayıt istatistikleri. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2020-37210>. Erişim tarihi: 18.12.2021.
- UCAR. (2009). WRF online tutorial. <https://www2.mmm.ucar.edu/wrf/OnLineTutorial>. Erişim tarihi: 30.12.2021.
- UCAR. (2017). WRF user’s guide for Weather Research and Forecasting. http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_V3/user_guide_V3.9/AR

- WUsersGuideV3.9.pdf. Erişim tarihi: 30.12.2021.
- Ulusoy, İ., Şahin, S. ve Toros, H. (2015). Meteorolojik atmosferik sayısal model ile meteorolojik verilerinin elde edilmesi ve dağılım modellerinde kullanılması. 6. *Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu*, 59, 621-629.
- USEPA. (1989). Risk assessment guidance for superfund volume I human health evaluation manual (Part A). https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/rags_a.pdf. Erişim tarihi: 02.01.2022.
- USEPA. (2001). Risk Assessment Guidance for Superfund: Volume I Human Health Evaluation Manual (Part D, Standardized Planning, Reporting, and Review of Superfund Risk Assessments). <https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-03/documents/175137.pdf>. Erişim tarihi: 25.03.2022
- USEPA. (2005). Guidelines for carcinogen risk assessment. https://www.epa.gov/sites/default/files/2013-09/documents/cancer_guidelines_final_3-25-05.pdf Agency. Erişim tarihi: 24.01.2022.
- USEPA. (2009a). AERMOD Implementation Guide, US Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, March.2009, Research Triangle Park, North Carolina. USA.
- USEPA. (2009b). Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part F, Supplemental Guidance for Inhalation Risk Assessment). https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/partf_200901_final.pdf. Erişim tarihi: 24.03.2022.
- USEPA. (2016). Criteria Air Pollutants. Alıntı adresi: <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants>. Erişim tarihi: 03.08.2020.
- USEPA. (2017). Revisions to the Guideline on Air Quality Models: Enhancements to the AERMOD Dispersion Modeling System and Incorporation of Approaches To Address Ozone and Fine Particulate Matter.
- USEPA. (2018a). Guidance on the use of the Mesoscale Interface Program (MMIF) for AERMOD applications. U.S. Environmental Protection Agency. 5182-5235.
- USEPA. (2018b) User's Guide for the AERMOD Terrain Preprocessor (AERMAP). <https://ntrl.ntis.gov/NTRL/dashboard/searchResults/titleDetail/PB2006104821.xhtml#>. Erişim tarihi: 24.01.2022.
- USEPA. (2019). User's guide for the AERMOD meteorological preprocessor (AERMET). https://gaftp.epa.gov/Air/aqmg/SCRAM/models/met/aermet/aermet_userguide.pdf.

- Erişim tarihi: 24.01.2022.
- USEPA. (2021). User's guide for the AMS/EPA regulatory model (AERMOD). U.S. https://gaftp.epa.gov/Air/aqmg/SCRAM/models/preferred/aermod/aermod_userguide.pdf. Erişim tarihi: 24.01.2022.
- Wehner, B., Birmili, W., Gnauk, T. and Wiedensohler, A. (2002). Particle number size distributions in a street canyon and their transformation into the urban-air background: measurements and a simple model study, *Atmospheric Environment*, 36 (13), 2215–2223, doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00174-7.
- WHO. (2000). Quantification of the health effects of exposure to air pollution. https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0011/112160/E74256.pdf. Erişim tarihi: 24.01.2022.
- WHO. (2006). *Air quality guidelines: global update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide*. World Health Organization.
- Wilson, R. and Spengler, J. D. (1996) *Particles in our air: concentrations and health effects*. United States.
- Wong, C. M., Vichit-Vadakan, N., Kan, H. and Qian, Z. (2008). Public Health and Air Pollution in Asia (PAPA): a multicity study of short-term effects of air pollution on mortality. *Environmental health perspectives*, 116 (9), 1195-1202, doi.org/10.1289/ehp.11257.
- Zhao, X., Huang, S., Wang, J., Kaiser, S. and Han, X. (2020). The impacts of air pollution on human and natural capital in China: A look from a provincial perspective. *Ecological Indicators*, 118, 106759, doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106759.
- Zheng, N., Liu, J., Wang, Q. and Liang, Z. (2010). Health risk assessment of heavy metal exposure to street dust in the zinc smelting district, Northeast of China. *Science of the total environment*, 408 (4), 726-733, doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.10.075.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Ömer Mert BAYRAKTAR

Doğum tarihi ve yeri : 06.10.1995 – Üsküdar/İstanbul

e-posta : mertbayraktar585@gmail.com

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Çevre Mühendisliği	2019-2022
Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Çevre Mühendisliği	2013-2019
Lise	Beykoz Anadolu Lisesi	2009-2013