



T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

NİĞDE İL MERKEZİNDE EVSEL ISINMA KAYNAKLI EMİSYONLARIN
AERMOD VIEW HAVA KALİTESİ MODELİ KULLANILARAK İNCELENMESİ

MUSTAFA TEL

Eylül 2019

T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

NİĞDE İL MERKEZİNDE EVSEL ISINMA KAYNAKLI EMİSYONLARIN
AERMOD VIEW HAVA KALİTESİ MODELİ KULLANILARAK İNCELENMESİ

MUSTAFA TEL

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Prof. Dr. Neslihan DOĞAN SAĞLAMTİMUR

Eylül 2019

Mustafa TEL tarafından **Prof. Dr. Neslihan DOĞAN SAĞLAMTİMUR** danışmanlığında hazırlanan “**Niğde İl Merkezinde Eysel Isınma Kaynaklı Emisyonların AERMOD View Hava Kalitesi Modeli Kullanılarak İncelenmesi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Çevre Mühendisliği** Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Başkan :Prof. Dr. Gülen GÜLLÜ (Hacettepe Üniversitesi)



Üye :Prof. Dr. Neslihan DOĞAN SAĞLAMTİMUR (Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi)



Üye :Prof. Dr. Fehiman ÇİNER (Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi)

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/....../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/....../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

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

Prof. Dr. Murat BARUT
MÜDÜR

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Mustafa TEL



ÖZET

NİĞDE İL MERKEZİNDE EVSEL ISINMA KAYNAKLI EMİSYONLARIN AERMOD VIEW HAVA KALİTESİ MODELİ KULLANILARAK İNCELENMESİ

TEL, Mustafa
Ömer Halisdemir Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Neslihan DOĞAN SAĞLAMTİMUR

Eylül 2019, 78 sayfa

Niğde il merkezindeki insanların yaşam kalitesi soludukları hava kalitesi ile doğrudan ilişkilidir. Hava kalitesinin insan sağlığı üzerinde çok önemli bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Olumsuz hava koşulları yaşam süresinin kısılmasına, yaşam kalitesinin düşmesine ve sağlık harcamalarının artmasına neden olan birçok akut ve kronik akciğer hastalığı için tetikleyici faktördür. Bu tezde, 2018 yılında Niğde il merkezindeki yerleşim birimlerindeki ısınmadan kaynaklı emisyonların hava kalitesine etkilerini ortaya koymak için Environmental Protection Agency (EPA) tarafından onaylanan AERMOD View yazılımı kullanılarak 4 temel kirletici parametre olan NO₂, SO₂, CO ve PM₁₀ için hava kalitesi model çalışması yapılmıştır. Bu modele göre 2018 ve 2028 senaryolarında Niğde il merkezinde hava kalitesinin memnun edici, hava kirliliğinin az riskli veya hiç risk teşkil etmiyor olduğu belirlenmiştir. Hava kalitesi dağılım modelleri ve özellikle bu tip bilgisayar destekli yazılımlar ile üretilen kirlilik haritaları, etki alanları ve etki türleri üzerine yapılan çalışmalar, yöneticilere ve karar vericilere - geleceğe yönelik karar vermelerinde- çok büyük görsel ve teknik imkanlar sunmaktadır.

Anahtar Sözcükler: Çevre, dağılım, hava kalitesi, AERMOD View, kirlilik, modelleme

SUMMARY

QUANTIFICATION OF RESIDENTAL HEATING EMISSIONS IN NIĞDE CITY BY USING AERMOD VIEW AIR QUALITY MODEL

TEL, Mustafa

Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Environment Engineering

Supervisor : Professor Dr. Neslihan DOĞAN SAĞLAMTİMUR

September 2019, 78 Pages

The quality of the residents' life in Niğde province is directly related to the air quality they breathe. Air quality is known to have a very important impact on human health. Adverse weather conditions are triggering factor in many acute and chronic lung diseases that reduce the time of life, quality of life and lead to the increase of health expenditures. In this thesis, air quality model study for 4 main parameters namely NO₂, SO₂, CO and PM₁₀ were carried out using AERMOD View software approved by Environmental Protection Agency (EPA) to determine the effects of residential heating emissions on air quality in Niğde (Turkey). According to this model, in 2018 and 2028 scenarios, it is determined that air quality in Niğde city center is satisfactory and air pollution is a low risk or not risky at all. Studies on air quality distribution models and especially pollution maps produced by this type of computer aided software, impact areas and types of impacts provide managers and decision makers with great visual and technical opportunities in their future decisions.

Keywords: Environment, distribution, air quality, AERMOD View, pollution, modelling

ÖN SÖZ

Yüksek lisans tez çalışması sürecinde bilgi ve yardımlarını esirgemeyen, akademik yönlendirme sağlayan danışman hocam, Prof. Dr. Neslihan DOĞAN SAĞLAMTİMUR'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Bu tezin jürisinde yer alan Prof. Dr. Gülen GÜLLÜ ve Prof. Dr. Fehiman ÇİNER'e çalışmada ilave ettikleri akademik yetkinlik ve katkılar, Meteoroloji Genel Müdürlüğü ve Niğde Belediyesi'ne veri temini imkanı sundukları için teşekkür ederim.

Hava, insanların kirletebildiği ama temizlenmesi çok zor bir ortamdır. Temiz ve kaliteli bir hava ortamı olmadan hiçbir canlı uzun süre yaşayamaz. Hava ortamındaki her türlü kirleticinin herhangi bir canlıya zarar verecek düzeyde olması hava kirliliği olarak tanımlanabilir. Özellikle şehir merkezlerindeki fosil yakıt kullanan araç trafiği kökenli, yoğun ve çok katlı yapılaşmadan dolayı hava sirkülasyonunun olmaması, yine fosil yakıtlı baca kökenli fabrikalar ve binalar hava kirliliğinin başlıca kaynaklarıdır. Günümüz teknolojisi ile kirliliğinin önceden tespitini yapmak ve olası etkilerini tespit etmek mümkündür. Bu tip teknolojilerin kullanılması, çok ciddi ekonomik yatırımların yapılmasını gerektirmektedir. Ancak, bilgisayar yazılımları ile daha ekonomik, güven aralığı çok yüksek, kullanıcı dostu model yazılımları yapmak mümkündür. Çevre Mühendisliği'nde kullanılan hava kalitesi dağılım modeli olan AERMOD View yazılımı ülkemizde birçok üniversite, resmi kurum ve özel sektör tarafından kullanılmaktadır. Bu tip model yazılımları, özellikle yöneticilere ve karar vericilere bilgisayar destekli yazılımlar ile üretilen kirlilik haritaları, etki alanları ve etki türleri konusunda geleceğe yönelik karar vermelerinde çok büyük görsel ve teknik imkanlar sunmaktadır.

Bu tezde, hava kirliliğine neden olan temel kirleticilerden SO₂, NO₂, CO ve PM₁₀ olası konsantrasyonları, etki alanları, etki mesafeleri, etki düzeyleri gibi birçok çevresel etkiyi önceden tahmin etmek için uluslararası kabul görmüş AERMOD View hava kalitesi dağılım model yazılımı ile Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi şehirlerinden olan Niğde'nin kent merkezinde evsel ısınma kaynaklı emisyonlar ilk kez akademik olarak ortaya konmuştur.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
ÖN SÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
SİMGE VE KISALTMALAR	xii
BÖLÜM I GİRİŞ	1
1.1 Genel Bilgiler.....	1
1.2 Önceki Çalışmalar.....	6
BÖLÜM II HAVA KİRLİLİĞİ, HAVA KALİTESİ, HAVA KALİTESİ MODELLEME VE AERMOD VIEW MODELİ.....	13
2.1 Hava Kirliliği	13
2.2 Hava Kalite İndeksi	14
2.3 Temel Kirletici Parametrelerin Tanımı ve Sağlık Etkileri.....	14
2.3.1 Azot oksit (NO _x).....	14
2.3.2 Kükürtdioksit (SO ₂).....	15
2.3.3 Karbon monoksit (CO)	15
2.3.4 Partikül madde (PM)	15
2.4 Hava Kalitesi Standartları.....	16
2.5 Atmosferik Dağılım ve Kirlilik Modellemesi.....	19
2.6 AERMOD Dağılım Modeli	23
2.7 AERMOD View Dağılım Modeli.....	25
2.7.1 AERMOD View hava kalitesi modeli verileri	26
2.7.2 AERMOD View emisyon kaynakları.....	26
2.7.3 AERMOD View alıcı noktalar	27
2.7.4 AERMOD View topoğrafya yapısı	28
2.7.5 AERMOD View meteorolojik veri setleri.....	28
2.7.6 AERMOD View kontrol paneli.....	29
2.7.7 AERMOD View model çalışma prensibi	30

2.7.8 AERMOD View model sonuçlarının genel gösterimi.....	31
BÖLÜM III MATERYAL VE METOT.....	33
3.1 Hava Kalitesi Dağılım Modeli Yapabilmek İçin Gerekli Tespitler	33
3.1.1 Model bölgesinin tespiti	33
3.1.2 Model bölgesine ait meteorolojik veriler.....	35
3.1.2.1 Modelde kullanılan 24 saatlik meteorolojik yüzey veri içeriği.....	35
3.1.2.2 Modelde kullanılan 00/12 saatlik meteoroloji anasondaj (yükseklik) veri içeriği.....	36
3.1.2.3 Modelde kullanılan meteorolojik veri düzenlemesine ait diğer parametreler	38
3.1.3 Model bölgesine ait koordinatlı topografik yükseklik verileri	41
3.1.4 Model bölgesine ait emisyon tipi, emisyon kaynakları, emisyon miktarı ve senaryoları	43
3.1.4.1 2018 yılı senaryosu.....	43
3.1.4.2 2028 yılı senaryosu.....	48
BÖLÜM IV BULGULAR VE TARTIŞMA	50
BÖLÜM V SONUÇLAR VE ÖNERİLER	64
5.1 Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler	67
KAYNAKLAR	69
ÖZ GEÇMİŞ	77
TEZ ÇALIŞMASINDAN ÜRETİLEN ESERLER	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Kirletici parametreler ve sağlık etkileri	16
Çizelge 2.2. EPA HKİ.....	17
Çizelge 2.3. Ulusal hava kalitesi değerleri kesme noktaları	17
Çizelge 2.4. Hava kalitesi parametrelerinin sınır değerleri	18
Çizelge 2.5. Tesis etki alanında ulusal hava kalitesi sınır değerleri	19
Çizelge 2.6. AERMOD ve CALPUFF modellerinin kıyaslanması	22
Çizelge 3.1. Niğde il merkezindeki mahallelerde doğalgaz kullanan konut sayıları.....	43
Çizelge 3.2. Birim adet konut için gerekli doğalgaz/kömür miktarı hesaplamaları	45
Çizelge 3.3. Kömür emisyon faktörleri	46
Çizelge 3.4. Doğalgaz emisyon faktörleri	46
Çizelge 3.5. Niğde il merkezinde evsel ısınma kaynaklı emisyonlar için AERMOD View hava kalitesi modelinde kullanılmak üzere 2018 yılı senaryosunun hesaplama tablosu	47
Çizelge 3.6. Niğde il merkezi nüfus ve konut sayıları.....	48
Çizelge 3.7. 2028 yılı senaryosunda kullanılan hesaplanmış konut sayısı	48
Çizelge 3.8. Niğde il merkezinde evsel ısınma kaynaklı emisyonlar için AERMOD View hava kalitesi modelinde kullanılmak üzere 2028 yılı senaryosunun hesaplama tablosu	49
Çizelge 4.1. AERMOD View hava kalitesi modeli 2018 ve 2028 yılı senaryo sonuçlarına göre Niğde il merkezinde evsel ısınma kaynaklı emisyonlar..	50
Çizelge 4.2. Niğde il merkezinde evsel ısınma kaynaklı hesaplanan toplam emisyonların özeti.....	51
Çizelge 4.3. Niğde il merkezinde evsel ısınma kaynaklı emisyonlar için AERMOD View hava kalitesi modeli kullanılarak oluşturulan 2018 ve 2028 yılı senaryolarının değerlendirilmesi.....	52
Çizelge 5.1. Ulusal hava kalitesi Niğde izleme istasyonunun 2018 yılı ortalama SO ₂ ve PM ₁₀ ölçüm değerleri	65

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. AERMOD View genel ekranı.....	26
Şekil 2.2. Emisyon kaynak türleri.....	27
Şekil 2.3 Alıcı (reseptör) kaynak noktaları	27
Şekil 2.4. Topografik veri seti örneği	28
Şekil 2.5. Meteorolojik verilerden elden edilen rüzgârgülü örneği	29
Şekil 2.6. Kontrol paneli örnek görüntüsü	29
Şekil 2.7. Gaussian formülü.....	30
Şekil 2.8. Hava ortamında kirletici maddenin dağılımı	31
Şekil 2.9. Hava kalitesi kirletici madde dağılım grafik örneği-1	32
Şekil 2.10. Hava kalitesi kirletici madde dağılım grafik örneği-2.....	32
Şekil 3.1. Niğde ili idari sınırları	33
Şekil 3.2. Hava kalitesi dağılım modeli çalışma alanı	34
Şekil 3.3. Saatlik meteorolojik yüzey veri seti içerik görüntüsü	36
Şekil 3.4. Meteorolojik anasonaj veri seti içerik görüntüsü	37
Şekil 3.5. Meteorolojik veri setlerinin format dönüşüm akım şeması	38
Şekil 3.6. Arazi yüzey tipleri ve yansımaya katsayı tipleri	38
Şekil 3.7. Yüzey yansımaya katsayıları.....	39
Şekil 3.8. Niğde il merkezi rüzgârgülü grafiği	40
Şekil 3.9. Niğde il merkezi rüzgâr hızlarına göre rüzgâr hızı sınıf frekansları.....	41
Şekil 3.10. Niğde il merkezi topografik harita görüntüsü-3D (sağda) ve Niğde il merkezi topografik veri seçimi (solda)	41
Şekil 3.11. Niğde il merkezi topografik harita görüntüsü.....	42
Şekil 4.1. Niğde il merkezinde AERMOD View hava kalitesi modeli kullanılarak oluşturulan 2018 yılı senaryosu evsel ısınma kaynaklı NO ₂ emisyon dağılımı	53
Şekil 4.2. Niğde il merkezinde AERMOD View hava kalitesi modeli kullanılarak oluşturulan 2028 yılı senaryosu evsel ısınma kaynaklı NO ₂ emisyon dağılımı	54

Şekil 4.3. Niğde il merkezinde AERMOD View hava kalitesi modeli kullanılarak oluşturulan 2018 yılı senaryosu evsel ısınma kaynaklı SO ₂ emisyon dağılımı	55
Şekil 4.4. Niğde il merkezinde AERMOD View hava kalitesi modeli kullanılarak oluşturulan 2028 yılı senaryosu evsel ısınma kaynaklı SO ₂ emisyon dağılımı	56
Şekil 4.5. Niğde il merkezinde AERMOD View hava kalitesi modeli kullanılarak oluşturulan 2018 yılı senaryosu evsel ısınma kaynaklı CO emisyon dağılımı	57
Şekil 4.6. Niğde il merkezinde AERMOD View hava kalitesi modeli kullanılarak oluşturulan 2028 yılı senaryosu evsel ısınma kaynaklı CO emisyon dağılımı	58
Şekil 4.7. Niğde il merkezinde AERMOD View hava kalitesi modeli kullanılarak oluşturulan 2018 yılı senaryosu evsel ısınma kaynaklı PM ₁₀ emisyon dağılımı	59
Şekil 4.8. Niğde il merkezinde AERMOD View hava kalitesi modeli kullanılarak oluşturulan 2028 yılı senaryosu evsel ısınma kaynaklı PM ₁₀ emisyon dağılımı	60
Şekil 4.9. Niğde il merkezinde AERMOD View hava kalitesi modeli kullanılarak oluşturulan 2018 ve 2028 yılı senaryolarının NO ₂ emisyonu dağılımı karşılaştırması	61
Şekil 4.10. Niğde il merkezinde AERMOD View hava kalitesi modeli kullanılarak oluşturulan 2018 ve 2028 yılı senaryolarının SO ₂ emisyonu dağılımı karşılaştırması	61
Şekil 4.11. Niğde il merkezinde AERMOD View hava kalitesi modeli kullanılarak oluşturulan 2018 ve 2028 yılı senaryolarının CO emisyonu dağılımı karşılaştırması	62
Şekil 4.12. Niğde il merkezinde AERMOD View hava kalitesi modeli kullanılarak oluşturulan 2018 ve 2028 yılı senaryolarının PM ₁₀ emisyonu dağılımı karşılaştırması	63

SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler

g/m^2-s	gram/metrekare-saniye
CO	Karbon monoksit
NO _x	Azot oksitler
NO ₂	Azot dioksit
SO ₂	Kükürt dioksit

Kısaltmalar

Kısaltmalar	Açıklama
AERMIC	Model Geliştirme Komitesi
AERMOD	Amerikan Meteoroloji Kurumu-Çevre Koruma Ajansı Düzenleyici Model
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
ÇED	Çevresel Etki Değerlendirmesi
HKDYY	Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği
HKİ	Hava Kalitesi İndeksi
ISCST3	The Industrial Source Complex Short Term Model Version 3
KVS	Kısa Vade Sınır
NAAQS	Tayland Ulusal Ortam Hava Kalitesi Standartları
NB	Niğde Belediyesi
PM	Partikül Madde
USEPA	Amerikan Çevre Koruma Kurumu (Ajansı)
UVS	Uzun Vade Sınır
YSK	Yer Seviyesi Konsantrasyonu

BÖLÜM I

GİRİŞ

1.1 Genel Bilgiler

Hava ortamında bulunan her türlü kirleticiler ve zararlı maddeler çok kısa zaman diliminde yaşam kalitesinin düşmesine, çevre sorunlarının artmasına, ekolojik ve doğal dengenin bozulmasına neden olmakta ve yarattığı tehlikeler ile tüm canlıları olumsuz etkilemektedir. Hızlı nüfus artışı, yaşlanan Dünya, her geçen gün artan enerji talebi, yapay zekâ ile gelişimini daha da hızlandıran endüstrileşme, yüksek yapılı şehir binaları ile hava kirliliği -başta insan sağlığı- olmak üzere diğer tüm canlılar üzerinde yıkıcı olumsuz etkiler yaratmaktadır.

Doğal atmosferin büyük bir kısmında insan aktivelerinin tetiklediği zararlı maddelerin üretimi sonucunda hava ortamında fiziksel ve kimyasal reaksiyonlar oluşur ve atmosfer kirlenir. Fosil kökenli yakıtlar/ürünlerin kullanımı ve kimyasal endüstrideki kirleticiler, hava kalitesinin bozulmasındaki en büyük etkenler olmuşlardır. Her geçen gün enerji talebinin artması, çok hızlı kara, hava ve deniz ulaşım aktiviteleri, yüksek yapılı şehirleşme, hava ortamındaki zararlı maddelerin miktarında hızlı artışa neden olmuştur.

Hava kirliliği, hava ortamındaki her türlü kirleticinin herhangi bir canlıya zarar verecek düzeyidir; kirleticiler doğal veya insan aktiviteleri sonucunda hava ortamına fiziksel ve kimyasal olarak karışabilirler. Hava ortamındaki maddeler katı, sıvı ve gaz halindedirler. Baca gibi noktasal, yollar gibi çizgisel emisyon kaynakları, vb. çeşitli kaynaklardan gelen her türlü maddeler hava ortamında karışırlar. Hava ortamında bilinen en yaygın ve tehlikeli kirleticiler kükürt dioksit (SO₂), azot oksit (NO_x), karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC) ve havada askıda duran katı partikül madde(PM)lerdir.

Hava kalitesi bir bölgedeki ekoloji, çevre ve halk sağlığını büyük ölçüde etkiler (Singh vd., 2012). Atmosferik sınır tabakasının daha iyi anlaşılması yönünde gelişmeler 1970'lerde başlamıştır (Wyngaard, 1988). Troposfer sınır tabakasının dikey yapısını ve önemli türbülans ölçeklerini ortaya çıkaran Deardorff (1972) tarafından yapılan nümerik

simülasyonlar bir dönüm noktası olmuştur. Dağılıma olayının anlaşılması laboratuvar deneyleri, sayısal simülasyonlar ve saha gözlemlerinden sonra geldi (Briggs, 1988, Lamb, 1982; Weil, 1988). Kararlı sınır tabakası için gelişmeler daha yavaş gerçekleşmiştir. 1980'lerin ortalarında yüzey tabaka dağılımı ve yüksek kaynaklar için yaklaşımlar konusunda sağlam bir teorik/deneysel çerçeve mevcuttu (Briggs, 1988, Cimorelli vd., 2005).

Atmosfer ortamında yüksek seviyelerde bulunan bir veya daha fazla kirleticinin neden olduğu hava kirliliğinin alıcı ortam üzerindeki etkilerini belirlemek ve kirletici konsantrasyonlarının yasal limit değerlerini aşıp aşmadığını izlemek için ölçüm, emisyon envanteri ve modelleme çalışmaları gibi çeşitli yöntemler kullanılır. Hava kirliliği ölçüm verileri, ulusal ve uluslararası yasal limit değerlerle karşılaştırma ve belirli kirleticilerin yasal limit değerlerini aşıp aşmadığının belirlenmesi açısından önemlidir. Öte yandan, emisyon envanterleri, evlerde ısınma, trafik ve sanayi gibi çeşitli kirletici kaynaklardan atmosfere yayılan bireysel emisyon miktarlarının belirlenmesi ve bu kirletici kaynaklar arasında karşılaştırma yapılması açısından faydalı araçlardır. Hava kalitesi modellemeleri, atmosferdeki kirleticilerin konsantrasyonlarını tahmin etmek ve dağılımını belirlemek için önemlidir (Demirarslan ve Doğruparmak, 2016).

Emisyon envanteri ve dağılım modellemesi, hava kirliliğine maruz kalan kişilerin sayısını belirlemek ve arazi kullanım planını geliştirmek amacıyla, belirli bir alanında tespit edilen kirleticilerin zemin seviyesi konsantrasyonunu tahmin etmek için sıklıkla kullanılmaktadır (Jimoda vd., 2015). Emisyon izni, çevresel etki değerlendirme ve hava ortamındaki kirleticilerin izleme çalışmaları için resmi olarak 1970li yıllarda Amerikan Çevre Koruma Örgütü USEPA (United States Environmental Protection Agency) tarafından hava kalitesi modelleri geliştirilmeye başlanmıştır.

Hava kalitesi modellemesi emisyonlar, meteoroloji, atmosferik konsantrasyon, birikim ve diğer faktörler arasındaki nedensel ilişkiyi tanımlamak için kullanılan sayısal bir araçtır. Genel olarak hava kirliliği ölçümü, belirli zamanlarda belli yerlerde ortam konsantrasyonu ve birikim hakkında önemli nicel bilgiler verir. Hava kalitesi modellemesi, faktörler ve nedenlerin bir analizini içeren hava kalitesi probleminin daha kesin bir belirleyici tanımını verebilir. Basit bir ifadeyle modelleme, ölçülen girdilere

dayanarak ortamdaki hava kirliliği konsantrasyonunun matematiksel öngörüsüdür (Kishore, 2015).

Genel olarak hava kalitesi modelleri -matematiksel formüller kullanılarak- hava ortamındaki maddelerin bilgisayar ortamında fiziksel ve kimyasal davranışlarını öngörmektedir. Hava ortamındaki maddelerin fiziksel ve kimyasal süreçte nasıl bir dağılım yaptığı, modelin mantığı ve temelini oluşturmaktadır. Rüzgâr hızı ve yönü, sıcaklık, basınç, nem, yağış, bulutluluk gibi meteorolojik elemanlar ve emisyon kaynaklarının yeryüzündeki konumları hava ortamındaki maddelerin reaksiyonlarını değiştirdiği için hava kalitesi modelleri her geçen gün geliştirilerek dizayn edilmektedir. Çevre mevzuatı ile hava kalitesi yönetimi çok güçlü bir alt yapıya sahip olmuştur. Şehirlerin gelişme ve imar planlarında, fabrikaların kuruluş ve işleme aşamasında, bölgesel hava kalitesinin yönetiminde, havayı kirleten maddelerin kaynaklarının belirlenmesinde, hava kirliliğinin kontrolünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bölgesel hava kalitesi, bazen bir fabrika alanı bazen de büyükşehirlerin idari sınırlarını kapsamaktadır. Bu bağlamda hava kalitesinin artırılmasına yönelik etkili stratejiler geliştirilmektedir. Hava kalitesi yönergeleri, ulusal ve uluslararası hava kalitesinin standartları aşmaması için resmi izin süreçlerinde kullanılmakta ve gerektiğinde ek şartlar belirlenerek olası kirletici konsantrasyonunun tahmini için kullanılmaktadır. İnsan ve tüm canlıların kaliteli ve doğal ortamlarda sürdürülebilir bir hava kalitesi için bu tip modeller geliştirilmektedir.

Hava kalitesi dağılım modelleri, belirli bir yer ve zamanda, atmosferdeki hava kirletici konsantrasyonlarını tahmin etmek için kullanılır. Kirletici türlerine, dağılım yapısına ve kirleticinin insan sağlığı ve çevre üzerindeki potansiyel etkilerine göre çeşitli modeller mevcuttur.

Hava kalitesi modelleri, emisyon parametreleri, meteoroloji ve topografya gibi çok detaylı veri hazırlığı ve uzmanlık gerektiren model tipleridir. Bu modelleri yapan uzmanların çok iyi kurgu yapması ve güvenilir veriler kullanılması ile gerçeğe uygun tahminler yapılabilir. EPA tarafından kabul görmüş modeller, hava kalitesi çalışmalarında tercih edilmektedir. Hava kalitesinin korunması ve yönetiminde yapılan çalışmalarda daha kısa sürede karar verilmesi ve sürdürülebilir stratejilerin

oluşturulması, kirletici emisyon kaynaklarının ve miktarının tespit edilmesi, hava kalitesi standartlarında emisyonların yapılması ancak dağılım modelleri ile mümkündür.

Hava kalitesinin insan ve diğer tüm canlılar üzerindeki doğrudan etkisi nedeni ile hava kalitesi modelleri bilim insanlarından yoğun ilgi görmüştür. Emisyon kaynaklarından yayılan herhangi bir kirletici maddenin çevreye olan etkisini önceden tahmin etmek için hava kalitesi dağılım modelleri kullanılmaktadır. Özellikle model sonuçlarının doğruluk oranı ile kendini kabul ettiren hava kalitesi modelleri, USEPA tarafından sürekli olarak güncellenerek geliştirilmiştir. Bu modellerden olan kullanıcı dostu Industrial Source Complex Short Term (ISCST), 1989-1992 yılları arasında iyice geliştirilmiş, akademisyenler ve uzmanlar tarafından araştırma ve geliştirme projelerinde/yayınlarında kullanılmıştır.

Son yıllarda, kalite tahmini modellerini geliştirmek için çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Atmosferik dağılım modelleri, hava kirleticilerin kaynaklar etrafındaki zemin seviyesi konsantrasyonunu tahmin etmek için kullanılır (Singh vd., 2012). Gelişen teknoloji ile birlikte, hava kalitesi modellerinde -meteorolojik değerlendirmeleri yapabilmesi, topografik verileri süzebilmesi ve emisyon hesaplarındaki kullanıcı dostu ve birçok yeni alt yapısıyla- Amerikan Meteoroloji Kurumu Çevre Koruma Ajansı Düzenleyici Model (AERMOD) isimli modelin kullanılması 2000'li yıllarda USEPA tarafından önerilmiştir. AERMOD hava kalitesi modeli hala geliştirilmektedir; güncel sürümleri ile Dünyaca kabul görmüş ve çok yaygın olarak kullanılan bir model olmuştur.

Günümüzde kullanılan hava kalitesi model tipleri ve genel özellikleri şöyledir (Aydınlar vd., 2009);

- Yayılım veya dağılım modeli: Hava kalitesi yönergeleri kapsamında, resmi izin alma sürecinde, kirletici kaynağın bulunduğu coğrafi konumu itibari ile çevreye bıraktığı kirletici madde veya maddelerin miktarı öngörmek için kullanılmaktadır.
- Fotokimyasal model: Hava kalitesi yönergesi kapsamında değerlendirme, bütüncül ortamdaki çıkan hava ortamındaki maddelerin konsantrasyonlarının tahminini ve alansal bazda maddelerin reaktif ve inert davranışlarını ve miktarını öngörmekte kullanılmaktadır.

- Alıcı ortam (reseptör) modeli: Gözlemsel teknik olarak da bilinen bu tip modeller, yerinde ölçüm yapılarak, alıcı ortamdaki davranış ve miktarları öngörmek için kullanılmaktadır.

Saha çalışmaları ile elde edilen ölçüm sonuçları, hava kalitesi modelleri ile yapılan sonuçlar ile karşılaştırılmaktadır. Her iki tespit yöntemi akademik çalışmalarda ve resmi değerlendirmelerde kullanılmaktadır. Ancak fayda maliyet ve zaman kavramı bakımından hava kalitesi modelleri çok büyük avantaj sağlamaktadır. Her ölçüm ve model çalışmasında emisyon kaynağına, dağılım ortamına, emisyon miktarına ve meteorolojik veriye mutlaka ihtiyaç duyulmaktadır. Matematiksel modellerin üstün özelliklerinden biri de modelcinin isteyeceği herhangi bir zaman veya herhangi bir nokta için dağılım ortamındaki konsantrasyonun hesaplanabilmesidir. Bununla birlikte hava kalitesi modelleri hava ortamındaki maddelerin aerodinamik davranışlarını, ıslak, kuru ve toplam çökme miktar ve hızlarını çeşitli ve opsiyonlu algoritmalar kullanarak hesaplayabilmektedir.

Hava kalitesi modeli için altlık veri setleri şöyledir:

1. Emisyon verileri
 - a. Emisyon kaynağının tipi (Noktasal (baca gibi), alansal, çizgisel (yollar gibi), hacimsel (toprak yığınları gibi)
 - b. Emisyon türü (Örneğin noktasal kaynaktan çıkan PM_{10} , SO_2 , CO, koku gibi)
 - c. Emisyon değerleri (Miktarı, sıcaklığı, hızı gibi)
2. Topografik veriler
 - a. Model çalışma alanının koordinatlı x, y ve z değerleri
 - b. Emisyon kaynaklarının koordinatları
3. Meteorolojik veriler
 - a. 24 saatlik yüzey veya hissedilen 10 m yükseklikte ölçülen meteoroloji verileri (Rüzgâr hızı ve yönü, sıcaklık, nem, basınç, bulutluluk, bulut tavan yüksekliği, yağış)
 - b. Gece saat 00:00 ve gündüz 12:00 saatlerinde ölçülen anasondaj ve yükseklik (Bu veri setleri her 10 milibar (mb)'da değişen, yerden yükseklik, rüzgâr hızı ve yönü, sıcaklık, basınç ve nem verilerini içermektedir)

Bir model sonucunun, tüm yayılım alanlarını koordinatlı, tüm kirletici miktarını ve zaman dilimini aynı anda katmanlı olarak vermesi gerekmektedir. Konuma bağlı olarak bu işlemi gerçekleştirebilen bilgi sistemleri Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) olarak adlandırılır. Farklı sektörlerde kullanılan CBS'den, 1990'lı yılların başından itibaren çevre kalitesinin izlenmesi ve modellenmesi konularında yararlanılmaya başlanmıştır.

Hava kalitesi modelleri madde miktarı, topografya, emisyon miktarı ve meteorolojiyi temel almaktadır. Bu modeller, hava kalitesi yönetiminde (hava kirleticilerin kontrol stratejilerinde kullanılan) önemli rol oynamaktadır. Dağılım modellemesi -farklı yerlerdeki konsantrasyonları hesaplamak için- atmosferi, kimyasal ve fiziksel proseslerin dağılımını tanımlayan matematiksel denklemleri kullanır (Noorpoor ve Rahman, 2015). Hava kirleticilerin modellemesinin önemli olmasının birkaç nedeni vardır. Öncelikle, hava kirliliği standartlarının değerlendirilmesi çalışmaları sınırlıdır. Ayrıca, tüm endüstriyel alanlarda, değerlendirme ve izleme istasyonlarının ölçümü ve kurulumu mümkün değildir. Ölçüm yoluyla modelleme sonuçları değerlendirilebilir, hata ve belirsizlik azaltılabilir (Zou vd., 2009).

1.2 Önceki Çalışmalar

Hava kalitesi dağılım modeli kullanılarak yapılan çok sayıda resmi kurum çalışması, yüksek lisans ve doktora tezi, araştırma ve geliştirme projesi bulunmaktadır.

Dölek (2007) Çayırhan Termik Santrali'nin çevresel etkilerini belirlemek için emisyon envanteri hazırlamış ve kirletici dağılım çalışmaları yapmıştır. Bu çalışmada SO₂, NO_x ve PM₁₀'un zemin seviyesi konsantrasyonları, EPA onaylı dağılım modelleri (ISCST3 ve AERMOD) kullanılarak tahmin edilmiş ve ortam hava kirliliği ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. AERMOD tahminlerinin ISCST3 tahminlerinden daha iyi olduğu belirtilmiştir. Her iki modelin sonuçları, NO_x ölçümlerinin sonuçları ile iyi korelasyon göstermiştir. Bu santralin çalışılan alandaki SO₂, NO_x ve PM₁₀ kirliliğine olan katkısının asgari düzeyde olduğu gösterilmiştir.

Krzyzanowski (2011) yaptığı çalışmada dağılıma dayalı değerlendirme yapmak için Fort St. John'un 12 km kuzeyinde bir alan seçmiştir. AERMOD ViewTM'i SO₂ ve NO_x'in 1, 3 ve 24 saat ve yıllık ortalama süre boyunca birikimlerini ve maksimum

potansiyel konsantrasyonlarını tahmin etmek için kullanmıştır. Elde ettiği sonuçları, bu kirleticilerin potansiyel kümülatif etkilerini değerlendirmek için, politika ve bilimsel literatürdeki çeşitli eşik ve sınır değerler ile karşılaştırmıştır. Yakındaki izleme verileriyle yaptığı karşılaştırmada, öngörülen konsantrasyonların makul olduğunu ve AERMOD'un birden fazla kaynaktan gelen hava kirliliğinin potansiyel kümülatif etkilerine yaklaşmak için yararlı bir araç sağladığını göstermiştir.

Seangkiatiyuth vd. (2011) Tayland'da çevresel etki değerlendirmesi (ÇED) parçası kapsamında, bir çimento kompleksinden NO₂ emisyonlarının analizi için, AERMOD uygulamışlardır. Seçilmiş çimento kompleksi içindeki dört çimento fabrikasından NO₂ dağılımını, kuru ve ıslak mevsimlerde hem ölçüm hem de AERMOD simülasyonu ile incelemişlerdir. Hem ölçüm hem de AERMOD kullanarak yapılan simülasyona göre, NO₂ konsantrasyonlarının Tayland Ulusal Ortam Hava Kalitesi Standartları (NAAQS) tarafından belirlenen NO₂ konsantrasyon limitini aşmadığını belirtmişlerdir. AERMOD'un, ÇED rehberleri için yüksek kirlilik etki alanlarını belirlemede faydalı bilgiler sağlayabileceği sonucuna varmışlardır.

Erdoğan (2012) hava kirliliği modelleme (AERMOD ve ISCST3) programları ile Hatay Erzin Aşağı Burnaz mevkiinde kurulması planlanan 900 MWe/882MWe kurulu güce sahip bir Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali kaynaklanan SO₂, NO₂ ve PM₁₀ gazları üzerine bir çalışma yapmıştır. AERMOD'un tipik olarak, yakında kompleks arazi olduğunda, ISCST3'ten daha düşük konsantrasyon verdiği, ancak diğer arazi rejimlerinde daha yüksek konsantrasyonlar verebildiğini belirtmiştir. AERMOD'un, atmosferi karakterize etmede ISCST3'ten açıkça üstün olduğunu ve ortam konsantrasyonlarının daha temsili tahminlerini sağladığını ifade etmiştir.

Demirarslan vd. (2013) yaptıkları çalışmada, Kocaeli ili Körfez ilçesinde noktasal kaynaklardan atmosfere yayılan CO ve NO_x emisyonlarının dağılımını ISCST3 ile modellemişlerdir. Bu modelleme çalışmasında, maksimum zemin seviyesi CO konsantrasyonları -günlük ve yıllık bazda- 335,24 ve 70,02 µg/m³, NO_x konsantrasyonları için günlük ve yıllık maksimum değerler 372,05 ve 26,29 µg/m³ olarak hesaplanmıştır.

Demirarslan ve Doğruparmak (2015) yaptıkları çalışmada, Kocaeli ili Körfez ilçesinde bulunan alansal kaynaklı CO ve NO_x emisyonlarının dağılımlarını farklı modeller yardımıyla incelemişlerdir. Bölgede alansal kaynak olarak konutlardan kaynaklanan emisyonlar ele alınmış ve konutlar 4 farklı alana bölünmüştür. Bölgede konutlarda ısınma amacıyla kullanılan yakıtların doğalgaz, fuel-oil, odun ve kömür olduğu belirlenmiştir. AERMOD ile hesaplanan günlük en yüksek CO ve NO_x konsantrasyonları 651,27 ve 18,29 µg/m³, yıllık konsantrasyonlar 128,47 ve 2,90 µg/m³ olarak bulunmuştur. ISCST3 programı ile günlük en yüksek CO ve NO_x değerleri 290,29 ve 11,77 µg/m³, yıllık en yüksek değerler ise 86,48 µg/m³ ve 1,95 µg/m³ olarak hesaplanmıştır. Dağılım haritalarında dağılım yönleri dikkate alındığında, CO için her üç programda benzerlik görülmekle birlikte, AERMOD ve CALPUFF haritalarında konsantrasyonun Körfez ilçesinin doğusu ve batısı yönünde dağıldığı belirlenmiş, ISCST3 haritasında bu dağılımın sadece ilçenin batı yönüne doğru olduğu dikkat çekmiştir. NO_x dağılım haritalarında yoğun olan bölgenin Körfez ilçesi yerleşim merkezlerinin bulunduğu noktalar olduğu gözlenmiştir. Her üç programda konsantrasyon yayılım yönlerinin özellikle yıllık dağılım haritalarında aynı ve bu yönlerde bulunan alıcı noktalarındaki konsantrasyon seviyelerinin de eşit olduğu belirlenmiştir.

Gulia vd. (2015) yaptıkları çalışmada AERMOD kullanarak Hindistan'ın Amritsar kentindeki bir kültürel miras alanının etrafında kentsel hava kalitesini değerlendirmişlerdir. AERMOD'un performansı, NO_x, SO₂ ve PM₁₀ tahmini için değerlendirilmiştir. Kirletici konsantrasyonlarının tatmin edici sınırlar içinde olduğu belirlenmiştir. NO_x, SO₂ ve PM₁₀ için hesaplanan anlaşma/agreement indeksi (d) değerleri sırasıyla AERMOD'un tatmin edici performansını gösteren 0,57, 0,51 ve 0,50'dir.

Hadlocon vd. (2015) Amerika Ohio West Mansfield'de yaptıkları çalışmada, piliç yetiştirme tesisinde PM (PM₁₀ ve PM_{2,5}) dağılımını simüle etmek için AERMOD'un performansını değerlendirmişlerdir. Kaynakta, günlük ortalama PM₁₀ ve PM_{2,5} konsantrasyonlarının sırasıyla 436,01±166,77 µgm⁻³ ve 291,09±105,81 µgm⁻³ olduğu tahmin edilmiştir. Bu durumun, günlük ortalama PM₁₀ ve PM_{2,5} emisyon oranlarının sırasıyla 0,067-0,073 gs⁻¹ ve 0,044-0,047 gs⁻¹ olmasına tekabül ettiğini belirtmişlerdir. Simülasyonlar, bu tesisin bulunduğu yer ve dışındaki PM konsantrasyonlarının ortam

hava kalitesi ulusal standartları içinde olduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışma, AERMOD'un kanatlı hayvan tesislerinin etkilerini tahmin etmede ve değerlendirmede etkili olduğunu göstermiştir.

Noorpoor ve Rahman (2015), İran Alborz'daki Abyek çimento fabrikasının olduğu bölgede çalışmışlardır. PM miktarı bölgedeki en önemli kirletici madde olarak ölçülmüştür. Ardından, çevre ölçümleriyle birlikte kirlilik dağılım ve yayılım modellemesi AERMOD ile bu kirleticinin çevre alanların analizindeki dağılımının doğası doğrulanmıştır. Yaptıkları çalışmanın sonuçlarına göre, çimento fabrikasından etkilenen tüm alanlarda PM için en yüksek konsantrasyon seviyesi $43,68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'dür, doğu yönünde 1500 m ve kuzey yönünde 2100 m mesafede meydana gelmiştir.

Adesanmi vd. (2016) yaptıkları çalışmada, Nijerya'da doğal gazla çalışan termik santrallerin hava kirletici kriterlerinin zemin seviyesi konsantrasyonlarını tahmin etmek için AERMOD'u kullanmışlardır. Ortalama 24 saatlik CO, NO_x, SO₂, PM ve uçucu organik bileşikler (VOC) zemin seviyesi konsantrasyonlarını sırasıyla 31,88-72,79, 61,33-104, 0,61-3,91, 0,21-1,52 ve 0,19-1,09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulmuşlardır.

Jayadipraja vd. (2016) Endonezya'da AERMOD ile yaptıkları modellemenin sonucunda, 1 saat boyunca SO₂ ve NO₂ kirleticilerinin konsantrasyonunun en üst değerinin sırasıyla 135 ve 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olduğunu göstermişlerdir. Dağılım alanının, Minasatene, Bungoro ve Labakkang Bölgesi gibi doğu bölgesinde olma eğiliminde olduğunu belirtmişlerdir.

Öksüz (2016) yaptığı çalışmada, evsel ısınmanın İstanbul ili üzerindeki etkisini atmosferik modelleme ile açıklamak amacıyla WRF (Weather Research and Forecasting) meteoroloji modeli ve CMAQ (Community Multiscale Air Quality) kimyasal taşınım modeli kullanmıştır. Her bir yakıt ve en temel kirleticiler olan SO_x, NO_x, CO ve PM₁₀ için emisyon faktörleri hesaplanmıştır. Çalışmada, kış aylarında evsel ısınmanın etkisinin görülebilmesi için episod Aralık 2009, Ocak ve Şubat 2010 olarak belirlenmiştir.

Teerapattarada vd. (2016) Tayland'daki Map Ta Phut sanayi kompleksinin hava emisyonlarını sağlık riski için değerlendirmişlerdir. İki gaz kirletici maddeyi (NO ve

SO₂), tehlike katsayısı (HQ) ve tehlike indeksi (HI) kullanılarak kanserojen olmayan sağlık riski açısından değerlendirilmiştir. Emisyon kaynaklarının 5 km yarıçapındaki zemin seviyesi konsantrasyonunu tahmin etmek için AERMOD hava dağılım modellemesi kullanılmıştır. Uzun vadeli yıllık ortalamada, çalışılan alanlarda hem NO₂ hem de SO₂'nin sağlık üzerinde önemli bir etkiye (HI>1) sahip olduğu belirtilmiştir.

Thawonkaew vd. (2016) yaptıkları çalışmada Tayland'daki en büyük petrokimya endüstrisi kompleksindeki SO₂ ve NO_x'lerin asimilasyon kapasitelerini değerlendirmişlerdir. AERMOD dağılım modeli, Maptaphut sanayi bölgesinden 5 km'lik bir yarıçap içinde yer seviyesi konsantrasyonları ve SO₂ ve NO₂'nin mekansal dağılımlarını hesaplamak için simüle edilmiştir. Tüm emisyon kaynaklarını dikkate alarak hava kirliliğinin alana dayalı bir yaklaşım olarak incelenmesinin, çalışma alanındaki kirliliğin daha iyi planlanması ve yönetilmesini desteklemenin yanı sıra diğer endüstriyel kompleks alanlarda daha fazla uygulama için kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Boadh vd. (2017) yaptıkları çalışmada Ranchi kentinde 2010 yılı ön-muson dönemi sırasında iki adet modern hava kirliliği dağıtım modeli (AERMOD ve ISCST3) uygulamışlardır. Kirliliğin dağılmasını etkileyen sınır tabaka proseslerinin AERMOD modelinde daha iyi temsil edildiğini belirtmişlerdir. Bu modellerin hava kirliliği konsantrasyonlarının dağılımı doğrulanmış ve AERMOD'un ISCST3'ten daha iyi performans gösterdiği bulunmuştur. Bu çalışma, tüm hava kirliliği değerlendirme çalışmaları için AERMOD'un ISCST3'e göre daha iyi durumda olduğunu savunmaktadır.

Tuygun vd. (2017) yaptıkları çalışmada SO₂, NO_x, PM₁₀ ve CO gibi başlıca kirlleticilerin sektörel antropojenik emisyonlarını ve mekansal dağılımını belirlemek ve ölçmek için Kütahya'da 2014 yılında 1 km uzamsal çözünürlüğe sahip kapsamlı bir emisyon envanteri hazırlamışlardır. 140x110 km'lik bir alandaki ortam hava konsantrasyonlarını tahmin etmek için AERMOD dispersiyon modeli kullanılmıştır. Çalışma alanında bulunan iki izleme istasyonunda yerinde gerçekleştirilen rutin ölçümlere atıfta bulunarak model sonuçlarının doğrulanması yapılmıştır. Çalışma alanındaki toplam SO₂, NO_x, PM₁₀ ve CO emisyonları sırasıyla 64,399, 9770, 24,627 ve 29,198 ton/yıl olarak hesaplanmıştır. Çalışmada endüstriyel tesislerin en büyük SO₂,

NO_x ve PM₁₀ emisyon kaynağı olduğu ve konut ısıtma ve yol trafiğinin CO emisyonlarına en fazla katkıda bulunan sektörler olduğu gösterilmiştir.

Karaçoban (2018) Bolu ili, Gerede ilçesinde yer alan açık maden ocağı ve kırma eleme tesisinden çevreye yayılan PM₁₀ ve çöken toz için hava kalitesi modelleme çalışmaları yapmıştır. Yapılan modelleme çalışmalarında açık maden ocağı ve kırma eleme tesisi, model programlarına alan kaynak olarak tanımlanmıştır. Kaynak yakınında yer alan Aktaş köyünde ISCST3 ile hesaplanmış olan günlük ve yıllık PM₁₀ konsantrasyonunun polar ve kartezyen sistemde sırasıyla 45,47 ve 4,29 µg/m³ olduğu belirtilmiştir. AERMOD ile hesaplanan günlük PM₁₀ konsantrasyonu sırasıyla polar ve kartezyen sistemde 46,46 µg/m³, 46,45 µg/m³ olarak bulunmuştur. Yıllık PM₁₀ konsantrasyonu polar ve kartezyen sistemde 2,36 µg/m³'dür. Bu çalışmada hesaplanan PM₁₀ konsantrasyonlarının Türkiye ve AB'ye üye ülkelerde uygulanan sınır değerlerin altında olduğu belirtilmiştir.

Kumar vd. (2018) yaptığı çalışmada Hindistan Odisha'daki Keonjhar'da ortam havasında SO₂ ve NO₂ kirliliğinin belirlenmesi için dağılım modellemesi yaklaşımı uygulamıştır. Model performansı, ölçülen ve öngörülen SO₂ ve NO₂ konsantrasyonları karşılaştırılarak değerlendirmiştir. Maksimum kümülatif tahmin değeri SO₂ ve NO₂ için sırasıyla 6,99 ve 15,98 µg/m³'tür. Sonuçta ortaya çıkan toplam konsantrasyonların tüm istasyonlarda öngörülen standardın çok altında olduğu bulunmuştur.

Cerqueira vd. (2019) mevcut yasaya göre izin verilen seviyelerle karşılaştırmak ve simülasyon kaynaklı konsantrasyon sonuçlarını değerlendirmek için bir araç olarak AERMOD View programını kullanarak Paraiba Brezilya'daki Borborema S.A termik santralinden atmosferdeki kirleticilerin dağılmasını simüle etmişlerdir. 2016 yılında yaptıkları çalışmada bu termik santralin baca havası kirleticilerinin emisyon kaynaklarını AERMOD View, AERMET View ve WRPLOT View yazılımı kullanarak değerlendirmişlerdir. Oluşan kirletici maddeler ile ilgili olarak, 1 saatte NO_x değerleri, yasalarca izin verilen birincil ve ikincil standartlar üzerinde NO₂ konsantrasyonu göstermiştir; maksimum konsantrasyon 1680 µg/m³ olup birincil standarttan yaklaşık 5 kat ve ikincil standarttan ise 8 kat yüksek olduğu belirtilmiştir.

Fakinle vd. (2019) yaptıkları çalışmada bir emisyon envanteri ve AERMOD View dispersiyon modelini, Nijerya'daki bir tekstil fabrikasına elektrik veren dizel motorlu elektrik jeneratörlerinden kaynaklanan CO'nun potansiyel etkileri ve konsantrasyonlarını tahmin etmek için kullanmışlardır. Fabrikadaki tüm elektrik jeneratörlerinin eşzamanlı çalışmalarından kaynaklanan CO emisyonlarının 1 saat ortalamasını $4,2-54,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 24 saatlik ortalamasını ise $0,3-20,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında bulmuşlardır. Tekstil fabrikasından çıkan yer seviyesindeki CO konsantrasyonlarının, öngörülen ortam hava kalite standartları dahilinde olduğunu belirtmişlerdir.

Bu tez çalışmasında hava kalitesi dağılım modeli olan AERMOD View kullanılarak Niğde (Türkiye) il merkezinde evsel ısınma kaynaklı emisyonlar -temel parametreler ekseninde- akademik olarak ilk kez araştırılmış ve belirlenmiştir.

BÖLÜM II

HAVA KİRLİLİĞİ, HAVA KALİTESİ, HAVA KALİTESİ MODELLEME VE AERMOD VIEW MODELİ

Antropojenik kirlilik, gaz ve aerosol parçacık konsantrasyonları doğal arkaplan konsantrasyonlarının üzerine çıktığında meydana gelir (Jacobson, 2012). Kuru hacimde atmosferin %99,997'si dört gazdan (moleküler azot (%78), oksijen (%21), argon (%0,93) ve karbon dioksit (%0,04)) oluşur. Dünya yüzeyinin 50 km'sine ulaşan troposfer ve stratosfer, atmosferin kütlelerinin yaklaşık %99'unu içerir (Haerens, 2011; Vallero, 2014). Çeşitli insan faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonlar, atmosferdeki gaz konsantrasyonunu birçok kaynaktan gelen birincil deşarjlar veya troposferdeki reaksiyonlar yoluyla artırır. Tezde ele alınan evsel ısınma kaynaklı emisyonlar da bu kapsamda yer almaktadır.

2.1 Hava Kirliliği

Hava ortamında bulunan herhangi bir maddenin yaşam kalitesini olumsuz etkilemesi ve asgari standartların altına ve üstüne çıkması durumunda, bu maddelerin fiziksel ve kimyasal reaksiyonları sonucu kirletici ve zararlı etkiler ortaya çıkmaktadır. İşte bu kirletici ve zararlı etkilerin kalıcı olması durumunda, bulunduğu ortam için hava kirliliğinden bahsedilebilir. Hava ortamındaki her türlü kirleticinin herhangi bir canlıya zarar verecek miktarda olması da hava kirliliği olarak tanımlanabilir. Hava kirliliği meydana geldiğinde çok kısa zaman diliminde yaşam kalitesinin düşmesi, çevre sorunlarının artması, ekolojik ve doğal dengenin bozulması ve sürpriz tehlikelerle tüm canlılar baş başa kalmaktadır. Yaşlanan Dünya, sürekli artarak ilerleyen enerji ihtiyacı, yapay zekâ ile gelişimini daha da hızlandıran sanayi ve endüstri, koridor şeklinde yüksek katlı binalar ile hava kirliliği başta insan olmak üzere diğer tüm canlılar üzerinde yıkıcı olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Hava ortamına giren kirleticiler -doğal veya insan aktiviteleri sonucunda- hava ortamına fiziksel ve kimyasal olarak karışabilirler (Erdoğan, 2012). Gelişmiş ülkelerde hava kirliliğinin temel nedenleri ormansızlaşma, endüstrileşme ve fosil yakıtların kullanımındır (Abayomi, 2017).

2.2 Hava Kalite İndeksi

Farklı hava kirleticilerinin farklı konsantrasyon ve sürelerde farklı etkiler oluşturması dikkate alınarak günlük hayatta daha kolay anlaşılabilmesi için hava kirliliği seviyesi veya hava kalitesi düzeyi, hava kalitesi indeksi (HKİ) olarak ifade edilen bir sayısal ölçekle anlatılır. Bu ölçek, bir de renk skalası ile görselleştirildiğinde geniş halk kitleleri tarafından kolaylıkla algılanabilmektedir ve halk yaşadığı bölgede havanın kirlilik düzeyi ve neden olabileceği sağlık sorunları hakkında bilgi sahibi olabilmektedir (Erdoğan, 2012).

5 temel kirletici için HKİ hesaplanmaktadır. Bunlar NO_2 , SO_2 , CO , O_3 ve PM_{10} 'dur (Erdoğan, 2012). HKİ hesaplamasındaki 5 temel kirleticiden bu yüksek lisans tezinde ele alınan O_3 dışındaki 4'ünün tanımı ve sağlık etkileri Bölüm 2.3'de verilmiştir.

2.3 Temel Kirletici Parametrelerin Tanımı ve Sağlık Etkileri

2.3.1 Azot oksit (NO_x)

Azot oksit ya da NO_x 'in temel kaynağı hava içerisindeki azottur. NO_x , genellikle NO , NO_2 ve NO_3 şeklinde olup bunlardan NO ve NO_2 en önemli kirletici gazlardır. Atmosferdeki azotun oksitlerine dönüşümü yanma işlemleri sonucu olmaktadır. NO_x 'lerin büyük bir kısmı trafikteki motorlu taşıtların egzozları ile sabit yakma tesislerinde meydana gelmektedir. NO_x 'ler yakıt içindeki azotlu maddelerden olduğu gibi, yüksek sıcaklıkta yakma tesislerinde kullanılan azotun oksijenle birleşmesinden de meydana gelmektedir. Atmosferde kararlı ve kararsız olarak bulunan NO_x 'ler yanma olaylarından sonra havaya karışan en önemli kirletici emisyonlar olarak bilinmektedir (İlkılıç ve Behçet, 2006). NO_x doğal orman yangınlarından kaynaklanabilir, fosil yakıtlar bu kirleticinin ana kaynağıdır. Hava ortamındaki NO_x 'in %50'sinin hava, deniz ve kara taşımacılığında ve %20'sinin termik santral gibi fosil kaynaklı enerji santrallerinden oluştuğu tahmin edilmektedir. Kapalı hava ortamlarındaki en büyük NO_x kaynakları tütün yakılması, deodorant gibi gazlar ve fosil yakıt yanmasına dayalı faaliyetlerdir (Erdoğan, 2012). NO_x , kısa ve uzun vadeli sağlık etkilerinden (Çizelge 2.1) sorumludur (Abayomi, 2017). NO_x 'ler asit yağışları ile bitki örtüsü, orman ve bazı yapılaşmalara zarar verir.

2.3.2 Kükürtdioksit (SO₂)

Yanıcı olmaması, renksiz ve gaz halinde olması nedeniyle, SO₂ hava ortamında birinci sıradaki kirletici olarak bilinmektedir. Hava ortamında 40 günden fazla kararlı halde bulunabilir. Genelde fosil yakıt kökenli olup özellikle uygun olmayan yanma/yakma sonucunda kirlilik etkisi daha da artmaktadır. Hava ortamındaki SO₂'nin en az %80'i noktasal baca kaynaklı faaliyetlerden kaynaklanmaktadır. Kalıcı SO₂ seviyesine uzun süre maruz kalmak solunum yolu rahatsızlıklarına neden olup akciğer fonksiyonlarını (Çizelge 2.1) etkileyebilir (Abayomi, 2017). Bitkilere zarar verir, metal yüzeylerinin korozyonla aşınmasına neden olur, kireç, mermer, sıva gibi yapı malzemelerini tahrip eder ve asit yağışlarıyla bitki örtüsü ve ormanları tahrip eder (Erdoğan, 2012).

2.3.3 Karbon monoksit (CO)

CO, kapalı ortamda en büyük ve en tehlikeli kirletici olarak bilinmektedir. Renksiz, kokusuz ve tatsız gaz olan CO, havanın ortalama molekül ağırlığına eşit bir gaz olup kaynaklandığı yerin etrafında iyi dağılmayan ve varlığı fark edilemeyen bir yanma ürünüdür (İlkılıç ve Behçet, 2006). Aniden veya birdenbire etki yapmaz, oldukça yavaş bir şekilde canlılar üzerinde etkisini göstermektedir. CO'nin hemoglobine affinitesi oksijenden yaklaşık 240 kat daha fazla olduğundan kandaki hemoglobin ile birleşerek karboksihemoglobin (COHb) oluşturur ve böylece hücrelere oksijen taşınımını engeller. Bu durumdan dolayı kandaki oksijen seviyesinin azalması insanda baş ağrısı, yorgunluk, solunum yolu rahatsızlıkları (Çizelge 2.1), zehirlenme ve ölümlere sebep olmaktadır (Erdoğan, 2012; Wexler, 2014; Abayomi, 2017).

2.3.4 Partikül madde (PM)

Hava kirleticiler içerisinde PM'ler önemli bir yere sahiptir. PM, fiziksel olarak hava ortamında katı ya da sıvı olarak bulunan, havada asılı duran su haricindeki maddelerdir. Çıplak gözle görülebildiği gibi 0,1 ile 100 µm arasında değişen boyut veya çaplarda bulunurlar. PM'ler, bacalı sanayiler başta olmak üzere yığın halinde üstü açık malzemelerden kaynaklanmaktadır. Doğa olayları sonucunda hava ortamında en büyük PM salınımı volkanlardan kaynaklanmaktadır. PM₁₀ olarak bilinen ve isimlendirilen PM'lerin boyutları veya çapları 10 µm ebatlarındadır. PM₁₀ ve 10 µm boyutundan daha küçük

PM'ler, insan ve diğer canlılar üzerinde en zararlı etkiye sahiptirler. Ayrıca güneş ışınlarının enerji taşıdığı dalga boylarında etkili olarak enerji akışını değiştirir, görüş mesafesini kısaltır. İnsan (Çizelge 2.1), hayvan ve bitki sağlığına olumsuz etki yapar (Erdoğan, 2012). Karbon parçacık zincirinden oluşan PM, boyutuna bağlı olarak, kanserojen de olabilir (Abayomi, 2017).

Ulusal ve uluslararası hava kalitesi bozulmalarında kirleticilerin kaynağına ve insan sağlığına etkilerine bakıldığında, genelde fosil yakıt kaynaklı yanma ve yakma sonucu oluşan kirleticiler oldukları ve solunum yolu (Çizelge 2.1) hastalıklarına sebep oldukları görülmüştür (Erdoğan, 2012). Kirleticiler üzerine, farklı maruziyet süreleri gözönünde tutularak, insan sağlığı üzerindeki etkilerine göre düzenlemeler yapılabilir (Abayomi 2017).

Çizelge 2.1. Kirletici parametreler ve sağlık etkileri (URL 1)

Kirletici	Ana Kaynağı	Sağlık Etkisi
NO _x	Yakma prosesleri ve motorlu araç ve gereçler	Akut solunum yolu hastalıkları, göz ve kalp hastalıkları, asit yağmurları
SO ₂	Fosil yakıtların uygun olmayan şekilde yakılması ve yanması	Akciğer yetmezliği, damar sertliği ve solunum yolu hastalıkları
CO	Yakıtların tam yanma olmadan hava ortamında atılması, uçak, otomobil, gemi, fosil yakıtla çalışan her türlü motorlu araç ve gereçler	Kandaki hemoglobinin oksijen taşıma kapasitesinde azalma, ölüm
PM	Her türlü yakma ve yanma işleri, tarımsal faaliyetler, kimyasal tepkimeler	Kanser, kalp problemleri, solunum yolu hastalıkları, bebek ölüm oranlarında artış

2.4 Hava Kalitesi Standartları

Dünya'nın herhangi bir bölgesinde hava ortamındaki zararlı maddelerin seviyelerini anlamak için araç teknolojileri oldukça gelişmiştir. İnsanlar, bu araçlar ile hava kirliliği seviyesi hakkında anlaşılabilir ve ulaşılabilir bilgi sağlarken yerel, ulusal ve uluslararası karar vericilerinin de canlı yaşamını korumak için sürdürülebilir tedbirleri olmalıdır. Hava kalite standartlarının amacı, her türlü faaliyet sonucu hava ortamına yayılan kirletici maddeleri kontrol altına alarak canlılara zararlı olacak seviyelere ulaşmasını engellemektir.

EPA HKİ (Çizelge 2.2), birçok ülkede kabul görmektedir. Diğer Dünya ülkelerinde olduğu gibi Türkiye’de de hava kalitesi standartları resmi otoriteler tarafından oluşturulmuştur. Bölüm 2.2’de bahsi geçen HKİ hesaplamasındaki 5 temel kirletici (NO₂, SO₂, CO, O₃ ve PM₁₀) için ulusal hava kalitesi sınır değerleri Çizelge 2.3, 2.4 ve 2.5’te verilmiştir.

Çizelge 2.2. EPA HKİ (URL 1)

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

Çizelge 2.3. Ulusal hava kalitesi değerleri kesme noktaları (URL 1)

İndeks	HKİ	SO ₂ (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)	CO (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)
		1 Sa. Ort.	1 Sa. Ort.	8 Sa. Ort.	8 Sa. Ort.	24 Sa. Ort.
İyi	0 – 50	0-100	0-100	0-5500	0-120	0-50
Orta	51 – 100	101-250	101-200	5501-10000	121-160	51-100
Hassas	101 – 150	251-500	201-500	10001-16000	161-180	101-260
Sağlıksız	151 – 200	501-850	501-1000	16001-24000	181-240	261-400
Kötü	201 – 300	851-1100	1001-2000	24001-32000	241-700	401-520
Tehlikeli	301 – 500	>1101	>2001	>32001	>701	>521

Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği (HKDYY) 06.06.2008 tarih ve 26898 sayı ile Resmi Gazete’de (URL 2) yayımlanmıştır. Bu yönetmelikle Türkiye’de mevcut hava kalitesi limit değerlerinin 01/10/2014 tarihine kadar kademeli olarak azaltılması ve o tarihten sonra AB hava kalitesi limit değerleri artı tolerans değerlerine başlanarak kademeli bir geçiş ile AB limit değerlerine uyum sağlanması hedeflenmiştir. Bu yüksek lisans tezi, HKDYY ve Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Genelgesi (09/09/2013 tarih, 31677 sayı ile yayımlanmış) (URL 3) sonrası bir dönem olan 2018-2019 yılları arasında hazırlanmıştır. O dönemde Türkiye’de AB limit değerlerine geçildiği için, Çizelge 2.4’de hava kalitesi parametrelerinin ulusal sınır değeri olarak AB üye ülkeleri sınır değerler baz alınmıştır; WHO referans değerleri de karşılaştırma amaçlı verilmiştir.

Çizelge 2.4. Hava kalitesi parametrelerinin sınır değerleri (URL 1, URL 4, URL 5)

Parametre	SO ₂	NO ₂	CO	O ₃	PM ₁₀
	[µg/m ³]	[µg/m ³]	[µg/m ³]	[µg/m ³]	[µg/m ³]
	1 Sa. Ort.	1 Sa. Ort.	8 Sa. Ort.	8 Sa. Ort.	24 Sa. Ort.
AB Üye Ülkeleri Sınır Değeri	350	200	10.000	120	50
WHO Sınır Değeri	350*	200	10.000	100	50

* WHO 2005 yılı raporunda SO₂’nin 24 saatlik zaman ağırlıklı ortalamasının 20 µg/m³, 10 dakikalık zaman ağırlıklı ortalamasının 500 µg/m³ olması önerilmektedir. Aynı raporda 2000 yılındaki rapora atıfta bulunulmuş ve SO₂ için 24 saatlik zaman ağırlıklı ortalamasının ilk hedef olarak 125 µg/m³, ikincil hedef olarak 50 µg/m³’e indirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. HKDYY’de SO₂ için saatlik ve 24 saatlik limitler sırasıyla 350 ve 125 µg/m³ olarak verilmiştir. Limit değere ulaşılacak tarih, 01.01.2019 olarak belirtilmiştir (URL 2, URL 3, URL 5).

Hava kalitesinin sürdürülebilir yaşam şartlarına getirilmesi ve Dünya ölçeğinde hava kirliliği problemlerinin ve hava ortamındaki zararlı maddelerin azaltılması, (i) doğru ve iyi bilinçlendirilmiş insan desteği ve (ii) hava kalitesi modelleri ile kirlleticiler parametrelere dair verilerin ortaya konması ve yönetimine bağlıdır.

Çizelge 2.5. Tesis etki alanında ulusal hava kalitesi sınır değerleri (URL 6)

Parametre	Süre	Birimi	YIL						
			2014	2015	2016	2017	2018	2019-2023	2024 ve sonrası
SO ₂	Saatlik (Bir yılda 24 defadan fazla aşılmaz)	µg/m ³	500	470	440	410	380	350	350
	24 saatlik		250	225	200	175	150	125	125
	Uzun Vade Sınır (UVS)		60	60	60	60	60	60	60
	Yıllık ve kış dönemi (1 Ekim-31 Mart)		20	20	20	20	20	20	20
NO ₂	Saatlik (Bir yılda 18 defadan fazla aşılmaz)	µg/m ³	300	290	280	270	260	250	200
	Yıllık		60	56	52	48	44	40	40
CO	Maksimum günlük 8 saatlik ortalama	mg/m ³	16	14	12	10	10	10	10
Havada aşılı PM ₁₀	24 saatlik (Bir yılda 35 defadan fazla aşılmaz)	µg/m ³	100	90	80	70	60	50	50
	Yıllık		60	56	52	48	44	40	40
Pb	Yıllık	µg/m ³	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5
Cd	UVS	µg/m ³	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
HCl	Kısa Vade Sınır (KVS)	µg/m ³	150	150	150	150	150	150	150
	UVS		60	60	60	60	60	60	60
HF	Saatlik	µg/m ³	30	30	30	30	30	30	30
	KVS		5	5	5	5	5	5	5
H ₂ S	Saatlik	µg/m ³	100	100	100	100	100	100	100
	KVS		20	20	20	20	20	20	20
Toplam Organik Bileşikler (C cinsinden)	Saatlik	µg/m ³	280	280	280	280	280	280	280
	KVS		70	70	70	70	70	70	70
Çöken toz	KVS	mg/m ² gün	390	390	390	390	390	390	390
	UVS		210	210	210	210	210	210	210
Çöken tozda	Pb ve bileşikleri	mg/m ² gün	250	250	250	250	250	250	250
	Cd ve bileşikleri		3,75	3,75	3,75	3,75	3,75	3,75	3,75
	Tl ve bileşikleri		5	5	5	5	5	5	5

2.5 Atmosferik Dağılım ve Kirlilik Modellemesi

Bir dağılım modeli, belli bir süre boyunca kaynak ve meteorolojik parametreler kullanarak, meteorolojik taşınma ve dağılım proseslerinin matematiksel bir tanımı olarak tanımlanabilir (Harbawi, 2013). Beş tip hava kirliliği dağılım modeli (Lagrangian, Box, Eulerian, Dense Gas ve Gaussain Model) ve bu modellerin birkaç çeşidi vardır (Colls 2002, Khandokar 2009, Harbawi 2013). Birincil modellerden olan Lagrangian modeli, genellikle uzun zaman sürelerini kapsar. Box (Kutu) modeli, seçilen kimyasal türleri analiz etmek ve troposferik kimyayı belirli koşullar altında incelemek için kullanılır (Brasseur vd., 2003; Harbawi, 2013). Eulerian yaklaşımı, kirleticilerin sabit bir koordinat sistemine göre davranışını tanımlar. Dense Gas (Yoğun Gaz) modeli havadan daha ağır olan gaz plume'lerinin dağılmasını simüle eder (Harbawi, 2013).

Gauss modeli en çok kabul edilen hesaplama modelidir ve belirli bir noktadaki kirleticinin konsantrasyonunu hesaplamak için kullanılır (Abayomi, 2017).

Atmosferdeki kirleticilerin kaderini ve taşınımını etkileyen -meteorolojik koşullar, saha/bölge konfigürasyonu, emisyon salınım karakteristikleri ve çevresindeki arazi, vb- birkaç faktör vardır. Hava dağılım modellemesi, hava kirleticilerin ortam atmosferinde nasıl dağıldığının matematiksel simülasyonudur. Model çalışması, kirletici dağılımını simüle eden matematiksel denklemleri ve algoritmaları çözen bilgisayar programları ile gerçekleştirilir. Bu modeller, ortam hava kalitesini korumak ve yönetmekle görevli devlet kurumları için önemlidir (Khandokar, 2009).

Modelleme, bir olayı -olayın bağlı olduğu parametreler cinsinden- mümkün olduğunca matematiksel olarak ifade etmektir (Atımtay, 2011). Kirleticiler kaynaktan atmosfere bırakıldıktan sonra bir şekilde dağılırlar ve başta sıcaklık, rüzgar hızı ve yönü, atmosferdeki dikey karışım olmak üzere birçok meteorolojik faktörler bu dağılımın nasıl olacağına etkili olurlar. Kaynaktan çıkan emisyonların çıkış hızı, karakteri ve o bölgedeki meteorolojik ve coğrafik koşullar biliniyorsa modelleme yapılarak ölçüm yapılmadan kaynaktan çıkan kirleticilerin nereye, nasıl dağılacağı ve ilgili reseptörlerdeki kirletici konsantrasyonları hesap yöntemi ile tespit edilir. Ölçüm yoluyla hesaplamının, yüksek maliyetli olması ve zaman alması gibi dezavantajları bulunmaktadır. O nedenle hava kalitesinin -hesaplama teknikleri hızlı ve yöntemi ucuz olan- modelleme ile belirlenmesi tercih edilir (Erdoğan, 2012).

İşletme halinde veya planlanan herhangi bir faaliyetten hava ortamına verilecek emisyon salınımlarının, insana ve doğaya verecek olumsuz etkilerinin önlenmesi ve kontrol stratejilerinin oluşturulabilmesi için hava kirliliğinin etki alanı ve etki türü gibi birçok faktörün belirlenmesi gerekmektedir. Bu tip değerlendirme ve stratejiler, hava kalitesi modellemesi ile yapılabilir (Erdoğan, 2012).

Hava kalitesi modelleri, sürdürülebilir ve yaşam kalitesi standartlarındaki hava kalitesi hedefleri için emisyon salınım değerlerini ve değişimlerini zamana bağlı olarak tahmin eder. Günümüzde hava kirleticilerinin fiziksel ve kimyasal oluşumunu yüksek doğruluk oranı ile tahmin eden modeller, meteorolojik parametreler (rüzgâr hızı ve yönü, sıcaklık,

nem, yağış, bulutluluk, yükseklik gibi) ve topografik veriler (enlem, boylam ve yükseklik) birleştirilerek yapılmaktadır.

Tüm matematiksel modellerde olduğu gibi hava kalitesi modellerinde de girdi verilerinin eksiksiz, güvenilir ve doğru olması gerekir. Hava kalitesi modellerinde, hareketli ve sabit kaynaklardan emisyon salınım miktarının tespiti, ölçüm sonucu ile belirlenebildiği gibi, matematiksel formüller yardımı ile de tahmin edilebilir. Sonuç olarak hava kalitesi modelleri herhangi bir noktada ve herhangi bir zamandaki emisyon konsantrasyonunu tahmin eder. Hava kalitesi model içeriklerinde istatistiksel veriler, meteorolojik veriler, matematiksel formüller, topografik yapı, zaman gibi birçok entegrasyon mevcuttur.

Dağılım modelleri, model yaklaşımlarının en karmaşık olanıdır ve dağılım mekanizmasının en detaylı tanımının yapıldığı model tipidir. Bu modeller uzaysal ve zamansal uyumsuzlukları tanımlamaları bakımından avantajlıdır. Dağılım modelleri, modele teoriyi dahil eder ve uygun tahminler yapar. Günümüzde dağılım modeli kullanılarak yapılan hava kalitesi modelleme çalışmalarında EPA tarafından kabul görmüş modeller tercih edilmektedir. EPA, yarıçapı 50 km'den az olan bir bölgenin modellemesinde kararlı hal Gauss dağılım modellerini önermektedir. Bunlar SCREEN3, ISCT3, ISC-PRIME ve AERMOD dağılım modelleridir.

Hava kirlenmelerinin dağılım tahminleri için kararlı hal plume modelleri olan ISCST3 ve AERMOD kullanılmıştır. Bu tahminler için çok tabakalı, çok türlü kararsız hal Lagrangian kabarcık duman (puff) dağılım modeli olan California Puff modeli (CALPUFF) uygulamaları da bulunmaktadır.

AERMOD, ISCST3 gibi yaygın olarak uygulanan düzenleme modellerinden daha gelişmiş birçok formülasyonu temsil eder. Model-model karşılaştırmalarında, AERMOD'un performansı, ISCST3'ün performansından açıkça üstündür. HPDM ve CTDMPPLUS gibi modeller, bu modellerin tasarlandığı seçili durumlarda AERMOD'a benzer şekilde performans göstermektedir. AERMOD'un formülasyonlarının çoğu, bu ve diğer modellerin geliştirilmesi sırasında daha önce yapılan çalışmalara dayanmaktadır (Perry vd., 2005).

USEPA ve Amerikan Meteoroloji Topluluğu (American Meteorology Society) işbirliğinde 1991 yılında “Model Geliştirme Komitesi (AERMIC)” adlı bir komite oluşturulmuştur. Oluşturulan komite tarafından 1991 yılında hazırlanmaya başlanan AERMOD modeli, 2000 yılında mevzuat gereği model çalışmalarının gerçekleştirilmesi için önerilmiş ve 2005 yılında resmi olarak kullanılması istenmiştir (Karaçoban, 2018). USEPA 2006 yılında, ISCST3 atmosferik dağılım modeli yerine, AERMOD modelinin kullanılacağını açıklamıştır (Dölek ve Atımtay, 2008). AERMOD halen sürekli güncellenen, tüm Dünya’da kabul gören ve çok yaygın olarak kullanılan bir modeldir.

Çizelge 2.6. AERMOD ve CALPUFF modellerinin kıyaslanması (Khandokar, 2009)

Özellik	AERMOD	CALPUFF
Zaman ve maliyet	Az	Çok
Kaynak ve bölge verisinin detayı	Aynı	Aynı
Meteorolojik arazi verisi	Az sayıda girdi verisine ihtiyaç duyar	Çok sayıda girdi verisine ve zamana ihtiyaç duyar
Model ve proses süresi yapılandırması	Kısa zamanda olur	Çok sayıda değişken olduğundan dolayı fazla zamanda olur
Nedensellik etkileri	Hesaplayamaz	Hesaplayabilir
Etki skalası	50 km içinde yakın alan etkisi	10 m-100 km skalasında uygulanır
Rüzgar özelliği	Üniform kararlı hal rüzgar analizi dikkate alınır	Karışık üniform olmayan rüzgar alanı dikkate alınır
Model uygulaması	Kırsal ve kentsel alanlar, düz ve karışık arazi, yüzey ve yüksek yayılımlar	AERMOD ile aynı, ayrıca dağlık alan, sahil ve aşırı sulanmış etkileşim
Meteorolojik ön-işlemciler	AERMET	CALMET
Kıyı çizgisi fumigasyonu	Dikkate alınmaz	Dikkate alınır
Hafif rüzgar ve durgun koşullar	Dikkate alınmaz	Dikkate alınır

PUFF modellemeler zamana bağımlı olup eksensel dağılımı göz önünde bulundurmaktadır. Ancak gerçek hava koşullarını en iyi şekilde temsil etmelerine karşın, plume modellemeleriyle karşılaştırıldığında hala birkaç hataya sahiptirler. Örneğin plume modellemelerinin hava verilerini işlemesi daha zordur. PUFF modellemelerin, meteorolojik koşulların veya arazinin çok karmaşık olması halinde ve/veya çok düşük rüzgar hızlarının hakim olduğu alanlarda kullanılması önerilmektedir (Demirarslan, 2018). AERMOD ve CALPUFF modelleri Çizelge 2.6’da kıyaslanmıştır.

EPA, AERMOD'un kompleks araziler için uygun olduğunu belirtmiştir. Bu yüksek lisans çalışmasında Niğde il merkezinde evsel ısınma kaynaklı emisyonlar AERMOD View hava kalitesi modeli kullanılarak belirlendiği için aşağıdaki bölümlerde bu model üzerine bilgiler verilmiştir.

2.6 AERMOD Dağılım Modeli

Son yıllarda kullanılan dispersiyon modeli, hava kirleticilerin ortam konsantrasyonlarını tahmin etmek için oldukça yeni ve gelecek vaat eden bir model olan AMS/EPA Düzenleme Modeli(AERMOD)'dir (Venkatram vd., 2004; Perry vd., 2005). AERMOD terimi, Amerikan Meteoroloji Kurumu-Çevre Koruma Ajansı Düzenleme Modeli'nin kısaltmasıdır. Son teknoloji Gauss plume model olarak AERMOD, emisyon kaynaklarının kısa mesafeli (<50 km) dağılımını simüle edebilir (Cimorelli vd., 2005; Holmes ve Morawska, 2006).

Mevzuat uygulamaları için teknolojik bir dispersiyon modeli olan AERMOD, çok çeşitli kirletici kaynaklardan (örneğin, nokta, alan ve hacim kaynakları) gelen dağılımın kısa mesafe (50 km'ye kadar) modellenmesini amaçlamaktadır. Bu konfigürasyonlar, basit ve karmaşık topografyanın yanı sıra farklı kentsel veya kırsal dağılım katsayılarını içerir. Model, 1 saat ila 12 ay arasında değişen farklı zaman ölçeklerinde alıcı bölgelerindeki kirletici konsantrasyonlarını tahmin etmek için saatlik ardışık işlenmiş meteorolojik verileri kullanma kapasitesine sahiptir (Zou vd., 2010).

AERMOD, atmosferik sınır tabakası türbülans yapısına ve bazı ölçeklendirme konseptlerine dayanan, atmosferik dispersiyonu, yüzey ve yükselmiş kaynakları hesaplayabilen kararlı hal Gaussian dağılım modelidir. Ayrıca, basit (düz) veya kompleks arazi senaryolarında kullanılabilir (Tartakovsky vd., 2013). AERMOD, kirleticilerin zemin/yer seviyesindeki konsantrasyonunu bir dizi emisyon kaynağı tarafından yayılan kütlenin ve kirleticinin dağıldığı topoğrafik ve meteorolojik koşulların bir fonksiyonu olarak tahmin etmeyi amaçlar (Sing ve Perwez, 2015).

AERMOD -hem ölçümleri hem de benzerlik parametrelerini kullanarak- meteorolojik profilleri tahmin eder (örneğin, AERMOD, yakın dikey ölçümler arasında enterpolasyon yapmak için benzerlik profillerinin şeklini kullanır). AERMOD'un

konsantrasyon formülasyonları rüzgar, sıcaklık ve türbülanstaki dikey varyasyonlardan/değişimlerden kaynaklanan etkileri ele alır. Bu profiller, dağılım malzemesinin doğrudan kaynaktan alıcıya geçtiği katmanın üzerinden ortalama alınarak oluşturulan eşdeğer (etkili) değerlerle temsil edilir (Cimorelli vd. 2005).

AERMOD modeli emisyon envanterinde kirletici konsantrasyonlarını oluşturmak için emisyonlara ve meteorolojik girdi verilerine ihtiyaç duymaktadır. AERMOD dağılım modelleme sistemi, atmosferik sınır tabakasındaki koşulları karakterize eden, üç modül içeren entegre bir sistemdir: (1) Yüzey meteorolojik verileri ve üst atmosfer tabakası çevresi ve isteğe bağlı olarak tesis içi ölçüm kulelerinden gelen verileri kabul eden, atmosferik türbülans karakteristikleri, sürtünme hızı ve yükseklik gibi dağılım modeli için gerekli atmosferik parametreleri hesaplayan meteorolojik veri ön işlemcisi (meteorological preprocessor) olan AERMET, (2) Ana amacı arazi özellikleri ve hava kirliliği dağılım davranışı arasında fiziksel bir ilişki sağlamak olan, arazi yükselmesini karakterize eden, kirletici dispersiyonu için kaynak/alıcı yüksekliklerini hazırlayan, her bir reseptör yeri için konum ve yükseklik verisi oluşturan bir arazi ön işlemcisi (terrain preprocessor) olan AERMAP (Khandokar, 2009, Misra vd., 2013) ve (3) Emisyon kaynakları ile onların özelliklerini barındıran model girdi dosyasıdır (Erdoğan 2012).

AERMOD modelleme sistemi 2 ön işlemci ve 1 dağılım modelinden oluşur. İlk ön işlemci olan AERMET (a) AERMOD'a atmosferik sınır tabakasını karakterize etmek için ihtiyaç duyduğu meteorolojik bilgileri sağlar (Irwin, vd., 1988) ve (b) AERMOD'un ihtiyaç duyduğu sınır tabakası parametrelerini (karışım yüksekliği, sürtünme hızı) hesaplamak için meteorolojik verileri ve yüzey karakteristiklerini kullanır. İkinci ön işlemci olan AERMAP, araziye karakterize eder ve dispersiyon modeli için alıcı sistem ve yükselteler oluşturur. AERMOD (1) konvektif ve stabil sınır katmanlarında dağılım, (2) plume yükselişi ve yüzdürme, (3) yüksek inversiyonlara plume girişi, (4) rüzgar, türbülans ve sıcaklık dikey profillerinin hesaplanması, (5) kentsel sınır tabakası ve (6) yüzeyden plume yüksekliğinin üstüne kadar her türlü arazi tipinde alıcıların uygulaması için geliştirilmiş algoritmalar içerir (Hayes and Moore 1986; Steinberga ve Lizuma 2004).

AERMOD modeli, havanın kararsız olduğu durumlarda “Gaussian olmayan olasılık yoğunluk fonksiyonu” varsayımını, kararlı olduğu durumlarda ise Gaussian dağılımını

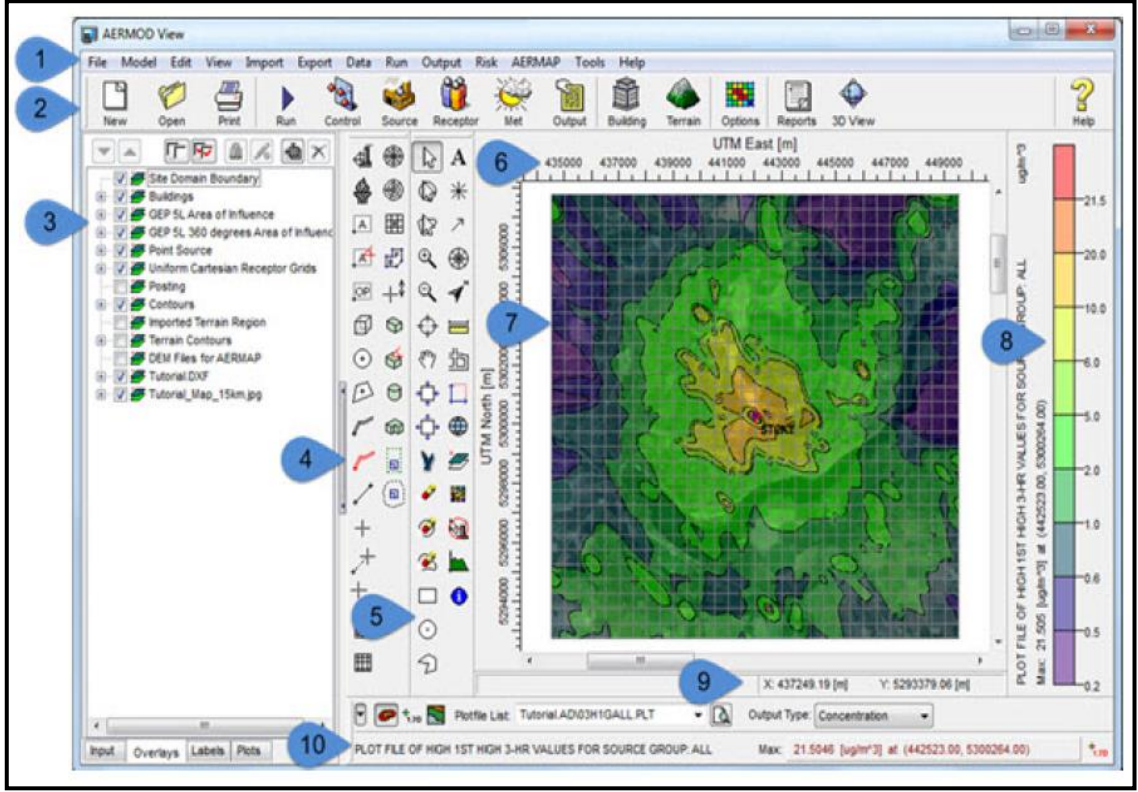
kullanır. Kentsel alanlar için yapılan modelleme çalışmalarında “ısı adası” konseptini dikkate alır. Kompleks topografyaya sahip alanlar için daha doğru sonuçlar verir. Modelde, yüzey pürüzlülük uzunluğu konsantrasyon sonuçlarını önemli derecede etkilemektedir. Albedo ve Bowen oranının çok az etkisi olup yıllık konsantrasyon sonuçlarına hiç etkisi bulunmamaktadır (Laffoon vd., 2005). Daha önce yapılan çalışmalara göre AERMOD modeli; rüzgar hızı, rüzgar yönü ve yüzey pürüzlülük uzunluğuna yüksek hassasiyet göstermektedir (Karvounis vd., 2006).

2.7 AERMOD View Dağılım Modeli

Bu tezde Niğde il merkezinde evsel ısınma kaynaklı emisyonların incelenmesi için kullanılan AERMOD View, popüler ABD EPA modelleri olan AERMOD, ISCST3 ve ISC-PRIME'i -modellerde herhangi bir değişiklik yapmadan- tek bir arayüzle kusursuz bir şekilde birleştiren tam ve güçlü bir hava dağılım modelleme paketidir. Bu model, çok çeşitli kaynaklardan gelen birikim ve kirlilik konsantrasyonunu değerlendirmek için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Kishore, 2015). AERMOD View otomatik gridleme, boşluk bırakma, gölgeli kontur resimleme ve sonuçları gönderme gibi işlem sonrası özellikler içerir (URL 7).

- AERMOD View -kullanıcı dostu ara yüzü ile- kolay sezgisel grafik ara yüzü sunmaktadır. Tüm katmanları aynı anda üst üste şeffaf bir şekilde görülebilir.
- Tüm emisyon kaynakları, alıcılar, binalar ve yönler grafik, görsel ve metin formatında işlenebilir.
- Dijital yükseklik verileri online alınabilir.
- 3 boyutlu olarak arazi modeli, kirlilik dağılım grafikleri alınabilir.
- Adım adım meteorolojik ön işleme ara yüzü kullanılarak meteorolojik veriler hızlı ve doğru bir şekilde hazırlanabilir.
- Model sonuçları, otomatik şekillendirme, otomatik ızgara, boşluklar, gölgeli kontur çizimi ve sonuçların gönderilmesi ile entegre edilmiştir.
- Hazır rapor formatları kullanarak, profesyonelce tasarlanmış raporlarda modelleme girdileri özetlenebilir.
- Model etki alanı 50 km çaplı alandır (URL 7).

Şekil 2.1’de AERMOD View ana ekranının genel görünümü verilmiştir. Burada 1 ve 2 menüler ve simgeler, 3 katmanlar, 4 emisyon tipi seçenekleri, 5 yardımcı şekiller, 6 koordinatlar, 7 sonuç ekranı, 8 skala, 9 nokta koordinat ve 10 sonuç dosya adı gibi birçok özellik aynı ekranda sunulup modelciye ergonomik bir ekran sağlanmaktadır.



Şekil 2.1. AERMOD View genel ekranı

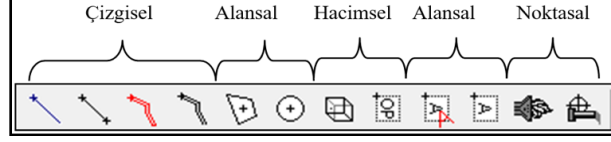
2.7.1 AERMOD View hava kalitesi modeli verileri

Tüm model çalışmalarında olduğu gibi AERMOD View hava kalitesi dağılım modeli çalışmasında da emisyon kaynakları, emisyon tipleri ve miktarı, alıcı ortam şartları, topografik yapı ve meteorolojik veri setlerinin hazırlanması gerekmektedir.

2.7.2 AERMOD View emisyon kaynakları

AERMOD View Modeli uygulanırken kirlilik kaynaklarına ait miktar ve emisyon tipleri seçilmelidir. Bu modelde kullanılan emisyon kaynak türü olarak -Şekil 2.2’de gösterildiği üzere çizgisel, alansal, hacimsel ve noktasal olmak üzere- 4 tane ana kaynak tipi tanımlanmıştır. Çizgisel için karayolları, stabilize yollar, enerji iletim hattı, vb.,

alansal için maden ruhsat alanı, inşaat temel alanları, kazı alanları, vb., hacimsel için bir kap/depo içindeki kimyasal sıvılar, doğalgaz tankları, vb., noktasal için ise bacalar, vb. örnektir.

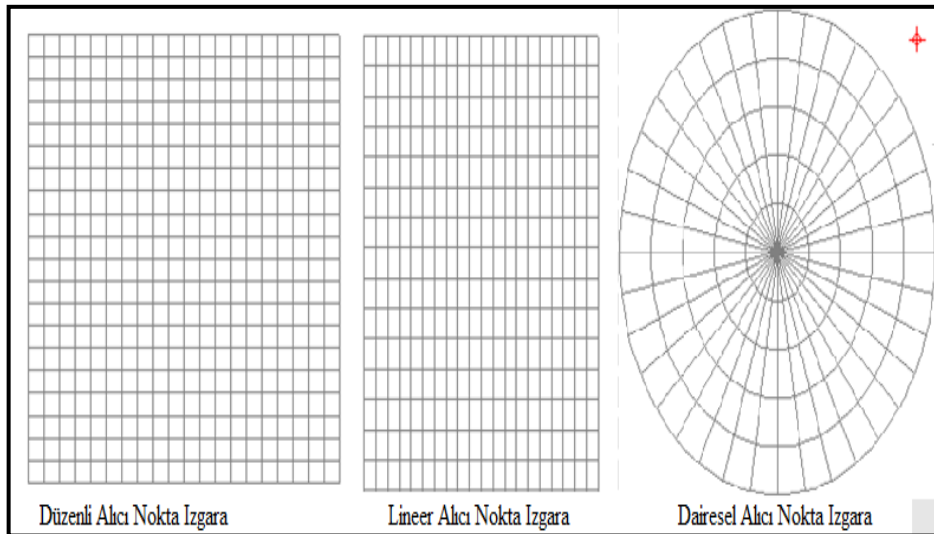


Şekil 2.2. Emisyon kaynak türleri

Çizgisel kaynak türü için karayolu seçilmiş ise bu yol türünün tek şerit mi yoksa çift şerit mi olduğu veya yol geniş gibi verilere ait detaylar çizgisel kaynak tanımlamasında seçilerek girilmelidir. Emisyon kaynakları ve emisyon tiplerine ait veriler tanımlanırken en önemli husus, emisyon miktarına ait birimdir. Mesela alansal kaynaklar için birim g/m^2-s iken noktasal kaynaklarda g/s 'dir.

2.7.3 AERMOD View alıcı noktalar

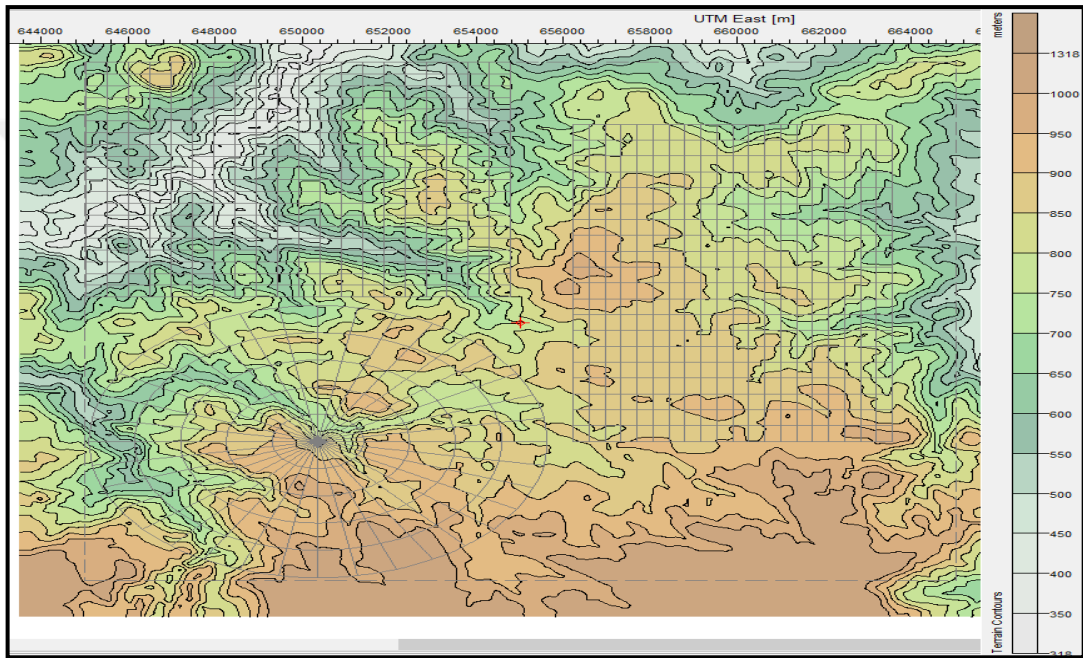
AERMOD View alıcı noktalar, emisyon kaynaklarından çıkan kirletici konsantrasyonlarının hangi noktalarda hesaplanacağına ait verilerdir. Şekil 2.3'de görüldüğü gibi ızgara hatları düzenli, dairesel, noktasal veya lineer tanımlamalar otomatik olarak ve modelcinin çalışma talebine göre yapılabilir.



Şekil 2.3 Alıcı (reseptör) kaynak noktaları

2.7.4 AERMOD View topoğrafya yapısı

Günümüzde çalışma alanı sınırlarındaki enlem, boylam ve yükseklik verileri internet ortamından temin edilebildiği gibi CBS, harita uygulamaları, araziye dayalı ölçüm teknikleri ile de ortaya konabilmektedir. Şekil 2.4'te bir örneği görüldüğü üzere, model çalışma alanına ait koordinatlı olarak x, y ve z verileri SRTM1/SRT3 uydu verileri üzerinden elde edilebilir. Bu tez çalışmasında 30 m çözünürlük dikkate alınmıştır. Koordinatlı topografik veri seti otomatik veya elle işlenebilir.

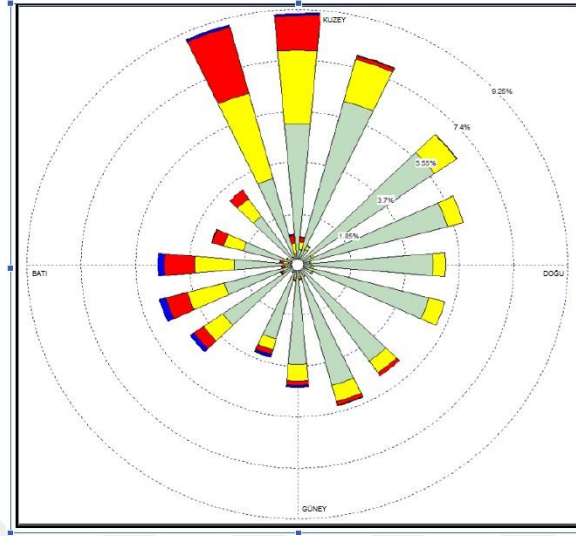


Şekil 2.4. Topografik veri seti örneği

2.7.5 AERMOD View meteorolojik veri setleri

Çalışma alanı yakın çevresinde, 24 saatlik günlük veriler ve 12 saatte bir ölçülen yüksekliğe bağlı üst atmosfer verileri kullanılmalıdır. Günlük 24 saatlik veriler, 10 m yükseklikte ölçülmüş ve günlük hayatta hissedilen rüzgâr hızı ve yönü, nem, basınç, sıcaklık, yağış, bulutluluk, kapalılık gibi verilerdir. 12 saatte bir ölçülen yükseklik (ana sondaj) verileri her 10 mb'da değişen atmosferik rüzgâr hızı ve yönü, sıcaklık, basınç, nem verileridir.

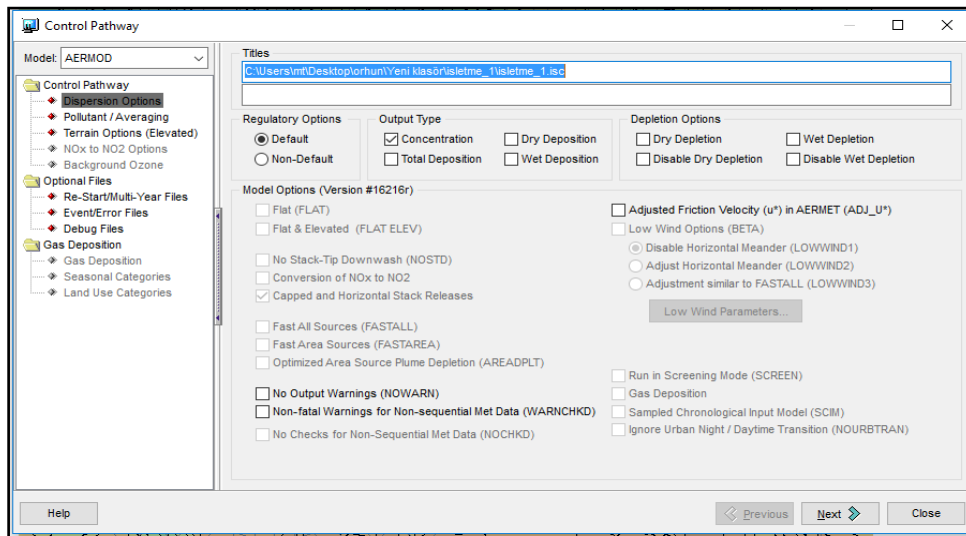
Şekil 2.5’de model çalışmasına altlık veri hazırlanması için hazırlanan en önemli unsur olan rüzgâr gülü grafiği örneği verilmiştir.



Şekil 2.5. Meteorolojik verilerden elde edilen rüzgâr gülü örneği

2.7.6 AERMOD View kontrol paneli

Kontrol paneli, tüm verilerin ve sonuçların karar verildiği çok önemli bir sorgu çalışması içermektedir. Tezde AERMOD View modelin oluşturulması sırasında NO_x , SO_2 , CO, PM_{10} , vb. kirlenici parametrelerinin kesinleştirildiği ve sonuç verilerinin üretildiği nihai veri ekranı genel görüntüsü Şekil 2.6’da verilmiştir.



Şekil 2.6. Kontrol paneli örnek görüntüsü

2.7.7 AERMOD View model çalışma prensibi

EPA gibi uluslararası kuruluşlarca kabul edilen AERMOD Gaussian Dağılım Modelinin kabulleri;

- Stabil veya tepki oluşturmeyen kirleticiler için kullanılır.
- İnsan sağlığını birinci derecede etkileyen 0,1 µm ile 100 µm arasındaki çok ince aerosol emisyonlarında oldukça başarılıdır. Daha büyük veya küçük tanecikler için düzenleme gerekir.
- Havadaki basınç koridorunda, meteorolojik verilerin sabit olduğu kabul edilir.
- Meteorolojik veri içeriğinde kararlılık sınıflandırmasında Pasquill-Gifford standartları kullanır.
- Kirletici konsantrasyonu modelci tarafından zamansal olarak tanımlanabilir.

Hava kirliliğine sebep olan kirleticilerin düz zemin üzerinde değil toprak, bina ve arazi tipi üzerinde salınımı dikkate alındığında noktasal kaynaktan çıkan maddelerin bir kısmı toprakta, su birikintisinde veya bitki üzerinde kalırken bir kısmı da zeminden yansır. Şekil 2.7’de verilen hava ortamındaki madde dağılım formülü ve Şekil 2.8’de verilen grafikte gösterilen maddenin dağılımı kapsamında hava kalitesi modellerinde EPA gibi uluslararası kuruluşlarca da kabul gören Gaussian formülü kullanılmaktadır.

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_zU} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \left\{ \exp\left[-\frac{(z-h_s)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+h_s)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}$$

Şekil 2.7. Gaussian formülü

Bu formülde:

Q : Kaynaktan yayılan kirleticiye ait kütle debisi (kg/saat)

x,y : Noktasal koordinatlar

z : Yükseklik (m)

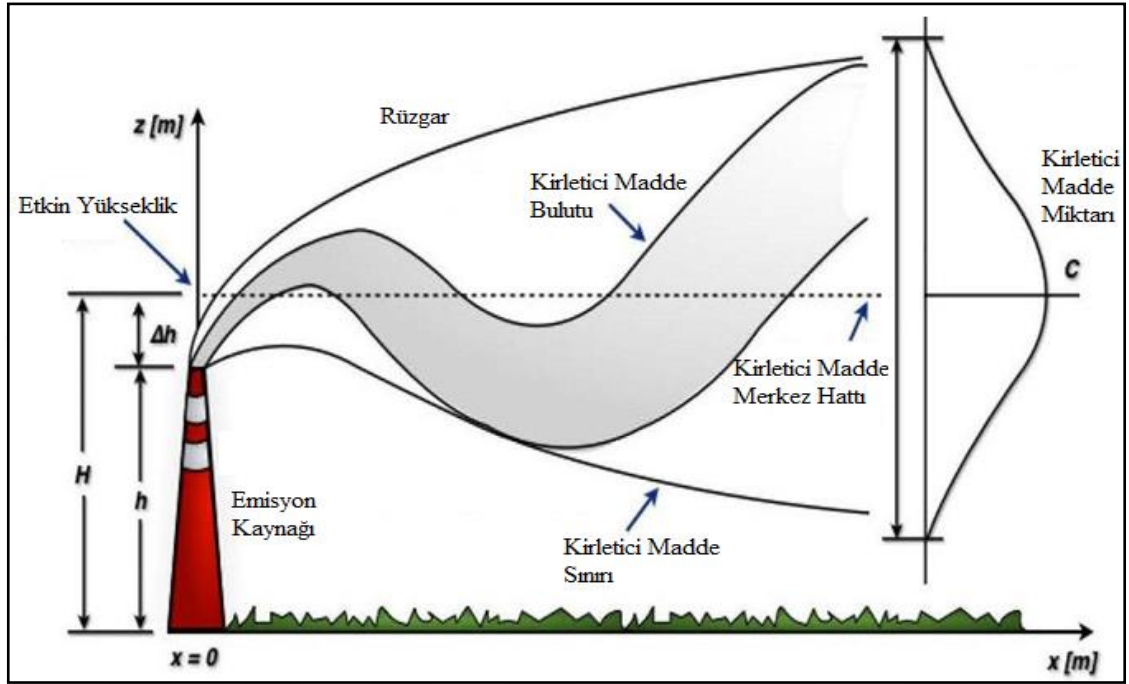
σ_y : Yatay yayılım katsayısı

σ_z : Düşey yayılım katsayısı

U : Etkin baca yüksekliğindeki rüzgâr hızı (m/s)

H : Etkin baca yüksekliği

olarak belirtilmiştir.

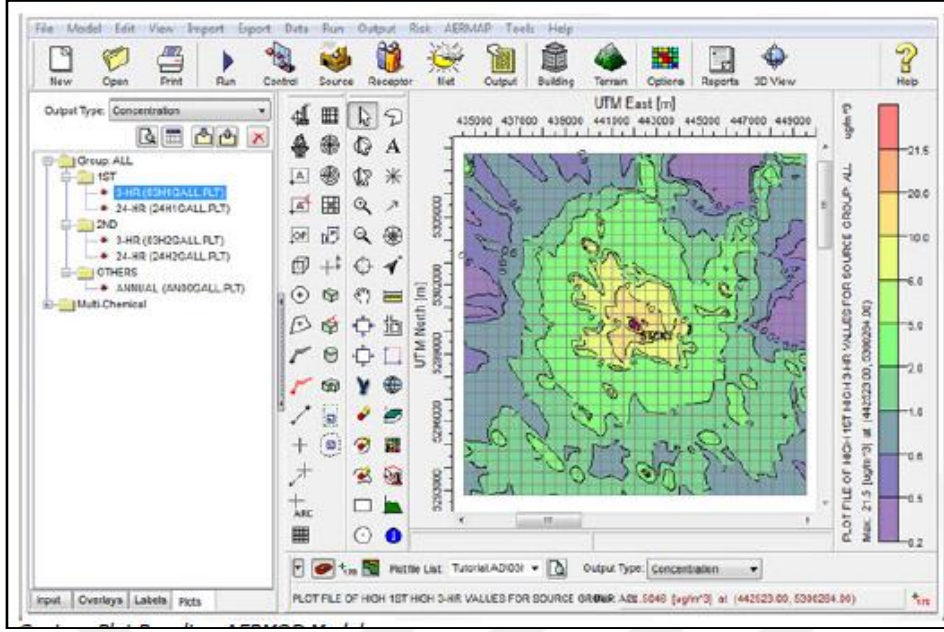


Şekil 2.8. Hava ortamında kirletici maddenin dağılımı

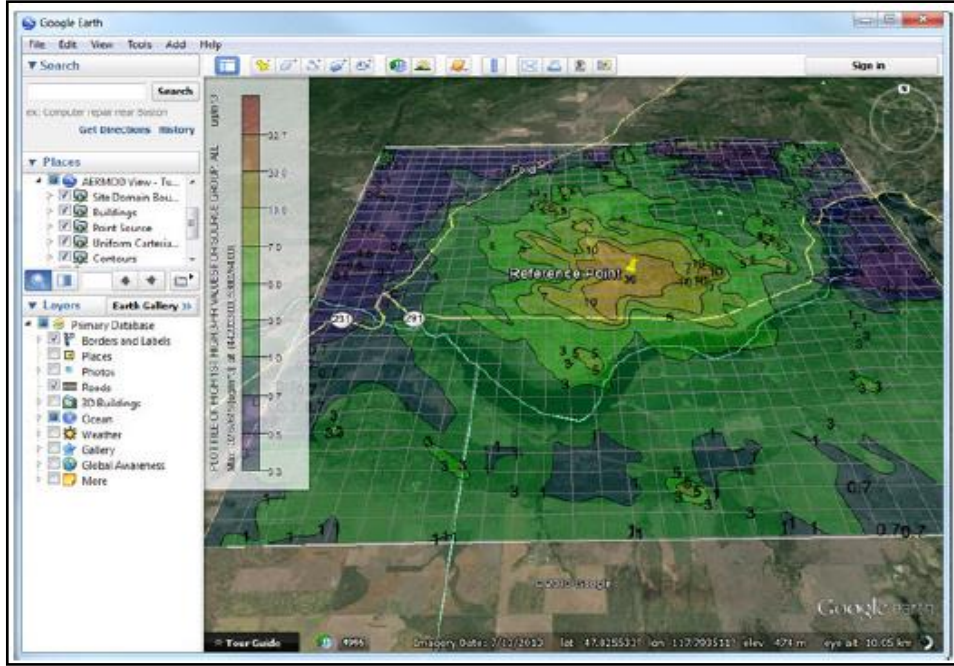
2.7.8 AERMOD View model sonuçlarının genel gösterimi

Hava kalitesi model verileri ve modelcinin talep ettiği sonuçlar resim, görüntü, sayısal metin ve benzeri birçok sayısal sonuç tipinde alınabilir. Kullanılan tüm verilerin içeriği, kabul edilen sınır değerler, emisyon miktarları, meteorolojik veriler, topografik veriler, alıcı noktalar gibi çok detaylı tüm işlemlerin sonuçları ve özeti anlaşılır şekilde üretilmektedir.

Şekil 2.9 ve Şekil 2.10'da örnek olarak verilen emisyon dağılım grafiklerinde görüldüğü gibi karar vericiler, stratejik plan yapan uzmanlar tarafından mevzuat çalışmaları ve akademik çalışmalarda görsel ve sayısal haritalar üretilebilir.



Şekil 2.9. Hava kalitesi kirletici madde dağılım grafik örneği-1



Şekil 2.10. Hava kalitesi kirletici madde dağılım grafik örneği-2

Hava kirliliği model haritaları ve grafikleri, zaman-mekân ve değişik senaryolara göre uzman modelci tarafından ayrıca da üretilebilir. Hata payının sıfıra yakın olduğu hava kalitesi modellerinin günümüz teknolojisine entegrasyonu, anlaşılabilir şekilde okunması ve görülmesi yaşam kalitesinin artmasını sağlar; çevre sorunlarının önceden tespiti için her geçen gün hayatımızda daha etkin rol almaktadır.

BÖLÜM III

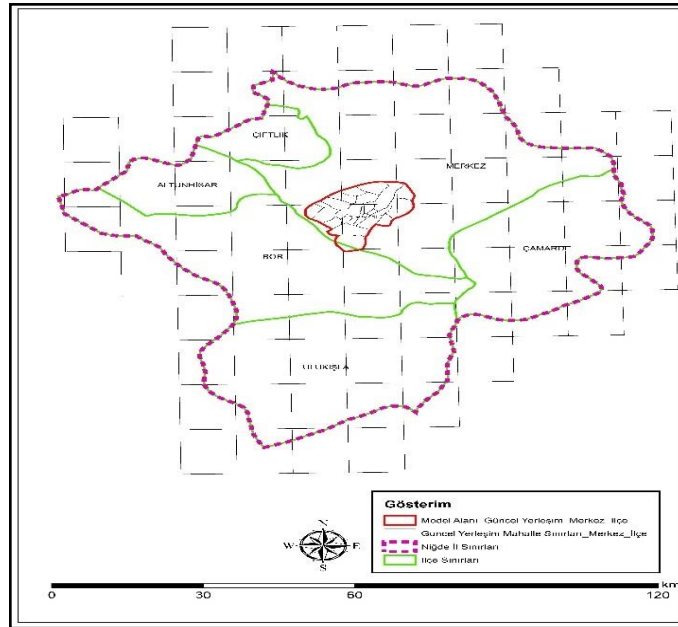
MATERYAL VE METOT

3.1 Hava Kalitesi Dağılım Modeli Yapabilmek İçin Gerekli Tespitler

Hava kalitesi modellerinde meteorolojik veri setlerinin hazırlanması, emisyon kaynak tipleri ve emisyon oranlarının hesaplanması ve topografik yapının ortaya konması bu tip modellerin güvenilirliği bakımından çok büyük önem arz etmektedir. Bu tezde, hava kalitesi dağılım modeli yapabilmek için (i) model bölgesinin, (ii) model bölgesine ait meteorolojik verilerin, (iii) model bölgesine ait koordinatlı topografik yükseklik verilerinin ve (iv) model bölgesine ait emisyon tipi, kaynakları ve miktarının tespit edilmesi gerekmektedir.

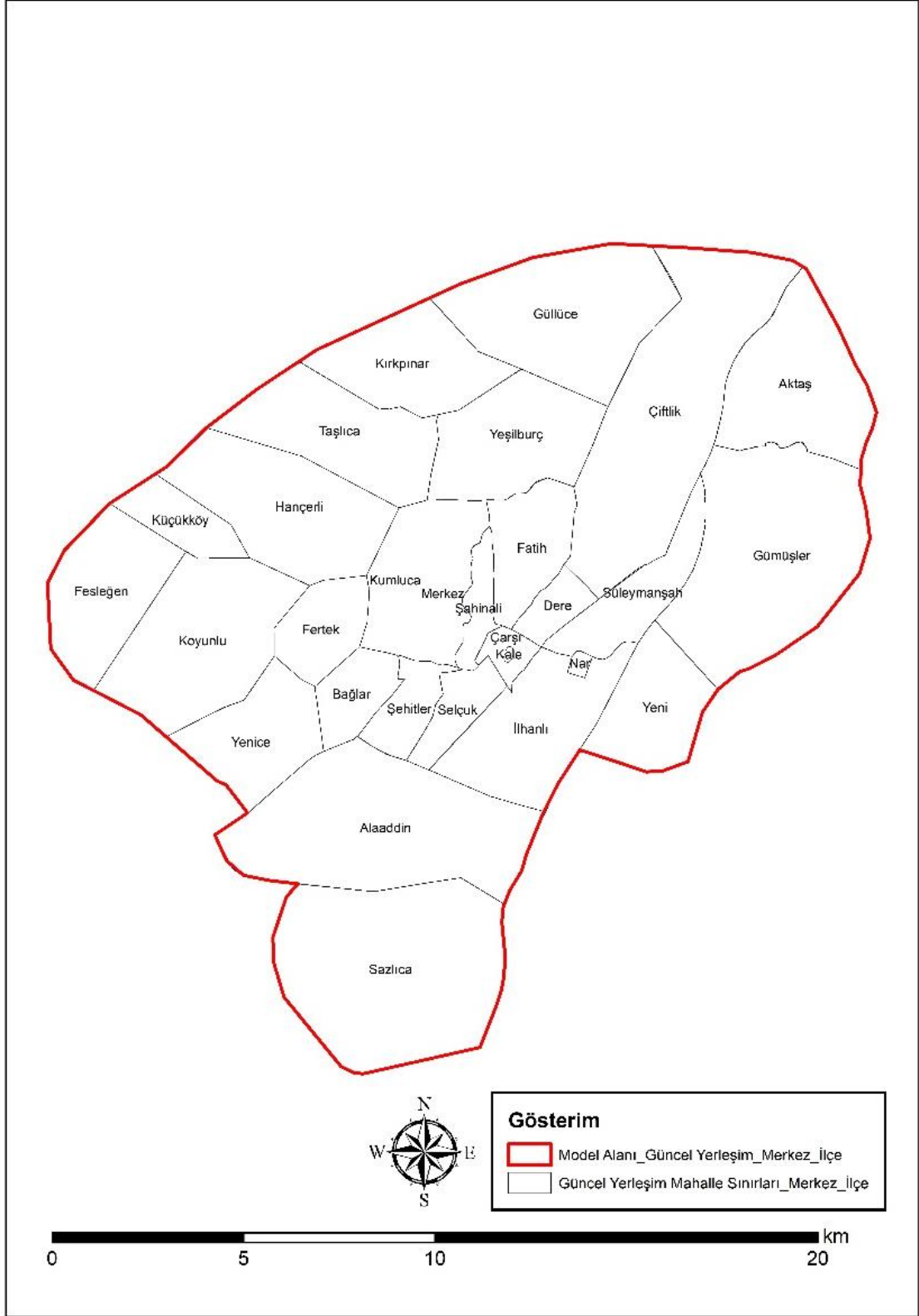
3.1.1 Model bölgesinin tespiti

Niğde il merkezinde ısınma kaynaklı hava kalitesi dağılım modeli yapabilmek için idari sınırlar dikkate alınmıştır. Model çalışma alanı, Niğde ili merkez ilçede yer alan mahallelerdeki konutlardan oluşmaktadır. Niğde ili idari sınırları Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Niğde ili idari sınırları

Bu tezde uygulanan AERMOD View modelinin çalışma alanı ve sınırları Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Hava kalitesi dağılım modeli çalışma alanı

Model çalışma alanı dikkate alınırken 2017 yıl sonu itibari ile tapu kadastro verileri, doğalgaz abone sayıları ve Google Earth görüntülerinden yerleşim alanları dikkate alınarak gerçekçi bir yaklaşım uygulanmıştır.

3.1.2 Model bölgesine ait meteorolojik veriler

Modelleme periyodunda (genellikle 1 saat) meteorolojik koşullar sabit kabul edilir ve yatay olarak homojendir. Atmosferik sınır tabakasındaki dikey değişimler, modelin tahminlerine dahil edilir (Perry vd., 2005). Bu tez çalışmasında meteorolojik veri setleri olan saatlik yüzey verileri (24 saat baz alınarak) ve 00/12 saatlik anasonaj (yükseklik) verileri, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi aracılığı ile resmi olarak Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

3.1.2.1 Modelde kullanılan 24 saatlik meteorolojik yüzey veri içeriği

Model çalışmasında kullanılan 24 saatlik yüzey meteorolojik verilerin içeriği şöyledir.

24 saatlik yüzey istasyon bilgileri:

İstasyon Numarası: 17250

İstasyon Adı: Niğde

İstasyon İlçesi: Merkez

Enlem: 37.9587

Boylam:35.6795

Rakım:1211

24 saatlik yüzey veri seti süresi: 01.01.2012-31.12.2016 yıllarına ait 5 yıllık veri kullanılmıştır.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K		L
1	YIL	AY	GUN	SAAT	HIZ	YÖN	SICAKLIK	KAPALILIK	YAĞIŞ	NEM	BULUT	TABAN YÜKSEKLİĞİ	BASINÇ
2	2012	01	01	00	2.8	45	1.1	3	0	81		1000	873.4
3	2012	01	01	01	2.7	45	1.3	3	0	79		1000	873.2
4	2012	01	01	02	3.4	45	1.9	3	0	76		1000	872.4
5	2012	01	01	03	3	45	2	3	0	75		1000	872.1
6	2012	01	01	04	2.8	45	2	3	0	75		1000	872.5
43796	2016	12	31	18	1.8	45	-4	08	0	93		1000	882
43797	2016	12	31	19	1.5	23	-4.2	8	0	92		1000	882.6
43798	2016	12	31	20	0.6	293	-4.7	8	0	92		1000	883.1
43799	2016	12	31	21	0.6	225	-4.6	08	0	93		1000	883.1
43800	2016	12	31	22	0.7	0	-5.1	8	0	94		1000	882.9
43801	2016	12	31	23	0.3	23	-5.5	8	0	93		1000	882.7

Şekil 3.3. Saatlik meteorolojik yüzey veri seti içerik görüntüsü

24 saatlik yüzey veri içeriğinde sırasıyla (i) Rüzgâr hızı (m/s), (ii) rüzgâr yönü (0-360°), (iii) sıcaklık (°C), (iv) kapalılık (10'luk), (v) yağış (mm), (vi) nem (%), (vii) bulut taban yüksekliği (m) ve (viii) basınç (mb) olmak üzere 8 tip veri tipi kullanılmış ve veri içerik düzenleme örnek görüntüsü Şekil 3.3'de verilmiştir.

3.1.2.2 Modelde kullanılan 00/12 saatlik meteoroloji anasondaj (yükseklik) veri içeriği

Model çalışmasında kullanılan 00/12 Saat, 0-6000 m arası, 10 mb aralıklı anasondaj (yükseklik) meteorolojik verilerin içeriği şöyledir. Anasondaj istasyon bilgileri:

İstasyon Numarası: 17130

İstasyon Adı: Ankara bölge

İstasyon İlçesi: Keçiören

Enlem: 39.9727

Boylam: 32.8637

Rakım: 891

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	Istasyon No	Istasyon Adı	YIL	AY	GUN	SAAT	BASINÇ SEVİYESİ hPa	YÜKSEKLİK (m)	SICAKLIK (Derece)	NISPI NEM (%)	ISBA SICAKLIĞI (Derece)	RUZGAR YONU	RUZGAR HIZI (knot)
1													
2	17 130	ANKAR	2012	1	1	0	900	961	2.5	80	-0.6	49	3.4
3	17 130	ANKAR	2012	1	1	0	890	1051	2.1	78	-1.2	60	3.5
4	17 130	ANKAR	2012	1	1	0	880	1142	2.8	79	-0.5	70	3.7
5	17 130	ANKAR	2012	1	1	0	870	1234	2.4	79	-0.8	89	3.7
6	17 130	ANKAR	2012	1	1	0	860	1327	1.6	80	-1.4	126	4.1
7	17 130	ANKAR	2012	1	1	0	850	1421	0.9	83	-1.6	148	5.4
8	17 130	ANKAR	2012	1	1	0	840	1516	0.2	86	-1.8	164	6.6
157146	17 130	ANKAR	2016	12	31	12	560	4648	-24.1	31	-37	127	16.5
157147	17 130	ANKAR	2016	12	31	12	550	4778	-24.6	25	-39.9	125	17.7
157148	17 130	ANKAR	2016	12	31	12	540	4912	-25.9	25	-40.9	123	19
157149	17 130	ANKAR	2016	12	31	12	530	5044	-27.2	26	-41.8	121	20.6
157150	17 130	ANKAR	2016	12	31	12	520	5183	-28.3	37	-39.2	118	22.7
157151	17 130	ANKAR	2016	12	31	12	510	5321	-29.5	41	-39.1	116	24.3
157152	17 130	ANKAR	2016	12	31	12	500	5462	-30.4	41	-40	115	25.9
157153	17 130	ANKAR	2016	12	31	12	490	5606	-31.1	47	-39.3	114	27.4
157154	17 130	ANKAR	2016	12	31	12	480	5753	-31.8	63	-37	114	29.4
157155	17 130	ANKAR	2016	12	31	12	470	5902	-33.1	66	-37.9	113	30.7

Şekil 3.4. Meteorolojik anasondaj veri seti içerik görüntüsü

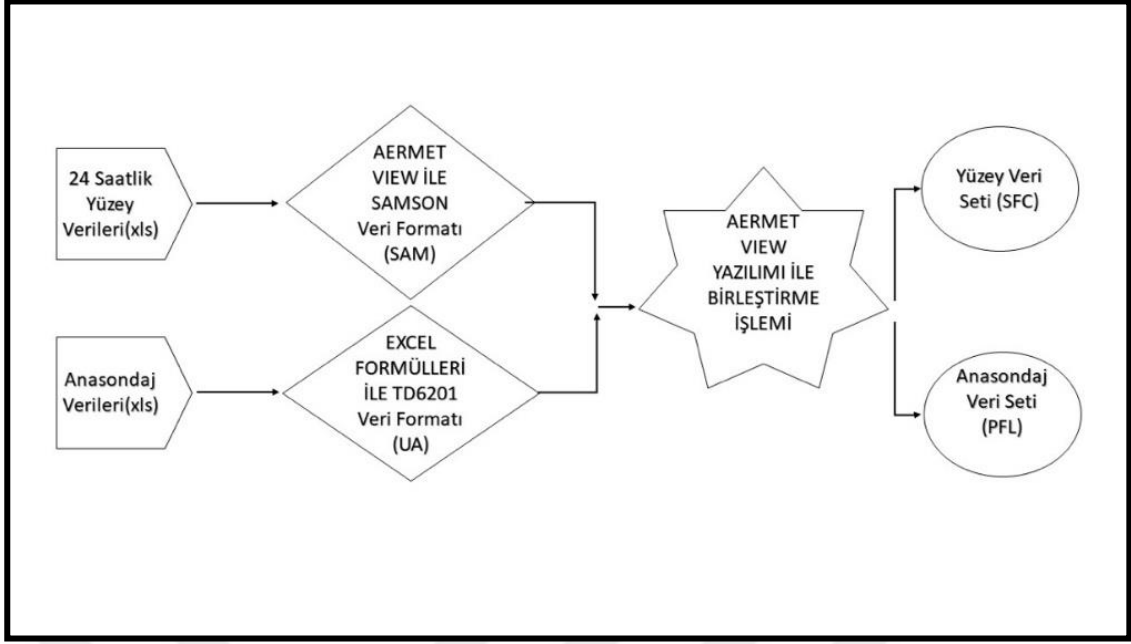
Anasondaj veri seti süresi: 01.01.2012-31.12.2016 yıllarına ait 5 yıllık veri

Anasondaj veri içeriğinde,

- 1-Basınç (mb)
- 2-Yükseklik (m)
- 3-Sıcaklık (°C)
- 4-Nem (%)
- 5-Rüzgâr hızı (knot olup m/s olarak yeniden düzenlenmiştir)
- 6-Rüzgâr yönü (0-360°)

olmak üzere 6 tip veri tipi kullanılmış ve veri içerik düzenleme örnek görüntüsü Şekil 3.4'te verilmiştir. Yüze ve anasondaj meteorolojik veri setleri Excel yazılımı ile düzenlenerek modelin kullanacağı veri formatına göre hazırlanmıştır.

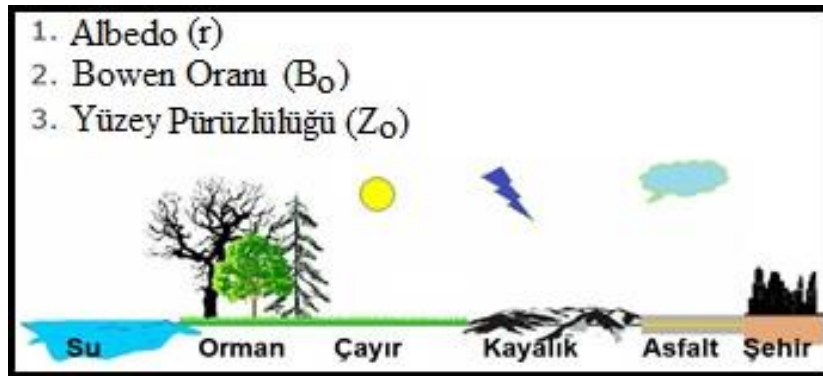
Model girdisi olarak kullanılan saatlik yüze verileri SAMSON ve anasondaj verileri ise TD6201 formatına göre düzenlenmiştir. Üretilen SAMSON ve TD6201 veri formatları, meteoroloji yazılımı olarak kullanılan AERMET View yazılımı aracılığı ile birleştirilmiş ve modelin kullanacağı yüze (SFC) ve profil (PFL) veri setleri oluşturulmuştur. Bu veri seti format dönüşüm işlemlerine ait akım şeması Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Meteorolojik veri setlerinin format dönüşüm akım şeması

3.1.2.3 Modelde kullanılan meteorolojik veri düzenlemesine ait diğer parametreler

AERMET View yazılımı ile SFC ve PFL dosyaları oluşturulmuştur. Ancak bu işlem aşamasında, meteorolojik verilerin yüze arazi tiplerine göre Albedo, Bowen ve Roughness olarak yansımaya katsayıları kullanılmaktadır. Mesela şehir alanı ile ormanlık alandaki meteorolojik verilerin yansımaya oranları farklılık göstermektedir. Arazi yüze tipleri ve yansımaya katsayı tiplerine göre detay gösterimi Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Arazi yüze tipleri ve yansımaya katsayı tipleri

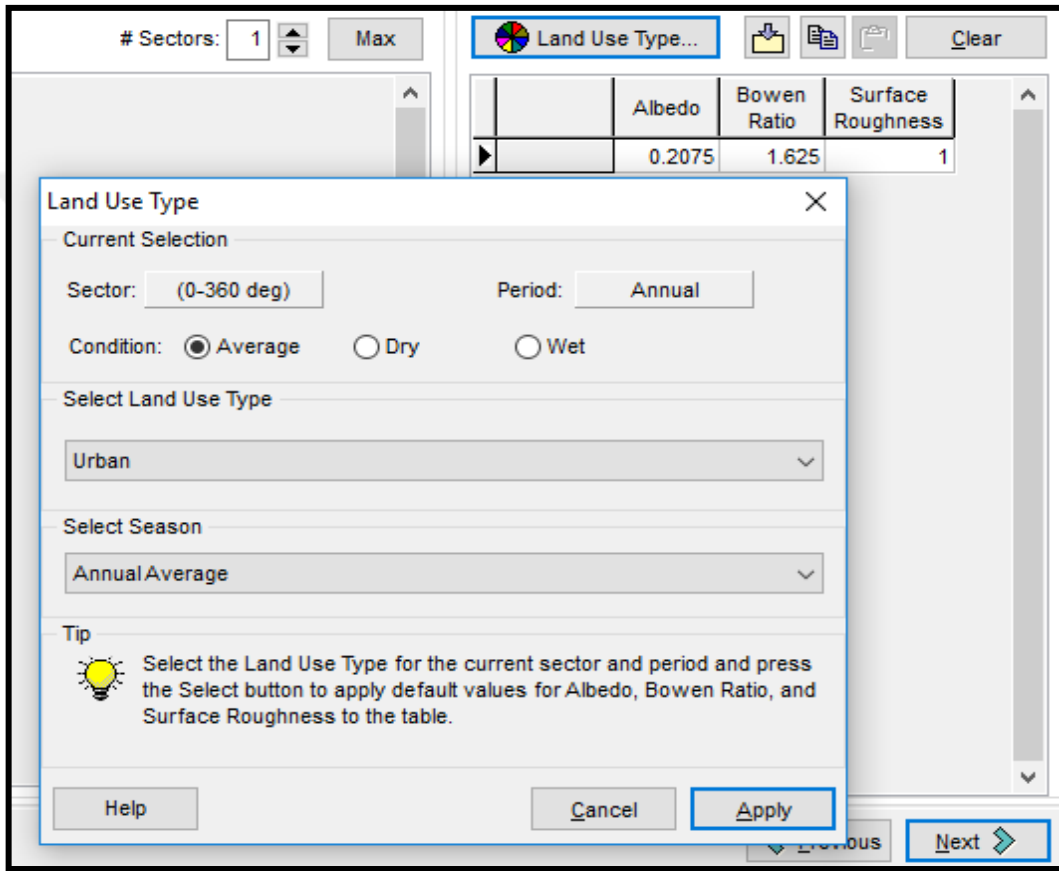
Model çalışma alanı şehir alanı olduğundan, yüze arazi tiplerine göre kullanılan yansımaya katsayıları yıllık ortalama

Albedo: 0.2075

Bowen Oranı: 1.625

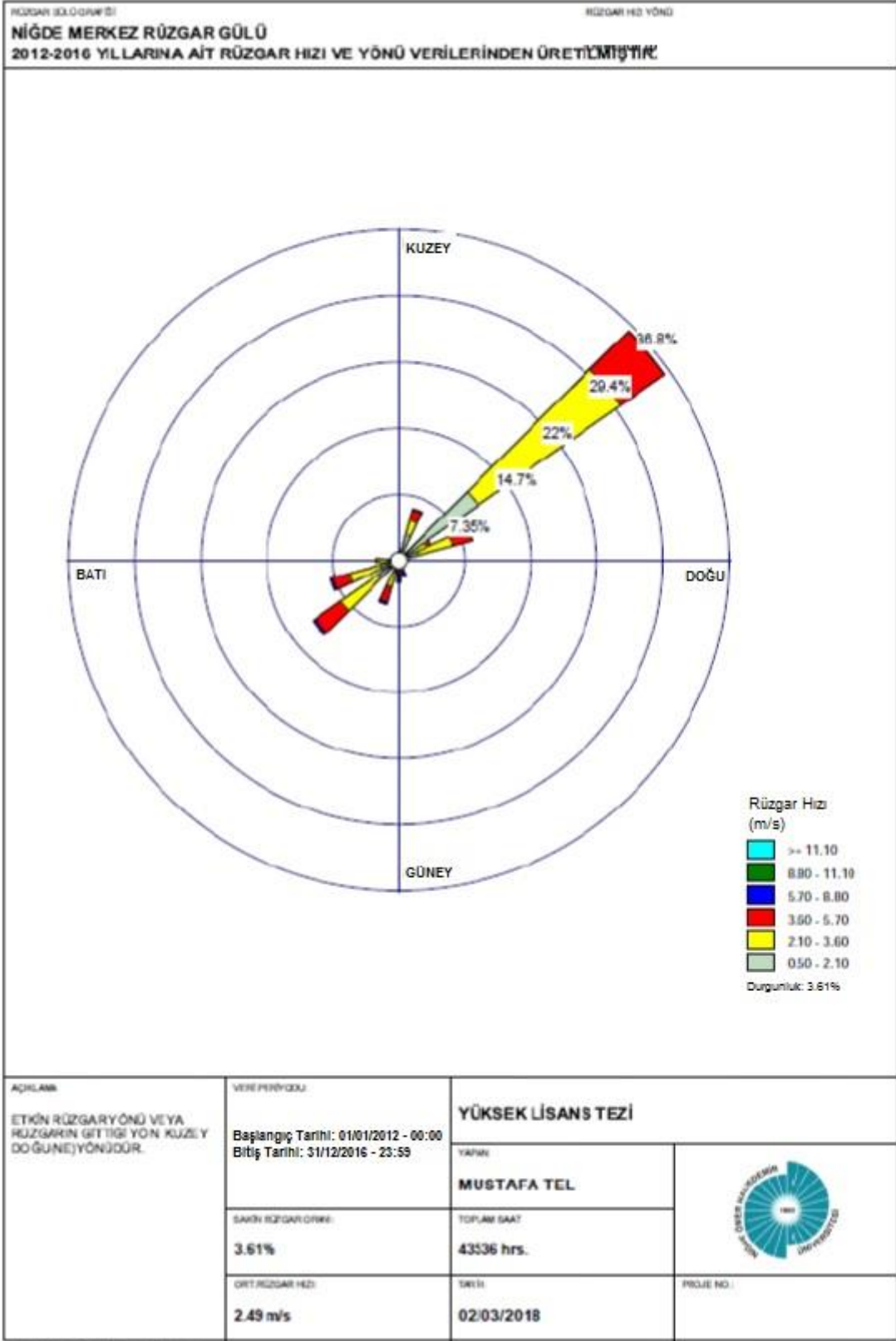
Yüzey Pürüzlülüğü:1

olarak yazılım tarafından otomatik olarak tanımlanmış ve bu yansıma katsayıları dikkate alınarak SFC ve PFL dosyaları üretilmiştir. Şehir tipi arazi yüzey yansıma tipi seçilerek Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



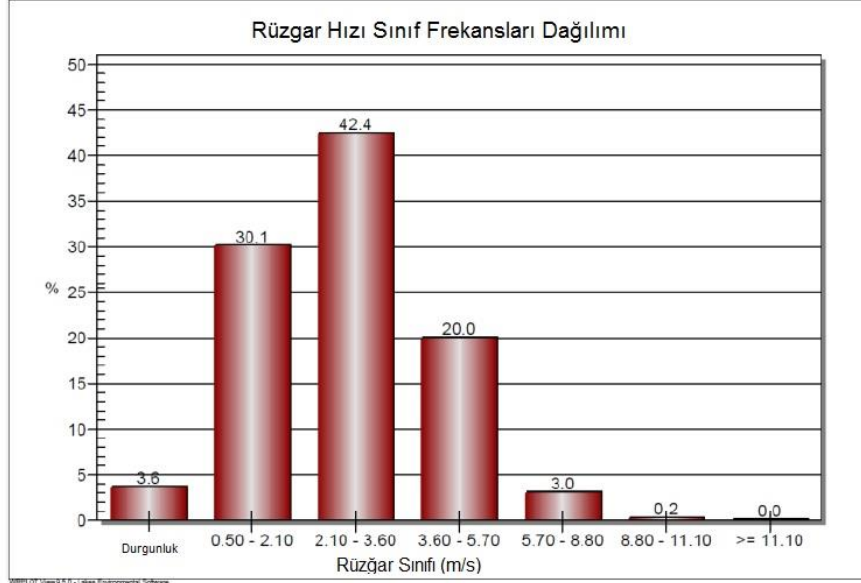
Şekil 3.7. Yüzey yansıma katsayıları

2012 ve 2016 yıllarına ait 5 yıllık meteorolojik veri setleri ile üretilen verilere göre oluşturulan rüzgâr gülü Şekil 3.7’de, rüzgâr hızlarına göre sınıf frekans dağılım grafiği ise Şekil 3.8’de verilmiştir. Niğde il merkezinde etkili rüzgâr yönünün kuzey-doğu yönünde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.8. Niğde il merkezi rüzgâr gülü grafiği

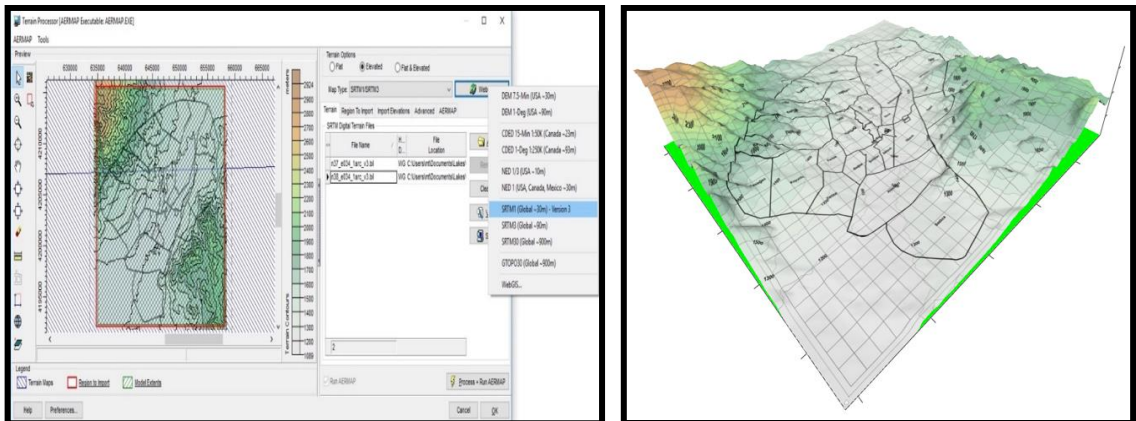
Niğde il merkezinde etkin rüzgâr yönünün kuzey-doğu yönünde olduğu ve %42,4 oranında kuzeydoğu yönünde 2,10-3,60 m/s hızla estiği Şekil 3.8 ve 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.9. Niğde il merkezi rüzgâr hızlarına göre rüzgâr hızı sınıf frekansları

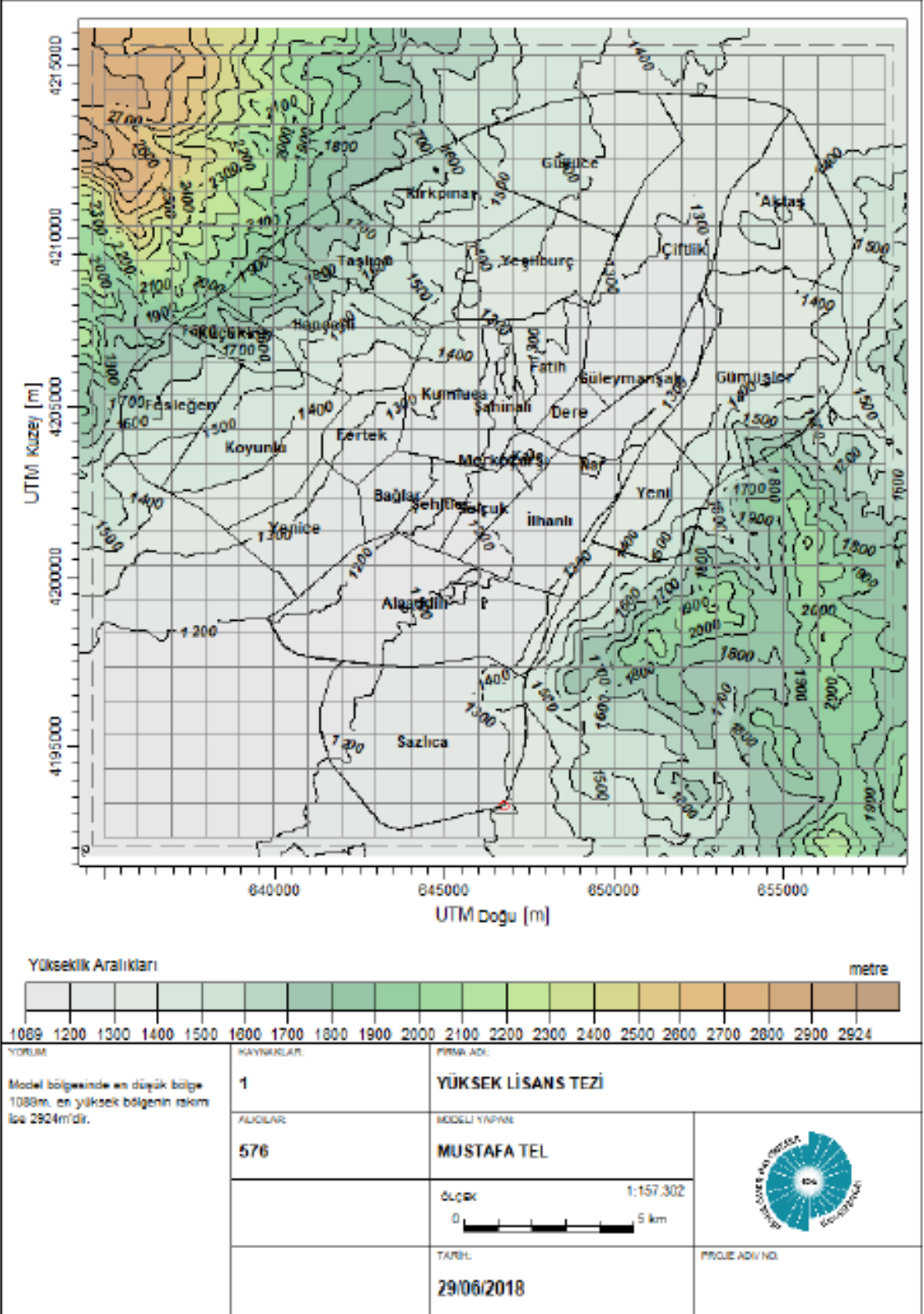
3.1.3 Model bölgesine ait koordinatlı topografik yükseklik verileri

Model çalışma alanı olarak Niğde ili merkez ilçede yer alan mahallelerdeki konut alanları incelenmiştir. Bu alanların topografik yükseklik verileri veya rakım değerleri AERMAP yazılımı ile SRTM1/SRTM3 veri setleri içinden en hassas olan 30 m çözünürlüklü veriler sayısal olarak alınmıştır. Model alanındaki rakım değeri 1089-2924 m arasında değişmiş ve üretilen topografik veriler Şekil 3.10 ve 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.10. Niğde il merkezi topografik harita görüntüsü-3D (sağda) ve Niğde il merkezi topografik veri seçimi (solda)

PROJE ADI
NİĞDE İL MERKEZİ TOPOGRAFIK VERİ SETİ



Şekil 3.11. Niğde il merkezi topografik harita görüntüsü

3.1.4 Model bölgesine ait emisyon tipi, emisyon kaynakları, emisyon miktarı ve senaryoları

Bu tez çalışmasında model bölgesinde konutlarda ısınma amaçlı olarak tüketilen doğalgaz ve kömürün yanması sonucu açığa çıkan temel kirleticilerin (NO₂, SO₂, CO ve PM₁₀) emisyon kaynakları ve miktarları dikkate alınmıştır. Model bölgesinde hava kalitesini belirlemek amacıyla 2018 ve 2028 yılları için emisyon senaryoları yapılmıştır. Bu iki farklı yıla göre model sonuçları yorumlanmıştır.

3.1.4.1 2018 yılı senaryosu

Tezde uygulanan AERMOD View model için yapılan hesaplama ve kabullerde TÜİK istatistikleri dikkate alınmıştır. Niğde il merkezindeki mahallelerde doğalgaz kullanan konut sayıları (Çizelge 3.1), Niğde Belediyesi(NB)'nden temin edilmiştir.

Çizelge 3.1. Niğde il merkezindeki mahallelerde doğalgaz kullanan konut sayıları (NB, 2018)

Mahalle Adı	Doğalgaz Kullanan Konut Sayısı
Ahipaşa	114
Alaaddin	9
Aşağı Kayabaşı	11.225
Burhan	276
Çayır	475
Dere	1.952
Efendibey	5.840
Esenbey	521
Eski Saray	846
İlhanlı	4.563
İnönü	2.052
Balhasan	0
Saruhan	524
Selçuk	6.754
Sıralı	476
Songur	185
Şahinalı	2.254
Şehitler	2.006
Yenice	1.888
Nar	289
Yukarı Kayabaşı	1.896
Şahsüleyman	951
Kumluca	152
TOPLAM	45.248

Bu verilerden;

- Model çalışma alanının 271.012.255 m²,
- TÜİK verilerine göre 2017 yılı nüfus büyüklüğünün 220.227 kişi,
- Toplam doğalgaz aboneli olan konut sayısının 45.248,
- Toplam doğalgaz aboneli olmayan konut sayısının 55.069-45.248 = 9.821

olduğu (1 konutta 4 kişi kabulü ile 220.227/4 = 55.069) hesaplanmıştır.

Model çalışma alanına ait alınan tüketim kabulleri aşağıda verilmiştir. Bu kabullerde dikkate alınan tüketim miktarları, sadece ısınma amacı ile tüketilen miktarlardır.

- 1 adet konut için 1 yıllık sadece ısınma (banyo, mutfak, sıcak su vb. ihtiyaçlar hariç) amaçlı doğalgaz tüketim miktarının ortalama 540 m³ kabul edildiği, doğalgazın yoğunluğunun 0,791845 kg/m³ kabul edildiği, 428 kg (0,428 ton) tüketim yapıldığı,
- 1 m³ doğalgazın 10,62 kw enerji birimine eşit olduğu kabul edilmiştir.

Hem doğalgaz hem de kömür tüketicisinin yaşam konforu eşit olarak dikkate alınarak, eşit enerji miktarına düşen doğalgaz ve kömür kullanım hacimsel olarak miktarlarının eşit olması için, hesaplamalarda doğalgaz enerji miktarına eşit gelen kömür hacmi kullanılmış ve aşağıdaki gibi hesaplama yapılmıştır.

1 m³ kömür 6,12 kw enerji birimine eşit kabul edildiğinde,

1 m³ doğalgaz = 10,62/6,12=1,736 m³ kömür hacmi miktarına eş olmaktadır.

Yapılan hesaplama göre 1 adet konut için ısınma amaçlı 1 yıllık kömür tüketim/ihtiyaç miktarının,

- 540 m³ doğalgaz x 1,736 = 937 m³ kömür hacmine eşit olduğu,
- Kömür yoğunluğu (yerli ve ithal ortalaması) 1,6 kg/m³ kabul edildiğinde yaklaşık 1500 kg (1,5 ton) tüketim yapıldığı,

- Ortalama 1 adet konutun ısınması için $1500/428=3,5$ kat daha fazla kömür ihtiyacı olduğu kabul ve hesap edilmiştir.

Bu hesaplamaların doğruluğunu kontrol amacıyla 1 adet konut için Çizelge 3.2’de hesaplamalar yapılmış ve enerji eşitliği miktarı doğrulanmıştır.

Çizelge 3.2. Birim adet konut için gerekli doğalgaz/kömür miktarı hesaplamaları

1 Adet Konut için Doğalgaz	Tüketim Miktarı (m ³)	1 m ³ Doğalgaz Enerji Verimi (kw)	Toplam Doğalgaz Enerji Tüketimi (kw)	Isınma Süresi-Gün (1 Ekim-31 Mart)	1 Günlük Enerji İhtiyacı (kw)	1 Saatlik Enerji İhtiyacı (kw)
	540	10,62	5.734	182	31,50	1,31
1 Adet Konut için Kömür	Tüketim Miktarı (m ³)	1 m ³ Kömür Enerji Verimi (kw)	Toplam Kömür Enerji Tüketimi (kw)	Isınma Süresi-Gün (1 Ekim-31 Mart)	1 Günlük Enerji İhtiyacı (kw)	1 Saatlik Enerji İhtiyacı (kw)
	937	6,12	5.734	182	31,50	1,31

Bu tip yerleşim alanlarının emisyon kaynaklarının hesaplanmasında Tier 1, 2 ve 3 yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin kullanılabilirliği, Avrupa Çevre Ajansı tarafından kabul görmüştür. Bu ajans, çevresel konularda bilimsel, doğru ve bağımsız bilgiler vermekte olup, AB’ye üye ülkelere çevreyi iyileştirme, çevreyle ilgili hususları ekonomik politikalara entegre etme ve sürdürülebilirliğe doğru ilerleme konularında bilgilendirme ve karar vermelerinde yardımcı olmak amacıyla 1994 yılından beri faal olarak çalışmaktadır.

Tier-1 Yöntemi: Yanma veya ısınmadan kaynaklı emisyonlar için yakıt miktarı ve emisyon faktörüne göre emisyonlar hesaplanabilir. Hesaplanacak emisyon faktörlerini doğru orantılı kabul eder. İstatistiki bilgiler, özgün faktörler, ortalama değerler, güncel envanter bilgilerine göre uygun katsayılar dikkate alınarak emisyon faktörleri kabul edilmiştir.

Tier-2 Yöntemi: Yanma veya ısınmadan kaynaklı emisyonlar için özel emisyon faktörüne göre emisyonlar hesaplanabilir. Genelde sanayi ve endüstriyel tesisler için kullanılmaktadır. Örneğin termik santraller için yakma teknolojisine göre Tier-2 yönetimi seçilebilir.

Tier-3 Yöntemi: Yanma veya ısınmadan kaynaklı emisyonlar için, sanayi ve endüstriyel tesisler için yanma veya ısınma teknolojisine (ekipman yaşı, türü, ısı gücü, kapasitesi, yakıt tipi vb.) göre emisyonlar hesaplanabilir.

Niğde il merkezindeki konutlardan kaynaklanan emisyonların hesaplanmasında en ideal yöntem olan Tier-1 yöntemi kullanılmıştır. Tier-1 yöntemindeki kömür emisyon faktörleri Çizelge 3.3'te ve doğalgaz emisyon faktörleri ise Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Kömür emisyon faktörleri (URL 8)

Yakıt Tipi: Kömür		
Kirlilik Tipi	Değer	Birim
NO ₂	310	g/GJ
SO ₂	820	
CO	150	
PM ₁₀	20	

Çizelge 3.4. Doğalgaz emisyon faktörleri (URL 8)

Yakıt Tipi: Doğalgaz		
Kirlilik Tipi	Değer	Birim
NO ₂	89	g/GJ
SO ₂	0,30	
CO	39	
PM ₁₀	0,90	

Model alanına ait emisyon değer hesaplamaları, alan büyüklüğü, konutlardan kaynaklı ısınma süresi, tüketim miktarı ve emisyon faktörlerine göre hesaplanan 2018 yılı senaryosuna ait kütleli debiler Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Niğde il merkezinde evsel ısınma kaynaklı emisyonlar için AERMOD View hava kalitesi modelinde kullanılmak üzere 2018 yılı senaryosunun hesaplama tablosu

Kod	İşlem Adı/ Açıklama	Hesaplama Sonucu	Birim	Formül/Kaynak
S1	Model alanı	271.012.255,00	m ²	NBB'den temin edilmiştir
S2	Isınma/Yakma süresi	15.724.800,00	s	182 gün x 24 saat x 3600 s
S3	SENARYO 2018 – MEVCUT DURUM	82,166	%	Toplam konut adetine göre doğalgaz kullanıcı oranı (A2/A1)
		17,834	%	Toplam konut adetine göre kömür kullanıcı oranı (A3/A1)
A1	Toplam konut sayısı	55.069,00	adet	NBB'den temin edilmiştir
A2	Doğalgaz kullanan konut sayısı	45.248,00	adet	NBB'den temin edilmiştir
A3	Kömür kullanan konut sayısı	9.821,00	adet	=A1-A2
A4	1 konutun yıllık doğalgaz tüketim miktarı	540,00	m ³	Kabul/Hesap
A5	Toplam doğalgaz tüketim miktarı	24.433.920,00	m ³	=A2xA4
A6	1 konutun yıllık kömür tüketim miktarı	937,00	m ³	Kabul/Hesap
A7	Toplam kömür tüketim miktarı	9.202.277,00	m ³	=A6xA3
A8	1 m ³ doğalgazın enerji miktarı	10,62	kw	Kabul/Hesap
A9	Toplam doğalgaz tüketiminden harcanan enerji	259.488.230,40	kw	=A8xA5
A10	Toplam doğalgaz tüketiminden harcanan enerji	934.160,25	1 GJ=277,777 kw	=A9/277,777
A11	1 m ³ kömürün enerji miktarı	6,12	kw	Kabul/Hesap
A12	Toplam kömür tüketiminden harcanan enerji	56.317.935,24	kw	=A11xA7
A13	Toplam kömür tüketiminden harcanan enerji	202.745,13	kw	=A12/277,777
Doğalgaz emisyon faktörleri				
A14	NO ₂	89,00	g/GJ	Tier 1 - Çizelge 3.4
A15	SO ₂	0,30	g/GJ	
A16	PM ₁₀	0,90	g/GJ	
A17	CO	39,00	g/GJ	
Kömür emisyon faktörleri				
A18	NO ₂	310,00	g/GJ	Tier 1 - Çizelge 3.3
A19	SO ₂	820,00	g/GJ	
A20	PM ₁₀	20,00	g/GJ	
A21	CO	150,00	g/GJ	
Doğalgaz ısınma/yakma kaynaklı emisyon miktarları				
A22	Toplam NO ₂ doğalgaz emisyon miktarı	1,9509E-08	g/s-m ²	=(A14xA10)/(S1xS2)
A23	Toplam SO ₂ doğalgaz emisyon miktarı	6,5761E-11	g/s-m ²	=(A15xA10)/(S1xS2)
A24	Toplam PM ₁₀ doğalgaz emisyon miktarı	1,9728E-10	g/s-m ²	=(A16xA10)/(S1xS2)
A25	Toplam CO doğalgaz emisyon miktarı	8,5489E-09	g/s-m ²	=(A17xA10)/(S1xS2)
Kömür ısınma/yakma kaynaklı emisyon miktarları				
A26	Toplam NO ₂ kömür emisyon miktarı	1,4748E-08	g/s-m ²	=(A18xA13)/(S1xS2)
A27	Toplam SO ₂ kömür emisyon miktarı	3,9011E-08	g/s-m ²	=(A19xA13)/(S1xS2)
A28	Toplam PM ₁₀ kömür emisyon miktarı	9,5149E-10	g/s-m ²	=(A20xA13)/(S1xS2)
A29	Toplam CO kömür emisyon miktarı	7,1362E-09	g/s-m ²	=(A21xA13)/(S1xS2)
Toplam doğalgaz ve kömür kaynaklı emisyon miktarları				
	Toplam NO ₂	3,4257E-08	g/s-m ²	=A22+A26
	Toplam SO ₂	3,9077E-08	g/s-m ²	=A23+A27
	Toplam PM ₁₀	1,1488E-09	g/s-m ²	=A24+A28
	Toplam CO	1,5685E-08	g/s-m ²	=A25+A29

3.1.4.2 2028 yılı senaryosu

Niğde ili evsel ısınma kaynaklı emisyonlar için AERMOD View hava kalitesi modelinde kullanılmak üzere, kentin nüfus artış hızı göz önünde tutularak, 2028 yılındaki toplam konut sayısı, doğalgaz/kömür tüketim miktarı ve emisyon miktarları yeniden hesaplanmış ve 3 ayrı çizelgede (Çizelge 3.6-3.8) verilmiştir.

Çizelge 3.6. Niğde il merkezi nüfus ve konut sayıları (URL 9)

Yıllık Nüfus Artış Hızı ‰	Yıllar
20,2	2007-2008
4,3	2008-2009
-5,9	2009-2010
-1,1	2010-2011
8,0	2011-2012
9,9	2012-2013
0,7	2013-2014
6,4	2014-2015
15,4	2015-2016
3,6	2016-2017
10 yıllık ortalama nüfus artış oranı	‰6,15
2018 yılı Niğde il merkezinin nüfusu	220.227 kişi
2018 yılı Niğde il merkezinin toplam konut sayısı*	55.069 adet konut
2028 yılı Niğde il merkezinin nüfusu	355.739 kişi
2028 yılı Niğde il merkezinin toplam konut sayısı*	88.935 adet konut

* 1 konutta 4 kişi olduğu kabulü ile hesaplama yapılmıştır.

2028 Senaryosu için, 2018 yılındaki aynı oranlar dikkate alınarak, doğalgaz kullanıcı oranı %82,166 ve kömür kullanıcı oranı ise %17,834 olarak alınarak emisyon miktarları hesaplanmıştır.

Çizelge 3.7. 2028 yılı senaryosunda kullanılan hesaplanmış konut sayısı

2028 Yılı Senaryosu	
Toplam konut sayısı	88.935 adet konut
Doğalgaz kullanıcı sayısı (%82,166)	73.074 adet konut
Kömür kullanıcı sayısı (%17,834)	15.861 adet konut

Çizelge 3.8. Niğde il merkezinde evsel ısınma kaynaklı emisyonlar için AERMOD View hava kalitesi modelinde kullanılmak üzere 2028 yılı senaryosunun hesaplama tablosu

Kod	İşlem Adı/ Açıklama	Hesaplama Sonucu	Birim	Formül/Kaynak
S1	Model alanı	271.012.255,00	m ²	CBS altlığından alınmıştır
S2	Isınma/Yakma Süresi	15.724.800,00	s	182 gün x 24 saat x 3600 s
	SENARYO 2028	82,166	%	Toplam konut adetine göre doğalgaz kullanıcı oranı (A2/A1)
S3		17,834	%	Toplam konut adetine göre kömür kullanıcı oranı (A3/A1)
A1	Toplam konut sayısı	88.935,00	adet	g/s-m ²
A2	Doğalgaz kullanan konut sayısı	73.074,00	adet	NBB'den temin edilmiştir
A3	Kömür kullanan konut sayısı	15.861,00	adet	A1-A2
A4	1 konutun yıllık doğalgaz tüketim miktarı	540,00	m ³	Kabul/Hesap
A5	Toplam doğalgaz tüketim miktarı	39.459.960,00	m ³	A2xA4
A6	1 konutun yıllık kömür tüketim miktarı	937,00	m ³	Kabul/Hesap
A7	Toplam kömür tüketim miktarı	14.861.757,00	m ³	A6xA3
A8	1 m ³ doğalgazın enerji miktarı	10,62	kw	Kabul/Hesap
A9	Toplam doğalgaz tüketiminden harcanan enerji	419.064.775,20	kw	A8xA5
A10	Toplam doğalgaz tüketiminden harcanan enerji	1.508.637,41	1GJ=277,777 kw	A9/277,777
A11	1 m ³ kömürün enerji miktarı	6,12	kw	Kabul/Hesap
A12	Toplam kömür tüketiminden harcanan enerji	90.953.952,84	kw	A11xA7
A13	Toplam kömür tüketiminden harcanan enerji	327.435,15	kw	A12/277.777
Doğalgaz emisyon faktörleri				
A14	NO ₂	89,00	g/GJ	Tier 1 - Çizelge 3.4
A15	SO ₂	0,30	g/GJ	
A16	PM ₁₀	0,90	g/GJ	
A17	CO	39,00	g/GJ	
Kömür emisyon faktörleri				
A18	NO ₂	310,00	g/GJ	Tier 1 - Çizelge 3.3
A19	SO ₂	820,00	g/GJ	
A20	PM ₁₀	20,00	g/GJ	
A21	CO	150,00	g/GJ	
Doğalgaz ısınma/yakma kaynaklı emisyon miktarları				
A22	Toplam NO ₂ doğalgaz emisyon miktarı	3,1507E-08	g/s-m ²	(A14xA10)/(S1xS2)
A23	Toplam SO ₂ doğalgaz emisyon miktarı	1,0620E-10	g/s-m ²	(A15xA10)/(S1xS2)
A24	Toplam PM ₁₀ doğalgaz emisyon miktarı	3,1861E-10	g/s-m ²	(A16xA10)/(S1xS2)
A25	Toplam CO doğalgaz emisyon miktarı	1,3806E-08	g/s-m ²	(A17xA10)/(S1xS2)
Kömür ısınma/yakma kaynaklı emisyon miktarları				
A26	Toplam NO ₂ kömür emisyon miktarı	2,3818E-08	g/s-m ²	(A18xA13)/(S1xS2)
A27	Toplam SO ₂ kömür emisyon miktarı	6,3004E-08	g/s-m ²	(A19xA13)/(S1xS2)
A28	Toplam PM ₁₀ kömür emisyon miktarı	1,5367E-09	g/s-m ²	(A20xA13)/(S1xS2)
A29	Toplam CO kömür emisyon miktarı	1,1525E-08	g/s-m ²	(A21xA13)/(S1xS2)
Toplam doğalgaz ve kömür kaynaklı emisyon miktarları				
	Toplam NO ₂	5,5325E-08	g/s-m ²	A22+A26
	Toplam SO ₂	6,3110E-08	g/s-m ²	A23+A27
	Toplam PM ₁₀	1,8553E-09	g/s-m ²	A24+A28
	Toplam CO	2,5331E-08	g/s-m ²	A25+A29

BÖLÜM IV

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, Niğde il merkezindeki konutların sadece ısınma amaçlı doğalgaz ve kömür kullanımından kaynaklı emisyonlar hesaplanmıştır. Uygulanan AERMOD View model çalışmasında 2018 ve 2028 yıllarında doğalgaz ve kömür tüketicisinin yaşam konforu eşit baz alınarak, eşit enerji miktarına düşen doğalgaz ve kömür kullanımlarının hacimsel olarak eşit miktarlarda olması için hesaplamalarda doğalgaz enerji miktarına eşit gelen kömür hacmi kullanılmıştır.

Ayrıca, 2028 yılı Senaryosu için, 2018 yılı hesaplamalarındaki aynı oranlar göz önünde tutularak, doğalgaz kullanıcı oranı %82,166 ve kömür kullanıcı oranı ise %17,834 alınarak emisyon miktarları hesaplanmıştır.

Bu hesaplamalar sonucu AERMOD View hava kalitesi dağılım modeli çalıştırılarak elde edilen emisyon sonuçları Çizelge 4.1’de ve dağılım grafikleri Şekil 4.1-4.8’de verilmiştir.

Hava kirliliğinin değerlendirilmesi, izlenmesi ve önlenmesinde mekânsal veri modelleme, analiz ve görselleştirme teknikleriyle karar vericiler (yöneticiler, teknik personel, vb.) için son derece önemli ve güncel imkanların eşitliği sağlanmaktadır. Elde edilen hesaplama sonuçları Çizelge 4.2’de özet olarak verilmiştir.

Çizelge 4.1. AERMOD View hava kalitesi modeli 2018 ve 2028 yılı senaryo sonuçlarına göre Niğde il merkezinde evsel ısınma kaynaklı emisyonlar

Toplam doğalgaz ve kömür kaynaklı emisyon türü	2018 Yılı Senaryo sonucu (Max) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2028 Yılı Senaryo sonucu (Max) $\mu\text{g}/\text{m}^3$
NO ₂	32,3	52,1
SO ₂	36,8	59,5
CO	10,1	16,4
PM ₁₀	0,387	0,625

Çizelge 4.2. Niğde il merkezinde evsel ısınma kaynaklı hesaplanan toplam emisyonların özeti

Hesaplanan Veri Başlıkları	2018 Yılı Senaryosu	2028 Yılı Senaryosu
Model alanı (m ²)	271.012.255,00	271.012.255,00
Isınma/Yakma süresi (s)	15.724.800,00	15.724.800,00
Toplam konut sayısı (Adet)	55.069,00	88.935,00
Toplam doğalgaz kullanan konut sayısı (Adet)	45.248,00	73.074,00
1 konutun yıllık ısınma amaçlı toplam doğalgaz tüketim miktarı (m ³)	540,00	540,00
Toplam doğalgaz tüketim miktarı (m ³)	24.433.920,00	39.459.960,00
Toplam doğalgaz enerji tüketimi (GJ)	934.160,25	1.508.637,41
Toplam kömür kullanan konut sayısı (Adet)	9.821,00	15.861,00
1 konutun yıllık ısınma amaçlı toplam kömür tüketim miktarı (m ³)	937,00	937,00
Toplam kömür tüketim miktarı (m ³)	9.202.277,00	14.861.757,00
Toplam kömür enerji tüketimi (GJ)	202.745,13	327.435,15
Doğalgaz ısınma/yakma kaynaklı Emisyon Miktarları (g/s-m²)		
Toplam NO ₂ doğalgaz emisyon miktarı	1,9509E-08	3,1507E-08
Toplam SO ₂ doğalgaz emisyon miktarı	6,5761E-11	1,0620E-10
Toplam CO doğalgaz emisyon miktarı	8,5489E-09	1,3806E-08
Toplam PM ₁₀ doğalgaz emisyon miktarı	1,9728E-10	3,1861E-10
Kömür ısınma/yakma kaynaklı Emisyon Miktarları (g/s-m²)		
Toplam NO ₂ kömür emisyon miktarı	1,4748E-08	2,3818E-08
Toplam SO ₂ kömür emisyon miktarı	3,9011E-08	6,3004E-08
Toplam CO kömür emisyon miktarı	7,1362E-09	1,1525E-08
Toplam PM ₁₀ kömür emisyon miktarı	9,5149E-10	1,5367E-09
Toplam Doğalgaz ve Kömür Kaynaklı Emisyon Miktarları (g/s-m²)		
Toplam NO ₂	3,4257E-08	5,5325E-08
Toplam SO ₂	3,9077E-08	6,3110E-08
Toplam CO	1,5685E-08	2,5331E-08
Toplam PM ₁₀	1,1488E-09	1,8553E-09

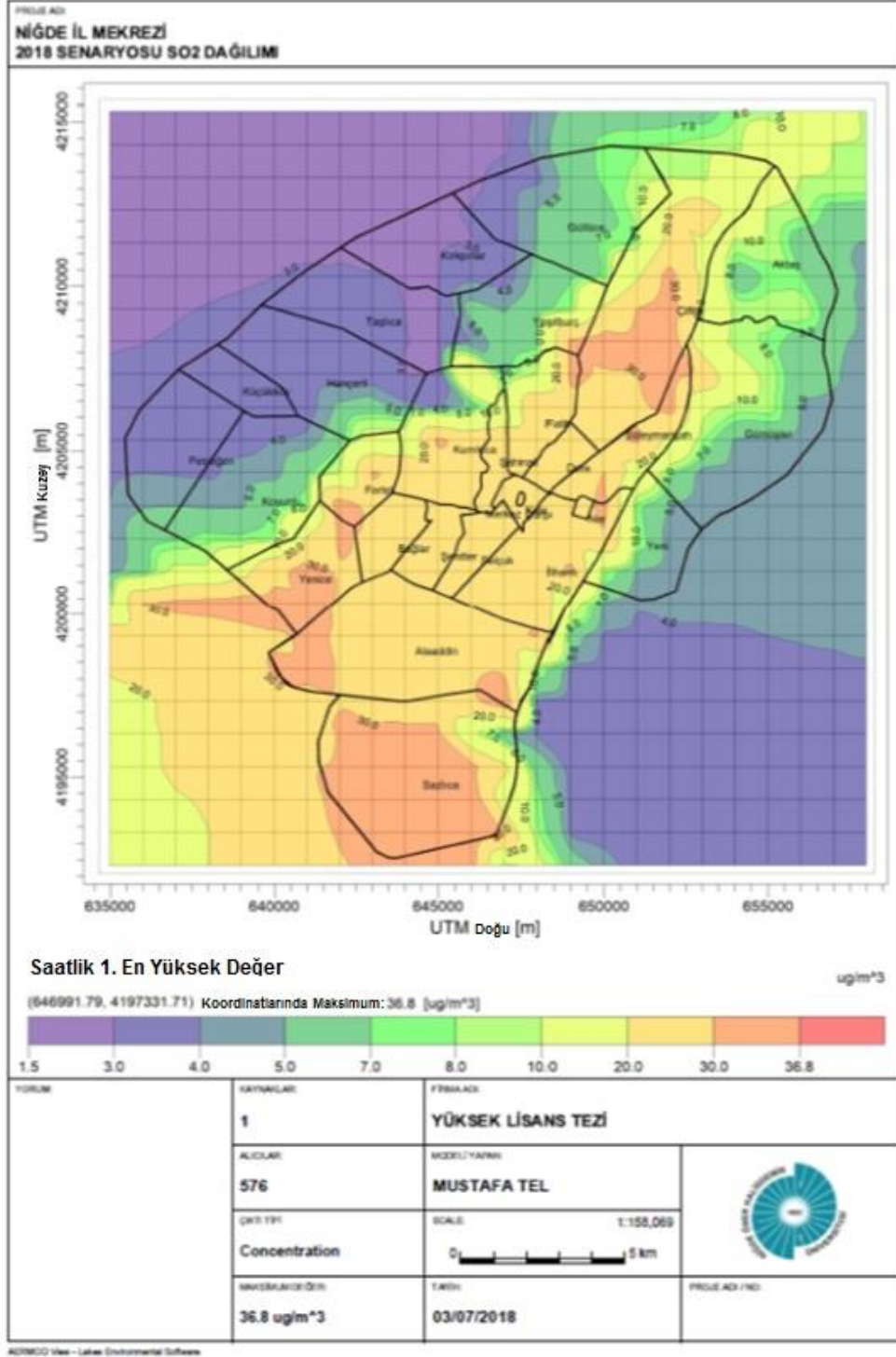
Elde edilen emisyonların insan ve çevre sağlığına etkilerini değerlendirmek için Çizelge 4.3'te Ulusal Hava Kalitesi İndeksi Kesme Noktaları'na göre sınır değerler verilmiştir. 2018 ve 2028 yıllarına ait senaryoların insan ve çevre sağlığına etkilerinin değerlendirildiği sonuçlar Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Niğde il merkezinde evsel ısınma kaynaklı emisyonlar için AERMOD View hava kalitesi modeli kullanılarak oluşturulan 2018 ve 2028 yılı senaryolarının değerlendirilmesi

Toplam Doğalgaz ve Kömür Kaynaklı Emisyon Türü	2018 Yılı Senaryo Sonucu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2028 Yılı Senaryo Sonucu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	AB Limit Değerleri ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	WHO Limit Değerleri ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ulusal Hava Kalitesi Değeri ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Hava Kalitesi	Değerlendirme
Saatlik NO ₂	32,3	52,1	200	200	0-100	İyi	Hava kalitesi memnun edici, hava kirliliği az riskli veya hiç risk teşkil etmiyor.
1 Saatlik SO ₂	36,8	59,5	350	350	0-100	İyi	
24 Saatlik PM ₁₀	0,387	0,625	50	50	0-50	İyi	
8 Saatlik CO	10,1	16,4	10.000	10.000	0-5500	İyi	

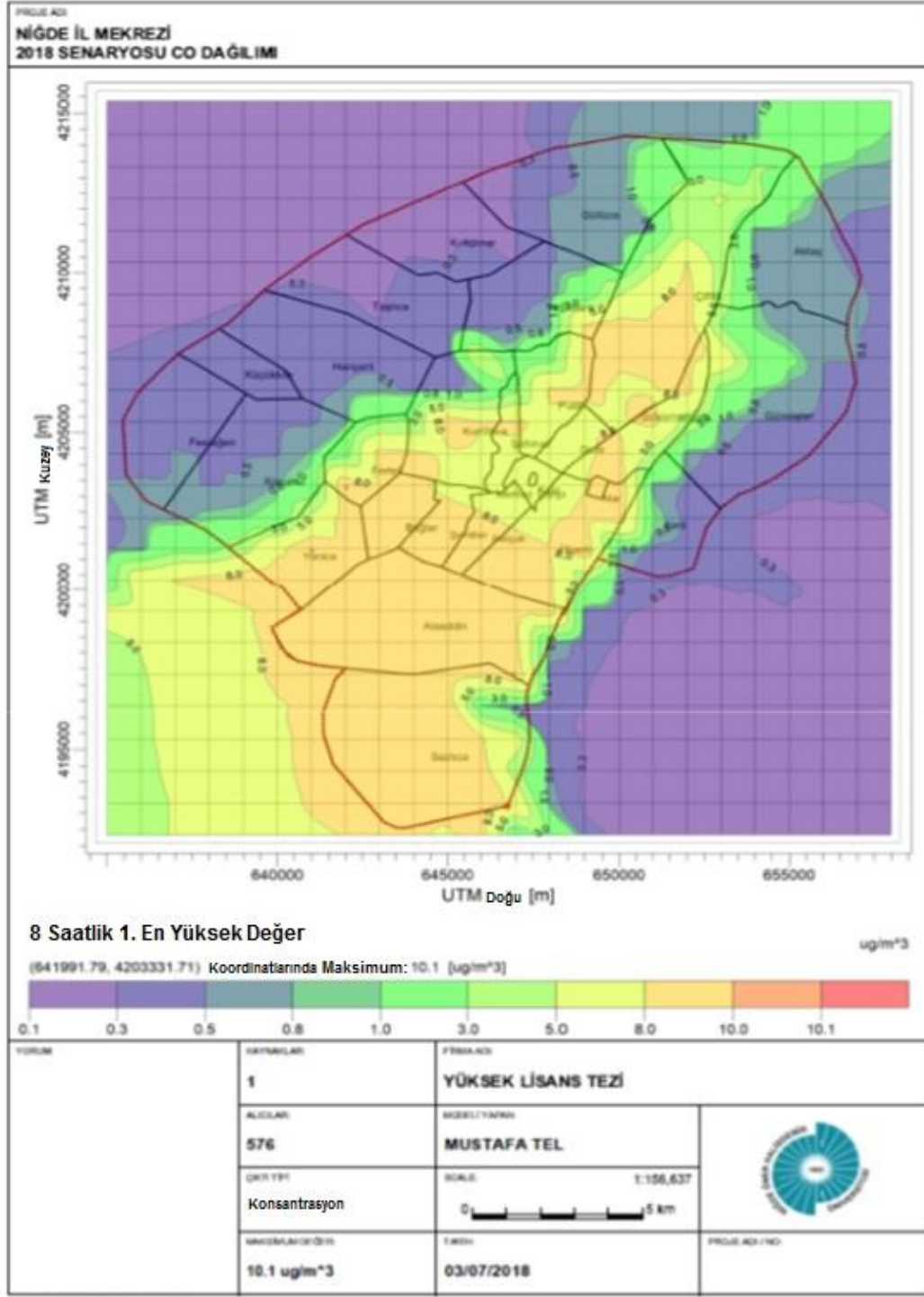
Bu tezde AERMOD View model çalışması sonucu hesaplanan Niğde ili kent merkezindeki NO₂ emisyon değeri (a) 2018 yılı senaryosunda minimum 1,3, maksimum 32,33 ve kent merkezinde 20-30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında (Şekil 4.1) ve (b) 2028 yılı senaryosunda minimum 2,1, maksimum 52,1 ve kent merkezinde 20-50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında (Şekil 4.2) değiştiği için Niğde’de bu parametre açısından hava kalitesinin memnun edici, hava kirliliğinin az riskli ve hiç risk teşkil etmediği görülmüştür.

şehir merkezinde 10-30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında (Şekil 4.3) ve (ii) 2028 yılı senaryosunda minimum 2,4, maksimum 59,5 ve kent merkezinde 20-50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında (Şekil 4.4) değiştiği için Niğde’de bu parametre açısından hava kalitesinin memnun edici, hava kirliliğinin az riskli ve hiç risk teşkil etmediği görülmüştür.

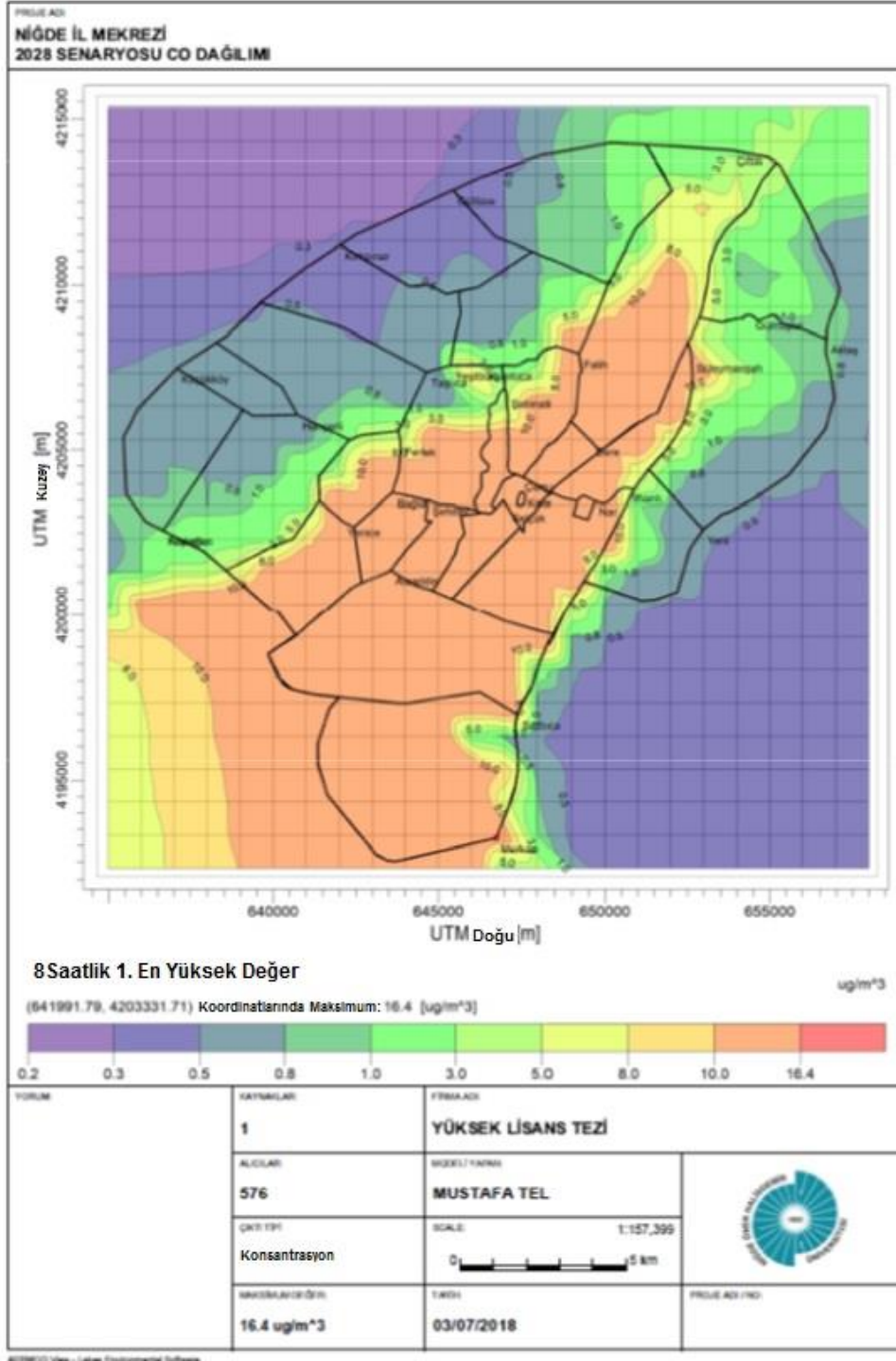


Şekil 4.3. Niğde il merkezinde AERMOD View hava kalitesi modeli kullanılarak oluşturulan 2018 yılı senaryosu evsel ısıtma kaynaklı SO₂ emisyon dağılımı

şehir merkezinde 5-10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında (Şekil 4.5), (ii) 2028 yılı senaryosunda ise minimum 0,2, maksimum 16,4 ve şehir merkezinde 5-10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında değiştiği (Şekil 4.6) belirlendiği için Niğde’de bu parametre açısından hava kalitesinin memnun edici ve hava kirliliğinin az riskli ve hiç risk teşkil etmediği görülmüştür.



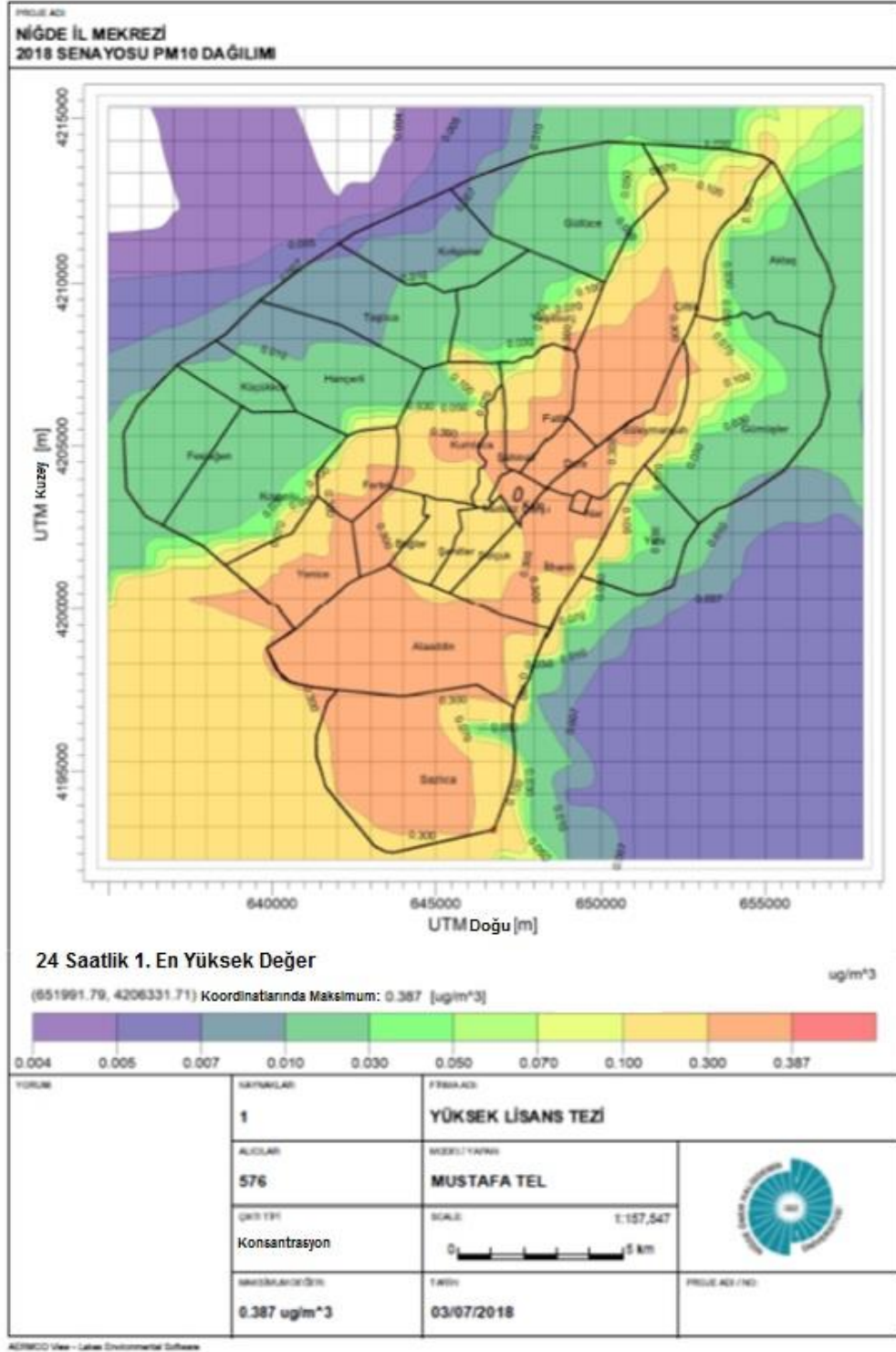
Şekil 4.5. Niğde il merkezinde AERMOD View hava kalitesi modeli kullanılarak oluşturulan 2018 yılı senaryosu evsel ısıtma kaynaklı CO emisyon dağılımı



Şekil 4.6. Niğde il merkezinde AERMOD View hava kalitesi modeli kullanılarak oluşturulan 2028 yılı senaryosu evsel ısıtma kaynaklı CO emisyon dağılımı

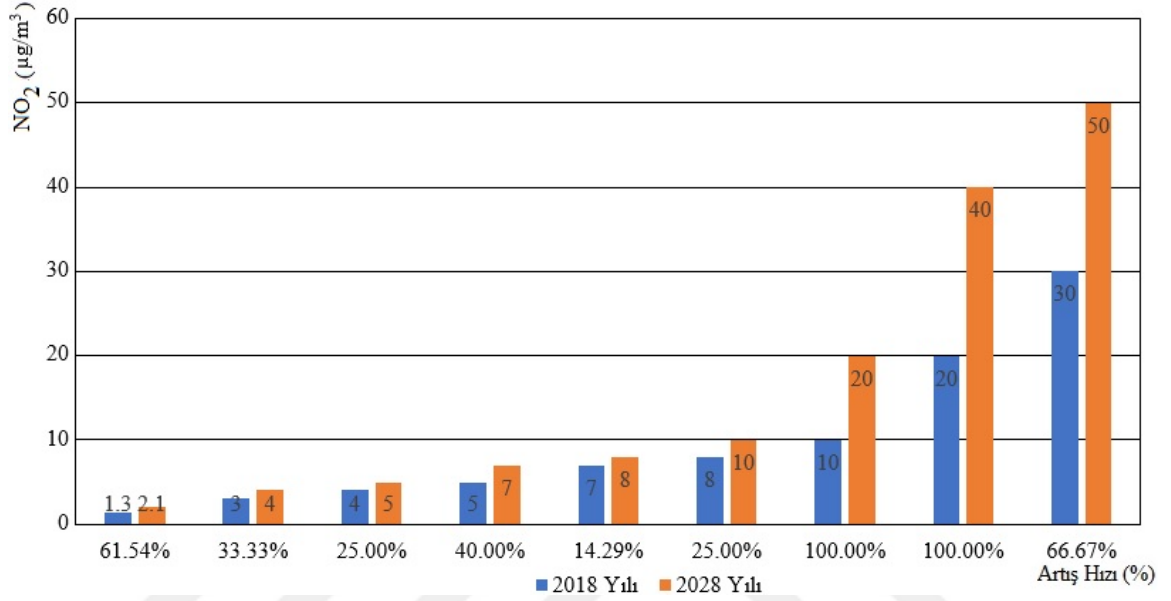
AERMOD View model çalışması sonucu Niğde ili kent merkezindeki hesaplanan PM₁₀ emisyon değerinin (a) 2018 yılı senaryosunda minimum 0,004, maksimum 0,387 ve şehir merkezinde 0,070-0,300 µg/m³ aralığında (Şekil 4.7) ve (b) 2028 yılı senaryosunda minimum 0,006, maksimum 0,625 ve kent merkezinde 0,400-0,600 µg/m³

aralığında (Şekil 4.8) değiştiği belirlendiği için Niğde’de bu parametre açısından hava kalitesinin memnun edici, hava kirliliğinin az riskli ve hiç risk teşkil etmediği görülmüştür.

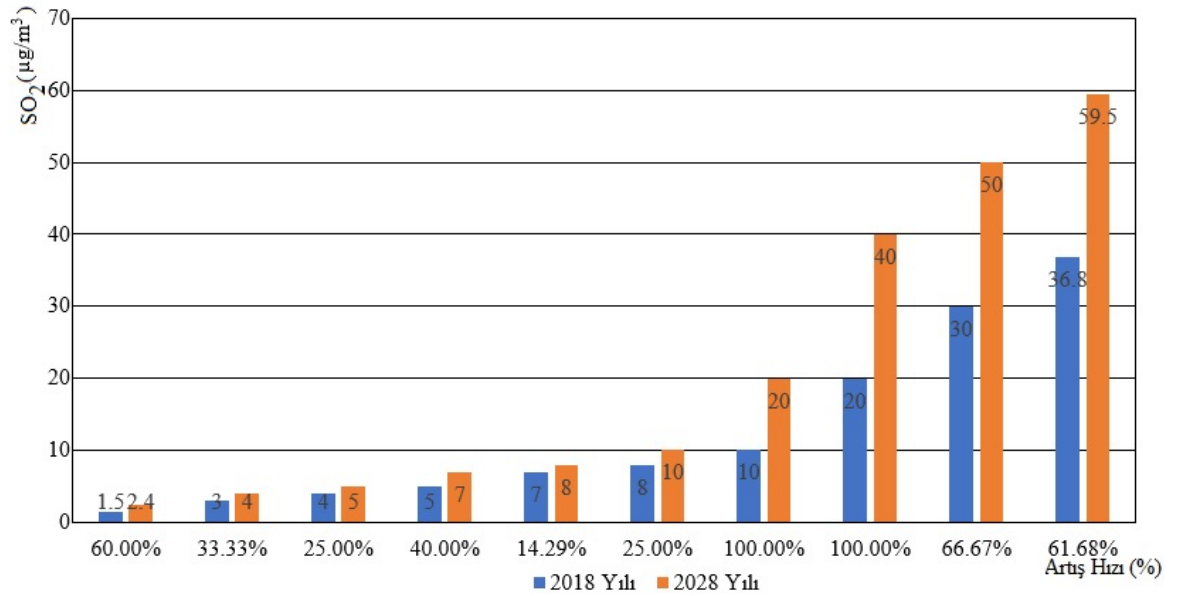


Şekil 4.7. Niğde il merkezinde AERMOD View hava kalitesi modeli kullanılarak oluşturulan 2018 yılı senaryosu evsel ısınma kaynaklı PM₁₀ emisyon dağılımı

yerleşimin yoğun olduğu bölgede, emisyon oranı çok düşük ($10\sim 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve hava kalitesi memnun edici düzeydedir; ancak emisyon artış oranının en fazla %100 olması dikkat çekmiştir. Bu bilgi sayesinde Niğde şehir merkezinde yapılaşma yoğunluğunun azaltılması, yatay yapılaşmanın teşvik edilmesi ve mevzuat olarak düzenleme getirilmesinin gerektiği -bu parametre açısından- ortaya konmuştur.

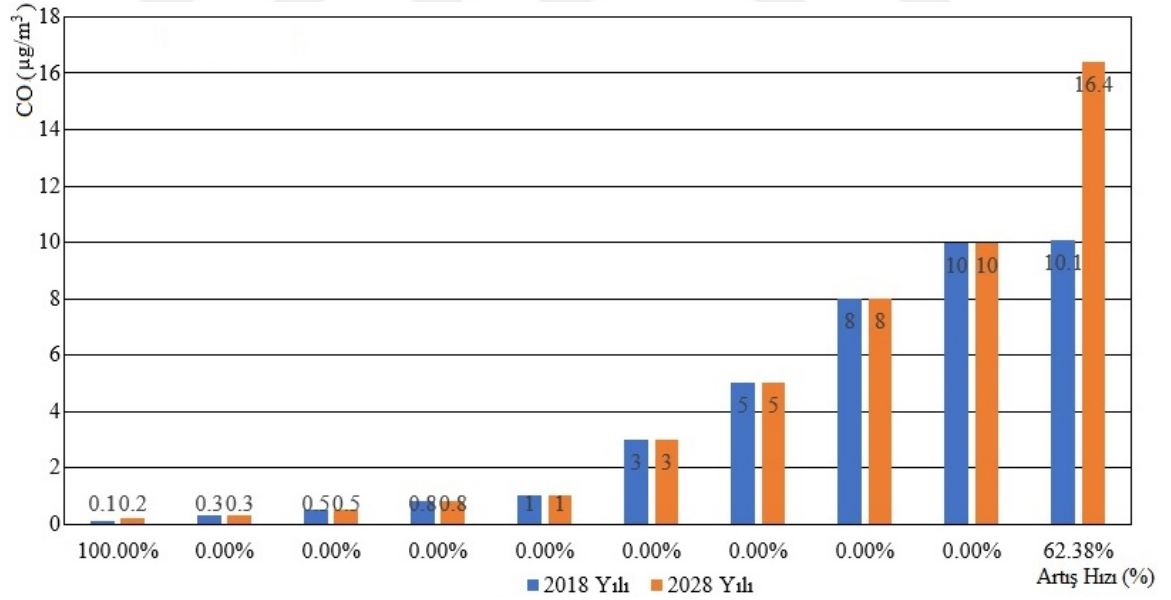


Şekil 4.9. Niğde il merkezinde AERMOD View hava kalitesi modeli kullanılarak oluşturulan 2018 ve 2028 yılı senaryolarının NO_2 emisyonu dağılımı karşılaştırması



Şekil 4.10. Niğde il merkezinde AERMOD View hava kalitesi modeli kullanılarak oluşturulan 2018 ve 2028 yılı senaryolarının SO_2 emisyonu dağılımı karşılaştırması

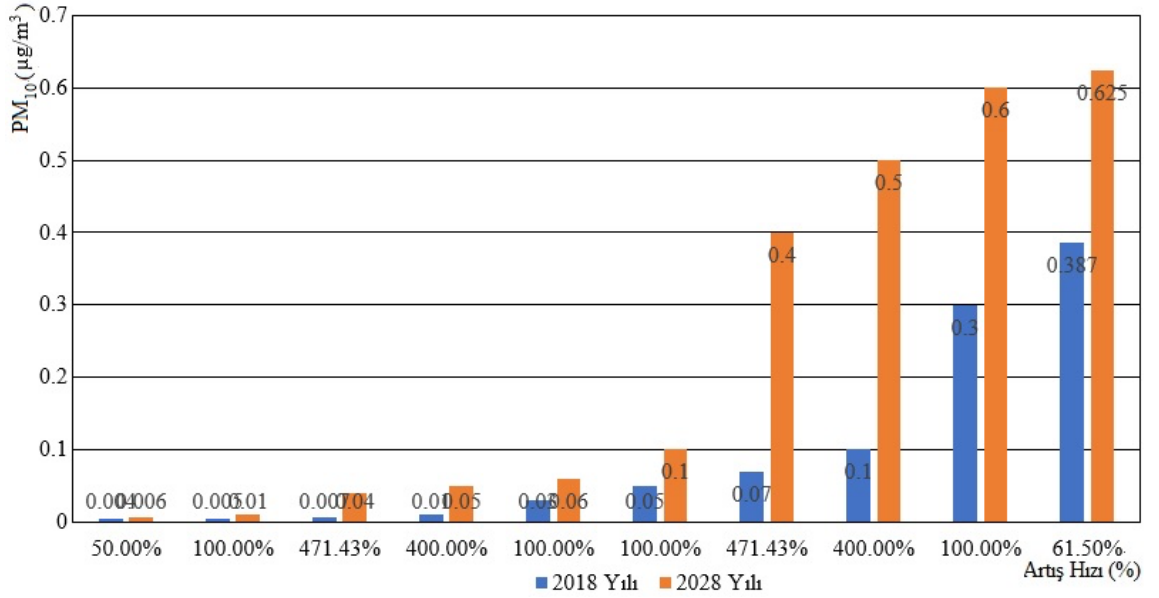
Niğde il merkezindeki konutlardaki ısınmadan kaynaklı doğalgaz ve kömür emisyonlarındaki CO dağılım grafiği -2018 ve 2028 yılları senaryoları için- Şekil 4.11’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Kirletici parametre olarak CO’in 10 yıllık süreç içinde emisyonu çok düşük ($0,1\sim 16,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve hava kalitesi bu parametre açısından memnun edici olsa da emisyon artış oranının şehir yapılaşmasının başlangıç ve bitiş yönünde %62 ve %100 olması dikkati çekmektedir. Bu bilgi, Şekil 3.8’de verilen rüzgâr gülü grafiğinde görüldüğü üzere hâkim rüzgâr yönü olan kuzeydoğu yönünde yapılaşmanın olduğu, yapıların koridor şeklinde yerleştirildiği ve hava akımının tek yönlü olduğunu göstermiştir. Ayrıca, şehir giriş ve çıkış yönünde CO emisyonunun sürekli taşınım halinde olduğu, merkez yaşam alanlarında CO emisyonunun kalıcı olduğu ve rüzgâr ile başka yönlere dağılım yapamadığı görülmüştür. Hava kalitesinin sürdürülebilir olması amacı ile şehir yapılaşmasında meteorolojik verilerin çok büyük önem taşıdığı ve şehir planları yapılırken bu verilere öncelik verilmesi, kent merkezlerinde yapılaşma yoğunluğunun azaltılması, yatay yapılaşmanın teşvik edilmesi ve mevzuat olarak düzenlenme getirilmesinin gerektiği - bu parametre açısından- ortaya konmuştur.



Şekil 4.11. Niğde il merkezinde AERMOD View hava kalitesi modeli kullanılarak oluşturulan 2018 ve 2028 yılı senaryolarının CO emisyonu dağılımı karşılaştırması

Niğde il merkezindeki konutlardaki ısınmadan kaynaklı doğalgaz ve kömür emisyonlarındaki PM_{10} 'un 2018 ve 2028 yılları senaryoları için dağılım grafiği Şekil 4.12’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Hava kirletici olan PM_{10} parametresinin

emisyon oranının çok düşük ($0.001\sim 0.625 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve bu parametre açısından hava kalitesinin memnun edici olmasına rağmen 10 yıllık süreçte emisyon artış oranının en fazla %471 olması dikkati çekmektedir. Bu durum, Şekil 3.8’de verilen rüzgâr gülü grafiğinde görüldüğü üzere hâkim rüzgâr yönü olan kuzeydoğu yönünde yapılaşmanın olduğu, yapıların koridor şeklinde yerleştirildiği, hava akımının tek yönlü olduğu bilgisi ile örtüşmektedir. Hava kalitesinin sürdürülebilir olması amacı ile şehir yapılaşmasında meteorolojik verilerin çok büyük önem taşıdığı ve şehir planları yapılırken bu verilere öncelik verilmesi, kent merkezlerinde yapılaşma yoğunluğunun azaltılması, yatay yapılaşmanın teşvik edilmesi ve mevzuat olarak düzenlenme getirilmesinin gerektiği - bu parametre açısından- ortaya konmuştur.



Şekil 4.12. Niğde il merkezinde AERMOD View hava kalitesi modeli kullanılarak oluşturulan 2018 ve 2028 yılı senaryolarının PM₁₀ emisyonu dağılımı karşılaştırması

BÖLÜM V

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Modeller karar vericiler için önemli bir araçtır. Bir bölgede hava kalitesi yönetiminde mevcut durum ve yeni planlanan faaliyetler için karar verilirken modellere dayalı tahminler esas alınır (Erdoğan, 2012). Modelleme ile meteorolojik olaylar hakkında bilgi edinmek, hava sistemlerini etkileyen değişik faktörlerin etkilerini anlamak, hava kirliliği önleme programları geliştirmek, emisyon envanteri hakkındaki verileri hesaplamak ve hava kirliliği tahminlerini daha gerçekçi yapmak mümkün olmaktadır. Hava kalitesi modelleri, çevre bilimcilerin katkılarıyla oluşturulan, uluslararası kabul gören kuruluşlarca kullanılan ve teşvik edilen matematiksel modellerdir. Noktasal kaynakların neden oldukları hava kirlenmesinin belirlenmesinde en güvenilir yöntemlerden birisi modeller yardımıyla yapılan tahminlerdir (Erdoğan, 2012). Bu yüksek lisans tezinde, akademik olarak ilk kez, Niğde il merkezinde konutların ısınma amaçlı doğalgaz ve kömür kullanmalarından kaynaklanan emisyonlar -NO₂, SO₂, CO ve PM₁₀ özelinde- AERMOD View hava kalitesi modeli kullanılarak hesaplanmıştır.

Hava kalitesi modelleri (1) emisyon kontrol mevzuatının oluşturulması, (2) önerilen emisyon kontrol teknik ve stratejilerinin değerlendirilmesi, (3) çevresel etkileri en aza indirmek için gelecekteki kirletici kaynaklarının yerlerinin belirlenmesi, (4) hava kirliliği episodlarının kontrolünün planlanması ve (5) hava kirliliği seviyesi için sorumlulukların, mevcut kaynak-alıcı ilişkisinin değerlendirilmesi için benzersiz araçlardır. Bu tezde uygulanan AERMOD View model çalışmasında 2018 ve 2028 yılları hava kalitesi senaryoları için hem doğalgaz hem de kömür tüketicisinin yaşam konforu eşit olarak dikkate alınarak, eşit enerji miktarına düşen doğalgaz ve kömür kullanım hacimsel miktarlarının eşit olması için hesaplamalarda doğalgaz enerji miktarına eşit gelen kömür hacmi kullanılmıştır. Bu model, Niğde il merkezi için temel HKİ parametrelerinin (NO₂, SO₂, CO ve PM₁₀) 2018 yılı durumunun değerlendirilmesi ve 10 yıl sonraki (2028 yılı) durumunun öngörülmesinde etkin bir araç olacaktır.

Dağılım modelleri ile üretilen bilgilerle mevcut tesislerin bölgelerinde hava kirlenmesine katkıları belirlenebilmektedir (Erdoğan, 2012). Bu yüksek lisans çalışmasında kullanılan AERMOD View bir dağılım modeli olduğundan Niğde il

merkezinde ısınma kaynaklı emisyonların kentin hava kirlenmesine katkıları ortaya konabilmiştir; sırasıyla SO₂ için yüksek ve PM₁₀ için düşük bir katkı söz konusudur.

Çizelge 5.1’de verilen ölçümler, ulusal hava kalitesi izleme istasyonları web sitesinden alınmış (URL 10) olup Niğde’deki tüm kaynaklara ait SO₂ ve PM₁₀ emisyon değerleridir. NO₂ ve CO için böyle bir veri bulunmamaktadır. Bu tezde uygulanan AERMOD View model çalışmasında Niğde il merkezi için 2018 ve 2028 yılı senaryoları (Çizelge 4.1) ile evsel ısınmadan kaynaklı emisyonlar hesaplanmıştır.

Model çalışması sonucunda hesaplanan NO₂, SO₂, CO ve PM₁₀ konsantrasyonları AB ve WHO hava kalitesi standartları ile karşılaştırılmış, 2018 ve 2028 yılı senaryolarının sınır değerleri aşmadıkları belirlenmiştir. Abayomi (2017) izleme verileri mevcut olduğunda, izlenen hava kirlenme değerlerinin modellenen sonuçlarla karşılaştırılmasını önermiştir. Bu tezde model ile hesaplanan SO₂ ve PM₁₀, ulusal hava kalitesi Niğde izleme istasyonu 2018 yılı SO₂ ve PM₁₀ ölçümlerinin -limit değerler baz alınarak hesaplanan- ortalama değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.1. Ulusal hava kalitesi Niğde izleme istasyonunun 2018 yılı ortalama SO₂ ve PM₁₀ ölçüm değerleri (URL 10)

Aylar	SO ₂ (µg/m ³) ortalama*	PM ₁₀ (µg/m ³) ortalama*
Ocak	7,06	53,22
Şubat	6,93	89,33
Mart	5,42	125,96
Nisan	5,12	70,57
Mayıs	4,06	73,90
Haziran	4,34	56,35
Temmuz	5,12	82,43
Ağustos	4,30	72,68
Eylül	5,42	85,35
Ekim	6,18	88,66
Kasım	8,93	72,86
Aralık	6,91	46,73
Yıllık Ortalama	5,82	76,50

* Limit değerler baz alınarak hesaplanmıştır.

AERMOD View modeli kullanılarak oluşturulan 2018 yılı senaryosunda Niğde il merkezi SO₂ emisyon değeri minimum 1,5 ve maksimum 36,8 µg/m³'dir. Bu kirleticinin, şehir merkezinde 10-30 µg/m³ aralığında değiştiği bulunmuştur (Şekil 4.3). Ulusal hava kalitesi Niğde izleme istasyonunda ölçülen 2018 yılı SO₂'nin -limit değere göre hesaplanan- ortalama değeri 5,82 µg/m³'dir (Çizelge 5.1). Bu durum, Niğde kent merkezinde evsel ısınma kaynaklı -model ile hesaplanmış- SO₂ emisyonunun minimum değerinin ölçüm değerine göre düşük olmasına rağmen maksimum değerinin çok fazla (yaklaşık 6 kat) olduğunu göstermiştir. Kentte bu yüksek SO₂ konsantrasyonun bulunduğu alanlarda ısınma amaçlı kullanılan teknoloji ve kullanılan yakıt türünün kalitesi sorgulanmalıdır.

AERMOD View model 2018 yılı senaryosunda PM₁₀ minimum 0,004 ve maksimum 0,387 µg/m³ bulunmuş, şehir merkezinde 0,070-0,300 µg/m³ aralığında değiştiği hesaplanmışken (Şekil 4.7), bu kirleticinin aynı yıl ulusal hava kalitesi Niğde izleme istasyonunda ölçülen -limit değere göre hesaplanan- ortalama değeri 76,50 µg/m³'dir (Çizelge 5.1). Bu durum Niğde ili kent merkezinde 2018 yılında ısınmadan kaynaklı maksimum PM₁₀ değerinin bile toplam emisyonu çok az (yaklaşık %5) bir katkısının olduğunu ortaya koymakta olup asıl kirletici emisyon kaynağının trafikten, meteorolojik taşınım ile gelen toz partiküllerinden ve bölgedeki bacalı sanayiden kaynaklanabileceğini düşündürmektedir.

Atabi vd. (2016) tarafından da belirtildiği gibi hava kirleticilerinin kesin olarak tahmin edilmesi, hava kalitesi yönetim programlarının uygulanması için karar alma prosesinde her zaman önemli bir adım olarak kabul edilmiştir. Bu tezde 2018 ve 2028 yılları için yapılan senaryolar ile Niğde il merkezindeki konutlardaki ısınmadan kaynaklı doğalgaz ve kömürün yanma emisyonlarındaki temel kirletici parametrelerin dağılım grafikleri karşılaştırmalı olarak incelendiğinde -EPA HKİ'ne göre (Çizelge 2.2)- bu kentte hava kalitesinin memnun edici, hava kirliliğinin az riskli veya hiç risk teşkil etmediği ortaya konmuştur. Ancak tezde ele alınan tüm kirletici parametrelerin 10 yıllık süreç içinde emisyon artış oranlarının %100'den fazla olduğu görülmüştür. Niğde ilinde hâkim rüzgâr yönü olan kuzeydoğu yönünde yapılaşmanın olduğu, yapıların koridor şeklinde yerleştirildiği, hava akımının tek yönlü, şehir giriş ve çıkış yönünde sürekli taşınım halinde olduğu, merkez yaşam alanlarında emisyonunun kalıcı olduğu ve rüzgâr ile herhangi bir başka yöne dağılım yapamadığı görülmüştür.

AERMOD modeli sanayi tesislerinden çıkan emisyonların kısa mesafede (en fazla 50 km) dağılımını inceleyen kararlı hal dağılım modelidir. Bu tezde kent merkezinde evsel ısınma kaynaklı emisyonların belirlenmesinde AERMOD View modelin kullanımı, mevcut ulaşılabilen literatürde bir ilktir.

5.1 Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler

Bu tez çalışması, Niğde il merkezi hava kalitesi için mevcut durum ve gelecekteki genişleme planı için azaltıcı önlemler ve kirlilik kontrol teknolojilerinin belirlenmesinde yardımcı olacaktır. Tez sonuçlarından yapılan çıkarımlar ve öneriler aşağıda sunulmaktadır:

Hava kalitesinin mekânsal değişimini incelemek ve karar destek sistemlerinin geliştirilebilmesi için bir çevresel AERMOD View yazılımı kullanılabilir. Bu modelin CBS destekli olması, diğer projelerde altlık veri olarak kullanılmasında ve değerlendirilmesinde çok büyük imkân sunmaktadır. AERMOD View ile yapılacak mekânsal analizler ve farklı konularda oluşturulacak tematik haritalar, çevre problemlerinin daha iyi anlaşılması ve alınması gereken önlemler hususunda karar vericilere son derece yardımcı olacaktır.

Hava kalitesinin korunması ve mekânsal dağılımına ilişkin yapılacak tüm çalışmalar farklı disiplinlerin bir araya geldiği ortak çalışmalar, kontrol stratejileri, yasal düzenlemeler ve güncel teknolojiler gerektirmektedir. Kamu sağlığı araştırmalarını desteklemek üzere özellikle riskli görülen bölgelerde hava kirliliğinin epidemiyolojik etkilerinin araştırılması ve bu amaçla kurulacak veri tabanlarının AERMOD View ve CBS ile entegrasyonu sağlanabilir. Yerel yönetimlerin kendi sorumluluk alanlarında bu tür çalışmaları gerçekleştirmeleri, çevre ve insan sağlığını koruma açısından son derece önemlidir.

Hava kalitesinin sürdürülebilir olması amacı ile şehir yapılaşmasında meteorolojik veriler çok büyük önem taşımaktadır. Şehir planları yapılırken bölgenin hava kalite modelinin yapılması, merkez bölgelerde yapılaşma yoğunluğunun azaltılması, yatay yapılaşmanın teşvik edilmesi ve mevzuat olarak düzenleme yapılması gerekmektedir. Bu tez, evsel ısınma kaynaklı hava kirliliğini kontrol etmek yönünde gerekli önlemleri

almak için yasal kurumlarda referans olarak kullanılabilir. Çalışmanın çıktısı, Niğde ili kent merkezinde çevresel yönetim planının formüle edilmesine de yardımcı olacaktır.

Erdoğan (2012) tarafından belirtildiği gibi Türkiye’de uzun zamandan beri bu konuda kullanılan ISCST modeli yerine daha gelişmiş AERMOD ve CALLPUF gibi modellerin kullanımının zorunlu hale getirilmesi tavsiye olunur. Diğer taraftan bu tür modellerin lisanslı firmalar tarafından kullanımının sağlanması için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nda bir modelleme biriminin kurulması ve bütün model çalışması sonuçlarının bu birimdeki uzmanlar tarafından kontrol edilme mekanizmasının oluşturulması uygulamaların güvenliği için yararlı olacaktır.



KAYNAKLAR

Abayomi, "AERMOD Modeling of Air Pollutant Emissions from Backup Generator Use in Lagos, Nigeria", MSc Thesis, *The University of Texas*, Arlington, USA, 2017.

Adesanmi, A. J., Adeniran, J. A., Fakinle, B. S., Jimoda, L. A., Yusuf, R. O. and Sonibare, J. A., "Ground level concentration of some air pollutants from Nigeria thermal power plants", *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects* 38, 16, 2426-2432, 2016.

Aydınlr, B., Güven, H. ve Kırksekiz, S., "Hava Kirliliği Nedir, Ölçüm ve Hava Kalite Modelleme Yöntemleri Nelerdir?", *T.C. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü*, s. 1-19, 2019. <http://www.sahakk.sakarya.edu.tr/documents/hava%20kirliligi%20ve%20modellemesi%20I.pdf>, Erişim tarihi: 12.09.2019.

Boadh, R., Satyanarayana, A. N. V. and Krishna, R., "Comparison and Evaluation of Air Pollution Dispersion Models AERMOD and ISCST-3 during Pre-Monsoon Month over Ranchi", *Journal of Industrial Pollution Control* 33, 1, 674-685, 2017.

Brasseur, G., Prinn, R. G. and Pszenny, A. A. P., "Atmospheric Chemistry in a Changing World An Integration and Synthesis of a Decade of Tropospheric Chemistry Research", The IGBP Series CACGP, *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, Germany, 2003.

Briggs, "Analysis of Diffusion Field Experiments", In: Venkatram A., Wyngaard J.C. (eds), *Lectures on Air Pollution Modeling, American Meteorological Society*, Boston, MA, USA, 1988.

Cerqueira, J. S., Albuquerque, H. N. and Sousa, F. A. S., "Atmospheric pollutants: modeling with AERMOD software", *Air Quality, Atmosphere and Health* 12, 21-32, 2019.

Cimorelli, A. J., Perry, S. G., Venkatram, A., Weil, J. C., Paine, R. J., Wilson, R. B., Lee, R. F., Peters, W. D. and Brode, R. W. “AERMOD: A Dispersion Model for Industrial Source Applications. Part I: General Model Formulation and Boundary Layer Characterization”, *Journal of Applied Meteorology* 44, 682-693, 2005.

Colls, J., “Air Pollution: Measurement, Modelling and Mitigation”, 2nd Edition. **CRC Press**, London, England, 2002.

Deardorff, J. W., “Numerical investigation of neutral and unstable planetary boundary layers”, *Journal of the Atmospheric Sciences* 29, 91-115, 1972.

Demirarslan, K. O. ve Doğruparmak, Ş. Ç., “Determining Performance and Application of Steady-State Models and Lagrangian Puff Model for Environmental Assessment of CO and NO_x Emissions”, *Polish Journal of Environmental Studies* 25 (1), 83-96, 2016.

Demirarslan, K. O. ve Doğruparmak, Ş. Ç., “Kocaeli İli Körfez İlçesi Konut Kaynaklı CO ve NO_x Emisyon Dağılımlarının Farklı Modeller Yardımıyla Değerlendirilmesi”, *Journal of Natural Hazards and Environment* 1 (1-2), 66-73, 2015.

Demirarslan, K. O., Doğruparmak, Ş. Ç. and Karademir, A., “Evaluation of CO and NO_x Distributions from Point (Industry) Sources in Körfez District of Kocaeli Province with ISCST3 Model”, *ICOEST’2013*, Nevşehir, Turkey, 18-21 June, 2013.

Demirarslan, K., “PUFF Dağılım Modellemesi ve Hava Kalitesi Değerlendirmesinde Kullanımı”, *BAUN Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 20 (1), 1-12, 2018.

Dölek, E. ve Atımtay, A. T., “ISCST3 ve AERMOD Atmosferik Dağılım Modellerinin Karşılaştırılması”, *Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu-2008*, 22-25 Ekim, s. 274-285, Hatay, Türkiye, 2008.

Dölek, E., “Comparison of ISCST3 and AERMOD Air Dispersion Models: Case Study of Çayırhan Thermal Power Plant”, *Middle East Technical University*, 136 p., Ankara, Turkey, 2007.

Erdoğan, E., “Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinde Modellerin Kullanımının Karar Verme Sürecindeki Rolü”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s. 172, 2012.

Fakinle, B. S., Okedere, O. B., Adebajo, S. A., Adesanmi, A. J. and Sonibare, J. A., “Air quality impact of carbon monoxide emission from diesel engine electric power generators”, *Environmental Quality Management* 28, 97-102, 2019.

Gulia, S., Shrivastava, A., Nema, A. K. and Khare, M., “Assessment of Urban Air Quality around a Heritage Site using AERMOD: A Case Study of Amritsar City, India”, *Environmental Modeling & Assessment* (20), 599-608, 2015.

Hadlocon, L.S., Zhao, L.Y., Bohrer, G., Kenny, W., Garrity, S.R., Wang, J., Wyslouzil, B. and Upadhyay, J., “Modeling of particulate matter dispersion from a poultry facility using AERMOD”, *Journal of the Air & Waste Management Association* 65 (2), 206-217, 2015.

Haerens, M., “Air Pollution”, *Greenhaven Publishing*, Detroit, USA, 2011.

Harbawi, M. E., “Air quality modelling, simulation, and computational methods: A review”, *Environmental Reviews* 21 (3), 149-179, 2013.

Hayes, S. R. and Moore, G. E., “Air quality model performance: a comparative analysis of 15 model evaluation studies”, *Atmospheric Environment* (20), 1897-1911, 1986.

Holmes, N. S. and Morawska, L., “A review of dispersion modeling and its application to the dispersion of particles: an overview of different dispersion models available”, *Atmospheric Environment* (40), 5902-5928, 2006.

Irwin, J. S., Paumier, J. O. and Brode, R. W., “Meteorological Processor for Regulatory Models (MPRM) User’s Guide”, EPA-600/3-88-043, *U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park*, North Carolina, USA, 1988.

İlkılıç, C. ve Behçet, R., “Hava Kirliliğinin İnsan Sağlığı ve Çevre Üzerindeki Etkisi”, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 66-72, 2006.

Jayadipraja, E. A., Daud, A., Assegaf, A. H. and Maming, M., “Applying Spatial Analysis Tools in Public Health: The Use of AERMOD in Modeling The Emission Dispersion of SO₂ and NO₂ to Identify Area Exposed to Health Risks”, *Public Health of Indonesia* 2 (1), 20-27, 2016.

Jimoda, L. A., Sonibare, J. A., Fakinle, B. S., Adeniran, J. A., Akeredolu, F. A. and Seriki, O., “Impact of Airport Activities on Local Scale Air Quality”, *International Journal of Current Research and Academic Review* SI (2), 102-111, 2015.

Karaçoban, İ., “Partikül Madde Alansal Kaynak Modellemesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, s. 105, Konya, 2018.

Karvounis, G., Deligiorgi, D. and Philipopoulos, K., “On the Sensitivity of the AERMOD to Surface Parameters under Various Anemological Conditions”, *Proceedings of the 11th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes*, 45-47, Greece, 2006.

Khandokar, A., “Air Pollution Modeling for Petrochemical Industries in Coastal Areas”, MSc Thesis, *Memorial University of Newfoundland*, Canada, 2009.

Kishore, K., “Ambient Air Quality Modelling using AERMOD and Particulate Matter Characterization in Opencast Mines”, MSc Thesis, *National Institute of Technology*, Rourkela, India, 2015.

Krzyzanowski, J., “Approaching Cumulative Effects through Air Pollution Modelling”, *Water Air Soil Pollution* (214), 253-273, 2011.

Kumar, D. S., Bhushan, S. H. and Kishore, D. A., “Atmospheric dispersion model to predict the impact of gaseous pollutant in an industrial and mining cluster”, *Global Journal of Environmental Science Management* 4 (3), 351-358, 2018.

Laffoon, C., Rinaudo, J., Soule, R., Bowie, T., Meyers, C., Madura, R.L. and Pakunpanya, S.P., “Developing State-Wide Modeling Guidance for the use of AERMOD - A Workgroup’s Experience”, 2005. <http://files.abstractsonline.com>, 13.09.2019

Lamb, R. G., “Diffusion in the convective boundary layer”, In: Nieuwstadt F.T.M. and van Dop H. (eds), *Atmospheric Turbulence and Air Pollution Modelling*, pp. 159-229, **D. Reidel Publishing Company**, Dordrecht, Netherlands, 1982.

Misra, A., Roorda, M. J. and MacLean, H. L., “An Integrated Modelling Approach to Estimate Urban Traffic Emissions”, *Atmospheric Environment* 73, 81-91, 2013.

NB, “Doğalgaz Abone Sayısı”, *Niğde Belediyesi verileri*, Niğde, Türkiye, 2019.

Noorpoor, A. and Rahman, H., “Application of AERMOD to local scale diffusion and dispersion modeling of air pollutants from cement factory stacks (Case study: Abyek Cement Factory)”, *Pollution*, 1 (4), 417-426, 2015.

Öksüz, E., “Quantification of Residential Heating Emissions in Istanbul via CMAQ Air Quality Model”, MSc Thesis, *Istanbul Technical University*, s. 71, İstanbul, Turkey, 2016.

Perry, S. G., Cimorelli, A. J., Paine, R. J., Brode, R. W., Weil, J. C., Venkatram, A., Wilson, R. B., Lee, R. F. and Peters, W. D., “AERMOD: A dispersion model for industrial source applications, Part II: Model performance against 17 field study databases”, *Journal of Applied Meteorology* 44, 694-708, 2005.

Seangkiatiyuth, K., Surapipith, V., Tantrakarnapa, K. and Lothongkum, A. W., “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, 2011.

Singh, G. and Perwez, A., “Air Quality Impact Assessment with Respect to Suspended Particulate Matters in Iron Ore Mining Region of Goa”, *The Ecoscan* SI (8), 311-318, 2015.

Singh, K. P., Shikha Gupta, A. K. and Prasad Shukla, S., “Linear and Nonlinear Modeling Approaches for Urban Air Quality Prediction”, *The Science of the Total Environment* 426, 244-255, 2012.

Steinberga, I. and Lizuma, L., “Air Quality Modelling in Latvia”, *2nd International Congress on Environmental Modelling and Software*, s. 106, Osnabrück, Germany, 2004.

Tartakovsky, D., Broday, D. M. and Stern, E., “Evaluation of AERMOD and CALPUFF for predicting ambient concentrations of total suspended particulate matter (TSP) emissions from a quarry in complex terrain”, *Environmental Pollution* 179, 138-145, 2013.

Teerapattarada, N., Vathanapanich, Y. and Jinsart, W., “Health Risk Assessment of Industrial Emissions in Map Ta Phut, Thailand using AERMOD Modeling and GIS”, *International Journal of Geoinformatics* 12 (1), 57-63, 2016.

Thawonkaew, A., Thepanondh, S., Sirithian, D. and Jinawa, L., “Assimilative Capacity of Air Pollutants in an Area of the Largest Petrochemical Complex in Thailand”, *International Journal of GEOMATE* 11 (23), 2162-2169, 2016.

Tuygun, G. T., Altuğ, H., Elbir, T. and Gaga, E. E., “Modeling of air pollutant concentrations in an industrial region of Turkey”, *Environmental Science and Pollution Research International* 24 (9), 8230-8241, 2017.

URL 1, Hava Kalitesi İzleme Sistemi, *T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, <https://sim.csb.gov.tr/Home/HKI?baslik=HAVZA%20İZLEME%20SİSTEMİ>, 13.09.2019.

URL 2, Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği, <http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.12188&MevzuatIliski=0>, **Resmi Gazete**, Tarih 06.06.2008 ve Sayı 26898, 13.09.2019.

URL 3, Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Genelgesi, <https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/editordosya/GNG2013-37HavaKalitesiDegerl.pdf>, **Resmi Gazete**, Tarih 09.09.2013 ve Sayı 31677, 13.09.2019.

URL 4, Ambient (outdoor) air quality and health, [https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health), 13.09.2019.

URL 5, Türkiye’de Hava Kirliliği Kara Rapor, 3. Bölüm Hava Kirliliği Hakkında Yasal ve Yönetmelik Çerçeve, http://www.greenpeace.org/turkey/Global/turkey/report/2016/hava_kirliligi_rapor_baski.pdf, 13.09.2019.

URL 6, Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, **Resmi Gazete**, Tarih 20.12.2014 ve Sayı 29211, Ek-1 İşletmeler İçin Hava Emisyonu Esas ve Sınır Değerleri, http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/12/201412_20-2.htm, 13.09.2019.

URL 7, AERMOD View Hava Dağılım Modeli, http://www.aktel1.com/tr/images/aktel_images/lakes/AERMOD_TANITIM_TR.pdf, 13.09.2019.

URL 8, Combustion in Energy Industries, **European Environment Agency (EEA)**, <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-1-combustion-in-energy-industries-tfeip-endorsed-draft.pdf/view>, 13.09.2019.

URL 9, Yıllara göre Türkiye’deki illerin yıllık nüfus artış hızı ve nüfus yoğunluğu, 2007-2018, http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=1591, 13.09.2019.

URL 10, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı hava kalitesi izleme istasyonları, <http://laboratuvar.cevre.gov.tr/Default.ltr.aspx>, 13.09.2019.

Vallero, D., “Fundamentals of Air Pollution”, 5th ed., s. 996, *Academic Press Elsevier*, Amsterdam, 2014.

Venkatram, A., Isakov, V., Yuan, J. and Pankratz, D., “Modeling dispersion at distances of meters from urban sources”, *Atmospheric Environment* 38, 4633–4641, 2004.

Weil, “Dispersion in the convective boundary layer”, In: Venkatram A., Wyngaard J.C. (eds), Lectures on Air Pollution Modeling, *American Meteorological Society*, Boston, MA, USA, 1988.

Wexler, P., “Encyclopedia of Toxicology”, 3rd ed., *Academic Press*, London, England, 2014.

Wyngaard, J. C., “Structure of the PBL”, In: Venkatram A., Wyngaard J.C. (eds), Lectures on Air Pollution Modeling, *American Meteorological Society*, Boston, MA, USA, 1988.

Zou, B., Wilson, J. G., Zhan, F. B. and Zeng, Y., “Spatially differentiated and source-specific population exposure to ambient urban air pollution”, *Atmospheric Environment* 43, 3981-3988, 2009.

Zou, B., Zhan, F. B., Wilson, J. G. and Zeng, Y., “Performance of AERMOD at different time scales”, *Simulation Modelling Practice and Theory* 18, 612-623, 2010.

ÖZ GEÇMİŞ

Mustafa TEL 29.01.1975 tarihinde Elazığ'da doğdu. İlk orta ve lise eğitimini Elazığ'da tamamladı. 1992 yılında girdiği Fırat Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden Haziran 1996'da mezun oldu. 1996-2001 yılları arasında Çevre Bakanlığı'nda Mühendis olarak çalıştı. 2001 yılından beri özel sektörde Çevre Mühendisliği konularında çalışmalarına devam etmektedir. 2015-2016 Eğitim-Öğretim yılında Ömer Halisdemir Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans öğrenimine başladı. Bilim dalındaki ilgi alanı çevre yönetimi ve hava kalitesidir.



TEZ ÇALIŞMASINDAN ÜRETİLEN ESERLER

Bu tez çalışmasından 3 (üç) adet uluslararası bildiri üretilmiştir. Bu üretilen çalışmalar aşağıda sunulmuştur

Tel, M. and Doğan-Sağlamtimur, N., “Determination of PM₁₀ Dispersion by using AERMOD View: A Case Study in Niğde (Turkey)”, *1st International Conference on Environment, Technology and Management (ICETEM)* Abstract Book, pp. 239, Niğde, Turkey, 27-29 June 2019.

Tel, M. and Doğan-Sağlamtimur N., “An Application of Air Quality Dispersion Model for Niğde (Turkey): SO₂ Dispersion in AERMOD View”, *Proceedings of Seventh International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE 2019)&SECOTOX Conference*, pp. 450-458, Mykonos, Greece, 19-24 May 2019.

Tel, M. and Doğan-Sağlamtimur, N., “Determination of PM₁₀ Dispersion by using AERMOD View: A Case Study in Niğde (Turkey)”, *1st International Conference on Environment, Technology and Management (ICETEM)* Proceeding Book (in press), Niğde, Turkey, 27-29 June 2019.

