



BÜYÜK VERİ İLE HAVA KALİTESİ TAHMİNİ

Doktora Tezi

Arzu ÖZ

Eskişehir 2022

BÜYÜK VERİ İLE HAVA KALİTESİ TAHMİNİ

Arzu ÖZ

Doktora Tezi

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilgisayar Bilimleri Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Yaşar HOŞCAN

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Haziran 2022

21/06/2022

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Doktora ğrencisi Arzu Z, BÜYÜK VERİ İLE HAVA KALİTESİ TAHMİNİ başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez Danişmanı

Prof. Dr. Yaşar HOşCAN

ÖZET

BÜYÜK VERİ İLE HAVA KALİTESİ TAHMİNİ

Arzu ÖZ

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilgisayar Bilimleri Bilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Haziran 2022

Danışman: Prof. Dr. Yaşar HOŞCAN

Bu tezde, İstanbul il genelinde yer alan istasyonlarda ölçülen hava kalitesi indeksi ve hava kirleticilerinin yoğunluğu büyük veri ve akıllı yöntemler aracılığı ile tahmin edilmiştir. Tezde temel olarak ele alınan problem makine öğrenmesinin temel problemlerinden biri olan regresyon problemidir. Hava kalitesinin tahmini için çok sayıda farklı kaynaktan veri elde edilmesi, bu verilerin ilgili regresyon problemini oluşturmak üzere düzenlenerek veri kümesi haline dönüştürülmesi amacıyla çeşitli web servisleri ve web kazıma yaklaşımları kullanılmıştır. Daha sonra temizlenen veri kümeleri üzerinden literatürde ana akım olarak bulunan birçok regresyon yöntemi kullanılmış ve bu yöntemlerin parametrelerinin en iyi şekilde belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak raporlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Büyük veri, Hava kalitesi, Makine öğrenmesi, Regresyon.

ABSTRACT

AIR QUALITY PREDICTION WITH BIG DATA

Arzu ÖZ

Department of Computer Engineering

Programme in Computer Sciences

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, June 2022

Supervisor: Prof. Dr. Yaşar HOŞCAN

In this thesis, the air quality index and the density of air pollutants measured at stations located throughout the province of Istanbul were estimated by means of big data and smart methods. The main problem in the thesis is the regression problem, which is one of the main problems of machine learning. Various web services and web scraping approaches have been used to obtain data from many different sources for the prediction of air quality, and to transform these data into a dataset by arranging the relevant regression problem. Afterwards, many regression methods, which are mainstream in the literature, were used on the cleaned datasets and studies were carried out to determine the hyperparameters of these methods in the best way. Obtained results are reported comparatively.

Keywords: Big data, Air quality, Machine learning, Regression.

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim ve bu tez çalışmasının gerçekleştirilmesi aşamalarında deneyimlerini, bilgi ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyerek bana her konuda yol gösterip yardımcı olan, ihtiyaç duyduğum her an motivasyonumu arttıran danışman hocam Prof. Dr. Yaşar HOŞCAN'a katkılarından dolayı en derin şükranlarımı sunarım.

Tez izleme komitesinde yer alarak, gerçekleştirdiğim çalışmayı yakından takip eden, verdikleri fikir ve öneriler ile bakış açıma yön vererek tezimin şekillenmesinde önemli katkıları bulunan Prof. Dr. Gürkan ÖZTÜRK ve Doç. Dr. Alper BİLGE'ye; tez savunma jürime katılan ve değerli fikirleriyle çalışmama katkı sağlayan Prof. Dr. Cihan KALELİ, Dr. Öğr. Üyesi Efnan ŞORA GÜNAL ve Dr. Öğr. Üyesi Ali YÜREKLİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin daha iyi bir noktaya gelmesi için çalışmamın her aşamasında bana vakit ayırıp değerli düşünce ve yorumlarıyla yardımcı olan Doç. Dr. Gültekin ALTUNTAŞ'a ve bana her zaman destek olup yanımda olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Arzu ÖZ

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Arzu ÖZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
DANIŞMAN ONAYI	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLolar DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Araştırmanın Önemi.....	8
1.2. Araştırmanın Amacı	8
1.3. Sınırlılıklar.....	9
2. İLGİLİ LİTERATÜR.....	10
2.1. Hava Kalitesine Etki Eden Faktörlerin İncelendiği Çalışmalar.....	10
2.2. COVID-19 Salgınında Hava Kalitesindeki Değişimlerin İncelendiği Çalışmalar.....	14
2.3. Hava Kalitesi Tahmininde Büyük Veri Kullanılan Çalışmalar.....	19
2.4. Literatür Değerlendirme	22
3. YÖNTEM VE MATERYAL.....	25
3.1. Veri Toplama.....	26
3.1.1. Uydu Verileri	29
3.1.1.1. Sentinel-5P.....	29
3.1.1.2. GFS	31

3.1.1.3. MODIS ve VIIRS.....	31
3.1.2. İstasyon-sensör verileri	33
3.1.2.1. Hava kalitesi ölçüm istasyonları	33
3.1.2.2. Meteoroloji istasyonları	34
3.1.2.3. Trafik yoğunluk sensörleri	34
3.1.3. İstatistik verileri	35
3.1.3.1. Park ve yeşil alanlar	35
3.1.3.2. Doğalgaz tüketimi	36
3.1.3.3. Elektrik tüketimi	36
3.1.3.4. Akaryakıt istasyonları	37
3.1.3.5. Gayrisihhi müessese sayısı	37
3.1.3.6. Nüfus ve hayvancılık istatistikleri	38
3.1.3.7. Ortalama hane halkı büyüklüğü	38
3.1.3.8. Dış ticaret rakamları	39
3.1.3.9. Baraj doluluk oranları	39
3.1.3.10. Havalimanı istatistikleri	40
3.1.3.11. Vefat sayısı	40
3.2. Veri İşleme	41
3.2.1. Veri ön işleme	41
3.2.1.1. Hava kalitesi istasyon ölçüm sonuçları web servisi	42
3.2.1.2. NASA GES DISC	43
3.2.1.3. NASA FIRMS	44
3.2.1.4. Wunderground	44
3.2.2. Öznitelik seçimi	45
3.2.3. Veri temsil işlemleri	46
3.3. Model İşlemleri	47
3.3.1. İstasyon Tahmin Modeli	47
3.3.2. Genel Tahmin Modeli	50
3.3.3. Özniteliklerin Sonuca Katkısını Ölçme	51
4. UYGULAMA VE BULGULAR	54
4.1. Mevcut Durumun Değerlendirilmesi	54
4.2. İstasyon Tahmin Modeli Bulguları	61

4.3. Genel Tahmin Modeli Bulguları.....	65
4.4. Özniteliklerin Sonuca Katkısını Ölçmeye İlişkin Bulgular	68
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	70
5.1. Sonuç	70
5.2. Öneriler	72
KAYNAKÇA.....	75
EKLER	
ÖZGEÇMİŞ	



TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 1.1. Hava kirletici parametrelerin kaynakları	1
Tablo 1.2. Dünya genelindeki ölüm sayılarının risk faktörlerine göre dağılımı	3
Tablo 3.1. İstanbul genelindeki hava kalitesi ölçüm istasyonları	27
Tablo 3.2. Model değerlendirme metrikleri ve formülleri	50
Tablo 4.1. PM ₁₀ kirleticisi sınır değeri aşımı	60



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkileri	2
Şekil 1.2. 2019 yılı boyunca havası kirli istasyonlar	5
Şekil 1.3. 2020 yılı istasyon bazlı PM ₁₀ değerleri	6
Şekil 1.4. İstanbul hava kalitesi ölçüm istasyonları	6
Şekil 1.5. İstanbul hava kalitesi ölçüm istasyonları eksik veri sayıları	7
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan yöntem	25
Şekil 3.2. İstanbul ili haritası	26
Şekil 3.3. NASA GES DISC platformu	30
Şekil 3.4. Google Earth Engine platformu Sentinel-5P veri seti	30
Şekil 3.5. Google Earth Engine platformu GFS veri seti	31
Şekil 3.6. 27-30 Temmuz 2021 Türkiye yangın haritası	32
Şekil 3.7. NASA FIRMS veri indirme	32
Şekil 3.8. Hava kalitesi istasyon ölçüm sonuçları web servisi	33
Şekil 3.9. Wunderground web sitesi	34
Şekil 3.10. Saatlik trafik yoğunluk veri seti	34
Şekil 3.11. Trafik indeksi web servisi	35
Şekil 3.12. Parklar ve yeşil alanlar veri seti	35
Şekil 3.13. İstanbul ilçe bazında doğalgaz tüketim miktarı veri seti	36
Şekil 3.14. EPDK elektrik tüketim veri seti	36
Şekil 3.15. İstanbul akaryakıt istasyonları veri seti	37
Şekil 3.16. İlçe ve sektör bazında birinci sınıf gayrisihhi müessese sayısı veri seti	37
Şekil 3.17. İlçelere göre nüfus ve hayvancılık istatistikleri	38
Şekil 3.18. İlçe bazlı ortalama hane halkı büyüklüğü veri seti	38
Şekil 3.19. İBB İstatistik Ofisi	39
Şekil 3.20. İstanbul baraj doluluk oranları	39
Şekil 3.21. Havalimanı istatistikleri	40
Şekil 3.22. Vefat bilgisi sorgulama web servisi	40
Şekil 3.23. Hava kalitesi ölçüm istasyonları web servisi örnek sorgulama sonucu	42
Şekil 3.24. HKİ hesaplamada kullanılan kesme noktaları	43
Şekil 3.25. Sentinel-5P hesaplama	43
Şekil 3.26. NASA FIRMS yangın parametreleri	44

Şekil 3.27. Wunderground meteoroloji parametreleri	44
Şekil 3.28. Meteoroloji eksik veri oranı	45
Şekil 3.29. Korelasyon analizi	46
Şekil 3.30. Rüzgâr yönü kategorileri	46
Şekil 3.31. İstasyon tahmin modeli iş akışı	48
Şekil 3.32. Pycaret örnek ortam ayarları	49
Şekil 3.33. Yığın işlevi	51
Şekil 3.34. Yorumlanabilirlik doğruluk ilişkisi	52
Şekil 4.1. İl geneli HKİ ısı haritası	54
Şekil 4.2. İstasyon bazında HKİ	54
Şekil 4.3. İstasyon bazında yıllık HKİ değişimi	55
Şekil 4.4. İstanbul NO ₂ değişimi	55
Şekil 4.5. Kirletici dağılım grafiği	56
Şekil 4.6. Mart-Mayıs ayları kirletici değişimleri	57
Şekil 4.7. 2020 yılı sokağa çıkma yasağı HKİ değişimi	58
Şekil 4.8. Tam kapanma dönemi HKİ değişimi	58
Şekil 4.9. Hava kirleticilerine ilişkin sınır değerler	59
Şekil 4.10. Sınır aşım değerleri rapor ekranı	59
Şekil 4.11. Aksaray istasyonu PM ₁₀ sınır değer aşımı	60
Şekil 4.12. Aksaray istasyonu PM ₁₀ sınır değer aşımının aylık bazda dağılımı	61
Şekil 4.13. Pycaret örnek model karşılaştırma sonucu	61
Şekil 4.14. Pycaret örnek normalizasyon yöntemleri karşılaştırma sonucu	62
Şekil 4.15. Pycaret örnek en iyi iki model çapraz doğrulama aşama sonuçları	62
Şekil 4.16. Pycaret örnek model seçim sonucu	63
Şekil 4.17. Hyperopt örnek optimizasyon sonucu	64
Şekil 4.18. Model seçimi	64
Şekil 4.19. İstasyon tahmin modeli doğrulama sonuçları	65
Şekil 4.20. Hyperband sonuçları	65
Şekil 4.21. HKİ genel modeli	66
Şekil 4.22. HKİ genel model doğrulama sonuçları	67
Şekil 4.23. HKİ genel model permütasyon önemi en yüksek 20 parametre	68
Şekil 4.24. HKİ genel model SHAP değeri en yüksek 20 parametre	68
Şekil 4.25. HKİ genel model SHAP değeri en yüksek 20 parametre dağılımı	69

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AutoML	: Automated Machine Learning (Otomatik Makine Öğrenimi)
CB	: CatBoost
CH ₄	: Metan
CNN	: Convolutional Neural Network (Evrişimsel Sinir Ağları)
CO	: Karbonmonoksit
COVID-19	: Koronavirüs Hastalığı
CRF	: Conditional Random Field (Şartlı Rasgele Alan)
CSV	: Comma-Separated Values (Virgülle Ayrılmış Değerler Dosyası)
ÇŞİDB	: T. C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
DHMI	: Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü
DISC	: Data and Information Services Center (Veri ve Bilgi Hizmetleri Merkezi)
DOCX	: Microsoft Word Open XML Format Document (Microsoft Word Açık XML Biçim Belgesi)
DSÖ	: Dünya Sağlık Örgütü
DT	: Decision Tree (Karar Ağacı)
ELI5	: Explain Like I'm Five
EPA	: United States Environmental Protection Agency (Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Kurumu)
EPDK	: T. C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
ESA	: European Space Agency (Avrupa Uzay Ajansı)
FIRMS	: Fire Information for Resource Management System (Yangın Bilgilendirme ve Kaynak Yönetim Sistemi)
GES	: Goddard Earth Sciences (Goddard Yer Bilimleri)
GFS	: Global Forecast System (Küresel Tahmin Sistemi)
HKİ	: Hava Kalitesi İndeksi
HKÖİ	: Hava Kalitesi Ölçüm İstasyonu
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İGDAŞ	: İstanbul Gaz Dağıtım Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi
İSKİ	: İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi

JSON	: JavaScript Object Notation (JavaScript Nesne İşaretleme)
KNN	: K-Nearest Neighbours (K-En Yakın Komşu)
KOAH	: Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı
LGBM	: Light Gradient Boosting Machine
LSTM	: Long Short Term Memory (Uzun Kısa Süreli Bellek)
MAE	: Mean Absolute Error (Ortalama Mutlak Hata)
MAPE	: Mean Absolute Percentage Error (Ortalama Mutlak Yüzde Hata)
MODIS	: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometresi)
MSE	: Mean Squared Error (Ortalama Karesel Hata)
NASA	: National Aeronautics and Space Administration (Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi)
NCEP	: National Centre for Environmental Prediction (Ulusal Çevre Tahmin Merkezi)
netCDF	: Network Common Data Form
NO	: Azot oksit
NO _x	: Nitrik oksit
NO ₂	: Azot dioksit
N ₂ O	: Azot protoksit
OECD	: Organisation for Economic Co-operation and Development (İktisadi İşbirliği ve Gelişme Teşkilatı)
O ₃	: Ozon
PDF	: Portable Document Format (Taşınabilir Belge Biçimi)
PM	: Partikül Madde
POI	: Point of Interests (İhtiyaç Noktaları)
RF	: Random Forest (Rastgele Orman)
RMSE	: Root Mean Square Error (Kök Ortalama Karesel Hata)
RMSLE	: Root Mean Squared Logarithmic Error (Kök Ortalama Karesel Logaritmik Hata)
Sentinel-5P	: Sentinel-5 Precursor
SHAP	: SHapley Additive exPlanations (Shapley Katkı Açıklamalar Modeli)
SHP	: Shapefile format (şekil dosyası biçimi)
SO ₂	: Kükürt dioksit

TMMOB	:	Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
TROPOMI	:	TROPOspheric Monitoring Instrument
TÜİK	:	Türkiye İstatistik Kurumu
UHKİA	:	Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı
VIIRS	:	Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (Görünür Kızılötesi Görüntüleme Radyometre)
XGB	:	XGBoost (eXtreme Gradient Boosting)
XLSX	:	Microsoft Excel Open XML Spreadsheet (Microsoft Excel Açık XML Elektronik Tablosu)
XML	:	Extensible Markup Language (Genişletilebilir İşaretleme Dili)



1. GİRİŞ

Hava tüm canlılar için vazgeçilmez niteliğe sahip, önemi büyük bir yaşam kaynağıdır. Atmosferi meydana getiren gazların karışımı olarak tanımlanan hava, çeşitli faktörler sebebiyle kirlenebilen bir ortamdır. Havada bulunan partikül madde (PM), kükürt dioksit (SO₂), azot oksit (NO), azot dioksit (NO₂), nitrik oksit (NOX), karbonmonoksit (CO) ve ozon (O₃) gibi kirleticilerin sağlık ve çevre için tehlike oluşturması hava kirliliği olarak tanımlanabilir. Hava kirliliği orman yangınları, yanardağ faaliyetleri, çöl fırtınaları gibi doğal kaynakların yanı sıra modern yaşamla birlikte artan sanayi faaliyetleri, nüfus artışı, kentleşme, enerji tüketimi, yakıt kullanımı ve trafik gibi insan faaliyetleri sonucu yapay (antropojenik) kaynaklardan meydana gelmektedir (Güner, 2018; Engin, 2022).

İnsan faaliyetleri sonucu meydana gelen hava kirliliği ısınma, ulaşım ve sanayi olmak üzere üç ana sınıfa ayrılmaktadır. Isınma kaynaklı hava kirliliğine odun, kömür, fuel oil ya da doğal gaz gibi yakıtlar, ulaşım kaynaklı hava kirliliğine motorlu taşıtların çıkardığı egzoz gazları, sanayi kaynaklı hava kirliliğine ise fabrika bacalarının havaya kirlenici maddeler yayması sebep olmaktadır (TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, 2018; Uğurlu, 2021; Ünalı ve Yalçın, 2022). Tablo 1.1’de havada bulunan beş temel kirleticinin ana kaynaklarına yer verilmiştir.

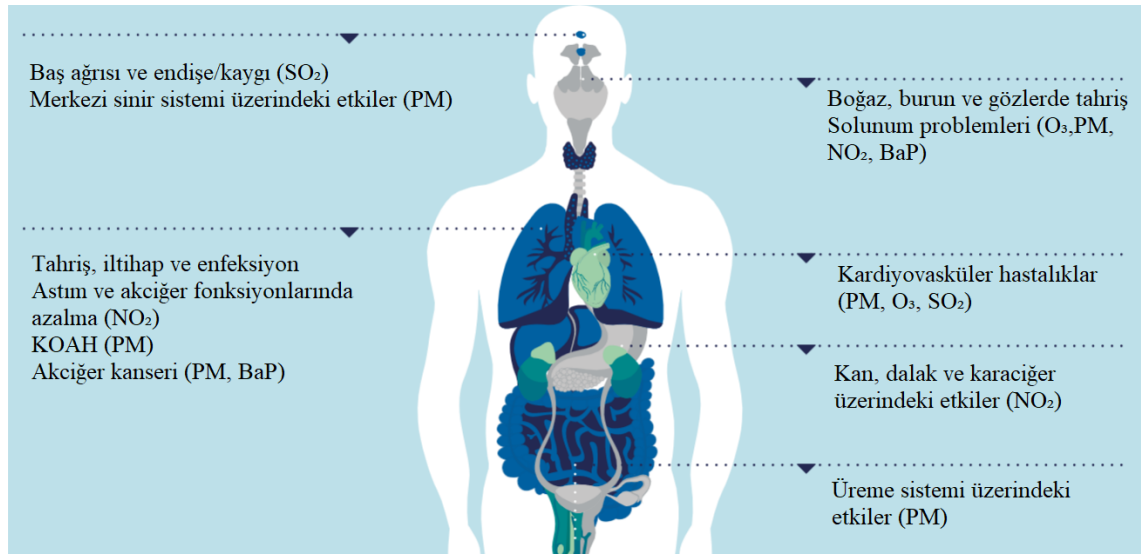
Tablo 1.1. Hava kirlenici parametrelerin kaynakları

Kirlenici	Kaynakları
Karbonmonoksit (CO)	Yakıt yapısındaki karbonun eksik yanması, taşıt emisyonları
Azotoksitler (NO _x)	Araç motorları, enerji santralleri ve her türlü yanma prosesi
Ozon (O ₃)	Azot oksitler ve uçucu organik bileşiklerin güneş ışığı ile reaksiyona girmesi
Partikül Madde (PM)	Sanayi, taşıt emisyonları, fosil yakıt yanması, tarım ve ikincil kimyasal reaksiyonlar
Kükürtdioksit (SO ₂)	Fosil yakıt yanması, endüstriyel faaliyetler, taşıt emisyonları

Havanın durumu olarak görülebilecek hava kalitesi, kirli olmayan temiz ve berrak havayı ifade etmektedir. Hava kalitesi hava kirliliğinin insan ve çevre üzerindeki etkisinin göstergesidir, kirlenici oranının artmasıyla birlikte atmosfer kalitesi azalmaktadır (Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği, 2008). İnsanların ve diğer tüm canlıların sağlıklı bir ortamda yaşayabilmesi için hava kalitesinin iyi olması gerekmektedir. Düşük hava kalitesi insan sağlığı, yaban hayatı ve bitki örtüsü gibi farklı unsurlar üzerinde ölümcül etkiler oluşturabilecek kadar kritik öneme sahip bir sorundur. Hava kirliliği sadece canlılar için değil cansız varlıklar için de olumsuz etkilere yol açan bir sorun teşkil etmektedir. Tarihi alanlarda bulunan yapılarda yüzey kirlenmesi ve

aşınmalara sebebiyet veren hava kirliliği bu yapıların tahrip olmasına yol açmaktadır (Büyükkakıncı, 2010).

Havadaki kirlitici maddelerden kaynaklanan hava kirliliği; göz bozukluğu, baş ağrısı ve mide bulantısı gibi geçici sağlık sorunlarına yol açarak yaşam kalitesini düşürmesinin yanı sıra nefes darlığı, kalp hastalığı ve kanser gibi kronik hastalıklara da yol açarak ölümcül etkilere de sebebiyet verebilmektedir (Karahan, 2013; Türk Toraks Derneği, 2020; Çağlayan ve Ayta, 2022). Şekil 1.1’de hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkilerine yer verilmiştir.



Şekil 1.1. Hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkileri (European Environment Agency, 2021) isimli çalışmadan uyarlanmıştır

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) raporlarına göre yaklaşık 7 milyon insanın hayatını kaybetmesine yol açtığı ortaya konulan hava kirliliği, İktisadi İşbirliği ve Gelişme Teşkilatı’nın (Organisation for Economic Co-operation and Development-OECD) 2019 yılı raporuna göre ülkemizde de 30 bin kişinin ölümünde etkili olan güncel bir çevre ve halk sağlığı sorunudur (TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, 2019). 2019 yılında 204 ülke ve bölgeden 87 adet risk faktörü üzerinden hazırlanan Küresel Hastalık Yüğü araştırmasına göre hava kirliliği 6.67 milyon ölümlle dünya genelindeki tüm ölümler üzerinde en etkili üçüncü faktör olarak belirlenmiştir. Raporda yer verilen risk faktörleri ile ölüm sayıları arasındaki oranlara Tablo 1.2’de yer verilmiştir.

Tablo 1.2. Dünya genelindeki ölüm sayılarının risk faktörlerine göre dağılımı (Ritchie ve Roser, 2019)



Son yıllarda ülkemizde yapılan çalışmalarda hava kirliliğinin halk sağlığına olan etkileri farklı yönleriyle araştırılan bir konudur. Hava kirliliğinin azaltılması çevrenin korunmasının yanı sıra, yaşam kalitesinin artırılması ve sağlık hizmetlerinde tasarruf edilmesini de sağlamaktadır (Avrupa Çevre Ajansı, 2020). Öztürk tarafından yapılan çalışmada hava kirliliği düzeyi arttıkça acil servise göğüs hastalıkları şikâyeti ile başvuran hasta sayısındaki artışa dikkat çekilerek, hava kirliliğinin Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı (KOAH), astım ve pnömoni gibi hastalıklara ait semptomları tetiklediğine dikkat çekilmektedir (Öztürk, 2019). Altunok tarafından yapılan çalışmada hava kirliliği ile ölüm hızı arasında pozitif yönlü bir ilişki olduğu ortaya konularak çalışmada incelenen üç kentteki hayatını kaybeden hasta sayısının %11'i ile %20'sinin kirliliğe atfedilebilecek nedenlerden dolayı hayatını kaybettiği saptanmıştır (Altunok, 2019). Saygın tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise hava kirliliğinin kardiyovasküler ve solunum nedeni ile acil servis başvurularını ve hastane yatış riskini arttırdığı saptanmıştır (Saygın, 2019).

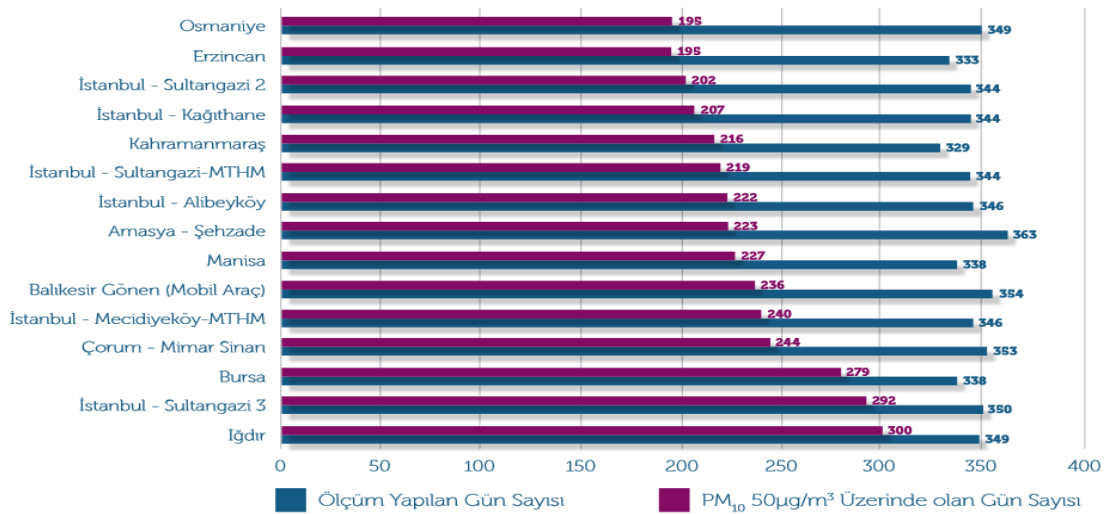
Havada yer alan partiküllerin ciğerlere kadar ulaşabileceği, hatta anne karnındaki bebekler üzerinde bile etkili olarak prematüre doğuma yol açabileceğine ilişkin çalışmalar yürütülmektedir. Örneğin Bové ve arkadaşları tarafından 2019 yılında Belçika Hasselt Üniversitesi'nde yapılan araştırmada dünyada ilk kez hava kirliliğinin anne karnındaki bebekler üzerindeki etkileri insan üzerinde yapılan bir çalışma ile ortaya koyulmuştur (Bové vd., 2019). Çalışma 12 ila 31 hafta arasında gebelikleri kendiliğinden sonlanan 28 anne adayı ile gerçekleştirilerek, kaybedilen bebeklerden ve plesentadan örnekler alınmıştır. Yapılan incelemelerde plesentanın bebeğe bakan yüzünde havadaki kirleticilerden biri olan karbon partiküllerine rastlandığı ortaya koyulmuştur. Çalışmada havadaki kirletici maddelerin annenin akciğerlerinden plesentaya gidip iltihap oluşturması yoluyla ya da doğrudan plesenta yoluyla fetüse geçebileceği saptanmıştır. Çalışmada aynı zamanda bebek ölümlerinin ardından yapılan otopsilerde beynin ön lobunda kirletici partiküllere rastlandığı belirlenmiştir. Bu nedenle gebeliğin erken dönemlerinde bu tip partiküllere maruz kalan bir anne adayının bebeğinin zekâ fonksiyonları üzerinde olumsuz etkiler görülebilmesi de söz konusu olacaktır.

Temiz Hava Hakkı Platformu tarafından 2020 yılında yayınlanan Hava Kirliliği ve Sağlık Etkileri Kara Raporu'nda ülkemizde 2017 yılından beri hava kirliliğinin sebep olduğu ölümlerin, trafik kazalarından altı katından fazla olduğu saptanmasında bulunularak, hava kirliliğinin 2019 yılında DSÖ kılavuz değerlerine indirilmesi durumunda ise yaşanan tüm ölümlerin yaklaşık %7.9'u ve 2018 yılındaki tüm ölümlerin %12.13'ünün önlenebileceği ortaya konulmuştur (Temiz Hava Hakkı Platformu, Kara Rapor 2020: Hava Kirliliği ve Sağlık Etkileri, 2020). Bu rapora göre 2019 yılında ülkemizde 30 ile ait yeterli ölçüm verisi bulunmamakta, yeterli ölçüm verisi bulunan 51 ilin %98'inde ise ölçüm değerleri DSÖ sınır değerlerinin üzerindedir.

Yaşanan Koronavirüs Hastalığı (COVID-19) salgın süreci ile birlikte hava kirliliğinin sağlıkla olan ilişkisinin incelendiği çalışmaların yanı sıra salgın sürecinde sosyal, ekonomik ve ticari alanlarda uygulanan kısıtlamaların hava kalitesi üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmalar ön plana çıkmıştır. Bu kapsamda yapılan bir çok çalışmada, salgın sürecinde uygulanan kısıtlamalardan kaynaklanan insan hareketliliğinin, taşıt kullanımının, sanayi faaliyetlerinin ve yakıt tüketiminin azalmasının çevre ve hava kalitesinde doğrudan ya da dolaylı olarak iyileşme sağladığına ilişkin tespitler ortaya konulmuştur (Baldasano, 2020; Baysan ve Yavaş, 2020; Bilgin ve Toros,

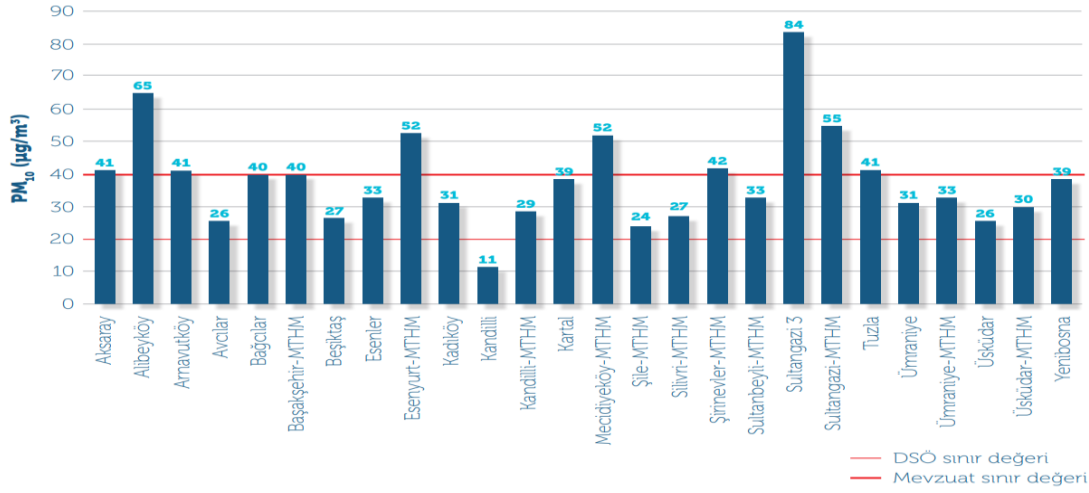
2020; Broomandi vd., 2020; Dantas, 2020; Dünder vd., 2020; Hayta ve Öner, 2020; He vd., 2020; Hojamkulyeva vd., 2020; Mahato, 2020; Yurtsever, 2020; Aydın ve Yetişkul, 2021; Bacak ve Toros, 2020; Girdhar vd., 2021; Özel vd., 2021; Topuz ve Karabulut, 2021; Yavaş vd., 2021; Kaloni, 2022; Özen, 2022; Özen ve Öztürk, 2022). Salgın sürecinde yapılan kısıtlamalar sonucunda ısınma ve ulaşımda kullanılan yakıt miktarının azalmasıyla sera gazı (CO₂, CH₄, N₂O) emisyonlarında (Türk Toraks Derneği, 2020; Cüce ve Uğur, 2021; Toksoy ve Atalay, 2021) düşüş gözlenmiştir. Ülkemizde PM₁₀ ortalaması salgının başladığı 2020 yılının Mart ayının ilk 15 gününde 55 µg/m³, kısıtlamaların uygulanmaya başladığı ikinci 15 gününde ise 35 µg/m³ olarak ölçülmüş fakat görülen bu iyileşmenin kalıcılık göstermeyerek kapanma tedbirleri sonrasında artış gösterdiği tespit edilmiştir (Temiz Hava Hakkı Platformu, Kara Rapor 2021: Hava Kirliliği ve Sağlık Etkileri, 2021). Salgın sürecinde uygulanan sokağa çıkma tedbirleri altında hava kalitesinin nasıl değiştiğine ilişkin çalışmalar, araç trafiği azaltılarak ve mevcut hareketlilik şeklimiz değiştirilerek hava kalitesinde önemli iyileşmeler sağlanabileceğini öngörmektedir (Avrupa Çevre Ajansı, 2020).

İstanbul, ciddi düzeyde hava kirliliği görülen büyük şehirlerimizden biri olmasının yanı sıra 2017 yılından bu yana hava kirliliği nedeniyle yaşanan ölüm sayısının en fazla olduğu ilimizdir (Temiz Hava Hakkı Platformu, Kara Rapor 2020: Hava Kirliliği ve Sağlık Etkileri, 2020). Şekil 1.2’de yer alan grafikte 2019 yılı boyunca ülkemizde havası en kirli on beş istasyonun bilgisi yer almaktadır. Bu rapora göre havası en kirli on beş istasyonun altı tanesi İstanbul’da yer almaktadır.



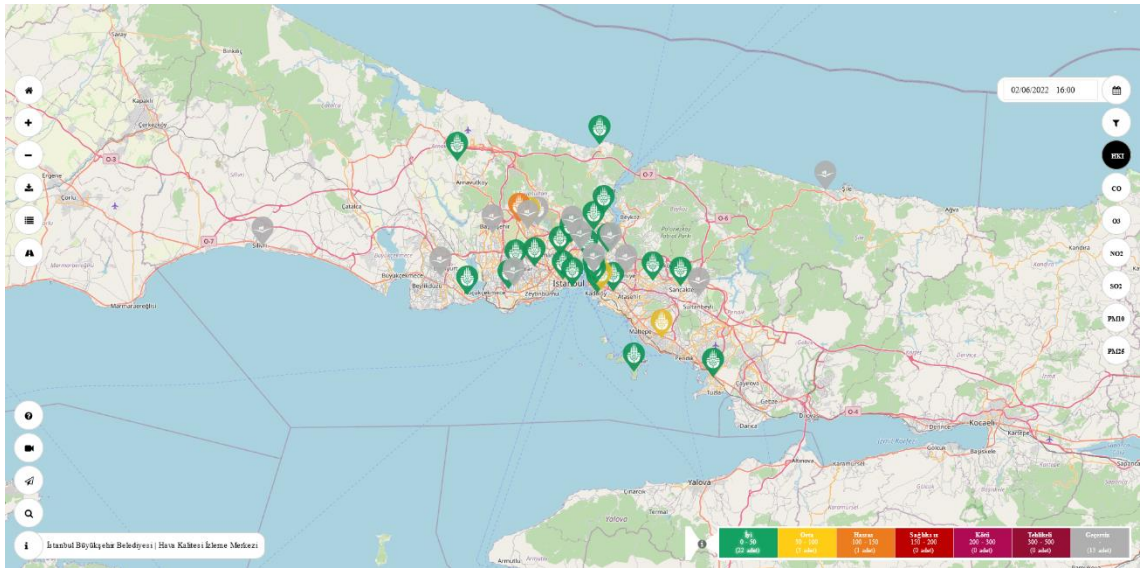
Şekil 1.2. 2019 yılı boyunca havası kirli istasyonlar (Temiz Hava Hakkı Platformu, Kara Rapor 2020: Hava Kirliliği ve Sağlık Etkileri, 2020)

2020 yılında salgın tedbirlerinin de etkisiyle İstanbul'da hava kalitesinde iyileşmeler görülmesine rağmen birçok istasyonda Şekil 1.3'te görüldüğü gibi PM₁₀ değeri DSÖ kılavuz değerinin iki katı, Alibeyköy, Esenyurt, Mecidiyeköy ve Sultangazi'de ise üç katı kirlilik görüldüğü tespit edilmiştir (Temiz Hava Hakkı Platformu, Kara Rapor 2021: Hava Kirliliği ve Sağlık Etkileri, 2021).



Şekil 1.3. 2020 yılı istasyon bazlı PM₁₀ değerleri (Temiz Hava Hakkı Platformu, Kara Rapor 2021: Hava Kirliliği ve Sağlık Etkileri, 2021)

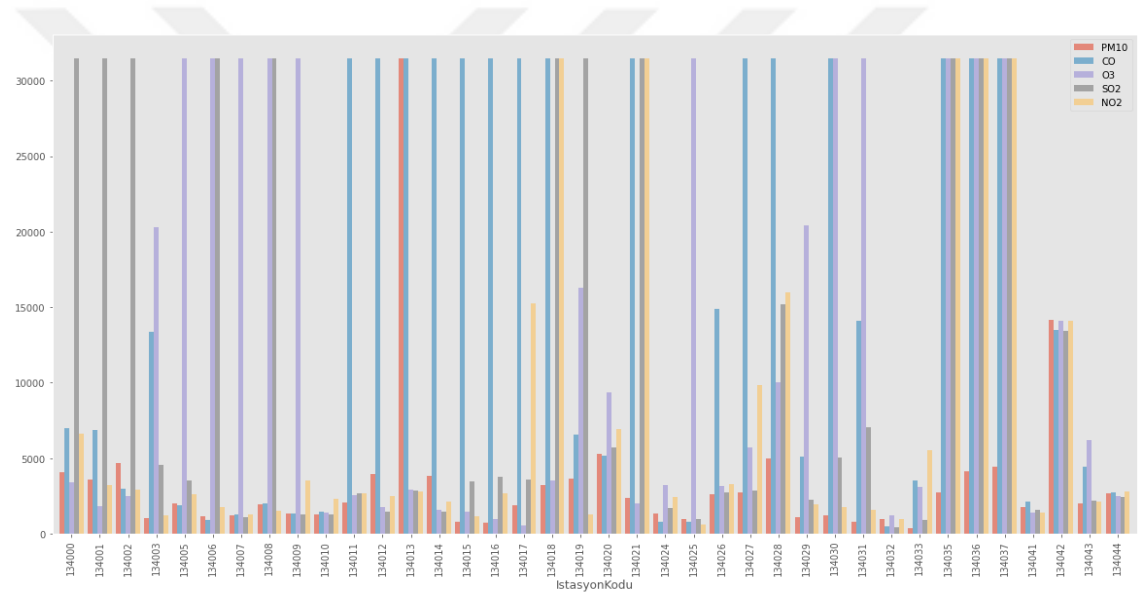
İstanbul hava kalitesi izleme çalışmaları, İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) içerisinde yer alan Çevre Koruma Müdürlüğü bünyesinde yürütülmektedir. Çalışmalar 1995 yılında iki adet mobil Hava Kalitesi Ölçüm İstasyonu (HKÖİ) ile başlatılmış, bu sayı 2018 yılında 23, 2019 yılında 30, günümüzde ise 38 istasyona ulaşmıştır. İstanbul'da yer alan istasyonların harita üzerindeki gösterimine Şekil 1.4'te yer verilmiştir.



Şekil 1.4. İstanbul hava kalitesi ölçüm istasyonları

2021 yılı verilerine göre 15.840.900 nüfusa sahip İstanbul'un 39 ilçesi bulunmaktadır. HKÖİ yer alan ilçe sayısı ise 24'tür. İstanbul'un kilometrekare başına yüksek nüfus oranına sahip ilçelerinden olan Güngören, Gaziosmanpaşa ve Bayrampaşa gibi ilçelerinde HKÖİ bulunmamakta, ölçüm yapılan istasyonlarda da eksik veri oranının yüksek olduğu görülmektedir (Temiz Hava Hakkı Platformu, Kara Rapor 2020: Hava Kirliliği ve Sağlık Etkileri, 2020). Buna ek olarak il genelindeki istasyonların 15'inde CO, 11'inde O₃ ve SO₂, beşinde NO₂ ve birinde PM₁₀ kirleticisi ölçülmemektedir.

Şekil 1.5'te il genelinde yer alan istasyonların İBB tarafından Açık Veri Portalı üzerinden sunulan Hava Kalitesi İstasyon Ölçüm Sonuçları Web Servisi'nden 28.06.2018 ile 28.01.2022 tarihleri arasındaki 31464 gün için eksik veri sayılarına yer verilmektedir.



Şekil 1.5. İstanbul hava kalitesi ölçüm istasyonları eksik veri sayıları

Ölçüm yapılan istasyonlardaki eksik veri miktarının yüksekliği il genelinde hava kalitesi için yapılacak değerlendirmeler için de olumsuz bir durumdur. İl genelindeki istasyonların ortalamasının alınması yüksek kirlilik oranı olan istasyonları maskeleyen yanı sıra bazı ilçelerde ise hiç ölçüm istasyonu bulunmamasından ötürü bu durum il ortalamasının sağlıklı olmamasına yol açacaktır.

Hava kalitesini arttırabilmek amacıyla hava kirliliğinin kontrol altına alınması ve önlenmesi gerekmektedir. Bunu sağlayabilmek amacıyla hava kalitesinin analiz edilebilmesine imkân sağlayacak tahmin modellerin geliştirilmesine ihtiyaç bulunmaktadır.

Gerçekleştirilen tez çalışması kapsamında öncelikle hava kalitesi temelli çalışmalar ve bu çalışmaların kullandığı parametreler incelenerek, hava kalitesine etkisi olabilecek faktörler belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen değişkenleri içeren veri seti oluşturularak mevcut istasyonlar için istasyon bazında ve genel olmak üzere iki farklı hava kalitesi indeksi ve kirletici tahmin modelleri geliştirilmiştir. Son olarak geliştirilen genel hava kalitesi indeksi tahmin modelinde kullanılan değişkenlerin model tahmini üzerindeki katkısı tespit edilmiştir.

1.1. Araştırmanın Önemi

Hava kirliliği özellikle insan sağlığı ve çevre üzerinde tehdit oluşturan dünya çapında etkileri görülen önemli bir problemdir. Hava kirliliğinin oluşmasında doğal kaynaklar ve insan faktöründen kaynaklı ısınma amaçlı yakıt kullanımı, sanayiden yayılan gazlar ve trafikten kaynaklı egzoz gazı gibi çeşitli kaynakların etkisi bulunmaktadır. Hava kalitesinin iyileştirilebilmesi için hava kirliliğinin takip edilerek kontrol altına alınması ve önlenmesi gerekmektedir. Tespit edilemeyen ve ölçülemeyen bir problemin kaynağına ulaşamaz ve problem çözülemez.

İstanbul ilinde yer alan HKÖİ verilerindeki eksik veri oranının yüksekliği hava kalitesinin değerlendirilmesinde alternatif yöntemlerin kullanımını önemli hale getirmektedir. Gerçekleştirilen bu çalışmada ölçüm verisi yetersiz yerlerin hava kalitesinin değerlendirilebilmesi amacıyla uydu verilerinden yararlanılmıştır. Avrupa Birliği'nin Avrupa Komisyonu ve Avrupa Birliği Uzay Ajansı tarafından yönetilen yeryüzü inceleme programı Copernicus'un bir parçası olan Sentinel-5P (Sentinel-5 Precursor) uydusu, hava kalitesi ve iklim değişikliklerinin gözlenebilmesi amacı ile dünya etrafında dönerek yeryüzündeki hava kirlilik oranlarını tespit etmektedir. Çalışmada bu uydunun sağlamış olduğu veriler kullanılarak il genelindeki istasyonların hava kalitesi ve hava kirletici parametrelerinin tahmini yapılmıştır.

1.2. Araştırmanın Amacı

Tezin temel amacı, İstanbul il genelinde yer alan istasyonlarda ölçülen hava kirleticilerinin yoğunluğu ve hava kalitesi indeksinin, büyük veri ve akıllı yöntemler aracılığı ile tahmin edilmesidir. Buna yönelik olarak çalışmada,

- Yer istasyonlarının sınırlı sayıda ve eksik veri oranının yüksek olması nedeniyle uydu verilerinden yararlanılması,

- Kirleticiler (PM_{10} , NO_2 , SO_2 , O_3 , CO) üzerinde literatürde yapılan çalışmalarda etkili olduğu belirlenen (sıcaklık, nem, rüzgâr vb.) meteorolojik ve (araç yoğunluğu vb.) trafiğe ilişkin değişkenler ile ekonomik, sosyal vb. diğer değişkenler aracılığı ile kirletici ve bir hava kalitesi indeksi tahmin modelinin geliştirilmesi,
- Kullanılan değişkenlerin geliştirilen hava kalitesi indeksi tahmin modeli üzerindeki etkisi olup olmadığının tespit edilmesi; etkisi olduğu belirlenen değişkenlerinin etki büyüklüklerinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

1.3. Sınırlılıklar

Bu çalışma İstanbul ili ve 28.06.2018-28.01.2022 tarihleri arasındaki veriler ile sınırlıdır.

2. İLGİLİ LİTERATÜR

Çalışma konusu ile ilgili literatür, hava kalitesine etki eden faktörlerin incelendiği çalışmalar, COVID-19 salgınında hava kalitesindeki değişimlerin incelendiği çalışmalar ve hava kalitesi tahmininde büyük veri kullanılan çalışmalar olmak üzere üç başlık altında incelenmiştir.

2.1. Hava Kalitesine Etki Eden Faktörlerin İncelendiği Çalışmalar

Yüksek (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, hava kirliliği tahmini için yapay sinir ağları, çoklu doğrusal regresyon analizi ve bulanık sinir ağları modelleri kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışmada Sivas ilinin 1990 ve 2004 yıllarına ait hava kirliliği ve meteoroloji verilerine yer verilmiştir. Hava kirliliği parametresi olarak partikül madde ve SO₂, meteorolojik verilerde ise sıcaklık, yağış, rüzgâr, nem, basınç, buhar, bulutluluk, güneşlenme süresi ve şiddeti kullanılmıştır. Çalışmada yerleşim yerleri ve endüstrinin hava kirliliğinin iki temel nedeni olduğu belirtilerek, kış aylarındaki kirliliğin evsel yakıtlara yaz aylarındaki kirliliğin ise endüstriden kaynaklı tozlar ve baca gazları ile trafik araçlarından kaynaklandığı saptamalarında bulunulmuştur (Yüksek, 2007).

Özden vd. (2008) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Eskişehir ilinde kış dönemine ait genel hava kirliliği dağılımı belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan örnekleme noktaları seçiminde trafik yoğunluğu, ısınma şekli, nüfus yoğunluğu ve endüstri faktörleri dikkate alınmıştır. Çalışmada elde edilen bulgular İskenderun ilçesinde yapılan farklı bir çalışmanın sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çalışmalardaki konsantrasyonlar arasındaki farklılıkların trafik, endüstri, meteorolojik etmenlerden kaynaklı olduğu sonucuna varılmıştır (Özden vd., 2008).

Turalioğlu (2011) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, O₃, NO₂ ve SO₂ konsantrasyonlarının mevsimlere göre atmosferdeki değişimleri incelenmiştir. Çalışma Erzurum ilinin 10 farklı noktasında yaz ve kış dönemlerinde sekiz hafta süresince gerçekleştirilmiştir. Çalışmada O₃ kirleticisinin yaz ayında diğer iki kirleticinin ise kış aylarında en yüksek değere ulaştığı, en yüksek O₃ ve en düşük NO₂-SO₂ seviyesinin ise trafik etkisinin az miktarda görüldüğü kırsal alanlarda olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Turalioğlu, 2011).

Kunt (2014) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, meteorolojik etmenler ile hava kirliliği arasındaki ilişkinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Çalışmada günlük SO₂, NO₂ ve O₃ ölçümü ve kurulan meteoroloji istasyonundan toplanan veriler kullanılmıştır. Meteorolojik veri olarak, ortalama sıcaklık, mevsim bilgisi, ortalama hava basıncı, ortalama nem, radyasyon, yağış miktarı, toplam güneşlenme, ortalama rüzgâr hızı ve bulut yüksekliği kullanılmıştır. Veriler Konya il merkezinde bulunan 15 okuldan dört mevsimi temsil edebilmesi amacıyla Mart, Haziran, Ekim ve Ocak aylarında toplanmıştır. Elde edilen meteorolojik veriler istatistiksel olarak değerlendirildikten sonra yapay sinir ağı ve bulanık mantık modelleri ile elde edilen ölçüm sonuçları ve meteorolojik veriler kullanılarak modelleme ve tahmin programı hazırlanmıştır. Çalışmada rüzgâr hızının artmasının atmosferik türbülansı arttırmasından dolayı kirliliği azaltıcı, sıcaklığın düşmesinin ise ısınma kaynaklı yakıt tüketimini arttırmasından dolayı kirliliği arttırıcı yönde etkisi olduğu tespitlerinde bulunulmuştur. Aynı zamanda SO₂ konsantrasyonu yüksek olduğunda sıcaklık ve rüzgâr hızının düşük olduğu belirtilerek yüksek nem ve basınç etkisiyle SO₂ kirliliğinin arttığı sonucuna yer verilmiştir (Kunt, 2014).

Kemeldere (2015) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, SO₂ ve PM₁₀ verileri kullanılarak fosil yakıtlar yerine doğalgaz kullanımının kava kirliliğine etkisi araştırılmıştır. Karabük ilinde 2009 yılında doğalgaz kullanımına geçilmiş ve bir yıl içerisinde il merkezindeki konutların yaklaşık yarısında kömür tüketiminden doğalgaz kullanımına geçiş sağlanmıştır. 2007 ve 2012 yılları arasındaki kirletici verileri karşılaştırılan çalışmada 2012 yılında 2007'ye kıyasla PM₁₀ kirleticisinde yaklaşık %56.4 SO₂ kirleticisinde ise %72.2 oranında azalma meydana geldiği tespit edilmiştir (Kemeldere, 2015).

Alparslan (2017) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Erzurum ilinin hava kalitesine etki eden faktörlerin neler olduğu araştırılmıştır. Çalışmada nüfus, sanayileşme, ısıtma, uçak ve otomobiller, petrol rafinerileri, santraller, biyolojik ve fiziksel etkinlikler, yeşil alanlar ve iklim olayları hava kirliliğinin sebepleri arasında gösterilmiştir. Hava kirleticileri üzerinde etkisi en yüksek meteorolojik parametrenin rüzgâr hızı olduğu saptanarak bu değişkenin kirleticileri azaltıcı etkisi olduğu belirtilmiştir. Çalışma sonucunda ısınma için kullanılan fosil yakıtlar ve egzoz gazlarının ildeki hava kirliliğinin temel kaynakları olduğu sonucuna varılmıştır (Alparslan, 2017).

Odat, Abu-Allaban ve AL-Trawneh (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, meteorolojik faktörlerin hava kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yedi farklı kirletici üzerinde rüzgâr hızı, sıcaklık ve bağıl nem parametrelerinin etkisi incelenen çalışmada bağıl nemin CO ve NO_x ile pozitif yönlü bir ilişkisi bulunurken PM₁₀, SO₂ ve O₃ ile negatif yönlü bir ilişkisi olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada aynı zamanda sıcaklığın O₃ konsantrasyonunda artışa sebebiyet verdiği, sıcaklık ve rüzgâr hızı artışı ile PM₁₀, NO_x ve CO konsantrasyonlarında artış SO₂ konsantrasyonunda ise azalış görüldüğü sonucuna varılmıştır (Odat, Abu-Allaban ve AL-Trawneh, 2018).

Baş (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Giresun ilindeki hava kirliliğinin zamana göre değişimi, kaynakları ve meteorolojik parametrelerle arasındaki ilişki araştırılmıştır. Çalışmada hava kirliliğinin kış aylarında ve okul giriş çıkış saatlerinde yoğunlaştığı, sıcaklığın azalması ve basıncın artmasıyla da kirliliğin arttığı sonucuna varılmıştır (Baş, 2019).

Günel (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, tüm mevsimleri ve ülke genelini kapsayacak bir hava kalitesi tahmin modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modelde PM₁₀ ve SO₂ kirleticilerine ait verilerin yanı sıra rüzgâr hızı ve yönü, sıcaklık, nem ve basınç meteorolojik verileri kullanılmıştır. Kirleticilere ilişkin değişken verileri, lineer ve lineer olmayan sınıflandırıcılar kullanılarak gelecek altı saatlik hava kalitesini üç grupta sınıflandırılmakta kullanılmıştır. Çalışma sonucunda önerilen tahmin modelinin, değişken özelliklere sahip geniş coğrafyalardaki hava kalitesi tahmininde umut verici bir aday olduğu ortaya koyulmuştur (Günel, 2019).

Kırmacı (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, hava kalitesinin analiz edilmesi ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) ve Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı (UHKİA) verileri kullanılmıştır. Veriler 1990 ile 2015 yılları arasında Kahramanmaraş iline aittir. Çalışmada öncelikle havada bulunan kirleticiler arasında yer alan SO₂ ve PM değerleri üzerinden hava kalitesindeki değişimler istatistiksel yöntemler yardımı ile analiz edilmiştir. Daha sonra insan faaliyetlerinden kaynaklı (trafik, sanayi, ısınma) emisyon envanterleri oluşturulmuştur. Son olarak ise yapay sinir ağları metodu ile hava kalitesi ve meteorolojik koşullar arasındaki ilişkiler modellenerek çalışma sonlandırılmıştır. Çalışma sonucunda hava sıcaklığının kirletici düzeyini belirleyen en önemli değişken olduğu tespit edilmiştir (Kırmacı, 2019).

Mutlu (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, hava kirleticilerin meteorolojik koşullar etkisindeki değişimi incelenmiştir. Çalışmada sıcaklık, nem, basınç, rüzgâr hızı meteorolojik verileri ile PM₁₀ ve SO₂ kirleticileri kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre PM₁₀ üzerinde rüzgâr hızı ve sıcaklığın ters yönlü etkisi olduğu, SO₂ üzerinde de benzer şekilde sıcaklığın ters yönde etkili olduğu tespit edilmiştir (Mutlu, 2019).

Aysu, İlgün ve Çobanoğulları (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kamu harcamalarının hava kalitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. 1995-2017 yılları arasında 30 ülkenin verileri incelenen çalışmada kişi başına düşen toplam kamu harcamaları ile CO₂ emisyonu arasında negatif ve anlamlı bir etki olduğu tespitinde bulunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre ekonomik hizmetlere yönelik, eğitim ve sosyal koruma harcamalarının hava kirliliğini azaltıcı etkisi bulunmaktadır (Aysu, İlgün ve Çobanoğulları, 2020).

Oğuz (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, meteorolojik faktörlerin hava kirliliği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada sıcaklığın azalması ile birlikte yakıt tüketiminde artış görülmesi sebebiyle sıcaklık düşüşüyle kirletici konsantrasyonlarında artış görüldüğü, rüzgârın kirliliği dağıtıcı etkisi sebebiyle rüzgâr hızının artmasıyla kirletici konsantrasyonlarında azalma görüldüğü, alçak basınçta çevre bölgelerden hava taşınımı olması sebebiyle basınç değerlerinin düşmesiyle özellikle PM₁₀ konsantrasyonlarında artış görüldüğü tespitlerinde bulunulmuştur. Çalışmada aynı zamanda kirleticiler ve meteorolojik faktörler arasında mevsimlere göre değişen düzeylerde ilişkiler bulunduğu sonucuna varılmıştır (Oğuz, 2020).

Akarsu (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, 1978-2019 yılları arasında Erzurum ilindeki kava kalitesi değişimi incelenmiştir. Çalışmada PM ve SO₂ kirleticilerinin yanı sıra meteorolojik veriler, yakıt türleri ve kullanım miktarları, nüfus ve kentleşme oranı gibi hava kalitesini etkileyebileceği düşünülen veriler kullanılmıştır. Yapılan analizlerde PM ve SO₂ kirleticilerinin meteorolojik parametrelerden sıcaklığa önemli ölçüde bağlı olduğu tespit edilerek her bir derecelik sıcaklık artışı için PM 11.3 µg/m³-gün, SO₂ ise 9 µg/m³ azaldığı belirtilmiştir. Kullanılan yakıt türünün kirleticilerin değişiminde önemli rol oynadığı görülmüştür. Yerli ve kalitesi daha düşük olan kömürün 1995 yılında yasaklanarak ithal ve kalitesi daha yüksek olan kömür kullanımına geçilmesiyle PM 93.5 µg/m³-gün, SO₂ %54 oranında iyileşme göstermiştir. Benzer şekilde doğalgaz kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte 2006 yılı sonrasında PM 52.3

$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{-gün}$, SO_2 ise 2009 yılı sonrasında %90 oranında iyileşme göstermiştir (Akarsu, 2021).

İpek (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Kayseri ilindeki hava kirliliği kaynakları incelenmiştir. 2014-2019 yılları arasında gerçekleştirilen çalışmada PM emisyonunun %97'si (%78'i konut ısınması kaynaklı), SO_2 emisyonunun tamamının (%95'i konut ısınması kaynaklı) kömür kullanımından kaynaklı olduğu, NO_x emisyon miktarının ise %55'inin kömür (%83'ü endüstri kaynaklı) %45'inin doğalgaz kullanımından kaynaklandığı tespitlerine yer verilmiştir. İncelenen yıllarda doğalgaz kullanımının yaygınlaşmasının PM_{10} kirleticisinde azalmaya, NO_2 ve NO_x kirleticilerinde ise artışa sebep olduğu sonucuna varılmıştır (İpek, 2021).

Engin (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kentsel yeşil alanların hava kalitesine etkisi incelenmiştir. Çanakkale il merkezinde gerçekleştirilen çalışmada yeşil alanların karbon tutma ve depolama, oksijen üretimi ve hava kirleticilerini uzaklaştırmadaki katkıları yapılan analizler ile ortaya konularak, hava kalitesini iyileştirme açısından en uygun bitki türleri tespit edilmiştir (Engin, 2022).

2.2. COVID-19 Salgınında Hava Kalitesindeki Değişimlerin İncelendiği Çalışmalar

Baysan ve Yavaş (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, salgın sürecinde uygulanan karantina önlemlerinin 79 farklı ülkedeki PM konsantrasyonu değerlerinde nasıl bir değişim gösterdiği incelenmiştir. Çalışmada ülkelerin 2019 ve 2020 yıllarına ait veriler karşılaştırılmıştır. Salgının dünyada ilk görülmeye başladığı fakat dünya geneline tam olarak yayılmadığı Ocak ayında PM konsantrasyonlarında istatistiksel olarak anlamlı bir azalma tespit edilmezken Şubat-Mayıs ayları arasında anlamlı bir azalma olduğu belirlenmiştir (Baysan ve Yavaş, 2020).

Bilgin ve Toros (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, salgın sürecinde uygulanan karantina önlemlerinin İzmir ilindeki hava kirliliğine etkisi incelenmiştir. Çalışmada şehirdeki 14 istasyonun 2018, 2019 ve 2020 yıllarının ilk altı ayına ait veriler salgın öncesi (1 Ocak-15 Mart), salgın dönemi (16 Mart-31 Mayıs) ve normalleşme dönemi (1-30 Haziran) olmak üzere üç farklı dönemde karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonuçlarına göre PM konsantrasyonlarında genel olarak anlamlı bir azalma tespit edilemezken, salgın döneminde $\text{PM}_{2.5}$ dışındaki tüm kirleticilerde azalma olduğu,

NO₂ dışında bu azalmanın normalleşme sürecinde de devam ettiği sonucuna ulaşılmıştır (Bilgin ve Toros, 2020).

He, Pan ve Tanaka (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, COVID-19 salgını sürecinde uygulanan kısıtlamaların Çin'deki hava kalitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada PM_{2.5} konsantrasyonunda 2019 yılına oranla %25 oranında düşüş görüldüğü tespit edilmiştir. Hava kalitesindeki iyileşmenin özellikle sanayinin gelişmiş, nüfus ve trafik yoğunluğunun fazla olduğu büyük şehirlerde görülmesi bu iyileşmenin fosil yakıt kullanımındaki azalmadan kaynaklanması ile açıklanmıştır (He, Pan ve Tanaka, 2020).

Nakada ve Urban (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Sao Paulo kentinde uygulanan kısıtlamaların hava kalitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada sokağa çıkma yasağının uygulandığı günlerde kirletici konsantrasyonları beş yıllık bir periyodun yanı sıra bir önceki ayın verileri ile karşılaştırılarak hava kalitesinde iyileşme görüldüğü tespit edilmiştir. Çalışmada O₃ dışında incelenen tüm kirleticilerde düşüş, O₃ konsantrasyonunda ise %30'luk bir artış gözlemlendiğine de yer verilmiştir. Bu durum trafik kirliliğinin etkili olduğu büyük şehirlerde NO düşüşü ile açıklanmıştır (Nakada ve Urban, 2020).

Singh ve Chauhan (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, salgın sürecinde Hindistan'da uygulanan sokağa çıkma yasaklarının hava kalitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışma kapsamında hem ülke hem de dünya çapında havası en kirli şehirler arasında olduğu belirtilen Delhi ve Kolkata ile Hyderabad, Mumbai ve Chennai şehirlerinin hem yer istasyonu hem de uydu verileri değerlendirilmiştir. İncelen tüm şehirlerde 2020 yılında bir önceki yıla oranla PM_{2.5}, NO₂ ve HKİ değerlerinde önemli ölçüde iyileşmeler görüldüğü tespit edilmiştir (Singh ve Chauhan, 2020).

Yılmaz ve Şimşek (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, G7 ülkelerindeki COVID-19 vaka sayıları ile hava kalitesi arasındaki ilişki incelenmiştir. Çalışmada hava kalitesinden vaka sayısına doğru bir nedensellik ilişkisi Amerika, Almanya ve Japonya'da tespit edilirken, İngiltere, Fransa, İtalya ve Kanada'da nedensellik ilişkisi olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum ülkelerin gelişmişlik düzeyleri ve sanayileşme oranlarındaki farklılığın yanı sıra bu ülkelerin çevresel sözleşmelere karşı olan olumsuz tavırları ile açıklanmıştır (Yılmaz ve Şimşek, 2020).

Yurtsever (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, COVID-19 salgınının çevre üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada salgın sürecinde uygulanan kısıtlamaların enerji kullanımı, hava kirletici konsantrasyonları ve atık karakteristiğinde farklılaşmaya sebebiyet verdiği tespiti yapılmıştır. İncelenen ülke örneklerinde insan hareketliliğinin kısıtlanması, karayolu trafiğinin ve ekonomik faaliyetlerin azalmasının CO konsantrasyonlarında önemli oranlarda, NO₂ konsantrasyonlarında ise endüstriyel ve dizel araçlar sebebiyle daha düşük oranda bir azalmaya, O₃ konsantrasyonlarında ise artışa neden olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Yurtsever, 2020).

Aljahdali, Alhassan ve Albeladi (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, COVID-19 salgın sürecinde uygulanan kısıtlamaların Suudi Arabistan'daki hava kalitesine etkisini incelenmiştir. Çalışmada dokuz farklı şehrin Ocak 2019 ile Mayıs 2020 arasındaki verileri karşılaştırılarak karantina sürecinde kirletici konsantrasyonlarda iyileşmeler görülmesine rağmen kirletici konsantrasyonlarının DSÖ limit değerlerinin üzerinde olduğu tespiti yapılmıştır (Aljahdali, Alhassan ve Albeladi, 2021).

Aykaç vd. (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, COVID-19 salgın sürecinde uygulanan kısıtlamaların İstanbul ilindeki hava kalitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada trafikten kaynaklanan PM₁₀, NO₂ ve NO_x kirleticilerinin bir yıl içerisinde %75 ve üzeri ölçüm verisi olan dokuz istasyonun 2016-2020 arasındaki verileri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda incelenen bazı tarihlerde tüm kirleticilerde (23-26 Nisan, 1-3 Mayıs, 23-26 Mayıs) düşüş görülürken bazı tarihlerde (11-12 Nisan, 18-19 Nisan) PM₁₀ kirleticisinde yükseliş olduğu ve incelenen istasyonların tamamında tüm kirleticiler için DSÖ sınır değerlerinin aşıldığı tespit edilmiştir. Çalışmada Nisan ayında kısıtlamalar sebebiyle evlerde kullanılan yakıt tüketiminin artması, mayıs ayında ise sıcaklık artışı ile birlikte yakıt kullanımının azalmasının bu duruma sebebiyet vermiş olabileceği görüşüne yer verilmiştir (Aykaç vd., 2021).

Azgın vd. (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, COVID-19 salgın sürecinde alınan karantina önlemlerinin Kayseri ilinin hava kalitesinde meydana getirdiği değişimler incelenmiştir. Çalışmada, salgın sürecinde hem il merkezinde hem de sanayi bölgesinde PM₁₀, SO₂ konsantrasyonlarında %9 ile %40 arasında değişen oranlarda azalma görüldüğü, doğalgaz tüketiminde %16 oranında bir düşüş yaşandığı, araç trafiğinden kaynaklanan CO₂ emisyonunda ise 5.5 kat azalış görülerek bir milyon ton

CO₂'nin atmosfere salınımının engellendiği sonucuna ulaşılmıştır (Azgın, Kekeçoğlu ve Yamaç, 2021).

Chen vd. (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, salgın sürecinde özel araçlarda uygulanan farklı trafik kısıtlamalarının hava kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada uygulanan kısıtlamaların hava kirliliğini önemli ölçüde azalttığını fakat görülen azalmanın şehirlerin ekonomik gelişmişlik düzeylerine göre değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda hava kalitesinde görülen en iyi iyileşmenin yerel yakıt kullanan araçlara uygulanan kısıtlamalar ile plakanın son hanesine göre trafiğe çıkılması kısıtlamalarında görüldüğü sonucuna varılmıştır (Chen vd., 2021).

Girdhar vd. (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, farklı ülkelerdeki hava kirliliğinin salgından nasıl etkilendiği araştırılmıştır. Bu amaçla çalışmada dünya üzerindeki bazı büyük şehirlerin salgın süreci ve öncesindeki atmosferik görüş mesafeleri, uydu görüntüleri ve kirletici konsantrasyonları karşılaştırılmıştır. Salgın tedbirleri ile kara ve hava trafiğindeki kısıtlamalar, azalan insan ve sanayi faaliyetleri sonucunda hava kalitesinde %30'a varan oranlarda önemli iyileşmelerin görülmesine rağmen hava kirliliğinin tamamen ortadan kalkmadığı, ozon seviyesinin %36'ya kadar yükselmeler görüldüğü ve karantina önlemleri hafifledikçe hava kirliliği seviyesinin salgın öncesi rakamlara geri döndüğü sonucuna ulaşılmıştır (Girdhar vd., 2021).

Rana, Keramat ve Gow (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, salgın döneminde uygulanan kısıtlamaların hava kalitesi üzerine etkisi hakkında Çin'de gerçekleştirilen çalışmalar incelenmiştir. İncelenen çalışmalarda en sık kullanılan kirleticilerin NO₂ ve PM_{2.5}, uygulanan kısıtlamalar ile en fazla düşüş gösteren kirleticinin ise trafik kaynaklı NO₂ olduğu tespit edilmiştir. Kirletici konsantrasyonlarındaki düşüşlerin meteorolojik etkiler, mevsim ve bölgeye göre değişiklik gösterdiği saptamasında bulunularak, yüksek nüfus oranına sahip, sanayinin gelişmiş olduğu kentsel bölgelerde kırsal alanlara oranla hava kalitesinde daha yüksek bir iyileşme görüldüğü sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmada aynı zamanda görülen iyileşmelere rağmen kirletici konsantrasyonlarının birçok bölgede DSÖ sınırlarının üzerinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Rana, Keramat ve Gow, 2021).

Rudke vd. (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, salgın döneminde uygulanan hareketlilik kısıtlamalarının hava kalitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada Brezilya'nın en büyük kenti olan Sao Paulo ve komşularındaki 50 yer istasyonu verisi ile yağış, yangın ve günlük mobil verileri ek bilgi olarak kullanılmıştır. Çalışmada araç trafiğinin etkisinde olan birkaç istasyonda CO ve NO_x konsantrasyonlarında düşüş görülmesine rağmen O₃ konsantrasyonunda artış görülmüştür. Çalışmada aynı zamanda sanayi bölgesinde bulunan istasyonlarda 2019 yılına kıyasla kirletici konsantrasyonlarında tespit edilen artışa, salgın ile birlikte bazı endüstrilerin faaliyetlerinde görülen talep artışının neden olmuş olabileceği belirtilmiştir. Yapılan analizler sonucunda kirleticilerin çoğunda 2019 yılına kıyasla önemli bir iyileşme olmadığı, bu durumun kısıtlamaların uygulandığı dönemdeki yağış miktarı ve orman yangınlarının çalışma alanı üzerinde etkili olabileceği ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir (Rudke vd., 2021).

Toksoy ve Atalay (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kısıtlamaların uygulandığı dönemlerde ulaşım kaynaklı sera gazı emisyonları ile trafik verileri arasındaki ilişki incelenmiştir. Çalışmada 2020 yılının Mart ile Haziran ayına ait veriler ile 2019 yılı karşılaştırılmıştır. Hava kirleticileri ile trafik indeksi değerleri arasındaki ilişki regresyon analizi yöntemi ile belirlenerek CO, NO ve NO_x ile maksimum PM_{2.5} ile minimum ilişki olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada salgın döneminde hem trafik indeksi hem de hava kirletici konsantrasyonlarında bir önceki yıla oranla düşüş görüldüğü sonucuna ulaşılmıştır (Toksoy ve Atalay, 2021).

Topuz ve Karabulut (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, salgın sürecinde uygulanan tedbirlerin Doğu Akdeniz bölgesinin hava kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada bölge genelindeki dokuz istasyonun 1 Ocak-1 Haziran arasındaki verileri karşılaştırılmıştır. Yapılan istatistiksel karşılaştırmalar sonucunda tüm kirletici konsantrasyonlarında düşüş görüldüğü hatta bazı istasyonlarda sıfırlanmalar olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada aynı zamanda hava kalitesinde görülen bu iyileşmelerin sadece sokağa çıkma yasağının uygulandığı günlerle sınırlı olduğu, kısıtlamaların bittiği günlerde yeniden yükselme görüldüğüne yer verilmiştir. Çalışmada NO_x, SO₂ ve PM₁₀ görülen düşüşlerin bu kirleticilerin trafikten kaynaklanması ile açıklanmıştır (Topuz ve Karabulut, 2021).

Aydın ve Yetişkul (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, salgın sürecinde uygulanan sokağa çıkma yasaklarının hava kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada il genelindeki sekiz istasyonun 2020 yılında sokağa çıkma yasaklarının uygulandığı sekiz güne ait verileri 2018 ve 2019 yılları ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalarda beş istasyonun verisinde (Alsancak, Bayraklı, Çiğli, Gaziemir ve Karşıyaka) anlamlı bir fark bulunmasına rağmen üç istasyonun verisinde (Bornova, Güzelyalı ve Şirinyer) anlamlı bir fark tespit edilememiştir. Elde edilen bu sonuç istasyonların konumlarından kaynaklanan meteorolojik etkenlerin, nüfus ve trafik yoğunluğunun farklı olması ile açıklanmıştır (Aydın ve Yetişkul, 2021).

Tao vd. (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, COVID-19 salgın sürecinde sanayide uygulanan kısıtlamaların hava kalitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada Pekin’de yer alan 24 hava kalitesi istasyonunun 2019 ve 2020 yıllarının Ocak ve Nisan ayları arasındaki günlük verileri kullanılmıştır. Çalışmada ikincil endüstrinin (secondary industry) hava kalitesi üzerindeki etkisinin üçüncül endüstriden (tertiary industry) 10 kat daha yüksek olduğu tespitinde bulunulmuştur. $PM_{2.5}$, NO_2 ve CO kirleticilerinin hem ikincil hem de üçüncül endüstriden etkilendiği, ikincil endüstriden en çok etkilenen kirleticinin ise $PM_{2.5}$ olduğu belirtilmiştir. Çalışmada kısıtlamaların uygulandığı süreçte diğer kirleticilerde azalma görülmesine rağmen O_3 konsantrasyonunda artış görüldüğü bunun da $PM_{2.5}$ azalışından kaynaklandığı öngörülmektedir (Tao vd., 2022).

2.3. Hava Kalitesi Tahmininde Büyük Veri Kullanılan Çalışmalar

Zheng vd. (2015) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, ölçüm istasyonundan alınan verilere göre gelecek 48 saat için veri odaklı bir yöntem ile hava tahmini yapılmıştır. Çalışmada birkaç yüz kilometre içerisindeki mevcut meteorolojik veriler, hava tahminleri ve hava kalitesi verileri kullanılmıştır. Çalışma kapsamında geliştirilen tahmin modeli dört ana bileşenden meydana gelmektedir. Bu bileşenler, hava kalitesinin yerel faktörleri modellemek için lineer regresyon tabanlı bir geçici tahminleyici, global faktörleri modellemek için yapay sinir ağları bazlı bir mekânsal tahminleyici, meteorolojik verilere göre mekânsal ve zamansal tahminleyicilerin tahminlerini birleştiren dinamik bir toplayıcı ve hava kalitesindeki ani değişiklikleri yakalayabilmek için bir bükülme (inflection) tahminleyicisidir. Çalışmada kullanılan veriler Çin’deki 43 farklı şehirden elde edilmiştir. Çalışma kapsamında Çin’in dört büyük şehrindeki 48

saatlik ince taneli (finegrained) hava kalitesi tahmini gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda geliştirilen modelin genelleştirilebilir olduğu ve küresel çapta tüm şehirler için uygulanabilir olduğu ortaya konulmuştur (Zheng vd., 2015).

Apte vd. (2017) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, büyük veri kullanımı ile yüksek çözünürlüklü hava kirliliği haritalaması yapılmıştır. Çalışmada kullanılan veriler araçlara (Google Street View Cars) yerleştirilen hava kalitesini ölçen dedektörler aracılığı ile elde edilmiştir. Araçlarda yer alan bu sensörler sokaktaki havayı içerisine çekerek araçta yer alan hava kirliliği inceleme ekipmanına aktararak havadaki gazların ve partiküllerin oranlarını ölçmektedir. Çalışma sonucunda araç verileri incelendiğinde sokağın karakteristiğinden kaynaklanan (fabrika bulunması, evre yoluna yakınlık gibi) bazı sokakların bir ucu ile diğer ucu arasında ciddi hava kirliliği farklılıkları saptandığı ortaya koyulmuştur (Apte vd., 2017).

Bu alışma sadece bulunduğu çevrenin hava kalitesini ölçebilen sabit istasyon verilerini kullanan literatürdeki diğer çalışmalara alternatif bir yaklaşımla tüm şehri kapsayan mobil ölçüm verilerini kullanması açısından diğer çalışmalardan ayrılmaktadır. Çalışmada bölgelerin hava kalitesinin tespit edilebilmesi için bir yıl içerisinde bir sokaktan 20 kez geçilmesinin o sokağın genel hava kalitesini belirlemede yeterli olduğu belirtilmiştir. Çalışmada kullanılan mobil hava kalitesi ölçüm cihazları belediye otobüsleri, dolmuşlar ya da ticari taksilere de yerleştirilerek şehirlerdeki sokaklara ait kirlilik verileri elde edilebilir. Mobil lm cihazlarının yaygınlaştırılması ile hava kalitesi ölçümü için yüksek maliyetli istasyon kurulumundan daha kolay ve ucuz bir çözüm sağlanabileceği için bu çalışmada önerilen sistemin değerlendirilmesi önem arz etmektedir.

Kök, şimşek ve zdemir (2017) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, nesnelerin interneti tabanlı akıllı şehir büyük verisi ile hava kalitesi tahmini için bir model önerilmiştir. Çalışmada City Pulse EU FP7 Projesi hava kirliliği veri seti kullanılmıştır. Kullanılan veri seti içerisinde ozon, partikül madde, karbon monoksit, kükürt dioksit, azot dioksit, boylam, enlem ve zaman damgası değişkenleri yer almaktadır. Çalışmada hava kalitesinin tahmini için uzun kısa süreli bellek (Long Short Term Memory-LSTM) kullanılmıştır. Çalışma sonucunda önerilen tahmin modelinin nesnelerin interneti verileri için etkili ve umut verici olduğu ortaya koyulmuştur (Kök, şimşek ve zdemir, 2017).

Chen vd. (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, büyük veri kullanımı ile hava kalitesini etkileyen faktörlerin tespiti ve kentlerde hava kirliliğini tespit eden bir araç yardımı ile erken uyarı sistemi geliştirilmiştir. Çalışmada Çin'in 16 büyük şehrinden elde edilen büyük veri kullanılmıştır. Elde edilen veriler kapsamında 22 adet potansiyel kirletici faktörü belirlenmiştir. Hava kalitesi istikrarının mutlak hava kalitesi ile ilişkili olduğu saptanmıştır. Çalışmada en etkili kirletici faktörlerin $PM_{2.5}$, PM_{10} ve SO_2 olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda makine öğrenmesi yönteminin hava kalitesi tahmininde ve erken uyarı sistemi oluşturulmasında kullanışlı bir yöntem olduğu ortaya konulmuştur (Chen vd., 2018).

Kang vd. (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, hava kalitesi tahmini için kullanılan büyük veri ve makine öğrenmesi tekniklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla farklı coğrafi bölgeler üzerinde farklı yöntemlerle gerçekleştiren literatürdeki çalışmalar incelenmiştir. Çalışmada hava kalitesi tahmini için kullanılan yöntemlerin verileri toplama ve değerlendirmedeki değişikliklerle birlikte zaman içerisinde değiştiği belirtilmektedir. Geleneksel yaklaşımın matematiksel ve istatistiksel tekniklerin kullanımı, güncel yaklaşımın ise büyük veri ve makine öğrenmesine dayalı yöntemler olduğu tespitine yer verilmiştir. Çalışmada aynı zamanda hava kalitesi değerlendirmesi için kullanılan kriterlere ve hava kalitesi standartlarına yer verilmiştir. Çalışma sorunlar, zorluklar ve gereksinimlerin ortaya koyulması ile tamamlanmıştır (Kang vd., 2018).

Le, Bui ve Cha (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, büyük veriye dayalı çok ölçütlü bir karar verme modeli kullanılarak hava kalitesinin geliştirilmiştir. Çalışmada Kore'nin Daegu şehrinde çalışan taksilere yerleştirilen gerçek zamanlı hava kalitesi izleme sensörlerinden elde edilen veriler kullanılmıştır. Veriler hem mekânsal hem de zamansal olarak bir dakika aralıkla toplanmıştır. Çalışmada zaman-mekânsal veriler için Evrişimsel Sinir Ağları (Convolutional Neural Network-CNN) yöntemi, zamansal veriler için LSTM ve sinir ağları yöntemi kombinasyonu kullanılmıştır. Çalışma sonucunda önerilen modelin basit bir mimari ile iyi bir tahmin yeteneği olduğu ortaya konuşmuştur (Le, Bui ve Cha, 2018).

Zheng, Liu ve Hsieh (2013) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, büyük veri kullanımı ile hava kalitesi tahmini yapılmıştır. Çalışmada büyük veri kapsamında Pekin ve Şangay'daki mevcut izleme istasyonlarından elde edilen hava kalitesi verileri ve şehirdeki çeşitli veri kaynaklarından elde edilen meteoroloji, trafik akışı, insan

faaliyetleri, karayolu ağı yapısı ve ihtiyaç noktalarının (Point of Interests-POI) konum bilgileri gibi veriler yer almıştır. Benzin istasyonları, fabrikalar, spor alanları, parklar, alışveriş merkezleri ve süpermarketler gibi veriler POI olarak kullanılmıştır. Çalışmada iki ayrı sınıflandırıcıdan oluşan yarı denetimli bir öğrenme yaklaşımı önerilmektedir. Sınıflandırıcılardan biri, farklı konumlardaki hava kaliteleri arasındaki mekânsal korelasyonu modellemek için girdi olarak mekânsal ilişki özelliklerini (POI'lerin yoğunluğu, karayollarının uzunluğu gibi) alan yapay bir sinir ağına dayanan bir mekânsal sınıflandırıcıdır. Diğeri ise, bir konumdaki hava kalitesinin zamansal bağımlılığını modellemek için geçici ilişki özelliklerini (trafik ve meteoroloji gibi) içeren doğrusal zincir şartlı rasgele alana (linear-chain conditional random field-CRF) dayanan bir zamansal sınıflandırıcıdır. Çalışma sonucunda, önerilen metodun diğer modellerden daha avantajlı olduğu ortaya konulmuştur (Zheng, Liu ve Hsieh, 2013).

Ghaemi, Alimohammadi ve Farnaghi (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, LaSVM tabanlı online bir algoritma ile hava kirliliği tahmini yapılmıştır. Çalışmada coğrafi parametrelerle birlikte kirletici konsantrasyonu ve meteorolojik veriler kullanılmıştır. Çalışma sonucunda hava kalite indeksi sisteminin performansı geleneksel algoritma sonuçları ile kıyaslanarak önerilen modelin zamansal ve mekânsal hava kirliliği tahmininde kullanılmasının yararları ortaya konulmuştur (Ghaemi, Alimohammadi ve Farnaghi, 2018).

Wang ve Yang (2020), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, büyük veri kullanımında tahmin doğruluğunu arttırmak amacıyla dağıtık bir yapay sinir ağı modeli geliştirilmiştir. Çalışmada HKİ üzerinde etkisi olduğu öngörülen altı kirleticinin verisi yapay sinir ağının girdisi olarak kullanılmıştır. Geliştirilen modelin büyük veri kullanımı ve yapay sinir ağlarının öğrenme özelliği sayesinde hava kalitesindeki gelişimleri ortaya çıkarabilecek bir potansiyele ve yüksek doğruluğa sahip olduğu belirtilmiştir (Wang ve Yang, 2020).

2.4. Literatür Değerlendirme

Ülkemiz ve dünyada her dönemde önem atfedilen bir sorun olarak görülen hava kirliliği konusunda yapılan çalışmaların içerisinde bulunduğumuz dönemde yaşanan COVID-19 salgını ile birlikte farklı boyutlarda ele alınma gerekliliği ortaya çıkmıştır. Salgın sürecinde uygulanan kısıtlamalardan kaynaklanan insan faaliyetlerinin önemli ölçüde azalması sonucunda hava kalitesinde yaşanan değişimler, hava kalitesine etki eden

faktörlerin belirlenebilmesi açısından oldukça önemli bir fırsat oluşturmaktadır. Literatürde incelenen bazı çalışmalarda salgın sürecinde uygulanan kısıtlamaların hava kalitesini olumlu yönde etkilediği, bazı çalışmalarda ise kısıtlama uygulanan günlerde bile kirleticilerin sınır değerlerin üzerinde olduğu tespitlerinde bulunulmuştur. Hava kalitesinin olumlu yönde etkilendiği ortaya konulan çalışmalarda aynı zamanda bu etkinin kısıtlamaların sona ermesiyle birlikte etkisini yitirerek kalıcılık göstermediği sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum da hava kalitesinde kalıcı bir iyileşme sağlayabilmek için hava kalitesine etki eden faktörlerin belirlenmesini önemli hale getirmektedir. Literatürde hava kalitesinin tahminine yönelik çalışmalarda hava kalitesi üzerinde etkili olduğu düşünülen meteoroloji, trafik, yakıt tüketimi gibi farklı verilere yer verilmesine rağmen bu verilerin model başarımındaki etkisinin tespit edilmesi noktasında eksik kalındığı görülmüştür.

Günümüzde hava kalitesinin değerlendirilmesinde HKÖİ yanı sıra uydu verilerinden de faydalanılmaya başlanmıştır. Literatürde bu kapsamda yapılan çalışmalar incelendiğinde oluşturulan tahmin modellerinde genellikle HKÖİ verileri kullanılmasının yanı sıra model tahminlerinin kirletici ve istasyon bazında kalarak bölgesel bazda hava kalitesine etki eden tüm kirleticiler ve hava kalitesi için genel bir tahmin modelinin oluşturulmadığı görülmüştür. Bölgesel bazda genel bir model oluşturulmasının, eksik veri oranı yüksek ya da hiç ölçülmeyen kirleticilerin değerlendirilebilmesine imkân sağlaması açısından oldukça önemli olduğu düşünülmektedir.

Hava kalitesi tahminini büyük veri kullanımı ile gerçekleştiren bu çalışmanın ana katkıları aşağıda özetlenmiştir:

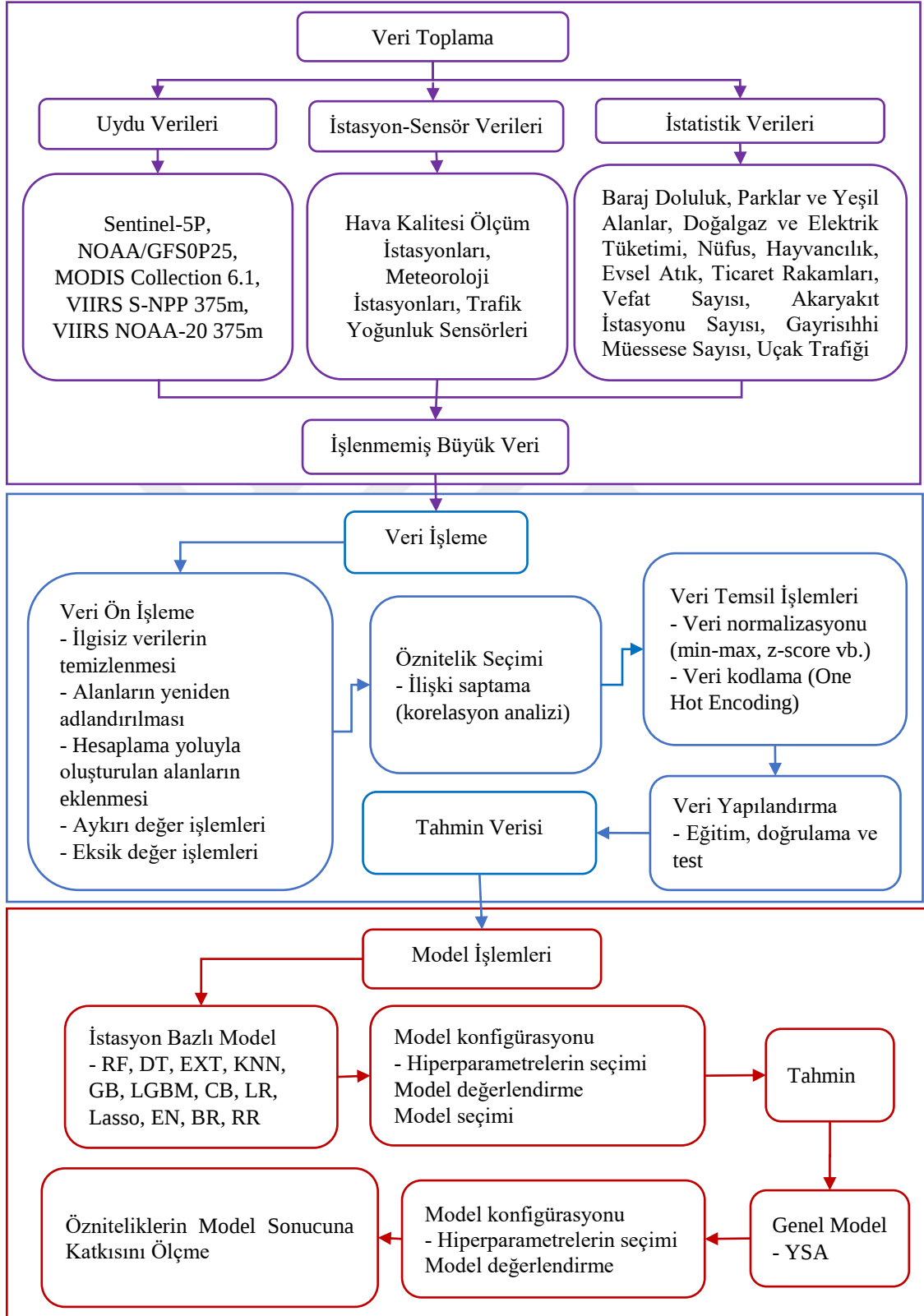
- Literatürde incelenen hava kalitesi tahmin çalışmalarında aynı türdeki verilerden oluşan kısıtlı sayıdaki değişken ile hava kalitesinin tahmin edildiği görülmüştür. Bu çalışmada farklı veri türleri birleştirilerek büyük veri kullanımı ile hava kalitesi analizi ve tahmini gerçekleştirilmiştir. Hava kirleticileri, meteoroloji, trafik gibi uydu ve sensör verileriyle nüfus verileri gibi sosyo-ekonomik verilerin birleştirilmesi hava kalitesi analiz ve değerlendirmesi için yeni bir bakış açısı sağlamış, uydudan alınan veriler ile HKÖİ verileri arasında bağlantı kurulmuştur.
- Literatürde incelenen hava kalitesi tahmin çalışmalarında, çalışma kapsamında belirlenen gösterge kirletici için tahmin modeli geliştirilerek bu kirletici üzerinden hava kalitesinin değerlendirildiği görülmüştür. Bu çalışmada HKİ

hesaplamasında yer alan beş temel hava kirleticisi (PM_{10} , SO_2 , NO_2 , CO , O_3) ve HKİ için tahmin modeli geliştirilerek hava kalitesi değerlendirmesi yapılmıştır.

- Literatürde incelenen çalışmalarda eksik verilerin genellikle ortalama değer ya da bir önceki ya da bir sonraki veri ile doldurulduğu görülmüştür. Bu çalışmada HKÖİ verileri içerisinde yer alan kirleticilerdeki eksik veri oranındaki yükseklik sebebiyle bu veriler geliştirilen istasyon bazlı tahmin modeli ile doldurulmuştur.
- Bu çalışmada hiperparametrelerin seçimi için otomatik makine öğrenimi (AutoML Automated machine learning-AutoML) yöntemleri kullanılmıştır. Hiperparametrelerin seçiminde AutoML yöntemlerinin kullanılması model başarımında insan kaynaklı hataların en aza indirgenebilmesini sağlamıştır.
- Literatürde incelenen çalışmalarda eksik veri oranı yüksek olan ya da ölçülmeyen kirletici barındıran istasyonların model başarımının yükseltilmesi amacıyla kapsam dışı tutulduğu görülmüştür. Bu çalışmada il genelindeki tüm HKÖİ için tahmin yapılmıştır.
- Literatürde incelenen hava kalitesi tahmin çalışmalarında makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleri sıkça tercih edilmesine rağmen bu modellerde kullanılan özniteliklerin model sonucuna olan katkısının ortaya konulmadığı görülmüştür. Bu çalışmada geliştirilen genel hava kalitesi tahmin modelinde kullanılan özniteliklerin model çıktısına olan katkısı hesaplanarak parametrelerin model üzerindeki etkisi belirlenmiştir.

3. YÖNTEM VE MATERYAL

Çalışmada Şekil 3.1’de yer verilen adımlar izlenmiştir.



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan yöntem

Tablo 3.1. *İstanbul genelindeki hava kalitesi ölçüm istasyonları*

Kod	Ölçülen Kirlenimler	İsim	İlçe	Kuruluş	Tip
134032	PM ₁₀ -CO-O ₃ -NO ₂ -SO ₂	Aksaray	Fatih	01.01.1998	Trafik
134026	PM ₁₀ -CO-O ₃ -NO ₂ -SO ₂	Alibeykoy	Eyüp	01.01.1998	Kentsel
134043	PM ₁₀ -CO-O ₃ -NO ₂ -SO ₂	Arnavutkoy	Arnavutköy	01.02.2018	Kırsal
134003	PM ₁₀ -CO-O ₃ -NO ₂ -SO ₂	Avcılar	Avcılar	01.04.2016	Şehir-Arkaplan
134041	PM ₁₀ -CO-O ₃ -NO ₂ -SO ₂	Bagcılar	Bağcılar	01.02.2018	Kentsel
134010	PM ₁₀ -CO-O ₃ -NO ₂ -SO ₂	Basaksehir	Başakşehir	01.03.2013	Sanayi-Kentsel
134024	PM ₁₀ -CO-O ₃ -NO ₂ -SO ₂	Besiktas	Beşiktaş	01.01.1998	Trafik
134021	PM ₁₀ -O ₃	Buyukada	Adalar	01.10.2013	Arkaplan
134002	PM ₁₀ -CO-O ₃ -NO ₂	Catladikapi	Fatih	01.12.2015	Trafik
134031	PM ₁₀ -CO-NO ₂ -SO ₂	Esenler	Esenler	01.01.1998	Kentsel
134011	PM ₁₀ -O ₃ -NO ₂ -SO ₂	Esenyurt	Esenyurt	01.03.2013	Kentsel
134019	PM ₁₀ -CO-O ₃ -NO ₂	Goztepe	Kadıköy	01.05.2014	Trafik
134033	PM ₁₀ -CO-O ₃ -NO ₂ -SO ₂	Kadikoy	Kadıköy	01.01.1998	Kentsel
134020	PM ₁₀ -CO-O ₃ -NO ₂ -SO ₂	Kagithane1	Kağıthane	01.06.2014	Kentsel-Trafik
134013	O ₃ -NO ₂ -SO ₂	Kagithane2	Kağıthane	01.03.2013	Kentsel
134018	PM ₁₀ -O ₃	Kandilli1	Üsküdar	01.02.2015	Şehir-Arkaplan
134005	PM ₁₀ -CO-NO ₂ -SO ₂	Kandilli2	Üsküdar	01.03.2013	Deniz-Trafik
134029	PM ₁₀ -CO-O ₃ -NO ₂ -SO ₂	Kartal	Kartal	01.01.1998	Kentsel
134000	PM ₁₀ -CO-O ₃ -NO ₂	Kumkoy	Sarıyer	01.04.2016	Arkaplan
134017	PM ₁₀ -O ₃ -NO ₂ -SO ₂	Maslak	Sarıyer	01.04.2016	Şehir-Arkaplan
134008	PM ₁₀ -CO-NO ₂	Mecidiyekoy	Şişli	01.03.2013	Trafik
134042	PM ₁₀ -CO-O ₃ -NO ₂ -SO ₂	Sancaktepe	Sancaktepe	01.08.2018	Kentsel
134028	PM ₁₀ -O ₃ -NO ₂ -SO ₂	Sariyer	Sarıyer	01.01.1998	Kentsel
134001	PM ₁₀ -CO-O ₃ -NO ₂	Selimiye	Üsküdar	01.12.2015	Trafik
134016	PM ₁₀ -O ₃ -NO ₂ -SO ₂	Sile	Şile	01.03.2013	Arkaplan
134015	PM ₁₀ -O ₃ -NO ₂ -SO ₂	Silivri	Silivri	01.03.2013	Kentsel
134007	PM ₁₀ -CO-NO ₂ -SO ₂	Sirinevler	Bahçelievler	01.03.2013	Trafik
134012	PM ₁₀ -O ₃ -NO ₂ -SO ₂	Sultanbeyli	Sultanbeyli	01.03.2013	Kentsel
134037	PM ₁₀	Sultangazi1	Sultangazi	01.04.2017	Taş Ocakları
134036	PM ₁₀	Sultangazi2	Sultangazi	06.04.2017	Kentsel-Trafik
134035	PM ₁₀	Sultangazi3	Sultangazi	06.04.2017	Taş Ocakları
134014	PM ₁₀ -O ₃ -NO ₂ -SO ₂	Sultangazi4	Sultangazi	01.03.2013	Kentsel-Trafik
134044	PM ₁₀ -CO-O ₃ -NO ₂ -SO ₂	Tuzla	Tuzla	01.02.2018	Kentsel
134027	PM ₁₀ -O ₃ -NO ₂ -SO ₂	Umraniye1	Umraniye	01.01.1998	Şehir-Arkaplan
134009	PM ₁₀ -CO-NO ₂ -SO ₂	Umraniye2	Umraniye	01.03.2013	Trafik
134030	PM ₁₀ -NO ₂ -SO ₂	Uskudar1	Üsküdar	01.01.1998	Kentsel-Trafik
134006	PM ₁₀ -CO-NO ₂	Uskudar2	Üsküdar	01.03.2013	Trafik
134025	PM ₁₀ -CO-NO ₂ -SO ₂	Yenibosna	Bahçelievler	01.01.1998	Kentsel

Çalışmada büyük veri kullanılmıştır. Bilişim teknolojilerinin gösterdiği hızlı değişim ve gelişim sonucu yeni veri setlerinin, analiz metotlarının ve depolama mimarilerinin ortaya çıkışı veri karakteristiğinde değişimlere sebebiyet vermektedir.

Uydu teknolojilerinin farklı alanlarda kullanılmaya başlanması, ucuzlayan sensör teknolojileri ile birlikte nesnelerin internetinin yaygınlaşması ve diğer teknolojik gelişmelerle birlikte veri çeşitliliği ve hacmi gün geçtikçe artış göstermektedir. Söz konusu bu gelişmeler kullanım alanı günümüzde gittikçe genişleyen büyük veri kavramını ön plana çıkarmaktadır.

Büyük veri, farklı ortamlardan elde edilen verilerin anlamlı ve işlenebilir hale getirilmiş formudur (Aydoğan, 2019). Veri hacminin yüksekliği (Volume), verinin oluşturulma ve güncellenme hızının yüksekliği (Velocity), üretilen kaynakların çeşitliliği (Variety), verilerin doğruluğu (Veracity) ve verilerin potansiyel değerinin yüksekliği (Value) büyük verinin özellikleridir (Li, Chen ve Shang, 2022).

Veri hacminin yüksekliği, verinin boyutuna ilişkin bir özelliktir. Veri üreten kaynak sayısı Uluslararası Veri Birliği (International Data Corporation) istatistiklerine göre 44 farklı başlık altında incelenmektedir (Yıldırım, 2021). Tahmin modellerinde kullanılan veriler uydu, yer ölçüm istasyonu, sensör gibi cihazlardan elde edilebileceği gibi sosyal medya ya da web üzerinden kullanıcılar tarafından üretilen verilerden ya da sağlık, borsa, e-ticaret ve web arama kayıtları gibi çeşitli alanlardaki kayıt verilerinden meydana gelebilmektedir. Yer istasyonlarından elde edilen verilerin boyutu genellikle megabayt ya da gigabayt seviyesinde olurken uydudan elde edilen verilerin boyutu ise genellikle en az terabayt seviyesinde olmaktadır.

Verinin oluşturulma ve güncellenme hızının yüksekliği, veri ambarlarında duran ve sadece geçmişe yönelik içerik sunan statik verinin aksine gerçek zamanlı olarak yeni verilerin akışına ilişkin bir özelliktir. Saatlik ya da günlük veri sağlayan sensör ve uydu verilerinin yanı sıra mobil uygulama ve sosyal medya platformlarında anlık üretilen veri miktarının yüksekliği bu duruma örnek oluşturmaktadır (Aytaç, 2021).

Veri üretilen kaynakların çeşitliliği, verinin format farklılıklarına ilişkin bir özelliktir. İlişkisel veri tabanlarında tablolar ile depolanabilen veriler yapısal, dağıtık sistemlerden XML (Extensible Markup Language-XML) ya da JSON (JavaScript Object Notation-JSON) gibi formatlarda elde edilebilen veriler yarı yapısal, metin, resim, sensör verileri gibi veriler ise yapısal olmayan veriler olarak sınıflandırılmaktadır (Aktan, 2018). Yer istasyonlarından web servis aracılığıyla veriler JSON formatında alınabilirken uydu

verileri netCDF (Network Common Data Form-netCDF) ya da resim formatında alınabilmektedir.

Verilerin doğruluğu, veri kaynaklarında yer alan verilerin güvenilirliğine ilişkin bir özelliktir. Elde edilen sonuçların doğruluğu için kullanılan verinin bütünlüğü, doğruluğu ve kaynağının güvenilir olması gerekmektedir (Aksu ve Güzeller, 2019).

Verilerin potansiyel değerinin yüksekliği, kullanılan büyük verinin amaçlanan sonuca sağlayacağı katma değere ilişkin bir özelliktir (Aytaç, 2021). Verinin üretilmesi, işlenmesi, analiz edilmesi ve model sonucunda tahmin edilmek istenen çıktıyı üretmesi büyük veri kullanan tahmin çalışmalarının temel amacını oluşturmaktadır (Yıldırım, 2021).

Büyük veri kaynağı olarak uydu ve sensör verileri gibi tamamen yeni bir kaynağın kullanılabilmesinin yanı sıra devlet kuruluşlarının mevcut verileri de sayısal ortama aktararak kaynak olarak kullanılabilir (Aktan, 2018).

Çalışmada yer alan veri kaynaklarına ilişkin detaylara alt başlıklarda yer verilmiştir.

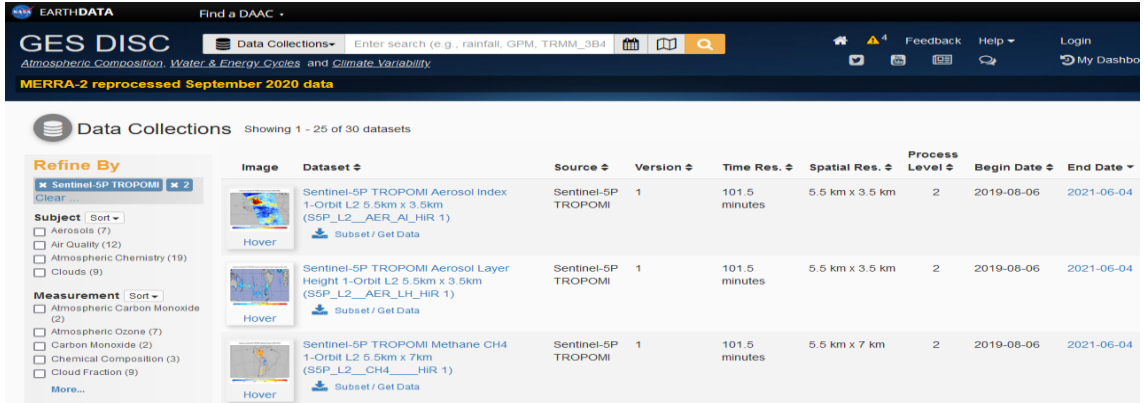
3.1.1. Uydu Verileri

Bu başlık altında çalışma kapsamında kullanılan uydu verilerine ilişkin detaylara yer verilmiştir.

3.1.1.1. Sentinel-5P

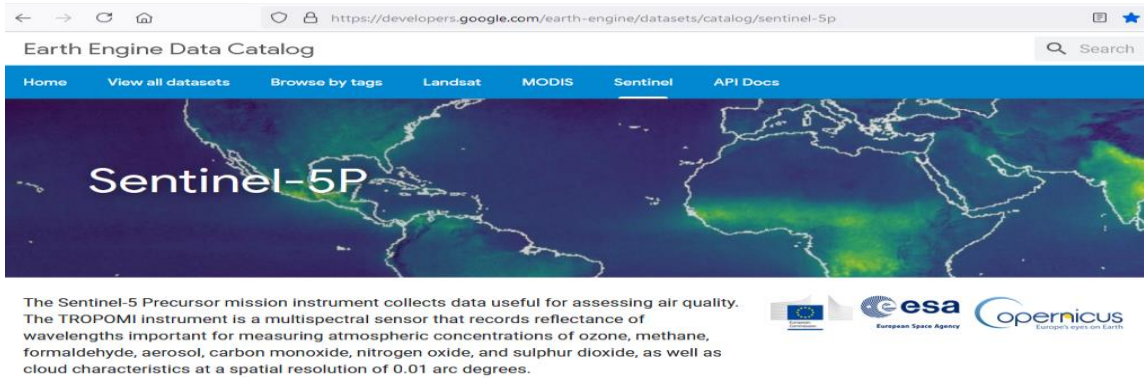
Copernicus; Avrupa Birliğinin Avrupa Komisyonu ve Avrupa Uzay Ajansı (European Space Agency-ESA) tarafından yönetilen yeryüzü inceleme programıdır. Bu programın bir parçası olan Sentinel-5P; Hollanda ve ESA tarafından geliştirilerek 3 Ekim 2017 tarihinde uzaya fırlatılmış olup, yedi yıl süre ile atmosferi inceleyecektir. Sentinel-5P üzerinde TROPOMI (TROPOspheric Monitoring Instrument) adı verilen yüksek çözünürlükte ($7 \times 3.5 \text{ km}^2$) bir spektrometre cihazı yer almaktadır. TROPOMI, dünyadan yansıyan ve yayılan güneş radyasyonunu atmosfer üzerinden ölçmek için pasif uzaktan algılama tekniklerini kullanmaktadır (ESA, 2021). Bölgesel olarak ölçümler yapan TROPOMI, küçük emisyon kaynaklarını da algılayabilmesinden ötürü hava kalitesini izlemeye yardımcı olan önemli bir veri kaynağıdır (Ceylan, 2019). TROPOMI, günde yaklaşık 40 milyon gözlem yapabilmekte ve 640 GB veri sağlamaktadır.

NASA (National Aeronautics and Space Administration-NASA) Goddard Yer Bilimleri (Goddard Earth Sciences-GES) Veri ve Bilgi Hizmetleri Merkezi'nin (Data and Information Services Center-DISC) kısaltması ile isimlendirilen NASA GES DISC; çeşitli uzaktan algılama verilerine ücretsiz olarak erişim sunan bir platformdur. Çalışmada kullanılan Sentinel-5P uydusunun TROPOMI enstrümanına ait veriler Şekil 3.3'te ekran görüntüsüne yer verilen NASA GES DISC platformu üzerinden Level-2 işlem seviyesinde netCDF formatında indirilmiştir.



Şekil 3.3. NASA GES DISC platformu

Google Earth Engine (GEE), Google tarafından petabayt seviyesindeki uydu görüntüleri ve coğrafi verilerinden oluşan büyük veri kümelerinin bulut ortamında sunulduğu bir platformdur (Yağmur, 2018). Çalışma kapsamında GEE ortamında yer alan Sentinel-5P UV Aerosol Index, Cloud, Carbon Monoxide, Formaldehyde, Nitrogen Dioxide, Ozone ve Sulphur Dioxide hava kirliliği verileri kullanılmıştır. Şekil 3.4'te ekran görüntüsüne yer verilen GEE platformu üzerinden atmosferdeki kirleticilerin izlenmesi amacını taşıyan Sentinel-5P uydusuna ait veriler Level-3 işlem seviyesinde resim koleksiyonu (Image Collection) formatında halka açık olarak sunulmaktadır.

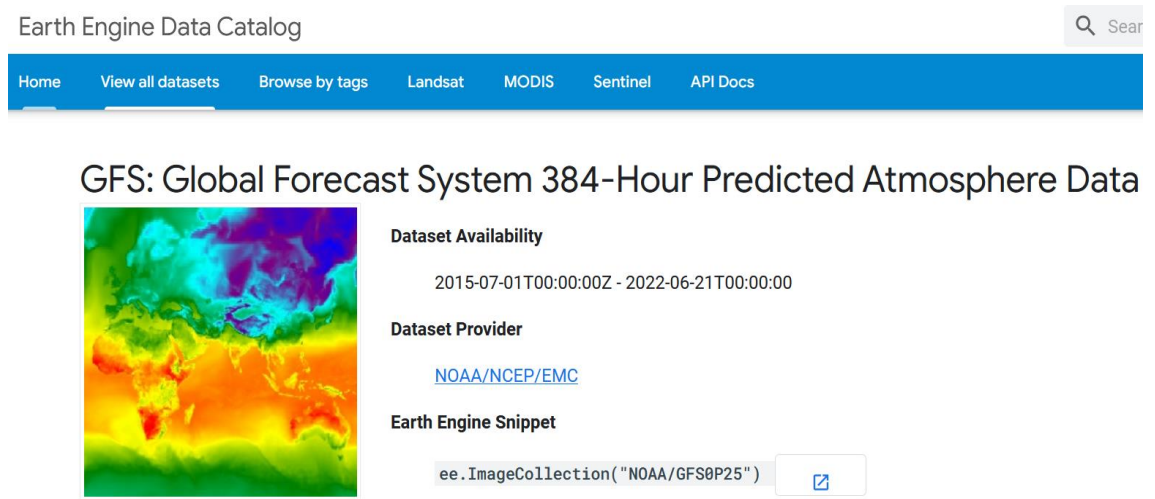


Şekil 3.4. Google Earth Engine platformu Sentinel-5P veri seti

GEE platformu üzerinden elde edilen Sentinel-5P uydu verilerinin başlangıç tarihinin 28.06.2018 olmasından ötürü çalışmada kullanılan veri setinin tarih aralığı 28.06.2018 ile 28.01.2022 olarak belirlenmiştir.

3.1.1.2. GFS

Küresel tahmin sistemi (Global Forecast System-GFS), Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Çevre Tahmin Merkezi (National Centre for Environmental Prediction-NCEP) tarafından hazırlanan dünya çapında bir hava tahmin modelidir. Şekil 3.5'te ekran görüntüsüne yer verilen GEE platformu üzerinden GFS verileri resim koleksiyonu formatında halka açık olarak sunulmaktadır.



Şekil 3.5. Google Earth Engine platformu GFS veri seti

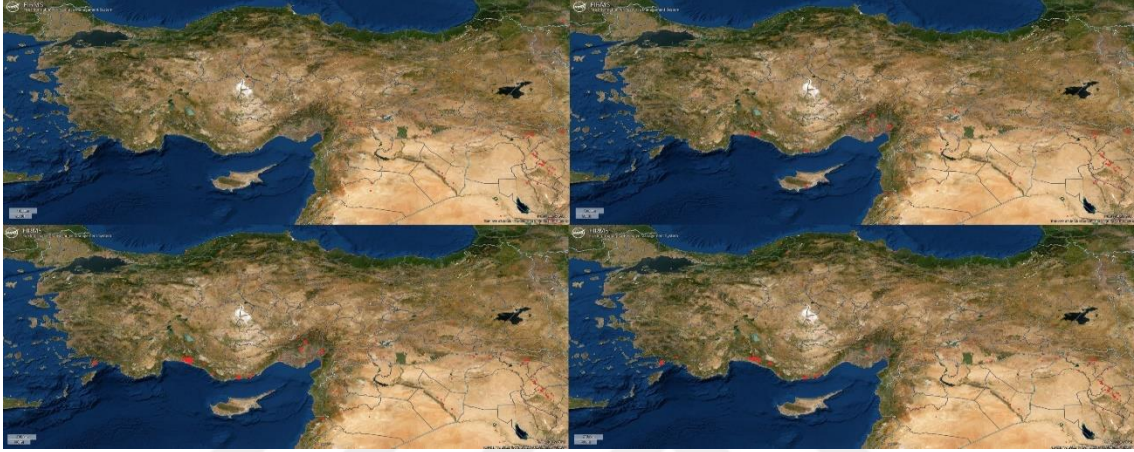
3.1.1.3. MODIS ve VIIRS

Yangın Bilgilendirme ve Kaynak Yönetim Sistemi (Fire Information for Resource Management System-FIRMS) NASA tarafından dünya çapında meydana gelen yangınların uydu verileri aracılığı ile takip edilmesini sağlayan sistemdir. Bu sistemde uydular üzerinde yer alan MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) ve VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) sensörlerinden gelen veriler işlenerek orman yangını, volkanik patlamalar ve gaz patlamaları gibi sebeplerle meydana gelen normalin üzerindeki ısı artışları tespit edilmektedir.

NASA tarafından geliştirilen MODIS spektoradyometresi, Terra ve Aqua uyduları üzerinde yer alan, çok spektrumlu bir uzaktan algılama sistemidir ve bu sistem hedef noktada yansıyan ışınları algılayıp kaydedebilme özelliğine sahiptir (Başaran, 2021). VIIRS algılayıcısı ise kızılötesi görüntüleme ile radyometrik ölçümler yapılabilmesine

olanak sağlayan bir radyometredir (Kaba, 2017). MODIS piksel başına 1 km çözünürlükteki algılama kapasitesine sahipken; VIIRS 375 metre çözünürlüğe sahip olması sebebiyle MODIS tarafından tespit edilemeyen yangınlar için daha etkilidir.

Ülkemizde 2021 yılı yazında yaşanan orman yangınları NASA FIRMS üzerinden gözlemlenmiştir. 28 Temmuz'da başlayan orman yangınlarına ilişkin 27 Temmuz-30 Temmuz arasındaki NASA FIRMS görüntülerine Şekil 3.6'da yer verilmiştir.



Şekil 3.6. 27-30 Temmuz 2021 Türkiye yangın haritası

FIRMS üzerinden yangın verileri anlık olarak görüntülenebilmenin yanı sıra geçmiş veriler de şekil dosyası biçimi (Shapefile format-SHP), virgülle ayrılmış değerler dosyası (Comma-Separated Values-CSV) ya da JSON formatında sunulmaktadır. Çalışmada her iki sensörün geçmiş verilerine Şekil 3.7'de yer verildiği şekilde CSV formatında erişim sağlanmıştır.

NASA EARTHDATA Find a DAAC					
FIRMS Fire Information for Resource Management System					
Id	Source	Area of Interest	Request Date	Status	Delete
246341	SUOMI VIIRS C2	2018-06-27 : 2022-01-31 [27.9, 40.7; 30, 41.7] View Map	2022-01-31 06:37:50	Processed on 2022-01-31 06:45:28 Download	
246340	J1 VIIRS C1	2018-06-27 : 2022-01-31 [27.9, 40.7; 30, 41.7] View Map	2022-01-31 06:37:50	Processed on 2022-01-31 06:45:27 Download	
246339	MODIS C6.1	2018-06-27 : 2022-01-31 [27.9, 40.7; 30, 41.7] View Map	2022-01-31 06:37:50	Processed on 2022-01-31 06:45:27 Download	

Şekil 3.7. NASA FIRMS veri indirme

3.1.2. İstasyon-sensör verileri

Bu başlık altında çalışma kapsamında kullanılan istasyon ve sensör verilerine ilişkin detaylara yer verilmiştir.

3.1.2.1. Hava kalitesi ölçüm istasyonları

İBB Açık Veri Portalı, İBB ve çevre kuruluşlarından yayımlanan verilerin ücretsiz olarak kullanıma sunulduğu platformdur. Platform içerisinde ekonomi, afet yönetimi, enerji, yaşam, yönetim, insan, çevre, bilgi ve iletişim teknolojileri, güvenlik ve mobilite gibi kategoriler yer almaktadır. Platforma erişim <https://data.ibb.gov.tr/> adresi üzerinden sağlanmaktadır. Çalışmada HKÖİ hava kirletici verisi olarak İBB Çevre Koruma ve Kontrol Daire Başkanlığı tarafından sunulan ve Şekil 3.8’de ekran görüntüsüne yer verilen Hava Kalitesi İstasyon Ölçüm Sonuçları Web Servisi kullanılmıştır.



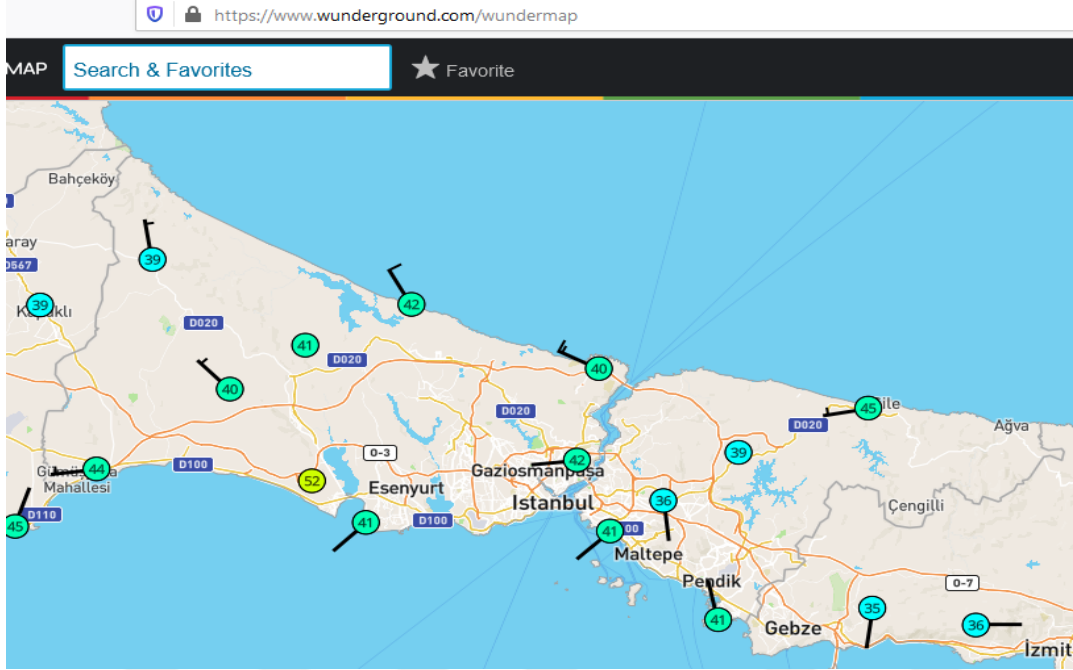
Şekil 3.8. Hava kalitesi istasyon ölçüm sonuçları web servisi

Söz konusu web servis üzerinden sunulan beş adet kirlilik parametresi istasyon bazında saatlik olarak JSON formatında alınmıştır. Web servis üzerinden sunulan kirleticiler aşağıda yer almaktadır.

- PM₁₀: Çapı 10 mikrometre ve aşağısı olan tozlara verilen genel isim (trafik, sanayi, kömür kaynaklı kirlilik)
- SO₂: Kükürtdioksit (genellikle sanayi, kömür ve trafik kaynaklı kirlilik)
- NO₂: Azotdioksit (termik santral ve trafik kaynaklı kirlilik)
- CO: Karbonmonoksit (trafik kaynaklı kirlilik)
- O₃: Ozon (termik santral (kömür, doğalgaz), sanayi ve trafik kaynaklı kirlilik)

3.1.2.2. Meteoroloji istasyonları

Hava kirliliği üzerinde meteorolojik değişkenlerin etkisini ortaya koyabilmek amacıyla çalışmada Şekil 3.9’da ekran görüntüsüne yer verilen Wunderground sitesinde yer alan sensörlerden elde edilen parametreler kullanılmıştır.



Şekil 3.9. Wunderground web sitesi

3.1.2.3. Trafik yoğunluk sensörleri

Çalışmada trafikteki araç sayısının tespit edilebilmesi için İBB Ulaşım Daire Başkanlığı tarafından CSV formatında sunulan ve Şekil 3.10’da ekran görüntüsüne yer verilen Saatlik Trafik Yoğunluk Veri Seti kullanılmıştır.



Şekil 3.10. Saatlik trafik yoğunluk veri seti

Saatlik Trafik Yoğunluk Veri Seti'nde trafik yoğunluğunu algılaması için Uzaktan Trafik Mikrodalga Sensör verisi kullanılmaktadır (Sönmez, 2017). Saatlik Trafik Yoğunluk Veri Seti, Açık Veri Portalı üzerinde 2020 yılı itibariyle sunulmakta olduğundan 2020 yılından önceki tarihlere ilişkin veriler Ulaşım Daire Başkanlığı'ndan mail yolu ile edinilmiştir. Çalışmada kullanılan bir diğer trafik verisi de Ulaşım Daire Başkanlığı tarafından XML formatında sunulan ve Şekil 3.11'de ekran görüntüsüne yer verilen Trafik İndeksi Web Servisi'dir.



Şekil 3.11. Trafik indeksi web servisi

3.1.3. İstatistik verileri

Bu başlık altında çalışma kapsamında kullanılan istatistik verilerine ilişkin detaylara yer verilmiştir.

3.1.3.1. Park ve yeşil alanlar

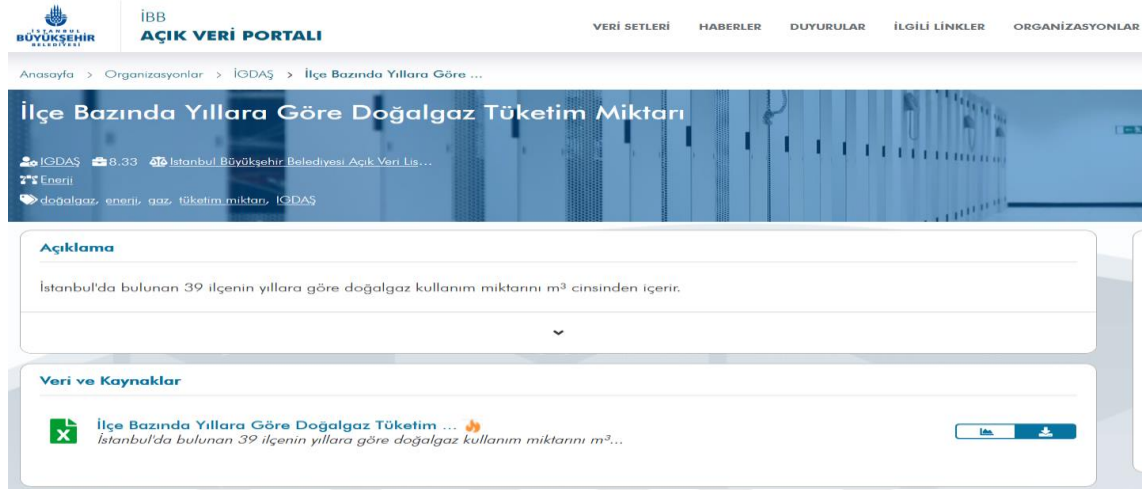
Çalışmada park ve yeşil alan verisi için, İBB Park, Bahçe ve Yeşil Alanlar Daire Başkanlığı tarafından CSV formatında sunulan ve Şekil 3.12'de ekran görüntüsüne yer verilen Parklar ve Yeşil Alanlar Veri Seti kullanılmıştır.



Şekil 3.12. Parklar ve yeşil alanlar veri seti

3.1.3.2. Doğalgaz tüketimi

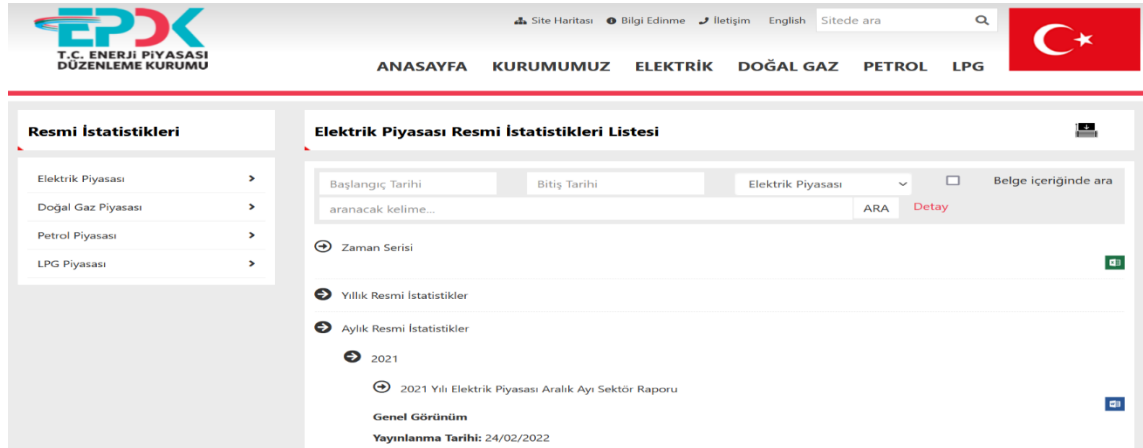
Çalışmada doğalgaz tüketim verisi için, İstanbul Gaz Dağıtım Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi (İGDAŞ) tarafından Microsoft Excel Açık XML Elektronik Tablosu (Microsoft Excel Open XML Spreadsheet-XLSX) formatında sunulan ve Şekil 3.13'te ekran görüntüsüne yer verilen İlçe Bazında Yıllara Göre Doğalgaz Tüketim Miktarı veri seti kullanılmıştır.



Şekil 3.13. İstanbul ilçe bazında doğalgaz tüketim miktarı veri seti

3.1.3.3. Elektrik tüketimi

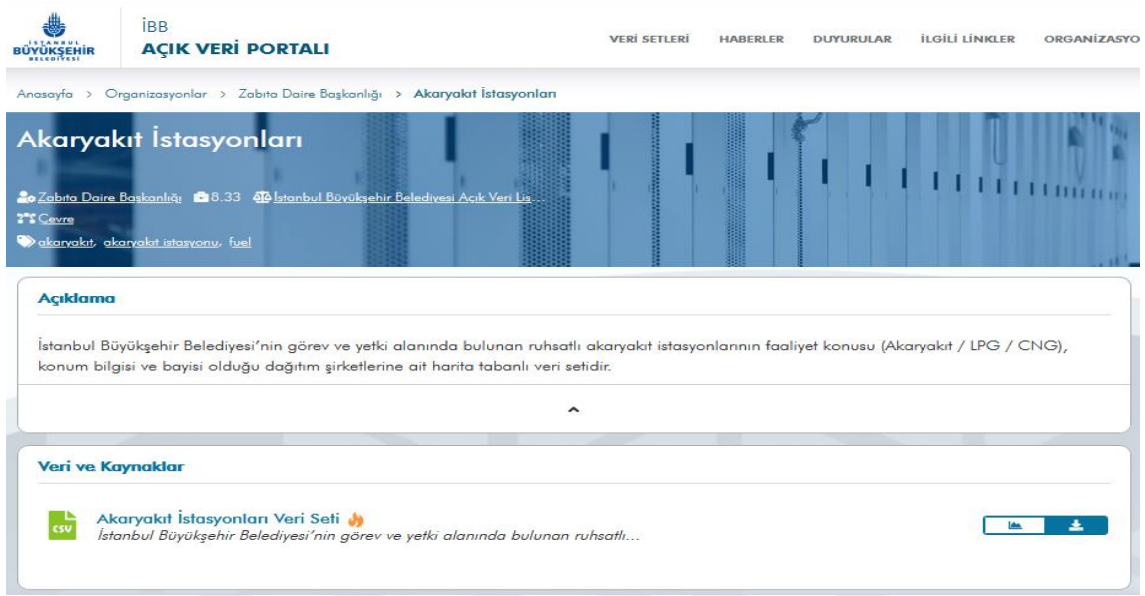
Çalışmada elektrik tüketim verisi olarak T. C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından Microsoft Word Açık XML Biçim Belgesi (Microsoft Word Open XML Format Document-DOCX) formatında sunulan ve Şekil 3.14'te ekran görüntüsüne yer verilen Aylık Resmi İstatistikler menüsü altındaki Elektrik Piyasası Sektör Raporu içerisindeki faturalanan tüketim verisi kullanılmıştır.



Şekil 3.14. EPDK elektrik tüketim veri seti

3.1.3.4. Akaryakıt istasyonları

Çalışmada akaryakıt istasyonu sayısı için Zabıta Daire Başkanlığı tarafından CSV formatında sunulan ve Şekil 3.15'te ekran görüntüsüne yer verilen Akaryakıt İstasyonları veri seti kullanılmıştır.



Şekil 3.15. İstanbul akaryakıt istasyonları veri seti

3.1.3.5. Gayrisihhi müessese sayısı

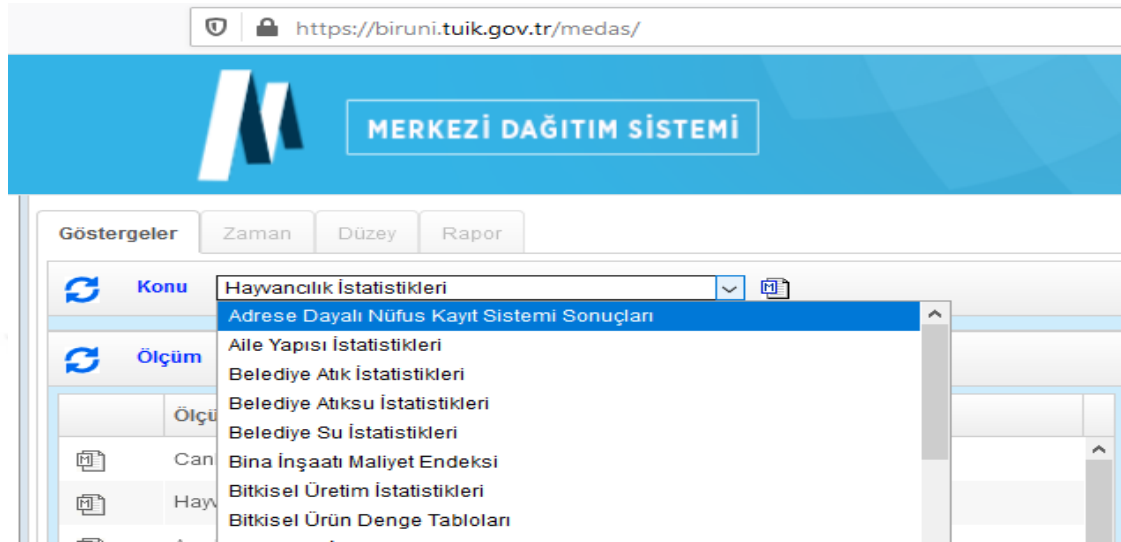
Çalışmada ilçe bazındaki gayrisihhi müessese sayısı için Zabıta Daire Başkanlığı tarafından XLSX formatında sunulan ve Şekil 3.16'da ekran görüntüsüne yer verilen İlçe Ve Sektör Bazında Birinci Sınıf Gayrisihhi Müessese Sayısı veri seti kullanılmıştır.



Şekil 3.16. İlçe ve sektör bazında birinci sınıf gayrisihhi müessese sayısı veri seti

3.1.3.6. Nüfus ve hayvancılık istatistikleri

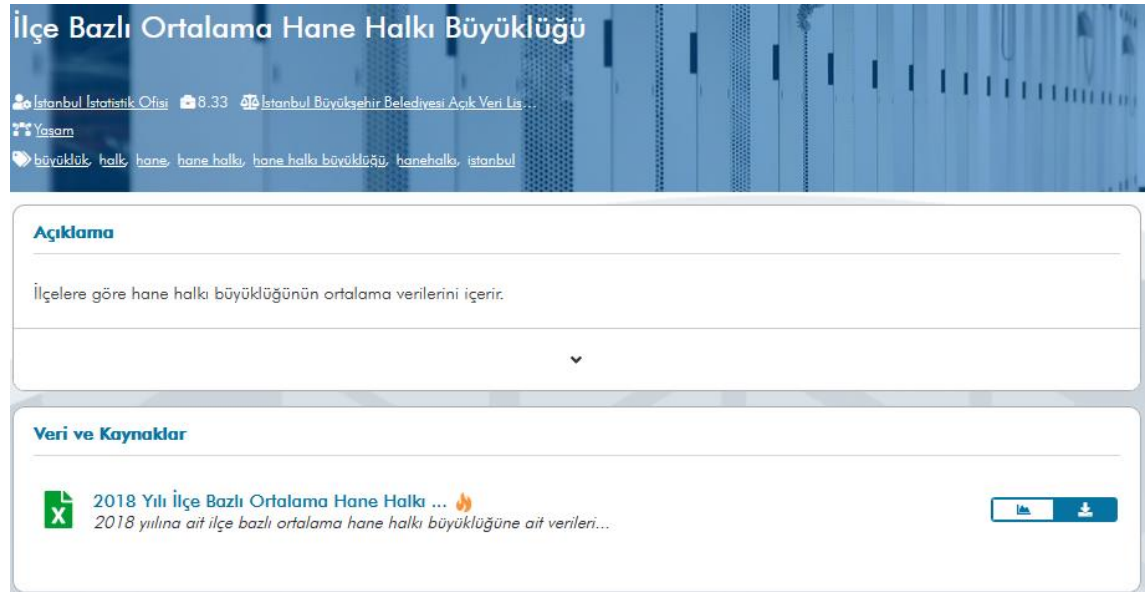
Çalışmada Şekil 3.17’de ekran görüntüsüne yer verilen, TÜİK Merkezi Dağıtım Sistemi tarafından sunulan Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları ve Hayvancılık İstatistikleri veri setleri kullanılmıştır.



Şekil 3.17. İlçelere göre nüfus ve hayvancılık istatistikleri

3.1.3.7. Ortalama hane halkı büyüklüğü

Çalışmada ilçe bazındaki ortalama hane halkı büyüklüğü için İstanbul İstatistik Ofisi tarafından XLSX formatında sunulan ve Şekil 3.18’de ekran görüntüsüne yer verilen İlçe Bazlı Ortalama Hane Halkı Büyüklüğü veri seti kullanılmıştır.



Şekil 3.18. İlçe bazlı ortalama hane halkı büyüklüğü veri seti

3.1.3.8. Dış ticaret rakamları

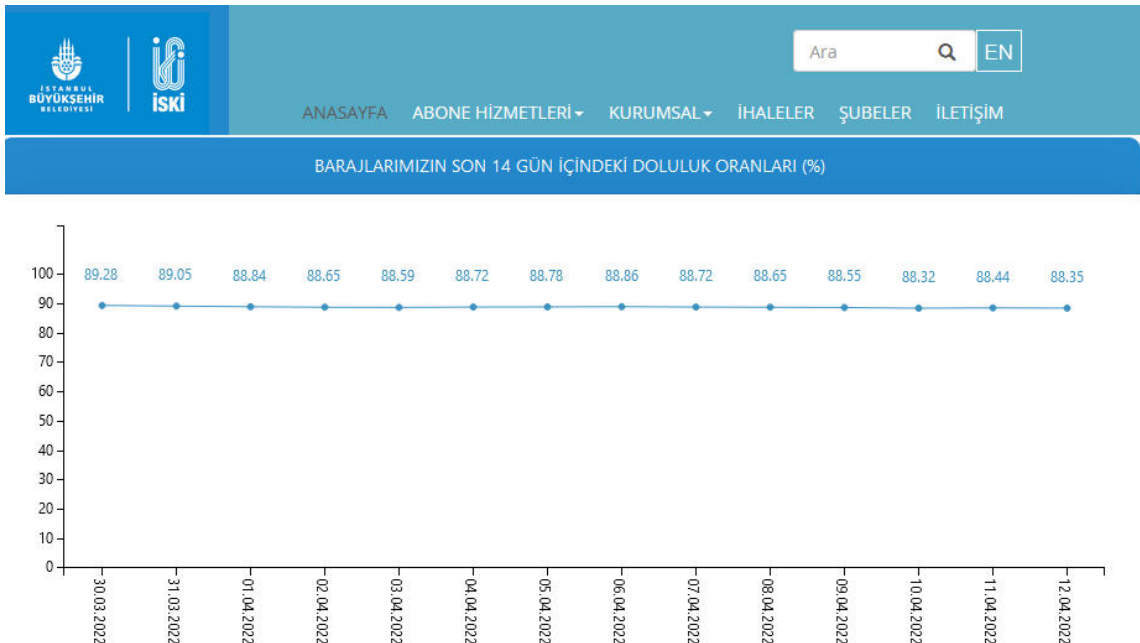
Çalışmada Şekil 3.19'da ekran görüntüsüne yer verilen, İBB İstatistik Ofisi platformunda XLSX formatında sunulan İstanbul Ekonomi Bülteni-Reel Piyasalar içerisinde yer alan Dış Ticaret Rakamları verisi ve İstanbul Çevre Bülteni içerisinde yer alan Aktarma Merkezlerine Gelen Evsel Atık Miktarları (kg.) veri setleri kullanılmıştır.



Şekil 3.19. İBB İstatistik Ofisi

3.1.3.9. Baraj doluluk oranları

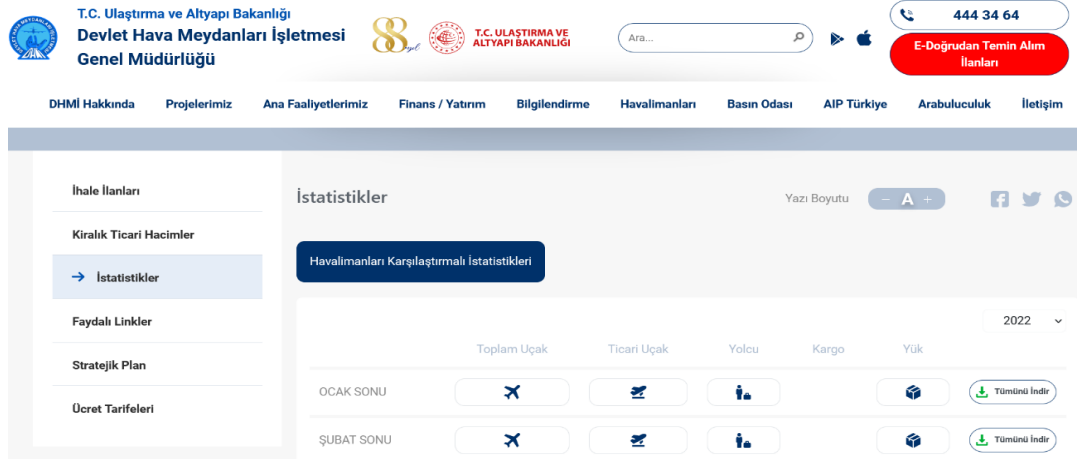
Çalışmada il genelindeki baraj doluluk oranları için, İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) tarafından kurumsal internet sitesinde sunulan ve Şekil 3.20'de ekran görüntüsüne yer verilen İstanbul Baraj Doluluk Oranları veri seti kullanılmıştır.



Şekil 3.20. İstanbul baraj doluluk oranları

3.1.3.10. Havalimanı istatistikleri

Çalışmada uçak trafiğinin belirlenebilmesi için, Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü (DHMİ) tarafından Taşınabilir Belge Biçimi (Portable Document Format-PDF) ve XLSX formatlarında sunulan ve Şekil 3.21’de ekran görüntüsüne yer verilen Havalimanı İstatistikleri veri seti kullanılmıştır.



Şekil 3.21. Havalimanı istatistikleri

3.1.3.11. Vefat sayısı

Çalışmada il genelindeki günlük vefat sayısı için Şekil 3.22’de ekran görüntüsüne yer verilen İBB’nin e-Devlet Portalı üzerinden sunmuş olduğu Vefat Bilgisi Sorgulama Web Servisi kullanılmıştır.

Şekil 3.22. Vefat bilgisi sorgulama web servisi

3.2. Veri İşleme

Veri işleme aşaması, veri ön işleme, veri temsil işlemleri ve öznitelik seçimi olmak üzere üç alt başlıkta incelenmiştir.

3.2.1. Veri ön işleme

Veri ön işleme aşamasında ilk olarak tahmin modeli ile ilişkili olmayan ilgisiz alanlar veri setinden çıkarılmış, mevcut alan isimleri uygun şekilde yeniden adlandırılmıştır. Veri setine tarih bilgisine dayanan (gün, ay, yıl, saat, mevsim, hafta içi-hafta sonu, resmî tatil vb.) alanlar eklenmiştir.

Veri setine lokasyon ile ilişki olarak eklenecek veriler için her bir istasyonun enlem ve boylam bilgisi ile içerisinde bulunduğu ilçeye ilişkin kod ve yaka (Anadolu-Avrupa) bilgisi eklenmiştir. Bu kapsamda saatlik trafik yoğunluğu, istasyon konumuna en yakın beş sensörün ortalaması alınarak veri setine dahil edilmiştir. Akaryakıt istasyonu ile park ve yeşil alan verileri ise istasyon konumuna 1 km uzaklıktaki toplam sayı ve istasyonun bulunduğu ilçedeki toplam sayı alınarak veri setine dahil edilmiştir. Lokasyon bilgisi ile ilişkili diğer bir ön işlem de yakıt tüketim verileri için uygulanmıştır. Elektrik tüketimi Anadolu ve Avrupa yakası bazında sunulmasından ötürü istasyonların ait olduğu yaka bilgisine göre ilgili veri alanı eklenmesi işlemi yapılmıştır. Doğalgaz tüketimi ise ilçe bazında sunulmasından ötürü istasyonların ait olduğu ilçe bilgisine göre ilgili veri alanı eklenmesi işlemi yapılmıştır. Benzer şekilde nüfus sayısı, ortalama gelir, ortalama hane halkı, hayvan sayısı, evsel atık miktarı ve gayrisihhi müessese sayısı ilçe bazında, toplam uçak sayısı yaka bazında, trafik indeksi, baraj doluluk oranı ve ticaret rakamları ise il bazında sunulmakta olduğundan ilgili veriler bu durum göz önüne alınarak veri setine eklenmiştir.

Bu aşamada aynı zamanda mevcut alanlardan hesaplama yoluyla veri setine eklenecek alanlar ile ilgili işlemler de gerçekleştirilmiştir. Veri ön işleme aşamasında son olarak veri alanlarında yer alan değerler kontrol edilerek aykırı değerler (outliers) ile ilgili işlemler gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında yer alan veri kaynaklarından elde edilen veriler üzerinde gerçekleştirilen ön işlemlere ait diğer detaylara alt başlıklarda yer verilmiştir.

3.2.1.1. Hava kalitesi istasyon ölçüm sonuçları web servisi

Hava Kalitesi İstasyon Ölçüm Sonuçları Web Servisi'nde Şekil 3.23'teki gibi JSON formatında yer alan verilere Request kütüphanesi aracılığıyla erişim sağlanmıştır.



Index	ReadTime	PM10	SO2	O3	NO2	CO
0	"2018-06-28T00:00:00"	18.4	null	80.7	null	null
1	"2018-06-28T01:00:00"	15.1	null	87.3	null	null

Şekil 3.23. Hava kalitesi ölçüm istasyonları web servisi örnek sorgulama sonucu

ReadTime ismiyle birleşik bir formatta dönen zamana ilişkin alan, kayıt esnasında tarih ve saat olmak üzere iki farklı alana bölünmüş, ReadTime alanı ise veri setinden çıkarılmıştır. Ayrıca Concentration.kirletici şeklinde dönen kirletici alan isimleri kirletici adlarıyla güncellenmiştir.

Veri ön işleme aşamasında ayrıca verilerde yer alan sıfırdan küçük kirletici değerlerine np.nan değeri atanmış, sınır değerlerin üstünde olan aykırı (outlier) değerler ise ilgili kirleticilerin sınır değerleri ile güncellenmiştir.

Bu aşamada daha sonra mevcut alanlardan hesaplama yoluyla veri setine eklenecek alanlar ile ilgili işlemlere geçilmiş ve bu kapsamda HKİ hesaplanarak veri setine eklenmiştir.

HKİ, hava kirliliği bağlantılı sağlık riski düzeyini tanımlamak ve kamuoyunun hava kirliliğine ilişkin genel bir fikir sahibi olabilmesini kolaylaştırabilmek amacıyla oluşturulan bir sınıflama sistemidir (Karakuş ve Yıldız, 2019; Yılmaz M., 2019). Ulusal

hava kalitesi indeksi, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Kurumu (United States Environmental Protection Agency-EPA) hava kalitesi indeksinin ulusal mevzuat ve sınır değerlerine uyarlanması ile Şekil 3.24'te yer verilen şekilde tanımlanmıştır (ÇŞİDB, 2022).

İndeks	HKİ	SO ₂ [µg/m ³]	NO ₂ [µg/m ³]	CO [µg/m ³]	O ₃ [µg/m ³]	PM10 [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

Şekil 3.24. HKİ hesaplamada kullanılan kesme noktaları (ÇŞİDB, 2022)

HKİ belirlenen gösterge kirleticilerin her biri için Şekil 4.2'deki değerlere uygun olarak 3.1 numaralı formül ile hesaplanır ve elde edilen en yüksek değer 3.2 numaralı formüldeki şekilde HKİ olarak atanır.

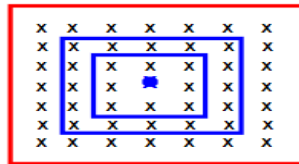
$$HKİ = [(I_{hi} - I_{low}) / (B_{Phi} - B_{Plow})] * (C_p - B_{Plow}) + I_{low} \quad (3.1)$$

$$Nihai \text{ HKİ} = \max (HKİ_1, HKİ_2, HKİ_3, \dots, HKİ_n) \quad (3.2)$$

3.1 numaralı formülde kirletici konsantrasyon değeri C_p , kirletici konsantrasyon değerine eşit ya da büyük kırılma noktası B_{Phi} , eşit ya da küçük kırılma noktası B_{Plow} , B_{Phi} 'ye karşılık gelen HKİ I_{hi} , B_{Plow} 'a karşılık gelen HKİ ise I_{low} olarak adlandırılmıştır (Karakuş ve Yıldız, 2019).

3.2.1.2. NASA GES DISC

NASA GES DISC üzerinden netCDF formatında indirilen veriler her bir istasyon konumu için hesaplama işlemine tabi tutulmuştur. Hesaplama işleminde Şekil 3.25'te gösterimine yer verilen şekilde konuma ait değerlerin yanı sıra konum etrafındaki 3x3 ve 5x5'lik grid ortalaması alınarak veri setine eklenmiştir.



Şekil 3.25. Sentinel-5P hesaplama

3.2.1.3. NASA FIRMS

NASA FIRMS üzerinden elde edilen ve Şekil 3.26’da bir örneğine yer verilen farklı sensör verileri birleştirilmiştir.

latitude	longitude	brightness	scan	track	acq_date	acq_time	satellite	instrument	confidence	version	bright_t31	frp	daynight	type
41.2685	28.6405	318.4	1.0	1.0	2018-07-07	1114	Aqua	MODIS	53	6.03	303.1	7.0	D	0
41.1275	28.2825	324.3	1.1	1.1	2018-07-18	916	Terra	MODIS	77	6.03	301.5	12.6	D	0
41.1435	28.1806	327.0	1.0	1.0	2018-08-05	904	Terra	MODIS	77	6.03	307.1	13.1	D	0
41.1676	28.2765	322.3	1.0	1.0	2018-08-08	1115	Aqua	MODIS	69	6.03	305.0	8.4	D	0
40.9588	28.8259	310.6	1.6	1.2	2018-08-09	840	Terra	MODIS	41	6.03	299.9	14.9	D	3

Şekil 3.26. NASA FIRMS yangın parametreleri

Veri setinde yer alan brightness ve brightness_t31 alanları farklı ölçüm kanallarının Kelvin cinsinden değeri, confidence alanı 0 ile 100 arasında değişen değerlerle yangının üç güven (düşük, nominal, yüksek) sınıfından hangisine gireceği, frp alanı yangının radyasyon gücü, scan ve track alanları ise gerçek piksel boyutu ile ilgilidir (FIRMS, 2022). Veri setinde yer alan scan, track ve frp değerlerinin çarpımı ile edilen güç değerine ilişkin yeni alan veri setine eklenmiştir. UTC formatındaki zaman alanı İstanbul saat dilimine çevrilmiştir. Son olarak yangın konumu ile istasyon konumu arasındaki uzaklık hesaplanarak veri setine eklenmiştir.

3.2.1.4. Wunderground

Wunderground sitesinde sunulan ve Şekil 3.27’de ekran görüntüsüne yer verilen meteorolojik verilere BeautifulSoup ve lxml kütüphaneleri aracılığı ile erişim sağlanmıştır. Lxml, büyük veri kümeleri üzerinde web veri çıkarım işlemini yapmayı kolaylaştıran hızlı ve başarılı bir kütüphanedir (Uzun, Yerlikaya ve Kırat, 2018).

Time	Temperature	Dew Point	Humidity	Wind	Wind Speed	Wind Gust	Pressure	Precip.	Condition
12:20 AM	41 °F	39 °F	93 %	NNE	10 mph	0 mph	29.87 in	0.0 in	Mostly Cloudy
12:50 AM	41 °F	39 °F	93 %	NNE	13 mph	0 mph	29.87 in	0.0 in	Mostly Cloudy
1:20 AM	43 °F	39 °F	87 %	NNE	14 mph	0 mph	29.87 in	0.0 in	Mostly Cloudy
1:50 AM	43 °F	39 °F	87 %	NNE	13 mph	0 mph	29.87 in	0.0 in	Mostly Cloudy
2:20 AM	43 °F	39 °F	87 %	NNE	10 mph	0 mph	29.87 in	0.0 in	Mostly Cloudy
2:50 AM	43 °F	41 °F	93 %	NE	13 mph	0 mph	29.87 in	0.0 in	Mostly Cloudy
3:20 AM	43 °F	41 °F	93 %	NE	13 mph	0 mph	29.84 in	0.0 in	Mostly Cloudy
3:50 AM	43 °F	41 °F	93 %	NE	12 mph	0 mph	29.84 in	0.0 in	Mostly Cloudy
4:20 AM	43 °F	41 °F	93 %	NE	12 mph	0 mph	29.84 in	0.0 in	Mostly Cloudy
4:50 AM	43 °F	41 °F	93 %	NE	15 mph	0 mph	29.84 in	0.0 in	Light Rain Shower
5:20 AM	43 °F	41 °F	93 %	ENE	13 mph	0 mph	29.84 in	0.0 in	Light Rain Shower

Şekil 3.27. Wunderground meteoroloji parametreleri

Veri alanları içerisinde yer alan °F, %, mph ve in ifadeleri temizlenmiştir. Fahrenheit olan değerler celsius birimine çevrilmiş, inç değerine sahip basınç alanının birimi mm, mil değerine sahip rüzgâr hızı alanının birimi kilometreye dönüştürülmüştür. Yarım saatlik veri seti saatlik olacak şekilde düzenlenmiştir. Şekil 3.28’de oranlarına yer verilen eksik veriler bir sonraki değerle, bu değer olmaması durumunda ise bir önceki değerle doldurulmuştur.

Satır Sayısı: 1394640 Alan Sayısı: 11 Eksik Değer Sayısı: 9

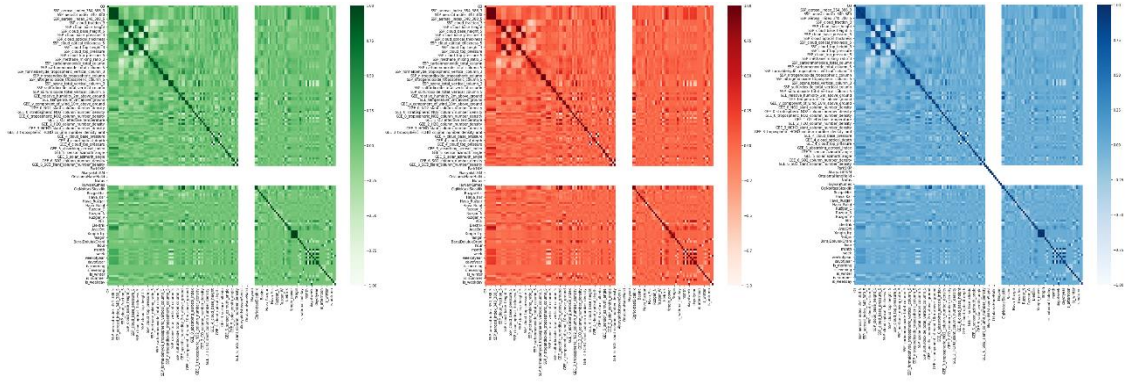
	Eksik Değer	% Toplam Değer
Wind	11130	0.8
Temperature	10611	0.8
DewPoint	10611	0.8
Humidity	10611	0.8
WindSpeed	10611	0.8
WindGust	10611	0.8
Pressure	10611	0.8
Precipitation	10611	0.8
Condition	10611	0.8

Şekil 3.28. Meteoroloji eksik veri oranı

3.2.2. Öznitelik seçimi

Çalışmada kullanılacak özniteliklerin seçiminde, değişkenler arasındaki ilişkiyi test ederek ilişki derecesini belirlemeye yarayan korelasyon analizi (Ateş ve Güran, 2021) kullanılmıştır. Literatürde bu amaçla değişkenler arasındaki doğrusal ilişki için Pearson, monotonik ilişki için Spearman, değişkenler arasındaki uyum ölçümü için Kendall’s Tau korelasyon yöntemleri tercih edilmektedir (Bulut, 2018; Çelik ve Yelkikalan, 2021). İlişki derecesi r ile ifade edilmektedir ve r değeri -1 ile 1 arasında değer alabilmektedir. R değerinin 1’e yaklaşması değişkenler arasındaki ilişkinin aynı yönde arttığı -1’e yaklaşması ilişkinin ters yönde arttığı, 0 olması ise değişkenler arasında ilişki bulunmadığını ifade etmektedir (Beşikçi, 2015; Sabuncuoğlu ve Demirtaş, 2021).

Çalışmada oluşturulan veri setinden tahmin modelinde kullanılacak özniteliklerin seçimi için Şekil 3.29’da örnek ekran görüntüsüne yer verildiği şekilde Pearson, Spearman ve Kendall’s Tau korelasyon yöntemleri kullanılarak r değerleri 0 olan veri alanları veri setinden çıkarılmıştır.

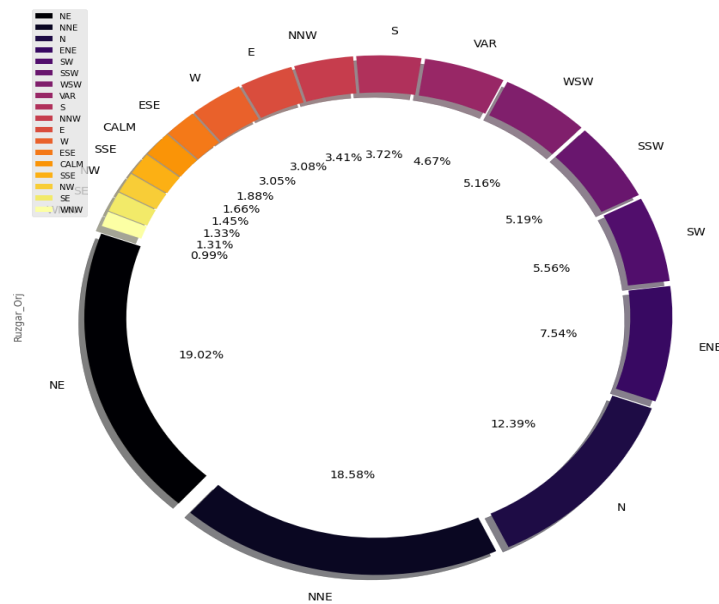


Şekil 3.29. Korelasyon analizi

Bu kapsamda park sayısı, 1 km uzaklıktaki park sayısı, ortalama hane halkı, ortalama gelir, gayrisihhi müessese sayısı, akaryakıt istasyon sayısı, 1 km uzaklıktaki akaryakıt istasyon sayısı, nüfus ve hayvan sayıları alanları veri setinden çıkarılmıştır.

3.2.3. Veri temsil işlemleri

Çalışmada kullanılacak veri seti içerisinde yer alan kategorik alanların nümerik hale getirilmesi amacıyla One Hot Encoding yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde işlenen öznitelikteki farklı kategoriler için yeni bir öznitelik veri setine eklenerek ilgili satırda var olması durumunda 1 olmaması durumunda ise 0 olarak işaretlenmektedir (Şimşek ve Canbay, 2021). Meteorolojik faktörler arasında yer alan rüzgâr yönü 18, hava durumu ise 59 farklı kategori içermektedir. Rüzgâr yönü özniteliğinde yer alan kategorilerin dağılımına Şekil 3.30'da yer verilmiştir.



Şekil 3.30. Rüzgâr yönü kategorileri

Bu iki özniteliğin nümerik hale getirilmesi için öncelikle benzer özelliğe sahip kategoriler gruplanarak kategori sayısı azaltılmıştır. Bu kapsamda rüzgarlar yönlerine (doğu, batı, kuzey, güney, rüzgâr yok, değişken) göre, hava durumu ise durum bilgisine (kar, yağmur, rüzgâr, güneş, bulut, sis) göre yeniden kategorilere ayrılmış, daha One Hot Encoding işlemi uygulanmıştır.

Veri temsil işlemleri içerisinde aynı zamanda veri setinde yer alan tüm alanların daha küçük bir aralıkta ölçeklendirilmesi amacıyla kullanılan normalleştirme (MinMaxScaler, MaxAbs, Robust, Z-Score vb.) işlemleri (Tuna, 2019) uygulanmıştır.

3.3. Model İşlemleri

Çalışmada kullanılan veri setinde yer alan yer istasyonlarındaki kirletici verilerindeki eksik veri oranının yüksek olması nedeniyle eksik verilerin en doğru şekilde doldurulabilmesini sağlayabilmek için ilk olarak istasyon bazında kirletici tahmin modelleri geliştirilmiştir. Eksik verilerin doldurulması ile birlikte ikinci olarak tüm istasyonlar için geçerli olacak genel model geliştirilmiştir.

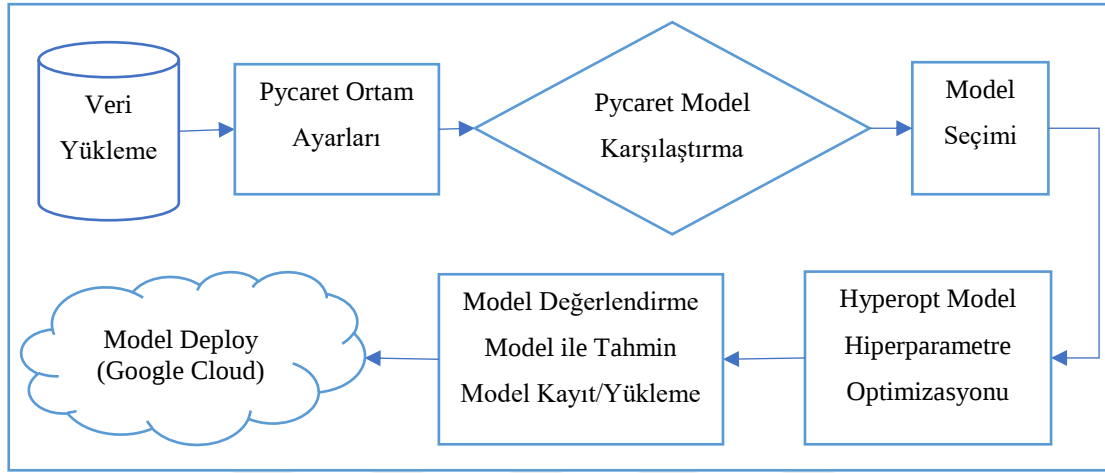
3.3.1. İstasyon Tahmin Modeli

İstasyon bazlı tahmin modeli geliştirilmesinde AutoML yöntemlerinden faydalanılmıştır. AutoML makine öğrenmesi sürecinin otomatik yürütülmesi ile insan kaynaklı hataların azaltılmasını sağlamaktadır (Özdemir ve Örsü, 2019). AutoML, veri hazırlama, öznitelik seçimi, hiperparametre optimizasyonu, model seçimi, değerlendirme ve görselleştirme gibi modelin ön işleme adımından sonuçlandırılmasına kadar olan tüm süreçleri otomatikleştirir (Ünlüsavuran, 2019).

İstasyon tahmin modelinde AutoML yöntemlerinden Pycaret ve Hyperopt kütüphaneleri kullanılmıştır. Pycaret, makine öğrenimi iş akışlarını otomatikleştirmek için tasarlanmış açık kaynaklı bir kütüphanedir. Bu kütüphane, farklı regresyon modellerini karşılaştırma işlemini hızlı bir şekilde gerçekleştirerek en iyi performansa sahip modelin seçimini kolaylaştırmaktadır (Pol ve Sawant, 2021). Veri seti ve modele bağlı olarak değişkenlik gösteren parametreler olarak tanımlanabilecek hiperparametrelerin, model değerlendirmede belirlenen başarı kriterinden elde edilen sonucun iyileştirilmesi amacıyla optimizasyon işlemine tabi tutulması gerekmektedir (Atlan, Hançer ve Pençe, 2020). Model geliştirmede kullanılan diğer AutoML yöntemi olan Hyperopt kütüphanesi ile regresyon modellerinde kullanılacak hiperparametrelerin

optimizasyon işlemi otomatik olarak gerçekleştirilebilmekte ve söz konusu veri seti için en ideal hiperparametre model kombinasyonu belirlenebilmektedir (Komer, Bergstra, ve Eliasmith, 2014; Pınar vd., 2017; Doğan, 2021).

Çalışmada istasyon tahmin modelinde kullanılan işlemlere ilişkin genel iş akışı Şekil 3.31’de sunulmuştur.



Şekil 3.31. İstasyon tahmin modeli iş akışı

Regresyon problemlerinde, n adet öz nitelik girişine göre makine öğrenmesi modeli ile sayısal bir değer tahmin edilir (Goodfellow, Bengio ve Courville, 2016). Regresyon problemlerinin çözümünde model belirlenen n sayıdaki öz niteliği girdi olarak alır ve belirli bir hata oranı ile 3.3’te yer verilen fonksiyon aracılığıyla bir sayısal değer elde eder.

$$f: \mathbb{R}^n \longrightarrow \mathbb{R} \quad (3.3)$$

Çalışmada regresyon modeli olarak Random Forest Regressor (RF), Decision Tree Regressor (DT), Extra Trees Regressor (EXT), K Neighbors Regressor (KNN), Gradient Boosting Regressor (GB), Light Gradient Boosting Machine (LGBM), CatBoost Regressor (CB), Linear Regression (LR), Lasso Regression (LASSO), Elastic Net (EN), Bayesian Ridge (BR) ve Ridge Regression (RR) olmak üzere 12 model seçilmiştir.

Pycaret kütüphanesi kullanılarak belirlenen 12 modelin karşılaştırılması işleminde veri setinde yer alan özelliklerin farklı değer aralıklarına sahip olmasından ötürü normalizasyon işlemi uygulanmıştır. Normalizasyon yönteminde veri boyutu değiştirilmeden değerlerin ölçeklenmesi sağlanmaktadır. Pycaret kütüphanesi içerisinde minmax, maxabs, robust ve z-score olmak üzere dört farklı normalizasyon yöntemi yer

almaktadır. Çalışmada bu dört yöntem kullanılmış ve bu yöntemlerin tahmin sonucu üzerindeki etkisi olup olmadığı değerlendirilmiştir.

Karşılaştırma işlemi öncesinde varsa eksik veri içeren satırlar veri setinden çıkarıldıktan sonra Pycaret ortam ayarları yapılmıştır. Ortam ayarlarında veri seti %70 eğitim %30 test olarak ayrılmış olup, örnek bir ortam ayarı ekran görüntüsüne Şekil 3.32’de yer verilmiştir.

Description	Value
Target	HKI
Original Data	(31464, 128)
Transformed Train Set	(22024, 146)
Transformed Test Set	(9440, 146)
Fold Generator	KFold
Fold Number	10
Normalize	True
Normalize Method	minmax

Şekil 3.32. Pycaret örnek ortam ayarları

Modellerin karşılaştırılması işleminde değerlendirme yöntemi olarak 10 kat çapraz doğrulama kullanılmıştır. Çapraz doğrulama (cross validation) modellerin değerlendirilmesi ve modelin eğitilmesi için veri setinin parçalara ayrılmasıdır. K-kat çapraz doğrulama yönteminde, veri seti k gruba ayrılarak k-1 grup eğitim 1 grup test testi olarak kullanılır, alt grupların tümü için uygulanarak k kez tekrar edilen işlem sonucunda tüm sonuçların ortalaması performans değerini oluşturur (Yıldız, 2021).

Pycaret kütüphanesi içerisinde model değerlendirme metrikleri olarak; Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error-MAE), Ortalama Karesel Hata (Mean Square Error-MSE), Kök Ortalama Karesel Hata (Root Mean Squared Error-RMSE), anlamlılık (belirleme/korelasyon) katsayısı R^2 , Kök Ortalama Karesel Logaritmik Hata (Root Mean Squared Logaritmik Error-RMSLE) ve Ortalama Mutlak Yüzde Hata (Mean Absolute Percentage Error-MAPE) yer almaktadır. Bu metrikler Tablo 3.2’de yer verilen eşitlikler ile hesaplanmaktadır (Bişkin ve Çifci, 2021; Metin, 2021; Özen, 2021; Yılmaz, 2021).

Tablo 3.2. Model değerlendirme metrikleri ve formülleri

Metrik	Kullanım Detayları	Eşitlik
R^2	Sadece bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni ne kadar açıkladığını gösterir, diğer metrikler ile birlikte kullanılabilir.	$1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_i')^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$
MAE	Tahmin edilen değerlerde ortalamanın üzerinde büyük hata(lar) elde edilmişse kullanılabilir.	$\frac{1}{n} + \sum_{i=1}^n y_i - y_i' $
MAPE	Farklı birim değerlere sahip modellerin karşılaştırılmasında kullanılabilir.	$\frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left \frac{y_i - y_i'}{y_i} \right $
MSE	Hata değerlerinin büyüklüklerinin benzer olmadığı durumlarda kare alma işleminden ötürü büyük sapmalarda abartılı sonuçlar vermektedir, hata büyüklükleri benzer ise kullanılabilir.	$\frac{1}{n} + \sum_{i=1}^n (y_i - y_i')^2$
RMSE	MSE değerinin karekökünün alınmasıyla elde edilen daha küçük değerler karşılaştırmada kolaylık sağlar. Yüksek tahmin hatalarına karşı hassas olduğu için küçük hataların tolere edilebilir büyük hataların ise yüksek maliyete sebep olduğu durumlar için kullanılabilir.	$\sqrt{\frac{1}{n} + \sum_{i=1}^n (y_i - y_i')^2}$
RMSLE	Tahmin edilen değer ve gerçek değer arasındaki farkın çok fazla olduğu zaman kullanılabilir.	$\sqrt{\frac{1}{n} + \sum_{i=1}^n (\log(y_i) - \log(y_i'))^2}$

Bu ifadelerde yer alan y_i gerçek değer, y_i' tahmin edilen değer ve $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$ ise gerçek değerlerin ortalamasıdır (Metin, 2021).

3.3.2. Genel Tahmin Modeli

Çalışma kapsamında yer alan tüm istasyonlar için geçerli olacak genel bir tahmin modeli geliştirmek için yapay sinir ağları kullanılmıştır. Yapay sinir ağları geliştirilirken istasyon tahmin modeli ile benzer şekilde modelde kullanılacak hiperparametre konfigürasyonunun ne olması gerektiği modelin başarımı açısından oldukça önemlidir. Çalışmada bu amaçla Keras Tuner kütüphanesi içerisinde yer alan Hyperband, RandomSearch ve BayesianOptimization algoritmaları kullanılmıştır. Keras Tuner kütüphanesi içerisinde erken durma özelliği (Early Stopping) barındırması sayesinde büyük veri setlerinde kaynak tasarrufu konusunda geleneksel arama algoritmalarından daha iyi performans sağlamaktadır (Altun ve Talu, 2021).

Regresyon problemlerinde, belirlenen her bir özneliğe karşılık gelen nöronlar giriş katmanına karşılık gelmektedir. Her gizli katman ise en az iki nörondan oluşmaktadır. Tahmin edilen değer ise çıktı katmanına karşılık gelmektedir. Çok katmanlı model yapısında her bir nöronda girişler ağırlıkları ile çarpılarak toplanmak suretiyle aktivasyon fonksiyonu değeri elde edilir ve bu değer bir sonraki katmana girdi olarak iletilir.

Çalışmada sinir ağı modeli olarak sıralı katmanlar (layer) şeklinde bir yapı oluşturulmasına olanak sağlayan Keras Sequential fonksiyonu ve bir katmandaki düğümlerin bir sonraki katmandaki tüm düğümlere bağlı olduğu Dense sınıfı kullanılarak çok katmanlı bir yapı kullanılmıştır. Modelin aşırı öğrenmeden (over-fitting) kaçınması amacıyla ise modelde bırakma (dropout) işlemi gerçekleştirilmiştir. En başarılı tahmin sonucuna sahip sinir ağının oluşturulabilmesi amacıyla belirlenen üç algoritma içerisinde en iyi skor değerine sahip algoritma değerleri model hiperparametreleri olarak kullanılmıştır. Bu hiperparametreler ağda yer alacak katman sayısı, her bir katmanın kaç birimden (unit) oluşacağı, dropout oranı ve öğrenme hızının ne olacağı gibi değerlerdir.

Modelin geliştirilmesinde öncelikle tahmin edilecek kirleticinin ölçüldüğü istasyon verileri numpy kütüphanesi içerisinde yer alan yığın işlevi (np.stack) kullanılarak birleştirilmiştir. Bu yöntem birleştirmenin yeni bir eksen (axis) boyunca gerçekleştirilebilmesine imkân tanımaktadır. Çalışmada axis değeri 1 olarak belirlenerek birleştirme işlemi Şekil 3.33'teki örnek gösterimde yer verildiği şekilde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.33. Yığın işlevi

Normalizasyon metodu olarak MinMaxScaler yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde modelde kullanılan öznitelikler istenilen değer aralığında olacak şekilde ölçeklendirilebilmektedir. Çalışmada girdi değişkenleri -5 ile 5 aralığına çıktı değişkenleri ise 0 ile 1 aralığına ölçeklendirilmiştir.

Veri seti ilk olarak üçte iki eğitim, üçte bir test ve doğrulama olarak ayrılmış, daha sonra test ve doğrulama verisi de kendi içerisinde %45 test ve %55 doğrulama olarak ayrılmıştır.

3.3.3. Özniteliklerin Sonuca Katkısını Ölçme

Çalışmanın amaçları arasında en iyi tahmin yapabilen modeli geliştirmenin yanı sıra model ile yapılan tahmin sonucuna etki eden faktörlerin belirlenebilmesi de

bulunmaktadır. Tahmin yöntemlerinin doğruluk ve yorumlanabilirliği arasında Şekil 3.34'teki gösterimde yer verildiği şekilde ters bir ilişki söz konusudur.



Şekil 3.34. Yorumlanabilirlik doğruluk ilişkisi (Yıldırım, 2021)

Çalışma kapsamında genel hava kalitesi tahmin modeli olarak YSA kullanılmıştır. YSA modelinde doğruluk oranı yüksek olmasına rağmen modelde alınan kararların ya da sonucun nasıl oluştuğunun insan zekasıyla yorumlanabilmesi oldukça güçtür. Modellerin yorumlanabilir olması model sonucuna etkisi olan faktörlerin belirlenebilmesini sağlamanın yanı sıra eğitim setinde gerçekleşebilecek beklenilmeyen yanlışlıkların önüne geçilebilmesi ve yeni bilgilerin yorumlanabilirlik sayesinde edilebilmesi açısından da fayda sağlamaktadır (Yıldırım, 2021).

Çalışma kapsamında hava kalitesine etkisi olan faktörlerin ortaya konulabilmesi amacıyla geliştirilen modellerde kullanılan alanların model sonucuna katkısı SHAP (SHapley Additive exPlanations) ve eli5 (Explain Like I'm Five) kütüphanesi içerisinde yer alan permütasyon önemi (Permutation Importance) ile analiz edilmiştir. Permütasyon önemi, model tahmininin yorumlanarak her bir özelliğin tahmine katkısının belirlendiği yöntemidir. SHAP ise, her özelliğin tahmine katkısının SHAP değerine dayalı olarak belirlendiği bir öznitelik önem analiz yöntemidir (Lundberg, Erion, ve Lee, 2019; Ekşioğlu, 2020; Tokmak ve Küçükşille, 2021). Permütasyon önemi yönteminde model performansındaki düşüşe dayalı bir hesaplama kullanılırken, SHAP yönteminde her bir

özniteliğın model tahminine katkısı hesaplanmaktadır. Permütasyon önemi bu sebeple çok daha hızlı sonuç verirken, bu yöntem sadece önem değerine ilişkin bir çıktı grafiğı sunmaktadır. SHAP yönteminin çalışma süresi oldukça uzun olmasına karşın bu yöntem önem değerinin yanı sıra bu değerin dağılımına ilişkin daha detaylı bir çıktı sunmaktadır.

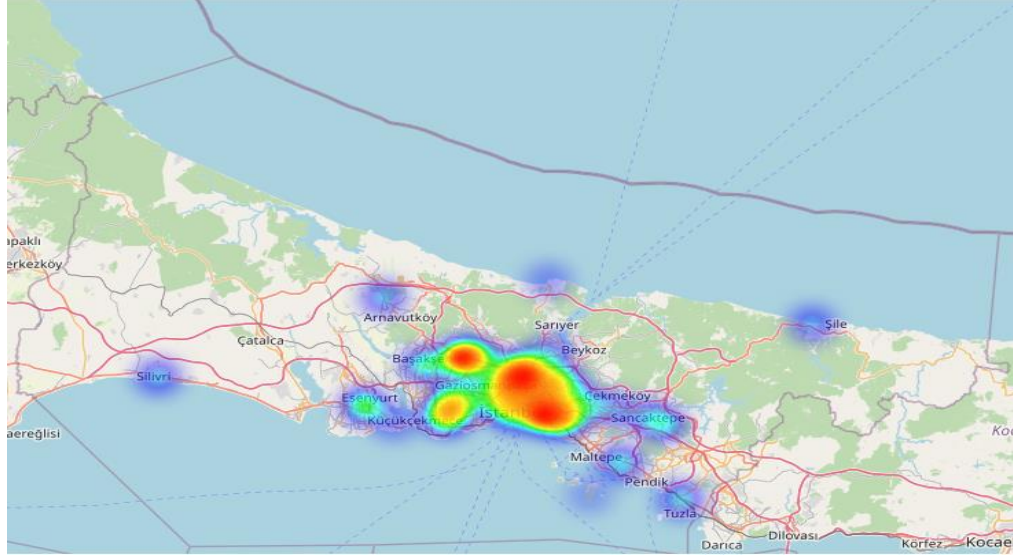


4. UYGULAMA VE BULGULAR

Uygulama Google Colaboratory ortamında Python dili ile geliştirmiştir.

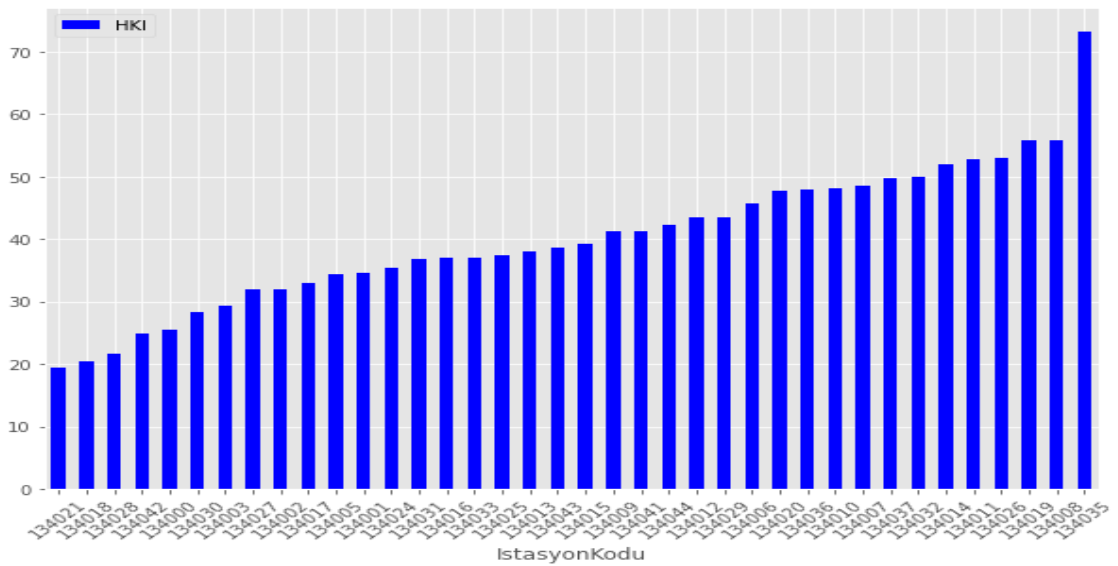
4.1. Mevcut Durumun Değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında kullanılan tarih aralığı olan 28.06.2018 ve 28.01.2022 tarihleri arasında il genelindeki istasyonlarda ortalama HKİ değerine ilişkin ısı haritası şekil 4.1'deki gibidir.



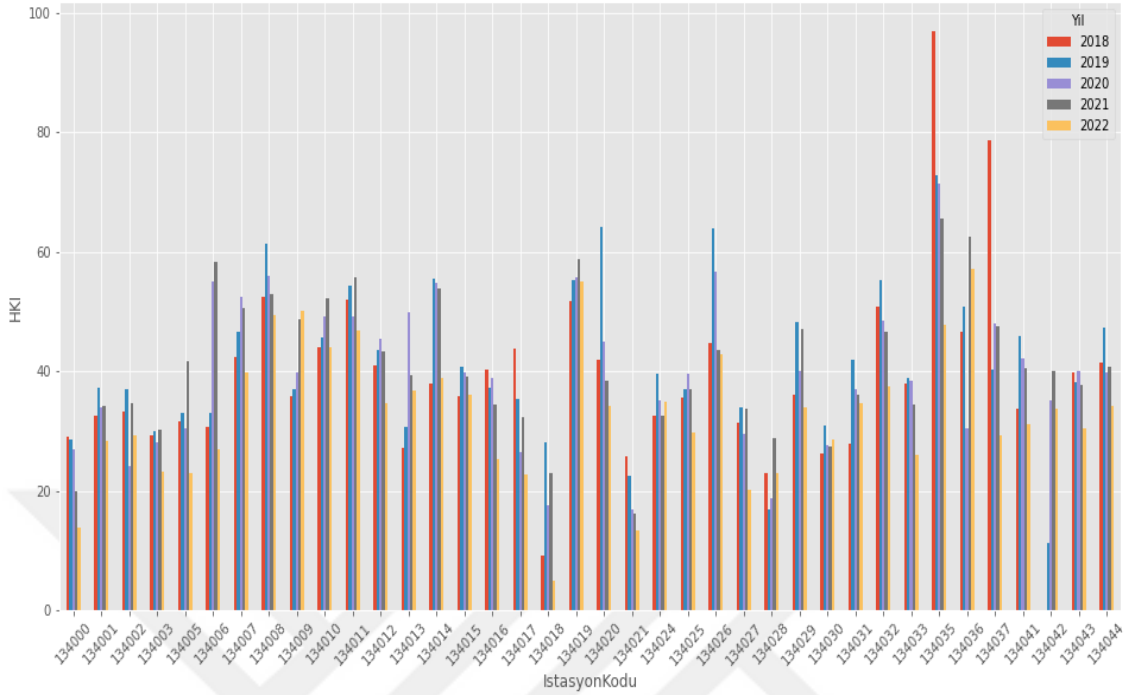
Şekil 4.1. İl geneli HKİ ısı haritası

İl genelindeki istasyonların ortalama HKİ değerine göre en düşükten en yükseğe sıralamasına Şekil 4.2'de yer verilmiştir.



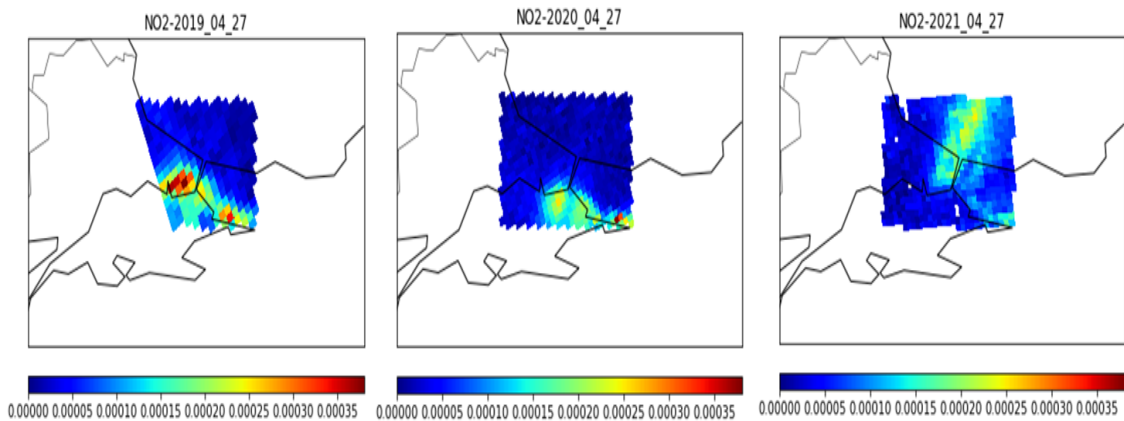
Şekil 4.2. İstasyon bazında HKİ

HKİ değerinin istasyon bazında yıllara göre değişimine Şekil 4.3'te yer verilmiştir.



Şekil 4.3. İstasyon bazında yıllık HKİ değişimi

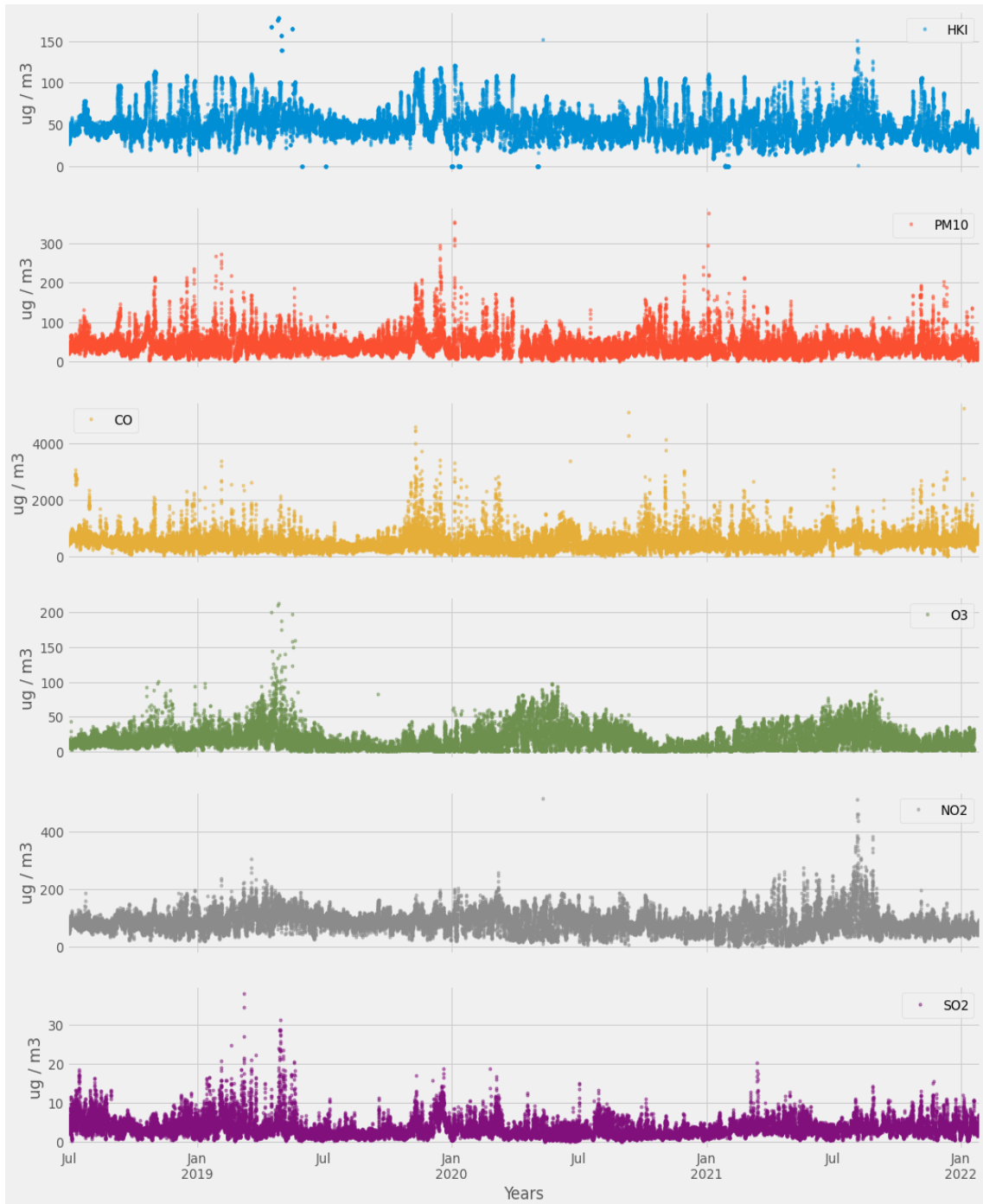
Hava kalitesine etki eden faktörlerin belirlenebilmesi amacıyla yakın zamanda yaşanan COVID-19 salgını sürecinde yaşanan değişimler incelenmiştir. Şekil 4.4'te İstanbul il genelinde 27 Nisan tarihinin 2019, 2020 ve 2021 yıllarındaki NO₂ değişim örneğine yer verilmiştir.



Şekil 4.4. İstanbul NO₂ değişimi

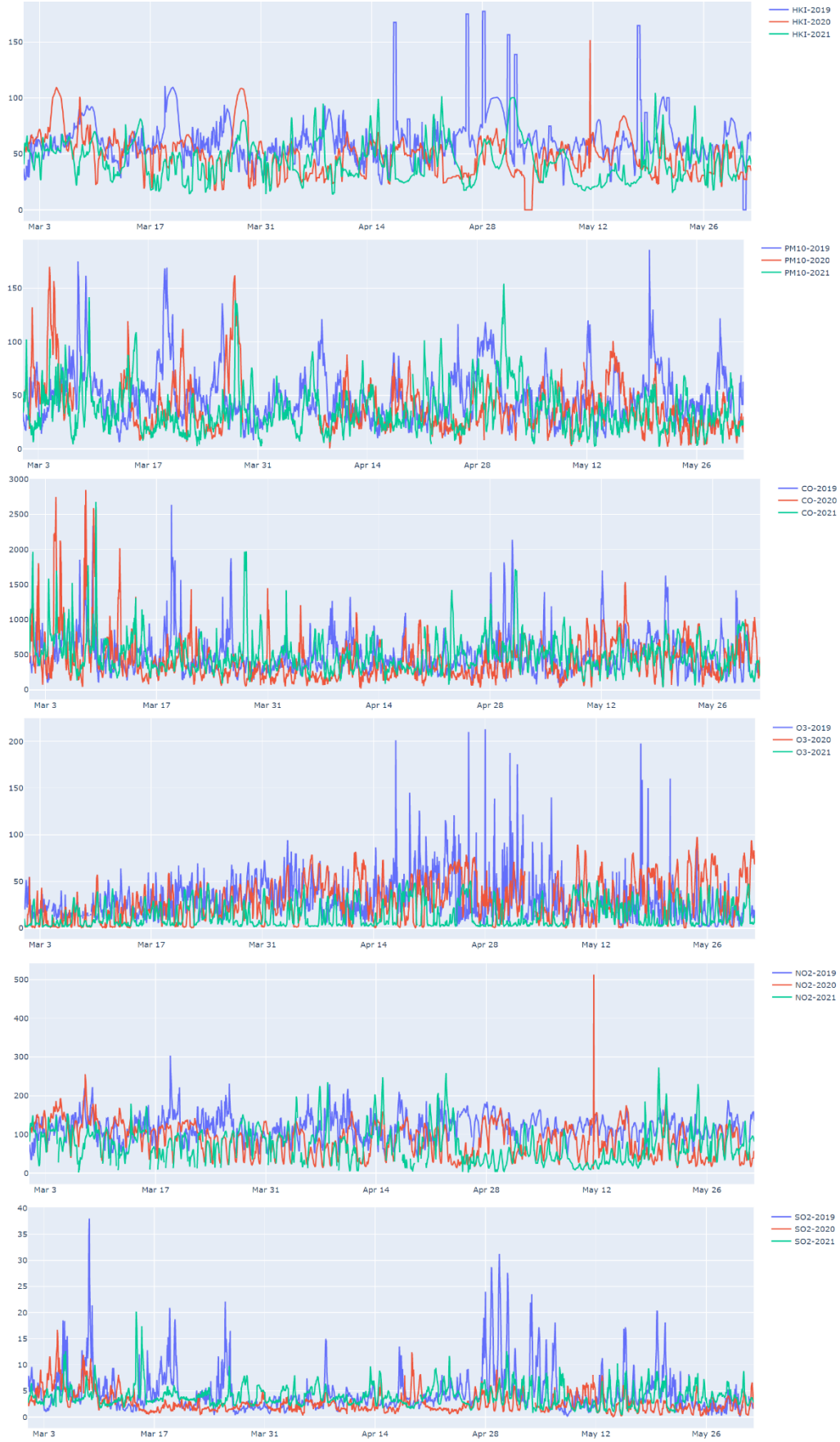
COVID-19 salgını sürecinde sokağa çıkma yasaklarının uygulandığı günlerde hava kirleticilerindeki değişim de incelenmiştir. Ülke genelindeki 81 ilde sokağa çıkma yasakları, 23-24-25-26 Mayıs 2020 Ramazan Bayramı, 5-6 Aralık 2020 tarihinden

başlayarak 27-28 Şubat 2021'e kadar her hafta sonu, 1-3 Ocak 2021 yılbaşı ve 30 Nisan-16 Mayıs 2021 arasında tam kapanma olarak uygulanmıştır. Şekil 4.5'te öncelikle 134032 numaralı Aksaray istasyonun çalışma kapsamındaki tarih aralığında tüm kirletici değerlerine ilişkin örneğe yer verilmiştir.



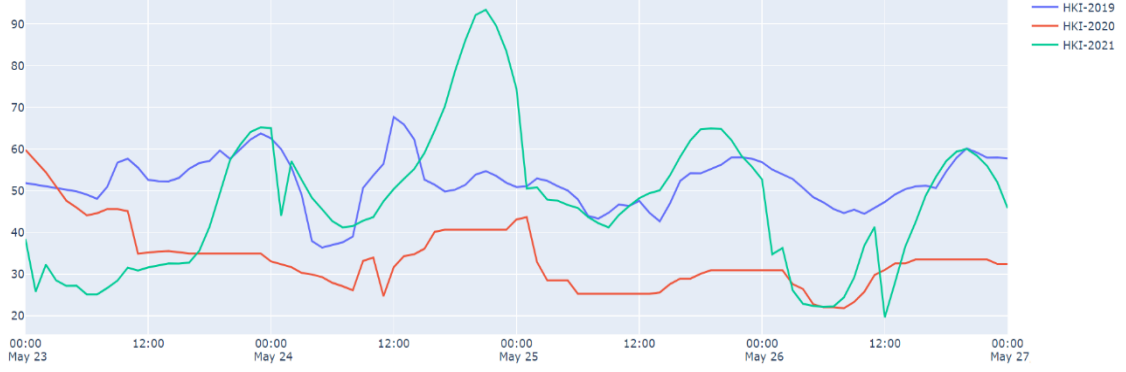
Şekil 4.5. Kirletici dağılım grafiği

2019, 2020 ve 2021 yıllarının Mart ve Mayıs ayları arasında kirletici değerlerinde görülen değişime Şekil 4.6'da yer verilmiştir.



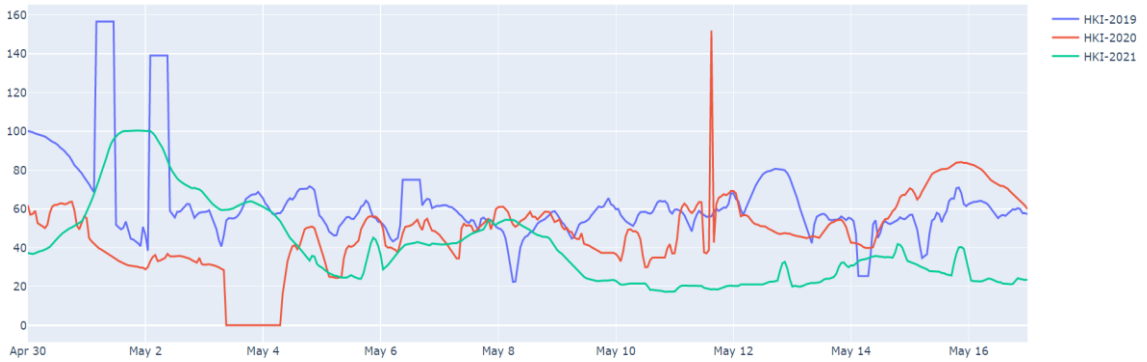
Şekil 4.6. Mart-Mayıs ayları kirletici değişimleri

23-24-25-26 Mayıs 2020 tarihleri arasında Ramazan Bayramı sebebiyle tam kapanma olarak uygulanan sokağa çıkma yasaklarının 2019 ve 2021 yıllarının aynı günlerindeki HKİ değeri kıyaslamasına Şekil 4.7’de yer verilmiştir.



Şekil 4.7. 2020 yılı sokağa çıkma yasağı HKİ değişimi

Salgının başlangıç dönemi sayılabilecek 23-24-25-26 Mayıs 2020 tarihindeki Ramazan Bayramı’nda uygulanan sokağa çıkma yasağında önceki ve sonraki yılın aynı günlerine oranla HKİ değerinde düşüş yaşandığı görülmüştür. Salgının ilerleyen dönemlerinden 30 Nisan-16 Mayıs 2021 tarihleri arasında tam kapanma olarak uygulanan sokağa çıkma yasaklarının 2019 ve 2020 yıllarının aynı günlerindeki HKİ değeri kıyaslamasına Şekil 4.8’de yer verilmiştir. 2021 yılında uygulanan tam kapanma döneminin ilk günlerinde önceki iki yıla oranla HKİ değerinde yükselmeler görülmüş, son günlerinde ise önceki iki yıla oranla düşüş görülmüştür.



Şekil 4.8. Tam kapanma dönemi HKİ değişimi

Hava kalitesini değerlendirirken kirleticilerin mevzuatla belirlenen sınır değerlerini aşma durumu da incelenebilir. HKİ hesaplamasında kullanılan beş temel kirleticiye ilişkin sınır değerlere Şekil 4.9’da yer verilmiştir.

Parametre	SO ₂ [µg/m ³]	NO ₂ [µg/m ³]	CO [µg/m ³]	O ₃ [µg/m ³]	PM10 [µg/m ³]
	1 Sa. Ort.	1 Sa. Ort.	8 Sa. Ort.	8 Sa. Ort.	24 Sa. Ort.
Ulusal Sınır Değer	410	270	10.000	120	70
AB Üye Ülkeleri Sınır Değeri	350	200	10.000	120	50

Şekil 4.9. Hava kirleticilerine ilişkin sınır değerler

Sınır aşım değerlerinin incelemesinde Şekil 4.10’da ekran görüntüsüne yer verilen İstanbul Hava Kalitesi İzleme Merkezi tarafından sunulmakta olan Sınır Aşım Değerleri Raporu kullanılmıştır. İncelemede yıl geneline ilişkin dağılımların daha sağlıklı bir şekilde kıyaslanabilmesi amacıyla tarih aralığı genişletilerek, 1 Ocak 2018 ile 1 Haziran 2022 tarih aralığı kullanılmıştır.



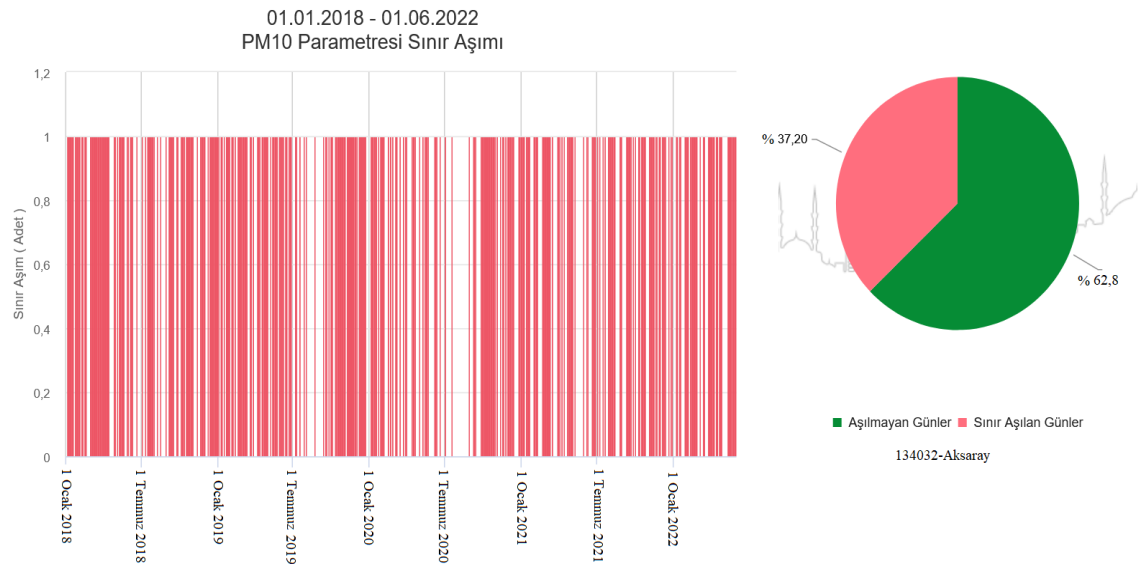
Şekil 4.10. Sınır aşım değerleri rapor ekranı

PM₁₀ kirleticisi genellikle ısınma, ulaşım ve enerji gibi insan hareketliliği bağlantılı faaliyetlerden kaynaklanmaktadır (Tosun, 2017). Bu sebeple sınır aşım değeri incelemesi PM₁₀ kirleticisi üzerinden gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.1’de, sistemde rapor verisi bulunan il genelindeki 22 istasyona ilişkin sınır aşım değerlerinin yıllara göre kıyaslamasına yer verilmiştir. Tabloda yer alan değerler incelendiğinde bir önceki yıla kıyasla 2020 yılında 22 istasyonun 13’ünde toplam sınır değer aşımında azalma, sekizinde artma birinde ise değişiklik olmadığı görülmüştür. 2020 yılında azalma görülen 13 istasyonun sadece dördünde 2021 yılında da azalma devam etmiş dokuzunda ise artış görülmüştür.

Tablo 4.1. *PM₁₀ kirleticisi sınır değer aşımı*

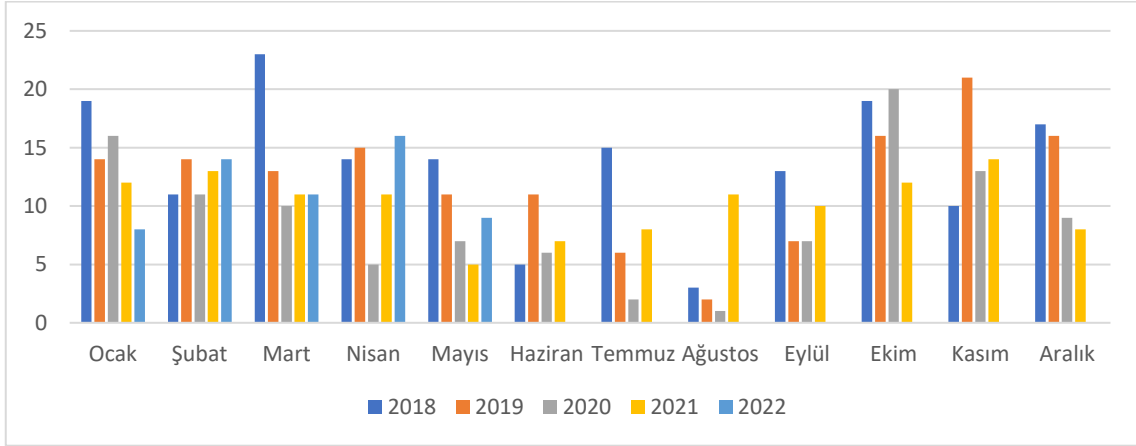
İstasyon	2018	2019	2020	2021	2022	Toplam
134000	52	8	14	10	47	131
134001	87	64	41	117	66	375
134002	148	91	17	27	48	331
134003	61	55	67	51	29	263
134017	197	113	111	224	47	692
134018	6	6	33	67	2	114
134019	225	237	199	292	113	1066
134020	100	278	185	170	96	829
134021	68	16	25	6	12	127
134024	115	112	62	87	69	445
134025	129	96	140	125	42	532
134026	175	281	229	147	85	917
134027	138	116	116	133	91	594
134028	47	19	24	83	21	194
134029	189	209	168	201	78	845
134030	63	48	40	36	24	211
134031	85	130	96	104	70	485
134032	163	146	107	122	64	602
134033	142	89	100	83	56	470
134035	223	336	328	299	126	1312
134036	281	300	170	324	133	1208
134037	277	209	222	220	50	978

PM₁₀ kirleticisinin 2018 yılından günümüze kadar olan sınır değeri aşımı 134032 kodlu Aksaray örnek istasyonu için incelendiğinde belirlenen 1605 günlük tarih aralığı içerisinde 596 gün ulusal sınır değeri olan 70 değerinin aşıldığı görülmüş olup ilgili görsele Şekil 4.11’de diğer istasyonlar için ilgili görsellere ise EK-1’de yer verilmiştir.



Şekil 4.11. *Aksaray istasyonu PM₁₀ sınır değer aşımı*

Aksaray istasyonundaki toplam 602 gün sınır değeri aşımının aylara göre dağılımına Şekil 4.12’de yer verilmiştir. Yıllara göre dağılım incelendiğinde 2018 yılında 163, 2019 yılında 146, 2020 yılında 107, 2021 yılında 122 ve 2022 yılının ilk beş ayında 64 gün sınır değeri aşıldığı görülmüştür. Aylara göre dağılım incelendiğinde salgının başlangıç ayı olan Mart 2020’de diğer yıllara oranla ciddi bir düşüş gözlenemezken, Nisan 2020’de ise sadece beş gün sınır değeri aşımı ile önemli bir düşüş olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.12. Aksaray istasyonu PM₁₀ sınır değeri aşımının aylık bazda dağılımı

4.2. İstasyon Tahmin Modeli Bulguları

İstasyon tahmin modeli geliştirilmesinde ilk olarak Pycaret kütüphanesi kullanılarak belirlenen regresyon modelleri 10 kat çapraz doğrulama ile değerlendirilmiş ve model karşılaştırma sonuçları MAPE metriğine göre sıralanmıştır. Şekil 4.13’te Aksaray istasyonunun minmax normalizasyon metodu kullanılarak HKİ değerine ilişkin oluşturulan örnek model karşılaştırma sonucuna yer verilmiştir.

	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
rf	Random Forest Regressor	2.7614	24.6178	4.9523	0.9289	0.1629	0.0854	78.978
et	Extra Trees Regressor	2.4927	23.3230	4.8119	0.9326	0.1552	0.0885	48.488
dt	Decision Tree Regressor	3.5734	48.6420	6.9573	0.8594	0.1708	0.0969	2.191
catboost	CatBoost Regressor	4.1394	36.9123	6.0699	0.8933	0.2121	0.1532	40.839
knn	K Neighbors Regressor	4.4661	54.0361	7.3476	0.8440	0.2125	0.1558	7.752
lightgbm	Light Gradient Boosting Machine	5.2231	56.1003	7.4857	0.8380	0.2572	0.2023	2.091
gbr	Gradient Boosting Regressor	8.1853	132.8320	11.5213	0.6164	0.3529	0.3464	21.594
lr	Linear Regression	10.3938	212.4304	14.5715	0.3864	0.4024	0.5167	0.300
ridge	Ridge Regression	10.3493	212.1460	14.5621	0.3871	0.4024	0.5230	0.118
br	Bayesian Ridge	10.3460	212.1918	14.5637	0.3870	0.4023	0.5233	0.950
lasso	Lasso Regression	12.8171	324.2008	18.0034	0.0637	0.4606	0.6308	1.040
en	Elastic Net	12.8331	325.0264	18.0264	0.0613	0.4610	0.6384	0.117

Şekil 4.13. Pycaret örnek model karşılaştırma sonucu

Pycaret ortamında kullanılan farklı normalizasyon yöntemlerinin birbirine yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Şekil 4.14'te Aksaray istasyonunun HKİ değerine ilişkin en iyi sonuç veren iki modelin, dört farklı normalizasyon yöntemine göre karşılaştırma sonucuna yer verilmiştir.

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134032	HKİ	Random Forest Regressor	2.7602	24.4207	4.9327	0.9295	0.1626	0.0837	72.208	maxabs
134032	HKİ	Random Forest Regressor	2.7584	24.4398	4.9344	0.9294	0.1627	0.0844	72.673	robust
134032	HKİ	Random Forest Regressor	2.7615	24.5617	4.9472	0.9291	0.1633	0.0852	71.657	zscore
134032	HKİ	Random Forest Regressor	2.7614	24.6178	4.9523	0.9289	0.1629	0.0854	72.975	minmax
134032	HKİ	Extra Trees Regressor	2.4889	23.1609	4.7933	0.9331	0.1543	0.0878	37.833	zscore
134032	HKİ	Extra Trees Regressor	2.4927	23.3230	4.8119	0.9326	0.1552	0.0885	38.964	minmax
134032	HKİ	Extra Trees Regressor	2.5077	23.6546	4.8453	0.9317	0.1579	0.0885	38.186	robust
134032	HKİ	Extra Trees Regressor	2.4864	23.3281	4.8099	0.9326	0.1545	0.0894	37.843	maxabs

Şekil 4.14. Pycaret örnek normalizasyon yöntemleri karşılaştırma sonucu

10 kat çapraz doğrulama ile minmax normalizasyon yönteminde en iyi sonuca sahip olduğu belirlenen ilk iki modelin her bir çaprazlama aşamasında aldığı değerlere ilişkin detaylara Şekil 4.15'te yer verilmiştir.

rf=create_model('rf')								et=create_model('et')							
		MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE			MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE
Split	Fold							Split	Fold						
CV-Val	0	2.8424	25.4026	5.0401	0.9247	0.2047	0.1124	CV-Val	0	2.6153	29.8766	5.4660	0.9114	0.1948	0.1957
	1	2.8149	28.9297	5.3786	0.9194	0.1259	0.0607		1	2.4877	29.4594	5.4277	0.9179	0.1301	0.0559
	2	2.7910	27.0728	5.2031	0.9222	0.1629	0.1773		2	2.4763	20.0998	4.4833	0.9422	0.1359	0.1636
	3	2.6942	20.0206	4.4744	0.9437	0.1666	0.0566		3	2.3902	20.9072	4.5724	0.9412	0.1362	0.0517
	4	2.7233	25.2577	5.0257	0.9316	0.1667	0.0590		4	2.3812	21.6844	4.6567	0.9413	0.1757	0.0525
	5	2.6958	20.1157	4.4851	0.9392	0.1446	0.0692		5	2.5582	20.7308	4.5531	0.9373	0.1309	0.0623
	6	2.7965	28.9236	5.3781	0.9159	0.1659	0.0596		6	2.5213	24.8378	4.9838	0.9277	0.1662	0.0668
	7	2.7623	23.9848	4.8974	0.9294	0.1620	0.0585		7	2.4347	17.9186	4.2330	0.9473	0.1259	0.0535
	8	2.6911	23.1927	4.8159	0.9305	0.1715	0.1276		8	2.4329	20.3922	4.5158	0.9389	0.1896	0.1216
	9	2.8026	23.2778	4.8247	0.9328	0.1581	0.0732		9	2.6291	27.3231	5.2271	0.9211	0.1663	0.0612
	Mean	2.7614	24.6178	4.9523	0.9289	0.1629	0.0854		Mean	2.4927	23.3230	4.8119	0.9326	0.1552	0.0885
	Std	0.0533	2.9969	0.3039	0.0082	0.0189	0.0386		Std	0.0830	4.0290	0.4109	0.0116	0.0250	0.0501

Şekil 4.15. Pycaret örnek en iyi iki model çapraz doğrulama aşama sonuçları

İstasyon bazlı tahmin modelinin geliştirilmesinde Pycaret kütüphanesi dört farklı normalizasyon metodu ile çalıştırılarak her bir kirletici için en iyi sonuç veren ilk üç regresyon modelinin hangileri olduğu belirlenmiştir. Aksaray istasyonu için tüm kirleticilerde elde edilen en iyi üç modele ilişkin örnek ekran görüntüsüne Şekil 4.16'da, tüm istasyonlarda elde edilen sonuçlara ise Ek-2'de yer verilmiştir.

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134032	HKI	RF	2.7602	24.4207	4.9327	0.9295	0.1626	0.0837	72.208	maxabs
134032	HKI	EXT	2.4889	23.1609	4.7933	0.9331	0.1543	0.0878	37.833	zscore
134032	HKI	DT	3.5734	48.6420	6.9573	0.8594	0.1708	0.0969	1.774	minmax
134032	PM10	EXT	6.0368	95.3860	9.7468	0.8571	0.2098	0.1679	43.315	minmax
134032	PM10	RF	6.1878	97.9717	9.8811	0.8535	0.2132	0.1732	74.905	minmax
134032	PM10	CB	7.4319	125.3752	11.1869	0.8123	0.2514	0.2119	31.402	maxabs
134032	CO	EXT	91.2345	27190.2506	164.4284	0.7446	0.2593	0.1971	50.715	zscore
134032	CO	RF	98.6848	29707.5396	171.9337	0.7206	0.2798	0.2195	93.881	zscore
134032	CO	CB	104.7522	28775.9515	169.2158	0.7293	0.2896	0.2346	33.220	zscore
134032	O3	EXT	3.9858	54.6886	7.3664	0.7603	0.3726	0.3938	46.199	robust
134032	O3	RF	4.2497	55.0857	7.4000	0.7582	0.4041	0.4600	84.805	robust
134032	O3	DT	5.5756	104.1051	10.1662	0.5425	0.5114	0.4978	1.306	maxabs
134032	NO2	EXT	7.1991	132.9089	11.5058	0.8883	0.1589	0.1084	41.607	zscore
134032	NO2	RF	7.7790	147.9185	12.1287	0.8760	0.1684	0.1183	91.866	minmax
134032	NO2	CB	8.9246	164.7474	12.8171	0.8615	0.1792	0.1333	31.460	maxabs
134032	SO2	EXT	0.5130	0.7869	0.8856	0.8553	0.1646	0.1800	38.668	maxabs
134032	SO2	RF	0.5416	0.8657	0.9293	0.8408	0.1720	0.1937	73.912	robust
134032	SO2	DT	0.7227	1.6213	1.2724	0.7009	0.2329	0.2385	1.131	zscore

Şekil 4.16. Pycaret örnek model seçim sonucu

Pycaret kütüphanesi ile en iyi olarak belirlenen modellerin en başarılı sonuç vermesini sağlayacak hiperparametrelerin neler olduğunun belirlenebilmesi için Hyperopt kütüphanesinden faydalanılmıştır. Hyperopt kütüphanesi ile hiperparametre optimizasyonu yapılmasının ardından en düşük MAPE değerine sahip olan model hiperparametre kombinasyonu en iyi model olarak belirlenmiştir. Aksaray istasyonu için elde edilen örnek sonuçlara Şekil 4.17'de, tüm istasyonlarda elde edilen sonuçlara ise Ek-2'de yer verilmiştir.

Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Istasyon	Kirletici
RF	9.344947	155.762236	12.470012	0.762175	0.252787	0.190281	60.078140	134032	CO
RF	1.571740	4.747431	2.177503	0.934925	0.139563	0.076201	78.465090	134032	HKI
EXT	2.651265	11.570337	3.395224	0.887848	0.153329	0.106086	122.339616	134032	NO2
RF	1.977264	7.126389	2.666024	0.780073	0.367489	0.385577	134.901005	134032	O3
RF	2.398903	9.360439	3.057985	0.860294	0.203674	0.161433	76.828048	134032	PM10
RF	0.711020	0.905523	0.951030	0.853516	0.161827	0.175383	134.052834	134032	SO2

Şekil 4.17. Hyperopt örnek optimizasyon sonucu

Çalışma kapsamında yer alan tüm istasyonlar için benzer şekilde optimizasyon işleminin gerçekleştirilmesinin ardından tüm istasyonlar için geçerli olacak tek bir model-hiperparametre konfigürasyonu belirlenip belirlenemeyeceğinin kontrolü yapılmıştır. Bu amaçla Şekil 4.18’de örnek ekran görüntüsüne yer verilen sonuçlar içerisindeki en düşük MAPE değerine sahip model-hiperparametre konfigürasyonu ile oluşturulan model tüm istasyonlarda test edilmiştir.

Istasyon: 134036

Model: RandomForestRegressor(bootstrap=False, max_features=0.44676298039954965, n_estimators=59, n_jobs=1, random_state=0, verbose=False)

Normalizasyon: MinMaxScaler(feature_range=(-1.0, 1.0))

	Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	MAPE	TT (Sec)
110	134036	HKI	RF	1.131420	2.982411	1.725361	0.987126	0.025063	32.150445
108	134035	HKI	RF	1.515204	5.936278	2.432425	0.972952	0.033164	35.503153
112	134037	HKI	EXT	1.308698	4.227000	2.049221	0.985678	0.034208	12.073777
167	134042	HKI	EXT	1.097781	3.065576	1.748827	0.985168	0.034398	23.658058
63	134008	HKI	EXT	1.281878	3.762474	1.934757	0.969910	0.034892	20.783145
20	134005	HKI	EXT	1.016957	2.363844	1.536406	0.966071	0.035015	88.696686
77	134010	HKI	EXT	1.310514	3.787620	1.944526	0.960761	0.037786	141.620824
53	134007	HKI	RF	1.280063	3.352329	1.828590	0.963590	0.038005	34.845383
119	134016	HKI	RF	1.185458	2.956393	1.716059	0.942615	0.038121	49.646954
173	134043	HKI	EXT	1.180830	2.670817	1.632598	0.975330	0.041728	114.641390

Şekil 4.18. Model seçimi

Oluşturulan genel modeller ile istasyon bazında tahmin yapılarak, yapılan tahminler istasyonlardaki mevcut veriler aracılığı ile doğrulamaya tabi tutulmuştur. Aksaray istasyonu için elde edilen örnek sonuç görüntüsüne Şekil 4.19’da, tüm istasyonlarda elde edilen sonuçlara ise Ek-3’te yer verilmiştir.

Kirletici	R2	MSE	RMSE	RMSLE	MAE	MAPE
HKİ	0.991537	2.930525	1.711878	0.058169	0.422198	0.009421
PM10	0.979688	13.424073	3.663888	0.087404	1.059191	0.030944
CO	0.960260	4213.211113	64.909253	0.107775	16.107831	0.035784
O3	0.959581	9.349412	3.057681	0.154622	0.741033	0.069833
NO2	0.978231	26.159719	5.114657	0.059570	1.290218	0.017684
SO2	0.970701	0.162460	0.403063	0.067918	0.095917	0.032116

Şekil 4.19. İstasyon tahmin modeli doğrulama sonuçları

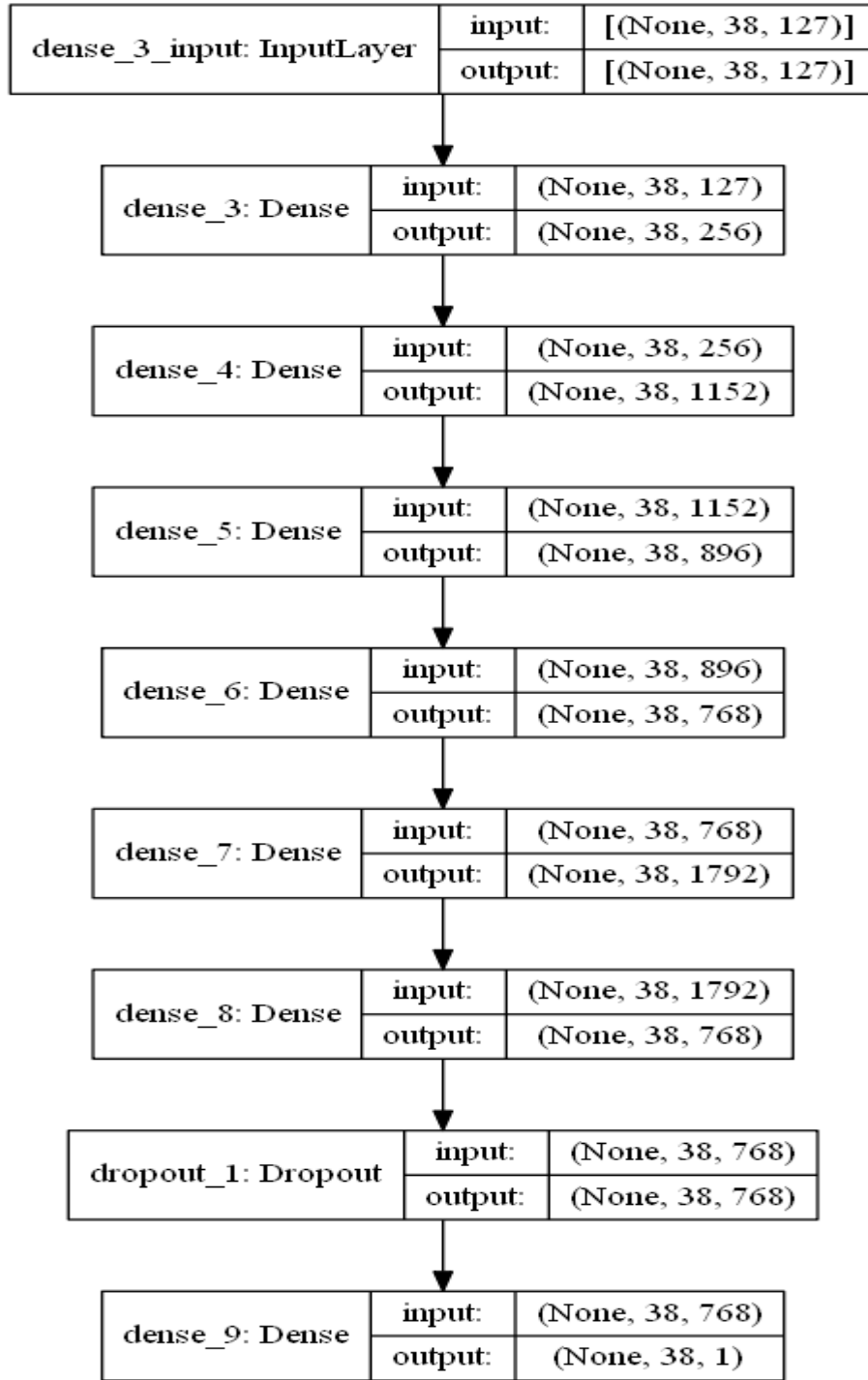
4.3. Genel Tahmin Modeli Bulguları

Genel tahmin modelinin geliştirme aşamaları Colab ortamında GPU üzerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.20’de HKİ için oluşturulan modelde en iyi skor değerine sahip olan Hyperband algoritması ile elde edilen sonucun özetine yer verilmiştir.

```
Showing 10 best trials
<keras_tuner.engine.objective.Objective object at 0x7f689db757d0>
Trial summary
Hyperparameters:
num_layers: 6
units_0: 256
units_1: 1152
dropout_1: 0.36137202652640205
learning_rate: 0.001
units_2: 896
units_3: 768
units_4: 1792
units_5: 768
units_6: 1408
units_7: 384
dropout_7: 0.11177966071096174
units_8: 512
units_9: 640
units_10: 1664
units_11: 1664
units_12: 1664
units_13: 768
units_14: 896
units_15: 896
units_16: 384
units_17: 640
units_18: 640
dropout_18: 0.4019652032485145
dropout_15: 0.011685648697950912
dropout_13: 0.0760254381244479
dropout_10: 0.2629100329925133
dropout_8: 0.25465751085635574
dropout_16: 0.3050174162327755
dropout_11: 0.2517525489533304
dropout_14: 0.1455690685361905
dropout_5: 0.2926264081817923
tuner/epochs: 10
tuner/initial_epoch: 0
tuner/bracket: 0
tuner/round: 0
Score: 0.04362024366855621
```

Şekil 4.20. Hyperband sonuçları

Hyperband ile elde edilen sonuçlarla HKİ için oluşturulan model detaylarına Şekil 4.21’de, diğer kirleticiler için oluşturulan model detaylarına ise EK-4’te yer verilmiştir.



Şekil 4.21. HKİ genel modeli

Oluşturulan HKİ genel modelinin istasyon bazında doğrulama sonuçlarına Şekil 4.22’de, diğer kirleticilerin sonuçlarına ise Ek 4’te yer verilmiştir.

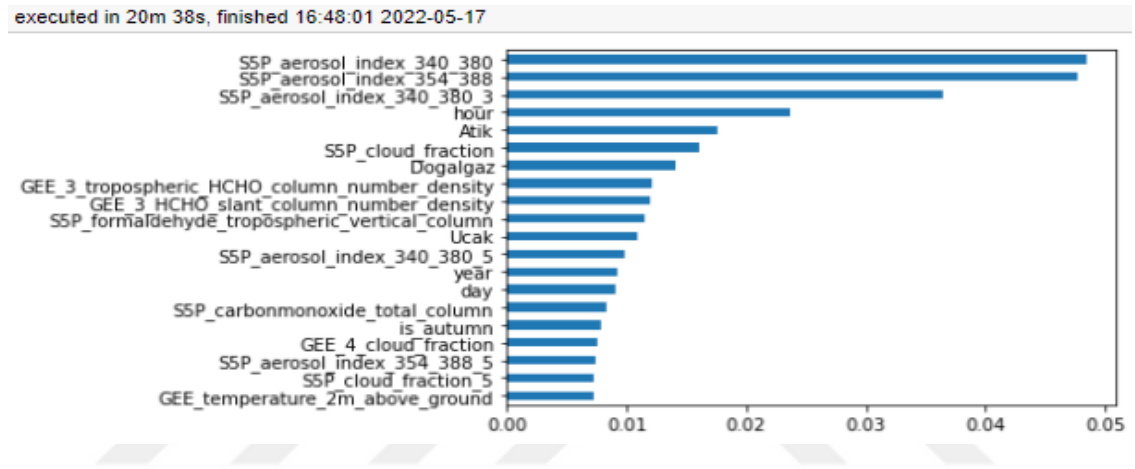
Istasyon	Kirletici	R2	MAPE	MSE	RMSE	MAE
134000	HKI	0.852701	0.126390	26.638836	5.161283	26.638836
134001	HKI	0.851488	0.103547	31.399305	5.603509	31.399305
134002	HKI	0.905437	0.092552	20.392807	4.515840	20.392807
134003	HKI	0.967017	0.054265	5.253490	2.292049	5.253490
134005	HKI	0.713353	0.140214	47.357925	6.881710	47.357925
134006	HKI	0.985073	0.057310	10.228960	3.198275	10.228960
134007	HKI	0.964016	0.046199	11.110974	3.333313	11.110974
134008	HKI	0.974400	0.043699	12.112174	3.480255	12.112174
134009	HKI	0.887362	0.085752	28.936844	5.379298	28.936844
134010	HKI	0.957052	0.050257	15.479163	3.934357	15.479163
134011	HKI	0.977041	0.050260	13.306652	3.647828	13.306652
134012	HKI	0.916398	0.077132	32.604603	5.710044	32.604603
134013	HKI	0.943187	0.098903	27.763292	5.269088	27.763292
134014	HKI	0.958360	0.063883	21.758310	4.664580	21.758310
134015	HKI	0.946208	0.054362	13.312446	3.648623	13.312446
134016	HKI	0.956453	0.043856	6.407808	2.531365	6.407808
134017	HKI	0.979283	0.055382	6.742604	2.596652	6.742604
134018	HKI	0.717843	0.195632	28.158876	5.306494	28.158876
134019	HKI	0.971002	0.070488	23.238888	4.820673	23.238888
134020	HKI	0.982545	0.079013	19.846289	4.454917	19.846289
134021	HKI	0.899985	0.155744	16.389456	4.048389	16.389456
134024	HKI	0.899582	0.105888	37.986470	6.163316	37.986470
134025	HKI	0.971786	0.064639	11.081720	3.328922	11.081720
134026	HKI	0.980564	0.095753	17.744387	4.212408	17.744387
134027	HKI	0.966606	0.092799	10.109180	3.179494	10.109180
134028	HKI	0.966673	0.096310	6.517522	2.552944	6.517522
134029	HKI	0.971712	0.065820	14.069058	3.750874	14.069058
134030	HKI	0.939026	0.071197	11.360003	3.370460	11.360003
134031	HKI	0.971984	0.058178	8.764958	2.960567	8.764958
134032	HKI	0.947652	0.069047	17.870960	4.227406	17.870960
134033	HKI	0.964393	0.071522	14.716255	3.836177	14.716255
134035	HKI	0.977080	0.045082	29.724367	5.452006	29.724367
134036	HKI	0.964017	0.045087	24.855600	4.985539	24.855600
134037	HKI	0.952116	0.091730	60.967815	7.808189	60.967815
134041	HKI	0.977000	0.051169	9.372988	3.061533	9.372988
134042	HKI	0.987005	0.046649	8.366290	2.892454	8.366290
134043	HKI	0.976818	0.048238	6.628341	2.574557	6.628341
134044	HKI	0.975120	0.064136	13.437737	3.665752	13.437737

Şekil 4.22. HKİ genel model doğrulama sonuçları

4.4. Özniteliklerin Sonuca Katkısını Ölçmeye İlişkin Bulgular

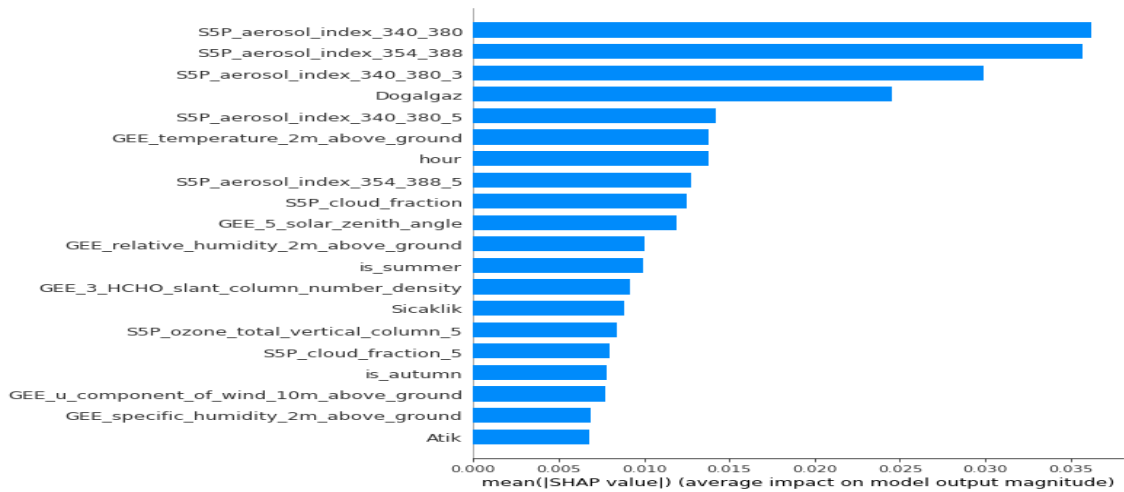
Öznitelik önem ölçümü, Colab ortamındaki oturum süre kısıtlamalarından ötürü 32 GB ram, i7-10700 cpu @2.90GHz, 8 core ve 64 bit Windows 10 işletim sistemine sahip kişisel bir bilgisayar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Öznitelik önem ölçümü Aksaray örnek istasyonu üzerinden değerlendirilmiştir.

Genel tahmin modeli öncelikle permütasyon önemi yöntemi ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuç önem sıralamasına göre sıralanarak en yüksek 20 özneliğe Şekil 4.23'te, tüm özneliklere ilişkin sonuca ise Ek-5'te yer verilmiştir.



Şekil 4.23. HKİ genel model permütasyon önemi en yüksek 20 parametre

Genel tahmin modeli ikinci olarak SHAP yöntemi ile analiz edilmiştir. Elde edilen sonuç önem sıralamasına göre sıralanarak en yüksek 20 özneliğe Şekil 4.24'te, tüm özneliklere Ek-5'te, en yüksek 20 özneliğin dağılımına Şekil 4.25'te tüm özneliklerin dağılımına ise Ek-5'te yer verilmiştir.

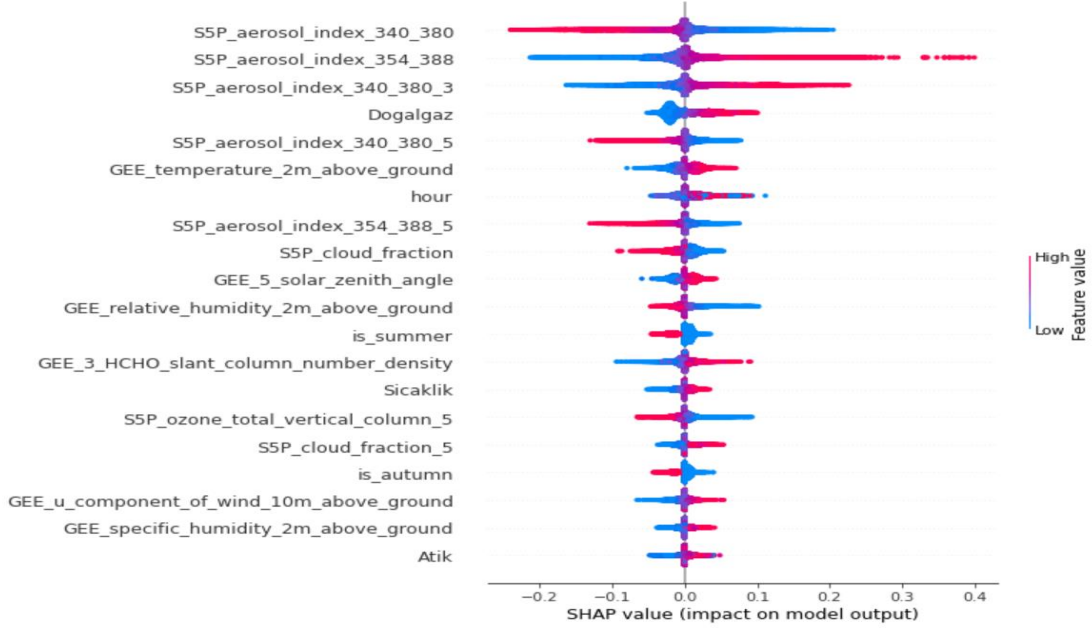


Şekil 4.24. HKİ genel model SHAP değeri en yüksek 20 parametre

executed in 1d 6h 27m, finished 19:07:04 2022-05-02

100%

31464/31464 [30:27:31<00:00, 3.45s/it]



Şekil 4.25. HKİ genel model SHAP değeri en yüksek 20 parametre dağılımı

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde genel tahmin modelinde permütasyon önemi algoritmasının bir istasyon için yaklaşık 20 dakikada sonuç verdiği, SHAP algoritmasının ise 30 saat civarında bir işlem süresine sahip olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçların ise her iki yöntem için birbirine benzer olduğu tespit edilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuç

Hava, hem insanlar hem de diğer canlılar için önemi büyük yaşam kaynaklarından biridir. Modern yaşamla birlikte artan sanayileşme oranı, nüfus artışı, kentleşme ve motorlu taşıt kullanımının artması gibi unsurlar hava kirleticilerinde artışa yol açarak hava kalitesini kötüleştirmektedir. Kötüleşen hava kalitesi de insan sağlığı, iklim, ozon tabakası, yaban hayatı ve bitki örtüsü gibi farklı unsurlar üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Halk sağlığı ve çevrenin korunması adına hava kirliliğinin modellenebilmesi ve kirletici maddelerin konsantrasyonlarının doğru bir biçimde tahmin edilebilmesi, hava kalitesinin artırılması ve gerekli önlemlerin alınmasında etkilidir. Bu noktadan hareketle hava kirliliğine etki eden faktörlerin belirlenmesi ve hava kalitesinin tahmini oldukça önemlidir.

Ülkemizde her on ilden birinde yetersiz hava kalitesi ölçümü yapılmaktadır. İl bazında bakıldığında ise özellikle büyük şehirlerde nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu bazı ilçelerde hava kalitesi ölçüm istasyonu yer almadığı görülmektedir. 39 ilçeye sahip İstanbul ilinde Ocak 2022 tarihi itibarı ile 38 adet HKÖİ şehrin 24 ilçesinde yer almaktadır. Bu tarih itibarı ile Ataşehir, Bakırköy, Bayrampaşa, Beykoz, Beylikdüzü, Beyoğlu, Büyükçekmece, Çatalca, Çekmeköy, Gaziosmanpaşa, Güngören, Küçükçekmece, Maltepe, Pendik ve Zeytinburnu olmak üzere 15 ilçede HKÖİ bulunmamaktadır. 1 Nisan 2022 tarihi itibarıyla, Beylikdüzü (Kentsel) istasyonu kurulmuş olup il genelinde istasyon bulunmayan ilçe sayısı 14'e inmiştir. Çalışma kapsamında verileri kullanılan 38 istasyonun 15'inde CO, 11'inde O₃ ve SO₂, 5'inde NO₂ ve bir tanesinde PM₁₀ kirleticisi ölçülmemektedir. Çalışmada 28.06.2018 ve 28.01.2022 tarih aralığı kullanılmıştır. Bu tarih aralığında yer alan 31464 gün içerisinde verisi ölçülen kirleticilerde CO % 48.9, O₃ % 40.9, SO₂ %36.9, NO₂ %23.9 ve PM₁₀ %10.9'luk bir eksik veri içermektedir. Bu soruna çözüm getirebilmek adına bu çalışmada, kirleticiler ve HKİ tahmininde büyük veri kullanılması önerilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan büyük veri içerisinde özellikle hava kalitesinin ölçülmesine katkı sağlamak amacıyla özelleştirilmiş donanımlara sahip uydu verilerinin kullanılmasıyla yetersiz ölçüm yapılan bölgeler için doğruluk oranı yüksek bir şekilde hava kalitesi tahmini yapılabileceği öngörülmüştür. Çalışma kapsamında büyük veri kaynağı olarak uydu verilerinin yanı sıra literatürdeki çalışmalarda hava kalitesi üzerinde etkili olduğu belirtilen meteoroloji,

trafik, yangın, atık, yeşil alan ve nüfus gibi çeşitli verilere yer verilmiştir. Yapılan korelasyon analizleri sonucunda tahmin edilmek istenen kirleticiler ile arasında ilişki bulunmadığı tespit edilen park sayısı, 1 km uzaklıktaki park sayısı, ortalama hane halkı, ortalama gelir, gayrisihhi müessese sayısı, akaryakıt istasyon sayısı, 1 km uzaklıktaki akaryakıt istasyon sayısı, nüfus ve hayvan sayıları alanları veri setinden çıkarılmıştır.

Çalışma kapsamında kullanılan HKÖİ veri setindeki eksik veri oranının yüksek olmasından ötürü eksik verilerin doldurulması amacıyla her bir kirletici için istasyon bazında tahmin modeli geliştirilmiştir. İstasyon bazında kirletici tahmin modelleri geliştirilirken insan kaynaklı hataların en düşük seviyeye indirgenerek en optimal modelin geliştirilebilmesi amacıyla açık kaynaklı AutoML kütüphaneleri kullanılmıştır. İlk olarak pycaret kütüphanesi ile 12 farklı model 10 kat çapraz doğrulama işlemine tabi tutularak belirlenen değerlendirme metrikleri üzerinden karşılaştırılmıştır. Belirlenen gösterge metriklerden model uyumuna ilişkin bilgi veren R^2 değeri 1'e en yakın, modelin hata yüzdesine ilişkin bilgi veren MAPE değeri ise 0'a en yakın olan ilk üç model en iyi modeller olarak seçilmiştir. Kirleticiler için seçilen en iyi üç model arasında EXT 185, RF 183, CB 65, DT 64, KNN ise 58 kez yer almış, diğer modeller ise en iyi ilk üç model arasında hiç yer almamıştır. Pycaret kütüphanesi ile karşılaştırma yapılırken dört farklı normalizasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemler karşılaştırıldığında ise genellikle birbirine yakın model skorları elde edildiği görülmüştür.

Seçilen üç modelin en optimal sonuç vermesini sağlayacak hiperparametrelerin neler olduğunun belirlenmesi için daha sonra hyperopt kütüphanesinden faydalanılmıştır. Hyperopt kütüphanesi kullanılırken farklı normalizasyon yöntemlerinin karşılaştırmasına imkan veren any_preprocessing özelliğinin kullanılmasıyla farklı ön işleme tekniklerinin otomatik olarak karşılaştırılabilmesi sağlanmıştır. Hyperopt kütüphanesi aracılığı ile en düşük MAPE, en yüksek R^2 değerine sahip model ise o istasyon için nihai en iyi model olarak seçilmiştir. Örneğin HKİ için yapılan karşılaştırmada 134036 numaralı istasyon için Random Forest ile oluşturulan model-hiperparametre kombinasyonu, 0.987126 R^2 ve 0.025063 MAPE değeri ile istasyon bazında en iyi HKİ modeli olarak belirlenmiştir. Bu model skoru HKİ için tüm istasyonlar içerisinde elde edilen en iyi değer olarak belirlenmiştir. Daha sonra elde edilen en iyi model-hiperparametre kombinasyonunun tüm istasyonlar için genellenip genellenemeyeceğine ilişkin kontrol yapılmıştır. Tüm kirleticiler için benzer şekilde belirlenen en iyi model-hiperparametre kombinasyonları

tüm istasyonlar için kontrol edilerek istasyon bazında nihai kirletici modelleri oluşturulmuştur.

İstasyon bazlı genel kirletici modelleri ile eksik verilerin doldurulmasının ardından tüm istasyonlar için geçerli olacak genel kirletici modelleri geliştirilmiştir. Genel kirletici modellerinin geliştirilmesinde yapay sinir ağları kullanılmıştır. En optimal modelin geliştirilebilmesi amacıyla istasyon bazlı modeldeki ile benzer şekilde AutoML kütüphanelerinden faydalanılmıştır. Hyperband, RandomSearch ve BayesianOptimization algoritmaları ile en iyi model-hiperparametre kombinasyonlarının belirlenmesinin ardından oluşturulan genel kirletici modelleri istasyonların mevcut verileri ile doğrulanmıştır.

Çalışmada aynı zamanda hava kalitesine etki eden faktörlerin belirlenebilmesi amacıyla geliştirilen HKİ modelinde kullanılan özniteliklerin model sonucuna etkisi incelenmiştir. Yapılan analize göre HKİ tahmini için doğalgaz ve elektrik kullanım miktarı, saat, gün ve mevsim gibi ölçüm zamanına ilişkin özellikler, hava sıcaklığı, rüzgâr hızı, bulutluluk oranı ve nem gibi meteorolojik özellikler, atık miktarı, uçak ve araç trafiği gibi değişkenlerin model sonucuna etkisi fazla olan değişkenler olduğu, yangın sayısına ilişkin değişkenlerin ise model sonucuna etkisi az en az olan değişkenler olduğu görülmüştür.

5.2. Öneriler

Hava kalitesine etki eden hava kirleticilerinin ölçüldüğü istasyon sayısının artırılması ve yapılan ölçümlerdeki eksik veri oranının düşürülmesinin hava kalitesi tahmini için gerçekleştirilen modellerin doğruluk oranının arttırılmasında katkısı büyüktür. Ölçüm yapılan istasyon sayısı arttırılırken mevcut istasyonlarda ölçüm oranı düşük olan CO, O₃ ve SO₂ gibi kirleticileri ölçen istasyon sayısının arttırılması da önemlidir.

Hava kalitesini ölçen istasyonların aynı zamanda hava kalitesine etki eden faktörlerin belirlenebilmesi açısından da önemi bulunmaktadır. Hava kalitesi ölçümlerinin şehirlerde yaşanan gelişmelere ayak uyduracak şekilde yapılması hava kalitesine etki eden faktörlerin belirlenebilmesini kolaylaştırmaktadır. Örneğin çalışma kapsamında uçak ve araç trafiğinin hava kalitesi üzerinde etkisi olduğu saptanmıştır. İstanbul ilinde yer alan Atatürk Havalimanı'ndan yapılan uçuşların yeni açılan İstanbul

Havalimanı'na aktarılması ile birlikte her iki bölgede yapılacak ölçümler hava kalitesinde yaşanan değişimlerin ortaya konulmasına katkı sağlayacaktır.

İstanbul ilinde çalışma yapılan tarih aralığında herhangi bir mobil istasyon verisi bulunmamaktadır. Kentin farklı noktalarını dolaşarak veri sağlayacak mobil istasyonlar, uydu verilerine dayalı genel tahmin modeline katkı sağlayarak, fiziksel olarak istasyon bulunmayan yerlerde de etkili bir hava kalitesi tahmini yapılabilmesini kolaylaştıracaktır. Bu amacı gerçekleştirmeye yönelik olarak, şehri gün içerisinde dolaşan toplu taşıma araçları üzerine yerleştirilecek sensörler aracılığıyla kirletici ölçümlerinin gerçekleştirilmesi bu noktada alternatif bir çözüm oluşturabilir.

Çalışma alanı Türkiye genelini kapsayacak şekilde genişletilerek, şehirler ve bölgeler arasındaki hava kalitesi benzerlik ve farklılıkların ortaya konulabilmesi sağlanabilir. Aynı zamanda bu şekilde gerçekleştirilecek bir çalışmanın ülke genelinin hava kalitesinin değerlendirilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Sentinel-5P, hava kirleticilerinin izlenebilmesi amacıyla özelleştirilmiş donanımlara sahip bir uydu olmasından ötürü çalışmada tercih edilmiştir. Hava kirleticileri ile ilgili benzer ölçümler yapan farklı uydulardan elde edilecek parametrelerin kullanımı model başarımını arttıracaktır. Model başarımını arttırmak amacıyla aynı zamanda model geliştirilirken LSTM, GRU gibi hafıza bileşeni içeren yöntemler kullanılabilir.

Yaşanan COVID-19 salgını ile birlikte sokağa çıkma yasaklarının uygulandığı günlerde hava kalitesinde iyileşmeler görülmesine rağmen bu etkinin kalıcılık gösteremediği görülmüştür. Trafikteki araç sayısı yapılan değerlendirme sonuçlarına göre hava kalitesine eden değişkenler arasında yer almaktadır. Sokağa çıkma yasaklarının uygulandığı günlerde trafikteki araç sayısında önemli ölçüde düşüş gözlenmiştir. Hava kalitesine negatif yönde etkisi olan trafikten kaynaklı kirliliğin araçların egzoz emisyonlarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Günümüzde fosil yakıtlı araçlardan elektrikli araçlara geçiş ile birlikte trafikteki araçlardan kaynaklanan etkinin nasıl değiştiğinin ortaya konulabilmesi hava kalitesinde salgın ile görülen geçici etkinin aksine kalıcı bir iyileşme elde edilebilmesine katkı sağlayabilir. Buna ek olarak bisiklet yollarının bulunduğu yerler için de benzer bir inceleme gerçekleştirilebilir.

Çalışmada yapılan değerlendirme sonuçlarına göre hava kalitesi üzerinde etkisi olan diğer bir faktör de ısınmadan kaynaklı yakıtlardır. İl genelinde güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının teşvik edilerek tüketilen doğalgaz ve elektrik miktarının azaltılmasının hava kalitesinde iyileşme sağlayacağı düşünülmektedir.



KAYNAKÇA

- Akarsu, T. (2021). *Erzurum'da doğal gaz kullanımının hava kalitesine etkisinin incelenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Erzurum: Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aksu, G. ve Güzeller, C. (2019). Büyük veri: sosyal bilimler ile eğitim bilimlerinde kullanımı ve uygulama alanları. *Mediterranean Journal of Humanities*, IX (1), 13-26.
- Aktan, E. (2018). Büyük veri: uygulama alanları, analitiği ve güvenlik boyutu. *Bilgi Yönetimi Dergisi*, 1 (1), 1-22.
- Aljahdali, M., Alhassan, A. ve Albeladi, M. (2021). Impact of novel coronavirus disease (covid-19) lockdown on ambient air quality of Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28 (2), 1356-1364.
- Alparslan, H. T. (2017). *Erzurum ili hava kalitesinin değerlendirilmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Erzurum: Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Altun, S. ve Talu, M. (2021). Derin sinir ağları için hiperparametre metodlarının ve kitlerinin incelenmesi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 12 (2), 187-199.
- Altunok, A. (2019). *2015-2017 yılları arasında Trakya'da partiküler madde kirliliği ve mortalite ilişkisinin değerlendirilmesi*. Tıpta Uzmanlık Tezi. Edirne: Trakya Üniversitesi, Tıp Fakültesi.
- Apte, J.S., Messier, K. P., Gani, S., Brauer, M., Kirchstetter, T. W., Lunden, M. M., Marshall, J. D., Portier, C. J., Vermeulen, R. C. H., Hamburg, S. P. (2017). High-resolution air pollution mapping with Google street view cars:exploiting big data. *Environmental Science&Technology*, 51 (12), 6999-7008.
- Ateş, E. ve Güran, A. (2021). Twitter iletileri duygu değerleri ve BİST 30 endeksi günlük değer değişimlerinin Pearson korelasyonu ve Granger nedensellik analizi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36 (3), 1687-1701.

- Atlan, F., Hançer, E. ve Pençe, İ. (2020). U-Net ile çekirdek segmentasyonunda hiper parametre optimizasyonu etkisinin değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 60-69.
- Avrupa Çevre Ajansı. (2020). *Aça İşaretler 2020, Avrupa'da sıfır kirliliğe doğru*. <https://www.eea.europa.eu/tr/publications/aca-isaretler-2020-avrupa2019da-sifir> (Erişim tarihi: 11.06.2022).
- Aydın, N. ve Yetişkul, E. (2021). Sokağa çıkma yasaklarının kentlerin hava kalitesi üzerindeki etkisi, İzmir örneği. *idealkent*, (Özel Sayı), 389-414.
- Aydoğan, M. (2019). *Büyük veride derin öğrenme algoritmaları kullanılarak metin analizinin gerçekleştirilmesi*. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Malatya: İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aykaç, N., Bostan, P., Olcay, S. S., Öztürk, B. (2021). COVID-19 pandemisinin etkisiyle birlikte İstanbul'da son beş yılın hava kirliliği değerlendirilmesi. *İzmir Göğüs Hastanesi Dergisi*, 35 (3), 113-124.
- Aysu, A., İlgin, M. ve Çobanoğulları, G. (2020). Hizmet türleri itibarıyla kamu harcamalarının hava kalitesi üzerindeki etkisi: AB ülkelerine yönelik panel veri analizi. *Maliye Dergisi*, Temmuz-Aralık 2020; 179: 118-139.
- Aytaç, Z. (2021). *Büyük veri eğitimi ihtiyacının farkındalığına yönelik Ankara ilinde bir araştırma*. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü.
- Azgın, Ş. T., Kekeçoğlu, N. ve Yamaç, E. (2021). Evaluation of the air quality and CO2-equivalent change of Kayseri during the Covid-19 outbreak. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1), 9-15.
- Bacak, T. N. ve Toros, H. (2020). Impact of the COVID-19 Event on PM10 Air Pollution in Istanbul and Ankara. *Journal of Research in Atmospheric Science*, 3 (1), 1-7.
- Baldasano, J. M. (2020). COVID-19 lockdown effects on air quality by NO2 in the cities of Barcelona and Madrid (Spain). *Science of the Total Environment*, 741, 140353.

- Baş, B. (2019). *Giresun ili hava kalitesinin meteorolojik parametrelerle zamansal değerlendirilmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Erzurum: Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Başaran, N. (2021). *Orman alanları değişimlerinin Google earth engine ile incelenmesi: Akdeniz Bölgesi örneği*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir: Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Baysan, C. ve Yavaş, S. P. (2020). COVID-19 ve hava kirliliği; karantina boyunca ne oldu? *ESTÜDAM Halk Sağlığı Dergisi*, 5, 35-46.
- Beşikçi, E. B. (2015). *Gemi sefer yönetiminde enerji verimliliğinin optimizasyonu*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bilgin, M. ve Toros, H. (2020). Relationship between air pollution and COVID-19 measures in İzmir, Turkey. *Journal of Research in Atmospheric Science*, 2 (2), 41-45.
- Bişkin, O. T. ve Çifci, A. (2021). LSTM ve GRU ağları kullanılarak Türkiye'nin elektrik enerjisi tüketiminin tahmin edilmesi. *BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 8 (2), 656-667.
- Bové, H., Bongaerts, E., Slenders, E., Bijmens, E. M., Saenen, N. D., Gyselaers, W., Van Eyken, P., Plusquin, M., Roeffaers, M. B. J., Ameloot, M., Nawrot T. S. (2019). Ambient black carbon particles reach the fetal side of human placenta. *Nature Communications*, 10 (1), 1-7.
- Broomandi, P., Karaca, F., Nikfal, A., Jahanbakhshi, A., Tamjidi, M., Kim, J. R. (2020). Impact of COVID-19 event on the air quality in Iran. *Aerosol and Air Quality Research*, 20(8), 1793-1804.
- Bulut, G. (2018). Açık ve uzaktan öğrenmede şans başarısı: Klasik test kuramı (ktk) ve madde tepki kurama (mtk) temelinde karşılaştırmalı bir analiz. *Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi (AUAd)*, 4 (1), 78-93.
- Büyükakıncı, Y. B. (2010). Hava kirliliğinin tarihi eserlere etkisi ve alınması gereken önlemler. *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 19 (2010), 47-52.

- Ceylan, E. (2019). *Tarım ve hayvancılık kaynaklı metan emisyonlarının TROPOMI metan ölçümleri ile incelenmesi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Chen, S., Kan, G., Li, J., Liang, K., Hong, Y. (2018). Investigating China's urban air quality using big data, information theory, and machine learning. *Polish Journal of Environmental Studies*, 27 (2), 565-578.
- Chen, Z., Hao, X., Zhang, X., Chen, F. (2021). Have traffic restrictions improved air quality? A shock from COVID-19. *Journal of Cleaner Production*, 279, 1-14.
- Cüce, H. ve Uğur, O. (2021). Nevşehir ilinde karayolu ulaşımından kaynaklanan sera gazı emisyonlarının COVID-19 salgını başlangıç döneminde değerlendirilmesi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 11 (1), 118-134.
- Çağlayan, Ç. ve Ayta, S. (2022). *Çevre, İklim ve Sağlık için İşbirliği Projesi, Bilgi Notu: Hava Kirliliğinin Sağlık Etkileri*. https://www.env-health.org/wp-content/uploads/2022/03/Hava_Kirliligi_Bilgi_Notu.pdf (Erişim tarihi: 11.06.2022).
- Çelik, C. ve Yelkikalan, N. (2021). Makine öğrenme yöntemlerinin depo yönetim süreçlerinde uygulanması: Azure ML Studio örneği. *Journal of Yasar University*, 16 (62), 659-682.
- ÇŞİDB. (2022). *Hava Kalitesi İndeksi*. <https://sim.csb.gov.tr/Home/HKI?baslik=HAVZA%20%C4%B0ZLEME%20%C4%B0STEM%C4%B0> (Erişim tarihi: 11.06.2022).
- Dantas, G., Siciliano, B., França, B. B., da Silva, C. M., Arbilla, G. (2020). The impact of COVID-19 partial lockdown on the air quality of the city of Rio de Janeiro, Brazil. *Science of the total environment*, 729, 139085.
- Doğan, C. (2021). *İstatistiksel ve makine öğrenme ile derin sinir ağlarında hiper-parametre seçimi için melez yaklaşım*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dündar, E., Dursun, Ş. ve Toros, H. (2020). Air Pollution in Ankara During COVID-19. *Journal of Research in Atmospheric Science*, 2(1).

- Ekşioğlu, I. (2020). *Toplu öğrenme ile ilaç kombinasyonlarının sinerji skor tahmini*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Ankara: TOBB Ekonomi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Engin, F. (2022). *Ekosistem servisleri çerçevesinde kentsel açık yeşil alanların hava kalitesine etkilerinin belirlenmesi: Çanakkale örneği*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- ESA. (2021). *Sentinel-5P TROPOMI User Guide*. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-5p-tropomi> (Erişim tarihi: 11.06.2022).
- European Environment Agency. (2021). *Air pollution: How it affects our health*. <https://www.eea.europa.eu/themes/air/health-impacts-of-air-pollution> (Erişim tarihi: 11.06.2022).
- FIRMS. (2022). *FIRMS Frequently Asked Questions*. <https://earthdata.nasa.gov/faq/firms-faq> (Erişim tarihi: 11.06.2022).
- Ghaemi, Z., Alimohammadi, A. ve Farnaghi, M. (2018). LaSVM-based big data learning system for dynamic prediction of air pollution in Tehran. *Environmental monitoring and assessment*, 190 (5), 1-17.
- Girdhar, A., Kapur, H., Kumar, V., Kaur, M., Singh, D., Damasevicius, R. (2021). Effect of COVID-19 outbreak on urban health and environment. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 14 (3), 389-397.
- Goodfellow, I., Bengio, Y. ve Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT press.
- Günel, E. Ş. (2019). Air quality forecasting for all seasons in large geographical areas. *Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology A-Applied Sciences and Engineering*, 20 (3), 365-372.
- Güner, D. (2018). *Veri madenciliği yöntemi olarak bulanık mantık ile hava kalitesi değerlendirmesi - Ankara örneği*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği, (2008). <https://www.mevzuat.gov.tr/File/GeneratePdf?mevzuatNo=12188&mevzuatTur=KurumVeKurulusYonetmeli&mevzuatTertip=5>. (Erişim tarihi: 11.06.2022).
- Hayta, Y. ve Öner, Şerif. (2020). Çevresel Değerlere Etkileri Açısından COVID-19. *Journal of History School*, 49, 4605-4630.
- Hojamkulyyeva, A., Dursun, Ş. ve Toros, H.. (2020). Evaluation of Air Pollution in Kocaeli During COVID-19 Measures. *Journal of Research in Atmospheric Science*, 2 (2), 47-53.
- He, G., Pan, Y. ve Tanaka, T. (2020). COVID-19, city lockdowns, and air pollution: evidence from China. *medRxiv*, 1-20.
- İBB. (2021). *İstanbul Hava Kalitesi*. <https://havakalitesi.ibb.gov.tr/Icerik/istanbul-hava-kalitesi> (Erişim tarihi: 11.06.2022).
- İpek, Z. (2021). *Kayseri ili hava kirliliği kaynaklarının incelenmesi ve değerlendirilmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Kayseri: Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kaba, K. (2017). *Türkiye için güneşlenme süresinin uydu verileri ve coğrafik parametreler kullanılarak tahmin edilmesi*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Adana: Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kaloni, D., Lee, Y. H., ve Dev, S. (2022). Air quality in the New Delhi metropolis under COVID-19 lockdown. *Systems and Soft Computing*, 4, 200035.
- Kang, G. K., Gao, J. Z., Chiao, S., Lu, S., Xie, G. (2018). Air quality prediction: big data and machine learning approaches. *International Journal of Environmental Science and Development*, 9 (1), 8-16.
- Karahan, Y. (2013). *Marmara Bölgesi'nde hava kirliliği erken uyarı sistemi geliştirilmesi: Örnek bir çalışma*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karakuş, C. B. ve Yıldız, S. (2019). Hava kalite indeksi ile meteorolojik parametreler arasındaki ilişkinin çoklu regresyon yöntemi ile belirlenmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8 (2), 698-711.

- Kemeldere, N. (2015). *Karabük'te doğalgaz kullanımının hava kalitesi üzerine etkisinin araştırılması*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Karabük: Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kırmacı, H. K. (2019). *Kahramanmaraş ili için hava kalitesinin analizi ve modellenmesi*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Kayseri: Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Komer, B., Bergstra, J. ve Eliasmith, C. (2014). Hyperopt-sklearn: Automatic hyperparameter configuration for scikit-learn. *Proc. of the 13th Python in Science Conf.* Austin, Texas.
- Kök, İ., Şimşek, M. U. ve Özdemir, S. (2017). A deep learning model for air quality prediction in smart cities. *2017 IEEE International Conference on Big Data*. 1973-1980.
- Kunt, F. (2014). *Bulanık mantık ve yapay sinir ağları yöntemleri kullanılarak Konya il merkezi hava kirliliği modellenmesi*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Konya: Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Le, D., Bui, C. ve Cha, S. K. (2018). Real-time air pollution prediction model based on spatiotemporal big data. *ArXiv preprint arXiv:1805*.
- Li, C., Chen, Y. ve Shang, Y. (2022). A review of industrial big data for decision making in intelligent manufacturing. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 29, 1-13.
- Lundberg, S., Erion, G. ve Lee, S. I. (2019). Consistent individualized feature attribution for tree ensembles. *arXiv:1802.03888v3*, 1-9.
- Mahato, S., Pal, S., ve Ghosh, K. G. (2020). Effect of lockdown amid COVID-19 pandemic on air quality of the megacity Delhi, India. *Science of the total environment*, 730, 139086.
- Metin, S. (2021). Kripto para fiyatlarının regresyon analizi yöntemleri ile tahmini: Bitcoin, Ethereum ve Ripple. 2. *Uluslararası Sosyal Bilimler Ve İnovasyon Kongresi*. Ankara.

- Mutlu, A. (2019). Hava kalitesi ve meteoroloji: Korelasyon, trend ve epizot analizleri. *GÜFBED*, 9 (4), 724-741.
- Nakada, L. ve Urban, R. (2020). COVID-19 pandemic: Impacts on the air quality during the partial lockdown in São Paulo State, Brazil. *Science of the Total Environment*, 730 (2020), 139087.
- Odat, S., Abu-Allaban, M. ve AL-Trawneh, B. (2018). Study on the impact of weather on air quality at Aqaba. *Nature Environment and Pollution Technology*, 17 (2), 359-366.
- Oğuz, K. (2020). Nevşehir ilinde hava kalitesinin ve meteorolojik faktörlerin hava kirliliği üzerine etkilerinin incelenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 6 (2), 391-404.
- Özdemir, Ş. ve Örslü, S. (2019). Makine öğrenmesinde yeni bir bakış açısı: otomatik makine öğrenmesi (automl). *Journal of Information Systems and Management Research*, 1 (1), 23-30.
- Özden, Ö., Yay, O. D., Altuğ, H., Gaga, E., Demirel, G., Döğeroğlu, T., Örnektekin, S., Meliefste, K., Doorn, W. (2008). Eskişehir’de Hava Kirliliği Ön Değerlendirme Çalışmalarının Pasif Örnekleme Yöntemiyle Gerçekleştirilmesi. *Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu*, Hatay, 631-642.
- Özel, H., Cihan, P., Özcan, H. K., Aydın, S., Hanedar, A. (2021). Hava kirletici parametrelerinin hava kalitesi indeksine uzun zamanlı etkilerinin incelenmesi: Çerkezköy Organize Sanayi Bölgesi örneği. *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 7 (1), 94-106.
- Özen, N. S. (2021). *Salgın hastalıklarda vaka sayılarının makine öğrenmesi ile tahmini*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Adana: Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özen, H. A. (2022). COVID-19 salgını dönemindeki kısıtlamaların sera gazı salınımına etkisi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(1), 1-1.

- Özen, H. A. ve Öztürk, B. (2022). COVID-19 Salgınının Küresel Boyutta Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 5(1), 42-53.
- Öztürk, B. (2019). *Göğüs hastalıkları acil başvurularının hava kirliliği ile ilişkisinin değerlendirilmesi*. Tıpta Uzmanlık Tezi. Ankara: Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Tıp Fakültesi.
- Pınar, M., Okumuş, O., Turgut, U., Kalıpsız, O., Aktaş, M. (2017). Büyük veri içeren öneri sistemleri için hiperparametre optimizasyonu. *Ulusal Yazılım Mühendisliği Sempozyumu*, 22, 260-272.
- Pol, U. ve Sawant, T. (2021). Automl: building an classification model with pycaret. *Ymer*, 20 (11), 547-552.
- Rana, R., Keramat, S. ve Gow, J. (2021). A systematic literature review of the impact of COVID-19 lockdowns on air quality in China. *Aerosol and Air Quality Research*, 21 (8), 1-20.
- Ritchie, H. ve Roser, M. (2019). *Causes of death*. Our World in Data. <https://ourworldindata.org/causes-of-death#risk-factors-for-death> (Erişim tarihi: 11.06.2022).
- Rudke, A., Martins, J., de Almeida, D. S., Martins, L. D., Beal, A., Hallak, R., Freitas, E. D., Andrade, M. F., Foroutan, H., Baek, B. H., de A. Albuquerque, T. T. (2021). How mobility restrictions policy and atmospheric conditions impacted air quality in the State of Sao Paulo during the COVID-19 outbreak. *Environmental Research*, 198, 111255.
- Sabuncuoğlu, B. ve Demirtaş, O. (2021). Helisel işleme yay sabitinin belirlenmesi amacıyla parametrik korelasyon tekniğini kullanarak bir yapay sinir ağı geliştirilmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36 (1), 105-118.
- Saygılı, R. (2018). Coğrafya Harita: http://cografyaharita.com/haritalarim/4l_istanbul_ili_haritasi.png (Erişim tarihi: 11.06.2022).

- Saygın, H. (2019). *Karaman'da 2012-2018 yılları arasında hava kirliliği parametrelerinin kardiyovasküler ve solunum nedenli acil servis başvuruları ve hastane yatışları ile ilişkisi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Kırklareli: Kırklareli Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
- Singh, R. ve Chauhan, A. (2020). Impact of lockdown on air quality in India during COVID-19 pandemic. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 13 (8), 921-928.
- Sönmez, N. (2017). *Trafik sensör verileri kullanılarak trafik akış tahmini: İstanbul şehri için bir uygulama*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Ankara: TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Şimşek, E. ve Canbay, P. (2021). COVID-19 döneminde uzaktan eğitimde mentor gerekliliğinin makine öğrenmesi yaklaşımları ile belirlenmesi ve belirleyicilerin açıklanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 247-255.
- Tao, C., Liao, Z., Hu, M., Cheng, B., Diao, G. (2022). Can industrial restructuring improve urban air quality?-a quasi-experiment in Beijing during the COVID-19 pandemic. *Atmosphere*, 26, 1-16.
- Temiz Hava Hakkı Platformu. (2020). *Kara Rapor 2020: Hava Kirliliği ve Sağlık Etkileri*. <https://www.temizhavahakki.com/wp-content/uploads/2020/09/Kara-Rapor-2020-Son27082020.pdf> (Erişim tarihi: 11.06.2022).
- Temiz Hava Hakkı Platformu. (2021). *Kara Rapor 2021: Hava Kirliliği ve Sağlık Etkileri*. <https://www.temizhavahakki.com/wp-content/uploads/2021/09/KaraRapor2021.pdf> (Erişim tarihi: 11.06.2022).
- TMMOB Çevre Mühendisleri Odası. (2018). *Hava Kirliliği Raporu 2018*. https://www.cmo.org.tr/resimler/ekler/9d62b3a2bb620a4_ek.pdf (Erişim tarihi: 11.06.2022).
- TMMOB Çevre Mühendisleri Odası. (2019). *Hava Kirliliği Raporu 2019*. <https://www.tmmob.org.tr/sites/default/files/2019.pdf> (Erişim tarihi: 11.06.2022).

- Tokmak, M. ve Küçüksille, E. U. (2021). Derin sinir ağıları ve yeniden örnekleme metotları ile rutin kan testlerine dayalı COVID-19 tespiti. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9 (2), 522-534.
- Toksoy, S. ve Atalay, A. (2021). COVID-19 salgınının İstanbul'da şehir içi ulaşım ve hava kalitesi üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi. *II. International Istanbul COVID-19 And Current Issues Congress*. 287-297.
- Topuz, M. ve Karabulut, M. (2021). Occurred change in air pollution parameters in the process of Coronavirus (COVID-19) measures: Example of the Eastern Mediterranean. *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 44, 428-444.
- Tosun, E. (2017). *Türkiye'nin 2009-2016 yılları arasındaki hava kalitesi verilerinin değerlendirilmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tuna, T. (2019). *Makine öğrenmesi yöntemleri ile demans tahmini*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü.
- Turalıoğlu, F. S. (2011). Bitkilere zararlı olan ozon, azot dioksit ve kükürt dioksit'in Erzurum atmosferindeki değişimleri. *GOÜ, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2011 (1), 73-77.
- TÜİK. (2020). *Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları*. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2020-37210> (Erişim tarihi: 11.06.2022).
- Türk Toraks Derneği. (2020). Her yönüyle COVID-19. https://www.ttb.org.tr/udek/userfiles/files/heryonuyle_covid19.pdf (Erişim tarihi: 11.06.2022).
- Uğurlu, O. (2021). *Konya ili'nde hava kirliliğine etki eden faktörlerin mekânsal analizi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Konya: Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

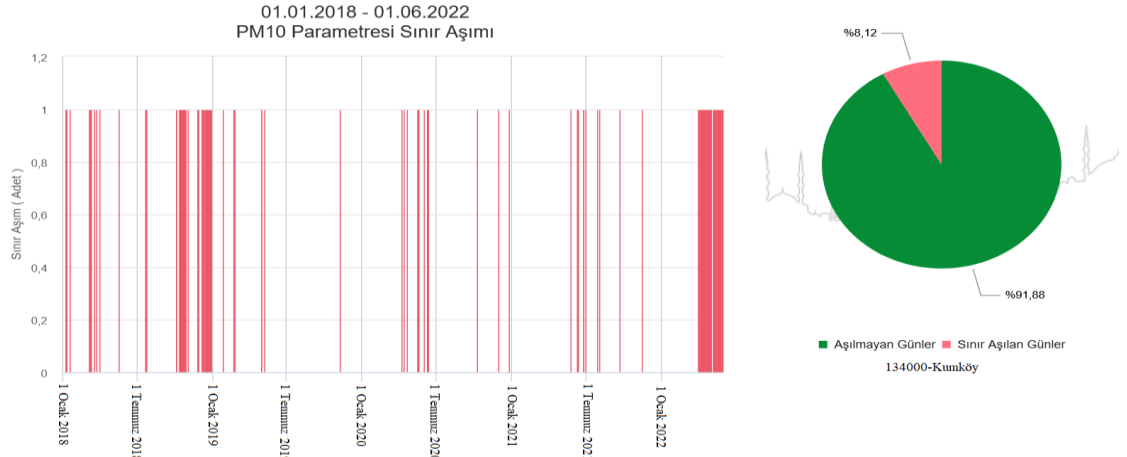
- Uzun, E., Yerlikaya, T. ve Kırat, O. (2018). Web veri çıkarımında çıkarım kurallarının incelenmesi. *European Journal of Engineering and Applied Sciences*, 1 (2), 23-28.
- Ünal, S. ve Yalçın, N. (2022). Hava kirliliğinin makine öğrenmesi tabanlı tahmini: Başakşehir örneği. *Müh. Bil. ve Araş. Dergisi*, 4 (1), 35-44.
- Ünlüsavuran, M. (2019). *Omik verilerinde otomatik makine öğrenimi algoritmalarının performansının değerlendirilmesi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Kayseri: Erciyes Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
- Wang, W. ve Yang, S. (2020). Research on air quality forecasting based on big data and neural network. *2020 International Conference on Computer Network, Electronic and Automation (ICCNEA)*. 180-184.
- Yağmur, N. (2018). *Ramsar alanlarının uzaktan algılama yöntemleri ile zamansal analizi – Meke Maarı örneği*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yavaş, S. P., Baysan, C. ve Önal, A. E. (2021). COVID-19 Kontrol Önlemleri Hava Kalitesi Parametrelerini Etkiledi mi? 35 Ülkede Hava Kirleticileri Değerlendirmesi. *Online Turkish Journal of Health Sciences*, 6(4), 562-568.
- Yıldırım, M. (2021). *Büyük veride çizge teorisiyle temerrüt tahmini ve makine öğrenmesi modellerinin yorumlanması*. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yıldız, T. K. (2021). *Hematolojik hastalıkların teşhisinde yapay zeka tekniklerinin performans karşılaştırması*. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Sakarya: Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yılmaz, M. (2019). Manisa Merkez ve Soma ilçesi 2017 yılı hava kalitesi verilerinin değerlendirilmesi. *Kocatepe Tıp Dergisi*, 20 (2), 77-82.
- Yılmaz, M. (2021). *Emlak vergisi kayıp kaçak oranlarının toplu değerlendirme ile araştırılması: Kayseri örneği*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Kayseri: Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Yılmaz, V. ve Şimşek, T. (2020). Hava kalitesi ile COVID-19 arasındaki ilişki: G-7 ülkeleri üzerine bir uygulama. *Turkish Studies*, 15 (4), 1353-1366.
- Yurtsever, M. (2020). COVID-19 pandemisinin çevre üzerindeki erken dönem etkileri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25 (3), 1611-1636.
- Yüksek, A. G. (2007). *Hava kirliliği tahmininde çoklu regresyon analizi ve yapay sinir ağları yönteminin karşılaştırılması*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Sivas: Cumhuriyet Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Zheng, Y., Liu, F. ve Hsieh, H. P. (2013). U-air: when urban air quality inference meets big data. *Proceedings of the 19th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*. 1436-1444.
- Zheng, Y., Yi, X., Li, R., Shan, Z., Chang, E., Li, T. (2015). Forecasting fine-grained air quality based on big data. *Proceedings of the 21th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. 2267-2276. Sydney, Australia: ACM.

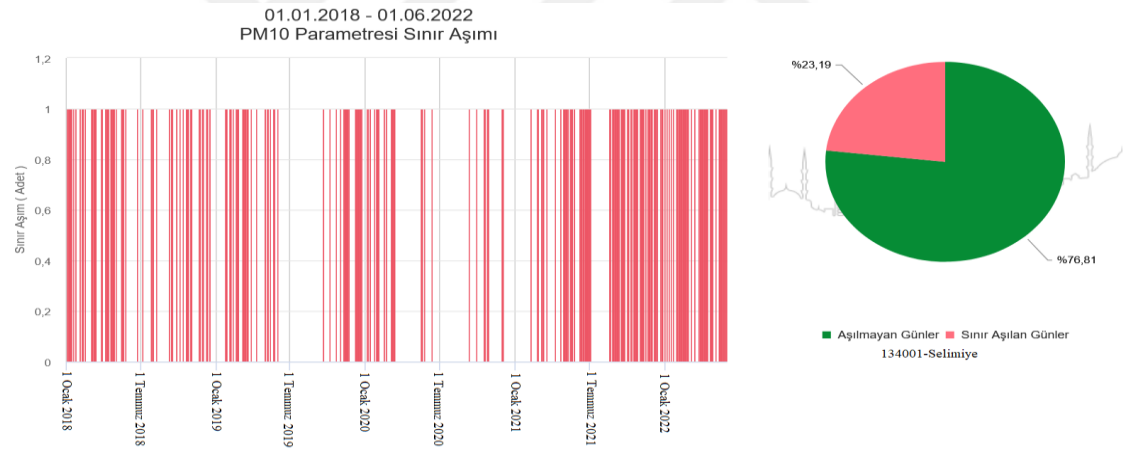
EKLER

EK-1

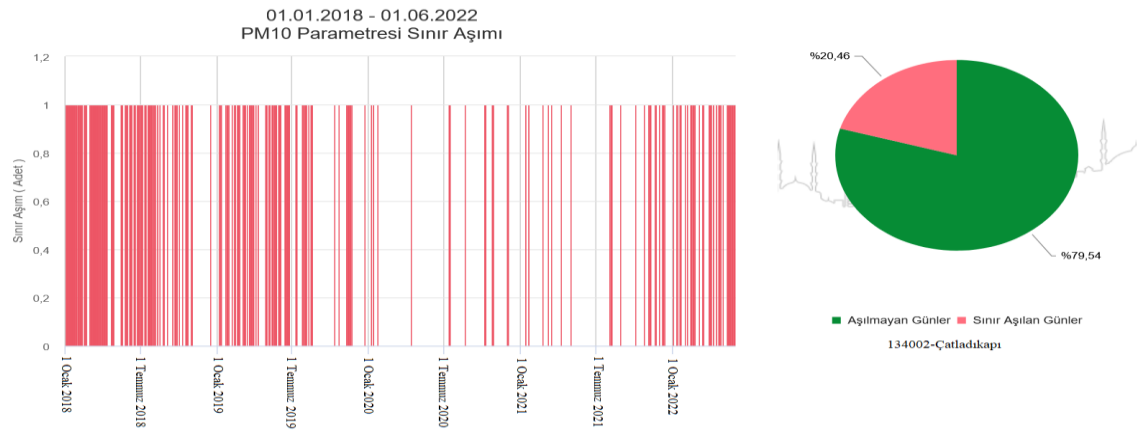
Sınır Değer Aşım Sonuçları



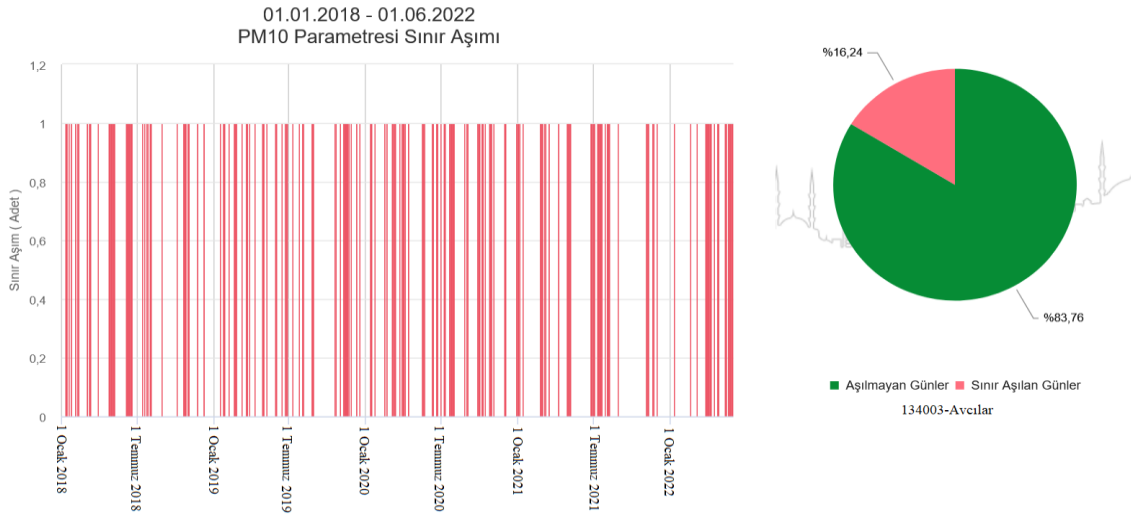
Şekil E.1.1. PM_{10} sınır değer aşımı-134000



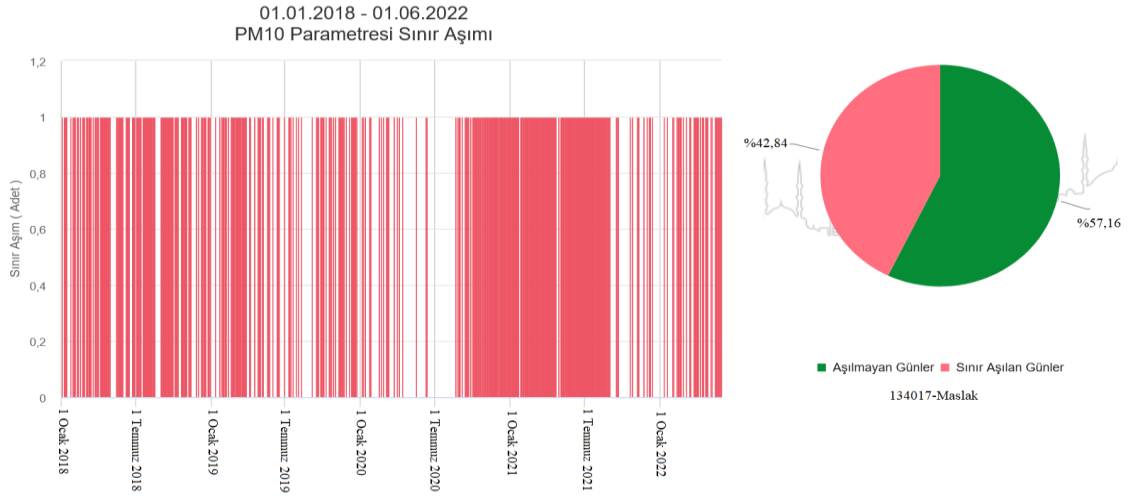
Şekil E.1.2. PM_{10} sınır değer aşımı-134001



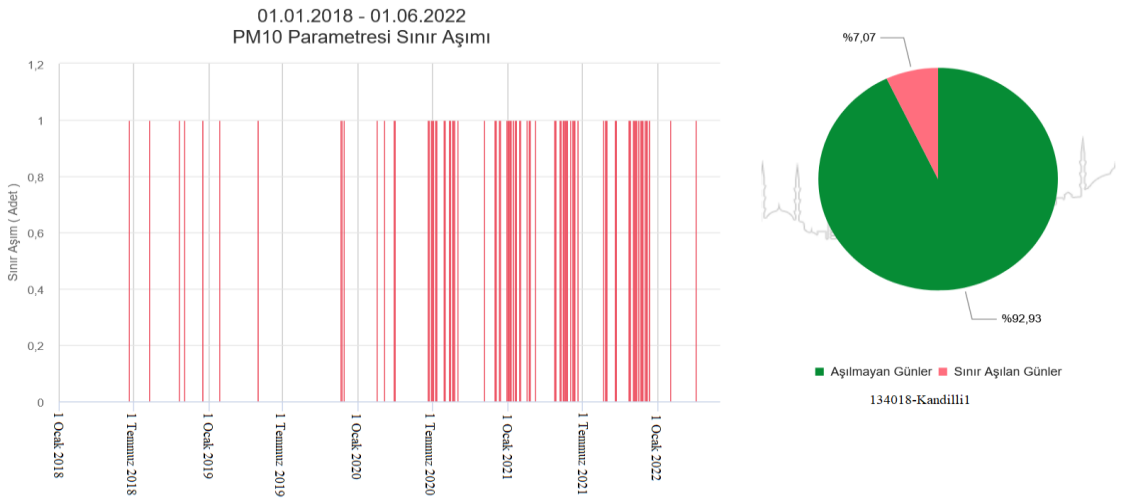
Şekil E.1.3. PM_{10} sınır değer aşımı-134002



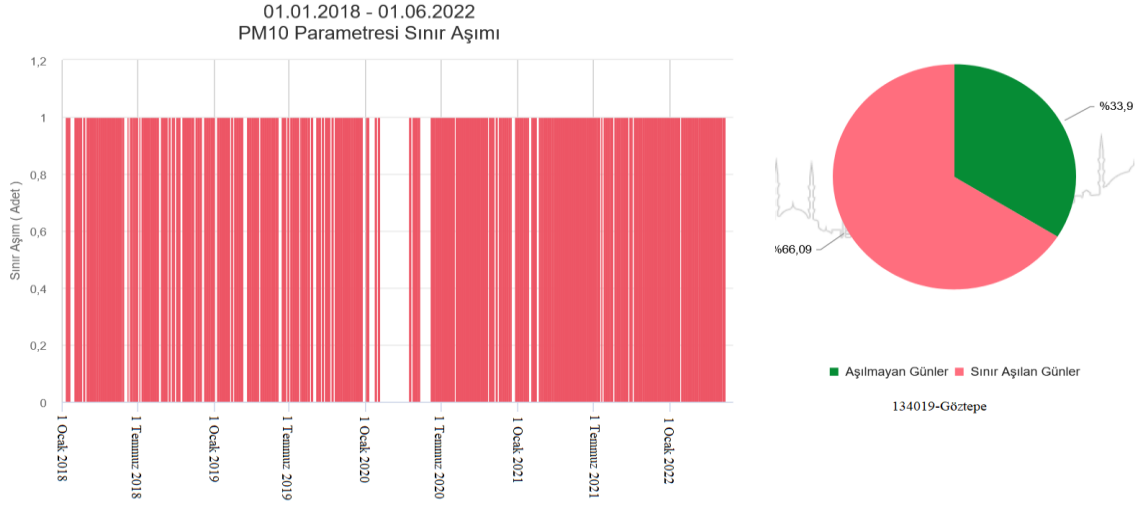
Şekil E.1.4. PM_{10} sınır değer aşımı-134003



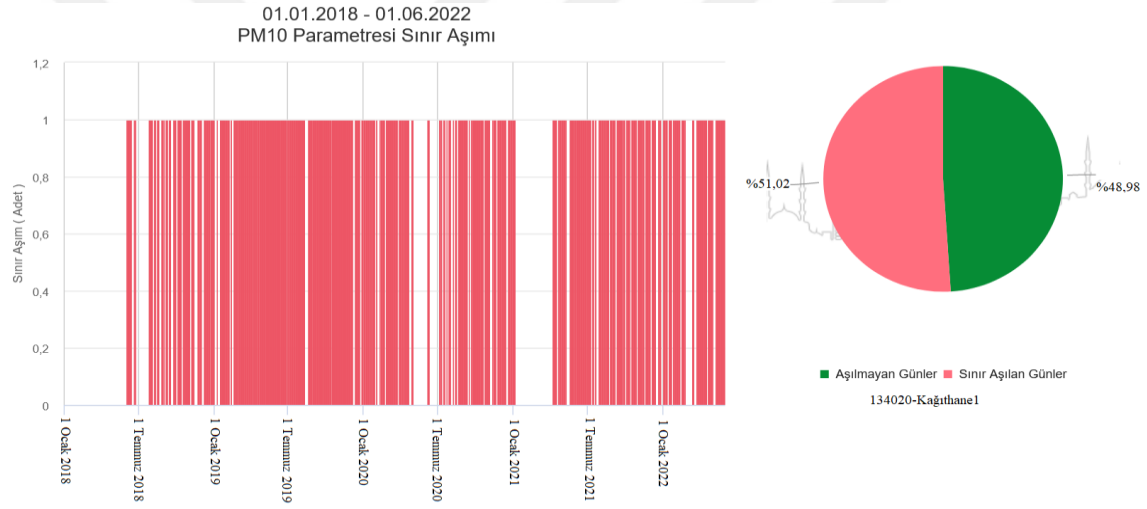
Şekil E.1.5. PM_{10} sınır değer aşımı-134017



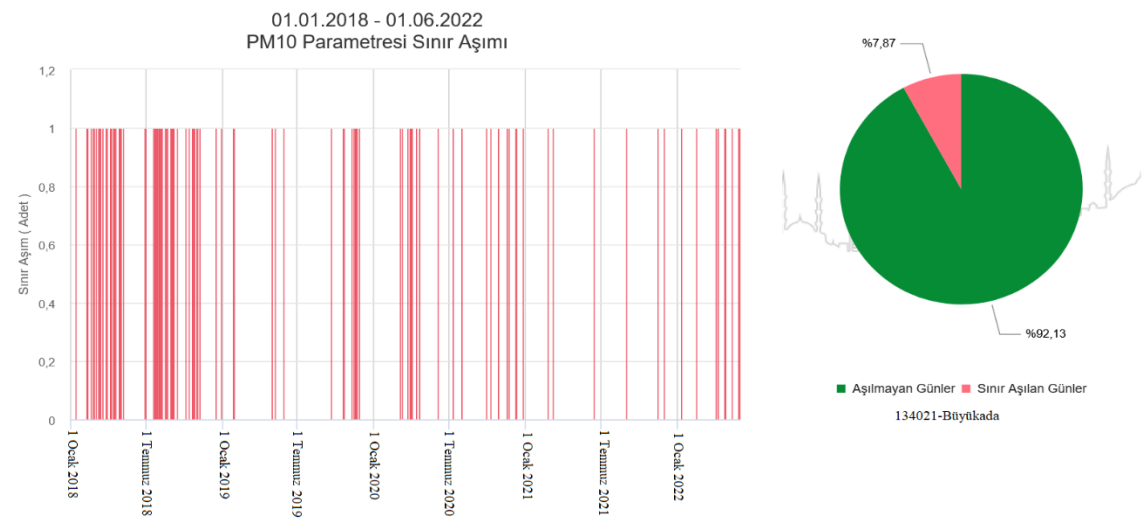
Şekil E.1.6. PM_{10} sınır değer aşımı-134018



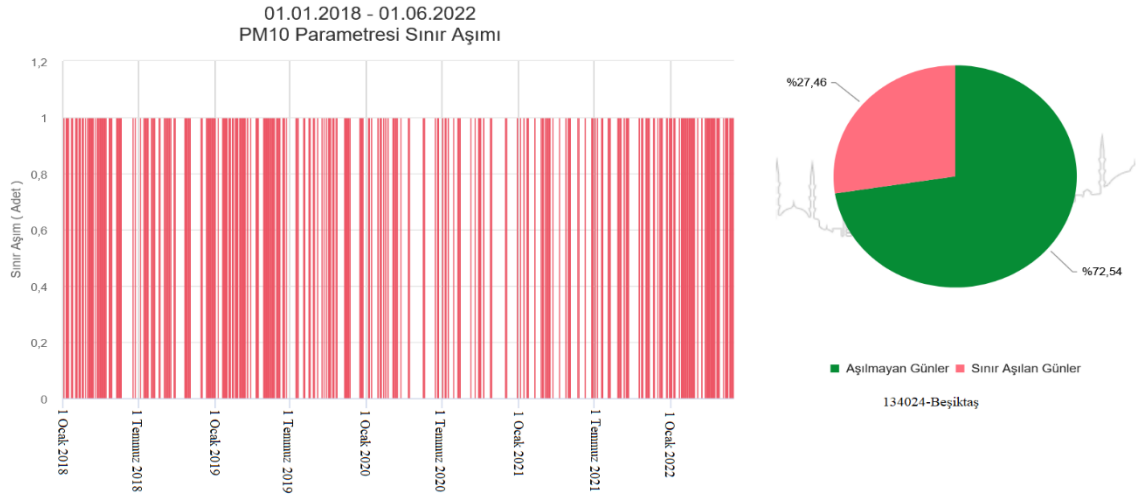
Şekil E.1.7. PM_{10} sınır değer aşımı-134019



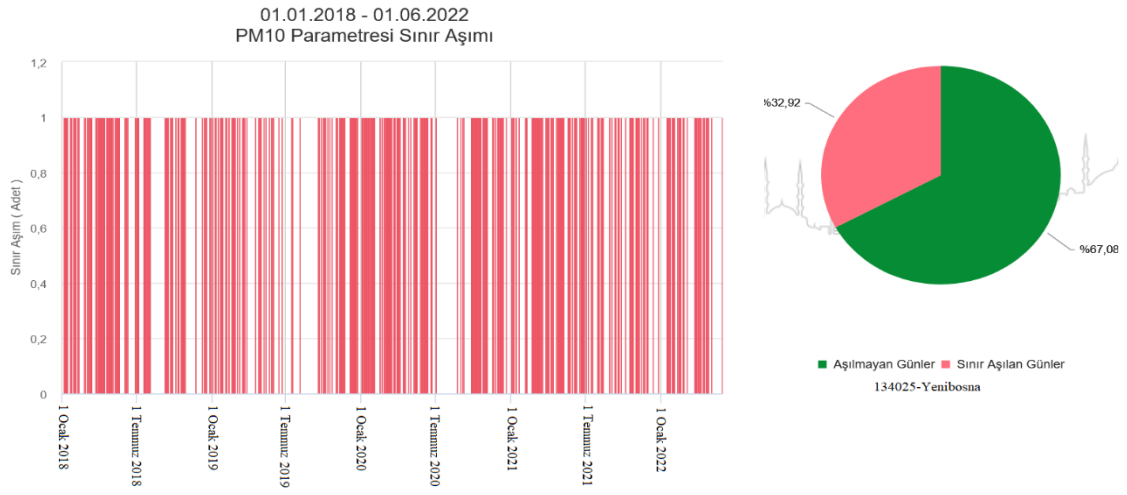
Şekil E.1.8. PM_{10} sınır değer aşımı-134020



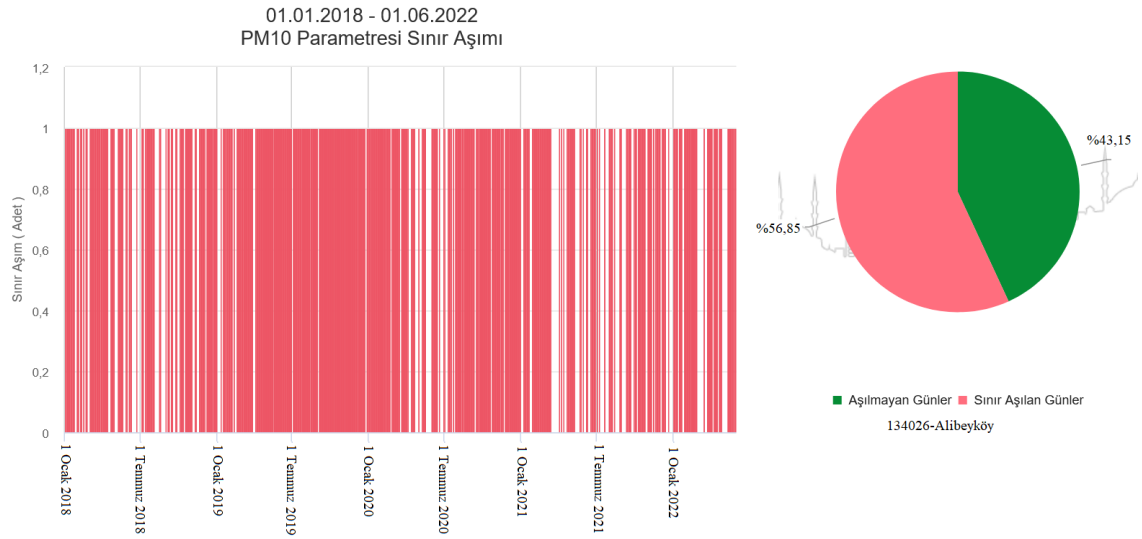
Şekil E.1.9. PM_{10} sınır değer aşımı-134021



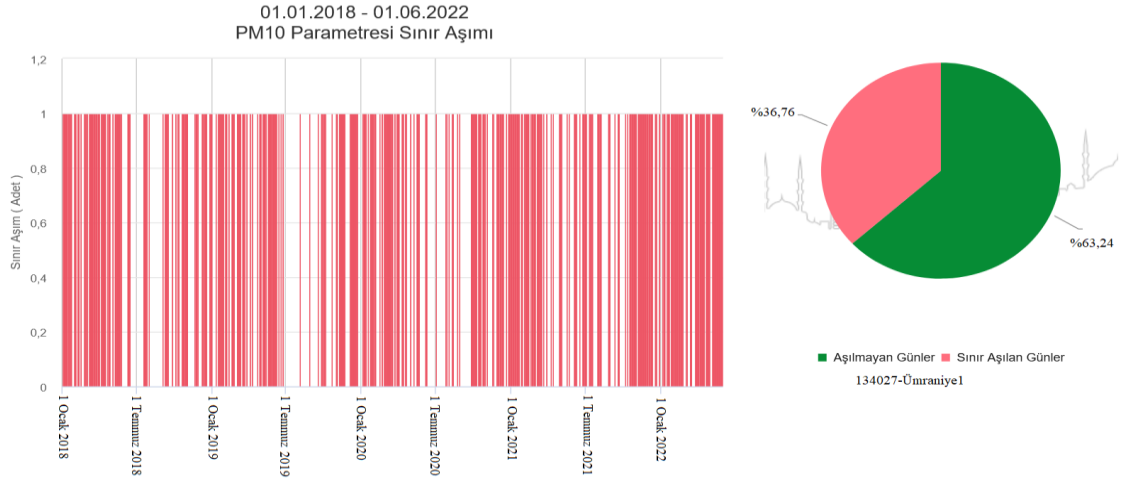
Şekil E.1.10. PM_{10} sınır değer aşımı-134024



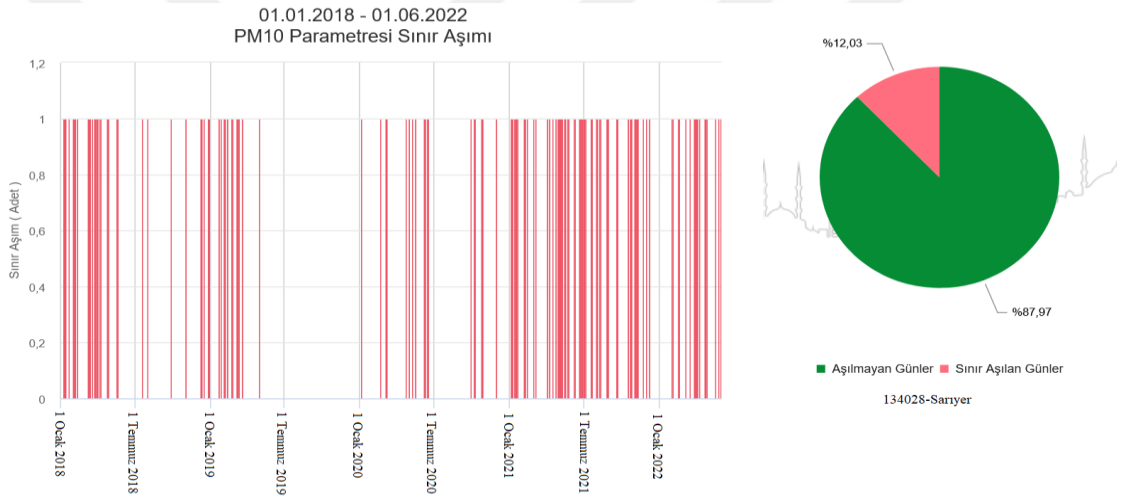
Şekil E.1.11. PM_{10} sınır değer aşımı-134025



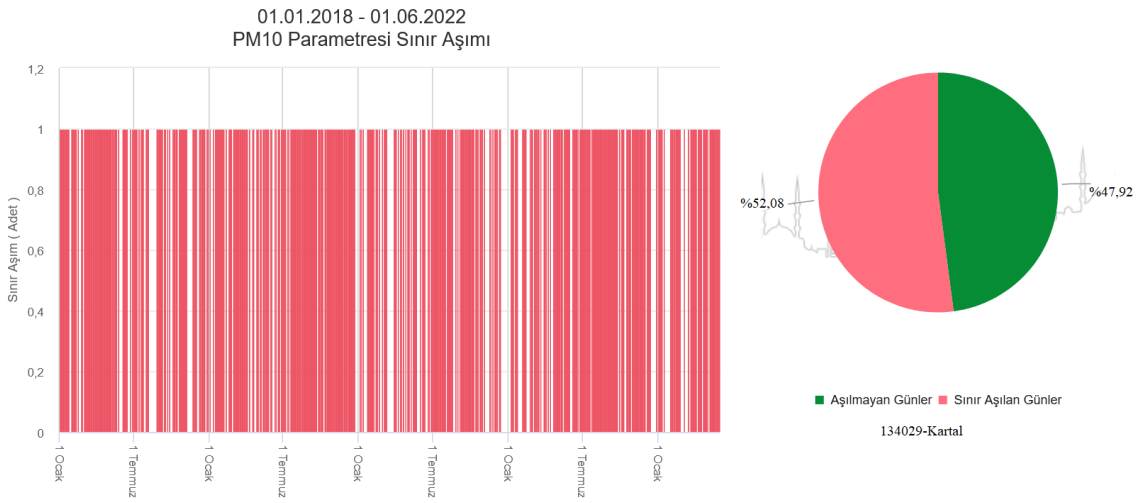
Şekil E.1.12. PM_{10} sınır değer aşımı-134026



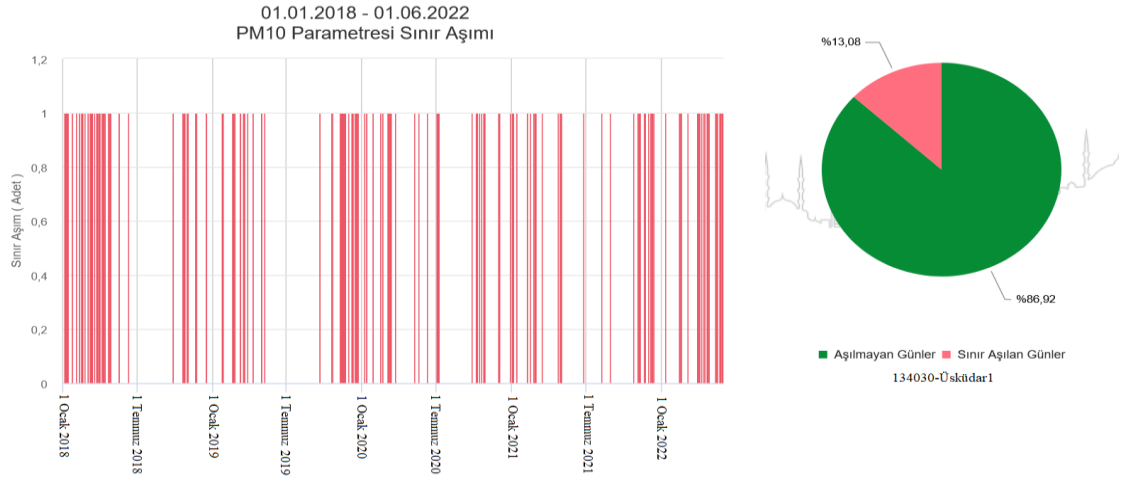
Şekil E.1.13. PM_{10} sınır değer aşımı-134027



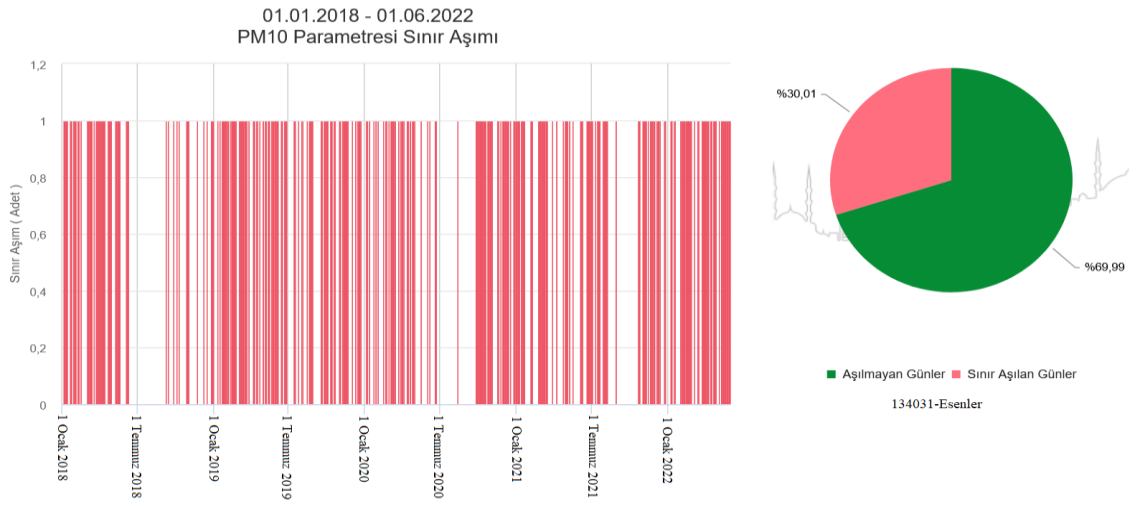
Şekil E.1.14. PM_{10} sınır değer aşımı-134028



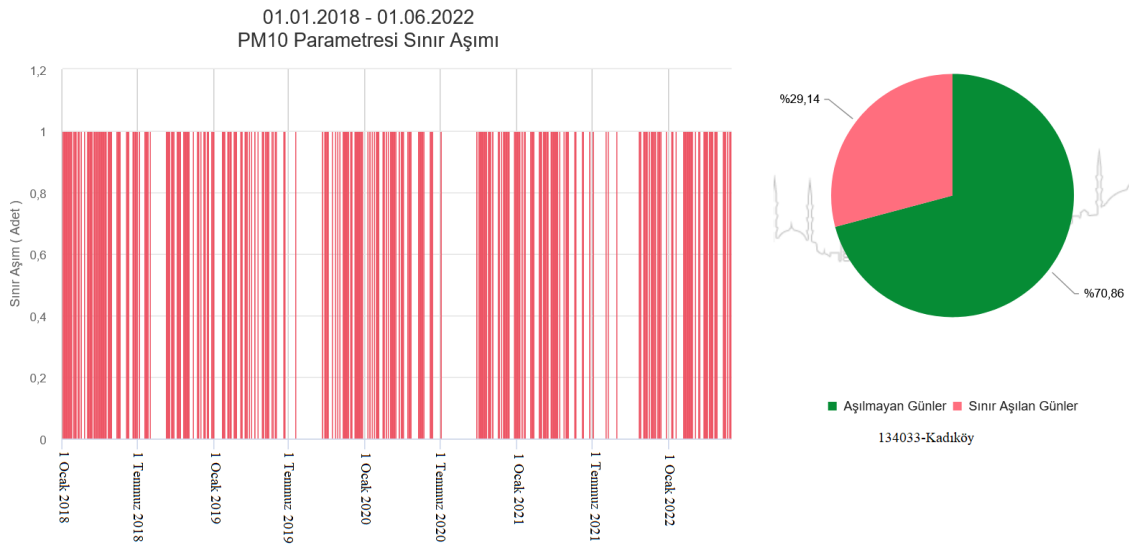
Şekil E.1.15. PM_{10} sınır değer aşımı-134029



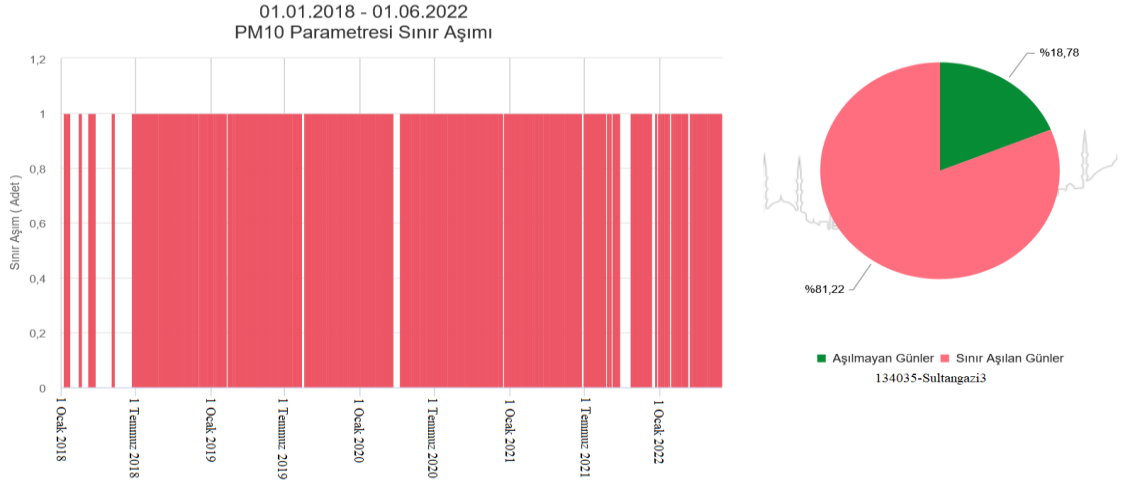
Şekil E.1.16. PM_{10} sınır değer aşımı-134030



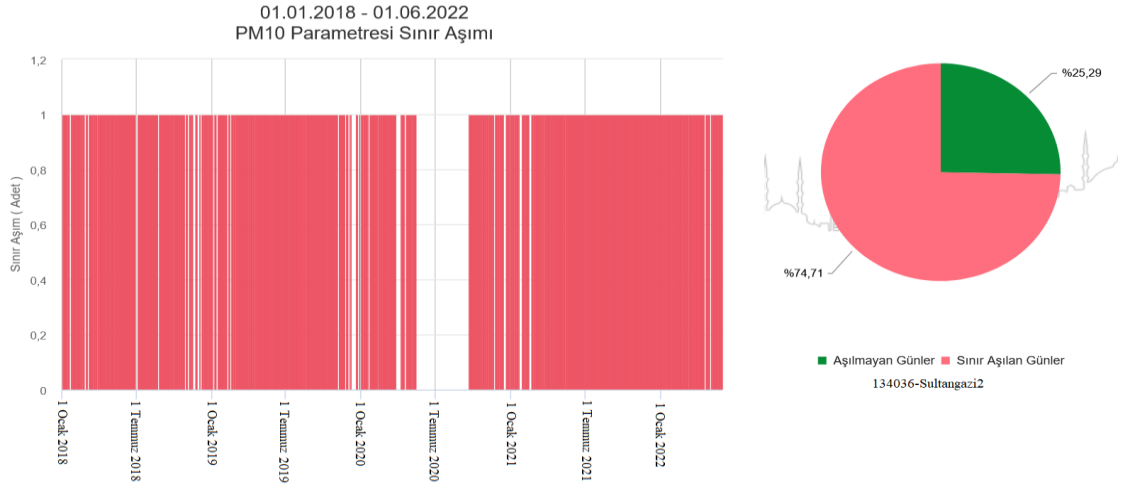
Şekil E.1.17. PM_{10} sınır değer aşımı-134031



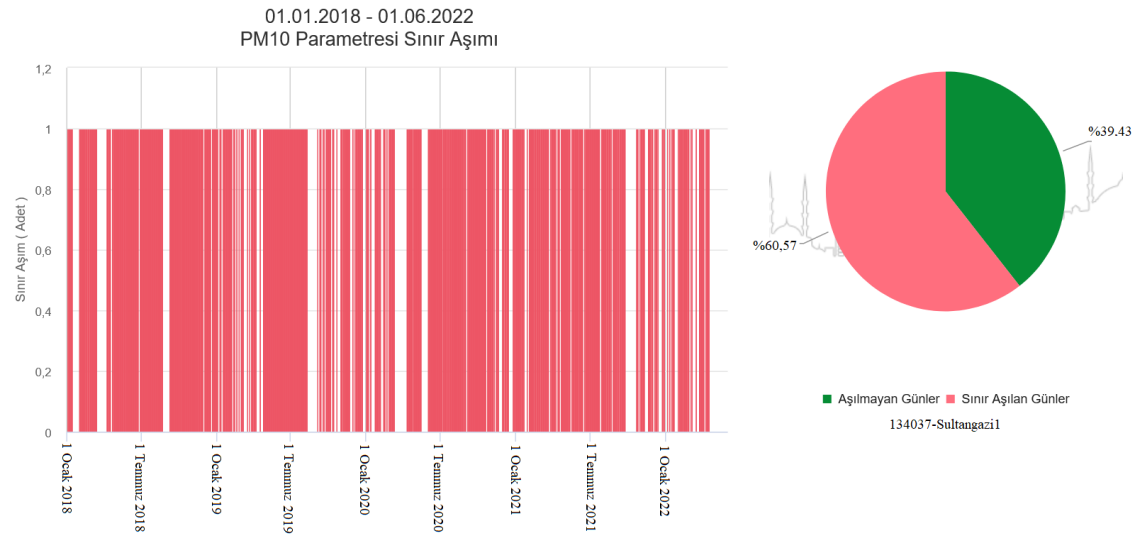
Şekil E.1.18. PM_{10} sınır değer aşımı-134033



Şekil E.1.19. PM_{10} sınır değer aşımı-134035



Şekil E.1.20. PM_{10} sınır değer aşımı-134036



Şekil E.1.21. PM_{10} sınır değer aşımı-134037

EK-2

Istasyon Tahmin Modeli Pycaret-Hyperopt Sonuçları

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134000	CO	EXT	77.3069	42414.7852	188.0063	0.6052	0.3584	0.3827	32.118	maxabs
134000	CO	RF	81.2440	59905.9805	221.1212	0.3990	0.3603	0.4100	57.560	robust
134000	CO	KNN	88.5018	52030.3809	215.9210	0.4547	0.3886	0.4261	5.475	zscore
134000	HKI	EXT	1.3529	18.9611	4.0007	0.9004	0.1793	0.0593	40.672	robust
134000	HKI	RF	1.6600	24.5950	4.6681	0.8762	0.2144	0.0702	69.111	robust
134000	HKI	DT	1.8707	42.1601	6.2373	0.7658	0.2408	0.0801	1.725	minmax
134000	NO2	EXT	3.5412	45.1675	6.6911	0.8069	0.3919	0.4539	35.705	maxabs
134000	NO2	RF	3.7343	44.8136	6.6685	0.8087	0.4020	0.4847	72.868	minmax
134000	NO2	KNN	4.6828	71.8844	8.4572	0.6927	0.4520	0.4968	6.001	zscore
134000	O3	EXT	5.3004	97.6877	9.7337	0.8650	0.3471	0.2992	44.850	robust
134000	O3	RF	5.8876	110.4411	10.3731	0.8470	0.3746	0.3465	72.699	maxabs
134000	O3	DT	7.4696	209.2965	14.3446	0.7077	0.4700	0.3559	1.092	zscore
134000	PM10	EXT	4.2785	40.3716	6.3486	0.7748	0.3492	0.3466	42.953	robust
134000	PM10	RF	4.4402	41.5997	6.4456	0.7680	0.3685	0.3878	69.943	maxabs
134000	PM10	KNN	5.3570	62.8254	7.9241	0.6495	0.4310	0.4283	6.999	zscore

Şekil E.2.1. Pycaret sonuçları-134000

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134000	CO	EXT	8.724184	162.253378	12.439454	0.661442	0.356364	0.388943	130.381612
134000	HKI	EXT	1.161582	4.060805	2.003617	0.907357	0.175410	0.059299	49.733237
134000	NO2	RF	1.834566	6.224614	2.491662	0.834753	0.365033	0.404701	122.467928
134000	O3	RF	2.269588	9.317843	3.040176	0.876007	0.336543	0.285619	108.230016
134000	PM10	RF	2.052441	6.291021	2.507791	0.775752	0.343807	0.343442	92.525569

Şekil E.2.2. Hyperopt sonuçları-134000

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134001	CO	EXT	79.0638	26862.2609	163.2293	0.7972	0.2245	0.1518	32.388	minmax
134001	CO	RF	87.5335	29710.3073	171.8495	0.7755	0.2457	0.1759	60.976	zscore
134001	CO	KNN	100.7033	39890.4797	199.2650	0.6983	0.2790	0.1913	5.461	zscore
134001	HKI	EXT	2.4965	21.1266	4.5843	0.9004	0.2304	0.0753	44.842	robust
134001	HKI	RF	2.8476	24.5347	4.9432	0.8844	0.2715	0.0850	76.732	zscore
134001	HKI	DT	3.4337	44.3800	6.6436	0.7905	0.2631	0.1040	1.112	robust
134001	NO2	EXT	7.8869	148.9023	12.1904	0.8402	0.2354	0.1771	40.078	minmax
134001	NO2	RF	8.5733	165.0497	12.8409	0.8229	0.2563	0.2028	71.632	robust
134001	NO2	CB	9.1431	168.1083	12.9597	0.8198	0.2664	0.2173	30.642	maxabs
134001	O3	EXT	5.8123	79.8914	8.9250	0.8572	0.4703	0.6570	43.230	minmax
134001	O3	DT	8.3283	179.1245	13.3760	0.6790	0.6337	0.7448	1.254	zscore
134001	O3	RF	6.3220	89.0963	9.4273	0.8407	0.5075	0.7787	84.977	maxabs
134001	PM10	EXT	4.8317	61.2658	7.8204	0.7961	0.2519	0.2038	40.432	zscore
134001	PM10	RF	5.2818	69.8942	8.3544	0.7673	0.2709	0.2286	71.496	minmax
134001	PM10	KNN	6.2865	96.4566	9.8137	0.6791	0.3059	0.2570	6.868	zscore

Şekil E.2.3. Pycaret sonuçları-134001

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134001	CO	RF	8.841185	160.560739	12.619377	0.805396	0.225274	0.151401	13.658503
134001	HKI	RF	1.592408	4.595594	2.142074	0.900570	0.241764	0.075961	79.432324
134001	NO2	RF	2.777209	11.603414	3.405985	0.856259	0.230496	0.179083	36.053504
134001	O3	RF	2.370534	8.696249	2.947553	0.864539	0.454410	0.640102	108.125412
134001	PM10	RF	2.186228	7.760989	2.784536	0.796619	0.250872	0.202974	77.939712

Şekil E.2.4. Hyperopt sonuçları-134001

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134002	CO	EXT	69.3609	20416.4322	140.9287	0.8035	0.1841	0.1234	42.372	minmax
134002	CO	RF	74.6160	21106.9547	143.9578	0.7958	0.1967	0.1358	83.547	zscore
134002	CO	KNN	83.1571	24502.7367	155.5468	0.7623	0.2168	0.1503	10.591	zscore
134002	HKI	EXT	2.8879	25.8010	5.0669	0.8819	0.2178	0.0928	46.408	minmax
134002	HKI	RF	2.9711	24.7391	4.9669	0.8871	0.2068	0.0965	75.675	robust
134002	HKI	DT	3.6640	44.4156	6.6489	0.7968	0.2417	0.1175	1.103	zscore
134002	NO2	EXT	9.1571	173.1877	13.1516	0.8086	0.2639	0.2199	45.645	minmax
134002	NO2	RF	9.2858	173.7753	13.1726	0.8078	0.2661	0.2231	78.555	maxabs
134002	NO2	CB	9.9725	186.4799	13.6483	0.7938	0.2845	0.2435	33.220	zscore
134002	O3	EXT	5.9123	73.7422	8.5818	0.8135	0.4425	0.4999	49.415	minmax
134002	O3	RF	6.2465	79.4662	8.9075	0.7991	0.4632	0.5483	85.972	zscore
134002	O3	CB	6.4135	78.3855	8.8474	0.8018	0.4782	0.5697	33.532	robust
134002	PM10	EXT	4.5766	56.9259	7.5190	0.7759	0.2641	0.2194	38.945	robust
134002	PM10	RF	4.8245	60.7030	7.7687	0.7617	0.2753	0.2377	66.792	robust
134002	PM10	KNN	5.9808	86.3633	9.2691	0.6606	0.3280	0.2903	7.709	zscore

Şekil E.2.5. Pycaret sonuçları-134002

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134002	CO	RF	8.316870	131.793134	11.460447	0.829534	0.183436	0.123871	100.075472
134002	HKI	RF	1.627538	4.631813	2.150734	0.903216	0.174620	0.081220	69.622283
134002	NO2	RF	2.945583	12.348585	3.513708	0.830834	0.250769	0.206906	59.492353
134002	O3	RF	2.387328	8.100322	2.845418	0.832210	0.420265	0.460359	29.228466
134002	PM10	RF	2.114689	7.308134	2.701099	0.785771	0.262190	0.217973	75.414189

Şekil E.2.6. Hyperopt sonuçları-134002

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134003	CO	CB	37.6294	3343.4294	57.7245	0.7606	0.3240	0.2914	29.338	maxabs
134003	CO	RF	36.1880	3310.2635	57.4417	0.7630	0.3172	0.3000	43.211	maxabs
134003	CO	EXT	36.6436	3530.0722	59.3016	0.7476	0.3214	0.3060	21.457	maxabs
134003	HKI	EXT	1.6332	8.8627	2.9749	0.9452	0.1266	0.0618	44.562	robust
134003	HKI	RF	1.8016	9.1796	3.0276	0.9432	0.1188	0.0685	69.427	maxabs
134003	HKI	KNN	2.1333	13.0125	3.6064	0.9196	0.1353	0.0787	8.073	zscore
134003	NO2	EXT	5.3046	74.0418	8.5996	0.8631	0.2333	0.1743	42.708	minmax
134003	NO2	RF	5.8111	82.2950	9.0684	0.8478	0.2494	0.1954	78.386	maxabs
134003	NO2	KNN	6.7789	109.8946	10.4798	0.7968	0.2749	0.2128	7.638	zscore
134003	O3	EXT	4.7822	55.0104	7.4126	0.8905	0.3189	0.2957	11.653	zscore
134003	O3	DT	6.8785	122.3134	11.0475	0.7569	0.4292	0.3398	0.351	minmax
134003	O3	RF	5.2362	61.9424	7.8643	0.8769	0.3426	0.3438	21.801	robust
134003	PM10	EXT	4.5696	53.3947	7.2767	0.8143	0.2580	0.2257	42.325	zscore
134003	PM10	RF	4.8081	57.7074	7.5499	0.7996	0.2700	0.2426	83.424	robust
134003	PM10	KNN	5.4825	74.7670	8.6101	0.7398	0.3011	0.2630	7.523	zscore
134003	SO2	EXT	0.4523	0.9160	0.9532	0.8170	0.1687	0.2025	34.510	zscore
134003	SO2	RF	0.4669	0.8962	0.9419	0.8214	0.1711	0.2160	69.968	robust
134003	SO2	DT	0.6311	1.8457	1.3572	0.6277	0.2371	0.2675	1.059	maxabs

Şekil E.2.7. Pycaret sonuçları-134003

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134003	CO	RF	6.010558	57.081046	7.552142	0.761164	0.319447	0.298222	92.213995
134003	HKI	RF	1.217461	2.654190	1.628346	0.955860	0.105605	0.055510	117.849049
134003	NO2	RF	2.258213	8.025968	2.832651	0.881024	0.222337	0.168767	63.414078
134003	O3	RF	2.160798	7.201562	2.682625	0.895143	0.312685	0.294981	34.086855
134003	PM10	RF	2.113343	7.203703	2.679342	0.816887	0.249194	0.217555	156.521826
134003	SO2	EXT	0.662676	0.910091	0.953110	0.829437	0.163763	0.196910	140.479511

Şekil E.2.8. Hyperopt sonuçları-134003

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134005	CO	EXT	88.1426	29973.1107	172.7905	0.9912	0.2079	0.1280	44.635	maxabs
134005	CO	RF	95.6358	42089.2089	200.8975	0.9876	0.2187	0.1430	74.669	robust
134005	CO	CB	109.0542	35094.2478	186.6780	0.9897	0.2412	0.1674	34.464	robust
134005	HKI	EXT	1.0899	6.3713	2.5211	0.9620	0.0786	0.0366	44.710	minmax
134005	HKI	RF	1.3329	7.1495	2.6679	0.9573	0.0830	0.0448	65.039	minmax
134005	HKI	DT	1.4927	13.3691	3.6459	0.9201	0.1118	0.0489	0.950	maxabs
134005	NO2	EXT	6.3087	82.8657	9.0970	0.7797	0.3705	0.3579	44.659	minmax
134005	NO2	RF	6.4576	82.5848	9.0851	0.7802	0.3747	0.3738	80.383	minmax
134005	NO2	CB	6.6563	83.9183	9.1577	0.7766	0.3855	0.3797	33.054	zscore
134005	PM10	EXT	3.8725	32.3059	5.6806	0.7998	0.1852	0.1428	38.622	zscore
134005	PM10	RF	3.9672	31.4074	5.6025	0.8053	0.1835	0.1467	68.278	minmax
134005	PM10	KNN	4.5051	42.4534	6.5129	0.7368	0.2095	0.1625	6.846	zscore
134005	SO2	EXT	1.9430	42.5765	5.7339	0.9466	0.2608	0.2140	40.942	maxabs
134005	SO2	RF	1.9646	44.2597	5.7048	0.9440	0.2593	0.2211	67.040	zscore
134005	SO2	DT	2.5301	73.7732	7.7096	0.9014	0.3311	0.2645	0.999	zscore

Şekil E.2.9. Pycaret sonuçları-134005

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134005	CO	RF	9.273573	174.420509	13.187878	0.990832	0.200576	0.124231	99.417669
134005	HKI	EXT	1.016957	2.363844	1.536406	0.966071	0.074405	0.035015	88.696686
134005	NO2	RF	2.471397	8.814347	2.968725	0.795025	0.359279	0.342812	131.043827
134005	PM10	RF	1.926756	5.363503	2.315498	0.822521	0.175996	0.136581	55.753443
134005	SO2	EXT	1.405184	6.203221	2.399944	0.933090	0.258832	0.211051	12.177207

Şekil E.2.10. Hyperopt sonuçları-134005

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134006	CO	EXT	96.5772	36334.4772	188.6435	0.9968	0.1615	0.0984	40.499	maxabs
134006	CO	RF	103.9927	41573.2287	201.4889	0.9963	0.1738	0.1083	74.853	robust
134006	CO	CB	115.4373	39866.5395	198.6018	0.9964	0.1878	0.1239	30.489	robust
134006	HKI	EXT	1.6642	13.8726	3.7040	0.9798	0.1623	0.0567	42.306	minmax
134006	HKI	RF	1.9172	14.6328	3.8141	0.9787	0.1792	0.0643	70.078	robust
134006	HKI	KNN	2.2735	19.9546	4.4578	0.9709	0.1818	0.0749	8.276	zscore
134006	NO2	EXT	7.4485	104.1405	10.2030	0.7767	0.3125	0.2843	47.733	maxabs
134006	NO2	CB	7.5723	100.1794	10.0077	0.7849	0.3144	0.2904	32.914	minmax
134006	NO2	RF	7.6617	106.7614	10.3316	0.7709	0.3210	0.3006	91.039	zscore
134006	PM10	EXT	5.6077	135.1984	11.4527	0.7090	0.2661	0.2230	42.279	maxabs
134006	PM10	RF	5.7226	142.0876	11.7737	0.6966	0.2661	0.2301	75.636	maxabs
134006	PM10	KNN	6.6840	174.4012	13.0990	0.6239	0.3040	0.2609	7.296	zscore

Şekil E.2.11. Pycaret sonuçları-134006

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134006	CO	RF	9.848242	191.119600	13.789955	0.996694	0.162807	0.098595	49.459608
134006	HKI	RF	1.274112	3.541918	1.879503	0.981582	0.163659	0.055384	35.953856
134006	NO2	RF	2.675907	9.784448	3.127743	0.797042	0.305575	0.278363	72.921590
134006	PM10	RF	2.351827	11.627500	3.389336	0.697722	0.259398	0.217888	44.133644

Şekil E.2.12. Hyperopt sonuçları-134006

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134007	CO	EXT	109.5372	37587.1696	193.3051	0.9935	0.1732	0.1031	39.695	robust
134007	CO	RF	115.5281	42166.9108	204.9395	0.9927	0.1806	0.1093	71.328	robust
134007	CO	CB	126.9980	43446.6680	207.8530	0.9925	0.1967	0.1244	34.562	robust
134007	HKI	EXT	1.6495	12.6008	3.5313	0.9597	0.1780	0.0384	38.121	maxabs
134007	HKI	RF	1.9616	14.5514	3.8008	0.9534	0.2170	0.0451	69.600	maxabs
134007	HKI	KNN	2.3252	19.2832	4.3715	0.9383	0.2029	0.0530	7.323	zscore
134007	NO2	EXT	8.1340	139.8953	11.8227	0.8437	0.2095	0.1682	41.980	robust
134007	NO2	CB	8.3323	136.0768	11.6580	0.8480	0.2113	0.1701	31.791	minmax
134007	NO2	RF	8.3288	142.9357	11.9526	0.8403	0.2119	0.1716	79.267	robust
134007	PM10	EXT	6.2863	106.2683	10.2610	0.8028	0.2106	0.1656	48.888	minmax
134007	PM10	RF	6.6400	113.5655	10.6092	0.7894	0.2194	0.1760	87.223	minmax
134007	PM10	CB	7.4344	126.8781	11.2208	0.7645	0.2422	0.1992	33.523	zscore
134007	SO2	EXT	0.8700	3.8786	1.9610	0.9886	0.1478	0.1067	39.486	maxabs
134007	SO2	RF	0.9112	4.1392	2.0227	0.9878	0.1532	0.1127	73.303	maxabs
134007	SO2	DT	1.1615	6.7814	2.5951	0.9800	0.1932	0.1347	1.096	zscore

Şekil E.2.13. Pycaret sonuçları-134007

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134007	CO	RF	10.396302	197.333394	14.038347	0.993227	0.172082	0.101883	75.167634
134007	HKI	RF	1.280063	3.352329	1.828590	0.963590	0.177904	0.038005	34.845383
134007	NO2	RF	2.788002	11.257148	3.354981	0.857515	0.200872	0.159910	128.764492
134007	PM10	RF	2.471303	10.071203	3.172083	0.802720	0.203751	0.159056	106.640295
134007	SO2	RF	0.920162	1.865468	1.364386	0.989680	0.144268	0.104198	22.901314

Şekil E.2.14. Hyperopt sonuçları-134007

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134008	CO	EXT	87.4161	30996.1840	172.6716	0.9935	0.1381	0.0812	44.118	maxabs
134008	CO	RF	92.1477	34117.3490	180.5761	0.9928	0.1440	0.0861	76.249	robust
134008	CO	CB	106.1114	35528.8566	185.7877	0.9925	0.1617	0.1015	31.873	zscore
134008	HKI	EXT	1.5652	12.7764	3.5528	0.9731	0.2082	0.0324	47.060	minmax
134008	HKI	RF	2.0871	16.5925	4.0517	0.9652	0.2382	0.0422	72.068	minmax
134008	HKI	DT	2.4202	30.6434	5.5029	0.9356	0.2550	0.0494	1.353	robust
134008	NO2	EXT	6.1051	72.9680	8.5386	0.8594	0.1739	0.1428	46.542	robust
134008	NO2	RF	6.3951	78.0133	8.8294	0.8496	0.1819	0.1604	88.784	zscore
134008	NO2	CB	6.5172	76.7861	8.7610	0.8519	0.1815	0.1657	32.164	robust
134008	PM10	EXT	8.3323	201.4617	14.1681	0.7943	0.2131	0.1643	42.846	minmax
134008	PM10	RF	8.6929	222.3294	14.8701	0.7746	0.2174	0.1714	74.263	minmax
134008	PM10	CB	10.2836	273.5390	16.4929	0.7231	0.2542	0.2092	31.772	zscore

Şekil E.2.15. Pycaret sonuçları-134008

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134008	CO	RF	9.359287	175.464188	13.228942	0.993441	0.139006	0.081326	87.260482
134008	HKI	EXT	1.281878	3.762474	1.934757	0.969910	0.210586	0.034892	20.783145
134008	NO2	RF	2.425168	8.180262	2.859940	0.870703	0.167801	0.138118	136.677352
134008	PM10	RF	2.837364	13.911958	3.724631	0.801443	0.203291	0.155888	107.674995

Şekil E.2.16. Hyperopt sonuçları-134008

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134009	CO	EXT	131.9885	108979.0084	289.2708	0.8913	0.2293	0.1677	46.944	zscore
134009	CO	RF	138.1619	92673.8202	274.6365	0.9105	0.2386	0.1763	82.965	minmax
134009	CO	CB	147.7399	109808.9494	293.3479	0.8915	0.2556	0.1887	33.536	robust
134009	HKI	EXT	2.3494	22.5334	4.7233	0.9142	0.2069	0.0640	45.925	minmax
134009	HKI	RF	2.6486	26.4750	5.1169	0.8998	0.2352	0.0707	77.366	minmax
134009	HKI	DT	3.2493	45.9059	6.7162	0.8238	0.2527	0.0872	1.153	zscore
134009	NO2	EXT	7.9534	122.4692	11.0641	0.8206	0.2113	0.1709	45.801	minmax
134009	NO2	CB	8.4542	130.2029	11.4071	0.8092	0.2233	0.1786	31.121	maxabs
134009	NO2	RF	8.3877	134.2426	11.5834	0.8033	0.2228	0.1823	87.410	minmax
134009	PM10	EXT	6.4834	124.8154	11.1601	0.7609	0.2570	0.2149	42.262	minmax
134009	PM10	RF	6.9701	136.8277	11.6877	0.7383	0.2737	0.2378	81.819	maxabs
134009	PM10	CB	7.9473	156.8218	12.5095	0.7004	0.3153	0.2774	33.230	zscore
134009	SO2	EXT	0.9268	6.3568	2.3942	0.9958	0.1572	0.1226	34.185	robust
134009	SO2	RF	0.9735	6.7545	2.4745	0.9955	0.1607	0.1300	63.993	robust
134009	SO2	DT	1.2172	8.8005	2.8223	0.9942	0.2091	0.1551	0.960	zscore

Şekil E.2.17. Pycaret sonuçları-134009

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134009	CO	RF	11.522685	303.718053	16.981685	0.894751	0.224239	0.159101	95.580087
134009	HKI	RF	1.533422	4.609756	2.141278	0.916438	0.203907	0.062942	111.746266
134009	NO2	RF	2.788132	10.766870	3.280947	0.831711	0.206302	0.166856	131.361167
134009	PM10	RF	8.906310	162.652462	12.707511	0.800427	0.229210	0.154398	4.472315
134009	SO2	RF	0.965421	2.700299	1.615336	0.994583	0.156397	0.121749	46.266391

Şekil E.2.18. Hyperopt sonuçları-134009

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134010	CO	EXT	70.7097	24258.6882	153.9599	0.9939	0.1537	0.0866	42.683	maxabs
134010	CO	RF	75.9342	24720.7258	155.4478	0.9938	0.1592	0.0934	76.281	robust
134010	CO	CB	86.8632	26534.8272	161.1476	0.9933	0.1750	0.1104	33.188	robust
134010	HKI	EXT	1.8520	18.6636	4.2994	0.9491	0.2217	0.0386	44.885	zscore
134010	HKI	RF	2.1936	20.7141	4.5365	0.9435	0.2455	0.0458	80.429	robust
134010	HKI	DT	2.4676	39.1597	6.2313	0.8934	0.2581	0.0526	2.116	minmax
134010	NO2	EXT	4.8137	70.7451	8.4059	0.8559	0.3178	0.3281	41.233	minmax
134010	NO2	RF	5.1707	79.0181	8.8796	0.8397	0.3362	0.3537	77.445	robust
134010	NO2	DT	6.8671	155.9248	12.4745	0.6835	0.4444	0.4140	1.446	minmax
134010	O3	EXT	7.6594	124.1589	11.1277	0.8652	0.2968	0.2567	38.638	minmax
134010	O3	RF	8.3660	144.6050	12.0104	0.8430	0.3272	0.2986	69.668	maxabs
134010	O3	CB	8.5773	137.6725	11.7248	0.8505	0.3327	0.3041	33.101	zscore
134010	PM10	EXT	8.1493	208.7612	14.4128	0.7515	0.2637	0.2139	47.816	zscore
134010	PM10	RF	8.1959	199.6240	14.0967	0.7624	0.2618	0.2177	85.848	robust
134010	PM10	CB	9.3395	223.4085	14.9219	0.7341	0.3033	0.2605	32.987	zscore
134010	SO2	EXT	0.8817	4.7034	2.1612	0.9906	0.1469	0.1136	38.012	robust
134010	SO2	RF	0.9210	4.7695	2.1745	0.9905	0.1506	0.1191	51.531	maxabs
134010	SO2	DT	1.1599	8.1508	2.8477	0.9838	0.1952	0.1451	0.760	maxabs

Şekil E.2.19. Pycaret sonuçları-134010

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134010	CO	RF	8.339954	142.993288	11.948129	0.994829	0.147836	0.083914	69.879794
134010	HKI	EXT	1.310514	3.787620	1.944526	0.960761	0.202712	0.037786	141.620824
134010	NO2	RF	2.140740	7.999933	2.827999	0.873282	0.298748	0.297670	102.366811
134010	O3	RF	2.756733	10.866188	3.296228	0.870385	0.294614	0.246368	70.222186
134010	PM10	RF	2.812998	14.113703	3.755199	0.761204	0.250393	0.203775	42.899269
134010	SO2	RF	0.926429	2.085440	1.443139	0.991332	0.141844	0.121740	40.105514

Şekil E.2.20. Hyperopt sonuçları-134010

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134011	HKI	EXT	1.7088	19.6905	4.4018	0.9662	0.2241	0.0419	40.173	minmax
134011	HKI	RF	2.1914	23.5220	4.8101	0.9596	0.2590	0.0549	56.437	maxabs
134011	HKI	DT	2.5444	44.0993	6.6216	0.9244	0.2697	0.0582	0.870	robust
134011	NO2	EXT	4.4450	48.5106	6.9578	0.8673	0.2565	0.2285	43.362	zscore
134011	NO2	CB	4.7506	50.4719	7.0993	0.8618	0.2762	0.2445	33.040	minmax
134011	NO2	RF	4.8889	56.1727	7.4901	0.8462	0.2838	0.2634	84.429	robust
134011	O3	EXT	3.9450	40.8007	6.3805	0.9165	0.3138	0.3306	41.015	minmax
134011	O3	RF	4.3667	46.7603	6.8335	0.9044	0.3434	0.3953	75.239	zscore
134011	O3	DT	5.8825	96.2729	9.8085	0.8031	0.4385	0.4069	1.144	maxabs
134011	PM10	EXT	10.5179	439.4176	20.8664	0.7210	0.2502	0.1941	48.177	zscore
134011	PM10	RF	11.6181	489.0747	22.0688	0.6884	0.2708	0.2171	97.024	minmax
134011	PM10	CB	12.4918	476.7855	21.7658	0.6971	0.2820	0.2351	32.124	minmax
134011	SO2	EXT	1.5049	22.4339	4.0505	0.7674	0.2909	0.3953	40.122	robust
134011	SO2	RF	1.4868	17.6992	3.4978	0.8347	0.2907	0.4169	70.620	robust
134011	SO2	CB	1.7187	19.6719	3.8565	0.8030	0.3213	0.4699	32.361	minmax

Şekil E.2.21. Pycaret sonuçları-134011

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134011	HKI	RF	1.322724	4.257920	2.062617	0.968547	0.228961	0.045534	51.654655
134011	NO2	RF	2.129281	7.190998	2.680613	0.859377	0.258389	0.231195	125.075125
134011	O3	RF	1.973014	6.187240	2.487308	0.920995	0.307149	0.326786	117.725956
134011	PM10	RF	3.226841	20.255211	4.495583	0.728272	0.243884	0.189162	13.603098
134011	SO2	RF	1.197774	2.552407	1.592640	0.900744	0.286203	0.408635	97.863395

Şekil E.2.22. Hyperopt sonuçları-134011

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134012	HKI	EXT	2.6769	37.8973	6.0936	0.9045	0.2199	0.0626	50.449	zscore
134012	HKI	RF	2.9630	38.1967	6.1165	0.9038	0.2448	0.0686	97.771	maxabs
134012	HKI	DT	3.6541	80.3185	8.8702	0.7984	0.2647	0.0856	1.447	zscore
134012	NO2	EXT	6.8275	206.7277	14.3658	0.8782	0.4204	0.5056	45.474	zscore
134012	NO2	RF	7.2138	215.4850	14.6599	0.8734	0.4395	0.5579	88.181	zscore
134012	NO2	KNN	8.7067	325.0231	18.0056	0.8083	0.4962	0.5896	4.752	maxabs
134012	O3	EXT	8.5541	153.8384	12.3985	0.8687	0.5263	0.7227	53.638	minmax
134012	O3	DT	12.0917	343.2676	18.5184	0.7070	0.6584	0.7265	1.406	robust
134012	O3	RF	9.1533	170.2972	13.0441	0.8547	0.5369	0.7542	97.063	minmax
134012	PM10	KNN	9.7696	357.3517	18.8840	0.6136	0.3661	0.4749	4.346	maxabs
134012	PM10	EXT	7.9208	239.0579	15.4228	0.7423	0.3138	0.4791	50.585	robust
134012	PM10	RF	7.9363	226.1297	15.0079	0.7556	0.3142	0.4823	84.340	zscore
134012	SO2	EXT	0.9138	3.9589	1.9857	0.9929	0.1430	0.1111	42.236	zscore
134012	SO2	RF	0.9618	4.8261	2.1732	0.9913	0.1444	0.1147	70.320	maxabs
134012	SO2	KNN	1.2149	7.9868	2.8115	0.9856	0.1818	0.1426	6.459	zscore

Şekil E.2.23. Pycaret sonuçları-134012

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134012	HKI	RF	1.577750	5.835873	2.405058	0.911549	0.215472	0.058878	96.880932
134012	NO2	RF	2.589528	14.137772	3.757635	0.873721	0.410395	0.495347	64.897736
134012	O3	RF	2.892537	12.239088	3.498220	0.872609	0.497476	0.637096	107.702154
134012	PM10	RF	2.680831	13.823272	3.717028	0.790724	0.289684	0.385068	93.226678
134012	SO2	RF	0.958076	2.055478	1.429930	0.992343	0.142166	0.110759	92.537898

Şekil E.2.24. Hyperopt sonuçları-134012

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134013	HKI	EXT	2.6857	34.5896	5.8339	0.9302	0.2406	0.0909	35.726	minmax
134013	HKI	RF	2.9463	32.8432	5.7066	0.9339	0.2658	0.1014	73.337	minmax
134013	HKI	DT	3.4970	60.8759	7.7550	0.8770	0.2935	0.1139	1.099	maxabs
134013	NO2	EXT	5.9406	98.1230	9.8943	0.8977	0.2601	0.2784	40.817	robust
134013	NO2	RF	6.1972	107.4770	10.3609	0.8877	0.2657	0.3037	75.970	maxabs
134013	NO2	DT	8.2715	204.3055	14.2795	0.7871	0.3514	0.3580	1.125	robust
134013	O3	EXT	6.8052	97.6037	9.8754	0.9102	0.1980	0.1416	43.857	robust
134013	O3	RF	7.8253	125.2042	11.1841	0.8848	0.2193	0.1633	78.705	minmax
134013	O3	CB	7.9051	111.6434	10.5613	0.8973	0.2158	0.1660	33.425	maxabs
134013	SO2	EXT	0.7327	12.1822	2.5740	0.9306	0.1569	0.1333	38.705	robust
134013	SO2	RF	0.7570	9.2271	2.3842	0.9489	0.1586	0.1376	64.775	maxabs
134013	SO2	KNN	0.9117	7.6686	2.4346	0.9590	0.1900	0.1654	7.678	zscore

Şekil E.2.25. Pycaret sonuçları-134013

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134013	HKI	RF	1.652562	5.627849	2.369684	0.934980	0.246604	0.090172	10.945404
134013	NO2	RF	2.395852	9.443726	3.072846	0.905809	0.250004	0.277038	115.130704
134013	O3	RF	2.611001	9.839431	3.136301	0.910573	0.197528	0.141356	71.730930
134013	SO2	RF	0.822833	1.390032	1.177372	0.988604	0.148611	0.150473	39.257704

Şekil E.2.26. Hyperopt sonuçları-134013

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134014	HKI	EXT	2.1828	21.8195	4.6647	0.9587	0.1941	0.0511	44.960	zscore
134014	HKI	RF	2.7824	26.3186	5.1268	0.9502	0.2269	0.0639	72.164	minmax
134014	HKI	DT	3.2899	50.7764	7.1154	0.9040	0.2441	0.0737	1.087	robust
134014	NO2	EXT	6.5549	133.7606	11.5544	0.9189	0.2434	0.2062	43.853	minmax
134014	NO2	RF	6.9447	150.8873	12.2656	0.9087	0.2519	0.2171	85.038	minmax
134014	NO2	CB	7.0911	133.6796	11.5492	0.9191	0.2901	0.2384	31.795	zscore
134014	O3	EXT	6.4462	85.8894	9.2656	0.8842	0.3991	0.4927	46.947	minmax
134014	O3	DT	9.1700	188.7888	13.7338	0.7454	0.5178	0.5296	1.199	zscore
134014	O3	RF	7.0058	96.8611	9.8392	0.8694	0.4286	0.5517	82.269	maxabs
134014	PM10	EXT	11.3364	379.7311	19.4496	0.7045	0.2930	0.2471	46.214	maxabs
134014	PM10	RF	11.9004	393.5767	19.8034	0.6944	0.3070	0.2636	92.131	zscore
134014	PM10	CB	13.0429	424.7806	20.5833	0.6700	0.3475	0.3002	33.206	minmax
134014	SO2	EXT	0.7432	10.2172	2.7685	0.9900	0.1404	0.1268	38.873	zscore
134014	SO2	RF	0.7944	10.4542	2.8000	0.9897	0.1480	0.1347	69.835	zscore
134014	SO2	DT	1.0062	16.3839	3.6104	0.9838	0.1945	0.1613	1.070	robust

Şekil E.2.27. Pycaret sonuçları-134014

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134014	HKI	EXT	1.505213	4.723661	2.172607	0.957407	0.194060	0.053003	97.017380
134014	NO2	RF	2.530418	11.193059	3.345149	0.923688	0.237459	0.200824	51.843920
134014	O3	RF	2.512162	8.974088	2.995443	0.891968	0.397833	0.492142	27.008647
134014	PM10	EXT	3.287211	18.633539	4.314550	0.729284	0.280945	0.237162	139.112162
134014	SO2	RF	0.861359	2.905703	1.632379	0.988364	0.137425	0.126347	41.917557

Şekil E.2.28. Hyperopt sonuçları-134014

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134015	HKI	EXT	1.8430	17.5414	4.1657	0.9305	0.1502	0.0480	38.797	minmax
134015	HKI	RF	2.1006	18.9608	4.3386	0.9250	0.1599	0.0547	72.960	maxabs
134015	HKI	DT	2.5514	40.3662	6.3330	0.8400	0.2049	0.0668	1.109	minmax
134015	NO2	EXT	5.1049	64.5390	8.0270	0.7448	0.3426	0.3250	50.841	maxabs
134015	NO2	CB	5.2408	60.9532	7.8007	0.7589	0.3551	0.3363	33.481	zscore
134015	NO2	RF	5.3836	68.7038	8.2826	0.7282	0.3593	0.3503	71.943	minmax
134015	O3	EXT	7.7980	134.5865	11.5972	0.8752	0.4183	0.5163	38.647	zscore
134015	O3	DT	11.3717	311.3466	17.6398	0.7115	0.5424	0.5601	0.957	robust
134015	O3	RF	8.3954	147.4596	12.1419	0.8633	0.4384	0.5732	64.738	robust
134015	PM10	EXT	6.2133	151.2059	12.2172	0.6743	0.2797	0.2344	40.379	robust
134015	PM10	RF	6.3350	151.5651	12.2511	0.6806	0.2831	0.2418	68.213	minmax
134015	PM10	KNN	7.3267	200.0792	14.0864	0.5772	0.3164	0.2682	5.788	zscore
134015	SO2	EXT	0.9177	4.4840	2.1103	0.9374	0.2334	0.2759	41.507	maxabs
134015	SO2	RF	0.9219	4.3097	2.0656	0.9399	0.2336	0.2922	74.463	robust
134015	SO2	DT	1.1949	7.9312	2.8053	0.8895	0.2997	0.3293	1.090	robust

Şekil E.2.29. Pycaret sonuçları-134015

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134015	HKI	RF	1.336221	3.855645	1.960789	0.940749	0.152464	0.047416	51.931293
134015	NO2	RF	2.220979	7.775629	2.787516	0.763197	0.329388	0.309408	106.441039
134015	O3	RF	2.772331	11.456818	3.384479	0.879176	0.403573	0.462668	28.535924
134015	PM10	RF	2.422842	10.924388	3.303204	0.730536	0.262214	0.220027	44.381672
134015	SO2	RF	0.922631	1.911736	1.381247	0.949511	0.215092	0.254869	42.834007

Şekil E.2.30. Hyperopt sonuçları-134015

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134016	HKI	EXT	1.4502	10.4347	3.2176	0.9300	0.1356	0.0398	34.603	maxabs
134016	HKI	RF	1.7530	11.8120	3.4276	0.9207	0.1513	0.0478	73.204	zscore
134016	HKI	DT	2.0049	24.0283	4.8797	0.8382	0.1700	0.0545	1.623	minmax
134016	NO2	EXT	1.7883	15.2326	3.8934	0.6722	0.3621	0.4829	39.952	robust
134016	NO2	RF	1.7909	14.1215	3.7447	0.6969	0.3557	0.5018	79.248	maxabs
134016	NO2	KNN	2.0357	17.2423	4.1412	0.6297	0.4019	0.5246	3.984	maxabs
134016	O3	EXT	5.5284	68.4706	8.2721	0.8897	0.1779	0.1215	46.630	robust
134016	O3	RF	6.0178	76.6088	8.7506	0.8766	0.1905	0.1359	74.146	zscore
134016	O3	CB	7.0738	92.0766	9.5938	0.8516	0.2112	0.1613	33.260	minmax
134016	PM10	RF	4.2136	58.5470	7.5708	0.7008	0.2373	0.1918	77.069	robust
134016	PM10	EXT	4.2904	61.2962	7.7517	0.6841	0.2461	0.1950	46.115	zscore
134016	PM10	KNN	4.7754	68.7892	8.2096	0.6474	0.2615	0.2124	7.172	zscore
134016	SO2	EXT	0.7527	2.7500	1.6508	0.9088	0.2020	0.2979	34.900	maxabs
134016	SO2	DT	1.0079	5.1848	2.2703	0.8279	0.2668	0.3250	0.969	minmax
134016	SO2	RF	0.7943	3.1610	1.7475	0.8977	0.2064	0.3438	64.711	zscore

Şekil E.2.31. Pycaret sonuçları-134016

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134016	HKI	RF	1.185458	2.956393	1.716059	0.942615	0.123328	0.038121	49.646954
134016	NO2	RF	1.296676	3.567486	1.885670	0.724345	0.338771	0.445611	42.797291
134016	O3	RF	2.322118	8.023921	2.832350	0.895282	0.173422	0.115492	73.030881
134016	PM10	RF	2.004661	7.191393	2.676843	0.733004	0.226124	0.179278	38.117591
134016	SO2	RF	0.857003	1.665917	1.287562	0.903861	0.196742	0.313267	27.614355

Şekil E.2.32. Hyperopt sonuçları-134016

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134017	HKI	EXT	1.2718	7.0133	2.6399	0.9784	0.0876	0.0442	43.329	zscore
134017	HKI	RF	1.6869	9.7132	3.1118	0.9702	0.1010	0.0590	63.114	minmax
134017	HKI	DT	2.0147	19.5203	4.4020	0.9401	0.1285	0.0666	1.002	robust
134017	NO2	EXT	6.0755	99.6026	9.9665	0.8071	0.3651	0.3612	21.611	robust
134017	NO2	RF	6.3656	100.1547	9.9967	0.8059	0.3834	0.4036	37.714	minmax
134017	NO2	CB	6.5322	96.9952	9.8379	0.8118	0.3992	0.4200	30.082	zscore
134017	O3	EXT	3.9461	32.1317	5.6672	0.8292	0.3240	0.2940	48.210	minmax
134017	O3	RF	4.1437	35.1971	5.9303	0.8128	0.3393	0.3180	88.855	robust
134017	O3	CB	4.3584	35.9731	5.9960	0.8086	0.3540	0.3349	33.432	robust
134017	PM10	EXT	8.2303	250.2545	15.6994	0.6554	0.3591	0.3304	44.620	maxabs
134017	PM10	RF	8.5373	251.5709	15.7490	0.6543	0.3697	0.3547	75.695	minmax
134017	PM10	KNN	9.5244	308.6594	17.4320	0.5770	0.4027	0.3802	7.383	zscore
134017	SO2	EXT	0.4208	0.5017	0.7081	0.7891	0.1859	0.2189	37.461	minmax
134017	SO2	RF	0.4313	0.4843	0.6958	0.7966	0.1849	0.2351	65.820	robust
134017	SO2	KNN	0.5022	0.6396	0.7994	0.7314	0.2105	0.2667	6.146	zscore

Şekil E.2.33. Pycaret sonuçları-134017

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134017	HKI	RF	1.161600	2.660007	1.630195	0.978381	0.089940	0.046811	33.050931
134017	NO2	RF	2.432916	9.677552	3.109746	0.823793	0.360472	0.361598	27.713831
134017	O3	RF	1.972119	5.625600	2.371501	0.833179	0.320670	0.288470	116.503112
134017	PM10	RF	2.859836	15.295264	3.900586	0.682106	0.357653	0.328626	42.037624
134017	SO2	RF	0.651991	0.724413	0.850528	0.784441	0.186950	0.223572	27.802999

Şekil E.2.34. Hyperopt sonuçları-134017

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134018	HKI	EXT	0.7796	2.9712	1.7209	0.9707	0.0930	0.0475	34.378	robust
134018	HKI	RF	1.0177	3.7787	1.9424	0.9628	0.1055	0.0627	60.909	robust
134018	HKI	DT	1.1190	7.4898	2.7339	0.9262	0.1414	0.0660	1.633	minmax
134018	O3	EXT	3.0251	30.3324	5.5041	0.9147	0.2578	0.2101	42.355	maxabs
134018	O3	RF	3.3005	32.9615	5.7384	0.9073	0.2767	0.2405	76.936	maxabs
134018	O3	DT	4.1416	64.0291	7.9986	0.8201	0.3678	0.2779	1.097	robust
134018	PM10	EXT	3.5254	24.5475	4.9539	0.7283	0.3418	0.3249	41.180	zscore
134018	PM10	RF	3.6293	24.4377	4.9430	0.7295	0.3508	0.3488	67.824	zscore
134018	PM10	DT	4.5515	46.4145	6.8117	0.4861	0.4598	0.4043	1.056	maxabs

Şekil E.2.35. Pycaret sonuçları-134018

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134018	HKI	EXT	0.909784	1.752899	1.322504	0.969286	0.094038	0.050827	44.473767
134018	O3	RF	1.716938	5.355461	2.313213	0.919483	0.252946	0.205347	37.919737
134018	PM10	RF	1.856041	4.823584	2.196120	0.741096	0.338222	0.322600	76.574834

Şekil E.2.36. Hyperopt sonuçları-134018

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134019	CO	EXT	140.6043	74731.3505	272.6322	0.7537	0.2742	0.2026	38.993	minmax
134019	CO	RF	151.5627	78155.4266	278.5564	0.7436	0.2922	0.2252	71.500	minmax
134019	CO	KNN	167.9241	97728.3031	312.2309	0.6790	0.3065	0.2315	5.100	zscore
134019	HKI	EXT	2.7024	29.3676	5.3765	0.9635	0.2035	0.0628	43.355	maxabs
134019	HKI	RF	3.1871	34.3799	5.8003	0.9573	0.2302	0.0739	68.667	zscore
134019	HKI	DT	3.7578	62.7789	7.8859	0.9221	0.2241	0.0840	1.002	minmax
134019	NO2	EXT	9.1339	178.3899	13.3498	0.8477	0.2213	0.1750	47.195	minmax
134019	NO2	RF	9.2847	178.0432	13.3401	0.8480	0.2229	0.1802	82.114	minmax
134019	NO2	CB	9.8310	183.4257	13.5407	0.8434	0.2345	0.1921	33.424	robust
134019	O3	EXT	5.3086	85.9241	8.8021	0.7984	0.5021	0.8328	20.564	minmax
134019	O3	DT	7.5079	163.7835	12.5912	0.5947	0.6612	0.9463	0.958	minmax
134019	O3	CB	5.6231	85.8848	8.7842	0.7993	0.5396	0.9730	29.938	minmax
134019	PM10	EXT	13.2056	516.2680	22.6728	0.8198	0.3255	0.2909	42.526	robust
134019	PM10	RF	13.5419	540.1272	23.1927	0.8113	0.3282	0.3012	74.274	maxabs
134019	PM10	DT	17.9261	1030.0131	32.0440	0.6405	0.4306	0.3594	1.364	maxabs

Şekil E.2.37. Pycaret sonuçları-134019

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134019	CO	KNN	11.926257	285.026501	16.878065	0.726704	0.278179	0.194242	0.396490
134019	HKI	RF	1.610517	5.119045	2.259744	0.967388	0.194467	0.059343	72.492509
134019	NO2	RF	2.956535	12.593006	3.548517	0.863749	0.210644	0.166735	16.116540
134019	O3	RF	2.304268	9.141268	2.996491	0.781582	0.491773	0.786824	52.291209
134019	PM10	RF	3.594880	22.380696	4.729003	0.822746	0.317478	0.280815	21.001646

Şekil E.2.38. Hyperopt sonuçları-134019

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134020	CO	EXT	87.5097	43902.1113	203.6869	0.7466	0.2209	0.1496	33.161	zscore
134020	CO	RF	93.1581	44515.2590	204.2635	0.7529	0.2352	0.1666	59.806	maxabs
134020	CO	CB	105.6349	46860.2695	210.1313	0.7384	0.2669	0.2020	31.917	minmax
134020	HKI	EXT	1.9794	19.4493	4.3964	0.9829	0.1720	0.0567	31.490	minmax
134020	HKI	RF	2.6492	27.4605	5.2317	0.9759	0.2077	0.0753	59.631	robust
134020	HKI	DT	3.1225	55.8266	7.4635	0.9510	0.2302	0.0840	0.914	robust
134020	NO2	EXT	6.6108	121.9746	11.0369	0.8069	0.2456	0.1979	32.308	robust
134020	NO2	RF	6.7128	116.1328	10.7685	0.8163	0.2492	0.2077	58.771	maxabs
134020	NO2	CB	7.2905	120.7216	10.9814	0.8092	0.2670	0.2296	31.794	maxabs
134020	O3	EXT	4.2274	46.3160	6.7997	0.8855	0.3105	0.2808	30.190	zscore
134020	O3	RF	4.7151	53.5620	7.3151	0.8675	0.3427	0.3311	54.203	maxabs
134020	O3	DT	6.1082	105.1355	10.2444	0.7398	0.4410	0.3727	0.828	minmax
134020	PM10	EXT	13.6052	587.9059	24.1719	0.8447	0.3846	0.3852	35.716	robust
134020	PM10	RF	15.0004	709.8539	26.5828	0.8129	0.4177	0.4390	68.728	maxabs
134020	PM10	DT	19.1030	1259.1784	35.4302	0.6662	0.5226	0.4824	1.015	robust
134020	SO2	EXT	0.4694	1.0234	1.0094	0.9199	0.1830	0.1909	35.837	minmax
134020	SO2	RF	0.4969	1.0309	1.0132	0.9192	0.1870	0.2053	66.475	robust
134020	SO2	KNN	0.6138	1.5263	1.2340	0.8800	0.2280	0.2469	3.684	maxabs

Şekil E.2.39. Pycaret sonuçları-134020

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134020	CO	RF	9.344106	217.923437	14.610892	0.717564	0.217601	0.146646	43.617813
134020	HKI	EXT	1.425981	4.609286	2.144230	0.981349	0.184932	0.056168	81.526346
134020	NO2	RF	2.489713	10.326011	3.211856	0.833162	0.229743	0.181978	60.468301
134020	O3	RF	2.063016	6.761376	2.599972	0.885800	0.312377	0.281122	96.998654
134020	PM10	RF	3.670886	23.820246	4.877808	0.848400	0.368295	0.345876	27.085083
134020	SO2	RF	0.668746	0.947909	0.973146	0.926243	0.173760	0.182760	101.937765

Şekil E.2.40. Hyperopt sonuçları-134020

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134021	HKI	EXT	1.0083	14.5743	3.6784	0.9165	0.1209	0.0531	42.835	minmax
134021	HKI	RF	1.3458	14.9661	3.7661	0.9143	0.1460	0.0725	74.420	minmax
134021	HKI	DT	1.4062	22.0759	4.5842	0.8695	0.1777	0.0760	1.092	minmax
134021	O3	EXT	3.9083	72.6989	8.2276	0.7554	0.2929	0.2807	44.026	zscore
134021	O3	RF	4.1150	67.7172	8.0013	0.7743	0.3121	0.3157	80.161	maxabs
134021	O3	KNN	4.9498	92.3288	9.4068	0.6876	0.3587	0.3653	7.276	zscore
134021	PM10	EXT	4.6370	68.5859	8.1955	0.6548	0.3398	0.3221	45.925	robust
134021	PM10	RF	4.7072	70.3250	8.2976	0.6536	0.3477	0.3481	80.480	robust
134021	PM10	KNN	5.3854	86.7238	9.2504	0.5695	0.3954	0.3876	8.181	zscore

Şekil E.2.41. Pycaret sonuçları-134021

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134021	HKI	RF	1.027696	3.329720	1.808098	0.930508	0.120797	0.054609	52.098512
134021	O3	RF	1.949572	8.175807	2.820249	0.743912	0.291096	0.277070	83.960696
134021	PM10	RF	2.130020	7.870911	2.784919	0.685758	0.336964	0.317026	17.806915

Şekil E.2.42. Hyperopt sonuçları-134021

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134024	CO	EXT	66.3155	14305.7558	117.7740	0.7295	0.2271	0.1646	41.854	robust
134024	CO	RF	68.6861	14594.9510	119.0637	0.7242	0.2342	0.1741	72.706	robust
134024	CO	KNN	78.4931	17828.4435	132.2073	0.6609	0.2604	0.1926	6.270	zscore
134024	HKI	EXT	2.6402	49.6672	6.8418	0.8735	0.1896	0.0836	46.845	zscore
134024	HKI	RF	2.9043	53.8508	7.1806	0.8599	0.1985	0.0908	79.949	minmax
134024	HKI	DT	3.4470	83.1543	8.8313	0.7837	0.2318	0.1048	1.182	minmax
134024	NO2	EXT	6.4501	103.4550	10.1634	0.8452	0.1866	0.1368	43.242	minmax
134024	NO2	RF	6.6677	105.4924	10.2626	0.8422	0.1928	0.1449	74.002	zscore
134024	NO2	CB	7.5460	118.2535	10.8711	0.8229	0.2126	0.1664	32.717	minmax
134024	O3	EXT	4.7152	124.8803	10.7472	0.7589	0.3658	0.3693	32.054	minmax
134024	O3	RF	4.9374	135.2488	11.0924	0.7641	0.3831	0.4148	60.795	maxabs
134024	O3	DT	6.4356	267.0482	15.7472	0.4884	0.4906	0.4665	0.913	maxabs
134024	PM10	EXT	6.8644	115.0360	10.6930	0.7073	0.3258	0.3048	46.527	minmax
134024	PM10	RF	6.9539	127.0407	11.1948	0.6827	0.3301	0.3153	76.470	minmax
134024	PM10	CB	7.7216	135.8417	11.6105	0.6571	0.3682	0.3568	31.822	robust
134024	SO2	EXT	0.6591	2.3723	1.5309	0.8283	0.1856	0.1951	40.496	robust
134024	SO2	RF	0.6665	2.4326	1.5497	0.8240	0.1828	0.1975	68.558	robust
134024	SO2	DT	0.8560	4.1838	2.0367	0.6916	0.2420	0.2377	1.033	robust

Şekil E.2.43. Pycaret sonuçları-134024

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134024	CO	RF	8.035634	110.942567	10.476414	0.759322	0.221829	0.159772	95.715785
134024	HKI	RF	1.597060	6.500221	2.532590	0.882827	0.175180	0.083892	55.189749
134024	NO2	RF	2.496574	9.616227	3.100491	0.862388	0.178996	0.131355	99.264125
134024	O3	RF	2.163753	10.020613	3.130021	0.798472	0.360643	0.363775	57.261114
134024	PM10	RF	2.614991	10.862523	3.288072	0.710866	0.321351	0.300934	11.105505
134024	SO2	RF	0.797422	1.491757	1.219986	0.838342	0.177798	0.187710	27.143857

Şekil E.2.44. Hyperopt sonuçları-134024

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134025	CO	EXT	139.8089	50752.4611	224.9984	0.7404	0.3223	0.2262	42.473	maxabs
134025	CO	RF	149.6206	54938.7447	234.1606	0.7194	0.3436	0.2504	81.038	robust
134025	CO	KNN	166.9020	68139.7590	260.8000	0.6516	0.3588	0.2711	8.417	zscore
134025	HKI	EXT	2.1464	16.0019	3.9949	0.9590	0.1596	0.0667	48.686	maxabs
134025	HKI	RF	2.4828	18.2332	4.2647	0.9534	0.1736	0.0767	76.931	robust
134025	HKI	KNN	3.0121	27.4041	5.2281	0.9299	0.1957	0.0899	10.131	zscore
134025	NO2	EXT	7.6159	139.2188	11.7940	0.8149	0.2471	0.2031	50.648	zscore
134025	NO2	CB	7.9413	134.5380	11.5960	0.8212	0.2579	0.2161	33.978	minmax
134025	NO2	RF	8.0449	148.3304	12.1749	0.8029	0.2616	0.2203	91.973	minmax
134025	PM10	EXT	7.5832	164.1073	12.7820	0.8272	0.3111	0.2792	45.832	zscore
134025	PM10	RF	8.1786	196.6496	14.0002	0.7924	0.3314	0.3049	97.749	robust
134025	PM10	KNN	9.3723	265.3539	16.2599	0.7205	0.3621	0.3223	6.577	zscore
134025	SO2	EXT	0.5165	1.5832	1.2466	0.7690	0.1829	0.1886	40.672	maxabs
134025	SO2	RF	0.5396	1.5577	1.2402	0.7720	0.1883	0.2040	72.996	maxabs
134025	SO2	KNN	0.6330	2.0028	1.4085	0.7047	0.2154	0.2331	7.880	zscore

Şekil E.2.45. Pycaret sonuçları-134025

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134025	CO	RF	11.688184	214.258116	14.632993	0.757159	0.314131	0.219921	112.549226
134025	HKI	RF	1.456183	3.891431	1.972312	0.961407	0.150715	0.065880	111.530495
134025	NO2	RF	2.749900	11.425540	3.379519	0.825524	0.247178	0.204617	132.600758
134025	PM10	RF	2.702304	12.375717	3.516710	0.840945	0.296872	0.262332	71.778196
134025	SO2	RF	0.712142	1.226159	1.106230	0.765659	0.181295	0.189434	30.549376

Şekil E.2.46. Hyperopt sonuçları-134025

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134026	CO	EXT	139.9365	67009.1584	254.8617	0.5347	0.4293	0.4696	21.777	maxabs
134026	CO	KNN	162.5609	80380.9246	279.8580	0.4414	0.4774	0.5106	1.978	zscore
134026	CO	RF	142.6899	63160.9333	246.8978	0.5661	0.4425	0.5122	42.159	robust
134026	HKI	EXT	1.9200	21.4764	4.5962	0.9765	0.2090	0.0648	37.043	maxabs
134026	HKI	RF	2.5529	25.4062	5.0167	0.9722	0.2468	0.0842	63.988	robust
134026	HKI	DT	3.0678	51.5919	7.1570	0.9434	0.2855	0.0879	0.944	robust
134026	NO2	EXT	5.5986	84.1289	9.1531	0.7840	0.2144	0.1558	42.861	zscore
134026	NO2	RF	6.0042	89.1452	9.4229	0.7710	0.2237	0.1704	77.172	maxabs
134026	NO2	CB	6.1898	82.6614	9.0810	0.7874	0.2273	0.1772	32.235	minmax
134026	O3	EXT	4.0068	46.2334	6.7782	0.8239	0.4323	0.5607	43.429	maxabs
134026	O3	RF	4.2402	48.9323	6.9791	0.8135	0.4572	0.6285	91.005	maxabs
134026	O3	DT	5.5998	98.8747	9.9121	0.6229	0.5779	0.6494	1.370	robust
134026	PM10	EXT	10.1943	471.7392	21.6590	0.8122	0.2603	0.2091	46.596	zscore
134026	PM10	RF	10.8441	493.3446	22.1695	0.8039	0.2710	0.2254	76.939	maxabs
134026	PM10	KNN	13.9184	794.2443	28.1271	0.6847	0.3191	0.2632	8.239	zscore
134026	SO2	EXT	0.4054	0.4441	0.6648	0.7834	0.1668	0.1901	41.085	zscore
134026	SO2	RF	0.4119	0.4382	0.6610	0.7861	0.1669	0.1986	67.063	zscore
134026	SO2	KNN	0.4733	0.5620	0.7488	0.7257	0.1899	0.2256	7.445	zscore

Şekil E.2.47. Pycaret sonuçları-134026

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134026	CO	KNN	12.270753	275.835233	16.569304	0.482544	0.454874	0.464642	0.100808
134026	HKI	RF	1.419113	4.363490	2.086908	0.978967	0.210399	0.067649	47.735222
134026	NO2	RF	2.337740	8.869228	2.977482	0.793917	0.204373	0.148396	28.021071
134026	O3	RF	1.944895	6.167572	2.481190	0.851387	0.416341	0.543564	26.214799
134026	PM10	RF	3.118569	21.151480	4.595220	0.811393	0.249758	0.198555	139.231257
134026	SO2	RF	0.627650	0.642699	0.801372	0.794722	0.162863	0.185561	84.756123

Şekil E.2.48. Hyperopt sonuçları-134026

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134027	HKI	EXT	1.8093	15.3347	3.9085	0.9497	0.2013	0.1070	40.251	maxabs
134027	HKI	DT	2.5074	30.2008	5.4850	0.9008	0.2528	0.1235	1.057	robust
134027	HKI	RF	2.1265	16.8253	4.0958	0.9448	0.2309	0.1298	70.967	minmax
134027	NO2	EXT	7.6591	155.4273	12.4522	0.8270	0.2934	0.2594	30.455	maxabs
134027	NO2	CB	8.1901	156.2333	12.4890	0.8258	0.3283	0.2904	32.629	zscore
134027	NO2	RF	8.2010	169.8316	13.0163	0.8109	0.3209	0.2954	59.203	zscore
134027	O3	EXT	5.1726	59.2006	7.6886	0.8412	0.4275	0.5340	37.822	robust
134027	O3	DT	7.2831	127.7301	11.2954	0.6575	0.5617	0.5784	1.046	robust
134027	O3	RF	5.4603	64.2222	8.0101	0.8278	0.4463	0.5802	70.273	robust
134027	PM10	EXT	7.5493	137.6656	11.6892	0.7411	0.3426	0.3169	48.004	robust
134027	PM10	RF	7.6491	138.2146	11.7312	0.7403	0.3466	0.3283	88.453	zscore
134027	PM10	CB	8.2208	146.4214	12.0778	0.7252	0.3792	0.3670	33.914	robust
134027	SO2	EXT	0.5138	0.8110	0.8996	0.7899	0.1939	0.2192	42.321	robust
134027	SO2	RF	0.5337	0.8204	0.9049	0.7868	0.1979	0.2426	76.148	maxabs
134027	SO2	KNN	0.6285	1.1108	1.0529	0.7115	0.2293	0.2825	6.246	zscore

Şekil E.2.49. Pycaret sonuçları-134027

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134027	HKI	RF	1.330669	3.830155	1.956177	0.951710	0.201299	0.102812	92.515717
134027	NO2	RF	2.750197	12.174297	3.487629	0.835883	0.289012	0.253042	100.283303
134027	O3	RF	2.249514	7.493961	2.737307	0.853192	0.404194	0.480475	88.080818
134027	PM10	RF	2.679843	11.073760	3.324642	0.770478	0.328522	0.301549	123.040363
134027	SO2	RF	0.709215	0.880364	0.937816	0.802689	0.190424	0.224124	30.540376

Şekil E.2.50. Hyperopt sonuçları-134027

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134028	HKI	EXT	1.0502	8.0924	2.7676	0.9602	0.1751	0.0568	41.293	maxabs
134028	HKI	RF	1.3636	9.5799	3.0549	0.9523	0.2086	0.0785	68.964	robust
134028	HKI	DT	1.5414	19.3326	4.3549	0.9028	0.2414	0.0816	1.019	robust
134028	NO2	EXT	2.8397	22.3094	4.6966	0.8595	0.2502	0.2241	17.607	maxabs
134028	NO2	RF	3.0329	24.0636	4.8818	0.8484	0.2593	0.2463	30.874	maxabs
134028	NO2	KNN	3.5022	31.1859	5.5719	0.8033	0.2832	0.2660	2.127	zscore
134028	O3	EXT	5.1046	66.5797	8.1433	0.8774	0.4666	0.6929	29.261	robust
134028	O3	DT	7.1413	140.0717	11.8193	0.7416	0.6185	0.8229	0.869	maxabs
134028	O3	RF	5.5182	74.3134	8.6078	0.8633	0.5072	0.8422	55.974	maxabs
134028	PM10	EXT	5.2721	60.1939	7.7520	0.7948	0.3589	0.3552	40.864	maxabs
134028	PM10	RF	5.2798	57.5250	7.5797	0.8038	0.3612	0.3696	68.427	zscore
134028	PM10	KNN	6.0894	79.0237	8.8834	0.7307	0.4074	0.4049	7.111	zscore
134028	SO2	EXT	0.5501	1.7401	1.2592	0.7118	0.2158	0.2458	18.345	minmax
134028	SO2	RF	0.5740	1.7659	1.2685	0.7086	0.2199	0.2725	29.625	minmax
134028	SO2	DT	0.7300	2.9442	1.6771	0.4863	0.2828	0.3074	0.434	maxabs

Şekil E.2.51. Pycaret sonuçları-134028

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134028	HKI	RF	1.034012	2.774380	1.660709	0.960412	0.181193	0.057048	89.744242
134028	NO2	RF	1.640170	4.146977	2.035328	0.892005	0.227421	0.201158	60.784961
134028	O3	RF	2.244617	8.077480	2.840906	0.879843	0.455069	0.660966	34.183392
134028	PM10	RF	2.290294	7.636542	2.762738	0.801784	0.354748	0.350785	34.079802
134028	SO2	EXT	0.769650	1.704941	1.247015	0.625248	0.225985	0.256629	2.092466

Şekil E.2.52. Hyperopt sonuçları-134028

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134029	CO	EXT	105.8852	38998.0320	196.2176	0.7007	0.3381	0.2319	40.293	minmax
134029	CO	RF	109.5364	39255.6538	197.1214	0.6984	0.3510	0.2477	69.570	zscore
134029	CO	KNN	127.7677	53129.9434	229.8985	0.5898	0.3781	0.2705	4.499	zscore
134029	HKI	EXT	2.3888	19.4314	4.3992	0.9613	0.1534	0.0717	38.710	minmax
134029	HKI	RF	3.0064	24.3456	4.9277	0.9514	0.1714	0.0880	62.723	minmax
134029	HKI	DT	3.5366	47.1619	6.8618	0.9059	0.2057	0.1018	0.968	minmax
134029	NO2	EXT	8.8946	185.7442	13.6076	0.8079	0.3241	0.2901	44.779	robust
134029	NO2	CB	9.0303	172.0976	13.1023	0.8219	0.3331	0.2992	30.812	minmax
134029	NO2	RF	9.0259	180.5339	13.4184	0.8131	0.3311	0.3016	84.815	zscore
134029	O3	EXT	7.6194	122.5393	11.0607	0.8762	0.5509	0.8686	13.908	maxabs
134029	O3	RF	8.1069	135.0596	11.6094	0.8636	0.5748	0.9419	25.877	maxabs
134029	O3	CB	7.6385	111.5503	10.5575	0.8873	0.5663	0.9480	28.369	minmax
134029	PM10	EXT	9.9709	528.7811	22.8931	0.6611	0.3295	0.2902	49.950	minmax
134029	PM10	RF	10.6480	540.1524	23.1135	0.6553	0.3503	0.3276	84.604	minmax
134029	PM10	KNN	13.1405	738.1210	27.0932	0.5263	0.4041	0.3737	6.950	zscore
134029	SO2	EXT	0.4580	1.1698	1.0707	0.8508	0.1679	0.1841	32.578	minmax
134029	SO2	RF	0.4696	1.2035	1.0808	0.8507	0.1685	0.1925	62.064	minmax
134029	SO2	KNN	0.5444	1.8355	1.3393	0.7705	0.1915	0.2214	5.297	zscore

Şekil E.2.53. Pycaret sonuçları-134029

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134029	CO	RF	10.069160	202.019743	14.167553	0.697129	0.322372	0.219242	43.237754
134029	HKI	EXT	1.524315	4.120749	2.028647	0.966362	0.152896	0.068794	39.650004
134029	NO2	RF	2.913108	12.967003	3.599892	0.824066	0.314017	0.279059	146.824181
134029	O3	RF	2.705761	10.692317	3.268332	0.883858	0.524850	0.779950	45.066276
134029	PM10	RF	3.104479	22.656103	4.754589	0.654919	0.313072	0.271461	110.745213
134029	SO2	RF	0.669965	1.077128	1.035331	0.857581	0.163842	0.180974	11.528698

Şekil E.2.54. Hyperopt sonuçları-134029

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134030	HKI	EXT	1.6634	10.0776	3.1664	0.9463	0.1417	0.0655	38.361	zscore
134030	HKI	RF	1.8810	11.2602	3.3496	0.9400	0.1515	0.0746	66.536	minmax
134030	HKI	KNN	2.2681	16.7657	4.0893	0.9107	0.1766	0.0883	7.196	zscore
134030	NO2	EXT	5.4642	82.2691	9.0605	0.8497	0.2129	0.1582	34.257	maxabs
134030	NO2	RF	5.7810	89.2949	9.4442	0.8367	0.2214	0.1684	66.732	maxabs
134030	NO2	CB	6.3171	90.0903	9.4857	0.8354	0.2309	0.1858	29.993	zscore
134030	PM10	EXT	3.8939	36.5065	6.0290	0.8640	0.2208	0.1895	38.550	robust
134030	PM10	RF	4.1322	40.0591	6.3153	0.8509	0.2321	0.2043	72.930	maxabs
134030	PM10	KNN	4.7209	51.5206	7.1681	0.8083	0.2582	0.2232	6.690	zscore
134030	SO2	EXT	0.3633	1.2268	1.0488	0.7693	0.1436	0.1426	29.045	zscore
134030	SO2	RF	0.3695	1.1346	1.0100	0.7893	0.1438	0.1488	56.909	robust
134030	SO2	DT	0.4832	1.8004	1.3057	0.6545	0.1936	0.1830	0.839	robust

Şekil E.2.55. Pycaret sonuçları-134030

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134030	HKI	RF	1.263947	3.034470	1.741478	0.951059	0.132777	0.061576	92.246490
134030	NO2	EXT	2.347955	9.031268	3.004430	0.847421	0.217738	0.160799	86.660831
134030	PM10	RF	1.944205	5.616607	2.369561	0.882924	0.212373	0.181837	94.533620
134030	SO2	RF	0.583744	0.825781	0.906429	0.860789	0.132650	0.136701	29.795037

Şekil E.2.56. Hyperopt sonuçları-134030

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134031	CO	EXT	95.8433	34250.0389	181.2009	0.7274	0.3036	0.2160	24.089	maxabs
134031	CO	RF	105.9738	37666.8324	191.0120	0.6998	0.3269	0.2449	44.551	maxabs
134031	CO	CB	110.2610	34958.2254	183.8526	0.7226	0.3347	0.2620	31.128	maxabs
134031	HKI	EXT	1.9966	12.1799	3.4881	0.9612	0.1168	0.0623	44.575	minmax
134031	HKI	RF	2.2927	14.2051	3.7644	0.9548	0.1329	0.0715	77.187	minmax
134031	HKI	KNN	2.7906	21.1951	4.6012	0.9326	0.1501	0.0848	8.665	zscore
134031	NO2	EXT	6.6259	100.8437	10.0373	0.8820	0.1847	0.1429	42.602	maxabs
134031	NO2	RF	7.0086	113.1161	10.6305	0.8677	0.1944	0.1530	82.607	maxabs
134031	NO2	CB	7.1192	105.9555	10.2878	0.8761	0.1954	0.1550	32.793	zscore
134031	PM10	EXT	5.4154	94.6241	9.6125	0.8435	0.2355	0.1932	49.686	robust
134031	PM10	RF	5.8617	102.4011	9.9989	0.8307	0.2500	0.2106	89.760	robust
134031	PM10	KNN	6.9647	141.3076	11.7896	0.7661	0.2862	0.2364	8.950	zscore
134031	SO2	EXT	0.5277	1.0387	1.0133	0.8031	0.1813	0.1893	30.085	zscore
134031	SO2	RF	0.5277	1.0078	0.9969	0.8102	0.1800	0.1949	53.609	zscore
134031	SO2	KNN	0.6133	1.2739	1.1227	0.7595	0.2049	0.2213	4.802	zscore

Şekil E.2.57. Pycaret sonuçları-134031

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134031	CO	RF	9.576558	154.698412	12.430780	0.795963	0.290500	0.205102	39.502059
134031	HKI	RF	1.400722	3.427393	1.851050	0.962692	0.115352	0.059643	54.031510
134031	NO2	RF	2.536360	9.842853	3.136413	0.885397	0.182431	0.139981	39.132128
134031	PM10	RF	2.326443	9.876664	3.132812	0.839141	0.233127	0.188791	18.428114
134031	SO2	EXT	0.711537	0.930872	0.964469	0.831054	0.173544	0.185137	51.393585

Şekil E.2.58. Hyperopt sonuçları-134031

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134032	CO	EXT	91.2345	27190.2506	164.4284	0.7446	0.2593	0.1971	50.715	zscore
134032	CO	RF	98.6848	29707.5396	171.9337	0.7206	0.2798	0.2195	93.881	zscore
134032	CO	CB	104.7522	28775.9515	169.2158	0.7293	0.2896	0.2346	33.220	zscore
134032	HKI	RF	2.7602	24.4207	4.9327	0.9295	0.1626	0.0837	72.208	maxabs
134032	HKI	EXT	2.4889	23.1609	4.7933	0.9331	0.1543	0.0878	37.833	zscore
134032	HKI	DT	3.5734	48.6420	6.9573	0.8594	0.1708	0.0969	1.774	minmax
134032	NO2	EXT	7.1991	132.9089	11.5058	0.8883	0.1589	0.1084	41.607	zscore
134032	NO2	RF	7.7790	147.9185	12.1287	0.8760	0.1684	0.1183	91.866	minmax
134032	NO2	CB	8.9246	164.7474	12.8171	0.8615	0.1792	0.1333	31.460	maxabs
134032	O3	EXT	3.9858	54.6886	7.3664	0.7603	0.3726	0.3938	46.199	robust
134032	O3	RF	4.2497	55.0857	7.4000	0.7582	0.4041	0.4600	84.805	robust
134032	O3	DT	5.5756	104.1051	10.1662	0.5425	0.5114	0.4978	1.306	maxabs
134032	PM10	EXT	6.0368	95.3860	9.7468	0.8571	0.2098	0.1679	43.315	minmax
134032	PM10	RF	6.1878	97.9717	9.8811	0.8535	0.2132	0.1732	74.905	minmax
134032	PM10	CB	7.4319	125.3752	11.1869	0.8123	0.2514	0.2119	31.402	maxabs
134032	SO2	EXT	0.5130	0.7869	0.8856	0.8553	0.1646	0.1800	38.668	maxabs
134032	SO2	RF	0.5416	0.8657	0.9293	0.8408	0.1720	0.1937	73.912	robust
134032	SO2	DT	0.7227	1.6213	1.2724	0.7009	0.2329	0.2385	1.131	zscore

Şekil E.2.59. Pycaret sonuçları-134032

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134032	CO	RF	9.344947	155.762236	12.470012	0.762175	0.252787	0.190281	60.078140
134032	HKI	RF	1.571740	4.747431	2.177503	0.934925	0.139563	0.076201	78.465090
134032	NO2	EXT	2.651265	11.570337	3.395224	0.887848	0.153329	0.106086	122.339616
134032	O3	RF	1.977264	7.126389	2.666024	0.780073	0.367489	0.385577	134.901005
134032	PM10	RF	2.398903	9.360439	3.057985	0.860294	0.203674	0.161433	76.828048
134032	SO2	RF	0.711020	0.905523	0.951030	0.853516	0.161827	0.175383	134.052834

Şekil E.2.60. Hyperopt sonuçları-134032

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134033	CO	EXT	87.6105	32523.4840	178.4463	0.8043	0.2457	0.1767	42.939	robust
134033	CO	RF	95.1418	34447.4477	183.6143	0.7941	0.2622	0.1977	66.281	maxabs
134033	CO	KNN	105.4244	40546.2688	199.8030	0.7581	0.2878	0.2093	8.014	zscore
134033	HKI	EXT	2.2444	16.1710	4.0164	0.9608	0.1167	0.0683	44.716	minmax
134033	HKI	RF	2.6117	19.4389	4.4022	0.9529	0.1257	0.0791	75.221	robust
134033	HKI	KNN	2.9974	27.0226	5.1877	0.9347	0.1410	0.0893	8.429	zscore
134033	NO2	EXT	7.7030	137.1901	11.6972	0.7837	0.2325	0.1792	38.854	zscore
134033	NO2	RF	7.9245	139.4621	11.7933	0.7804	0.2377	0.1895	64.417	maxabs
134033	NO2	CB	8.3600	146.4835	12.0877	0.7694	0.2455	0.2009	32.648	zscore
134033	O3	EXT	3.3104	25.3178	5.0264	0.8671	0.3159	0.3132	44.039	maxabs
134033	O3	RF	3.5639	28.4399	5.3264	0.8507	0.3397	0.3552	78.725	zscore
134033	O3	CB	3.6976	27.7210	5.2588	0.8544	0.3596	0.3775	31.614	robust
134033	PM10	EXT	6.2149	184.9246	13.5342	0.8228	0.2688	0.2287	44.680	robust
134033	PM10	RF	6.6978	222.3531	14.8189	0.7878	0.2803	0.2431	80.901	maxabs
134033	PM10	KNN	7.8487	293.9924	17.0185	0.7210	0.3116	0.2629	8.318	zscore
134033	SO2	EXT	0.4249	0.6305	0.7886	0.8767	0.1464	0.1600	41.843	maxabs
134033	SO2	RF	0.4471	0.6998	0.8302	0.8638	0.1518	0.1716	70.156	minmax
134033	SO2	KNN	0.5478	1.0051	0.9972	0.8040	0.1834	0.2086	8.003	zscore

Şekil E.2.61. Pycaret sonuçları-134033

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134033	CO	RF	9.151639	167.005464	12.881029	0.829232	0.238172	0.168644	10.606992
134033	HKI	EXT	1.508638	4.064155	2.015060	0.960635	0.120049	0.069965	77.089986
134033	NO2	RF	2.750845	11.464285	3.384111	0.791238	0.230025	0.177574	94.272336
134033	O3	RF	1.801428	4.936949	2.221193	0.871900	0.311054	0.309410	111.453712
134033	PM10	RF	2.415805	12.725532	3.559380	0.838968	0.248537	0.207227	97.814199
134033	SO2	RF	0.652509	1.222412	1.035989	0.789019	0.146873	0.155079	30.613155

Şekil E.2.62. Hyperopt sonuçları-134033

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134035	HKI	EXT	2.0894	29.5614	5.4029	0.9774	0.2816	0.0301	44.429	robust
134035	HKI	RF	2.9425	39.3673	6.2443	0.9698	0.3583	0.0420	71.726	maxabs
134035	HKI	DT	3.2902	79.8844	8.8697	0.9387	0.3367	0.0484	1.041	minmax
134035	PM10	EXT	20.2280	1165.2958	34.1041	0.7460	0.3516	0.3098	49.922	maxabs
134035	PM10	RF	21.3356	1236.8255	35.1290	0.7308	0.3685	0.3372	96.447	zscore
134035	PM10	CB	23.8457	1386.5202	37.2005	0.6981	0.4171	0.3845	33.111	maxabs

Şekil E.2.63. Pycaret sonuçları-134035

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134035	HKI	RF	1.515204	5.936278	2.432425	0.972952	0.310011	0.033164	35.503153
134035	PM10	RF	4.480447	33.991472	5.827634	0.748273	0.341841	0.294994	54.904849

Şekil E.2.64. Hyperopt sonuçları-134035

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134036	HKI	EXT	1.1312	5.9305	2.4057	0.9905	0.1340	0.0248	34.811	minmax
134036	HKI	RF	1.5458	8.7124	2.9407	0.9860	0.1685	0.0342	59.340	robust
134036	HKI	KNN	1.8517	13.6966	3.6777	0.9780	0.1712	0.0403	8.165	zscore
134036	PM10	EXT	9.0206	158.7067	12.5953	0.6928	0.2497	0.1993	39.810	robust
134036	PM10	RF	9.3040	158.0802	12.5699	0.6939	0.2518	0.2083	74.381	maxabs
134036	PM10	CB	9.6282	163.5949	12.7890	0.6832	0.2580	0.2162	32.127	minmax

Şekil E.2.65. Pycaret sonuçları-134036

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134036	HKI	RF	1.131420	2.982411	1.725361	0.987126	0.172613	0.025063	32.150445
134036	PM10	RF	2.990128	12.461817	3.529975	0.700344	0.247183	0.196743	12.268358

Şekil E.2.66. Hyperopt sonuçları-134036

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134037	HKI	EXT	1.6085	18.1267	4.2250	0.9857	0.2397	0.0340	34.184	minmax
134037	HKI	RF	2.2731	27.2490	5.1862	0.9786	0.3058	0.0475	59.302	robust
134037	HKI	KNN	2.7023	39.4459	6.2476	0.9690	0.3273	0.0553	8.223	zscore
134037	PM10	EXT	14.4021	835.9128	28.8760	0.7597	0.3620	0.3263	42.273	maxabs
134037	PM10	RF	15.1488	887.6360	29.7229	0.7461	0.3775	0.3647	70.309	minmax
134037	PM10	KNN	18.3785	1212.1290	34.7553	0.6521	0.4314	0.4146	7.341	zscore

Şekil E.2.67. Pycaret sonuçları-134037

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134037	HKI	EXT	1.308698	4.227000	2.049221	0.985678	0.260314	0.034208	12.073777
134037	PM10	RF	3.743339	27.691022	5.258348	0.776654	0.357037	0.326916	14.354135

Şekil E.2.68. Hyperopt sonuçları-134037

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134041	CO	EXT	96.4863	43102.1757	207.3579	0.7699	0.2332	0.1601	45.233	zscore
134041	CO	RF	104.6073	49913.0326	222.9060	0.7348	0.2552	0.1806	86.237	minmax
134041	CO	CB	108.2784	40729.5163	201.4171	0.7830	0.2624	0.1966	33.544	minmax
134041	HKI	EXT	1.9985	13.3357	3.6475	0.9673	0.1126	0.0543	48.362	maxabs
134041	HKI	RF	2.3184	14.9797	3.8671	0.9633	0.1171	0.0629	77.725	maxabs
134041	HKI	DT	2.8213	28.9124	5.3731	0.9290	0.1523	0.0761	1.138	maxabs
134041	NO2	EXT	8.2068	155.4074	12.4599	0.8297	0.2738	0.2340	47.963	maxabs
134041	NO2	CB	8.3923	148.2180	12.1694	0.8375	0.2829	0.2344	32.934	robust
134041	NO2	RF	8.7241	170.2921	13.0446	0.8133	0.2958	0.2603	98.340	minmax
134041	O3	EXT	6.5020	85.6252	9.2520	0.8724	0.4541	0.5562	47.810	minmax
134041	O3	CB	6.6483	80.4263	8.9666	0.8802	0.4707	0.6001	33.817	maxabs
134041	O3	RF	6.9124	94.5042	9.7204	0.8592	0.4729	0.6050	91.817	maxabs
134041	PM10	EXT	8.7677	251.2596	15.8261	0.7386	0.3098	0.2585	49.184	maxabs
134041	PM10	RF	9.2746	276.1159	16.5921	0.7133	0.3300	0.2810	93.145	robust
134041	PM10	CB	9.6728	252.1192	15.8637	0.7379	0.3524	0.3007	33.233	maxabs
134041	SO2	EXT	0.5324	1.2251	1.1026	0.8455	0.1639	0.1602	41.299	maxabs
134041	SO2	RF	0.5458	1.2918	1.1315	0.8377	0.1626	0.1620	72.169	minmax
134041	SO2	KNN	0.6660	1.9526	1.3927	0.7549	0.1955	0.1927	7.866	zscore

Şekil E.2.69. Pycaret sonuçları-134041

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134041	CO	RF	9.699049	200.596142	14.153840	0.784840	0.231425	0.158297	44.759085
134041	HKI	RF	1.393671	3.450491	1.856933	0.971011	0.106762	0.051643	116.207671
134041	NO2	RF	2.852919	12.412813	3.522850	0.833151	0.270113	0.230707	131.955786
134041	O3	RF	2.525209	8.972998	2.995334	0.880055	0.440718	0.530367	21.084968
134041	PM10	RF	2.970266	16.014236	3.999571	0.744507	0.315763	0.259482	90.507266
134041	SO2	RF	0.716127	1.068185	1.033157	0.858759	0.155254	0.152071	66.929189

Şekil E.2.70. Hyperopt sonuçları-13404

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134042	CO	EXT	90.2503	35644.1792	188.2975	0.7405	0.2544	0.1746	23.446	robust
134042	CO	RF	96.6721	37557.5569	193.3374	0.7274	0.2763	0.1989	47.840	maxabs
134042	CO	CB	97.1449	30191.3352	173.4662	0.7798	0.2716	0.2032	30.388	minmax
134042	HKI	EXT	1.1947	10.5799	3.2309	0.9836	0.1202	0.0550	32.301	zscore
134042	HKI	RF	1.4500	12.5566	3.4986	0.9805	0.1429	0.0661	58.973	zscore
134042	HKI	DT	1.7054	23.6037	4.8119	0.9633	0.1534	0.0775	0.865	maxabs
134042	NO2	EXT	6.9531	109.4998	10.4624	0.8005	0.3689	0.3673	25.795	minmax
134042	NO2	CB	7.2137	104.3574	10.2136	0.8099	0.3867	0.3875	30.978	minmax
134042	NO2	RF	7.5078	120.1054	10.9580	0.7811	0.4039	0.4273	51.967	minmax
134042	O3	DT	10.5506	259.3890	16.0905	0.7577	0.6124	0.6622	0.752	robust
134042	O3	EXT	7.5612	120.3244	10.9656	0.8875	0.4925	0.6757	23.634	minmax
134042	O3	RF	8.0615	132.5035	11.5073	0.8762	0.5067	0.7278	48.296	zscore
134042	PM10	EXT	7.1288	236.5380	15.1862	0.7626	0.2819	0.2418	24.030	maxabs
134042	PM10	RF	7.7439	244.8738	15.4819	0.7538	0.3045	0.2718	47.785	minmax
134042	PM10	CB	8.1148	233.8618	15.1385	0.7651	0.3189	0.2918	31.038	zscore
134042	SO2	RF	0.9446	5.6142	2.2935	0.5855	0.2265	0.2324	41.703	minmax
134042	SO2	EXT	0.9609	5.6700	2.2872	0.5872	0.2307	0.2327	26.413	robust
134042	SO2	CB	1.0248	5.9140	2.3535	0.5633	0.2409	0.2610	33.934	minmax

Şekil E.2.71. Pycaret sonuçları-134042

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134042	CO	RF	9.180396	169.858631	13.017581	0.794641	0.232820	0.160830	10.308689
134042	HKI	EXT	1.097781	3.065576	1.748827	0.985168	0.139133	0.034398	23.658058
134042	NO2	RF	2.614190	10.198153	3.193009	0.813674	0.361587	0.359286	61.858629
134042	O3	RF	2.721197	10.799001	3.285701	0.892413	0.472051	0.612250	23.725847
134042	PM10	RF	2.609751	14.768308	3.824265	0.765532	0.277644	0.232952	71.504478
134042	SO2	RF	0.969679	2.151570	1.444303	0.623650	0.226393	0.234083	16.731829

Şekil E.2.72. Hyperopt sonuçları-134042

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134043	CO	EXT	36.0008	4986.6908	70.0310	0.8011	0.2031	0.1400	36.139	minmax
134043	CO	RF	38.0750	5699.8333	74.5262	0.7782	0.2147	0.1523	61.078	robust
134043	CO	KNN	43.5388	7227.9096	84.2024	0.7168	0.2400	0.1682	5.635	zscore
134043	HKI	EXT	1.4238	8.5070	2.8974	0.9705	0.1286	0.0429	40.463	minmax
134043	HKI	RF	1.7878	10.4141	3.2140	0.9638	0.1443	0.0534	70.535	maxabs
134043	HKI	DT	2.1339	21.8555	4.6546	0.9240	0.1746	0.0612	1.061	minmax
134043	NO2	EXT	5.4901	74.4582	8.6167	0.7762	0.3767	0.3804	41.950	robust
134043	NO2	CB	5.8950	77.2745	8.7807	0.7675	0.4094	0.4210	30.819	zscore
134043	NO2	RF	5.7950	78.9496	8.8744	0.7628	0.3988	0.4224	90.746	zscore
134043	O3	EXT	6.2475	82.5957	9.0835	0.8486	0.3350	0.3333	32.655	zscore
134043	O3	DT	9.1653	191.2101	13.8238	0.6493	0.4540	0.3817	0.994	minmax
134043	O3	CB	7.1402	93.9915	9.6940	0.8276	0.3626	0.3841	30.537	maxabs
134043	PM10	EXT	9.0212	222.0768	14.8712	0.6967	0.3418	0.3547	43.786	robust
134043	PM10	RF	9.2064	223.6464	14.9233	0.6945	0.3495	0.3837	88.577	minmax
134043	PM10	KNN	10.5964	291.8137	17.0571	0.6002	0.3878	0.4170	7.264	zscore
134043	SO2	RF	0.7612	2.0464	1.4213	0.8043	0.2063	0.2207	65.611	maxabs
134043	SO2	EXT	0.7754	2.0878	1.4384	0.7990	0.2124	0.2236	36.376	robust
134043	SO2	KNN	0.8535	2.5797	1.5982	0.7528	0.2259	0.2417	5.321	zscore

Şekil E.2.73. Pycaret sonuçları-134043

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134043	CO	RF	6.011561	83.639339	9.031937	0.737516	0.202968	0.139399	20.450200
134043	HKI	EXT	1.180830	2.670817	1.632598	0.975330	0.127073	0.041728	114.641390
134043	NO2	RF	2.295719	8.264756	2.874195	0.790496	0.364242	0.362782	73.947637
134043	O3	RF	2.505656	9.171994	3.028104	0.847166	0.332623	0.324252	77.253767
134043	PM10	RF	2.989291	14.845580	3.851884	0.694185	0.337449	0.359929	52.243786
134043	SO2	RF	0.852868	1.327096	1.151595	0.828777	0.201619	0.212632	128.239167

Şekil E.2.74. Hyperopt sonuçları-134043

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)	Normalizasyon
134044	CO	EXT	62.3775	12972.0317	113.5984	0.7783	0.2702	0.2104	43.358	zscore
134044	CO	RF	66.7231	13740.3740	116.9586	0.7651	0.2874	0.2360	85.115	minmax
134044	CO	KNN	78.8257	19084.1696	137.8832	0.6737	0.3219	0.2528	7.972	zscore
134044	HKI	EXT	2.2501	19.3115	4.3840	0.9647	0.2119	0.0634	43.348	maxabs
134044	HKI	RF	2.4961	18.7422	4.3118	0.9658	0.2324	0.0698	80.041	robust
134044	HKI	DT	2.9968	37.0125	6.0770	0.9320	0.2360	0.0832	1.589	maxabs
134044	NO2	EXT	8.7148	159.8100	12.6312	0.7324	0.3085	0.2698	45.808	maxabs
134044	NO2	CB	9.2563	163.8937	12.7943	0.7255	0.3262	0.2950	33.600	zscore
134044	NO2	RF	9.2176	170.6878	13.0581	0.7142	0.3264	0.2957	92.777	robust
134044	O3	EXT	7.0328	109.0959	10.4362	0.8603	0.5470	0.7890	51.389	zscore
134044	O3	DT	9.5287	223.4591	14.9435	0.7130	0.6915	0.8481	1.486	minmax
134044	O3	RF	7.3588	111.3032	10.5443	0.8572	0.5671	0.8584	99.225	zscore
134044	PM10	EXT	11.6135	393.6335	19.7973	0.6243	0.3763	0.3410	47.589	maxabs
134044	PM10	RF	11.4761	370.5169	19.2127	0.6467	0.3743	0.3484	82.814	minmax
134044	PM10	CB	12.2429	383.3214	19.5471	0.6346	0.4068	0.3880	32.729	zscore
134044	SO2	EXT	0.7888	2.7440	1.6490	0.7470	0.2063	0.2030	43.333	zscore
134044	SO2	RF	0.7988	2.6120	1.6069	0.7600	0.2069	0.2112	71.702	zscore
134044	SO2	CB	0.8901	2.6796	1.6277	0.7537	0.2272	0.2492	33.038	maxabs

Şekil E.2.75. Pycaret sonuçları-134044

Istasyon	Kirletici	Model	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE	TT (Sec)
134044	CO	RF	7.751048	106.681205	10.323959	0.808246	0.262336	0.197536	69.796764
134044	HKI	RF	1.435381	3.828947	1.954507	0.972765	0.203176	0.057761	62.898823
134044	NO2	RF	2.922705	12.182535	3.489799	0.747648	0.303900	0.262321	146.996501
134044	O3	RF	2.611879	9.912623	3.148303	0.874916	0.527601	0.746433	77.069534
134044	PM10	RF	3.376424	19.428713	4.403563	0.636040	0.368109	0.334781	40.650789
134044	SO2	RF	0.873889	1.538700	1.235902	0.784572	0.201058	0.201274	79.883714

Şekil E.2.76. Hyperopt sonuçları-134044

EK-3

İstasyon Bazlı Genel Tahmin Modeli Doğrulama Sonuçları

İstasyon	Kirletici	R2	MSE	RMSE	RMSLE	MAE	MAPE
134000	HKİ	0.990984	1.659099	1.288060	0.069430	0.218740	0.009631
134001	HKİ	0.982533	3.783670	1.945166	0.108167	0.466113	0.014109
134002	HKİ	0.984349	3.433066	1.852853	0.074743	0.480896	0.014809
134003	HKİ	0.992045	1.281853	1.132189	0.055696	0.265654	0.009864
134005	HKİ	0.994035	0.993280	0.996634	0.030908	0.183300	0.006189
134006	HKİ	0.997620	1.637531	1.279661	0.065667	0.284308	0.009580
134007	HKİ	0.994740	1.634067	1.278306	0.061233	0.289980	0.006698
134008	HKİ	0.995927	1.939859	1.392788	0.081339	0.275034	0.006127
134009	HKİ	0.987077	3.385924	1.840088	0.098844	0.426344	0.011487
134010	HKİ	0.994458	2.021595	1.421828	0.076256	0.282108	0.005869
134011	HKİ	0.996498	2.044148	1.429737	0.085260	0.277254	0.006507
134012	HKİ	0.981934	7.262307	2.694867	0.088235	0.429751	0.009863
134013	HKİ	0.991386	4.256703	2.063178	0.096507	0.447647	0.014366
134014	HKİ	0.994199	3.062460	1.749988	0.063648	0.388302	0.009479
134015	HKİ	0.992236	1.958667	1.399524	0.061934	0.288467	0.007622
134016	HKİ	0.990483	1.428311	1.195120	0.045138	0.240728	0.006475
134017	HKİ	0.997198	0.917158	0.957684	0.032982	0.220640	0.007620
134018	HKİ	0.994638	0.539528	0.734526	0.040587	0.146387	0.008920
134019	HKİ	0.994160	4.735322	2.176080	0.069875	0.445031	0.010316
134020	HKİ	0.997222	3.176660	1.782319	0.078456	0.348652	0.012056
134021	HKİ	0.994845	0.855279	0.924813	0.046190	0.161497	0.008746
134024	HKİ	0.981650	7.002602	2.646243	0.067601	0.444231	0.018094
134025	HKİ	0.993503	2.575953	1.604977	0.067866	0.372954	0.011729
134026	HKİ	0.996185	3.506596	1.872591	0.084844	0.348458	0.011412
134027	HKİ	0.990216	2.996974	1.731177	0.074695	0.317812	0.013359
134028	HKİ	0.995504	0.887122	0.941872	0.078382	0.175101	0.010092
134029	HKİ	0.993975	3.030048	1.740703	0.063733	0.430490	0.012812
134030	HKİ	0.992227	1.465430	1.210549	0.048121	0.285581	0.011442
134031	HKİ	0.993667	1.998851	1.413807	0.046783	0.352492	0.010793
134032	HKİ	0.991537	2.930525	1.711878	0.058169	0.422198	0.009421
134033	HKİ	0.993244	2.822407	1.680002	0.050130	0.417922	0.012908
134035	HKİ	0.994084	7.723215	2.779067	0.145147	0.396413	0.005622
134036	HKİ	0.998458	1.068784	1.033820	0.069175	0.207631	0.004074
134037	HKİ	0.997914	2.666237	1.632862	0.109086	0.290635	0.005789
134041	HKİ	0.995526	1.836163	1.355051	0.040436	0.340170	0.009022
134042	HKİ	0.997661	1.512042	1.229651	0.051668	0.208662	0.006327
134043	HKİ	0.996930	0.882786	0.939567	0.040950	0.232337	0.006927
134044	HKİ	0.994492	2.997976	1.731466	0.070521	0.378745	0.010966

Şekil E.3.1. İstasyon bazlı genel tahmin modeli HKİ doğrulama sonuçları

Istasyon	Kirletici	R2	MSE	RMSE	RMSLE	MAE	MAPE
134000	PM10	0.959827	7.199235	2.683139	0.146508	0.799320	0.063937
134001	PM10	0.968884	9.204826	3.033946	0.104415	0.847082	0.036852
134002	PM10	0.965656	8.627880	2.937325	0.112920	0.847223	0.041774
134003	PM10	0.971129	8.087222	2.843804	0.104735	0.819144	0.041270
134005	PM10	0.967893	5.199461	2.280233	0.073478	0.697977	0.025213
134006	PM10	0.960670	17.577210	4.192518	0.103402	0.984686	0.039166
134007	PM10	0.972174	14.434608	3.799290	0.084851	1.111474	0.029909
134008	PM10	0.960568	38.494361	6.204382	0.088849	1.533850	0.030417
134009	PM10	0.958158	21.840249	4.673355	0.105669	1.206858	0.039757
134010	PM10	0.954915	38.162917	6.177614	0.102204	1.493040	0.036340
134011	PM10	0.957482	65.672545	8.103860	0.098834	1.907001	0.033969
134012	PM10	0.965184	32.226011	5.676796	0.122029	1.353127	0.046768
134014	PM10	0.950362	64.333438	8.020813	0.117889	2.091225	0.042947
134015	PM10	0.955363	20.689845	4.548609	0.106830	1.065854	0.039796
134016	PM10	0.939830	11.941015	3.455577	0.093932	0.758225	0.033350
134017	PM10	0.941882	45.018785	6.709604	0.153631	1.529563	0.060348
134018	PM10	0.953494	4.167728	2.041501	0.144538	0.654795	0.060761
134019	PM10	0.970108	85.234894	9.232275	0.132646	2.350813	0.053731
134020	PM10	0.972560	104.727214	10.233632	0.151880	2.532422	0.061777
134021	PM10	0.908408	18.703179	4.324717	0.141900	0.861130	0.057850
134024	PM10	0.960207	15.978847	3.997355	0.133174	1.246553	0.053312
134025	PM10	0.974683	23.797427	4.878261	0.121901	1.338545	0.047390
134026	PM10	0.965855	85.599204	9.251984	0.108162	1.864071	0.037490
134027	PM10	0.962791	19.632279	4.430833	0.138256	1.354990	0.056221
134028	PM10	0.965521	10.180590	3.190704	0.145736	0.975362	0.062259
134029	PM10	0.945437	80.646117	8.980318	0.127405	1.734593	0.048897
134030	PM10	0.981247	5.037516	2.244441	0.087776	0.701135	0.033293
134031	PM10	0.973248	16.090676	4.011318	0.096136	0.992213	0.034760
134032	PM10	0.979688	13.424073	3.663888	0.087404	1.059191	0.030944
134033	PM10	0.971144	29.592114	5.439863	0.105975	1.117336	0.038896
134035	PM10	0.953878	213.453145	14.610036	0.141009	3.844586	0.052253
134036	PM10	0.947734	27.090173	5.204822	0.104476	1.676150	0.037200
134037	PM10	0.960186	139.059373	11.792344	0.149308	2.583284	0.056558
134041	PM10	0.948090	51.450680	7.172913	0.129528	1.685272	0.047655
134042	PM10	0.962308	35.584383	5.965265	0.115139	1.228709	0.047956
134043	PM10	0.942594	41.707913	6.458166	0.143797	1.724571	0.060637
134044	PM10	0.934459	69.404944	8.330963	0.150362	2.145997	0.059314

Şekil E.3.2. İstasyon bazlı genel tahmin modeli PM_{10} doğrulama sonuçları

Istasyon	Kirletici	R2	MSE	RMSE	RMSLE	MAE	MAPE
134000	CO	0.970807	2550.048292	50.498003	0.149047	13.768785	0.082214
134001	CO	0.961919	5046.401102	71.038026	0.091332	14.621572	0.026341
134002	CO	0.944395	5986.391596	77.371775	0.082234	13.928173	0.023678
134003	CO	0.958847	573.623831	23.950445	0.136336	6.763429	0.055690
134005	CO	0.998650	4565.699857	67.569963	0.085739	15.701707	0.022799
134006	CO	0.999545	5131.770196	71.636375	0.064216	17.658803	0.017741
134007	CO	0.998833	6761.224892	82.226668	0.070163	19.835429	0.018578
134008	CO	0.998751	5910.606855	76.880471	0.055818	16.155174	0.014656
134009	CO	0.976417	22566.876292	150.222756	0.092240	24.020417	0.029061
134010	CO	0.999199	3194.015820	56.515625	0.059006	12.883496	0.015284
134019	CO	0.964173	10768.854856	103.773093	0.109185	24.313683	0.035857
134020	CO	0.952941	7799.788624	88.316412	0.090431	14.884644	0.026443
134024	CO	0.965538	1926.931719	43.896830	0.095043	12.196306	0.030175
134025	CO	0.960584	7625.214809	87.322476	0.134025	25.056004	0.038732
134026	CO	0.909294	13691.324742	117.009934	0.172813	26.284188	0.058081
134029	CO	0.919568	10840.727286	104.118813	0.127561	19.632299	0.040210
134031	CO	0.942313	7140.749960	84.502958	0.136828	18.109364	0.045176
134032	CO	0.960260	4213.211113	64.909253	0.107775	16.107831	0.035784
134033	CO	0.967839	5403.119945	73.505918	0.100500	16.102505	0.031653
134041	CO	0.963077	6919.974465	83.186384	0.096520	17.559271	0.029057
134042	CO	0.956088	6153.003772	78.441085	0.104735	16.455713	0.031224
134043	CO	0.934658	1729.148702	41.583034	0.088895	6.765520	0.026685
134044	CO	0.953192	2795.664143	52.874040	0.118653	11.541966	0.034512

Şekil E.3.3. İstasyon bazlı genel tahmin modeli CO doğrulama sonuçları

Istasyon	Kirletici	R2	MSE	RMSE	RMSLE	MAE	MAPE
134000	O3	0.983737	11.500418	3.391227	0.134044	0.905859	0.047568
134001	O3	0.976604	13.014655	3.607583	0.195334	1.058397	0.114602
134002	O3	0.970314	11.685808	3.418451	0.179681	1.090678	0.084662
134003	O3	0.983765	8.105953	2.847096	0.127758	0.825296	0.052162
134010	O3	0.978816	19.522779	4.418459	0.119616	1.383011	0.042929
134011	O3	0.986806	6.448244	2.539339	0.126634	0.711432	0.054653
134012	O3	0.976811	27.431739	5.237532	0.213615	1.577990	0.118741
134014	O3	0.982371	13.136413	3.624419	0.159134	1.136830	0.074457
134015	O3	0.981730	19.730618	4.441916	0.163477	1.349668	0.077625
134016	O3	0.983578	10.107661	3.179255	0.068636	0.947997	0.020372
134017	O3	0.967879	6.063485	2.462414	0.139216	0.750330	0.054671
134018	O3	0.985726	5.098897	2.258074	0.103716	0.553722	0.036662
134019	O3	0.956527	16.727617	4.089941	0.209691	1.004254	0.142235
134020	O3	0.980931	7.689641	2.773020	0.129944	0.765880	0.052804
134021	O3	0.957442	11.877072	3.446313	0.122091	0.718020	0.051354
134024	O3	0.976763	13.115322	3.621508	0.143851	0.832587	0.061212
134026	O3	0.974821	6.596950	2.568453	0.169957	0.708399	0.089895
134027	O3	0.972686	10.361976	3.219002	0.173727	0.946984	0.096467
134028	O3	0.978867	11.446880	3.383324	0.191119	0.937581	0.122525
134029	O3	0.980259	19.553505	4.421935	0.220537	1.370838	0.146530
134032	O3	0.959581	9.349412	3.057681	0.154622	0.741033	0.069833
134033	O3	0.978879	4.003345	2.000836	0.129796	0.590178	0.055848
134041	O3	0.980472	13.078523	3.616424	0.182469	1.132405	0.091016
134042	O3	0.979835	21.742587	4.662895	0.200146	1.409275	0.103399
134043	O3	0.974459	13.989520	3.740257	0.137670	1.145554	0.057766
134044	O3	0.977206	18.206150	4.266867	0.225539	1.272824	0.133684

Şekil E.3.4. İstasyon bazlı genel tahmin modeli O3 doğrulama sonuçları

Istasyon	Kirletici	R2	MSE	RMSE	RMSLE	MAE	MAPE
134000	NO2	0.566903	173.712247	13.179994	0.163532	0.799132	0.079655
134001	NO2	0.969730	28.207478	5.311071	0.104464	1.589943	0.037012
134002	NO2	0.971695	25.363595	5.036228	0.107940	1.663219	0.040745
134003	NO2	0.978477	11.614292	3.407975	0.097538	0.978979	0.031768
134005	NO2	0.958270	15.673601	3.958990	0.164080	1.296190	0.076221
134006	NO2	0.959918	18.948667	4.353007	0.138887	1.483726	0.060171
134007	NO2	0.970681	26.241852	5.122680	0.093527	1.653205	0.034914
134008	NO2	0.975774	12.481526	3.532920	0.074372	1.150134	0.025571
134009	NO2	0.966082	23.287619	4.825725	0.096140	1.622806	0.036221
134010	NO2	0.973400	13.373722	3.657010	0.135313	0.954050	0.062327
134011	NO2	0.967566	11.944170	3.456034	0.127455	1.002351	0.056412
134012	NO2	0.979812	33.506232	5.788457	0.182286	1.269282	0.096157
134013	NO2	0.982226	16.968222	4.119250	0.109181	1.141085	0.053439
134014	NO2	0.983440	27.953379	5.287095	0.105583	1.336902	0.040825
134015	NO2	0.950470	12.566553	3.544933	0.148721	1.004576	0.062508
134016	NO2	0.948759	2.413160	1.553435	0.150013	0.328546	0.089720
134017	NO2	0.963870	18.883346	4.345497	0.160713	1.192895	0.072437
134019	NO2	0.974549	29.711724	5.450846	0.091054	1.767291	0.033870
134020	NO2	0.967620	20.674459	4.546918	0.099081	1.213642	0.035206
134024	NO2	0.973326	17.690629	4.206023	0.080273	1.231551	0.026490
134025	NO2	0.958813	30.940906	5.562455	0.115693	1.610972	0.042567
134026	NO2	0.957796	16.295070	4.036715	0.088836	1.072376	0.029496
134027	NO2	0.964539	31.883572	5.646554	0.130127	1.699022	0.054831
134028	NO2	0.981196	2.995912	1.730870	0.099077	0.520388	0.041085
134029	NO2	0.965421	33.148861	5.757505	0.145894	1.758725	0.061422
134030	NO2	0.971554	15.277293	3.908618	0.093000	1.227066	0.033835
134031	NO2	0.977171	19.478539	4.413450	0.082710	1.306159	0.028987
134032	NO2	0.978231	26.159719	5.114657	0.059570	1.290218	0.017684
134033	NO2	0.962039	24.162946	4.915582	0.100227	1.578528	0.036212
134041	NO2	0.958270	38.345465	6.192372	0.130852	1.871525	0.051330
134042	NO2	0.963740	20.065127	4.479411	0.161034	1.373430	0.074386
134043	NO2	0.960298	13.122065	3.622439	0.164660	1.077050	0.075865
134044	NO2	0.948882	30.119093	5.488087	0.134553	1.742139	0.052549

Şekil E.3.5. İstasyon bazlı genel tahmin modeli NO₂ doğrulama sonuçları

Istasyon	Kirletici	R2	MSE	RMSE	RMSLE	MAE	MAPE
134003	SO2	0.975645	0.122835	0.350479	0.066121	0.079135	0.034325
134005	SO2	0.996378	2.596130	1.611251	0.102601	0.332294	0.037750
134007	SO2	0.963882	12.777180	3.574518	0.058639	0.174416	0.018907
134009	SO2	0.999388	0.937983	0.968495	0.062789	0.167566	0.021669
134010	SO2	0.998393	0.809610	0.899783	0.056858	0.158399	0.044514
134011	SO2	0.970850	2.165968	1.471723	0.125389	0.272826	0.098885
134012	SO2	0.999072	0.513949	0.716902	0.054365	0.160087	0.019181
134013	SO2	0.998365	0.283981	0.532898	0.059090	0.122487	0.030412
134014	SO2	0.999417	0.593377	0.770310	0.054125	0.128751	0.021391
134015	SO2	0.980324	1.434021	1.197506	0.085546	0.159385	0.042726
134016	SO2	0.985991	0.410656	0.640825	0.080816	0.132467	0.055439
134017	SO2	0.958988	0.099440	0.315342	0.081658	0.082002	0.041567
134020	SO2	0.986836	0.167712	0.409527	0.075895	0.086612	0.036250
134024	SO2	0.977130	0.313654	0.560048	0.069257	0.111057	0.032962
134025	SO2	0.961646	0.258071	0.508007	0.075303	0.094721	0.034582
134026	SO2	0.968683	0.063949	0.252882	0.067266	0.071875	0.034577
134027	SO2	0.967859	0.128185	0.358030	0.079731	0.094592	0.041781
134028	SO2	0.785730	1.626678	1.275413	0.087278	0.108050	0.045258
134029	SO2	0.976371	0.189428	0.435233	0.068789	0.080954	0.033609
134030	SO2	0.967102	0.166220	0.407701	0.055428	0.064880	0.024585
134031	SO2	0.970744	0.154967	0.393658	0.072264	0.096629	0.033788
134032	SO2	0.970701	0.162460	0.403063	0.067918	0.095917	0.032116
134033	SO2	0.760468	1.577051	1.255807	0.062173	0.081278	0.027465
134041	SO2	0.972983	0.220613	0.469694	0.065914	0.098131	0.029248
134042	SO2	0.951580	0.592450	0.769708	0.097785	0.175617	0.045103
134043	SO2	0.968909	0.322853	0.568202	0.086710	0.138913	0.040706
134044	SO2	0.963122	0.394768	0.628305	0.083963	0.143478	0.037902

Şekil E.3.6. İstasyon bazlı genel tahmin modeli SO₂ doğrulama sonuçları

EK-4

Genel Tahmin Modeli ve Doğrulama Sonuçları

Layer (type)	Output Shape	Param #
dense_11 (Dense)	(None, 37, 1280)	163840
dense_12 (Dense)	(None, 37, 384)	491904
dense_13 (Dense)	(None, 37, 1536)	591360
dense_14 (Dense)	(None, 37, 768)	1180416
dense_15 (Dense)	(None, 37, 2048)	1574912
dense_16 (Dense)	(None, 37, 256)	524544
dense_17 (Dense)	(None, 37, 128)	32896
dense_18 (Dense)	(None, 37, 1408)	181632
dense_19 (Dense)	(None, 37, 1792)	2524928
dense_20 (Dense)	(None, 37, 256)	459008
dropout_1 (Dropout)	(None, 37, 256)	0
dense_21 (Dense)	(None, 37, 1)	257
Total params: 7,725,697		
Trainable params: 7,725,697		
Non-trainable params: 0		

Şekil E.4.1. PM_{10} genel modeli

Layer (type)	Output Shape	Param #
dense_13 (Dense)	(None, 23, 1696)	217088
dense_14 (Dense)	(None, 23, 512)	868864
dense_15 (Dense)	(None, 23, 1696)	870048
dense_16 (Dense)	(None, 23, 928)	1574816
dense_17 (Dense)	(None, 23, 1600)	1486400
dense_18 (Dense)	(None, 23, 992)	1588192
dense_19 (Dense)	(None, 23, 1216)	1207488
dropout_1 (Dropout)	(None, 23, 1216)	0
dense_20 (Dense)	(None, 23, 1)	1217
Total params: 7,814,113		
Trainable params: 7,814,113		
Non-trainable params: 0		

Şekil E.4.2. CO genel modeli

Layer (type)	Output Shape	Param #
dense_9 (Dense)	(None, 27, 1472)	188416
dense_10 (Dense)	(None, 27, 1632)	2403936
dense_11 (Dense)	(None, 27, 1536)	2508288
dense_12 (Dense)	(None, 27, 416)	639392
dense_13 (Dense)	(None, 27, 1536)	640512
dense_14 (Dense)	(None, 27, 928)	1426336
dense_15 (Dense)	(None, 27, 608)	564832
dense_16 (Dense)	(None, 27, 1920)	1169280
dropout_1 (Dropout)	(None, 27, 1920)	0
dense_17 (Dense)	(None, 27, 1)	1921
=====		
Total params: 9,542,913		
Trainable params: 9,542,913		
Non-trainable params: 0		

Şekil E.4.3. O_3 genel modeli

Layer (type)	Output Shape	Param #
dense_8 (Dense)	(None, 33, 1152)	147456
dense_9 (Dense)	(None, 33, 896)	1033088
dense_10 (Dense)	(None, 33, 1152)	1033344
dense_11 (Dense)	(None, 33, 2048)	2361344
dense_12 (Dense)	(None, 33, 512)	1049088
dense_13 (Dense)	(None, 33, 1792)	919296
dense_14 (Dense)	(None, 33, 1280)	2295040
dropout_1 (Dropout)	(None, 33, 1280)	0
dense_15 (Dense)	(None, 33, 1)	1281
=====		
Total params: 8,839,937		
Trainable params: 8,839,937		
Non-trainable params: 0		

Şekil E.4.4. NO_2 genel modeli

Layer (type)	Output Shape	Param #
dense_16 (Dense)	(None, 27, 1024)	131072
dense_17 (Dense)	(None, 27, 1280)	1312000
dense_18 (Dense)	(None, 27, 2048)	2623488
dense_19 (Dense)	(None, 27, 1792)	3671808
dense_20 (Dense)	(None, 27, 1792)	3213056
dense_21 (Dense)	(None, 27, 512)	918016
dense_22 (Dense)	(None, 27, 384)	196992
dense_23 (Dense)	(None, 27, 1792)	689920
dense_24 (Dense)	(None, 27, 1024)	1836032
dropout_1 (Dropout)	(None, 27, 1024)	0
dense_25 (Dense)	(None, 27, 1)	1025
Total params: 14,593,409		
Trainable params: 14,593,409		
Non-trainable params: 0		

Şekil E.4.5. SO₂ genel modeli

Layer (type)	Output Shape	Param #
dense_3 (Dense)	(None, 38, 256)	32768
dense_4 (Dense)	(None, 38, 1152)	296064
dense_5 (Dense)	(None, 38, 896)	1033088
dense_6 (Dense)	(None, 38, 768)	688896
dense_7 (Dense)	(None, 38, 1792)	1378048
dense_8 (Dense)	(None, 38, 768)	1377024
dropout_1 (Dropout)	(None, 38, 768)	0
dense_9 (Dense)	(None, 38, 1)	769
Total params: 4,806,657		
Trainable params: 4,806,657		
Non-trainable params: 0		

Şekil E.4.6. HKİ genel modeli

Istasyon	Kirletici	R2	MAPE	MSE	RMSE	MAE
134000	PM10	0.906292	0.166075	15.026705	3.876429	15.026705
134001	PM10	0.893811	0.128776	27.885593	5.280681	27.885593
134002	PM10	0.905284	0.119106	20.557673	4.534057	20.557673
134003	PM10	0.920609	0.130139	21.540339	4.641157	21.540339
134005	PM10	0.780153	0.130226	33.433456	5.782167	33.433456
134006	PM10	0.847623	0.144774	63.664300	7.978991	63.664300
134007	PM10	0.919428	0.092864	40.017040	6.325902	40.017040
134008	PM10	0.890682	0.098987	99.489300	9.974433	99.489300
134009	PM10	0.881961	0.124379	56.445065	7.512993	56.445065
134010	PM10	0.906731	0.120661	72.535164	8.516758	72.535164
134011	PM10	0.906065	0.097945	131.395520	11.462789	131.395520
134012	PM10	0.915398	0.175158	66.626760	8.162521	66.626760
134014	PM10	0.798439	0.150547	241.541430	15.541603	241.541430
134015	PM10	0.858911	0.138572	61.083206	7.815575	61.083206
134016	PM10	0.875145	0.111951	22.671112	4.761419	22.671112
134017	PM10	0.907184	0.182095	79.866970	8.936832	79.866970
134018	PM10	0.702570	0.262177	23.577894	4.855707	23.577894
134019	PM10	0.928673	0.140282	176.212550	13.274508	176.212550
134020	PM10	0.939064	0.164819	197.395840	14.049763	197.395840
134021	PM10	0.817078	0.214514	32.449120	5.696413	32.449120
134024	PM10	0.861186	0.180837	53.714016	7.328985	53.714016
134025	PM10	0.934121	0.151254	58.316300	7.636511	58.316300
134026	PM10	0.919867	0.113931	181.968720	13.489578	181.968720
134027	PM10	0.909172	0.155411	42.945770	6.553302	42.945770
134028	PM10	0.928924	0.154803	18.746326	4.329703	18.746326
134029	PM10	0.877027	0.166763	170.219650	13.046825	170.219650
134030	PM10	0.926723	0.132652	18.667088	4.320542	18.667088
134031	PM10	0.926811	0.126335	41.893010	6.472481	41.893010
134032	PM10	0.940803	0.097828	37.253290	6.103547	37.253290
134033	PM10	0.931946	0.144694	66.385910	8.147755	66.385910
134035	PM10	0.904680	0.146117	397.068540	19.926579	397.068540
134036	PM10	0.841274	0.086461	69.279360	8.323422	69.279360
134037	PM10	0.861895	0.200581	432.351560	20.793066	432.351560
134041	PM10	0.896480	0.129337	91.629430	9.572327	91.629430
134042	PM10	0.909560	0.097986	52.962673	7.277546	52.962673
134043	PM10	0.880861	0.196101	79.500465	8.916304	79.500465
134044	PM10	0.854697	0.167848	138.749440	11.779195	138.749440

Şekil E.4.7. PM_{10} genel model sonuçları

Istasyon	Kirletici	R2	MAPE	MSE	RMSE	MAE
134000	CO	0.814916	0.245039	24115.01600	155.290100	24115.01600
134001	CO	0.913001	0.089154	9483.13100	97.381370	9483.13100
134002	CO	0.881534	0.084538	11529.39500	107.375015	11529.39500
134003	CO	0.906697	0.102523	997.35876	31.580988	997.35876
134005	CO	0.994938	0.089845	18741.66600	136.900200	18741.66600
134006	CO	0.997843	0.077180	24467.62500	156.421310	24467.62500
134007	CO	0.996568	0.070494	19931.48200	141.178910	19931.48200
134008	CO	0.995787	0.062905	19512.09400	139.685700	19512.09400
134009	CO	0.937226	0.137927	62589.34800	250.178630	62589.34800
134010	CO	0.996940	0.058066	12265.25700	110.748620	12265.25700
134019	CO	0.904607	0.097401	23203.34000	152.326430	23203.34000
134020	CO	0.856494	0.120584	21848.05700	147.810880	21848.05700
134024	CO	0.760640	0.135288	13083.57900	114.383480	13083.57900
134025	CO	0.884362	0.125877	21256.37500	145.795650	21256.37500
134026	CO	0.790987	0.164802	19561.91200	139.863900	19561.91200
134029	CO	0.882068	0.121372	12765.58400	112.984886	12765.58400
134031	CO	0.857108	0.106382	11279.48300	106.204910	11279.48300
134032	CO	0.883166	0.117148	11719.56800	108.256960	11719.56800
134033	CO	0.906302	0.112798	14096.28500	118.727776	14096.28500
134041	CO	0.903143	0.102024	16628.88900	128.953050	16628.88900
134042	CO	0.924903	0.071882	7139.02500	84.492750	7139.02500
134043	CO	0.876858	0.100752	3092.93630	55.614174	3092.93630
134044	CO	0.906217	0.116574	5341.75050	73.087280	5341.75050

Şekil E.4.8. CO genel model sonuçları

Istasyon	Kirletici	R2	MAPE	MSE	RMSE	MAE
134000	O3	0.942494	0.120543	37.493973	6.123232	37.493973
134001	O3	0.955715	0.236663	23.980759	4.897015	23.980759
134002	O3	0.935923	0.176910	23.095306	4.805758	23.095306
134003	O3	0.977935	0.053458	6.915518	2.629737	6.915518
134010	O3	0.961000	0.090287	34.783894	5.897787	34.783894
134011	O3	0.978410	0.124568	10.267244	3.204254	10.267244
134012	O3	0.960303	0.196019	45.357704	6.734813	45.357704
134014	O3	0.968873	0.140918	22.573261	4.751132	22.573261
134015	O3	0.961615	0.149470	40.145800	6.336072	40.145800
134016	O3	0.963678	0.054211	21.533472	4.640417	21.533472
134017	O3	0.944004	0.111793	10.032158	3.167358	10.032158
134018	O3	0.975679	0.079535	8.261470	2.874277	8.261470
134019	O3	0.919810	0.191400	19.802732	4.450026	19.802732
134020	O3	0.965862	0.090729	10.790685	3.284918	10.790685
134021	O3	0.883299	0.190327	30.997744	5.567562	30.997744
134024	O3	0.938595	0.192722	51.172173	7.153473	51.172173
134026	O3	0.947072	0.189025	12.845110	3.584007	12.845110
134027	O3	0.956488	0.148158	14.254564	3.775522	14.254564
134028	O3	0.965391	0.178492	15.694375	3.961613	15.694375
134029	O3	0.977284	0.107263	15.020246	3.875596	15.020246
134032	O3	0.913223	0.165007	18.966373	4.355040	18.966373
134033	O3	0.957154	0.132244	8.212499	2.865746	8.212499
134041	O3	0.965489	0.150431	22.376179	4.730347	22.376179
134042	O3	0.972684	0.137362	22.647090	4.758896	22.647090
134043	O3	0.955502	0.090569	21.317541	4.617092	21.317541
134044	O3	0.961433	0.224336	28.817823	5.368224	28.817823

Şekil E.4.9. O₃ genel model sonuçları

Istasyon	Kirletici	R2	MAPE	MSE	RMSE	MAE
134000	NO2	0.943638	0.172099	10.937769	3.307230	10.937769
134001	NO2	0.923349	0.091994	63.458736	7.966099	63.458736
134002	NO2	0.938211	0.089626	50.555874	7.110265	50.555874
134003	NO2	0.960277	0.074804	20.253374	4.500375	20.253374
134005	NO2	0.936100	0.128258	22.184645	4.710058	22.184645
134006	NO2	0.933968	0.105361	28.872908	5.373352	28.872908
134007	NO2	0.947438	0.072620	44.032593	6.635706	44.032593
134008	NO2	0.947691	0.062078	25.333632	5.033253	25.333632
134009	NO2	0.939893	0.071732	38.153470	6.176849	38.153470
134010	NO2	0.958920	0.164531	19.388643	4.403254	19.388643
134011	NO2	0.954192	0.103379	15.409013	3.925432	15.409013
134012	NO2	0.957858	0.294965	66.201660	8.136440	66.201660
134013	NO2	0.968079	0.287656	31.708010	5.630987	31.708010
134014	NO2	0.971415	0.101684	45.083496	6.714425	45.083496
134015	NO2	0.927104	0.114832	17.071438	4.131760	17.071438
134016	NO2	0.917372	0.227933	3.524266	1.877303	3.524266
134017	NO2	0.945592	0.095075	17.078274	4.132587	17.078274
134019	NO2	0.953063	0.073237	51.467350	7.174075	51.467350
134020	NO2	0.942418	0.080933	30.813046	5.550950	30.813046
134024	NO2	0.945345	0.064395	33.357098	5.775560	33.357098
134025	NO2	0.938583	0.088021	43.275680	6.578425	43.275680
134026	NO2	0.930781	0.067316	23.832575	4.881862	23.832575
134027	NO2	0.950131	0.090984	33.753890	5.809810	33.753890
134028	NO2	0.961177	0.075481	3.873994	1.968246	3.873994
134029	NO2	0.938950	0.123845	54.484790	7.381381	54.484790
134030	NO2	0.938230	0.085292	30.927359	5.561237	30.927359
134031	NO2	0.956736	0.070172	34.739155	5.893993	34.739155
134032	NO2	0.956678	0.056997	50.808266	7.127992	50.808266
134033	NO2	0.920319	0.084131	43.140293	6.568127	43.140293
134041	NO2	0.940542	0.100670	50.266132	7.089861	50.266132
134042	NO2	0.948798	0.092696	19.984081	4.470356	19.984081
134043	NO2	0.929361	0.140311	21.319569	4.617312	21.319569
134044	NO2	0.909420	0.108027	47.027935	6.857692	47.027935

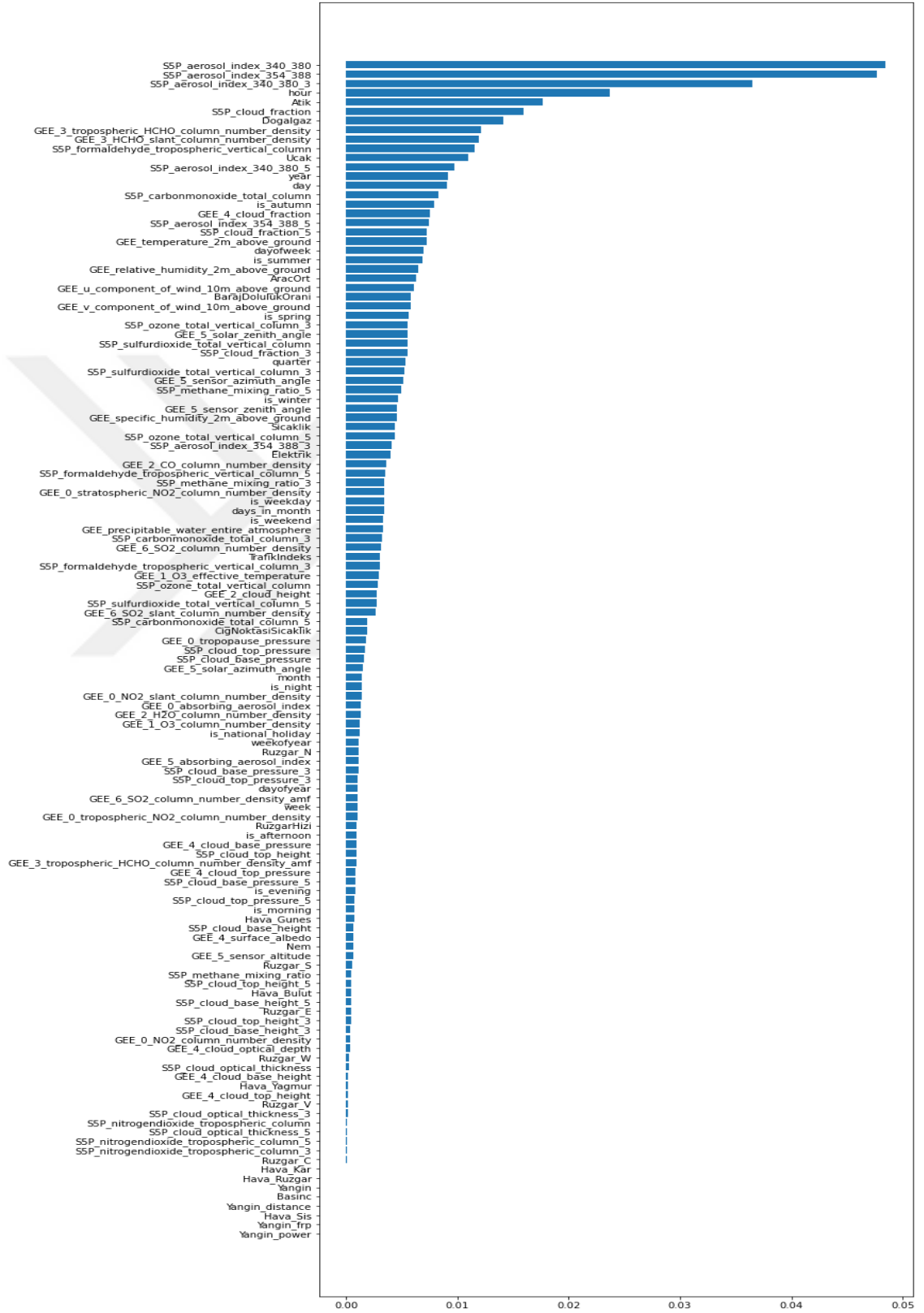
Şekil E.4.10. NO₂ genel model sonuçları

Istasyon	Kirletici	R2	MAPE	MSE	RMSE	MAE
134003	SO2	0.935849	0.092291	0.294398	0.542585	0.294398
134005	SO2	0.969325	0.138247	21.873697	4.676932	21.873697
134007	SO2	0.994292	0.060346	1.940755	1.393110	1.940755
134009	SO2	0.998331	0.082058	2.544924	1.595282	2.544924
134010	SO2	0.996311	0.062604	1.876440	1.369832	1.876440
134011	SO2	0.922262	0.253953	5.774649	2.403050	5.774649
134012	SO2	0.995917	0.064879	2.240147	1.496712	2.240147
134013	SO2	0.928462	0.119420	12.257517	3.501074	12.257517
134014	SO2	0.996581	0.103213	3.464747	1.861383	3.464747
134015	SO2	0.981579	0.128404	1.245457	1.116000	1.245457
134016	SO2	0.967044	0.168779	0.896684	0.946934	0.896684
134017	SO2	0.914562	0.101203	0.182311	0.426979	0.182311
134020	SO2	0.951905	0.088845	0.517897	0.719650	0.517897
134024	SO2	0.939234	0.106281	0.783650	0.885240	0.783650
134025	SO2	0.918241	0.097434	0.512341	0.715780	0.512341
134026	SO2	0.916775	0.094369	0.155829	0.394752	0.155829
134027	SO2	0.928068	0.108522	0.289299	0.537865	0.289299
134028	SO2	0.907882	0.090951	0.352876	0.594033	0.352876
134029	SO2	0.947116	0.104584	0.395615	0.628979	0.395615
134030	SO2	0.901125	0.085021	0.422157	0.649736	0.422157
134031	SO2	0.925560	0.087976	0.320030	0.565712	0.320030
134032	SO2	0.942406	0.092992	0.303670	0.551063	0.303670
134033	SO2	0.950023	0.086225	0.246675	0.496664	0.246675
134041	SO2	0.945547	0.085161	0.423420	0.650707	0.423420
134042	SO2	0.839746	0.084993	1.358892	1.165715	1.358892
134043	SO2	0.927683	0.115230	0.700582	0.837008	0.700582
134044	SO2	0.915241	0.101329	0.856985	0.925735	0.856985

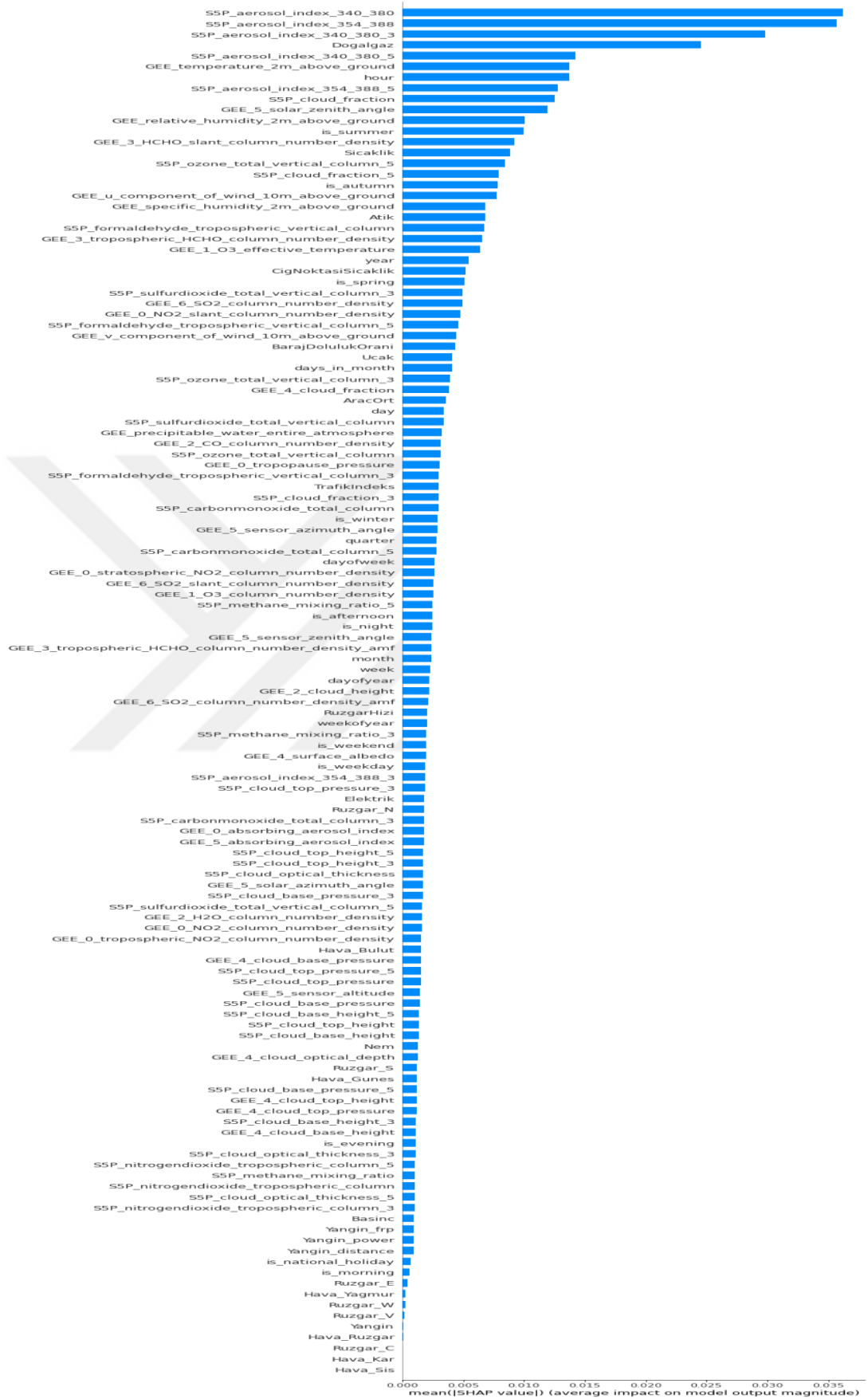
Şekil E.4.11. SO₂ genel model sonuçları

EK-5

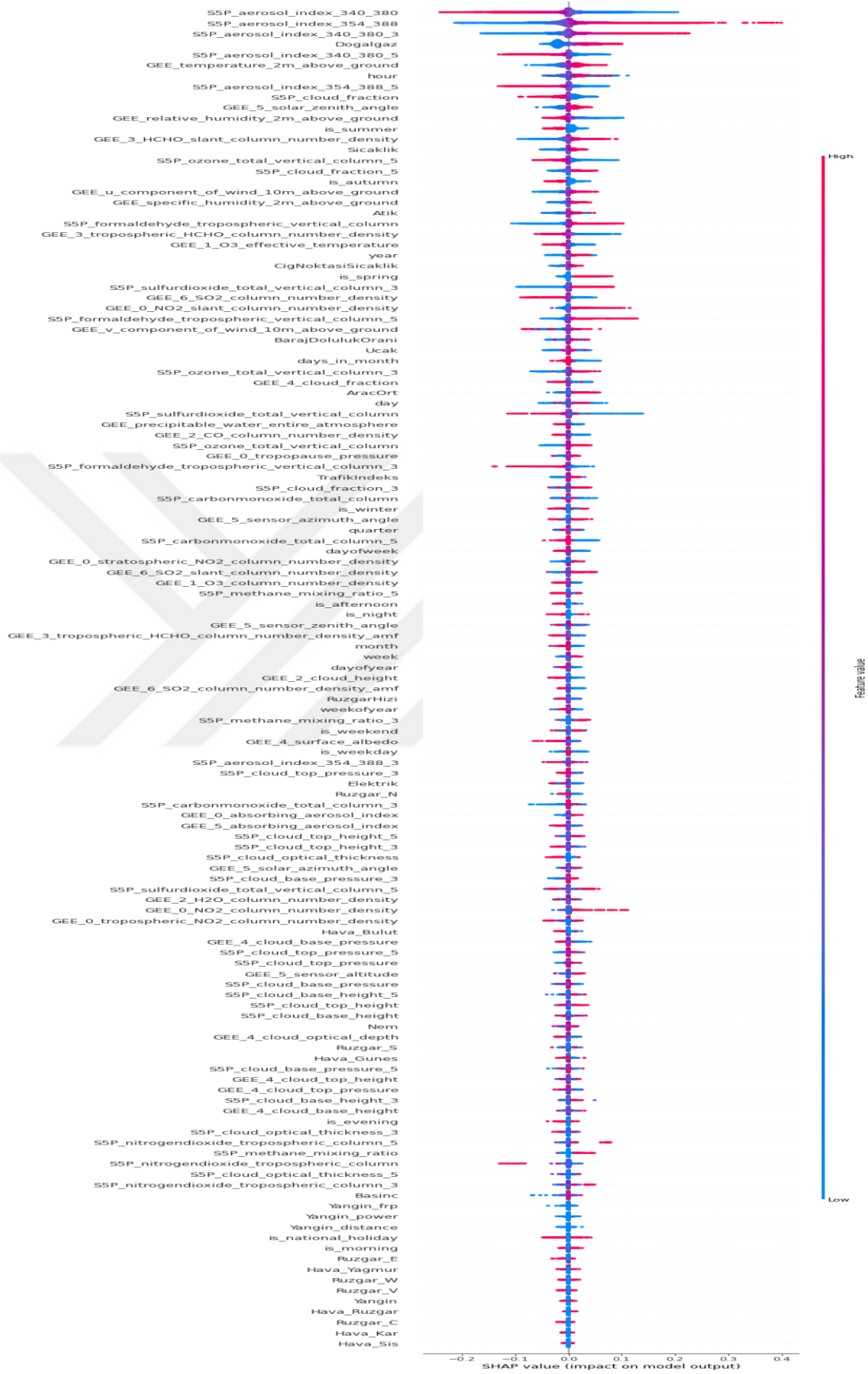
Özniteliklerin Sonuca Katkısı



Şekil E.5.1. HKİ genel model permütasyon önemi tüm parametreler



Şekil E.5.2. HKİ genel model SHAP değeri tüm parametreler



Şekil E.5.3. HKİ genel model SHAP değeri tüm parametrelerin dağılımı

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı: Arzu ÖZ

Bildiği Yabancı Diller: İngilizce

Eğitim Geçmişi:

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Doktora	Bilgisayar Bilimleri	Eskişehir Teknik Üniversitesi	2016-2022
Y. Lisans	Bilgisayar Bilimleri	Gazi Üniversitesi	2011-2014
Lisans	Bilgisayar Mühendisliği	Kocaeli Üniversitesi	2003-2007

İş Deneyimi:

Kurum	Unvan	Yıl
Ticaret Bakanlığı	Ticaret Uzmanı	2016-..
Posta ve Telgraf Teşkilatı Anonim Şirketi	Mühendis	2010-2016
Kıyı Emniyeti Gn. Müd.	Bilgisayar Mühendisi	2009-2010
41-29 Dijital Pazarlama Ajansı	Yazılım Uzmanı	2007-2009