



T.C.  
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ  
SİSTEMLERİ ENTEGRASYONU İLE  
ÇANKIRI İLİ HAVA KALİTESİ  
HARİTASININ OLUŞTURULMASI

Osman KARAKOÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2022  
KONYA  
Her Hakkı Saklıdır

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Osman KARAKOÇ

27/10/2022

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

# UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ ENTEGRASYONU İLE ÇANKIRI İLİ HAVA KALİTESİ HARİTASININ OLUŞTURULMASI

**Osman KARAKOÇ**

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Semih EKERCİN**

**2022, 86 Sayfa**

**Jüri**

**Prof. Dr. Semih EKERCİN  
Doç. Dr. Melayib BİLGİN  
Dr. Abdullah VARLIK**

Küresel ölçekte bir çevre sorunu haline gelen hava kirliliği tüm dünya ülkelerinde olduğu gibi ülkemizde de kontrolsüz yapılaşma ve artan enerji gereksinimlerine bağlı olarak büyüyerek hayatı olumsuz yönde etkilemektedir. Hava kalitesinin gerek insan gerekse doğada varlığını sürdüren diğer tüm canlıların sağlığını olumsuz açıdan etkilemeyecek seviyelere getirilmesi için hava kirliliğinin düzenli olarak izlenmesi ve iyileştirilmesine yönelik gerekli adımların atılması gerekmektedir. Teknoloji dünyasındaki gelişmelerin ışığında uydu sistemlerindeki yenilikler uydu görüntülerinin çevresel uygulamalarda aktif bir şekilde kullanılmasına olanak sağlamıştır. Nitekim uydu görüntüleri, kirlenici parametrelerin tespit edilerek hava kalitesinin izlenmesi ve tematik haritaların üretilmesi gibi birçok konuda başarılı çözümler sunmaktadır.

Bu tez çalışmasında iki farklı tarihte gerçekleştirilen yersel çalışmalar neticesinde uygulama sahasından toplanan PM<sub>10</sub> örnekleri ve Sentinel-2 uydusuna ait 22.11.2021 ve 16.04.2022 tarihli iki adet uydu görüntüsü kullanılmıştır. Çalışmanın ilk etabında uydu görüntülerinden bağımsız ve yalnızca PM<sub>10</sub> örnekleri kullanılarak kriging metodu ile tematik haritalar üretilmiştir. İkinci etapta ise uydu görüntüleri radyometrik olarak düzeltilmiş olup görüntülerden temin edilen yansıma verileri ile PM<sub>10</sub> örnekleri birlikte kullanılmıştır. Çoklu regresyon metodu ile türetilen katsayılar ilgili bant kombinasyonuna uygulanarak uydu görüntülerinden tematik haritalar üretilmiştir. Uygulama kapsamında gerçekleştirilen regresyon analizlerinden elde edilen korelasyon katsayıları sırasıyla 0,80 ve 0,79 olup çalışma için yeterli doğruluğa ulaşıldığını göstermektedir.

Çalışma sonuçları, yerleşim alanlarındaki PM<sub>10</sub> seviyelerinin, endüstriyel faaliyetler sürdüren alanlara kıyasla insan sağlığını olumsuz etkilemeyecek düzeyde olduğunu göstermektedir. Ayrıca karayolu ulaşım ağı üzerinde ve trafik yoğunluğu bulunan alanlarda PM<sub>10</sub> seviyelerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda ulaşılan veriler Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı sabit istasyonundan temin edilen veriler ile karşılaştırılarak test edilmiş ve yorumlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Hava Kirliliği, PM<sub>10</sub>, Regresyon Analizi, Sentinel, Uzaktan Algılama.

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

# **MAPPING OF DISPERSION OF AIR QUALITY OF ÇANKIRI PROVINCE BY THE INTEGRATION OF REMOTE SENSING AND GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS**

**Osman KARAKOÇ**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE  
IN GEOMATICS ENGINEERING**

**Advisor: Prof. Dr. Semih EKERCİN**

**2022, 86 Pages**

**Jury**

**Prof. Dr. Semih EKERCİN**

**Doç. Dr. Melayib BİLGİN**

**Dr. Abdullah VARLIK**

Air pollution, which has become an environmental problem on a global scale, affects life negatively by growing due to uncontrolled construction and increasing energy requirements in our country as well as in all countries of the world. In order to bring the air quality to levels that will not adversely affect the health of both humans and all other living things that exist in nature, it is necessary to regularly monitor air pollution and take necessary steps to improve it. In the light of the developments in the world of technology, innovations in satellite systems have enabled the active use of satellite images in environmental applications. As a matter of fact, satellite images offer successful solutions in many areas such as monitoring air quality by detecting pollutant parameters and producing thematic maps.

In this thesis study, PM<sub>10</sub> samples collected from the application area as a result of terrestrial studies carried out on two different dates and two satellite images of Sentinel-2 satellite dated 22.11.2021 and 16.04.2022 were used. In the first stage of the study, thematic maps were produced by kriging method, independent of satellite images and using only PM<sub>10</sub> samples. In the second stage, satellite images were corrected radiometrically and the reflection data obtained from the images and PM<sub>10</sub> samples were used together. Thematic maps were produced from satellite images by applying the coefficients derived by the multiple regression method to the relevant band combination. The correlation coefficients obtained from the regression analyzes performed within the scope of the application are 0.80 and 0.79, respectively, indicating that sufficient accuracy has been achieved for the study.

The results of the study show that PM<sub>10</sub> levels in residential areas do not adversely affect human health compared to areas with industrial activities. In addition, it has been determined that PM<sub>10</sub> levels are high on the road transport network and in areas with high traffic density. The data obtained as a result of the study were compared with the data obtained from the fixed station of the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, tested and interpreted.

**Keywords:** Air Pollution, PM<sub>10</sub>, Regression Analysis, Sentinel, Remote Sensing.



*Hayatıma dokunan tüm sevdiklerime...*

## ÖNSÖZ

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri teknolojileri ile yersel ölçümlerin entegre bir şekilde kullanıldığı bu tez çalışmasında hava kirliliğine sebebiyet veren PM<sub>10</sub> konsantrasyonları uydu görüntüleri üzerinden saptanarak hava kalitesi ile ilişkili tematik haritalar üretilmiştir.

Öncelikle çalışma sürecinin her aşamasında zamanını, bilgi ve tecrübelerini benden hiçbir zaman esirgemeyen, özgün bakış açısı ile problemlerin çözümü konusunda cesaret kazandıran, akademik kariyerim süresince yollarımızın kesişmesi sebebiyle kıvanç duyduğum danışman hocam sayın Prof. Dr. Semih EKERCİN' e sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Çalışmalarım sırasında gereksinim duyduğum verilerin temini noktasında sınırsız destek sunan, mensubu olmaktan onur duyduğum Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığına,

Gerçekleştirmiş olduğum arazi çalışmalarında beni yalnız bırakmayan değerli mesai arkadaşım Emre SAVRAN' a

Bugünlere gelmemde en büyük paya sahip olan ve her adımında emekleri bulunan sevgili annem Bedriye KARAKOÇ ve babam Mustafa KARAKOÇ' a,

Yoğun geçen tez çalışmam süresince anlayışı ve sevgisi ile bana destek olan hayat arkadaşım, sevgili eşim Kübra KARAKOÇ' a teşekkürlerimi sunarım.

Osman KARAKOÇ  
KONYA-2022

## İÇİNDEKİLER

|   |      |
|---|------|
| ÖZET .....  | iv   |
| ABSTRACT.....   | v    |
| ÖNSÖZ .....   | vii  |
| İÇİNDEKİLER .....                                     | viii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR .....                         | x    |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                  | xi   |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                               | xii  |
| 1. GİRİŞ .....  | 1    |
| 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....                           | 5    |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM.....                            | 10   |
| 3.1. Hava Kirliliği ve Hava Kalitesi .....            | 10   |
| 3.1.1. Hava kirletici kaynaklar .....                 | 10   |
| 3.1.1.1. Partikül maddeler .....                      | 11   |
| 3.1.2. Hava kalitesi örnekleme sistemleri .....       | 20   |
| 3.1.2.1. Pasif örnekleme sistemi .....                | 21   |
| 3.1.2.2. Aktif (yarı otomatik) örnekleme sistemi..... | 22   |
| 3.1.2.3. Otomatik örnekleme sistemi .....             | 22   |
| 3.1.2.4. Uzaktan algılayıcılar .....                  | 24   |
| 3.2. Uzaktan Algılama Sistemi .....                   | 24   |
| 3.2.1. Elektromanyetik enerji.....                    | 25   |
| 3.2.2. Elektromanyetik spektrum .....                 | 26   |
| 3.2.3. Uzaktan algılamanın temel bileşenleri.....     | 30   |
| 3.2.3.1. Verilerin elde edilmesi.....                 | 30   |
| 3.2.3.2. Verilerin işlenmesi .....                    | 30   |
| 3.2.4. Cisimlerin spektral yansıtma özellikleri ..... | 31   |
| 3.2.4.1. Bitkilerin spektral yansıtması .....         | 32   |
| 3.2.4.2. Zeminlerin spektral yansıtması .....         | 33   |
| 3.2.4.3. Suyun spektral yansıtması .....              | 34   |
| 3.2.4.4. Yüzey cisimlerinin spektral ışınması .....   | 34   |
| 3.2.5. Algılama sistemleri .....                      | 35   |
| 3.2.5.1. Pasif algılama sistemi .....                 | 35   |
| 3.2.5.2. Aktif algılama sistemi.....                  | 36   |
| 3.2.6. Uydu sistemleri .....                          | 36   |
| 3.2.6.1. Sentinel uydu sistemleri.....                | 37   |
| 3.3. Regresyon Analizi.....                           | 39   |
| 3.3.1. Çoklu doğrusal regresyon modeli .....          | 42   |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.4. Kriging Enterpolasyon Yöntemi .....                     | 45        |
| 3.5. Bölgenin Özellikleri ve Kullanılan Veriler .....        | 46        |
| 3.5.1. Çalışma alanı .....                                   | 46        |
| 3.5.2. Kullanılan veriler .....                              | 47        |
| 3.5.2.1. Uzaktan algılama verileri .....                     | 47        |
| 3.5.2.2. İstasyon verileri .....                             | 50        |
| 3.5.2.3. Meteorolojik veriler .....                          | 50        |
| 3.5.2.4. Çalışma alanından toplanan veriler .....            | 51        |
| <b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>               | <b>57</b> |
| 4.1 Kriging Enterpolasyon Yöntemi .....                      | 57        |
| 4.2 Uydu Görüntülerinin Radyometrik Olarak Düzeltilmesi..... | 59        |
| 4.3 Regresyon Analizi.....                                   | 63        |
| 4.4 Doğruluk Analizi .....                                   | 67        |
| 4.5 Model Oluşturma .....                                    | 69        |
| 4.6 Tematik Haritaların Üretilmesi .....                     | 70        |
| <b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>                          | <b>73</b> |
| 5.1 Sonuçlar .....   | 73        |
| 5.2 Öneriler .....   | 74        |
| <b>6. KAYNAKLAR .....</b>                                    | <b>76</b> |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

|    |            |
|----|------------|
| Hz | Hertz      |
| mm | Milimetre  |
| nm | Nanometre  |
| µm | Mikrometre |

### Kısaltmalar

|                   |   |
|-------------------|---|
| AB                | Avrupa Birliği  |
| ABD               | Amerika Birleşik Devletleri                           |
| AOT               | Aerosol Optik Kalınlık                                |
| CBS               | Coğrafi Bilgi Sistemleri                              |
| ESA               | Avrupa Uzay Ajansı                                    |
| EPA               | Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı       |
| GPS               | Küresel Konumlama Sistemi                             |
| HKDYY             | Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği   |
| HKKY              | Hava Kalitesinin Kontrolü Yönetmeliği                 |
| HKİ               | Hava Kalitesi İndeksi                                 |
| IR                | Termal Kızılötesi                                     |
| MSI               | Çoklu Spektral Cihaz                                  |
| NIR               | Yakın Kızılötesi                                      |
| PM                | Partikül Maddeler                                     |
| PM <sub>10</sub>  | Parçacık çapı 10 µm'den küçük olan partikül maddeler  |
| PM <sub>2.5</sub> | Parçacık çapı 2.5 µm'den küçük olan partikül maddeler |
| ROC               | Receiver Operating Characteristics                    |
| SWIR              | Kısa Dalga Kızılötesi                                 |
| TM                | Tematik Haritalayıcı                                  |
| UHKİA             | Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı                       |
| USGS              | United States Geological Survey                       |
| VIS               | Görünür Işık  |
| WB                | Dünya Bankası   |
| WHO               | Dünya Sağlık Örgütü                                   |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|   |    |
|---|----|
| Şekil 3. 1. Hava kirletici emisyon kaynakları.....  | 11 |
| Şekil 3. 2. Atmosferdeki partiküllerin boyut dağılımı.....  | 12 |
| Şekil 3. 3. PM ve koronavirüs partiküllerinin boyut karşılaştırması.....                          | 13 |
| Şekil 3. 4. Yaygın emisyon kaynaklarının boyutsal dağılımı.....                                   | 14 |
| Şekil 3. 5. Partikül maddelerin insan vücuduna nüfus etme potansiyeli.....                        | 15 |
| Şekil 3. 6. Yaygın olarak kullanılan pasif örnekleyici sistemler.....                             | 21 |
| Şekil 3. 7. Aktif örnekleyici sistemler.....  | 22 |
| Şekil 3. 8. Çeşitli otomatik analizör örnekleri.....  | 23 |
| Şekil 3. 9. Elektromanyetik enerjinin dalga yayılımı.....   | 25 |
| Şekil 3. 10. Elektromanyetik spektrum tayfı.....  | 27 |
| Şekil 3. 11. Uzaktan algılamanın temel bileşenleri.....   | 31 |
| Şekil 3. 12. Cisme ulaşan ışınımın spektral yansıtma türleri.....                                 | 32 |
| Şekil 3. 13. Bitki örtüsü, toprak ve suyun spektral yansıtım eğrileri.....                        | 33 |
| Şekil 3. 14. Pasif algılama sistemi.....  | 35 |
| Şekil 3. 15. Aktif algılama sistemi.....  | 36 |
| Şekil 3. 16. Sentinel-2 uzay aracı şematik görünüm.....   | 37 |
| Şekil 3. 17. Sentinel-2 spektral bantlar ve mekânsal çözünürlükler grafiği.....                   | 38 |
| Şekil 3. 18. Değişkenler arasındaki ilişki grafikleri.....  | 41 |
| Şekil 3. 19. Çalışma alanı haritası.....  | 46 |
| Şekil 3. 20. 22.11.2021 tarihli Sentinel uydu görüntüsü.....                                      | 48 |
| Şekil 3. 21. 16.04.2022 tarihli Sentinel uydu görüntüsü.....                                      | 49 |
| Şekil 3. 22. 20.11.2021 tarihine ait taşınım haritası.....  | 51 |
| Şekil 3. 23. 13.04.2022 tarihine ait taşınım haritası.....  | 51 |
| Şekil 3. 24. Çankırı kent merkezinde gerçekleştirilen yersel çalışmalar.....                      | 52 |
| Şekil 3. 25. 20.11.2021 tarihli yersel çalışmada PM <sub>10</sub> örneklenen nokta konumları..... | 53 |
| Şekil 3. 26. 13.04.2022 tarihli yersel çalışmada PM <sub>10</sub> örneklenen nokta konumları..... | 54 |
| Şekil 3. 27. Hava kalitesi ölçüm cihazı.....  | 55 |
| Şekil 4. 1. Kriging metodu ile üretilen 20.11.2021 tarihli tematik harita.....                    | 57 |
| Şekil 4. 2. Kriging metodu ile üretilen 13.04.2022 tarihli tematik harita.....                    | 58 |
| Şekil 4. 3. 22.11.2021 tarihli radyometrik olarak düzeltilmiş uydu görüntüsü.....                 | 61 |
| Şekil 4. 4. 16.04.2022 tarihli radyometrik olarak düzeltilmiş uydu görüntüsü.....                 | 62 |
| Şekil 4. 5. Model-1 regresyon analiz modeli.....  | 64 |
| Şekil 4. 6. Model-2 regresyon analiz modeli.....  | 65 |
| Şekil 4. 7. Birinci analiz sonucu üretilen ROC eğrisi.....  | 67 |
| Şekil 4. 8. İkinci analiz sonucu üretilen ROC eğrisi.....   | 67 |
| Şekil 4. 9. Model-1 nokta dağılımı.....   | 68 |
| Şekil 4. 10. Model-2 nokta dağılımı.....  | 68 |
| Şekil 4. 11. Model akış şeması.....   | 69 |
| Şekil 4. 12. 22.11.2021 tarihli PM <sub>10</sub> ilişkili tematik harita.....                     | 70 |
| Şekil 4. 13. 16.04.2022 tarihli PM <sub>10</sub> ilişkili tematik harita.....                     | 71 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|  |    |
|--|----|
| Çizelge 3. 1. Türkiye’de uygulanan PM <sub>10</sub> sınır değerleri.....                                       | 18 |
| Çizelge 3. 2. Dünya Sağlık Örgütü ve Avrupa Birliği PM <sub>10</sub> ve PM <sub>2.5</sub> sınır değerleri .... | 19 |
| Çizelge 3. 3. EPA Standartlarına göre uyarlanan Ulusal Hava Kalitesi İndeksi .....                             | 19 |
| Çizelge 3. 4. Hava kalitesi indeksi sağlık endişe seviyeleri .....   | 20 |
| Çizelge 3. 5. Elektromanyetik spektrum bölüm tanımlamaları .....   | 28 |
| Çizelge 3. 6. Uzaktan algılama sisteminde kullanılan spektrum bölgeleri.....                                   | 29 |
| Çizelge 3. 7. Sentinel-2 uydusunun temel özellikleri.....  | 38 |
| Çizelge 3. 8. Sentinel-2 uyduları spektral band özellikleri.....   | 39 |
| Çizelge 3. 9. Kolerasyon katsayıları ilişki seviyeleri .....   | 40 |
| Çizelge 3. 10. Regresyon analizlerinin sınıflandırılması.....  | 41 |
| Çizelge 3. 11. İstasyonda ölçülen PM <sub>10</sub> verilerinin aylık medyan ortalama değerleri. ..             | 50 |
| Çizelge 4. 1. Model-1 regresyon özeti.....   | 64 |
| Çizelge 4. 2. Model-1 anova tablosu. ....  | 64 |
| Çizelge 4. 3. Model-2 regresyon özeti.....   | 66 |
| Çizelge 4. 4. Model-2 anova tablosu .....  | 66 |

## 1. GİRİŞ

Sanayi devrimi ile birlikte dünya literatüründe yer bulmaya başlayan hava kirliliği kavramı günümüzde hızlı nüfus artışı, kontrolsüz kentleşme ve fosil yakıt kullanımı gibi sebeplere bağlı olarak küresel bir çevre sorunu haline gelmiştir. Bulduğumuz teknolojik çağda enerji gereksinimlerine paralel olarak genişleyen endüstriyel faaliyetlerin beraberinde getirdiği hava kirliliği yalnızca çevreye zarar vermekle kalmayıp insan sağlığını tehdit eden boyutlara ulaşmıştır. Nitekim Dünya Sağlık Örgütü verilerine göre dünyada her 10 kişiden 9' u yüksek seviyede hava kirliliğine maruz kalmaktadır. 2017 yılında dünyada yaklaşık 7 milyon insanın hava kirliliğine bağlı olarak erken öldüğü anlaşılmıştır. Bu ölümlerin 2 milyonu Batı Pasifik'te, 2 milyonu Güneydoğu Asya'da, 1 milyonu Afrika'da, 500 bini Avrupa'da, 500 bini Doğu Akdeniz'de ve 300 bin kadarı ise Amerika'da yaşanmıştır [1].

Hava kirliliğine sebebiyet veren partikül maddeler (PM) solunum yollarına kolay bir şekilde nüfus etmeleri sebebiyle hava kirleticiler arasında en tehlikeli olanlardır [2]. Aerosol olarak da tanımlanan PM atmosferde katı ya da sıvı formda yer alan, organik ve inorganik birçok farklı bileşenden oluşan, atmosferde tutunma süresi birkaç dakika ile haftalar arasında değişebilen parçacıklardır [3]. PM biyojeokimyasal döngüleri, atmosfer kimyasını ve doğal iklim formunu değiştirebilmekte ve insan sağlığına olumsuz yönde etkiler bırakabilmektedir. Son zamanlarda PM seviyelerine ilişkin yapılan araştırmalara önem verilmesinin en temel sebebi de bu parçacıkların iklim değişikliği ve insan sağlığı üzerindeki etkilerinin farkına varılmaya başlanmasıdır [4].

PM çıkış kaynaklarına göre doğal ve yapay (antropojenik) olmak üzere iki kategoride sınıflandırılır [5]. Rüzgar ile kalkan tozlar, deniz spreyi aerosolleri, sabit yanma prosesleri, tarımsal atıkların yanması, endüstriyel faaliyetler, inşaat çalışmaları gibi doğal ve yapay çok çeşitli emisyon kaynakları atmosferdeki PM seviyesinin yükselmesine katkıda bulunurlar [6]. Doğal kaynaklar geniş alanlardan emisyonları nedeniyle küresel ölçekte baskınken, antropojenik kaynaklar endüstriyel alanlar gibi nispeten daha küçük bölgelerde baskındır [7]

PM niteliklerinden en önemlisi parçacık boyutlarıdır. Bunun sebebi yalnızca aerosol kaynağının tespitine imkan vermesi değil aynı zamanda sağlık, estetik ve iklimik etkileridir. Partikül madde boyutları, parçacıkların yer değiştirmeleri, atmosferde bulunma süreleri, görüş mesafesine etkileri gibi fiziksel yapısının tespit edilmesinde de en önemli parametredir [8].

Boyutları 2,5 µm ile 10 µm aralığındaki parçacıklar kaba partiküller (PM<sub>2.5-10</sub>), 0,1 µm ile 2,5 µm değer aralığındakiler ince partiküller (PM<sub>2.5</sub>) ve 0,1 µm' den küçük olan parçacıklar ise ultra ince partiküller (UFP) olarak adlandırılır [9]. Partiküllerin havada kalma süreleri ile boyutları arasında ters orantı bulunmaktadır. PM boyutu küçüldükçe havada kalma süresi artış göstermektedir. PM<sub>10</sub> nispeten daha büyük boyutlara sahip olması nedeniyle daha kısa mesafelere taşınabilmekte, havada dakikalar ya da saatler boyunca kalabilmektedir [10]. PM<sub>2.5</sub> ise boyutlarının daha küçük, ağırlıklarının ise daha hafif olması sebebiyle atmosferde uzun süre tutunabilmekte ve bölgeler arasında taşınım göstermektedir [11].

PM ile insan sağlığında meydana gelen olumsuz gelişmeler arasındaki ilişki geçmiş yıllardaki bilimsel çalışmalara konu edilmemiştir. Fakat son yıllarda gerçekleştirilen epidemiyolojik araştırmalar ile partikül maddelerin kalp ve solunum yolu hastalıkları ile ilişkili olduğu ve bu hastalıklara bağlı ölüm rakamlarının PM seviyeleriyle doğru orantılı olarak artış gösterdiği saptanmıştır [12]. Dünyada kalp ve solunum yolu hastalıklarına bağlı olarak gelişen ölümlerin %3' ü ve akciğer kanserine bağlı meydana gelen vefatların ise %5' inin partikül maddelerin sebebiyet verdiği tahribatla gerçekleştiği tahmin edilmektedir [13]. PM<sub>10</sub> seviyesindeki her 10 µg/m<sup>3</sup> lük bir artış kalp ve damar rahatsızlıklarında %0,7 ve solunum yolu rahatsızlıklarında ise %1,4' lük bir artışa sebep olabilmektedir [14]. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) PM' ye bağlı gelişen hava kirliliğinin yılda 800.000 erken ölüme sebebiyet verdiğini tahmin etmekte olup PM kirliliği ile meydana gelen ölümleri dünyadaki başlıca ölüm nedenleri arasında 13. sırada göstermektedir [15].

Dünyada hava kirliliğinin kontrolüne ilişkin ilk yasal düzenleme Amerika Birleşik Devletleri (ABD) tarafından gerçekleştirilmiştir. 1955 yılında federal hükümet tarafından Hava Kirliliği Kontrol Yasası yürürlüğe girmiş ve 1963 yılında Temiz Hava Yasası kabul edilmiştir [16]. İngiltere' de ise 19. yüzyılın başlarında endüstriyellemenin etkisiyle meydana gelen hava kirliliğine yönelik 1958' de Temiz Hava Yasası (Clean Air Act) çıkarılmıştır [17]. Tüm bu gelişmeler Avrupa ülkeleri başta olmak üzere birçok ülkede hava kalitesinin iyileştirilmesi ve kirliliğin kontrol altına alınmasına yönelik yasal düzenlemelerin yürürlüğe girmesine sebep olmuştur. Nitekim atılan bu adımlar sayesinde günümüzde hava kalitesinin iyileştirilmesi konusunda önemli bir yol kat edilmiştir.

Dünya genelinde yapılan birçok araştırma sonucu düşük ve orta gelirli ülkelerdeki hava kalitesinin dolayısıyla PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2.5</sub> seviyelerinin gelişmiş ülkelere

kıyasla daha kötü durumda olduğunu kanıtlamaktadır. Dünya Bankasının düşük ve orta gelirli ülkelerdeki hava kirliliğine farkındalık yaratmak ve bu ülkelerde hava kalitesine olan yaklaşımı geliştirmek amacıyla 2015 yılında yayınladığı raporunda yıllık ortalama en yüksek PM<sub>10</sub> konsantrasyonuna sahip ilk 5 ülke Pakistan, Afganistan, Hindistan, İran ve Bahreyn olarak göze çarpmaktadır [18]. İsviçre merkezli bir hava kalitesi teknolojisi şirketi tarafından 117 ülke ve 6 bin 475 şehirden ölçülen milyonlarca PM<sub>2.5</sub> örneğinin karşılaştırılması ile elde edilen 2021 yılı hava kirliliği raporuna göre ise Bangladeş, Çad, Pakistan, Tacikistan ve Hindistan dünyada en kirli havaya sahip ülkeler olarak göze çarparken Türkiye hava kirliliği sıralamasında 46. sırada yer almaktadır [19].

Türkiye’de hızlı nüfus artışı, plansız ve kontrolsüz kentleşme ve sanayileşmenin bir sonucu olarak 1950’li yılların başında Ankara başta olmak üzere birçok büyük şehirde hava kirliliği sorunu gelişmiştir. Bu durum hava kirliliğinin azaltılmasına yönelik çeşitli yasal düzenlemelerin hayata geçirilmesini kaçınılmaz kılmıştır. 2872 sayılı Çevre Kanunu’na dayanarak 02.11.1986 tarihinde “Hava Kalitesinin Kontrolü Yönetmeliği” (HKKY) yayımlanmıştır [20]. Avrupa Birliği (AB) uyum süreci çalışmalarının sonucunda Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından 6 Haziran 2008 tarihinde “Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği” (HKDYY) uygulamaya konmuştur.

Hava kalitesi politikasının ülke genelinde yaygınlaştırılarak sürece tüm illerin dahil edilmesi, hava kirliletiçi parametrelerin doğru bir şekilde ölçülerek hava kirliliğinin kontrol altında tutulması amacıyla 2005-2007 yılları arasında Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından 81 ilde hava kalitesi ölçüm istasyonları kurularak Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı (UHKİA) oluşturulmuştur. Çeşitli kurum ve kuruluşlara ait istasyonların da sürece dahil edilmesi ile birlikte 2022 yılı itibariyle toplamda 360 adet sabit istasyon ve 4 adet mobil hava kalitesi ölçüm aracı aktif olarak kullanılmaktadır. Sisteme entegre edilen 4 adet mobil istasyon ihtiyaç halinde kirliliğin yaşandığı bölgelere sevk edilmekte ve mevcut hava kalitesinin raporlanmasına imkan sunmaktadır [21].

Günümüzde hava kalitesi izleme istasyonlarının geniş alanların hava kalitesinin izlenmesinde yetersiz kalması ve yüksek kurulum maliyetleri kirliletiçi parametrelerin tespitine yönelik yeni çözüm arayışlarına sebep olmuştur. Teknolojik gelişmelerin ışığında uydu sistemlerindeki yenilikler uydu görüntülerinin çevresel uygulamalarda aktif bir şekilde kullanılmasına olanak sağlamıştır. Nitekim uydu görüntüleri başlıca kirlilik kaynaklarının tespit edilmesi, geniş alanların hava kalitesinin izlenmesi, hava

kalitesine yönelik dağılım modellerinin oluşturulması ve tematik haritaların üretilmesi gibi birçok konuda başarılı çözümler sunmaktadır. Ülkemizde henüz çok yaygın olmamakla birlikte uluslararası literatürde uydu görüntüleri ile hava kirletici parametrelerin tespitine yönelik birçok çalışma bulunmaktadır ([22]; [23]; [24]; [25]; [26]; [27]; [28]; [29]; [30]). Bu çalışmalar uydu görüntüleri ile hava kirletici parametreler arasında anlamlı ilişkiler sunmaktadır. Araştırmacılar gerçekleştirdikleri çalışmalarda PM ile uydu görüntüleri arasında anlamlı ilişkiler olduğunu tespit etmiştir. Bu sebeple çalışmada PM tespitine yönelik Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılmıştır.

Bu çalışma kapsamında Sentinel-2 uydu görüntüleri yardımıyla Çankırı ili kent merkezinde hava kirliliğine sebebiyet veren  $PM_{10}$  parametrelerinin tespit edilmesi ve uygulama alanına ilişkin tematik haritanın oluşturulması amaçlanmıştır. Çalışma alanı sınırları içerisinde Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığına ait Çankırı sabit hava kalitesi izleme istasyonundan ölçülen  $PM_{10}$  değerleri hava kirliliğinin tespitinde ölçüm yapılan lokasyon ile sınırlı kalınmasına ve bölge genelinde homojen bir dağılımın sağlanamamasına sebebiyet vermektedir. Bu nedenle iki farklı tarihte çalışma bölgesine homojen olarak dağıtılmış noktaların el tipi mobil cihaz ile  $PM_{10}$  örnekleri toplanmıştır. Çalışma sonuçlarının ülkemizde henüz çok yaygın olmayan konuya ilişkin ulusal literatüre katkı sağlaması beklenmektedir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Günümüzde uzaktan algılama teknolojisi ile hava kirliliğinin izlenmesi ve kirliliğe bağlı parametrelerin uydu görüntüleri yardımıyla tespiti konusunda yapılan çalışmalar henüz çok yaygın olmamakla birlikte gün geçtikçe artış göstermektedir. Literatür taraması bölümünde geçmişten günümüze uydu görüntüleri ile hava kirliliğinin izlenmesine yönelik yapılan çalışmalar geniş perspektifte araştırılmıştır. Yıllara göre belirgin ölçüde gelişim gösteren araştırmalar kronolojik akış içerisinde özetlenerek sunulmuştur.

D. Tanre ve arkadaşları (1988) saçılma ile meydana gelen bulanıklık faktöründen yola çıkarak, uydu görüntüleri üzerinden karasal yüzeylerdeki Aerosol Optik Kalınlıkları (AOT) tespit etmeye yönelik bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda, senkronize bir şekilde gerçekleştirilen arazi ölçümlerinin Tematik Harita (TM) verileriyle anlamlı bir ilişki içerisinde olduğu bulunmuştur [22].

N. Sifakis ve P.Y. Deschamps (1992) Fransa'nın Toulouse kentinde hava kirliliğine maruz kalan bölgelerdeki Partikül Maddelerin (PM) tespiti ve haritalandırılması amacıyla SPOT XS1 bandını kullanmıştır. Uydu görüntüleri üzerinden yapılan radyometrik karşılaştırmada hava kirliliği açısından açık ve kapalı olmak üzere iki ayrı görüntü seçilmesine özen gösterilmiştir. Çalışma sonucunda havadaki partikül maddeler tespit edilerek geniş alanlar üzerinde partikül madde tespitinin uydu görüntüleri yardımıyla kolayca yapılabildiği ortaya konmuştur [31].

A. Retalis ve arkadaşları (1999) çalışmalarında N. Sifakis ve P.Y. Deschamps (1992) ile aynı metodu farklı materyaller kullanarak gerçekleştirmiştir. Atina'da (Yunanistan) yapılan çalışmada Landsat-5 uydusunun Band-1 kombinasyonundan yararlanılmıştır. Çalışmada kirli ve kirlilikten arındırılmış iki ayrı görüntü arasındaki optik yoğunluk farkları ve bu görüntülerin SO<sub>2</sub> ve duman ölçümleri ile arasındaki ilişki gözetilmiştir. Duman ve kükürt dioksitin optik yoğunluk kavramı ile pozitif bir ilişki içerisinde olduğu sonucuna varılmıştır [23].

M. Tulloch ve J. Li (2004) aerosol kalınlığının ölçülmesine ilişkin gerçekleştirdikleri üç uygulamanın her birinde farklı uydu kullanarak hava kalitesini izlemiştir. Çalışma sonucunda bulgularını açık günlerle sınırlamaması açısından en iyi sonucu veren Landsat uydusu olmuştur. Bunun yanı sıra en düşük kapsama döngüsü, en yüksek uzaysal çözünürlük ve atmosferdeki aerosolün saçılacağı ve emileceği bantlara sahip olması sebebiyle IKONOS' un da hava kalitesini izlemede mantıklı bir seçim

olacağı ortaya konmuştur. Bulut örtüsünün aerosol kalınlık ölçümleri üzerindeki etkisini azaltacak bir çözüm bulunursa, ölçümlerin doğruluğunun artacağı ve yine aerosol kalınlığını ölçmek, hangi uydunun en iyi olduğuna karar vermek için ek araştırmalara ihtiyaç duyulduğu vurgulanmıştır [32].

P. Gupta ve arkadaşları (2006) Terra ve Aqua uydularından temin edilen bir yıllık Aerosol Optik Kalınlık (AOT) değerleri ile çeşitli bölgelerdeki ölçüm istasyonlarından temin edilen ince partikül madde (PM<sub>2.5</sub>) değerleri arasında anlamsal bir bağlantı olduğunu bulmuştur. Regresyon tekniği sonucunda ise PM<sub>2.5</sub> - AOT arasında ortam bağıl nemine (RH), kısmi bulut örtüsüne dayalı olarak değişen ampirik bir bağlantı olduğu saptanmıştır [33].

H.S. Lim ve arkadaşları (2009) Malezya'nın Penang Adasında hava kirliliğinin tespitinde Landsat-5 uydu görüntülerini kullanmıştır. Görüntülerdeki bozuklukları gidermek amacıyla geometrik düzeltme uygulanmıştır. Görüntü üzerinde örnek lokasyonlar belirlenerek algoritmayı kalibre etmek için regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Hava kalitesinin tahmini ve haritalandırılmasında yöntemin güvenilir sonuçlar verdiği ve düşük maliyetli olduğu saptanmıştır [24].

N. Othman ve arkadaşları (2010) çalışmalarında Suudi Arabistan'ın Mekke, Mina ve Arafat bölgesinde multispektral bir algoritma geliştirerek Landsat-7 uydu görüntüleri yardımıyla partikül madde (PM<sub>10</sub>) konsantrasyonlarını tahmin etmeyi hedeflemiştir. Uygulama alanında PM<sub>10</sub> ölçümünün yapıldığı noktalardan GPS yardımıyla koordinatlar alınmıştır. Regresyon katsayısı  $R > 0.8$  bulunmuştur ve yöntemin güvenilir olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca hac zamanında PM<sub>10</sub> değerlerinin diğer zamanlara kıyasla yüksek olduğu sonucuna varılmıştır [26].

J. Harbula (2010) çalışmasında hava kirliliği ölçüm istasyonlarının kısıtlı sayıda olması ve kirletici değerlerinin o istasyonun konumu ile sınırlanması probleminden yola çıkarak Modis sensöründen elde edilen Aerosol Optik Kalınlık (AOT) verileri ile PM<sub>10</sub> parametreleri arasındaki ilişkiyi test etmiştir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen regresyon analizi sonucunda PM<sub>10</sub> değerlerinin AOT ile doğrusal bir ilişki içerisinde olduğu tespit edilmiştir [34].

J. Gao ve Y. Zha (2010) Çin' in Nanjing şehrinde gerçekleştirilen çalışmada MODIS' ten türetilen Aerosol Optik Kalınlık (AOT) verileri ile hava kirliliğinin tespitinde hava basıncı, sıcaklık, bağıl nem ve rüzgar hızı gibi faktörlerin etkileri üzerinde durulmuştur. Çalışma sonucunda meteorolojik parametrelerin hava kirliliğinin tahmin edilebilirliği üzerinde karışık bir etki gösterdiği bulunmuştur [35].

D. G. Hadjimitsis ve arkadaşları (2010) bu çalışmada Kıbrıs' ın Baf ve Limasol şehirlerinde MODIS' ten türetilen AOT değerleri, Landsat TM uydu görüntüleri, istasyonlardan edinilen  $PM_{10}$  ölçüleri ve el tipi cihazla ölçülen AOT değerlerini kullanarak regresyon analizleri gerçekleştirmiştir. Hava kirliliğini değerlendirmek için çeşitli araçların entegrasyonu ile gerçekleştirilen çalışma sonucunda geniş alanlarda hava kirliliğinin izlenmesinde uzaktan algılama teknolojisi ve uydu görüntülerinin kullanılabilir olduğu ve büyük kolaylık sağladığı saptanmıştır [25].

J. Harbula ve V. Kopacková (2011) Çek Cumhuriyeti'nin kuzey-batı bölgesi üzerinden günlük ortalama  $PM_{10}$  konsantrasyonları ile çok zamanlı MODIS Aerosol Optik Kalınlık (AOT) verileri arasında ampirik bir ilişki kurmayı hedeflemiştir. Çalışma sonucunda atmosferik parametrelerin ve hava koşullarının MODIS verileri ve AOT değerleri üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur [36].

N. H. Nguyen ve V.A. Tran (2014) Vietnam'ın başkenti Hanoi şehrinde yapılan çalışmada Landsat-8 uydu görüntülerine radyometrik düzeltme uygulanmıştır. Landsat bant kombinasyonlarından temin edilen reflektans parametreleri ile kaba partiküller arasındaki bağıntının tespiti için regresyon tekniği uygulanmış ve  $R = 0.888$  bulunmuştur. Çalışma sonucunda Landsat-8 uydu görüntüsünün görünür bantları kullanılarak  $PM_{10}$  parametrelerinin hesaplanabileceği saptanmıştır [37].

L. Li ve arkadaşları (2015) Çin' deki İnci Nehri deltasında gerçekleştirdikleri çalışmada MODIS verileri ve izleme istasyonunun bölgede almış olduğu  $PM_{10}$  örneklerini kullanmıştır. Doğrusal regresyon modeli ile AOT verilerinden  $PM_{10}$  değerlerinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Düzeltme öncesi  $R = 0.51$  ve düzeltme sonrası  $R = 0.55$  bulunmuştur.  $PM_{10}$  verilerinin AOT değerleri ile ilişkili olduğu gözlemlenmiştir [38].

A. Shaheen ve arkadaşları (2017) Gazze' de yapılan bu çalışmada Landsat görünür bant kombinasyonlarının  $PM_{10}$  verileri ile bağlantısını tespit etmeyi amaçlamıştır. Çalışmada  $R = 0,86$  bulunmuştur. Çalışma sonuçları Landsat görüntülerinin  $PM_{10}$  verilerinin tespitinde kullanılabileceğini göstermiştir [27].

T. Thi Van ve arkadaşları (2018) Vietnam'ın Ho Chi Minh şehrinde yapılan bu çalışmada Aerosol Optik Kalınlık (AOT) değerleri ile  $PM_{10}$  tespiti için Landsat uydu görüntüsü kullanmıştır. İstasyondan temin edilen  $PM_{10}$  değerleri ile uydu görüntüleri üzerinden elde edilen AOT verileri arasındaki bağlantıyı kurmak için regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda yeşil bant için hesaplanan AOT verisinde

korelasyon katsayısı  $R = 0.95$  bulunmuştur. Hava kalitesinin haritalandırılmasında uzaktan algılama sisteminin ekonomik açıdan başarılı olduğu sonucuna varılmıştır [39].

A. Vashisht ve S. Somvanshi (2018) bu çalışmada Hindistan'ın başkenti Delhide izleme istasyonundan temin edilen hava kalitesi verilerini ve Landsat-8 uydu görüntülerini kullanarak hava kalitesi haritaları elde etmiştir. Çalışma sonucunda, Landsat verilerinin PM kirlilik seviyesinin tahmin edilmesi, modellenmesi ve haritalandırılması için kullanılabileceği, uzaktan algılama ve CBS teknolojisinin hava kirliliği için faydalı bilgiler sağlayabileceği tespit edilmiştir [40].

H. İ. Gündüz (2018) Aksaray il merkezinde gerçekleştirilen çalışmada iki farklı tarihteki Landsat-8 uydu görüntülerine eş zamanlı olarak çalışma bölgesine homojen olarak dağıtılmış lokasyonlardan  $PM_{10}$  örnekleri toplanmıştır. Landsat-8 kırmızı, yeşil ve mavi bantları ile  $PM_{10}$  değerleri arasında regresyon tekniğiyle ilişki kurulmuştur. Regresyon analizleri sonucunda sırasıyla 0,69 ve 0,80 korelasyon katsayıları elde edilmiştir. Çalışma sonucunda iki farklı tarihe ait  $PM_{10}$  ilişkili tematik haritalar elde edilmiştir [41].

Z. Li ve arkadaşları (2019) Sentinel-2A ve Landsat-8 uydu görüntülerinden temin edilen AOD verilerini, yersel kaynaklı AOD verileriyle karşılaştırmıştır.  $R^2 > 0.90$  belirlenen çalışma sonuçları kentsel ortamlarda AOD verileri için kurulan ilişkinin kullanılabilir olduğunu göstermiştir. Ayrıca Sentinel-2A uydu verilerinin Landsat-8 ile karşılaştırıldığında daha yüksek doğruluklu sonuçlar verdiği saptanmıştır [28].

B. Zhang ve arkadaşları (2019) Çin'in Pekin şehrinde gerçekleştirdikleri çalışmada Landsat-8 multispektral verilerini kullanarak  $PM_{10}$  ve  $PM_{2.5}$  değerlerinin tespitini amaçlamıştır. Çalışma sonucu  $R^2$  katsayısı  $PM_{2.5}$  için 0.795 ve  $PM_{10}$  için ise 0.773 olarak bulunmuştur. Ortalama standart sapma ise 20.09 mg/m<sup>3</sup> ve 31.27 mg/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Yöntemin  $PM_{10}$  ve  $PM_{2.5}$  değerlerinin tahmin edilmesinde uygulanabilir olduğu saptanmıştır [29].

H. Jafarian ve S. Behzadi (2020) İran'ın başkenti Tahran'da bulunan 23 hava kalitesi izleme istasyonundan alınan  $PM_{2.5}$  verileri ile birlikte Landsat-8 uydu görüntülerini kullanarak hava kirliliği ve uydu görüntüleri arasındaki ilişkiyi ele almayı amaçlamıştır. Landsat uydu görüntülerinin çeşitli bant değerleri ile  $PM_{2.5}$  değerleri arasındaki ilişki 19 regresyon modeli ile incelenmiştir. Çalışma sonucunda Landsat uydu görüntülerine dayalı olarak  $PM_{2.5}$  değerlerinin tespitinin mümkün olduğu gözlemlenmiştir [42].

G. Kaplan ve Z. Yiğit Avdan (2020) hava kalitesinin izlenmesinde uydu verilerinin kullanılabilirliği üzerine gerçekleştirdikleri çalışmada Kuzey Makedonya Cumhuriyeti üzerinden Sentinel-5P TROPOMI ile elde edilen veriler ile hem coğrafi hem de nüfus verileri karşılaştırılmıştır. NO<sub>2</sub> için  $R^2 = 0.61$  ve CO için  $R^2 = 0.80$  belirlenmiş olup çalışma sonuçları Sentinel-5P verilerinin hava kalitesinin tespitinde kullanılabilirliğini doğrulamıştır [43].

C. W. Chen ve arkadaşları (2021) hiperspektral görüntüleme kullanılarak PM<sub>2.5</sub> ve PM<sub>10</sub> konsantrasyonunun hassas bir şekilde tespitinin amaçlandığı bu çalışmada Bira-Lambert yasası ve çok değişkenli regresyon analizini kullanmıştır. PM<sub>2.5</sub> ve PM<sub>10</sub>' un görünür, yakın kızılötesi ve uzak kızılötesi ışık bantlarında analiz edilebildiği ve görünür ışık bandındaki doğruluğun diğer bantlara oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir [30].

S. Alsultan ve arkadaşları (2021) dijital kamera görüntülerinin PM<sub>10</sub> tespitinde kullanılabilirliğini test etmek amacıyla atmosferik yansıma ile kirlenici için karşılık gelen hava kalitesi verileri arasındaki ilişkiyi regresyon analizi kullanarak gerçekleştirmiştir. Regresyon analizi için IP kamera verilerinin alınmasıyla eş zamanlı olarak yerinde veriler ölçülmüştür. PM<sub>10</sub> ile dijital kamera verileri arasında oluşturulan matematiksel ilişkiler çok iyi sonuçlar vermiştir. Hava kalitesi tespitinde dijital kamera kapasitesinin artırılarak yeni çalışmalarla desteklenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır [44].

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

#### **3.1. Hava Kirliliği ve Hava Kalitesi**

Hava, insan sağlığına zarar verebilecek miktarda maddeler içerdiğinde ayrıca yapılar ve materyaller gibi diğer sosyal açıdan değerli öğelere ve ekosistemlere zarar verdiğinde kirlenir [45]. Atmosferik ortam her ne kadar içerisine nüfus eden zararlı maddeleri eriterek zararsız hale getirebilse de gerek topoğrafik gerekse meteorolojik etkenlere bağlı olarak hava devamlı olarak kirlenebilmektedir [46]. Bu sebeple hava kirliliği yerel, bölgesel ve küresel ölçekte yüzleşilmesi gereken en zorlu çevre sorunlarından biridir [47].

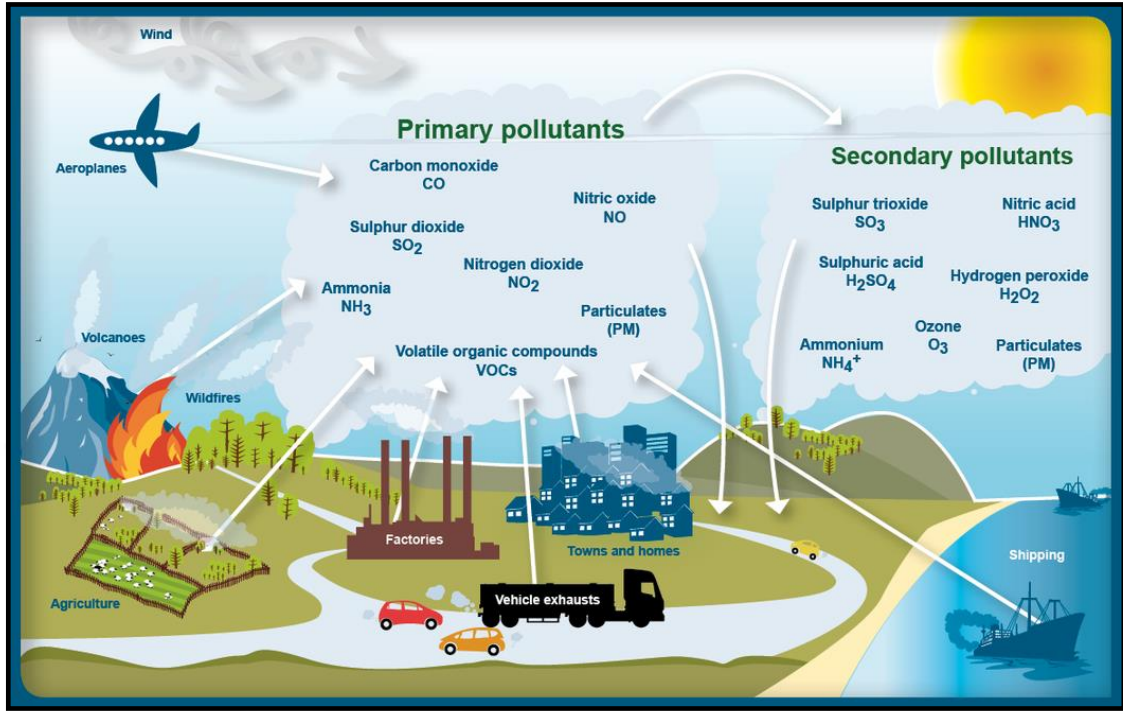
Havanın insan sağlığına ya da doğaya zarar verecek oranda kirlenmesi, kirletici parametrelerin havanın kirliliği temizleme kapasitesini aşan seviyede artış göstermesiyle gerçekleşmektedir. Bu kapsamda hava kirliliği, insan eliyle atmosfere taşınan yabancı maddelerin hava bileşimini bozması ya da diğer bir deyişle havanın doğal formunun çeşitli sebeplere bağlı olarak değişmesi olarak tanımlanabilir [48]. En temel tanımı ise kirletici maddelerin ekolojik sisteme, canlı hayatına ve eşyalara zarar verecek oranda havada bulunmasıdır [49].

Hava kalitesi ise havadaki mevcut bileşenlerin analiziyle kirlilik seviyelerinin belirlenerek havanın temiz ya da kirli olarak nitelendirilmesidir. Hava kalitesinin saptanması ile hava kirliliğine yol açan kirletici konsantrasyonlarının makul seviyelerde tutulması ve kirliliğin önüne geçilmesi amaçlanmaktadır. Hava kirliliğinin gerek çevreye gerekse tüm canlılara olan etkileri göz önünde bulundurulduğunda hava kalitesinin tespiti ve sürekli olarak izlenmesi hayati önem taşımaktadır.

##### **3.1.1. Hava kirletici kaynaklar**

Hava kirletici unsurlar boyutlarına, çıkış kaynaklarına, kimyasal bileşimine ve iç ya da dış mekan ortamlara nüfus etme potansiyeline göre kategorize edilebilir [50]. Hava kirletici kaynaklar doğal ve yapay (antropojenik) kaynaklar olarak iki başlıkta ele alınabilir. Doğal hava kirliliği kaynakları volkanik oluşumlar, orman yangınlarına bağlı olarak gelişen gaz ve tozlar, rüzgara bağlı olarak havaya nüfus eden tozlar gibi çeşitli unsurlardır [51]. Yapay (antropojenik) kaynaklar ise kaynağın yapısına (noktasal, çizgisel ve alansal kaynaklar), türüne (ısınma, trafik ve endüstriyel süreçler) ve

hareketine (sabit ve yapay) göre sınıflandırılmaktadır [52]. Şekil 3.1’ de hava kirletici emisyon kaynakları gösterilmektedir.



Şekil 3. 1. Hava kirletici emisyon kaynakları [53].

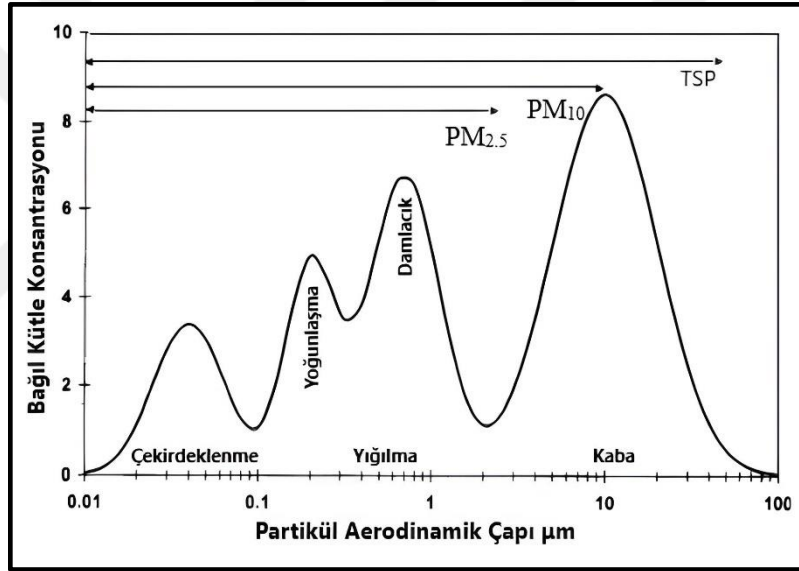
Hava kirletici unsurlar atmosfere taşınım yollarına göre ise primer (birincil) ve sekonder (ikincil) kirleticiler olmak üzere iki temel gruba ayrılmaktadır [54]. Primer kirleticiler kaynaktan atmosfere doğrudan iletilen ve herhangi bir değişikliğe uğramamış kirleticilerdir. Bunlar; Kükürt Dioksit (SO<sub>2</sub>), Azot Dioksit (NO<sub>2</sub>), Hidrojen Sülfür (H<sub>2</sub>S), Azot Monoksit (NO), Karbon Monoksit (CO), Karbon Dioksit (CO<sub>2</sub>) ve Partiküler Maddeler (PM) ‘dir [55]. Sekonder kirleticiler ise kaynaktan çıktıktan sonra havada bulunan diğer maddelerle kimyasal reaksiyona girerek meydana gelen bileşiklerdir. Bunlar; Kükürt Trioksit (SO<sub>3</sub>), Ozon (O<sub>3</sub>), Peroksi Asetil Nitrat (PAN), Sülfürik Asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), Ketonlar (R-CO-R) ve Aldehitler (R-CHO)’ dir [56]. Çalışma kapsamında hava kalitesinin tespitine yönelik PM<sub>10</sub> verileri üzerinden inceleme yapılacağından bu bölümde Partikül Maddeler (PM) üzerinde durulacaktır.

### 3.1.1.1. Partikül maddeler

Partikül Maddeler (PM), atmosfer ortamında asılı halde bulunan katı partiküller ile sıvı damlacıkların karışımından oluşmaktadır. Partikül boyutları oldukça geniş bir

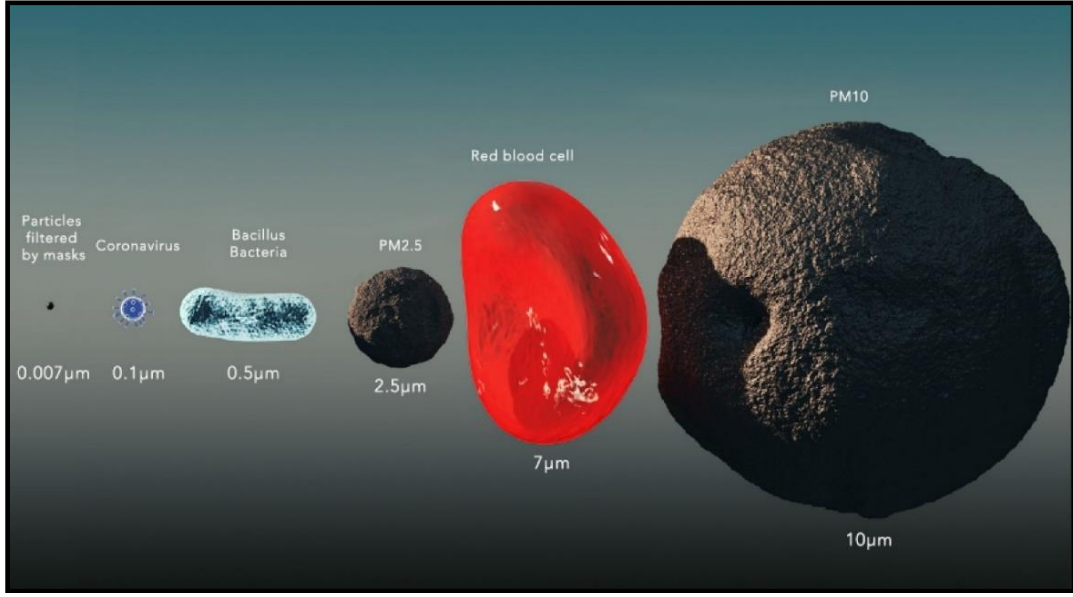
skalaya sahiptir. İnsan gözü ile algılanabilecek boyutlara sahip partiküller (toz, duman, is) bulunabildiği gibi ancak mikroskobik ortamda görüntülenebilecek boyutlara sahip partiküller de mevcuttur [57]. Partikül maddelerin özellikleri ve türleri çıkış kaynağına, boyutlarına, şekillerine, oluşum biçimine, sahip oldukları özel bileşenlere ve nüfuz ettikleri ortama göre değişiklik göstermektedir [4].

Partikül madde özelliklerinden en önemli olanı parçacık boyutlarıdır. Bunun sebebi yalnızca aerosol kaynağının tespitine imkan vermesi değil aynı zamanda sağlık, estetik ve iklimik etkileridir. Partikül madde boyutları, parçacıkların yer değiştirmeleri, atmosferde bulunma süreleri, görüş mesafesine etkileri gibi fiziksel yapısının tespit edilmesinde de en önemli parametredir [8]. Şekil 3.2’ de atmosferdeki partiküllerin boyut dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 3. 2. Atmosferdeki partiküllerin boyut dağılımı [58].

Hava kirliliğine sebebiyet veren kirleticiler arasında insan sağlığına etkileri bakımından en tehlikeli kirleticiler olan PM aerodinamik çapları üzerinden yorumlanmaktadır [59]. Boyutları 2,5 µm ile 10 µm aralığındaki parçacıklar kaba partiküller (PM<sub>2.5-10</sub>), 0,1 µm ile 2,5 µm değer aralığındakiler ince partiküller (PM<sub>2.5</sub>) ve 0,1 µm’ den küçük olan parçacıklar ise ultra ince partiküller (UFP) olarak adlandırılır [9]. Şekil 3.3’ de partikül boyutlarının daha iyi anlaşılması adına Covid-19 ile yayılan virüs partiküllerinin PM ile boyut karşılaştırması gösterilmektedir.



Şekil 3. 3. PM ve koronavirüs partiküllerinin boyut karşılaştırması [60].

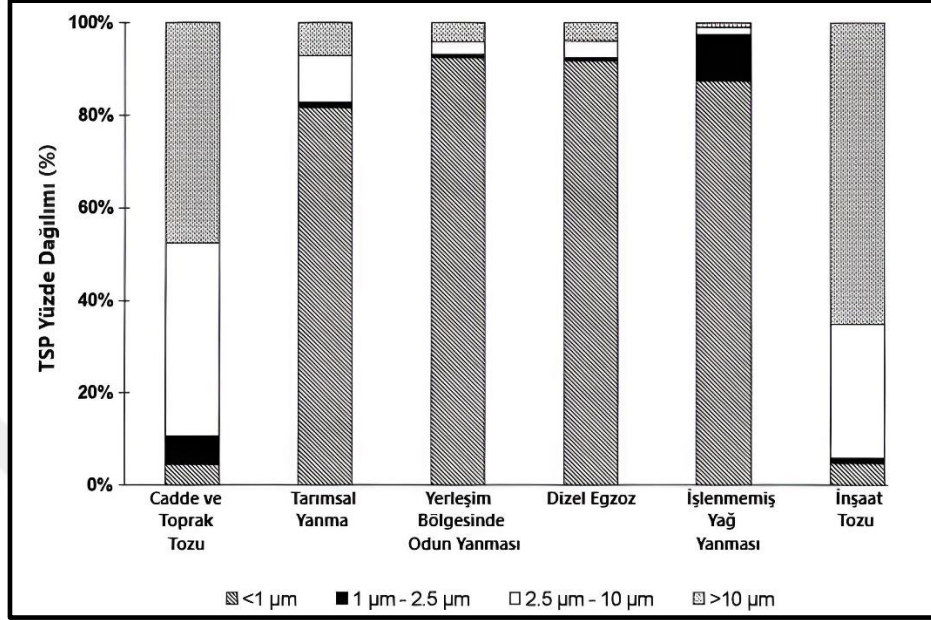
Covid-19 partiküllerinin ne denli küçük boyutlara sahip olduğunun anlaşılmasında  $PM_{2.5}$  ve  $PM_{10}$  partiküllerinin kullanılması oldukça dikkat çekici ve güncelliğini koruyan bir örnektir. Şekil 3.3’ de görüldüğü üzere partikül maddeler kırmızı kan hücreleri ya da virüs partikülleri ile kıyaslanacak oranda küçük parçacıklardır. Hatta  $PM_{2.5}$  kırmızı kan hücrelerine kıyasla daha küçük boyutlara sahiptir.

### Partikül Maddelerin Kaynakları

PM kirliliğine sebebiyet veren kaynaklar doğal ve antropojenik (yapay) olmak üzere iki başlıkta gruplandırılır. Yapay kaynaklar; evlerde ya da sanayi sektöründe enerji üretimi amacıyla kullanılan motorlar (petrol ürünleri), fosil yakıt (kömür, yağ, linyit ve biyokütle) yanması, lastik ya da fren balatalarının aşınması ve diğer endüstriyel faaliyetler (yapım işleri, maden sektörü, çimento, seramik ve tuğla üretimi) gibi durumlara bağlı olarak oluşan maddelerdir [61]. Doğal kaynaklar ise; okyanus püskürtüleri ile gelen deniz tuzu, yeryüzünden aşınan ya da volkanlardan saçılan kabuk tozu, mikroorganizmalar (küf ve bakteriler vb.), kontrolsüz orman yangınları sebebiyle tam olarak yanmayan bitkisel madde, bitkilerde yayılan gaz formundaki öncüler, hayvan ve bitki parçaları (böcek parçaları, polen vb.) ile ortaya çıkmaktadır [62].

Yapay kaynaklar çoğunlukla  $PM_{2.5}$  devinimine, doğal kaynaklar ise kaba partiküllerin oluşumuna sebebiyet vermektedir. Ayrıca  $PM_{2.5}$  havada çeşitli kirletici

unsurun etkileşimi ile sekonder kirletici formunda da meydana gelmektedir [63]. Şekil 3.4' te yaygın emisyon kaynaklarından ölçülen partiküllerin boyut dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 3. 4. Yaygın emisyon kaynaklarının boyutsal dağılımı [64].

Şekil 3.4' de görüldüğü üzere cadde ve toprak tozları, inşaat tozları gibi emisyon kaynakları ağırlıklı olarak  $PM_{10}$  boyutu aralığındayken toplam askıda partikül (TSP) yüzdesinin küçük bir kısmında  $PM_{2.5}$  boyutlarına tekabül etmektedir. Tarımsal yanma, yerleşim bölgesinde odun yanması, işlenmemiş yağ yanması ve dizel egzoz gibi emisyon kaynakları ise askıda partikül yüzdesinin büyük bir bölümünde  $PM_{2.5}$  ve ultra ince partikül (UFP) boyut aralığındayken çok küçük bir kısmında  $PM_{10}$  boyut aralığını temsil etmektedir.

### Partikül Maddelerin Ömürleri

Partikül maddelerin atmosferik ömürleri birkaç saat ile birkaç hafta arasında değişmektedir. Bu sebeple havadaki PM miktarı moleküler yapılarına, meteorolojik etkenlere, çıkış kaynaklarına göre konum ve zaman açısından farklılıklar gösterir [63].

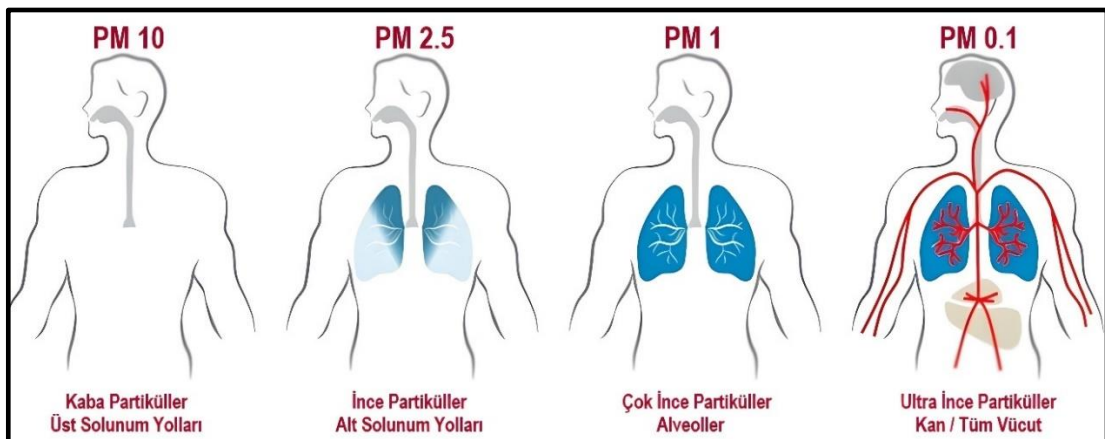
Partiküllerin havada kalma süreleri ile boyutları arasında ters orantı bulunmaktadır. PM boyutu küçüldükçe havada kalma süresi artış göstermektedir.  $PM_{10}$  nispeten daha büyük boyutlara sahip olması nedeniyle daha kısa mesafelere taşınabilmekte, havada dakikalar ya da saatler boyunca kalabilmektedir [10].  $PM_{2.5}$  ise

boyutlarının daha küçük, ağırlıklarının ise daha hafif olması sebebiyle atmosferde uzun süre tutunabilmekte ve bölgeler arasında taşınım göstermektedir. PM<sub>2.5</sub>' ların uzun mesafeler boyunca taşınabilme kabiliyetine sahip olması ve kontrol altına alınmasının oldukça güç olması gibi durumlar kirliliğe sebebiyet verdikleri bir alanda bölgesel açıdan problem yaratmaktadır [11].

### Partikül Maddelerin Sağlık Etkileri

PM insan sağlığına etki eden en önemli kirlenici parametrelerden biridir. Havada bulunan doğal ve antropojenik kaynaklı partiküller ya da bir başka deyişle tozlar sağlık açısından olumsuz etkiler yaratmaktadır. Toz oluşumlarının kimyasal açıdan aktif olabildiği ve bu sayede insan sağlığına olumsuz etkiler bırakabildiği bilinmektedir. Ayrıca partiküller yüzeylerine tutunan diğer kirlenici parametreleri havadaki doğal derişimlerinden daha yüksek oranda hassas canlı dokulara iletmekte ve bu kirlenicilerin olumsuz etkilerini artırmaktadır [65].

PM boyutları ve insan sağlığına olumsuz etkileri arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Hava ile solunan 10 µm' den büyük PM' ler burun ve genizde tutulmaktadır. 10 µm' den küçük PM' ler ise akciğere kolayca nüfus edebildikleri için insan sağlığı açısından en tehlikeli olan partiküllerdir [34]. PM aerodinamik çapları ve özellikleri insan vücudunda hareket kabiliyetini büyük ölçüde etkilemektedir. Şekil 3.5' te partikül maddelerin boyutlarına göre insan vücuduna nüfus etme potansiyeli gösterilmektedir.



Şekil 3. 5. Partikül maddelerin insan vücuduna nüfus etme potansiyeli [66].

Şekil 3.5' de görüldüğü üzere partikül boyutları ile insan vücuduna nüfus etme potansiyelleri arasında ters orantı bulunmaktadır.  $PM_{10}$  üst solunum yollarında tutunurken  $PM_{2.5}$  alt solunum yollarına kadar nüfus edebilmekte, çok ince partiküller alveollere ulaşırken, ultra ince partiküller ise tüm vücudu etkisi altında bırakabilmektedir. Bu durum küçük boyutlardaki partiküllerin insan sağlığı açısından kaba partiküllere kıyasla daha büyük bir tehdit oluşturabileceğini göstermektedir.

PM boyutları partiküllerin sağlık etkilerinin ele alınmasında en önemli kriter olsa da tek başına etken değildir. Partiküllerin insan sağlığına olumsuz etkileri çevresel, fiziksel ve kimyasal birçok farklı parametreden etkilenebilmektedir. Bu sebeple partikül maddelerin sağlık etkileri ele alınırken bu parametrelerin göz önünde bulundurulması ve iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Partikül maddelerin insan sağlığına olan etkilerindeki çeşitli kriterler;

- PM emisyon kaynakları,
- PM kompozisyonu,
- PM boyutu,
- Atmosferik koşullar,
- İklim,
- Havadaki PM dönüşümü,
- İnsan aktiviteleri
- Bireysel sağlık durumudur [67].

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) PM' ye bağlı gelişen hava kirliliğinin yılda 800.000 erken ölüme sebebiyet verdiğini tahmin etmekte olup PM kirliliği ile meydana gelen ölümleri dünyadaki başlıca ölüm nedenleri arasında 13. sırada göstermektedir [15]. Ayrıca Dünya Sağlık Örgütü tarafından atmosferde solunabilir PM' lere kısa süreli (saat, gün) ya da uzun süreli (ay, yıl) maruz kalındığında insan sağlığı açısından ortaya çıkan olumsuz sonuçlar şu şekilde sıralanmıştır;

- Astım hastalığının şiddetlenmesi, hastaneye yatış oranındaki artış gibi solunumsal ve kardiyovasküler morbidite,
- Akciğer kanseri, solunum yolu rahatsızlıkları ile kardiyovasküler (kalp ve damar) hastalıklarına bağlı olarak gelişen ölümler [68].

Partikül maddeler ile insan sağlığına olumsuz etkileri arasındaki ilişki geçmiş yıllardaki bilimsel çalışmalara konu edilmemiştir. Fakat son yıllarda gerçekleştirilen araştırmalarda partikül maddelerin kalp ve solunum yolu hastalıkları ile ilişkili olduğu ve bu hastalıklara bağlı ölüm rakamlarının PM seviyeleriyle doğru orantılı olduğu saptanmıştır [12]. Dünyada kalp ve solunum yolu hastalıklarına bağlı olarak gelişen ölümlerin %3' ünün ve akciğer kanserine bağlı gelişen ölümlerin ise %5' inin partikül maddelerin sebebiyet verdiği tahribatla gerçekleştiği tahmin edilmektedir [13].

PM<sub>2.5</sub> akciğere kadar ilerleyerek kanda bulunan karbon dioksitin (CO<sub>2</sub>) oksijene dönüşme hızını yavaşlatmakta ve buna bağlı olarak nefes darlığına neden olmaktadır. Bu durum kalp üzerindeki baskıyı artırdığı gibi oksijen gereksinimini tolere etmek için daha fazla efor sarfetmesine sebebiyet vermektedir. PM<sub>10</sub>' lara maruz kalınan süre ise kalp ve akciğer faaliyetleri açısından oldukça önemlidir. PM konsantrasyonunun artış gösterdiği bölgelerde sağlık kuruluşlarına başvurunun da arttığı görülmektedir. Akciğer, kalp ve astım hastalığı bulunan bireyler PM' ye bağlı olarak gelişen kirlilikten daha çok etkilenmekte ve bazı hastalar bu duruma bağlı olarak hayatını kaybetmektedir. PM<sub>10</sub>' lara kısa süre de olsa maruz kalındığında akciğer hastalığı kötüleşmekte, kalp hastalarında nabız artışı görülmektedir [69].

### **Türkiye'de Hava Kalitesi Mevzuatında Partikül Maddeler**

Hava kirliliğinin insan sağlığına olumsuz etkilerinin her geçen gün arttığı göz önünde bulundurulduğunda partikül maddelerin izlenmesi ve kontrol altında tutulması gibi hususlar hayati önem taşımaktadır. Ülkemizde nüfusun hızla artması, plansız kentleşme, kontrolsüz g ve endstriyellemeye bağlı artan enerji talebi gibi sebeplere bağlı olarak 1950'li yılların başında Ankara başta olmak üzere birçok büyük Şehirde hava kirliliği sorunu gelişmiştir. Günümüze kadar partikül madde miktarlarının kontrol altına alınması ve belirlenen sınır değerlerin altında tutulması amacıyla çeşitli yasal düzenlemeler yapılmıştır.

PM günlük ortalama konsantrasyon izlenmesi çalışmaları ilk olarak 1961 yılında gerçekleştirilmiş ve 2005-2007 yılları arasında 81 ilde hava kalitesi ölüm istasyonlarının kurulmasıyla genişletilmiştir. Günümüzde sabit istasyonlardan elde edilen ölümler evre, Şehircilik ve İklım Değerikliği Bakanlığı veri işletim merkezine aktarılarak izlenmektedir.

Ülkemizde hava kirliliğine sebebiyet veren kirleticilerle ilişkili unsurlara ilişkin uygulanacak olan sınır değerler 06.06.2008 tarih ve 26898 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren “Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği” ile belirlenmiştir. Yönetmeliğin yayınlanması akabinde 2009 yılı itibari ile hava kirleticilerin limit değerleri azaltılmaya başlanmıştır. 2019 yılı itibari ile yönetmelikte belirtilen 24 saatlik ve yıllık PM<sub>10</sub> limit değerleri sırasıyla 50 µg/m<sup>3</sup> ve 40 µg/m<sup>3</sup>’tir. Günümüzde mevcut limit değerler geçerliliğini korumaktadır. Türkiye’de yıllara göre uygulanan PM<sub>10</sub> limit değerleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

**Çizelge 3. 1.** Türkiye’de uygulanan PM<sub>10</sub> sınır değerleri (µg/m<sup>3</sup>).

| Süre    | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 24 Saat | 100  | 90   | 80   | 70   | 60   | 50   | 50   | 50   | 50   |
| Yıl     | 60   | 56   | 52   | 48   | 44   | 40   | 40   | 40   | 40   |

Türkiye’de 2014 yılından sonra uygulamaya geçirilen PM<sub>10</sub> limit değerleri her geçen yıl düşürülerek Avrupa standartlarına yaklaşmış durumdadır. Ancak, insan sağlığına olumsuz etkileri göz önünde bulundurulduğunda özellikle akciğerde tutunması sebebiyle hayati öneme sahip olan PM<sub>2.5</sub>’ler için henüz bir sınır değeri belirlenmemiştir. Ülkemizde halihazırda PM ölçümü yapan sabit istasyonların tamamında PM<sub>2.5</sub> değerlerinin de tespit edilmesi ve bir limit değeri esas alınarak kontrol altında tutulması gerekmektedir. Nitekim Dünya’da PM<sub>2.5</sub> sınır değerleri belirlenmiş durumdadır.

### **WHO ve AB tarafından belirlenen değerler**

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Avrupa Birliği (AB) hava kirliliğinin önemine dikkat çeken ve Dünya’da konuya ilişkin farkındalığın sağlanmasına yönelik birçok araştırma yapmaktadır. Nitekim Dünya Sağlık Örgütü (WHO) 2021 yılında PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2.5</sub> yıllık ortalama limit değerlerini sırasıyla 15 µg/m<sup>3</sup> ve 5 µg/m<sup>3</sup> olarak güncellemiştir. Hava kalitesinin iyileştirilmesi ve kirliliğin kontrol altına alınması amacıyla WHO ve AB tarafından belirlenen PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2.5</sub> sınır değerleri Çizelge 3.2’de verilmektedir.

**Çizelge 3. 2.** Dünya Sağlık Örgütü ve Avrupa Birliği PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2,5</sub> sınır değerleri.

| Partikül Madde (PM) | Süre | WHO Sınır Değerleri (µg/m <sup>3</sup> ) | AB Sınır Değerleri (µg/m <sup>3</sup> ) |
|---------------------|------|--|---|
| PM <sub>10</sub>    | Gün  | 45                                       | 50                                      |
|                     | Yıl  | 15                                       | 40                                      |
| PM <sub>2,5</sub>   | Gün  | 15                                       | 50                                      |
|                     | Yıl  | 5  | 40                                      |

### Hava Kalitesi İndeksi

Hava Kalitesi İndeksi (HKİ) havada bulunan kirletici parametrelerin analiz edilerek hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki risk düzeylerinin basit bir şekilde tespit edilmesi amacıyla geliştirilen indekstir. HKİ sınıflandırma yöntemleri bölgesel şartlar, yaşam standartları ve ülkelerin gelişmişlik seviyesi gibi parametrelerle doğrudan ilişkilidir. Bu sebeple her ülke kendi standartlarını göz önünde bulundurarak hava kalitesi indeksini geliştirmektedir. Ülkemizde de EPA hava kalitesi indeksi yasal mevzuatlarımızla belirlenen limit değerlere uyarlanarak HKİ oluşturulmuştur. Çizelge 3.3' de EPA standartlarına göre uyarlanan Ulusal Hava Kalitesi İndeksi gösterilmektedir.

**Çizelge 3. 3.** EPA Standartlarına göre uyarlanan Ulusal Hava Kalitesi İndeksi [70].

| İndeks    | HKİ     | SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) | NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) | CO (µg/m <sup>3</sup> ) | O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) | PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) |
|-----------|---------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
|           |         | 1 Sa. Ort.                           | 1 Sa. Ort.                           | 8 Sa. Ort.              | 8 Sa. Ort.                          | 24 Sa. Ort.                           |
| İyi       | 0-50    | 0-100                                | 0-100                                | 0-500                   | 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                                  |

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından kullanıcıların erişimine sunulan Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı (UHKİA) sistemi üzerinden HKİ değerlerine ve ülke geneli hava kirliliği seviyelerine anlık olarak erişim

sağlanabilmektedir. Hava kalitesi verilerinin basit ve anlaşılır bir metotla kullanıcılara sunulduğu sistemde EPA standartlarına uyarlanmış şekilde iyi, orta, hassas, sağlıklı, kötü ve tehlikeli gibi sınıflandırmalar esas alınmıştır.

EPA kriterlerinde HKİ 5 temel kirlenici (PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO, SO<sub>2</sub>) üzerinden hesaplanmakta ve 0 ile 500 değerleri arasında sınırlandırılarak kategorize edilmektedir. EPA'ya göre hava kirliliği ile HKİ arasında doğru orantı bulunmaktadır. Yani 0'dan 500'e doğru artan bir HKİ hava kirliliğinin de artış gösterdiğini ifade etmektedir. EPA standartlarına göre toplum sağlığının korunması için belirleyici olan seviye 100'dür. HKİ değerinin 100 ve altında olması kabul edilebilir seviyeleri temsil ederken, 100 ve üzeri seviyeler hava kalitesinin sağlıklı olduğu anlamına gelmektedir. 300 ve üzeri seviyeler ise hava kirliliğinin insan sağlığını tehdit edecek derecede olumsuz boyutlara ulaşmış olduğu şeklinde yorumlanmaktadır. Çizelge 3.4'te hava kalitesi indeks değerlerinin sağlık endişe seviyeleri gösterilmektedir.

**Çizelge 3. 4.** Hava kalitesi indeksi sağlık endişe seviyeleri [71].

| Hava Kalitesi İndeksi (HKİ) | Sağlık Endişe Seviyeleri | Renkler    | Anlamı   |
|-----------------------------|--------------------------|------------|--|
| 0-50                        | İyi                      | Yeşil      | Hava kirliliği az riskli ya da risksiz durumdadır. Hava kalitesi memnuniyet verici düzeydedir.                         |
| 51-100                      | Orta                     | Sarı       | Hava kirliliği uygun durumda olsa da hassasiyeti olanlar için orta düzeyli bir sağlık endişe yaratabilecek düzeydedir. |
| 101-150                     | Hassas                   | Turuncu    | Hassasiyeti olan gruplarda sağlık etkisi oluşabilir. Genel anlamda kamunun etkilenmesi mümkün değildir.                |
| 151-200                     | Sağlıksız                | Kırmızı    | Hava kirliliği herkesi etkileyebilecek düzeyde olup hassasiyeti olanlar için ciddi sağlık problemleri gelişebilir.     |
| 201-300                     | Kötü                     | Mor        | Hava kirliliği acil sağlık durumu oluşturulabilecek düzeydedir. Herkesin etkilenme ihtimali yüksektir.                 |
| 301-500                     | Tehlikeli                | Kahverengi | Hava kirliliği sağlık alarmı verilecek düzeydedir. Nüfusun tamamında daha ciddi sağlık problemleri gelişebilir.        |

### 3.1.2. Hava kalitesi örnekleme sistemleri

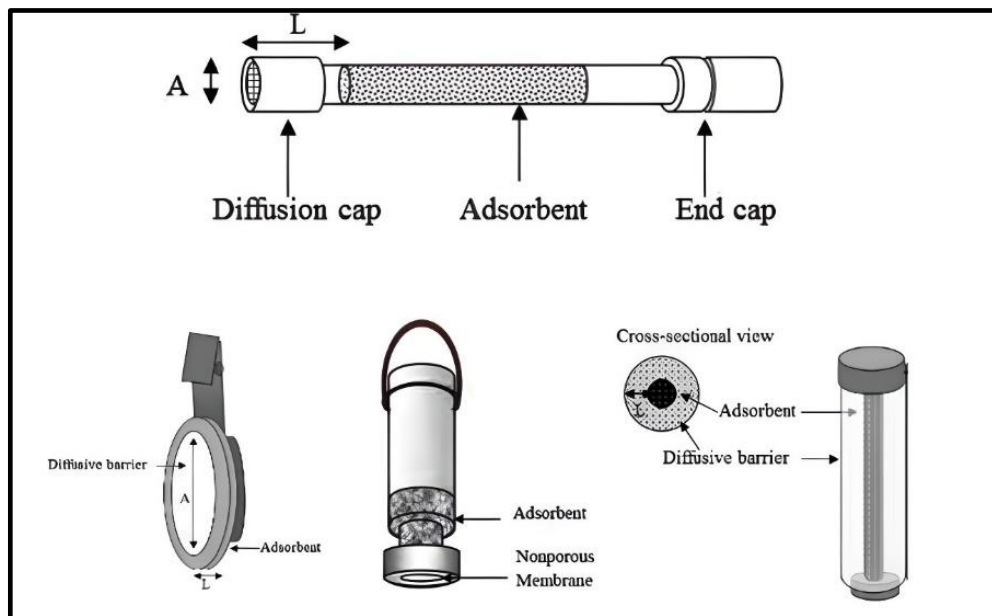
Hava kirliliğine sebep olan kirlenici parametrelerin yoğunluklarının izlenmesi hava kalitesinin örnekleme sisteminde oldukça büyük öneme sahiptir. Kirliliğin başarılı bir şekilde tespiti ise farklı lokasyonlardan yeterli miktarda veri toplanması ile mümkün olacaktır. Hava kalitesi örnekleme sistemleri 4 ana başlıkta toplanabilir. Bunlar;

- Pasif örnekleme sistemi
- Aktif (yarı otomatik) örnekleme sistemi
- Otomatik örnekleme sistemi
- Uzaktan algılayıcılarıdır.

### 3.1.2.1. Pasif örnekleme sistemi

Pasif örnekleme sisteminde örnekleme tüpleri silindirik tüp ve disk şeklindedir. Ölçülmesi planlanan kirletici unsurlar seçilen bir kimyasal ortamda absorpsiyon yöntemi ile toplanmaktadır. Genelde birkaç günden bir aya kadar geçen bir sürede laboratuvar ortamına ulaştırılan kirleticilerin miktarı kantitatif olarak tespit edilir [72].

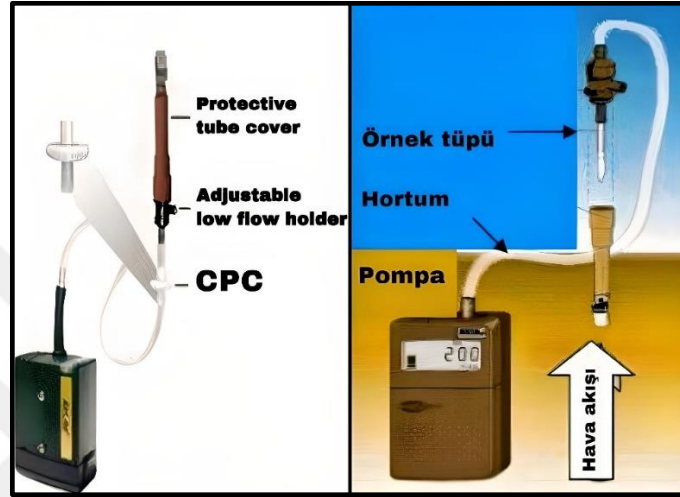
Pasif örnekleme sistemleri meteorolojik faktörlere bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu sebeple sistemle yapılan çalışmalarda nem, rüzgar, basınç, sıcaklık vb. etkenlere dikkat edilmektedir. Pasif örnekleme için uzman bir personele ihtiyaç duyulmadan kolayca uygulanabilmesi, elektrik enerjisi olmaksızın çalışması ve maliyetinin düşük olması en büyük avantajlarıdır. Hava kirliliğine neden olan kirletici unsurların tespitine yönelik çeşitli pasif örnekleme sistemleri mevcuttur. En yaygın kullanılan sistemler tüp, plaka ve radyal tipi örnekleme sistemleridir [73]. Şekil 3.6’da yaygın olarak kullanılan pasif örnekleme sistemleri gösterilmektedir.



Şekil 3. 6. Yaygın olarak kullanılan pasif örnekleme sistemleri [74].

### 3.1.2.2. Aktif (yarı otomatik) örnekleme sistemi

Aktif örnekleme sistemleri atmosferden çekilen hava örneğinin fiziksel ve kimyasal platformlardan geçişi için elektrik enerjisine gereksinim duymaktadır. Aktif örneklemede örnek alınan havanın hacmi ile ölçüm hassasiyeti doğru orantılıdır. Havanın hacminin artması sistemin doğruluğunu olumlu yönde etkilemektedir [75]. Şekil 3.7' de aktif örnekleme sistemi gösterilmektedir.



Şekil 3. 7. Aktif (yarı otomatik) örnekleme sistemleri [76].

Aktif örnekleme sisteminin pasif örnekleme göre çeşitli avantajları bulunmaktadır. Pasif örnekleme sistemlerinde örneklerin toplanarak laboratuvar ortamına aktarılması ve analizi sürecinde geçen zaman kontaminasyonlara neden olmaktadır. Aktif örneklemede bu durumun önüne geçilmektedir. Aktif örnekleme sisteminde cihaz kalibrasyonunu ya da teknik sorunlara dayalı hatalar meydana gelebilmektedir. Ancak pasif örneklemede laboratuvar ortamında meydana gelebilecek olan hata riskleri aktif örnekleme sisteminde yoktur. Aktif örnekleme sistemleri ile frekans değişikliği yapılarak istenilen periyotlarda (dakika, saat vb.) ölçümler yapılabilmektedir. Sık periyotlarla alım yapılması kirletici miktarlarındaki değişimlerin tespitini kolaylaştırmaktadır [77].

### 3.1.2.3. Otomatik örnekleme sistemi

Aktif ve pasif örnekleme sistemlerinin her ne kadar maliyetleri düşük ve kullanımları kolay olsa da kirletici parametrelerin tespiti saat bazında ya da daha kısa bir süre aralıklarla yapılmak istendiğinde otomatik analizörlere ihtiyaç duyulmaktadır. Otomatik örnekleme sistemleri ölçüm yapılan gazın kimyasal ve fiziksel özellikleri aracılığıyla

sürekli olarak tespit edilmelerine imkan sunar. Örnek olarak alınan hava gazın optik özelliklerine göre direkt olarak reaksiyon hücresine girebileceği gibi kimyasal ışına ya da floresans ışını üreterek kimyasal tepkimede oluşturabilmektedir. Otomatik örnekleyici sistemlerde ışık dedektörü örneklenen kirleticinin derişimi ile elektriksel sinyal oluşturmaktadır. Oluşturulan sinyaller cihaz yardımıyla çözümlenerek ekran üzerine aktarılır ya da kayıt altına alınabilir [78]. Şekil 3.8’ de çeşitli otomatik analizör örnekleri gösterilmektedir.



Şekil 3. 8. Çeşitli otomatik analizör örnekleri [79].

Otomatik cihazların kurulum maliyeti, işletme giderleri yüksektir. Aktif ve pasif örnekleyicilere kıyasla daha çok teknik problem ile karşılaşılmaktadır. Bu sebeple sistemin kullanımının uzman personel tarafından yapılması gerekmektedir. Sürekli olarak alım yapma imkanı sunan otomatik analizörler oldukça fazla veri sunmaktadır. Bu sebeple elde edilen verilerin bilgisayar ortamına aktarılması ve uygun olan analiz teknikleri ile yorumlanması gereklidir. Hava kirletici bileşenler için oldukça güvenilir sürekli analiz metodları bulunmaktadır. Ancak bu yöntemler oldukça yüksek maliyetlidir. Ayrıca işletim sistemlerinin zor olması nedeniyle gerekli destek altyapısının kurulmadığı ve uzman personel gereksiniminin karşılanamadığı yerlerde kullanımı uygun değildir [75].

Otomatik analizörler her ne kadar farklı bir başlık altında ele alınsa da çalışma prensibi göz önünde bulundurulduğunda aktif örnekleyicilerle benzer sistemlerdir.

Örnek vermek gerekirse hava kalitesi izleme istasyonlarında halihazırda kullanılan azot oksit ( $\text{NO}_x$ ), kükürt oksit ( $\text{SO}_x$ ) ve karbon monoksit ( $\text{CO}$ ) analizörleri aktif örnekleyicilerdir. Bu tür analizörlerin farklı bir grupta ele alınmasının sebebi kirletici derişimlerinin otomatik olarak istenilen periyotlarla (dakika, saat) cihaz tarafından tespit edilebiliyor olmasıdır. Hava kalitesi izleme istasyonlarında tercih edilmelerinin başlıca sebebi personel gereksinimi duymaksızın çalışmaları ve belirli periyotlarla kalibrasyonlarının yapılması dışında personel gereksinimi duymamalarıdır [52].

Hava kalitesinin tespitinde sabit istasyonlar dışında portatif yöntemler de kullanılmaktadır. Çankırı kent merkezinde yapılacak olan bu çalışmada portatif örnekleme metodu kullanılacaktır. Çalışma alanında el tipi cihaz yardımıyla kirletici konsantrasyonu ölçülecektir. Portatif örnekleyicilerin sabit istasyonlara göre maliyetlerinin oldukça düşük olması, izleme alanına yayılacak şekilde açık ve kapalı ortam da dahil olmak üzere birçok lokasyondan alım yapılmasına imkan sunması ve kolay taşınabilir olmaları en büyük avantajlarıdır.

#### **3.1.2.4. Uzaktan algılayıcılar**

Uzaktan algılayıcılarda otomatik analizörlerde olduğu gibi tek bir konumdan ölçüm yapma zorunluluğu bulunmamaktadır. Uzaktan algılayıcılar ile bir hat boyunca kirletici ölçümleri yapılabilen, mobil sistemlerle entegre edilerek ölçüm yapılması planlanan alanın 3D kirlilik haritaları oluşturulabilmektedir. Ancak bu sistemler çok yüksek maliyetlere sahip olduğu gibi cihazların kullanımı ve kalibrasyonu da oldukça zordur. Sistemin entegrasyonu ve kalite kontrolü için uzman personel gereksinime ihtiyaç duyulmaktadır [75].

### **3.2. Uzaktan Algılama Sistemi**

Uzaktan algılama sistemi birçok bilimsel araştırmaya konu edilen ve çeşitli tanımlamalara tabii tutulan bir teknolojidir. En genel çerçevede ifade edilmek istenirse uzaktan algılama arada fiziksel açıdan temasa gerek duyulmaksızın çeşitli platformlara yerleştirilen algılayıcı sensör verilerine dayalı olarak objelerin nitel ve nicel özelliklerinin elde edilmesidir. Uzaktan algılama uyduları, ticari faaliyetlerde kullanılmaya başladığı 1972 yılından günümüze kadar algılayıcı teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak yeryüzüne ilişkin bilgileri kullanıcılara güvenilir, ekonomik ve hızlı bir şekilde sunmaktadır [80].

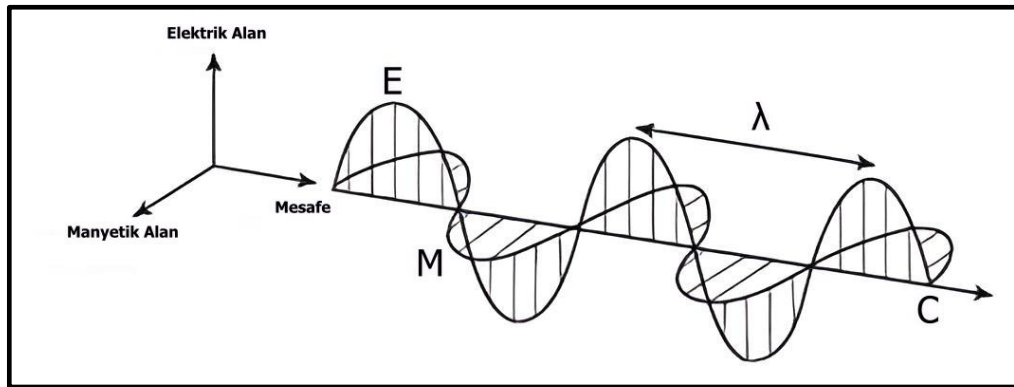
Uzaktan algılama günümüzde birçok alanda aktif olarak kullanılmakta, farklı disiplinler ile entegrasyonu toplumsal açıdan hayati önem taşıyan konulara ilişkin güvenilir veriler üretmektedir. Uygulama alanı gün geçtikçe genişleyen uzaktan algılama sistemlerinin yaygın olarak kullanıldığı başlıca alanlar şu şekilde sıralanabilir;

- Tarım (rekolte tahmini, ürün tipi sınıflandırması),
- Ormancılık (orman miktarının belirlenmesi, orman envanterinin yapılması),
- Jeoloji (mineral arama, hidrokarbon keşfi),
- Hidroloji (su kalitesi analizi, toprak nem tahmini, havza modellemesi),
- Arazi örtüsü ve arazi kullanımı (doğal kaynak yönetimi, kentsel genişleme, hasar tespiti),
- Haritalama (topoğrafya, sayısal arazi modellerinin üretilmesi),
- Okyanus ve kıyı izleme (fırtına tahmini, balıkçılık gözetimi) [81].

Çalışmanın bu bölümünde uzaktan algılama sisteminin çalışma prensiplerine ve temel bileşenlerine değinilecektir.

### 3.2.1. Elektromanyetik enerji

Uzaktan algılama teknolojisinin bileşenleri arasındaki bağlantı elektromanyetik enerji ile kurulmaktadır. Elektromanyetik enerji, ışık hızı ( $c$ ) ile ve harmonik dalgalar halinde hareketini sürdüren tüm enerji kaynaklarını kapsamaktadır. Radyo dalgaları, ısı, morötesi ışınlar, X ışınları ve görünen ışık bilinen elektromanyetik enerji çeşitleridir [82]. Şekil 3.9' da elektromanyetik enerjinin dalga yayılımı gösterilmektedir.



Şekil 3. 9. Elektromanyetik enerjinin dalga yayılımı [83].

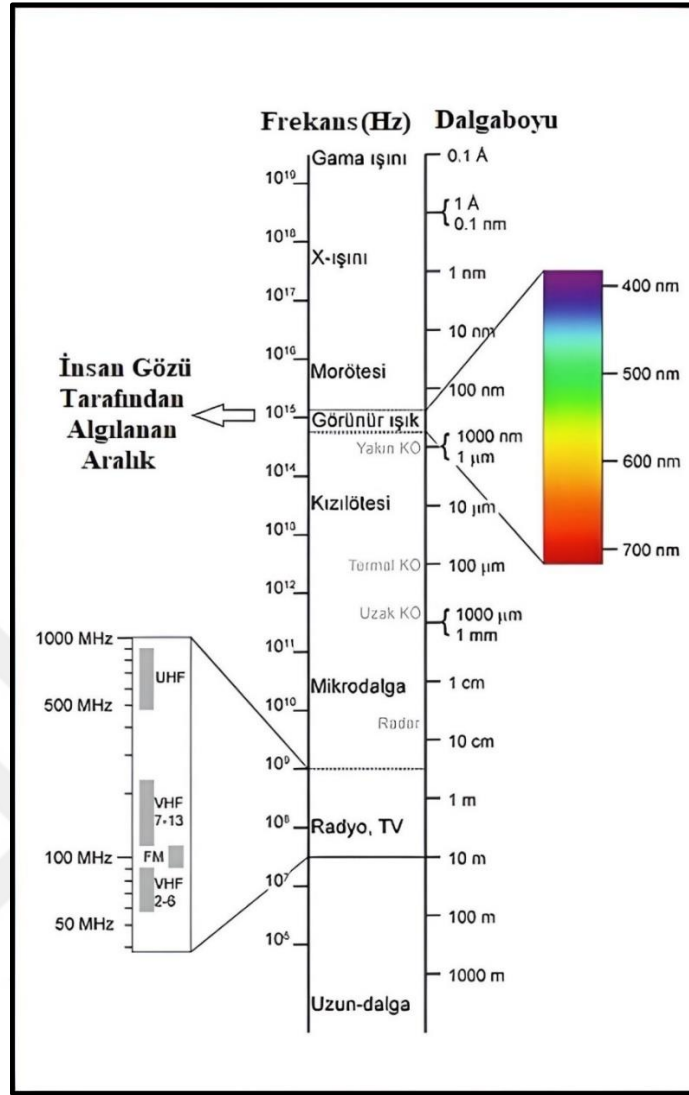
Elektromanyetik dalga hızı, dalga boyu ve frekansı ile şu şekilde ifade edilir;

- $C = \lambda \cdot v$
- $\lambda = \text{Dalga Boyu (m)}$
- $v = \text{Frekans (Hz)}$
- $c = \text{Işık Hızı (3x108 m/sn) [84].}$

Uzaktan algılama sistemleri ile elde edilen görüntüler yeryüzüne ait çok fazla bilgi barındırmaktadır. Bu bilgiler objelerden yansıyan elektromanyetik enerjinin uydu alıcıları tarafından algılanarak bantlara kaydedilmesi ile temin edilmektedir. Kanal olarak da nitelendirilen ve piksellerin bir araya gelmesi ile oluşan bantlar, elektromanyetik spektrumun herhangi bir bölümüne ilişkin algılanan verileri depolamaktadır. Tek bir banttan ya da birden fazla bantın bir araya gelmesi ile görüntüler oluşmaktadır [85].

### **3.2.2. Elektromanyetik spektrum**

Elektromanyetik spektrum, nanometrelerden kilometrelere kadar geniş bir dalga boyu aralığında elektromanyetik enerjinin tüm şekillerini kapsayan enerji ortamıdır. Elektromanyetik spektrumun kapsadığı her dalga boyu aralığında yeryüzüne ait farklı özellikler kaydedilmektedir. Bu sebeple gerçekleştirilmesi planlanan bir çalışmada kullanılacak olan uydu görüntülerinin tespitinde elektromanyetik spektrumun dalga boyu aralıkları oldukça önemlidir. Şekil 3.10' da elektromanyetik spektrum bölgeleri gösterilmektedir.



Şekil 3. 10. Elektromanyetik spektrum tayfi.

Elektromanyetik spektrumda insan gözü ile algılanabilen bölüm ( $0.4 \mu\text{m}$  ile  $0.7 \mu\text{m}$ ) görünür bölge olarak adlandırılmaktadır. Görünür bölgenin elektromanyetik spektrumun tamamına oranının oldukça küçük bir bölüme tekabül ettiği göz önünde bulundurulduğunda, uzaktan algılama teknolojisi ile algılanan bölgenin insan gözünün görebildiği aralıktan çok daha fazla olduğu aşikardır. Bu durum uzaktan algılama teknolojisinin en büyük avantajlarından biridir [86]. Yeryüzüne ilişkin detaylar ve farklı özellik türleri spektral yansıtım kabiliyetine bağlı olarak ayırt edilmektedir. Yani elektromanyetik spektrumun geniş yelpazesindeki farklı dalga boyu aralıkları, ayırt edilecek olan objelere spektral yansıtım özellikleri esas alınarak cevap vermektedir. Bu sebeple çeşitli objelerin özelliklerini tespit etmek için farklı algılama sistemleri geliştirilmektedir. Çizelge 3.5’ de elektromanyetik spektrumun bölüm tanımlamaları verilmiştir.

Çizelge 3. 5. Elektromanyetik spektrum bölüm tanımlamaları [87].

| Dalga Boyu   | Tanımlama   |
|--|---|
| Gama ışınları  | Gama ışınları   |
| X ışınları   | X ışınları  |
| Ultraviyole (UV) Bölgesi<br>(0.30 $\mu\text{m}$ - 0.38 $\mu\text{m}$ )<br>(1 $\mu\text{m}$ = 10 <sup>-6</sup> m)   | UV aralığı, görünür bölgenin mor kısmının ötesindedirler ve ultraviyole olarak adlandırılırlar. Dünyadaki bazı yüzeyler (kayalar, mineraller) ultraviyole ışını yayarlar. Ancak UV çoğunlukla atmosfer tarafından saçılır, sebeple Uzaktan Algılamada kullanılır.   |
| Görünür Bölge<br>(0,4 $\mu\text{m}$ - 0.7 $\mu\text{m}$ ) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mor - (0,4 <math>\mu\text{m}</math> - 0,446 <math>\mu\text{m}</math>)</li> <li>• Mavi - (0,446 <math>\mu\text{m}</math> - 0,5 <math>\mu\text{m}</math>)</li> <li>• Yeşil - (0,5 <math>\mu\text{m}</math> - 0,578 <math>\mu\text{m}</math>)</li> <li>• Sarı - (0,578 <math>\mu\text{m}</math> - 0,592 <math>\mu\text{m}</math>)</li> <li>• Turuncu - (0,592 <math>\mu\text{m}</math> - 0,62 <math>\mu\text{m}</math>)</li> <li>• Kırmızı - (0,62 <math>\mu\text{m}</math> - 0,7 <math>\mu\text{m}</math>)</li> </ul> | Elektromanyetik spektrum skalasında insan gözü ile algılanabilen aralıktır. Elektromanyetik spektrumda sadece bu bölüm renk kavramıyla ilişkilendirilmektedir. Görünür bölgede ana renk olarak nitelendirilen renkler Mavi, yeşil ve kırmızıdır. Bunun sebebi iki ana renk ile tek bir ana renk oluşturulamazken üç rengin farklı oranlarda birleşimi ile istenilen tüm renkler oluşturulabilmektedir. Bir objenin rengi yansıttığı ışının rengi ile ifade edilir.  |
| Kızılötesi (IR) Bölge<br>(0.7 $\mu\text{m}$ – 100 $\mu\text{m}$ )  | Görünür bölgenin kırmızı kısmından daha uzun dalga boylarına sahip olduğundan kızılötesi olarak adlandırılır.1800 yılında İngiliz astronom William Herschel tarafından bulunmuştur. Kızılötesi bölge ışınım özelliğine bağlı olarak iki grupta ele alınır. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Yansıyan kızılötesi (IR) (0.7 <math>\mu\text{m}</math> – 0.3 <math>\mu\text{m}</math>), uzaktan algılama teknolojisinde kullanılır.</li> <li>• Termal kızılötesi (IR) (0.3<math>\mu\text{m}</math> – 0.35 <math>\mu\text{m}</math>), ısı olarak yayılır ve uzaktan algılama teknolojisinde kullanılır.</li> </ul> |
| Mikrodalga Bölge<br>(1 mm - 1 m)   | Uzaktan algılama teknolojisinde kullanılan en uzun dalga boyu aralığıdır. Bu bölümdeki en kısa dalga boyları, termal kızılötesi (IR) bölümüne benzer özelliklere sahiptir. Bulutlardan geçebiliyor olması en büyük avantajıdır.   |
| Radyo dalgaları<br>(>1 m)  | Spektrumun en uzun bölümüdür. Genelde ticari yayınlarda ve meteorolojide kullanılır.  |

Dünyanın tüm özelliklerini tek bir algılayıcı ile belirleyebilmek olanaksızdır. Elektriksel, kimyasal, fiziksel ya da ısıl özelliklerin tespitinde elektromanyetik spektrumun farklı dalga boyu aralıklarında algılama yapan algılayıcılara gereksinim duyulmaktadır [88]. Dünya atmosferi, dalga uzunlukları 0.3  $\mu\text{m}$ ' den küçük olan X-ışını, ultraviyole (morötesi) ve gamma ışınlarının büyük bir bölümünü yutmaktadır. Bu sebeple uzaktan algılamada bu ışın bölgeleri kullanılmamaktadır [89]. Uzaktan algılamada sıklıkla kullanılan aralıklar ise 0,4–0,7  $\mu\text{m}$  arası görünür ışık, 0,7–14  $\mu\text{m}$  arası kızılötesi ve 1–100 mm arası mikrodalga ışınımlarıdır [84]. Bunlardan görünür ışık ve kızılötesi bölümlerindeki ışınımların algılanmasında çok spektrumlu optik (Aster, Landsat vb.) algılayıcılar, nispeten uzun dalga boyları için ise mikrodalga algılayıcılar kullanılarak veri temin edilir [90]. Çizelge 3.6' da uzaktan algılama sisteminde kullanılan spektrum bölgeleri verilmiştir.

**Çizelge 3. 6.** Uzaktan algılama sisteminde kullanılan spektrum bölgeleri [89].

| Spektral Bölge         | Dalga Boyu              | Açıklama  |
|------------------------|-------------------------|---|
| Gamma Işını            | < 0.03 nm               | Atmosferde tümüyle yutulduğundan uzaktan algılama sistemine uygun değildir.   |
| X- Işını               | 0.03-30 nm              | Atmosferde tümüyle yutulduğundan uzaktan algılama sistemine uygun değildir.   |
| Ultraviyole (Morötesi) | 0.03-.0.4 $\mu\text{m}$ | (0.03-0.3 $\mu\text{m}$ ) dalga boyları atmosferdeki Ozon tarafından yutulur.   |
| Fotoğrafik Ultraviyole | 0.3-.0.4 $\mu\text{m}$  | Uzaktan algılamada kullanılabilir. Fotoğrafik film ile görüntülenebilir.  |
| Görünür                | 0.4-.0.7 $\mu\text{m}$  | Uzaktan algılamada kullanılabilir. Fotoğrafik film ile görüntülenebilir.  |
| Kızılötesi             | 0.7- 1000 $\mu\text{m}$ | Uzaktan algılamada kullanılabilir. (0.7-0.9 $\mu\text{m}$ ) dalga boyları fotoğrafik film ile görüntülenebilir.   |
| Yansıtıcı Kızılötesi   | 0.7-3.0 $\mu\text{m}$   | Uzaktan algılamada kullanılabilir. Yakın kızılötesi (0.7-1.1 $\mu\text{m}$ ) ve Kısa dalga kızıl ötesi (1.1-3.0 $\mu\text{m}$ ) aralıklarını içerir.  |
| Isıl Kızılötesi        | 3.0-14 $\mu\text{m}$    | Uzaktan algılamada kullanılabilir. Orta dalga kızılötesi (3-8 $\mu\text{m}$ ) ve uzun dalga kızılötesi (8–14 $\mu\text{m}$ ) aralıklarını içerir. Elektronik ve mekanik algılayıcılar kullanılır. |
| Uzak Kızılötesi        | 15-1000 $\mu\text{m}$   | Atmosferdeki su buharı büyük bir kısmını yutar. Astronomik çalışmalar için kullanılır.  |
| Mikrodalga Radar       | 0.1 - 100 cm            | Bu uzun dalga boyları aktif olarak enerji salınımı yapan algılayıcı sistemlerle görüntülenebilir. Bulut, yağmur ya da sis etkilerinden bağımsızdır.   |
| Radyo Dalgaları        | > 100 cm                | Genelde uzaktan algılama teknolojisinde kullanılmaz.  |

### 3.2.3. Uzaktan algılamanın temel bileşenleri

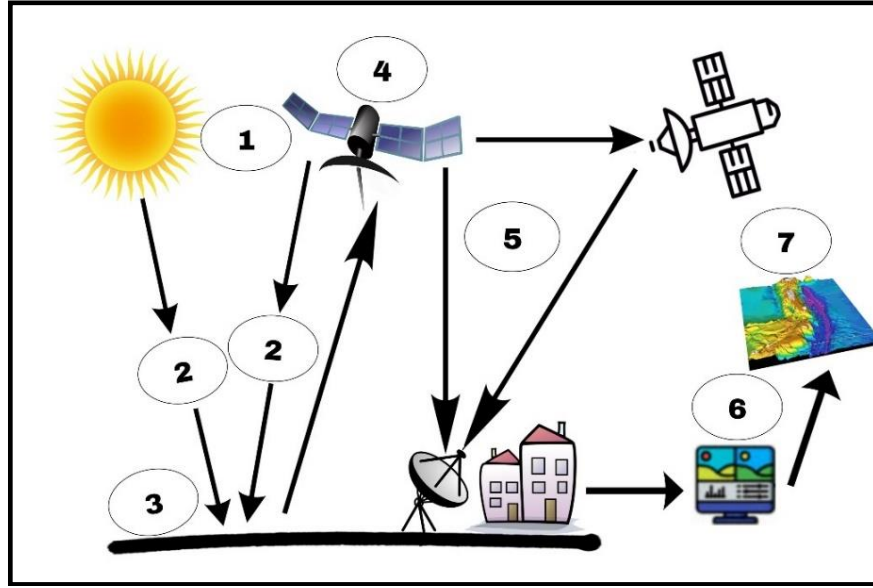
Uzaktan algılama sistemleri en geniş perspektifle incelendiğinde veri elde etme ve veri işleme olmak üzere iki temel aşamadan oluşmaktadır. Bu bölümde iki temel aşamayı kapsayan, uzaktan algılama sisteminin temel bileşenlerini oluşturan alt kategoriler maddeler halinde açıklanmış olup bahse konu tüm aşamalar Şekil 3.11’ de gösterilmiştir.

#### 3.2.3.1. Verilerin elde edilmesi

- 1) *Enerji Kaynağı*: Uzaktan algılama sisteminde objelere doğal ya da yapay bir kaynak tarafından enerji gönderilmektedir.
- 2) *Işınım ve Atmosfer*: Doğal ya da yapay bir kaynaktan çıkan enerji, alıcıya ve hedefe doğru yolculuğunda atmosferik ortamdan geçer ve türlü etkileşimlere maruz kalır.
- 3) *Hedef ile Etkileşim*: Elektromanyetik enerji atmosfer ortamından geçmesi akabinde, hedefe ulaştığında hedef objenin özellikleri ve ışınımına dayalı olarak türlü etkileşimler meydana getirir.
- 4) *Enerjinin Algılayıcı Tarafından Kaydedilmesi*: Yansıyan elektromanyetik enerjiyi algılayıcı aracılığı ile algılanarak konuya ilişkin veri kaydedilir.
- 5) *Verinin İletimi, Alınması ve İşlenmesi*: Algılayıcı tarafından kaydedilen veri, görüntüye dönüştürülmek, işlenmek amacıyla bir yer istasyonuna iletilir.

#### 3.2.3.2. Verilerin işlenmesi

- 6) *Yorumlama ve Analiz*: Görüntü görsel, sayısal ve elektronik gibi farklı işleme teknikleri kullanılarak analiz edilir, zenginleştirilir ve sonuç veri seti temin edilir.
- 7) *Uygulama*: Temin edilen veri setlerinden bilgiler üretilerek bazı sonuçlara ulaşılır. Üretilen sonuçlar, sonrasında farklı veri setlerine entegre edilerek kullanılabilir [91].

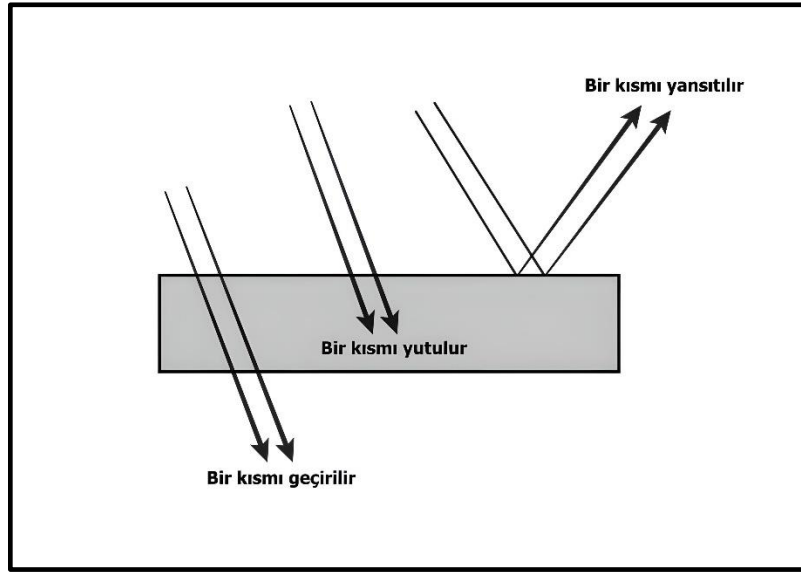


Şekil 3. 11. Uzaktan algılamanın temel bileşenleri.

### 3.2.4. Cisimlerin spektral yansıtma özellikleri

Elektromanyetik enerjinin atmosferde yutulmayan ve saçılmayan kısımları yeryüzüne ulaşarak cisimlerle etkileşime girerler. [92]. Herhangi bir cisme ulaşan enerji, cisimlerin özelliklerine bağlı olarak üç şekilde (yansıtılma, yutulma ve geçirilme) davranabilmektedir. Cisimlerle etkileşime giren enerjinin kaybolmayacağı, fakat şekil değiştireceği göz önünde bulundurulduğunda toplam enerji miktarı, cisim yüzeyince yansıtılan, cisim aracılığıyla yutulmuş ve geçirilen enerjilerin toplamına eşittir [93].

Cisimlerin farklı spektral özellikleri, uzaktan algılama sistemlerinde açıklanabilmelerinin başlıca nedeni olarak kendisini göstermektedir. Cisimlerin yansıtma sergiledikleri farklı davranışlar ise spektral yansıtma eğrileri ile ifade edilmektedir. Spektral bantların her birisi elektromanyetik spektrumun herhangi bir bölümüne duyarlıdır [94]. Yansıtma özellikleri spektral aralıklarda net bir şekilde değişiklik gösteren cisimler, o bölüme duyarlı uzaktan algılama görüntülerinde çeşitli gri renk tonu ve renklerde görünürler. Bu sebeple cisimlerin spektral yansıtma özelliklerinin tanınması, spektral bant seçiminde önemli bir rol oynamaktadır [90]. Şekil 3.12' de cisme ulaşan ışınımın üç farklı davranış biçimi gösterilmektedir.



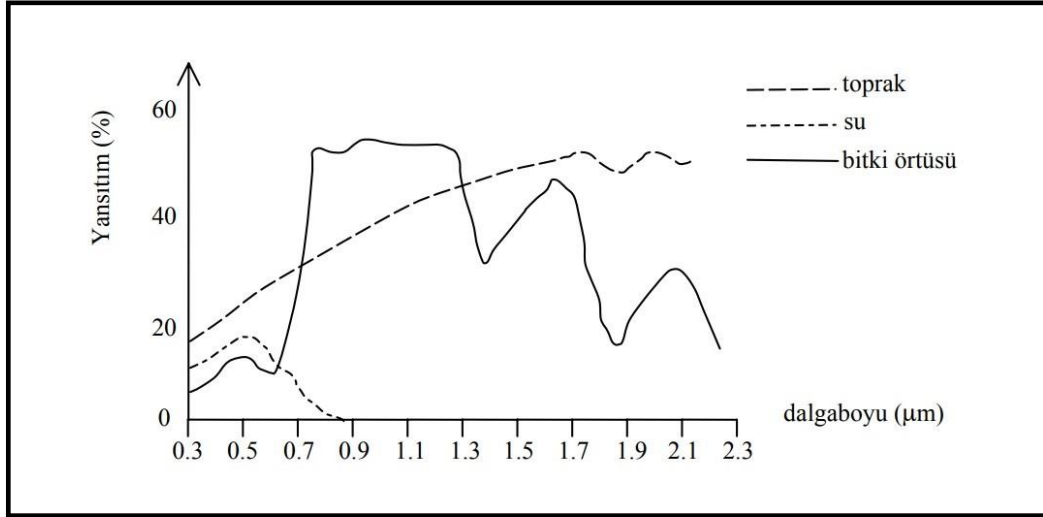
Şekil 3. 12. Cisme ulaşan ışınının spektral yansıtma türleri.

### 3.2.4.1. Bitkilerin spektral yansıtması

Bitkilerin spektral yansıtımında klorofil, ksantofil, karotene, antosyonins vb. yaprak pigmentleri, hücrenin yapısal özellikleri ve yaprağın su muhtevası etkindir. Yaprak pigmentleri görünür dalga boyu aralığında ışığı yutarlar ve yansımayı azaltırlar. Yaprak tarafından yansıtılan ışınım, klorofilin yeşil ışınımı (0.50 - 0.60  $\mu\text{m}$ ) aralığında geçirmesi sebebiyle yeşil renkte algılanır ve yaprak yeşil olarak görünür [89].

Yakın kızıl ötesi dalga boyu aralığında (0.40 - 1.30  $\mu\text{m}$ ) yaprak pigmentleri tamamen geçirirli olduğu için, yalnızca yapraktaki su muhtevası sebebiyle 0.98  $\mu\text{m}$  ve 1.20  $\mu\text{m}$  dalga boylarında çok az oranda yutulma gerçekleşir. Bu bölgede spektral yansıtım yaprağın yapısıyla yakın ilişkili olduğundan, bitki türlerinin sağlık durumu, yansıtmadaki farklılıklardan ayırt edilebilir [88].

Orta kızılötesi bölgede (1.3 - 2,7  $\mu\text{m}$ ) ise bitkideki su muhtevası spektral yansıtma üzerinde etkilidir. Bu bölgede 1.4, 1.9 ve 2.7  $\mu\text{m}$  dalga boyları yakınında oluşan güçlü su soğurma bantları, yeşil bitki örtüsünün spektral duyarlılığında baskındır. Ayrıca, su soğurma bantları arasında yansıtım tepe noktaları yaklaşık 1.6 ve 2.2  $\mu\text{m}$  'de oluşur. Yapraktaki su muhtevası ile yansıtma ters orantılı iken su muhtevası yaprak kalınlığı ile orantılıdır [89]. Şekil 3.13' de arazi örtülerine ilişkin spektral yansıtım eğrileri gösterilmektedir.



Şekil 3. 13. Bitki örtüsü, toprak ve suyun spektral yansıtım eğrileri [95].

Kısacası, bitkilerin spektral yansıtması üç temel bölgeye ayrılabilir. Spektral yansıtma görünür bölgede klorofil pigmentlerinin yutulma ve yansıtmasına bağlı iken, yakın kızılötesi dalga boyu aralığında hücrenin yapısına, orta kızılötesi aralığında ise nem durumuna bağlıdır.

#### 3.2.4.2. Zeminlerin spektral yansıtması

Zeminlerin spektral özellikleri, yansımının artan dalga boyu ile artması şeklinde ortaya çıkmaktadır. Zemine erişen bir ışınım ya yansıtılır ya da yutulur. Ayrıca, zeminlerin fiziksel ve kimyasal açıdan farklılık gösteren özellikleri nedeniyle yutma ve yansıtma özellikleri de farklılık göstermektedir. Zeminlerin spektral yansıtma özelliklerine etki eden faktörler şunlardır;

- Zeminin içerdiği su miktarı,
- Zeminin organik madde içeriği,
- Zeminin dokusu ve yüzey pürüzlülüğü,
- Zemini oluşturan mineral miktarı [90].

Topraktaki organik madde içeriği, toprağın spektral özelliklerine baskın biçimde etki eden bir toprak özelliğidir. Özellikle yakın kızılötesinde az ayrılmış organik madde içeriğine sahip toprakların yansıtması yüksektir. Aşırı ayrılmış organik madde içeriğine sahip toprakların yansıtması ise 0.5–2.3 μm dalga boylarının tamamında düşüktür [96].

Toprak yüzeyindeki pürüzlülüğün azalması ya da toprak dokusunun taneciklerinin boyut olarak küçülmesi durumunda yansıtım değeri artmaktadır. Bunun yanı sıra organik madde içeriği ve demir oksit oranlarındaki artış yansıtım değerinin azalmasına yol açmaktadır [94]. Demir (Fe) minerallerini içeren topraklar, kalsite ( $\text{CaCO}_3$ ) nazaran toprak yüzeyine gelen ışığı daha fazla emerler. Bu sebeple, yüksek demir içeriğine sahip olan topraklar uydu görüntülerinde daha koyu tonlarda görüntülenmektedir [97]. Tuzlu topraklarda yetişen bitkilerin yansımalarının daha az olmasının sebebi ise görünür dalga boylarında ışığın soğurumunun daha fazla olmasıdır. Örnek olarak tuzlu topraklarda yetişen bir pamuk bitkisinin fazla klorofil soğurumu sebebiyle yansımaları, normal pamuk bitkisine kıyasla daha az olmaktadır [98]. Topraktaki nem miktarının az olması durumunda yansıtım maksimum olup, tüm spektruma aynı oranda etkisi bulunduğu için paralel eğrilerin oluşmasına yol açmaktadır.

### 3.2.4.3. Suyun spektral yansıtması

Suyun spektral yansıtması zemin ve bitki örtüsüne benzer şekilde dalga boyuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Görünür bölgede suyun spektral yansıtması, suda var olan askıda katı maddeler, suyun bulunduğu ortamın tabanı ve su yüzeyinin durumu ile yakından ilişkilidir. Ayrıca suyun geçirgenliği ve yutması da su içindeki organik ya da inorganik madde miktarı ve büyüklüğüne bağlıdır. Suyun bulanıklığı yansıtmanın artmasına, geçirgenliğin azalmasına sebebiyet verir. Temiz suya kıyasla, bulanık su daha büyük dalga boylarında yansır. Bunun yanı sıra klorofil oranına göre de suyun yansıtma özelliği değişmektedir. Klorofil yoğunluğundaki artış, yeşil dalga boylarındaki yansıtmanın artmasına, suyun mavi dalga boylarındaki yansıtmasının ise azalmasına sebep olur. Bu değişiklikten faydalanılarak uzaktan algılama verileri yardımı ile yosun varlığı ve miktarları tespit edilebilir. Ayrıca görünür bölgedeki yansıtma verilerinin değişiminden faydalanılarak petrol, yağ, sanayi ve kanalizasyon atıkları gibi sebeplerle meydana gelen su kirlenmeleri tespit edilebilir [99].

### 3.2.4.4. Yüzey cisimlerinin spektral ışıması

Yüzey cisimleri biriktirdikleri enerjiyi, niteliklerine göre farklı miktarlarda öz ışıma biçiminde yayarlar. Yeryüzü ve güneşin ısı enerjilerinin algılandığı bölgeler, kızılötesi pencereler olarak adlandırılmaktadır. Bu bölgelerde, (3,0 - 4,0  $\mu\text{m}$ ), (4,4 - 5,0  $\mu\text{m}$ ) ve (8,0 - 14,0  $\mu\text{m}$ ) arasında ısı algılayıcılar ile algılama gerçekleştirilir. Yeryüzü

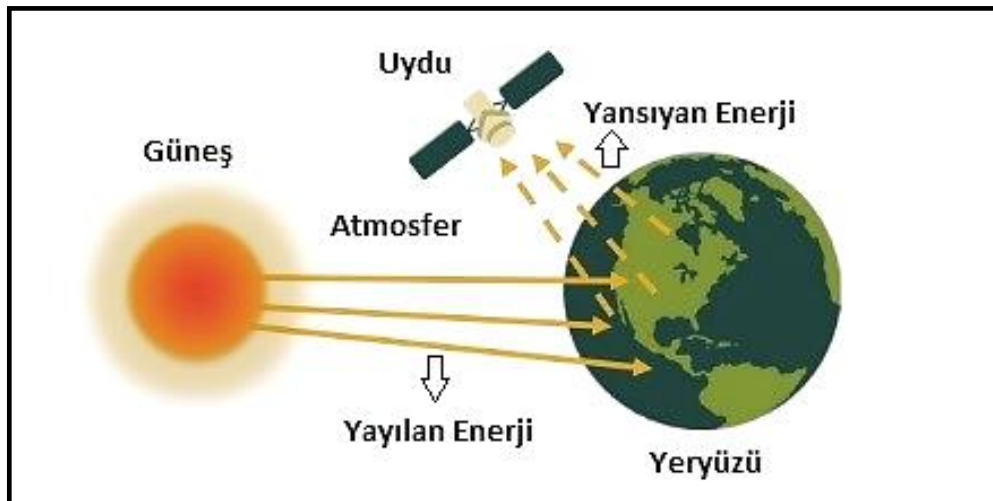
ışınımının %9' u (8,0 – 14,0  $\mu\text{m}$ ) aralığındaki kızılötesi pencereden uzaya ulaşmaktadır. Böylelikle ışıktan yoksun bir şekilde atmosferden yeryüzünü gözlemlemek ve algılamak mümkün hale gelmektedir. Isıl (Termal) görüntülerde sıcak yüzeyler açık tonda, bir bakıma daha soğuk yüzeyler ise koyu renk tonlarında görüntülenir [90].

### 3.2.5. Algılama sistemleri

Yüzeylerden yansıyan ya da yansıtılan enerjinin toplanması ve kaydedilmesi için algılayıcılara gereksinim duyulmaktadır. Uzaktan algılama sistemleri enerji kaynağına göre sınıflandırıldığında aktif ve pasif algılama olarak ikiye ayrılır. Pasif algılama sistemleri doğal enerji kaynağı olarak güneşten yararlanılırken, aktif algılama sistemlerinde güneşe gereksinim bulunmamaktadır.

#### 3.2.5.1. Pasif algılama sistemi

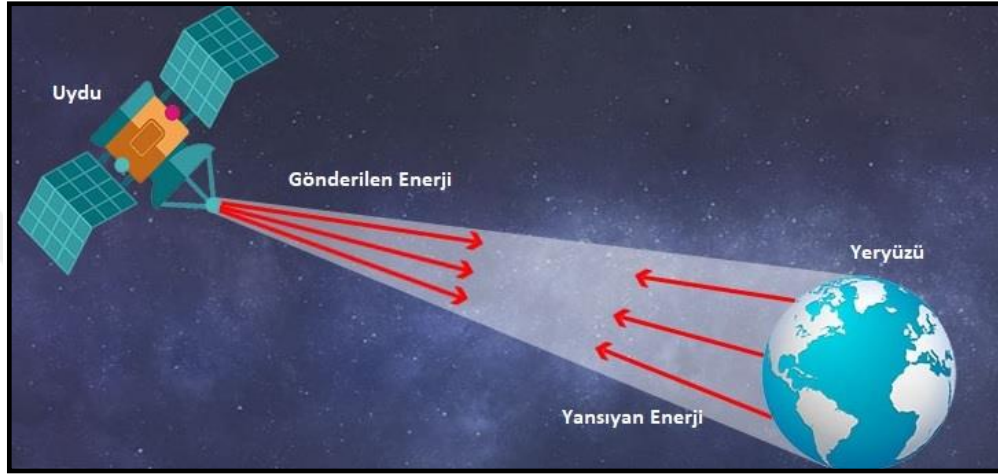
Pasif algılama sistemleri güneşten yayılan enerjinin hedef alınan cisimlerden yansıma enerjisini ölçerler. Güneş enerjisi, VIS (görünür ışık) ve NIR (yakın kızılötesi) dalga boyları için olduğu gibi yansıtılır ya da IR (termal kızılötesi) dalga boyları için doğrudan emilir ve daha sonra tekrar verilir. Pasif algılamada doğal olarak yayılan ve pasif sensörler olarak isimlendirilen enerji ölçülmektedir. Gece olduğunda güneşten yayılan enerji yoktur. Ancak, termal kızılötesi ile doğal olarak yayılan güneş enerjisi gündüz ve gece algılanabilmektedir [33]. Şekil 3.14' de pasif algılama sistemi çalışma prensibi gösterilmektedir.



Şekil 3. 14. Pasif algılama sistemi [100].

### 3.2.5.2. Aktif algılama sistemi

Aktif algılama sisteminde pasif algılamada olduğu gibi güneş enerjisine ihtiyaç duyulmamaktadır. Araştırılan özelliklerin tespiti için gerekli enerji kaynağı kendisinde mevcuttur. Hedef cisimlerden yansıtılan enerji, mevsime ya da günün hangi saat diliminde olunduğuna bakılmaksızın aktif sensörler aracılığıyla kayıt altına alınır [101]. Şekil 3.15’ de aktif algılama sistemi çalışma prensibi gösterilmektedir.



Şekil 3. 15. Aktif algılama sistemi [102].

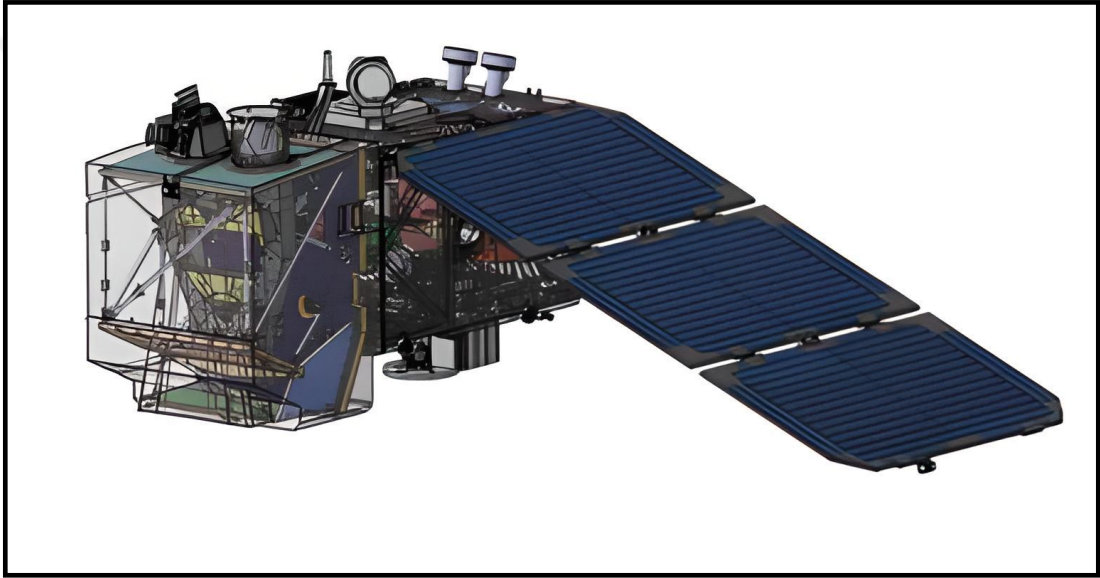
### 3.2.6. Uydu sistemleri

Dünyada çeşitli kullanım amaçlarına yönelik farklı teknolojik özelliklere ve çözünürlüklere sahip uydu sistemleri bulunmaktadır. Gelişen teknolojiye paralel olarak yeryüzü ve coğrafi objeleri hakkında mekansal fikirler edinme ihtiyacı da gün geçtikçe artış göstermektedir. Nitekim uzaktan algılama teknolojisinin en önemli kaynaklarından olan uydu sistemleri ihtiyaç duyulan verilerin elde edimesinde güvenilir, ekonomik ve pratik imkanlar sunmaktadır. Yeryüzüne ait görüntüler alan ve algılayıcı sensörler taşıyan yapay uydular uzaktan algılama uyduları olarak nitelendirilmektedir.

Uydu görüntüleri ile hava kalitesinin tespitine yönelik gerçekleştirilen bu çalışmada iki farklı tarihteki Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Bu bölümde Sentinel uydu sistemlerinden bahsedilecek olup uyduların temel çalışma prensipleri detaylı bir şekilde ele alınacaktır.

### 3.2.6.1. Sentinel uydu sistemleri

Sentinel programı kapsamında ESA (Avrupa Uzay Ajansı) tarafından geliştirilerek kullanıma sunulan Sentinel uydu serisinin her birinde 2 uydu bulunmakta olup toplamda 7 farklı seri hizmet vermektedir. Sentinel-2 uydu serisi ise 2A ve 2B olmak üzere iki uydu setinden oluşmaktadır. Aynı yörüngede bulunan ve karşılıklı  $180^\circ$  lik açı ile hareket eden uydulardan Sentinel-2A 2015 yılında, Sentinel-2B ise 2016 yılında uzayla buluşturulmuştur. Toplamda 13 banda sahip olan Sentinel-2 geniş alan taramasına imkan sunmakta ve yüksek çözünürlüklü görüntüler üretmektedir [103]. Şekil 3.16' da Sentinel-2 uydusuna ait şematik görünüm gösterilmektedir.



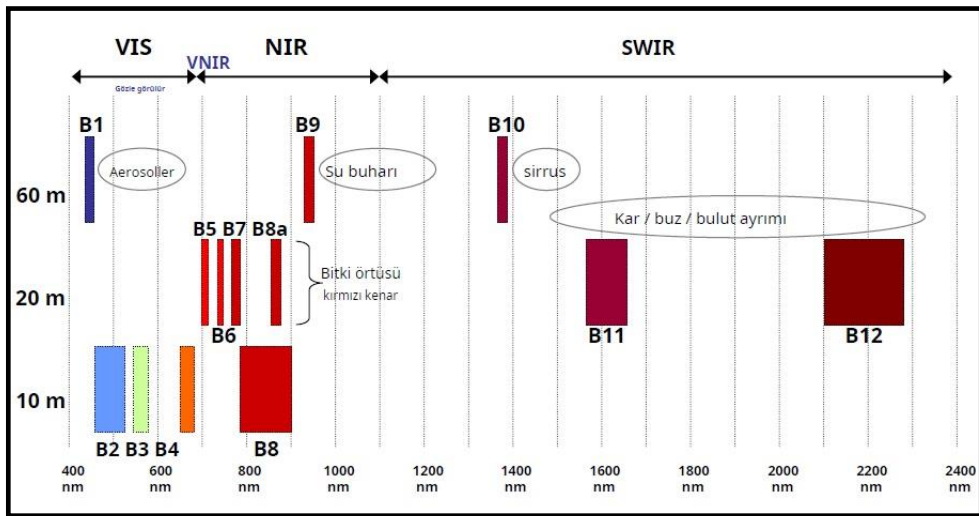
Şekil 3. 16. Sentinel-2 uzay aracı şematik görünüm [104].

Sentinel-2 mekansal çözünürlüğü yüksek ve geniş alanları kapsayan görüntüleri ile 5 gün aralıkla aynı yerden görüntü alımına imkan sunmakta ve yeni spektral bantları ile hem kıyı uygulamalarında hem de karasal araştırmalarda oldukça kullanışlı bir uydudur [105]. Her iki Sentinel-2 uydusuna da VIS (görünür), NIR (yakın kızılötesi) ve SWIR (kısa dalga kızılötesi) spektral aralıkta 13 spektral kanalı olan MSI (Çoklu Spektral Cihaz) entegredir. 13 band kombinasyonunun uzamsal çözünürlükleri 10 m – 60 m arasında değişmekte olup uydular 290 km şerit genişliğine (görüş alanı) sahiptir [106]. Çizelge 3.7' de Sentinel-2 uydusunun temel özellikleri gösterilmektedir.

Çizelge 3. 7. Sentinel-2 uydusunun temel özellikleri [107].

| Görev Özellikleri     | Veri                                  |
|-----------------------|---------------------------------------|
| Spektral Bantlar      | 13 (VIS-NIR-SWIR)                     |
| Görev Ömrü            | 15 yıl                                |
| Uydu Sayısı           | 2                                     |
| Dayanım Ömrü          | 7,25 yıl + 5 yıl                      |
| Yörünge               | Güneş uyumlu 786 km ortalama irtifa   |
| Arazi kapsamı         | -56° ile +84° arası                   |
| Tekrar Ziyaret Süresi | < 5 gün                               |
| Erişilebilirlik       | < 2 gün; (45° enlem üzerinde) < 1 gün |

Sentinel-2 uydusu uzaktan algılama uygulamaları için ücretsiz bir şekilde erişim sağlanabilen verilere sahip en gelişmiş uydulardan biridir. Uzaktan algılama uygulamalarında aktif olarak kullanılan bir diğer uydu Landsat-8 ile kıyaslandığında, Sentinel-2 uydusu artan band sayısı, daha kısa tekrar ziyaret süresi, ve yüksek çözünürlük gibi özellikleri ile daha popülerdir. Sentinel-2 NIR ve SWIR band aralıklarında daha fazla ayrıntı sağlar ve tarım, orman izleme ve doğal afet yönetimi gibi araştırma konularında daha yararlıdır. Landsat-8' e göre tek dezavantajı termal kızılötesi bantlara sahip olmamasıdır. Ancak uzaysal, zamansal çözünürlük ve band sayısı uydu görüntüsünün kalitesini tayin eder bu nedenle Sentinel-2 uydusu uzaktan algılama teknolojisi için daha uygundur [108]. Şekil 3.17' de Sentinel-2 uydularına ait spektral bantlar ve mekânsal çözünürlükler grafiği, Çizelge 3.8' de ise spektral band özellikleri gösterilmektedir.



Şekil 3. 17. Sentinel-2 spektral bantlar ve mekânsal çözünürlükler grafiği [109].

Çizelge 3. 8. Sentinel-2 uyduları spektral band özellikleri [110].

| Sensör | Band Numarası | Band İsmi             | Sentinel-2A           |                     | Sentinel-2B           |                     | Çözünürlük (metre) |
|--------|---------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|--------------------|
|        |               |                       | Merkez Dalgaboyu (nm) | Band Genişliği (nm) | Merkez Dalgaboyu (nm) | Band Genişliği (nm) |                    |
| MSI    | 1             | Kıyı Aerosol          | 443.9                 | 20                  | 442.3                 | 20                  | 60                 |
| MSI    | 2             | Mavi                  | 496.6                 | 65                  | 492.1                 | 65                  | 10                 |
| MSI    | 3             | Yeşil                 | 560.0                 | 35                  | 559                   | 35                  | 10                 |
| MSI    | 4             | Kırmızı               | 664.5                 | 30                  | 665                   | 30                  | 10                 |
| MSI    | 5             | Bitki Sıcak Nokta     | 703.9                 | 15                  | 703.8                 | 15                  | 20                 |
| MSI    | 6             | Bitki Sıcak Nokta     | 740.2                 | 15                  | 739.1                 | 15                  | 20                 |
| MSI    | 7             | Bitki Sıcak Nokta     | 782.5                 | 20                  | 779.7                 | 20                  | 20                 |
| MSI    | 8             | Yakın Kızılötesi      | 835.1                 | 115                 | 833                   | 115                 | 10                 |
| MSI    | 8a            | Bitki Sıcak Nokta     | 864.8                 | 20                  | 864                   | 20                  | 20                 |
| MSI    | 9             | Su Buharı             | 945.0                 | 20                  | 943.2                 | 20                  | 60                 |
| MSI    | 10            | Kısa Dalga Kızılötesi | 1373.5                | 30                  | 1376.9                | 30                  | 60                 |
| MSI    | 11            | Kısa Dalga Kızılötesi | 1613.7                | 90                  | 1610.4                | 90                  | 20                 |
| MSI    | 12            | Kısa Dalga Kızılötesi | 2202.4                | 180                 | 2185.7                | 180                 | 20                 |

### 3.3. Regresyon Analizi

Regresyon analizi, aralarında neden-sonuç ilişkisi bulunan iki ya da daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi tespit etmek, konuya ilişkin kestirimler (prediction) ve tahminler (estimation) yapabilmek amacıyla gerçekleştirilen bir analiz tekniğidir. Bu tekniğin matematiksel altyapısını regresyon denklemi oluşturmaktadır [111]. Diğer bir ifadeyle bağımlı (y) ve bağımsız (x) değişkenlerinden oluşan bir regresyon modeli

$y=f(x)$  fonksiyonuyla tanımlanmaktadır [112]. İstatistiksel ilişkinin araştırılmasında en önemli analiz tekniklerinden olan regresyon analizinin genel amaçları şu şekilde sıralanır;

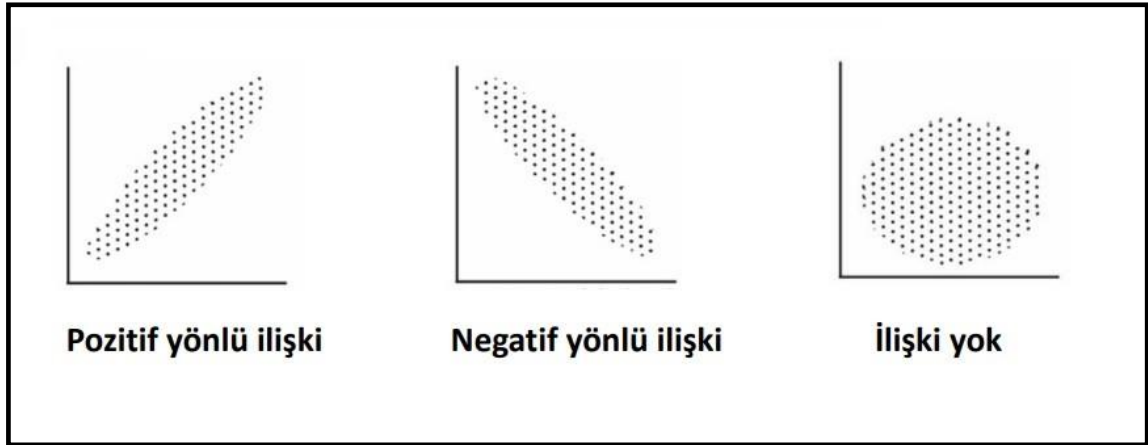
- Bağımlı değişken üzerinde bir ya da birden fazla bağımsız değişkenin kayda değer bir etkisinin bulunup bulunmadığını analiz etmek,
- Bağımlı değişkenin alabileceği değerleri kestirmek,
- Bağımsız değişkenlerdeki değişim özelinde bağımlı değişken üzerindeki etkiyi incelemek [113].

Regresyon denkleminin gözlem değerlerini ne derecede açıkladığı konusunda ya da değişkenler arasındaki ilişkinin derecesinin belirlenmesinde korelasyon katsayısı ( $r$ ) kullanılır [41]. Değişkenler arasındaki ilişkinin korelasyon katsayısına bağlı seviyeleri Çizelge 3.9’ da verilmektedir.

**Çizelge 3. 9.** Korelasyon katsayıları ilişki seviyeleri [114].

| Korelasyon Katsayısı | İlişki Seviyesi            |
|----------------------|----------------------------|
| 0,00 - 0,25          | Çok zayıf seviyede ilişki  |
| 0,26 - 0,49          | Zayıf seviyede ilişki      |
| 0,50 - 0,69          | Orta seviyede ilişki       |
| 0,70 - 0,89          | Yüksek seviyede ilişki     |
| 0,90 - 1,00          | Çok yüksek seviyede ilişki |

Korelasyon katsayısı +1 ile -1 aralığında değerler almakta olup sahip olduğu işaret ilişki yönü hakkında fikir vermektedir. Değişkenlerin birlikte artması ya da azalması durumunda korelasyon katsayısı pozitif işaret olarak ilişkinin pozitif yönde olduğunu yansıtmaktadır. Değişkenlerden biri artarken diğerinin azalması durumunda ise negatif işaret olarak negatif yönde bir ilişki olduğunu vurgulamaktadır. Korelasyon katsayısının +1 değerine yaklaşması ilişkinin güçlü olduğu şeklinde yorumlanırken, 0 değerine yaklaşması zayıf bir ilişki olduğu anlamına gelmektedir [115]. Şekil 3.18’ deki grafikler ilişkinin yönü hakkında fikirler vermektedir.



Şekil 3. 18. Değişkenler arasındaki ilişki grafikleri [116].

İki değişken arasındaki basit doğrusal regresyon modeli eşitlik 3.1' deki gibi kurulur.

$$Y = \alpha + \beta X_i + \epsilon_i \quad (3.1)$$

Burada;

X : Bağımsız değişken

Y : Bağımlı değişken

$\alpha$  : Regresyon doğrusunun Y eksenini kestiği değer

$\beta$  : Regresyon doğrusunun eğimidir.

$\epsilon$  : Şansa bağlı hata değeridir

i : 1,2, ..., n şeklinde yazılabilir [117].

Regresyon analizi, genel anlamda değişken sayısına ya da değişkenler arası ilişkilerin doğrusallık durumuna bağlı olarak gruplandırılmaktadır. Çizelge 3.10' da regresyon analizlerinin bu kriterler doğrultusunda sınıflandırılmış türleri verilmiştir.

Çizelge 3. 10. Regresyon analizlerinin sınıflandırılması [118].

| Kriter   | Model   |
|--|---|
| Bir bağımlı ve bir bağımsız değişken               | Basit Regresyon Modeli                        |
| Bir bağımlı ve birden fazla bağımsız değişken      | Çoklu Regresyon Modeli                        |
| Değişkenler arasındaki ilişkiler doğrusal          | Doğrusal (Lineer) Regresyon Modeli            |
| Değişkenler arasındaki ilişkiler doğrusal değildir | Doğrusal Olmayan (Nonlinear) Regresyon Modeli |

Bu çalışmada, çoklu doğrusal regresyon modeli kullanıldığından regresyon türlerinden bu modelin temellerine ilişkin bilgiler aktarılacaktır.

### 3.3.1. Çoklu doğrusal regresyon modeli

Basit doğrusal regresyon analizinde bir bağımlı değişkene (Y) etki eden tek bir bağımsız değişken (X) varken, bazı problemlerde bağımlı değişkene etki eden birden çok bağımsız değişken bulunabilmektedir. Bu tür durumlarda bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi tespit etmek amacıyla çoklu doğrusal regresyon analizi kullanılmaktadır [119].

Çoklu doğrusal regresyon modelinde araştırmacının iki temel amacı bulunmaktadır. Bunlardan birincisi bağımsız değişkenlerden yola çıkarak bağımlı değişkenin değerinin tespit edilmesidir. İkincisi ise regresyon modeli içerisindeki bağımsız değişkenlerin, bağımlı değişkenlere etki derecelerini tespit etmek ve aralarındaki ilişkiyi tanımlamaktır [120].

Çoklu doğrusal regresyon modellerine ilişkin tüm analizlerin ispatlanabilir olması ve daha kolay anlaşılabilir şekilde ifade edilmesi için matris yaklaşımı kullanılmaktadır. Y bağımlı değişkeniyle p sayıda bağımsız değişken arasında doğrusal bir ilişki varsa ve bu değişkenlere ait n tane gözlem değerine sahipsek çoklu doğrusal regresyon modeli;

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_p X_{ip} + \epsilon_i, (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3.2)$$

şeklinindedir. Burada;  $\epsilon_i$  ' ler hataları göstermektedir.

Matris notasyonu ile ilişki,

$$Y = X\beta + \epsilon \quad (3.3)$$

şeklinde yazılabilir [121].

Çoklu doğrusal regresyon modeli formunda ise;

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & \dots & X_{1p} \\ 1 & X_{21} & \dots & X_{2p} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & X_{n1} & \dots & X_{np} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

şeklinde yazılmaktadır. X matrisinin birinci sütunu genel ortalama etkisini ifade etmek üzere 1 değerlerinden oluşturulmaktadır. Verilere çoklu regresyon modelinin uygulanabilmesi için genel regresyon modellerindeki koşullardan farklı olarak bağımsız değişkenler arasında çoklu bağımlılık olmaması gerekmektedir.

Hataların rastgele değişkenler olduğu dikkate alınarak, hatalara ilişkin aşağıda maddeler halinde verilen varsayımlarda bulunulur.

- $E(\varepsilon_j) = 0$ ,
- $\text{Var}(\varepsilon_j) = \sigma^2$
- $\text{Cov}(\varepsilon_j, \varepsilon_k) = 0, j \neq k$  dir.

Çoklu regresyon modelindeki  $\beta$  parametrelerini tespit eden  $p+1$  adet B istatistikleri en küçük kareler yöntemi (EKKY) ile,

$$B = (X^1X)^{-1}(X^1Y) \quad (3.5)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanır. Tüm  $\beta$  parametreleri için güven aralıklarının hesaplanmasında ve hipotez testlerinde B istatistikleri kanıt niteliği taşırlar ve örnekleme aralıkları normaldir. Ayrıca  $\beta$  parametrelerine yönelik güven aralıklarının tespiti, alternatif ve yokluk hipotez testleri  $n-(p+1)$  serbestlik derecesine sahip t dağılımı kullanılarak yapılmaktadır [122].

Çoklu doğrusal regresyon modeline ilişkin temel varsayımlar aşağıda maddeler halinde sıralanmaktadır ([123]; [124]; [125]; [118]).

- Hata terimleri sabit varyanslı olup sıfır ortalamaya sahiptir.
- Ardışık hata terimi değerleri arasında otokorelasyon yoktur. Yani, değerler birbirlerinden bağımsızdır ve  $i \neq j$ ,  $\text{Cov}(e_i, e_j) = 0$  dır.
- Hata terimleri  $X_i$  değeri için kendi ortalamaları çevresinde, çan eğrisi formunda simetrik bölünme gösterirler. Yani, normal dağılıma sahip ve  $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ ' dir.
- Hata terimi ile bağımsız değişkenler arasında bir ilişki yoktur.
- Bağımsız değişkenlerin kendi aralarında kuvvetli ve tam bir ilişki yoktur.
- Bağımsız değişkenlerin aralarında doğrusal bir ilişkinin bulunmadığı varsayıldığından doğrusal korelasyon katsayıları 0 ya da 0' a yakın bir değerdir.
- Bu varsayımın bozulması ise çoklu doğrusal bağlantı (multicollinearity) olarak ifade edilmektedir.

Çoklu doğrusal regresyon modelinde değişkenler arasındaki (bağımlı - bağımsız) ilişkinin gücünü tespit edebilmek için çoklu korelasyon katsayısı "R" kullanılır. Çoklu korelasyon katsayısının karesi olan ve "R<sup>2</sup>" olarak ifade edilen çoklu determinasyon (belirleme) katsayısı değişkenler arasındaki ilişkinin ortaya konmasında ve analizinde daha uygundur.

$$R^2 = \text{Toplam varyasyonun açıklanan kısmı} / \text{Toplam varyasyon} \quad (3.6)$$

şeklinde yazılır. Yani,

$$R^2 = \frac{b'X'Y - (\sum Y)^2 / n}{\sum Y^2 - (\sum Y)^2 / n} \quad (3.7)$$

formülü ile elde edilir [126].

### 3.4. Kriging Enterpolasyon Yöntemi

Kriging enterpolasyon yöntemi, bilinen noktalardan temin edilen verileri kullanarak diğer noktalarda yer alan verilerin optimal değerlerini kestiren bir yöntemdir. Kriging yöntemi, daha önceden tanımlanmış bir kovaryans modelinden hesap varyansını en aza indirgeyen doğrusal bir regresyon setidir. Kriging yöntemi ile bir bölgede kestirilecek parametreler bölgesel bir değişken olarak kabul edilmektedir. Birbirine yakın olan noktalardaki verilerin daha korelasyonlu olması için bölgesel değişken konumsal açıdan sürekli olarak çeşitlilik göstermektedir [127]. Kriging enterpolasyon yönteminin genel denklemi,

$$Z_p = \sum_{i=1}^n W_i Z_i \quad (3.8)$$

şeklinde kurulmaktadır.

Burada;

$Z_p$  : Aranılan ondülasyon değeri

$W_i$  :  $Z_p$ ' nin tespitinde kullanılan her  $Z_i$  değerine karşılık ağırlık değerleri

$Z_i$  :  $Z_p$ ' nin tespitinde kullanılan noktaların geoit ondülasyon değerleri

$n$  : Modelde kullanılan nokta sayısıdır [128].

Hesaplama tesislerindeki son gelişmeler ve jeostatistik yazılımların kullanılabilirliği ile çevresel verilerin mekansal analizinde kriging kullanımı giderek popüler hale gelmektedir. Genel olarak günümüzde bir takım çeşitli kriging yöntemleri kullanılmaktadır. Kullanılan bu yöntemler basit (simple), evrensel (universal), blok (block), ayırıcı (disjunctive) ve co-krigintir [129].

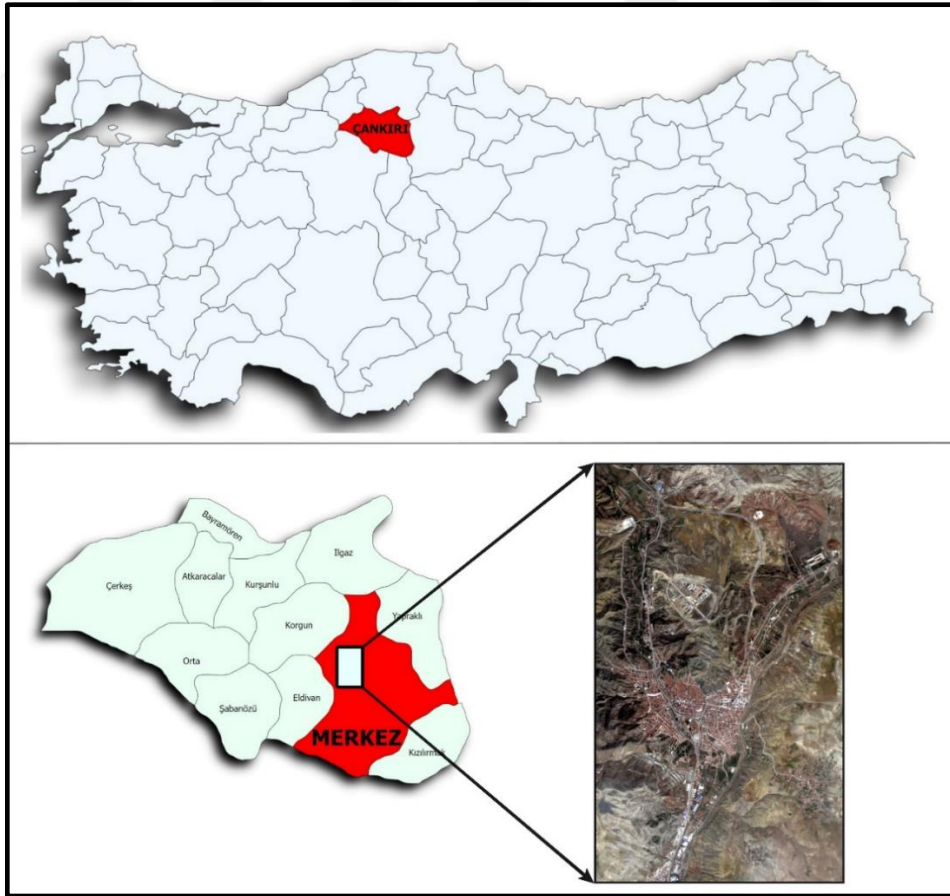
Kriging yöntemleri arasında sıradan (ordinary) kriging yöntemi başta çevresel çalışmalarda olmak üzere birçok disiplinde güvenilir bir enterpolasyon yöntemi olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemin temeli ortalamanın sabit olduğu, bölgesel değişkenlerin durağan olduğu varsayımlarına dayanmakta olup çözüme bu doğrultuda gidilmektedir. Bu çalışmada uygulama sahasından toplanan  $PM_{10}$  örneklerinin enterpolasyonunda sıradan kriging yöntemi kullanılmıştır.

### 3.5. Bölgenin Özellikleri ve Kullanılan Veriler

#### 3.5.1. Çalışma alanı

Çankırı ili, güneyinde Ankara ve Kırıkkale, kuzeyinde Kastamonu, batısında Bolu, doğusunda Çorum ve kuzeybatısında Karabük illeriyle çevrili ve İç Anadolu ile Batı Karadenizin geçiş güzergahında yer alan bir yerleşkeye sahiptir. Çankırı ili, 32° 30' - 34° 10' doğu meridyenleri ile 40° 30' - 41° 33' kuzey paralelleri arasında yer almakta olup deniz seviyesinden yüksekliği 750 m' dir. Yüzölçümü yaklaşık 7.490 km<sup>2</sup> olan şehir Orta Anadolu Bölgesinin kuzeyinde yer almaktadır. Dağlar ve platolar il topraklarının büyük bir kısmını oluşturmaktadır. İlin kuzey bölümünde uzanan ve 2.857 m yüksekliğe ulaşan zirveleri bulunan Ilgaz Dağları, orman örtüsünün çoğunlukta olduğu bölgeleridir [130].

Çalışmada uygulama alanı olarak Çankırı ili kent merkezi seçilmiştir. Uygulama alanının hava kirliliğinin yüksek seviyede olabileceği öngörülen fosil yakıt kullanımının yüksek olduğu yerleşim alanları, sanayi bölgeleri, yoğun trafik akışına sahip alanları kapsamına dikkate edilmiştir. Şekil 3.19' da çalışma alanı sınırları gösterilmektedir.



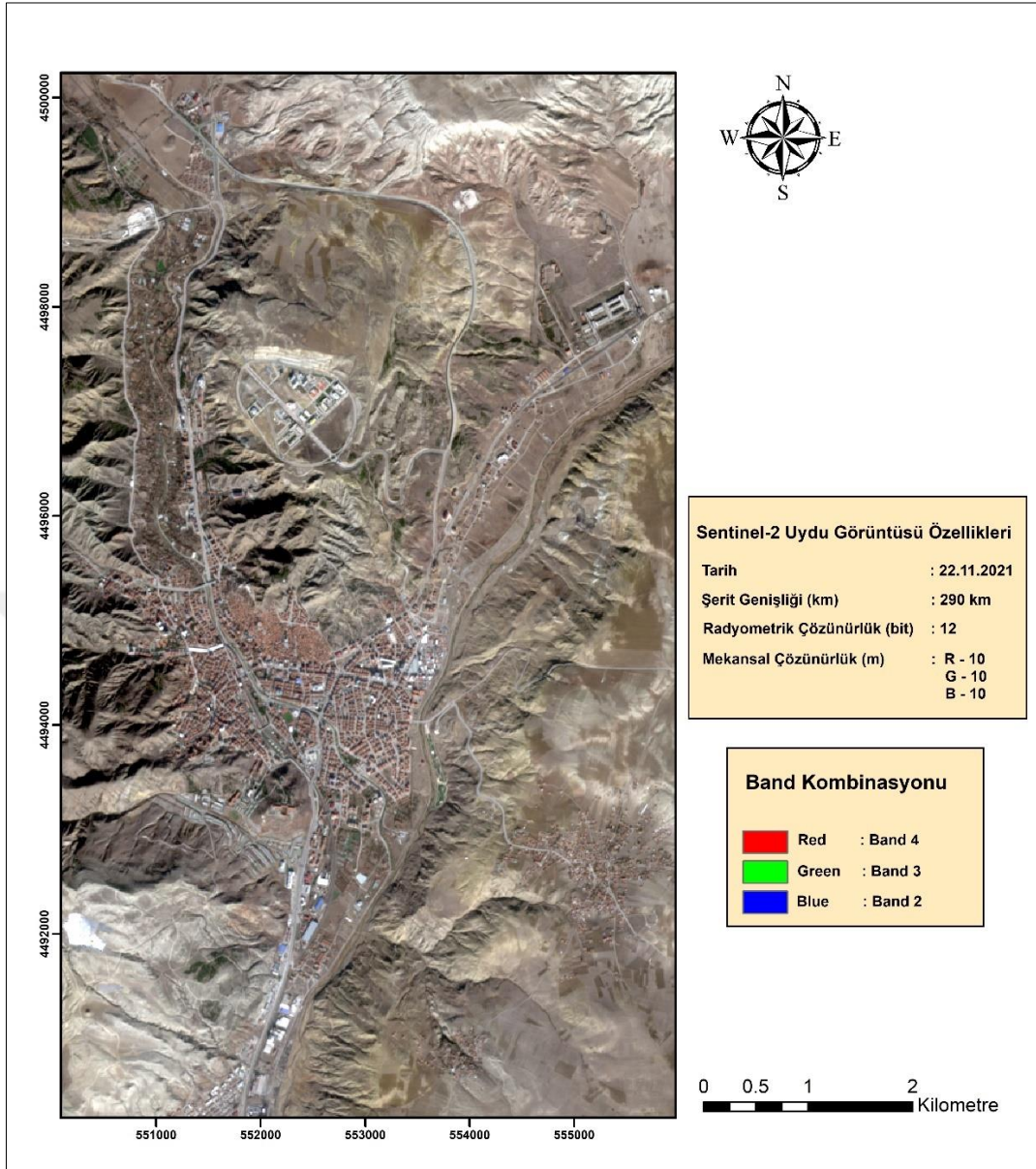
Şekil 3. 19. Çalışma alanı haritası.

Çalışma alanı içerisinde Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığına ait bir adet hava kalitesi izleme istasyonu bulunmaktadır. Sabit istasyondan  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $SO_2$ ,  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $CO$  ve  $O_3$  gibi hava kalitesine etki eden kirleticiler ölçülmektedir. Ancak kirletici madde konsantrasyonları çeşitli faktörlere bağlı olarak bölgesel bazlı farklılık gösterebilmektedir. Bu nedenle tek bir lokasyondan sabit istasyon aracılığıyla temin edilen hava kalitesi verileri, bölgenin geneline homojen bir dağılımın sağlanamaması sebebiyle bir ilin hava kalitesini temsil edecek doğrulukta veri sağlayamamaktadır. Bu sebeple çalışma kapsamında iki farklı tarihte gerçekleştirilen arazi çalışmalarında çalışma sahasına homojen olarak dağıtılmış noktalardan  $PM_{10}$  örnekleri toplanmıştır.

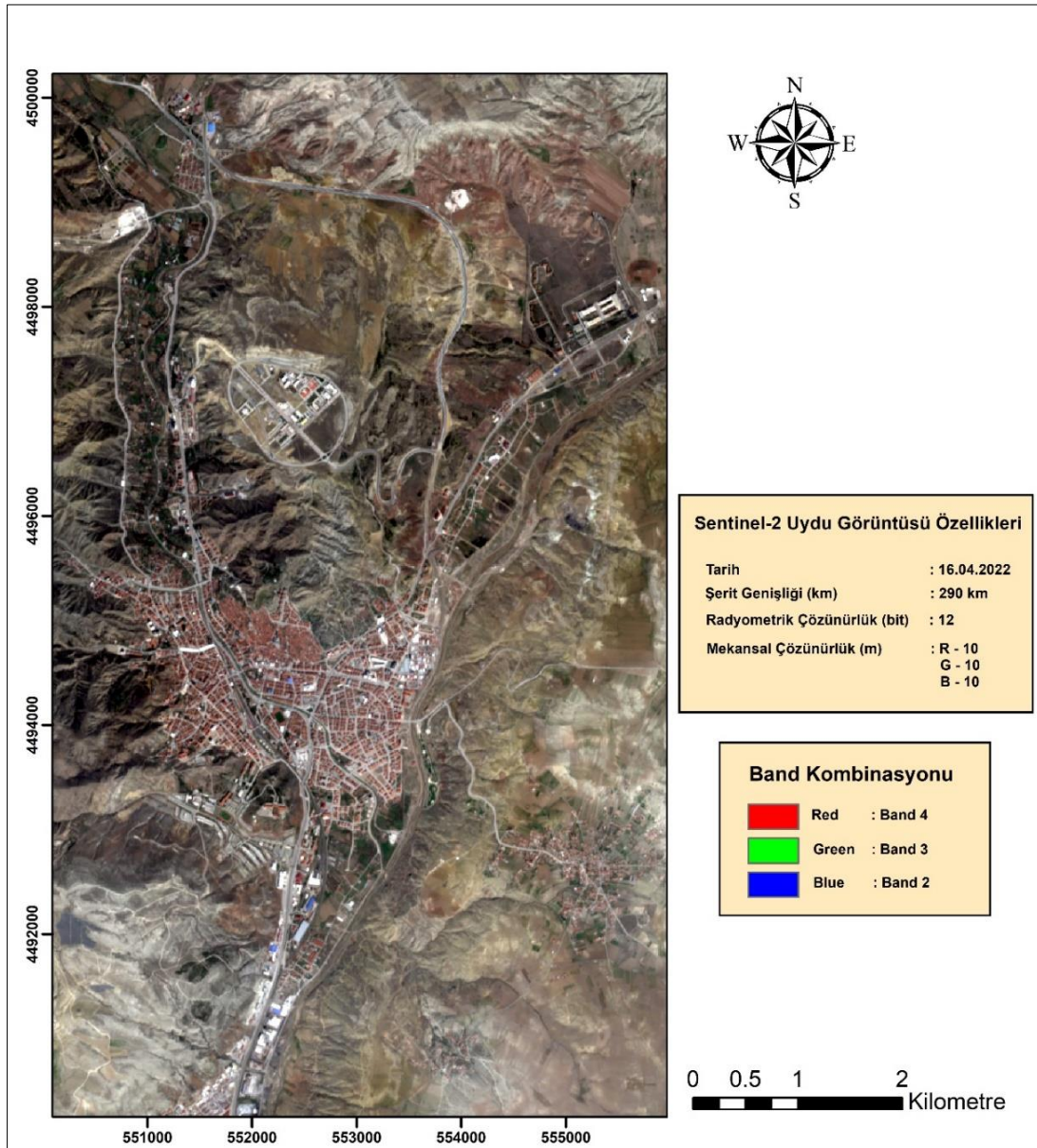
### **3.5.2. Kullanılan veriler**

#### **3.5.2.1. Uzaktan algılama verileri**

Tez kapsamında 22.11.2021 ve 16.04.2022 tarihlerine ait 2 adet Sentinel-2 uydu görüntüsü kullanılmıştır. Uydu görüntüleri ESA (European Space Agency) ve USGS (United States Geological Survey) arşivinden temin edilmiştir. Hava kirliliğinin tespitinin daha anlamlı olarak yapılabilmesi için Nisan ve Kasım ayına ait görüntüler kullanılarak çalışmanın hem ilkbahar hem de sonbahar mevsimini kapsamasına dikkat edilmiştir. Çalışmada Sentinel-2 uydusunun sadece görünür bantları kullanılmıştır. Şekil 3.20 ve Şekil 3.21’ de çalışma alanının sırasıyla 22.11.2021 ve 16.04.2022 tarihli uydu görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3. 20. 22.11.2021 tarihli Sentinel uydu görüntüsü.



Şekil 3. 21. 16.04.2022 tarihli Sentinel uydu görüntüsü.

Tez çalışmasında Sentinel-2 uydu görüntüleri bantlarının birleştirilmesi, çalışma alanının kesilmesi, radyometrik ve atmosferik düzeltmelerin gerçekleştirilmesinde ERDAS Imagine ve Quantum GIS yazılımları kullanılmıştır. Regresyon analizleri SPSS yazılımı ile gerçekleştirilmiş olup sonuç ürün olan tematik haritaların oluşturulması ve görselleştirilmesinde ArcGIS yazılımı kullanılmıştır.

### 3.5.2.2. İstasyon verileri

Çankırı il merkezinde Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağına bağlı ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığına ait bir adet sabit hava kalitesi izleme istasyonu bulunmaktadır. Sabit istasyondan 2017 yılı öncesinde PM<sub>10</sub> ve SO<sub>2</sub> parametreleri saatlik olarak kayıt altına alınırken, istasyon konumunun 2017 yılında değiştirilmesi ile birlikte ölçülen parametrelerine PM<sub>2.5</sub>, CO, O<sub>3</sub> ve NO<sub>x</sub> eklenmiştir. İstasyondan temin edilen son 10 yıla ait PM<sub>10</sub> değerlerinin aylık medyan ortalamaları alınarak Çizelge 3.11’ de verilmiştir.

**Çizelge 3. 11.** İstasyonda ölçülen PM<sub>10</sub> verilerinin aylık medyan ortalama değerleri.

| Aylar   | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Ocak    | 50   | 88   | 51   | 17   | 30   | 65   | 46,5 | 34   | 59   | 36   | 47,5 |
| Şubat   | 70   | 84   | 69   | 20   | 24   | 77   | 51   | 34   | 39   | 43   | 46   |
| Mart    | -    | 70   | 51   | 16   | 15   | 63   | 45   | 35   | 49   | 25   | 30   |
| Nisan   | -    | 61   | 37   | 14   | 52   | 55   | 46   | 20   | 40   | 26   | 47   |
| Mayıs   | -    | 60   | 32   | 13   | 42   | 34   | 39   | 22   | 21   | 25   | 23   |
| Haziran | 72   | 50   | 20,5 | 9    | 52   | 32   | 29   | 16   | 31   | 26   | -    |
| Temmuz  | 72   | 53   | 16   | 10   | 44   | 34   | 28   | 17   | 38   | 36   | -    |
| Ağustos | 65   | 50   | 16   | 16   | 52   | 39   | 23   | 29   | 44   | 31   | -    |
| Eylül   | 98   | 45   | 16   | 18   | 39   | 49   | 23   | 35   | 48   | 35   | -    |
| Ekim    | 100  | 65   | 19   | 19   | 59   | 49   | 30   | 42   | 48   | 41   | -    |
| Kasım   | 91   | 89   | 34   | 29   | 85   | 75   | 37   | 78   | 33   | 57   | -    |
| Aralık  | 96,5 | 65,5 | 22   | 28   | 56   | 58   | 26   | 48   | 45   | 59   | -    |

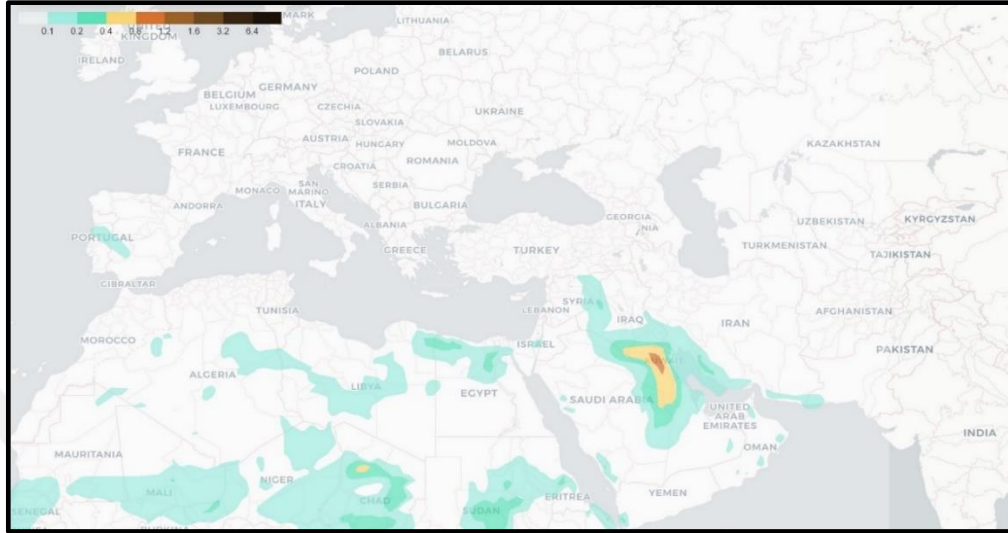
İstasyon verileri incelendiğinde PM<sub>10</sub> değerlerinin genellikle kış aylarında artış eğiliminde olduğu görülmektedir. İklim koşulları sebebiyle Çankırı il merkezinde soğuk kış şartlarının hakim olduğu ve kış aylarının neredeyse tamamında ısınma ihtiyacının devam ettiği bilinmektedir. Bu sebeple genellikle kış aylarında artış gösteren partikül madde miktarının fosil yakıt kullanımından kaynaklandığı düşünülmektedir.

### 3.5.2.3. Meteorolojik veriler

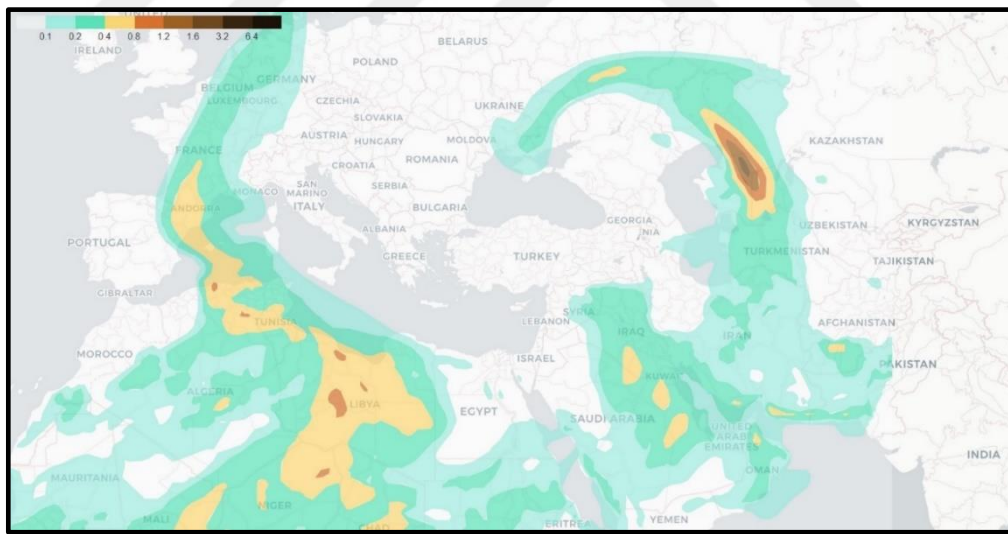
Çalışma tarihleri için PM<sub>10</sub> yoğunlukları üzerinden yapılacak değerlendirmelerde bölgesel ölçekli etkenlerin dışında taşınım yoluyla dahil olabilecek kaynakların da ele alınması gerekmektedir. Çankırı’ nın konumu itibariyle özellikle Kuzey Afrika üzerinden gelebilecek toz taşınımlarının irdelenmesi gerekmektedir.

Taşınımın tespiti için DREAM8-CAMS modeli kullanılmıştır. Bu modelde herhangi bir tarihteki saatlik ve günlük ortalama toz taşınım haritaları temin edilebilmektedir. Çalışma tarihleri olan 20.11.2021 ve 13.04.2022 tarihlerindeki taşınım

haritaları Şekil 3.22 ve Şekil 3.23’ de gösterilmektedir. Araştırma ve bulgular bölümünde toz taşınımının ölçülen  $PM_{10}$  değerleri üzerindeki etkisi detaylı bir şekilde tartışılacaktır.



Şekil 3. 22. 20.11.2021 tarihine ait taşınım haritası.



Şekil 3. 23. 13.04.2022 tarihine ait taşınım haritası.

#### 3.5.2.4. Çalışma alanından toplanan veriler

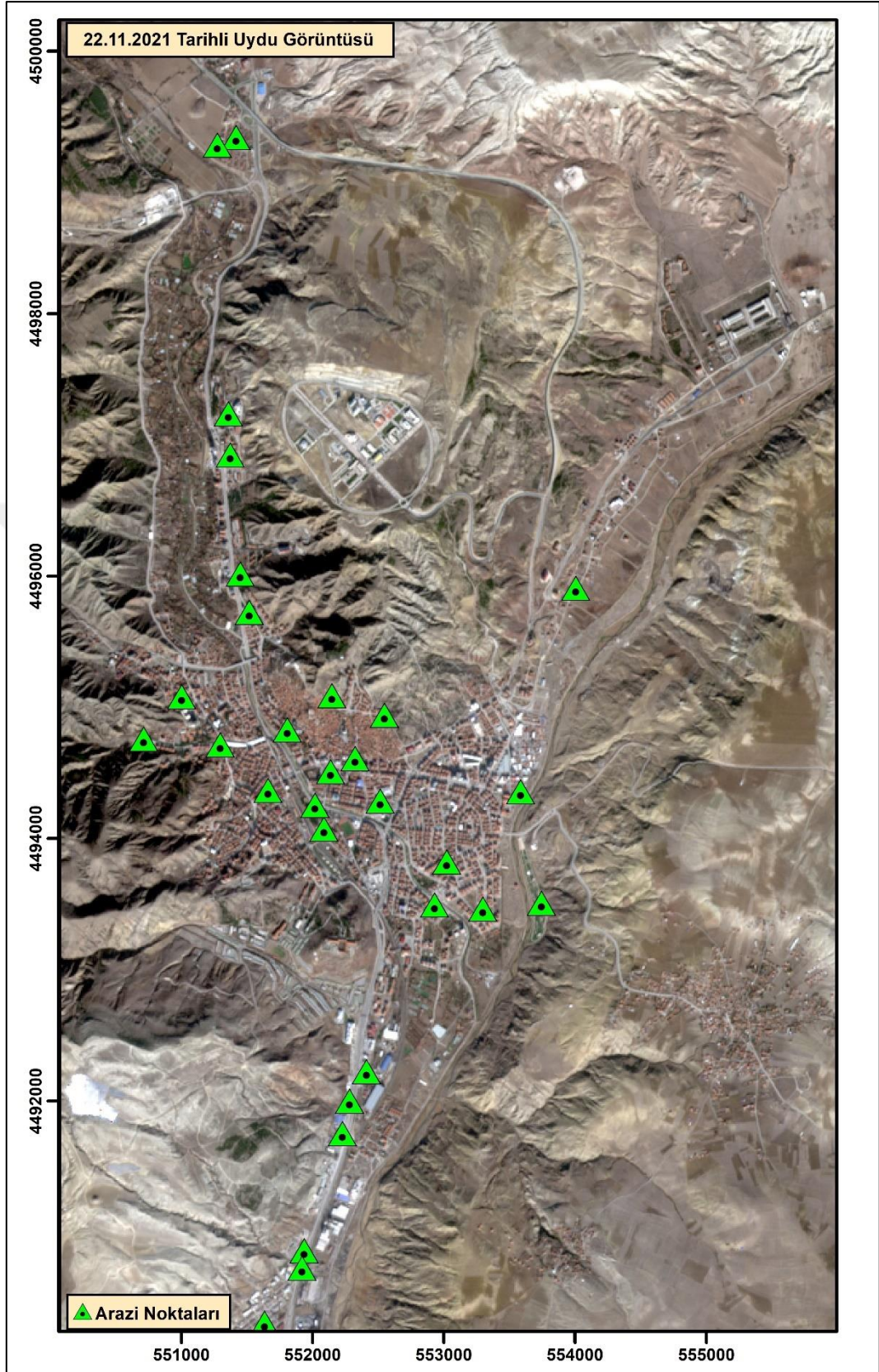
Çalışmanın uygulama kısmında 20.11.2021 ve 13.04.2022 tarihlerinde olmak iki kez arazi çalışması gerçekleştirilmiştir. Partikül örneklerinin toplanacağı noktalar arazi çalışması öncesinde belirlenerek ilgili tarihlerde yersel ölçüm metodu ile uygulama

sahası içerisindeki konumlardan  $PM_{10}$  ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçüm yapılan noktaların uygulama alanı içerisine homojen bir şekilde dağılmasına, fosil yakıt kullanımının, trafik akışının ve yerleşim alanlarının yoğun olduğu bölgeleri kapsamına dikkat edilmiştir.  $PM_{10}$  örneklerinin alındığı noktaların koordinatları MAGELLAN-500 el-tipi GPS yardımı ile ölçülmüştür. Kasım ayında gerçekleştirilen ilk çalışmanın fosil yakıt kullanımının artış gösterdiği kış aylarına geçiş süreci olan sonbahar mevsimine, Nisan ayında gerçekleştirilen çalışmanın ise yazın başlangıcı olan ilkbahar mevsimine denk gelmesine dikkat edilmiştir.

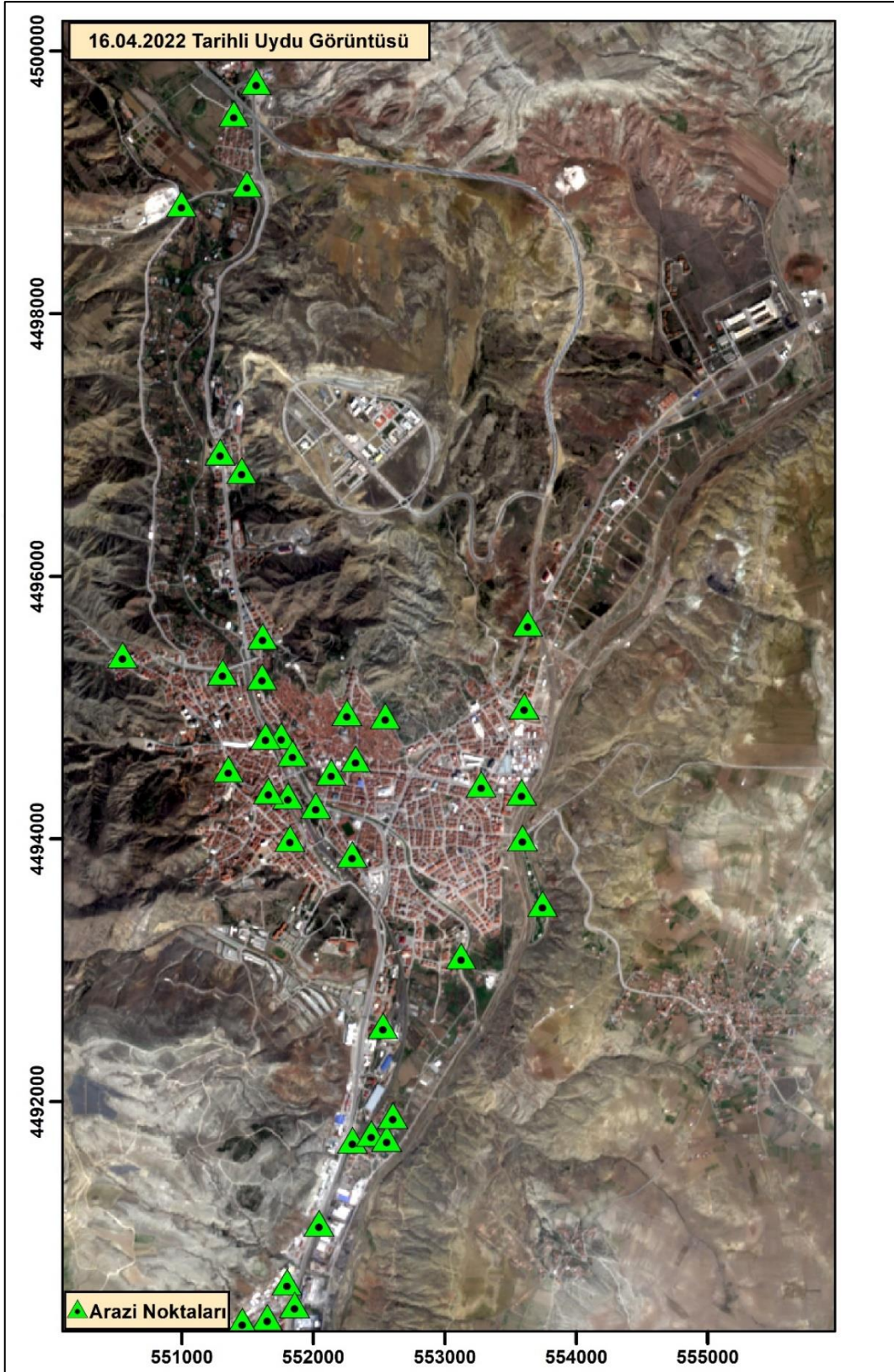


Şekil 3. 24. Çankırı kent merkezinde gerçekleştirilen yersel çalışmalar.

Çalışma kapsamında iki farklı tarihte gerçekleştirilen yersel ölçümlerin ilkinde 30 noktadan ikincisinde ise 40 noktadan  $PM_{10}$  örnekleri toplanmıştır. Portatif hava kalitesi ölçüm cihazı ile  $PM_{10}$  değerlerinin tespiti, her bir noktada 1 dakikalık örnekleme süresi ve her ölçü arasında ise minimum 2 dakikalık örnekleme süresi olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.25 ve Şekil 3.26' da  $PM_{10}$  örneklerinin toplandığı noktalar 22.11.2022 ve 16.04.2021 tarihli Sentinel-2 uydu görüntüleri üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 3. 25. 20.11.2021 tarihli yersel çalışmada PM<sub>10</sub> örneklenen nokta konumları.



Şekil 3. 26. 13.04.2022 tarihli yersel çalışmada PM<sub>10</sub> örneklenen nokta konumları.

Bu tez çalışmasında  $PM_{10}$  örneklerinin toplanmasında CEM DT-9880 portatif hava kalitesi ölçüm cihazı kullanılmıştır. Cihazın ölçüm işlemi için tam olarak hazır olduğu test edildikten sonra numune alımına başlanmıştır. Şekil 3.27' de çalışmada kullanılan hava kalitesi ölçüm cihazı gösterilmektedir.



Şekil 3. 27. Hava kalitesi ölçüm cihazı.

$PM_{10}$  alımı yapılan tüm noktalarda cihazın yerden yüksekliği ortalama 1 metre olduğunda örnekleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Hava kalitesi ölçüm cihazı ile ölçülen her bir noktanın saat/tarih bilgileri ve ölçü değerleri cihaz tarafından otomatik olarak kayıt altına alınmıştır. Arazi çalışması esnasında belirli periyotlarla cihazın kalibrasyonu yapılırken partikül örneklerinin alındığı tüm noktaların konumları el-tipi GPS aracılığıyla ölçülmüştür. Aşağıda partikül ölçüm cihazına ilişkin genel bilgiler maddeler halinde sıralanmaktadır [131].

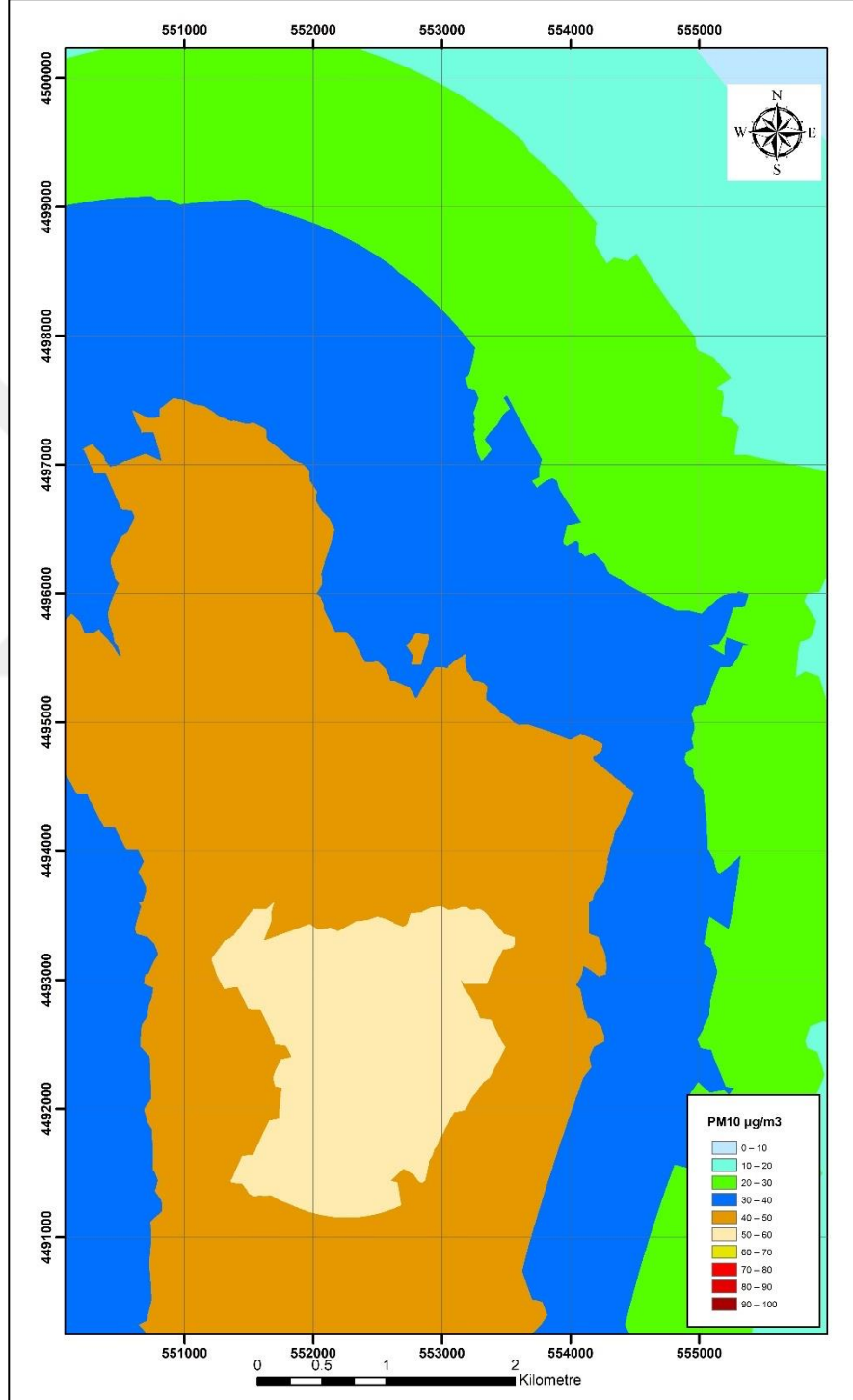
- Ölçüm yapılan boyut aralıkları; 0,3  $\mu\text{m}$  ile 10  $\mu\text{m}$  aralığındadır. (0,3, 0,5, 1,0, 2,5, 5,0 ve 10  $\mu\text{m}$ )
- Temel doğruluk; okumanın  $\pm 1,5'$  i,
- Sıcaklık, nem ve çiğlenme noktası ölçümleri,
- Seçilebilir örnekleme süresi, sayım verileri ve programlanabilir gecikme,
- Fotoğraf (JPEG) ve video (3GP) çekim özelliği,
- USB arabirim ve MicroSD hafıza kartı özelliği,
- 5000 kayıt hafızası gibi imkanlar sağlamaktadır.



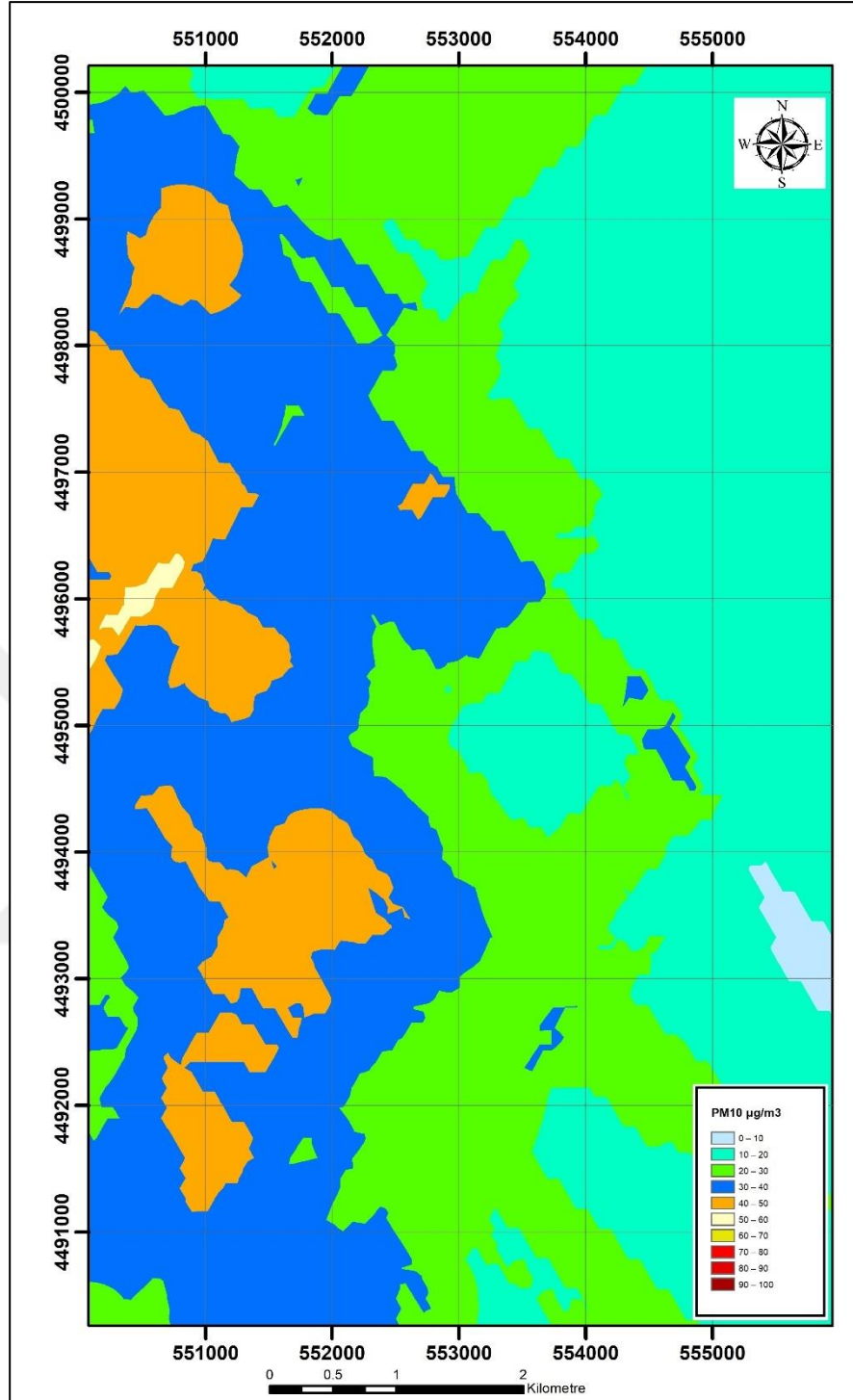
## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 4.1 Kriging Enterpolasyon Yöntemi

İki farklı tarihteki yersel çalışmalarda ölçülen PM<sub>10</sub> verileri kullanılarak jeostatistik yöntemle üretilen tematik haritalar Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’ de verilmiştir.



Şekil 4. 1. Kriging metodu ile üretilen 20.11.2021 tarihli tematik harita.



Şekil 4. 2. Kriging metodu ile üretilen 13.04.2022 tarihli tematik harita.

Çalışmanın ilk etabında kent merkezindeki  $\text{PM}_{10}$  parametrelerinin mekansal dağılımını gerçekleştirmek için jeostatistiksel bir enterpolasyon yöntemi olan kriging yöntemi kullanılmıştır. ArcGIS yazılımı kullanılarak sıradan (ordinary) kriging yöntemi ile  $\text{PM}_{10}$  verileri enterpole edilmiştir.

Kriging enterpolasyon yöntemi ile üretilen iki tematik haritada küçük sanayi sitesi ve fabrikaların yer aldığı alanda PM<sub>10</sub> seviyesinin diğer alanlara kıyasla yüksek seviyelerde olduğu gözlenmiştir. Ayrıca araç trafiğinin yoğun olduğu D-765 gibi şehirler arası karayolunda PM<sub>10</sub> değerleri yüksek çıkmıştır.

Kriging enterpolasyon yönteminin PM<sub>10</sub> parametrelerinin kestiriminde kullanılabilirliği konusunda test edilmesi amacıyla her iki çalışma öncesinde 5 adet test noktası belirlenmiştir. Yersel çalışmalarda test noktalarının koordinatları ve PM<sub>10</sub> değerleri ölçülmüştür. Kriging enterpolasyon yönteminin uygulanması sonucunda test noktalarına atanan PM<sub>10</sub> değerleri, noktaların gerçek PM<sub>10</sub> değerleriyle karşılaştırılmıştır. PM<sub>10</sub> verileri arasında çeşitli oranlarda farkların bulunduğu tespit edilmiştir. Söz konusu farkların portatif hava kalitesi örnekleme cihazı ile ölçülen PM<sub>10</sub> değerlerindeki olası hata paylarından ve kriging enterpolasyonuna dayalı çalışma prensibinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

#### 4.2 Uydu Görüntülerinin Radyometrik Olarak Düzeltilmesi

Radyometrik düzeltme ile uydu görüntülerinin algılanması esnasında gelişen atmosferik etkilerin azaltılması amaçlanmaktadır. Bu işlem görüntünün piksel parlaklık değerlerinin, spektral açıdan yersel spektral yansıtma değerleri ile kıyaslanabilir birime dönüştürülmesi ile gerçekleştirilmekte olup iki aşamada uygulanır [132];

- 1) Piksel parlaklık değerinden spektral parlaklık değerine dönüşüm
- 2) Spektral parlaklık değerinden spektral yansıtma değerine dönüşüm

İlk aşamada piksel parlaklık değerinden spektral parlaklık değerine dönüşümde aşağıdaki eşitlikler kullanılır [90].

$$L_{\lambda} = [L_{MAX\lambda} - L_{MIN\lambda}] / (QCAL_{MAX} - QCAL_{MIN}) \times [QCAL - QCAL_{MIN}] + L_{MIN\lambda} \quad (4.1)$$

Burada;

$L\lambda$  : Sensördeki spektral radyans (MW.c-2.sr-1.µm-1)

$L_{MAX\lambda}$ :  $QCAL_{MAX}$ 'a göre ölçeklendirilen spektral radyans

$L_{MIN\lambda}$ :  $QCAL_{MIN}$ 'e göre ölçeklendirilen spektral radyans

$QCAL$ : Parlaklık değerleri

$QCAL_{MAX}$ : Maksimum parlaklık değeri

$QCAL_{MIN}$ : Minimum parlaklık değeridir.

İkinci aşamada ise uydu verileri, yer ölçmeleri ile karşılaştırılabilir hale dönüştürülür [133]. Aşağıdaki eşitlik kullanılarak ilk aşamadan temin edilen spektral parlaklık değerleri, yansıtma değerlerine dönüştürülür.

$$\rho_p = \frac{\pi.L\lambda.d^2}{ESUN\lambda.cos\theta_s} \quad (4.2)$$

Burada;

$\rho_p$ : Sensördeki yansıtım değerleri

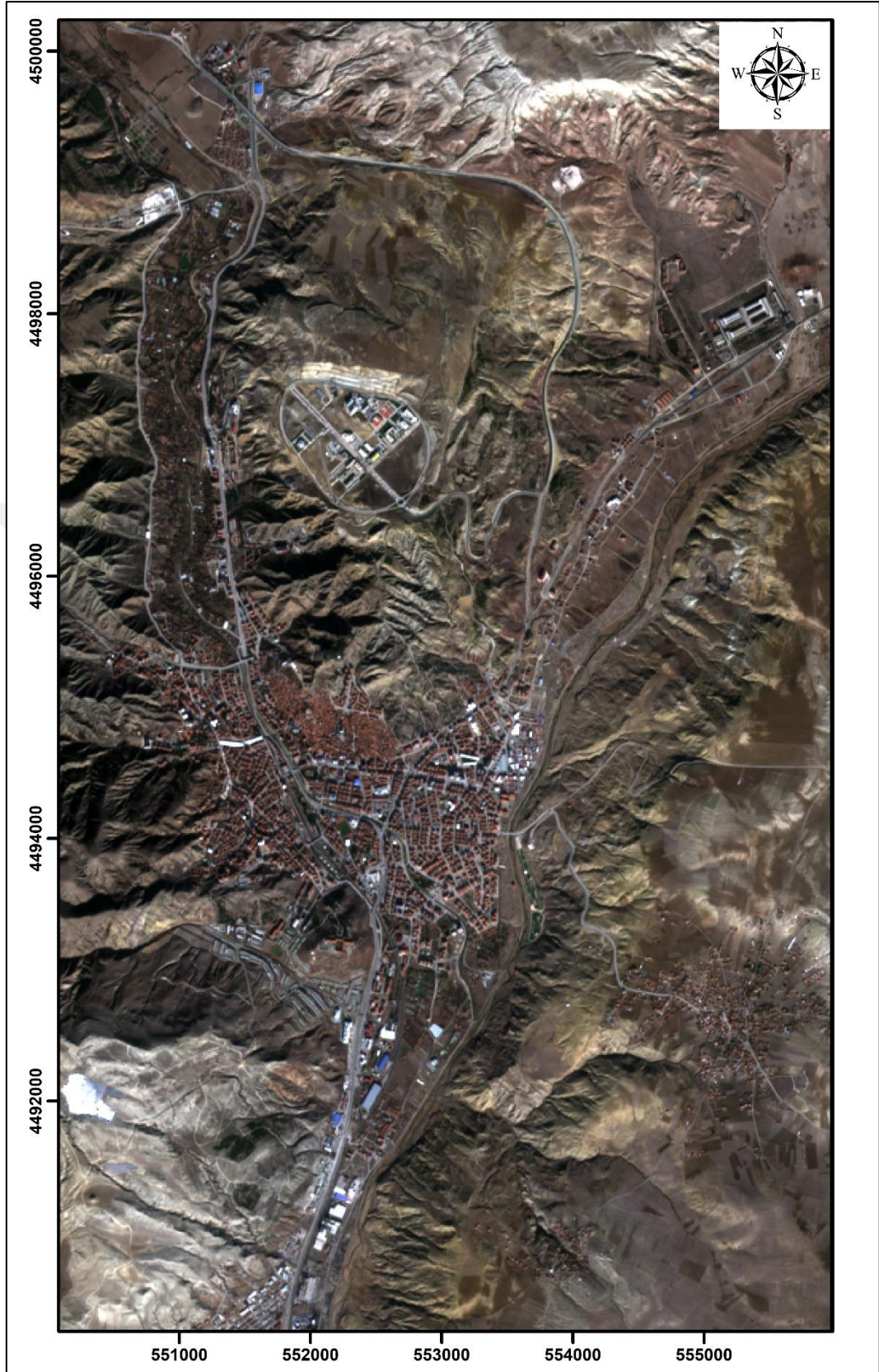
$L\lambda$ : Sensördeki yansıtım değerleri

$d$ : Dünya-Güneş arası mesafe

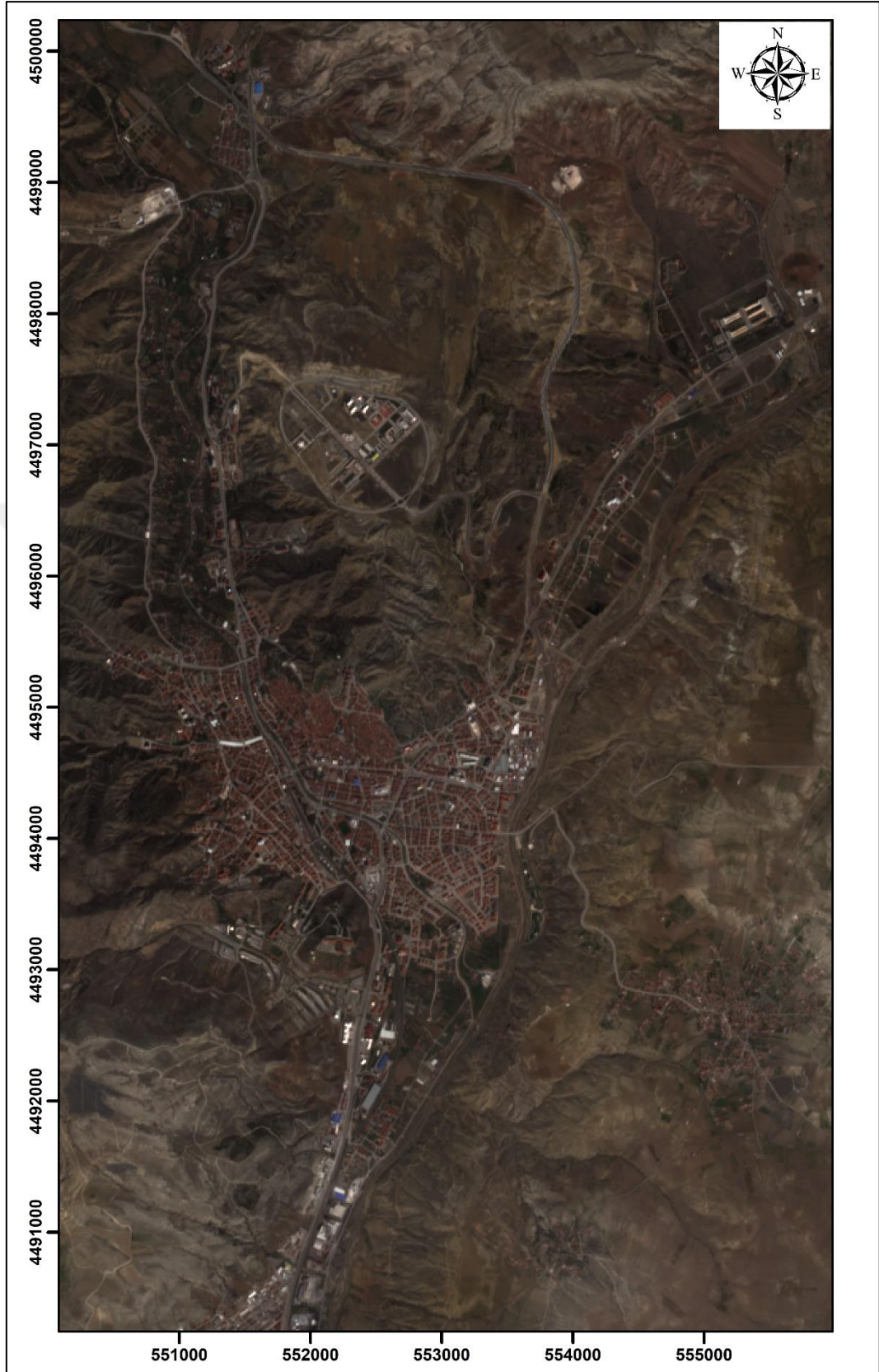
$ESUN\lambda$ : Ortalama atmosferik solar irrandyans

$\theta_s$ : Solar zenit açısıdır.

Çalışma alanına ilişkin radyometrik olarak düzeltilmiş uydu görüntüleri Şekil 4.3 ve Şekil 4.4' de gösterilmektedir.



Şekil 4. 3. 22.11.2021 tarihli radyometrik olarak düzeltilmiş uydu görüntüsü.



Şekil 4. 4. 16.04.2022 tarihli radyometrik olarak düzeltilmiş uydu görüntüsü.

### 4.3 Regresyon Analizi

Uydu görüntüleri üzerinden  $PM_{10}$  tahmini için matematiksel bir model geliştirilmiştir. Regresyon modelinin bağımsız değişkenleri Sentinel-2 uydu görüntüsündeki görünür bantlara ait reflektans değerleridir. Eşitlik şu şekildedir;

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_p X_{ip} + \epsilon_i \quad (4.3)$$

Burada;

Y : PM yoğunluğu

$X_i$  : Atmosferik reflektans

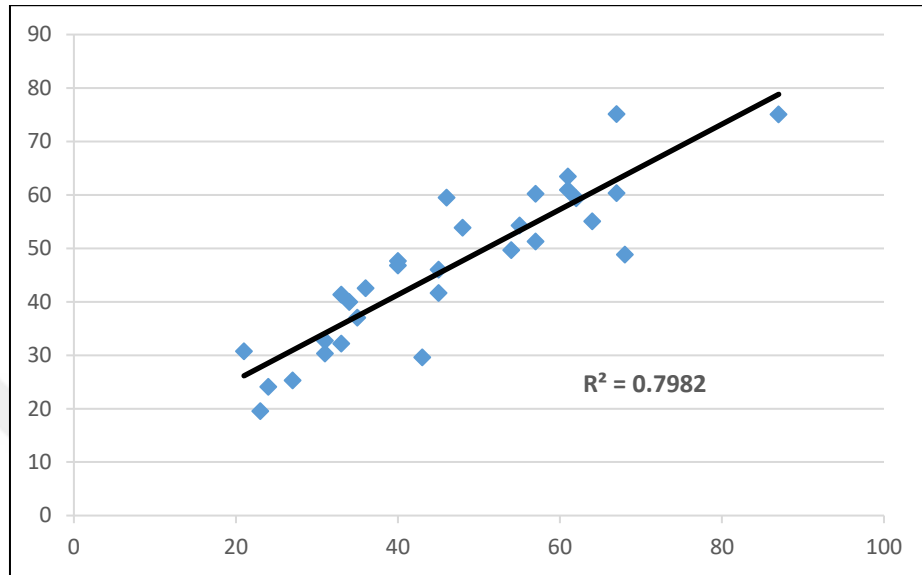
i : Uydu görüntüsü bant numaraları

$\beta$  : Regresyon katsayılarıdır.

Regresyon analizi ile elde edilmesi beklenen bazı veriler aşağıda maddeler halinde sıralanmaktadır.

- Determinasyon (belirleme) katsayısı  $R^2$  : Bağımlı değişken olan Y' deki varyasyonun bağımsız değişken X' ler ile açıklanabilme oranını vermektedir [134].
- Düzeltilmiş determinasyon katsayısı  $R^2$  : Regresyon modeline eklenen her yeni bağımsız değişken determinasyon katsayısının yükselmesine sebep olmaktadır. Düzeltilmiş  $R^2$  bağımlı değişkendeki varyasyonun tüm bağımsız değişkenler ile açıklanabilme oranını regresyon setinde kullanılan X değişken sayısı ile düzelterek ifade etmektedir. Düzeltilmiş  $R^2$  modelde fazladan kullanılan bağımsız değişkenlerin elemine edilmesiyle elde edilen ve normal olarak hesaplanmış  $R^2$  den daha küçük olan katsayıdır [135].
- Anova tablosu : Regresyon modelinin ve değişkenler arasındaki ilişkinin istatistiksel açıdan anlamlı olup olmadığına ilişkin test sonucunu ifade etmek için kullanılmaktadır [136].
- F : Anova tablosunda yer alan F istatistiği ile model katsayılarının anlamlılığı test edilmektedir [137].

Tez kapsamında gerçekleştirilen arazi çalışmalarının ilkinde toplamda 30 noktadan ölçülen  $PM_{10}$  örneklerinin tamamı regresyon analizine dahil edilmiştir. Yapılan regresyon analizine ilişkin kurulan model Şekil 4.5’ de, regresyon özeti Çizelge 4.1’ de ve anova tablosu ise Çizelge 4.2’ de verilmiştir.



Şekil 4. 5. Model-1 regresyon analiz modeli.

Çizelge 4. 1. Model-1 regresyon özeti.

| Model | R                  | R <sup>2</sup> | Ayarlanmış R <sup>2</sup> | Standart Hata | Durbin-Watson |
|-------|--------------------|----------------|---------------------------|---------------|---------------|
| 1     | 0,893 <sup>a</sup> | 0,798          | 0,775                     | 7,729         | 2,294         |

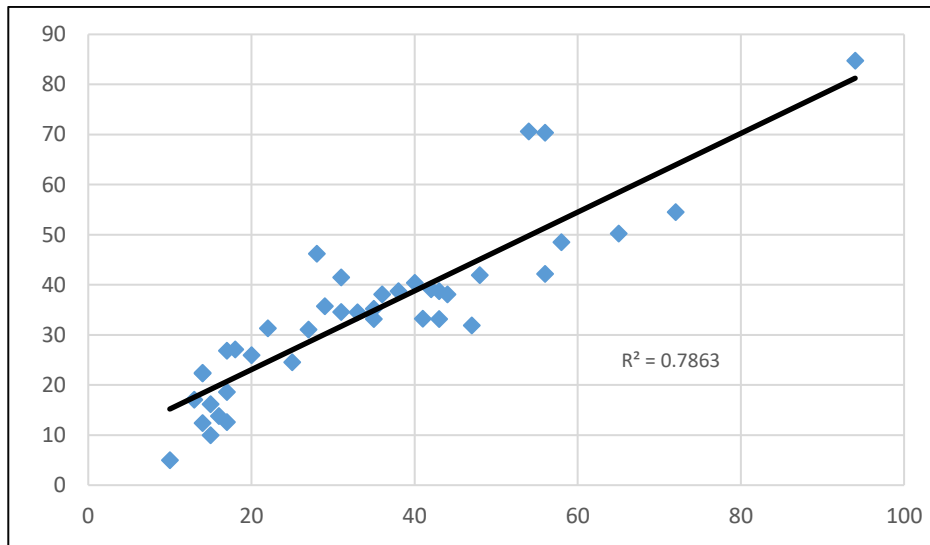
Çizelge 4. 2. Model-1 anova tablosu.

| ANOVA     |                 |    |               |        |                    |
|-----------|-----------------|----|---------------|--------|--------------------|
| Model     | Kareler Toplamı | df | Ortalama Kare | F      | Sig.               |
| Regresyon | 6142,434        | 3  | 2047,478      | 34,277 | 0,000 <sup>b</sup> |
| Artık     | 1553,066        | 26 | 59,733        |        |                    |
| Toplam    | 7695,500        | 29 |               |        |                    |

Model-1' e yönelik elde edilen bulgular ve yorumlar şu şekildedir;

- Değişken sayısı birden fazla olduğu için ayarlanmış  $R^2 = 0,78$  değeri üzerinden değerlendirme yapılır. Regresyon modelinde kullanılan bağımsız değişkenler (Red, Green ve Blue bantlar) toplam varyasyonu %78 oranında açıklayabilmektedir. Geri kalan %22' lik kısım ise bilinmeyen sebeplerden meydana gelmektedir.
- Ayarlanmış  $R^2$  değeri 0,7 – 0,9 arasında olduğundan  $PM_{10}$  ile Red, Green ve Blue bantları arasında yüksek derecede ilişki bulunmaktadır.
- Model-1 regresyon özeti tablosunda yer alan ve modelde otokolerasyon olup olmadığını test eden Durbin-Watson değeri 2,294 olarak hesaplanmıştır. İdeal ölçekte 2' ye yakın olması beklenmektedir. Gerçek dünya ve çalışma kapsamında kullanılan veriler dikkate alındığında atık terimler arasında çok yüksek bir kolerasyon olmadığı yorumlanmaktadır.
- Anova tablosu kurulan regresyon modelinin anlamlı olduğunu ifade etmektedir. Tabloda yer alan Sig. değerinin 0.05' den az olması oluşturulan modelin anlamlılığını göstermektedir.

İkinci arazi çalışmasında ise toplamda 40 noktadan ölçülen  $PM_{10}$  örneklerinin tamamı regresyon analizine dahil edilmiştir. Yapılan regresyon analizine ilişkin kurulan model Şekil 4.6' da, regresyon özetine ilişkin veriler Çizelge 4.3' de ve anova tablosu ise Çizelge 4.4' de verilmiştir.



Şekil 4. 6. Model-2 regresyon analiz modeli.

Çizelge 4. 3. Model-2 regresyon özeti.

| Model | R                  | R <sup>2</sup> | Ayarlanmış R <sup>2</sup> | Standart Hata | Durbin-Watson |
|-------|--------------------|----------------|---------------------------|---------------|---------------|
| 2     | 0,887 <sup>a</sup> | 0,786          | 0,769                     | 9,010         | 1,284         |

Çizelge 4. 4. Model-2 anova tablosu.

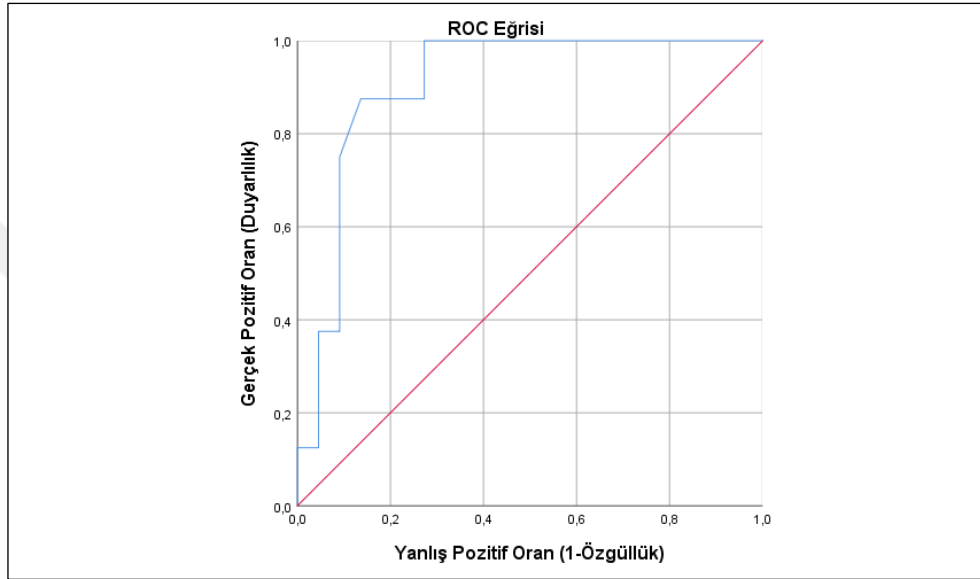
| ANOVA     |                 |    |               |        |                    |
|-----------|-----------------|----|---------------|--------|--------------------|
| Model     | Kareler Toplamı | df | Ortalama Kare | F      | Sig.               |
| Regresyon | 10756,298       | 3  | 3585,433      | 44,166 | 0,000 <sup>b</sup> |
| Artık     | 2922,477        | 36 | 81,180        |        |                    |
| Toplam    | 13678,775       | 39 |               |        |                    |

Model-1' e yönelik elde edilen bulgular ve yorumlar şu şekildedir;

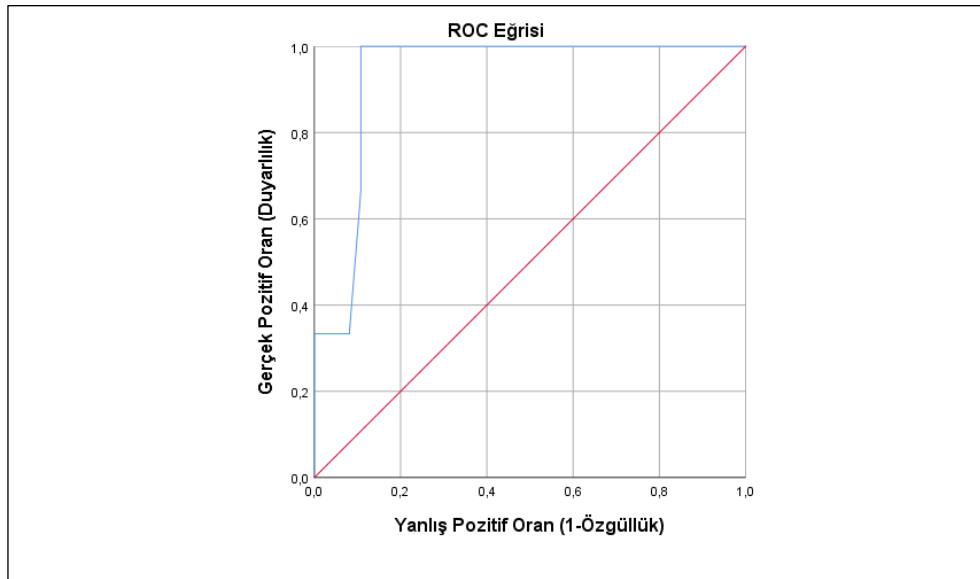
- Değişken sayısı birden fazla olduğu için ayarlanmış R<sup>2</sup> = 0,77 değeri üzerinden değerlendirme yapılır. Regresyon modelinde kullanılan bağımsız değişkenler (Red, Green ve Blue bantlar) toplam varyasyonu %77 oranında açıklayabilmektedir. Geri kalan %23' lük kısım ise bilinmeyen sebeplerden meydana gelmektedir.
- Ayarlanmış R<sup>2</sup> değeri 0,7 – 0,9 arasında olduğundan PM<sub>10</sub> ile Red, Green ve Blue bantları arasında yüksek derecede ilişki bulunmaktadır.
- Model-1 regresyon özeti tablosunda yer alan ve modelde otokolerasyon olup olmadığını test eden Durbin-Watson değeri 1,284 olarak hesaplanmıştır. İdeal ölçekte 2' ye yakın olması beklenmektedir. Gerçek dünya ve çalışma kapsamında kullanılan veriler dikkate alındığında atık terimler arasında çok yüksek bir kolerasyon olmadığı yorumlanmaktadır.
- Anova tablosu kurulan regresyon modelinin anlamlı olduğunu ifade etmektedir. Tabloda yer alan Sig. değerinin 0.05' den az olması oluşturulan modelin anlamlılığını göstermektedir.

#### 4.4 Doğruluk Analizi

Üretilen her iki haritanın doğruluk analizi, model öncesi PM<sub>10</sub> değerleri bilinen ve %20 rastgele seçilen test noktaları ile karşılaştırılarak ve ROC (Receiver Operating Characteristic) eğrileri çizilerek gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre ROC eğrisi altında kalan %90,6 ve %93,2 alan değerleri harita doğruluklarını göstermektedir. Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de ROC eğrileri gösterilmiştir.

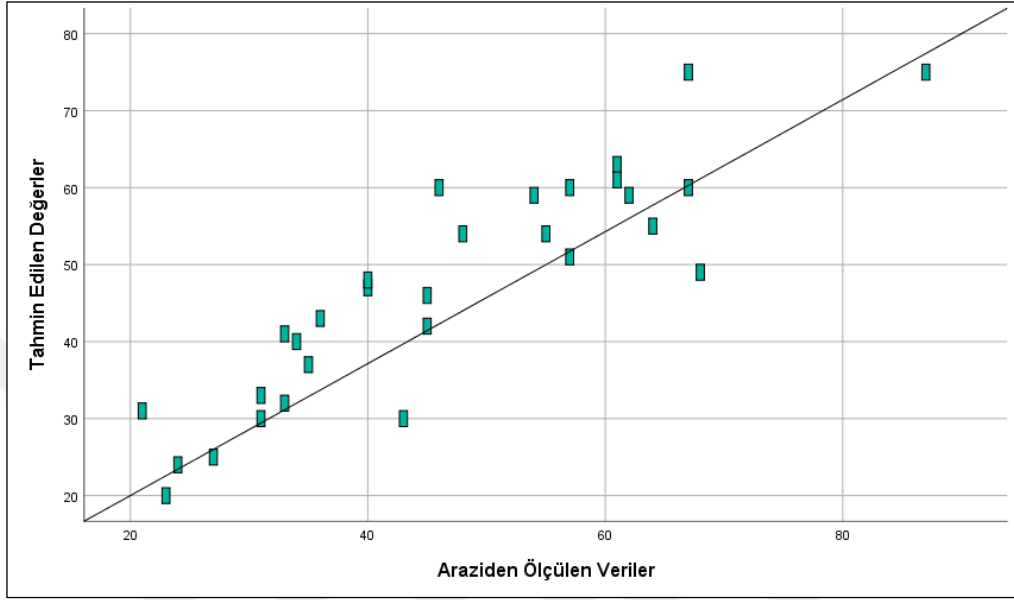


Şekil 4. 7. Birinci analiz sonucu üretilen ROC eğrisi.

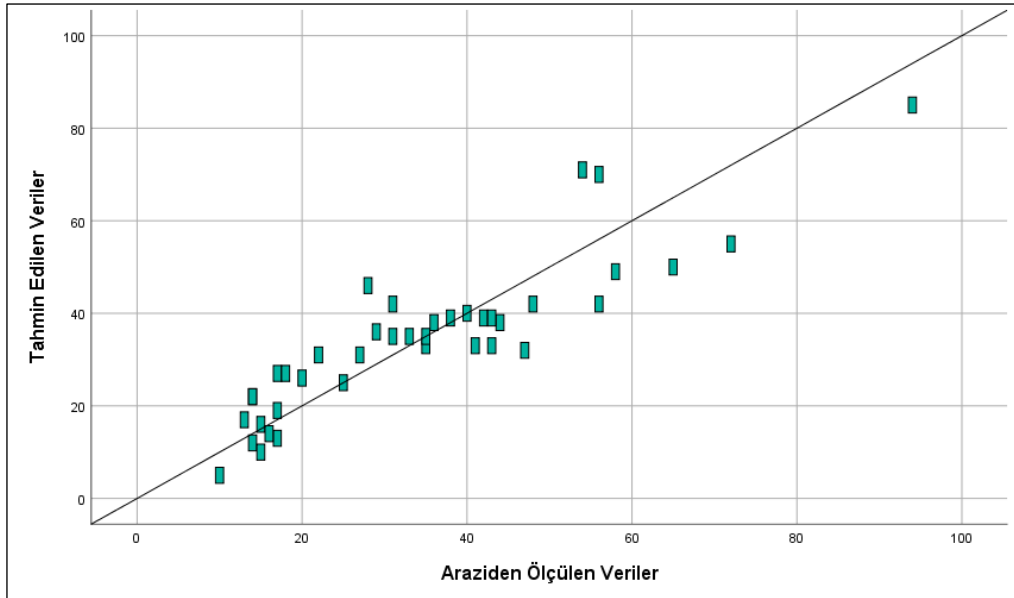


Şekil 4. 8. İkinci analiz sonucu üretilen ROC eğrisi.

Doğruluk analizi ile elde edilen sonuçlar çalışma için yeterli doğruluğa ulaşıldığını göstermektedir. Arazide ölçülen  $PM_{10}$  değerleri ile regresyon analizi sonucunda elde edilen  $PM_{10}$  değerlerinin dağılımı ise sırasıyla Şekil 4.9 ve Şekil 4.10' da gösterilmiştir.



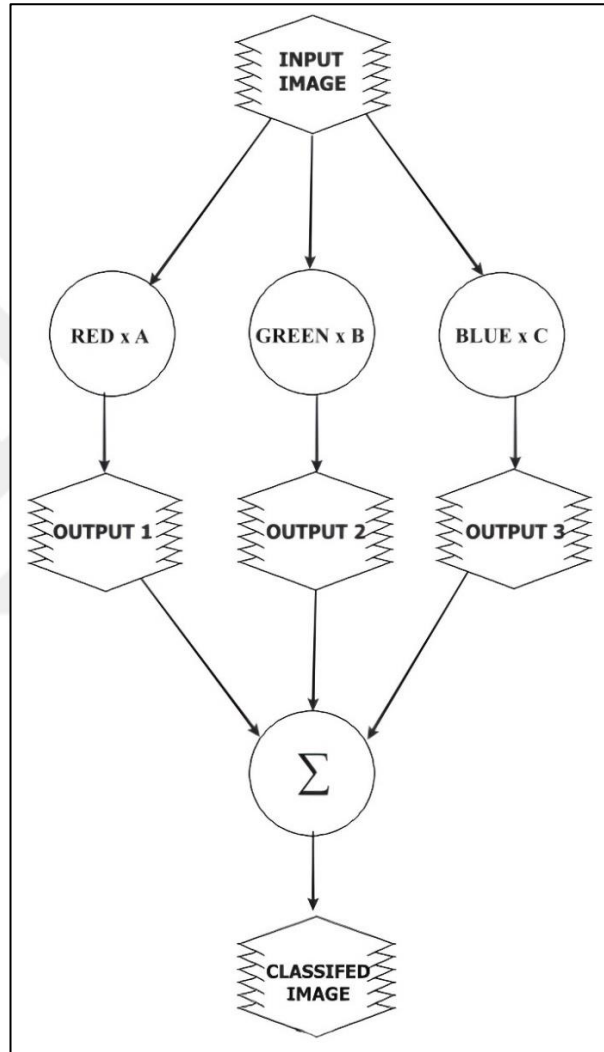
Şekil 4. 9. Model-1 nokta dağılımı.



Şekil 4. 10. Model-2 nokta dağılımı.

#### 4.5 Model Oluşturma

Regresyon analizinde kullanılan Red, Green ve Blue bantlarının belirli oranlarda  $PM_{10}$  değerine katkısı bulunmaktadır. Bu oranların tespiti regresyon analizi sonucunda elde edilen katsayılar ile mümkündür. Katsayılar kullanılarak Erdas Imagine yazılımında model oluşturulmuştur. Şekil 4.11’ de model akış Şeması gsterilmektedir.

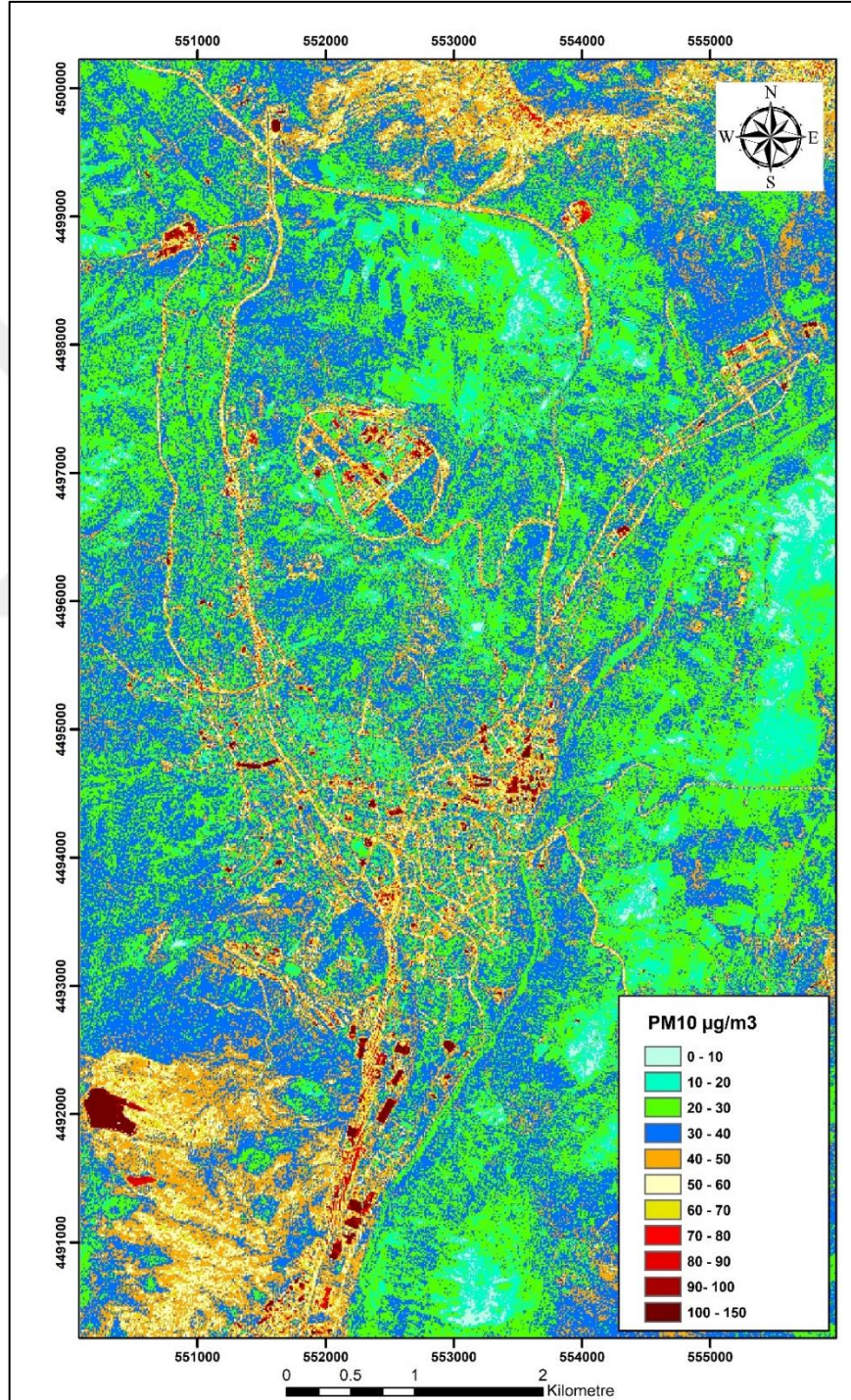


Şekil 4. 11. Model akış Şeması.

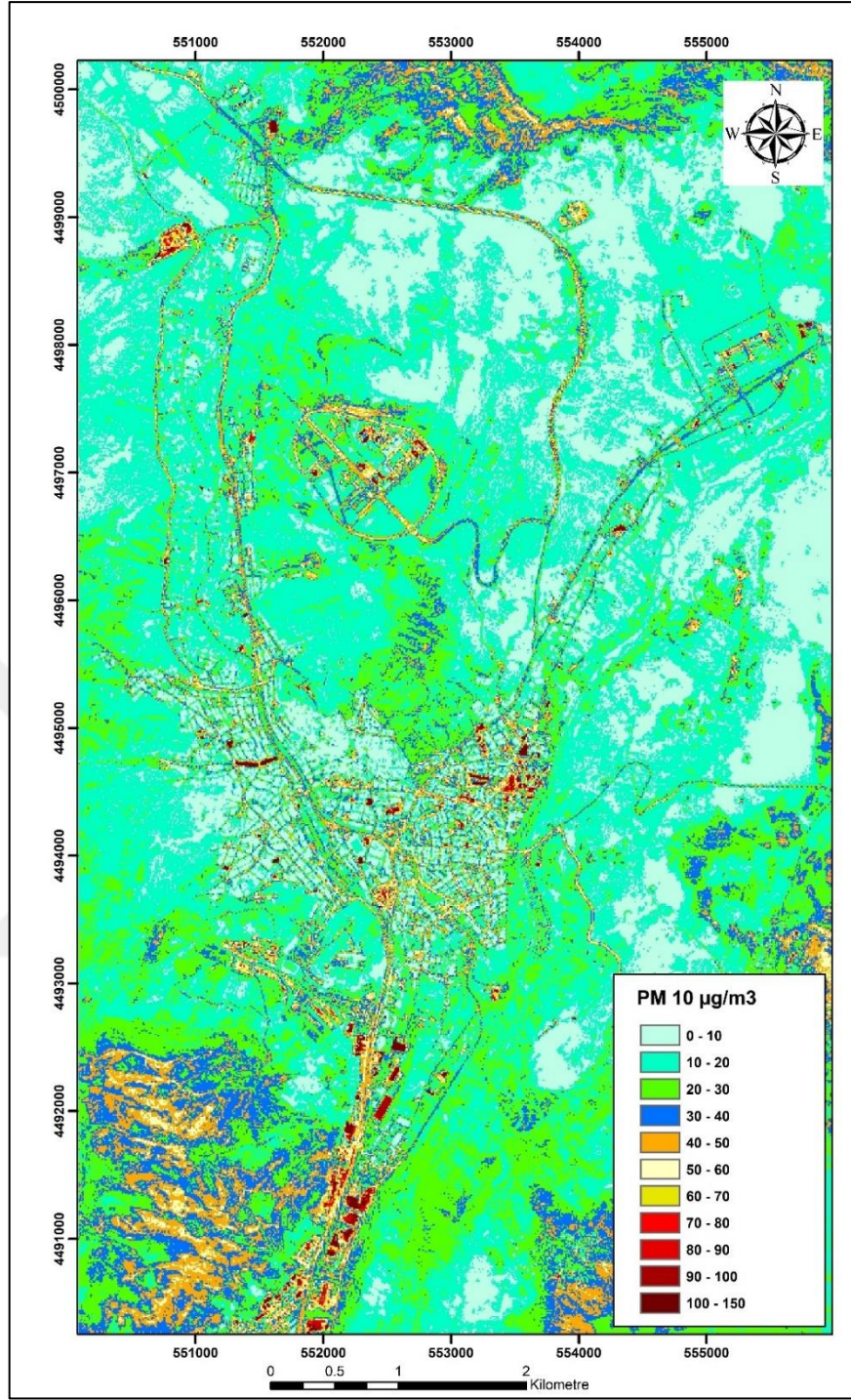
Her iki uydu gdrntüsü için aynı model akışı kullanılmış olup yalnızca regresyon analizi sonucunda elde edilen katsayılar değişiklik gstermektedir. Kurulan modelin ilk girdi verisi çalışma alanına gbre kesilen Sentinel-2 uydu gdrntüsüdür. Regresyondan elde edilen katsayıların red, green ve blue bantlar ile çarpılması ile toplamda 3 işlem gerçekleştirilmiştir. Bu işlemler sonucunda elde edilen 3 çıktı verisi toplanarak sonuç urün olan  $PM_{10}$  ilişkili uydu gdrntüsüne ulaşılmıştır.

#### 4.6 Tematik Haritaların Üretilmesi

Model sonucunda elde edilen  $PM_{10}$  ilişkili uydu görüntüleri ArcGIS yazılımında görselleştirilerek çalışma alanına ait tematik haritalar üretilmiştir. Şekil 4.12' de 22.11.2021 tarihli uydu görüntüsünden, Şekil 4.13' de ise 16.04.2022 tarihli uydu görüntüsünden elde edilen  $PM_{10}$  ilişkili tematik haritalar gösterilmektedir.



Şekil 4. 12. 22.11.2021 tarihli  $PM_{10}$  ilişkili tematik harita.



Şekil 4. 13. 16.04.2022 tarihli PM<sub>10</sub> ilişkili tematik harita.

22.11.2021 tarihli uydu görüntüsünden üretilen PM<sub>10</sub> ilişkili tematik haritada şehir merkezinin PM<sub>10</sub> yoğunluğu 20 – 50 µg/m<sup>3</sup> ve 50 - 100 µg/m<sup>3</sup> arasında değişmekteyken, trafik akışının yoğun olduğu şehirler arası yollarda 40 – 70 µg/m<sup>3</sup>, küçük sanayi sitesi ve yakın bölgesinde ise 40 – 70 µg/m<sup>3</sup> ve 70 – 150 µg/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Üretilen tematik haritada sanayi alanları, D-765 karayolu ve şehir

merkezinin bazı bölümlerinde hava kirliliği yüksek çıkmıştır. Şehir alanlarında yüksek çıkan  $PM_{10}$  seviyeleri fosil yakıt kullanımından, küçük sanayi sitesi ve yakın çevresindeki yüksek seviyeler ise bölge içerisinde faaliyetlerini sürdüren endüstriyel tesislerden kaynaklanmaktadır. D-765 gibi şehirler arası karayolundaki yüksek konsantrasyonların sebebi ise araç emisyonlarıdır.

16.04.2022 tarihli uydu görüntüsünden üretilen  $PM_{10}$  ilişkili tematik haritada şehir merkezinin  $PM_{10}$  yoğunluğu  $0 - 30 \mu g/m^3$  aralığındayken, trafik akışının yoğun olduğu şehirler arası yollarda  $30 - 70 \mu g/m^3$ , küçük sanayi sitesi ve yakın çevresinde ise  $30 - 70 \mu g/m^3$  ve  $70 - 150 \mu g/m^3$  arasında değişmektedir. Üretilen tematik haritada beklendiği üzere sanayi bölgelerinde hava kirliliği yüksek çıkmıştır. Küçük sanayi sitesi ve yakın bölgelerinde  $PM_{10}$  konsantrasyonundaki yükseklik bölge içerisinde faaliyetlerini sürdüren endüstriyel tesislerden kaynaklanmaktadır.

Üretilen her iki tematik haritada  $PM_{10}$  seviyelerinin yüksek olduğu alanlar benzerlik göstermektedir. Bu durum sonuç ürün olarak elde edilen tematik haritaların tutarlı olduğunu göstermektedir. Çalışma alanı sınırları içerisinde bazı alanlarda  $PM_{10}$  seviyelerinin  $100 \mu g/m^3$ ' ten fazla olduğu ve  $PM_{10}$  sınır değerlerinin aşıldığı anlaşılmaktadır.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada Çankırı ili kent merkezi sınırları içerisinde Sentinel-2 uydu görüntüleri ile  $PM_{10}$  konsantrasyonlarının tespiti için 2 arazi çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Sentinel-2 uydu görüntülerinin red, green ve blue bant kombinasyonları kullanılmıştır. Yersel çalışmalar ile elde edilen  $PM_{10}$  örneklerinin uydu görüntüsüne ait bantlarla olan ilişkisi çoklu regresyon analiziyle kurulmuştur. Uygulama kapsamında gerçekleştirilen regresyon analizlerinden elde edilen korelasyon katsayıları sırasıyla 0,80 ve 0,79' dur. Analiz sonuçları çalışma için yeterli doğruluğa ulaşıldığını göstermektedir.

22.11.2021 tarihli uydu görüntüsü kullanılarak üretilen  $PM_{10}$  ilişkili tematik haritada küçük sanayi sitesi ve çevresi yüksek  $PM_{10}$  konsantrasyonuna ( $40 - 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sahiptir. Bu alanların bazı bölümlerinde  $PM_{10}$  seviyesinin Hava Kalitesi İndeks değerlerinde yer alan limit değeri aştığı saptanmıştır. Bölgede faaliyetlerini sürdüren endüstriyel tesislerden salınan PM limit değerinin aşılmasına sebep olmaktadır. Şehir merkezinde  $PM_{10}$  seviyeleri ( $20 - 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) arasında değişim göstermektedir. Bazı bölgelerde Hava Kalitesi İndeks değerlerinde yer alan limit değerinden yüksek çıkan  $PM_{10}$  seviyeleri çalışma tarihi ve şehir iklim koşulları göz önünde bulundurulduğunda ısınma amaçlı fosil yakıt kullanımındaki artış ile açıklanabilmektedir.

16.04.2022 tarihli uydu görüntüsü kullanılarak üretilen  $PM_{10}$  ilişkili tematik haritada küçük sanayi sitesi ve çevresinde bazı alanlar yüksek  $PM_{10}$  konsantrasyonuna ( $30 - 70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ve ( $70 - 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sahiptir. Bu alanların bazı bölümlerinde  $PM_{10}$  seviyesinin Hava Kalitesi İndeks değerlerinde yer alan limit değeri aştığı saptanmıştır. Bölgede faaliyetlerini sürdüren endüstriyel tesislerden salınan PM limit değerinin aşılmasına sebep olmaktadır. Küçük sanayi sitesi ve çevresindeki  $PM_{10}$  seviyelerinin iki farklı tarihte üretilen tematik haritaların her ikisinde de benzer seviyelerde çıkması söz konusu alanda sürdürülen faaliyetlerin mevsimsel koşullardan bağımsız olduğunu göstermektedir. Şehir merkezinde  $PM_{10}$  seviyeleri ( $0 - 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) aralığında gözlemlenmiştir. Hava Kalitesi İndeks değerlerine göre normal seviyeler olarak kabul gören bu aralık çalışma tarihi göz önünde bulundurulduğunda ısınma amaçlı fosil yakıt kullanımındaki azalma ile açıklanabilmektedir.

Jeoistatistiksel bir yöntem olan kriging enterpolasyon yöntemi ile yersel çalışmaların yapıldığı 20.11.2021 ve 13.04.2022 tarihleri için üretilen her iki tematik haritada  $PM_{10}$  seviyelerinin yüksek olduğu alanların benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Bu durum kriging yöntemi ile üretilen tematik haritaların tutarlı olduğunu göstermektedir. 20.11.2021 tarihli tematik haritadaki  $PM_{10}$  seviyesinin 13.04.2022 tarihli tematik haritaya göre daha yüksek seviyelerde olduğu saptanmıştır. İki çalışma arasındaki mevsimsel farklılık ve çalışma alanının iklim koşulları göz önünde bulundurulduğunda 20.11.2021 tarihli tematik haritadaki yüksek seviyeler ısınma amaçlı fosil yakıt kullanımından kaynaklanmaktadır. Ayrıca yersel çalışmalara dayalı üretilen her iki tematik harita Sentinel-2 uydu görüntüsü ile üretilen tematik haritalar ile karşılaştırılmıştır. Uydu görüntülerinin kirletici parametrelerin tespitine olumlu yönde katkı sağladığı ve uydu görüntüsü ile üretilen tematik haritaların daha detaylı ve anlamlı sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır.

Ayrıca çalışma alanına Kuzey Afrika üzerinden toz taşınımı bulunup bulunmadığı araştırılmış olup 20.11.2021 ve 13.04.2022 tarihlerinde  $PM_{10}$  seviyelerine etki edebilecek herhangi bir taşınımın olmadığı çalışmanın meteorolojik veriler bölümünde taşınım haritaları ile desteklenmiştir.

Çalışma sonuçları ile elde edilen veriler Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığına ait Çankırı ili sabit hava kalitesi izleme istasyonundan temin edilen veriler ile karşılaştırılmıştır. Her iki çalışma sonucunun da sabit istasyon ölçümleri ile tutarlı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

## 5.2 Öneriler

Uydu görüntüleri ile  $PM_{10}$  konsantrasyonlarının tespitine yönelik gerçekleştirilen bu çalışmada portatif örnekleme metodu kullanılmıştır. Daha fazla noktadan ve uydu görüntüleri ile eş zamanlı olarak  $PM_{10}$  örneklerinin toplanması ile ya da farklı örnekleme metotları tercih edilerek çalışma doğruluğu yükseltilebilir.

Çankırı ilinin dağ ve tepeler ile çevrili coğrafi yapısı ve küçük bir alandaki sıkışık yerleşimi şehir merkezinde hava sirkülasyonuna izin vermemektedir. Şehir planlaması ile kent merkezinde hava akışına izin verecek şekilde koridorlar oluşturularak hava akışını engelleyen yapılaşma düzeninin önüne geçilebilir.

Bölgede ulaşım kaynaklı hava kirliliğine sebep olan trafik akışının yoğun olduğu D-765 karayolunun kent merkezinden uzaklaştırılması ve şehirler arası bağlantının

alternatif çevre yolu yardımıyla kurulması ile yaşam alanlarında hava kalitesinin artması beklenmektedir.

Taş ocakları, mermer atölyeleri gibi toz oluşumuna sebep olan tesisler ve sanayi tesisleri gibi PM<sub>10</sub> kirliliğini artıran faaliyet alanlarının kent merkezinden uzaklaştırılması yönünde hayata geçirilecek imar düzenlemeleri ve altyapı çalışmaları ile yaşam alanlarının hava kalitesi iyileştirilebilir.

Konut ve işyerlerindeki yakıt kullanımına yönelik yazılı (kitap, broşür) ve görsel (video klip, sosyal medya) bilinçlendirme etkinlikleri yapılarak halkın yenilenebilir enerji kaynaklarına ve doğal gaz kullanımına yönelmesi ile fosil yakıt kullanımına bağlı gelişen hava kirliliğinin önüne geçilebilir.

Hava Kalitesi İndeks değerlerine göre PM<sub>10</sub> limitinin aşıldığı alanlarda PM<sub>10</sub> seviyelerinin düzenli olarak ölçülmesi ve düşürülmesine yönelik gerekli çalışmaların yapılması gerekmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

- [1] World Health Organization (WHO), 9 out of 10 People Worldwide Breathe Polluted Air (2018). <https://www.who.int/news-room/detail/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action> (Erişim: Haziran 13, 2022).
- [2] K.H. Kim, E. Kabir, S. Kabir, A Review on the Human Health Impact of Airborne Particulate Matter, *Environment International*. 74 (2015) 136–143.
- [3] B.J. Finlayson-Pitts, J.N. Pitts Jr, Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere: Theory, Experiments and Applications, *Academic Press*, San Diego, CA, 2000.
- [4] U. Dorjsuren, İstanbul Üniversitesi Avcılar Yerleşkesi'nde Solunabilir Partikül Maddenin Boyut Dağılımının ve Element İçeriğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.
- [5] A. Müezzinoğlu, Hava Kirliliği ve Kontrolünün Esasları, *Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları*, 1987.
- [6] M. El-Fadel, M. Massoud, Particulate Matter in Urban Areas: Health-Based Economic Assessment, *Science of The Total Environment*. 257 (2000) 133–146.
- [7] P. Mathys, C. Oetterli, W.B. Stern, L. Oglesby, M. Hazenkamp-Von Arx, N. Künzli, Elemental Analysis of PM<sub>2.5</sub> Samples Collected In The Framework Of The ECRHS II Study. Work Package 7 Description of The Methods, 2001.
- [8] F. Fernández Álvarez, M. Ternero Rodríguez, A.J. Fernández Espinosa, A. Gutiérrez Dabán, Physical Speciation of Arsenic, Mercury, Lead, Cadmium and Nickel in Inhalable Atmospheric Particles, *Analytica Chimica Acta*. 524 (2004) 33–40.
- [9] M. Tasic, S. Rajsic, V. Novakovic, Z. Mijic, Atmospheric Aerosols and Their Influence on Air Quality in Urban Areas, *Facta universitatis-series: Physics, Chemistry and Technology*. 4 (2006) 83–91.
- [10] A. Özbeyaz, F. Tufaner, Y. Demirci, Partikül Madde ile İlişkili Görüntüleri Kullanarak Hava Kirliliği Tahminine Ait Bir Model Tasarımı (A Model of Air Pollution Estimation Using Atmosphere Images Correlated with PMs), *I. Uluslararası Akdeniz Bilim ve Mühendislik Kongresi*. (2016) 969–975.
- [11] S. Munir, Analysing Temporal Trends in the Ratios of PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> in the UK, *Aerosol and Air Quality Research*. 17 (2017) 34–48.
- [12] B. Onat, Ü. Şahin, B. Stakeeva, P. Karim, T. Ceran, İstanbul Metrosunda PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2.5</sub> Konsantrasyonlarının Belirlenmesi, *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*. (2009) 659–669.

- [13] A.J. Cohen, H.R. Anderson, B. Ostro, K.D. Pandey, M. Krzyzanowski, N. Künzli, K. Gutschmidt, A. Pope, I. Romieu, J.M. Samet, K. Smith, Urban Air pollution, Comparative Quantification of Health Risks, Global and Regional Burden of Disease Attributable to Selected Major Factors, *Journal of Toxicology and Environmental Health-Part A*. 2 (2005) 433–1354.
- [14] L. Perez, L. Grize, D. Infanger, N. Künzli, H. Sommer, G.-M. Alt, C. Schindler, Associations of Daily Levels of PM10 and NO2 with Emergency Hospital Admissions and Mortality in Switzerland: Trends and Missed Prevention Potential Over the Last Decade, *Environmental Research*. 140 (2015) 554–561.
- [15] J.O. Anderson, J.G. Thundiyil, A. Stolbach, Clearing the Air: A Review of the Effects of Particulate Matter Air Pollution on Human Health, *Journal of Medical Toxicology*. 8 (2012) 166–175.
- [16] G. Çakır Sümer, Hava Kirliliği Kontrolü: Türkiye’de Hava Kirliliğini Ön-Lemeye Yönelik Yasal Düzenlemelerin ve Örgütlenmelerin İncelenmesi, *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*. 0 (2014) 37–56.
- [17] A. Parker, Air Pollution Legislation: Standarts and Enforcement, Geneva, 1961.
- [18] Y. Awe, J. Nygard, S. Larssen, H. Lee, H. Dulal, R. Kanakia, Enhancing the World Bank’s Approach to Air Quality Management, 2015.
- [19] IQAir, World Air Quality Report Region & City PM2.5 Ranking, 2021.
- [20] T. Haksevenler, İstanbul’da Farklı İç Ortamlarda Hava Kalitesinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [21] Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Çevresel Etki Değerlendirmesi İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü (ÇEDİDGM), Hava Kalitesi Bülteni, Ankara, 2022.
- [22] D. Tanre, P.Y. Deschamps, C. Devaux, M. Herman, Estimation of Saharan Aerosol Optical Thickness from Blurring Effects in Thematic Mapper Data, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 93 (1988) 15955–15964.
- [23] A. Retalis, C. Cartalis, E. Athanassiou, Assessment of the Distribution of Aerosols in the Area of Athens with the Use of Landsat Thematic Mapper Data, *International Journal of Remote Sensing*. 20 (1999) 939–945.
- [24] H.S. Lim, M.Z. Matjafri, K. Abdullah, C.J. Wong, Air Pollution Determination Using Remote Sensing Technique, in: G. Jedlovec (Ed.), *Advances in Geoscience and Remote Sensing, InTech*, (2009) 72–89.
- [25] D.G. Hadjimitsis, A. Nisantzi, K. Themistocleous, A. Matsas, V. Trigkas, Satellite Remote Sensing, GIS and Sun-Photometers for Monitoring PM10 in Cyprus: Issues on Public Health, in: *Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites XIV, SPIE*, 2010.

- [26] N. Othman, M.Z. Mat Jafri, L.H. San, Estimating Particulate Matter Concentration over Arid Region Using Satellite Remote Sensing: A Case Study in Makkah, Saudi Arabia, *Modern Applied Science*. 4 (2010).
- [27] A. Shaheen, A.A. Kidwai, N.U. Ain, M. Aldabash, A. Zeeshan, Estimating Air Particulate Matter 10 Using Landsat Multi-Temporal Data and Analyzing its Annual Temporal Pattern over Gaza Strip, Palestine, *Journal of Asian Scientific Research*. 7 (2017) 22–37.
- [28] Z. Li, D.P. Roy, H.K. Zhang, E.F. Vermote, H. Huang, Evaluation of Landsat-8 and Sentinel-2A Aerosol Optical Depth Retrievals Across Chinese Cities and Implications for Medium Spatial Resolution Urban Aerosol Monitoring, *Remote Sensing*. 11 (2019).
- [29] B. Zhang, M. Zhang, J. Kang, D. Hong, J. Xu, X. Zhu, Estimation of PM<sub>x</sub> Concentrations from Landsat 8 OLI Images Based on a Multilayer Perceptron Neural Network, *Remote Sensing*. 11 (2019) 646.
- [30] C.W. Chen, Y.S. Tseng, A. Mukundan, H.C. Wang, Air pollution: Sensitive Detection of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> Concentration Using Hyperspectral Imaging, *Applied Sciences (Switzerland)*. 11 (2021).
- [31] N. Sifakis, Mapping of Air Pollution Using SPOT Satellite Data, 1992.
- [32] M. Tulloch, J. Li, Applications of Satellite Remote Sensing to Urban Air-Quality Monitoring: Status and Potential Solutions to Canada, *Environmental Informatics Archives*. 2 (2004) 846–854.
- [33] P. Gupta, S.A. Christopher, J. Wang, R. Gehrig, Y. Lee, N. Kumar, Satellite Remote Sensing of Particulate Matter and Air Quality Assessment Over Global Cities, *Atmospheric Environment*. 40 (2006) 5880–5892.
- [34] J. Harbula, Dependence of PM<sub>10</sub> Particles Concentration on Aerosol Optical Thickness Value from the MODIS Data, (2010).
- [35] J. Gao, Y. Zha, Meteorological Influence on Predicting Air Pollution from MODIS-Derived Aerosol Optical Thickness: A Case Study in Nanjing, China, *Remote Sensing*. 2 (2010) 2136–2147.
- [36] J. Harbula, V. Kopacková, Air Pollution Detection Using MODIS Data, in: U. Michel (Ed.), *Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications II*, SPIE, 2011.
- [37] N.H. Nguyen, V.A. Tran, Estimation of PM<sub>10</sub> from Aot of Satellite Landsat 8 Image over Hanoi City, in: *International Symposium on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences*, 2014.
- [38] L. Li, J. Yang, Y. Wang, Retrieval of High-Resolution Atmospheric Particulate Matter Concentrations from Satellite-Based Aerosol Optical Thickness over the Pearl River Delta Area, China, *Remote Sensing*. 7 (2015) 7914–7937.

- [39] T. Thi Van, N. Hang Hai, V. Quoc Bao, H. Duong Xuan Bao, Remote Sensing-Based Aerosol Optical Thickness for Monitoring Particular Matter over the City, *Proceedings*. 2 (2018) 362.
- [40] A. Vashisht, S. Somvanshi, Use of Remote Sensing Technique in Air Quality Modeling of Delhi Region, in: *19th Esri India User Conference*, 2018.
- [41] H.İ. Gündüz, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Entegrasyonu İle Aksaray İli Hava Kalitesi Haritasının Oluşturulması, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018.
- [42] H. Jafarian, S. Behzadi, Evaluation of PM<sub>2.5</sub> Emissions in Tehran by Means of Remote Sensing and Regression Models, *Pollution*. 6 (2020) 521–529.
- [43] G. Kaplan, Z. Yiğit Avdan, Space-Borne Air Pollution Observation From Sentinel-5p Tropomi: Relationship Between Pollutants, Geographical And Demographic Data, *International Journal of Engineering and Geosciences*. 5 (2020) 130–137.
- [44] S. Alsultan, C.J. Wong, H.S. Lim, M.Z. MatJafri, K. Abdullah, S.A. Hashim, N.M. Salleh, Remote Sensing of PM<sub>10</sub> Concentration Measurement by Internet Protocol Camera, in: 2021.
- [45] D. Vallero, Fundamentals of Air Pollution, 5th ed., *Elsevier*, 2014.
- [46] F. Kök, Kentlerde Hava Kirliliğini Önleyecek ya da Azaltacak Yöntem İçin Verilerin Toplanması ve Değerlendirilmesi, *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, Sayı. 1 (2018) 145–157.
- [47] J. Rovira, J.L. Domingo, M. Schuhmacher, Air quality, health impacts and burden of disease due to air pollution (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>): Application of AirQ+ model to the Camp de Tarragona County (Catalonia, Spain), *Science of the Total Environment*. 703 (2020).
- [48] S. Özer, Bursa’da Hava Kirliliği Sorunu ve Alternatif Enerji Kaynakları, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2003.
- [49] P. Zannetti, Air Pollution Modeling: Theories, Computational Methods and Available Software, *Springer Science & Business Media.*, 2013.
- [50] J.A. Bernstein, N. Alexis, C. Barnes, I.L. Bernstein, A. Nel, D. Peden, D. Diaz-Sanchez, S.M. Tarlo, P.B. Williams, J.A. Bernstein, Health effects of air pollution, *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 114 (2004) 1116–1123.
- [51] T. Godish, Air Pollution, 4., *Levis Publishers, CRC Press*, U.S.A, 2004.
- [52] R.W. Boubel, D.L. Fox, D.B. Turner, A.C. Stern, Fundamentals of Air Pollution, 3rd ed., 1994.

- [53] Scotland's Environment, Sources of Air Pollution Clean Air for Scotland, (2017). <https://www.environment.gov.scot/our-environment/air/air-quality> (Erişim: Haziran 16, 2022).
- [54] Ö. Çınar, Çevre Kirliliği ve Kontrolü, *Nobel Yayıncılık*, Ankara, 2008.
- [55] E. Demirel, Erzurum Kent Atmosferindeki Polislik Aromatik Hidrokarbonların (PAH) Örnekleme ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [56] C. Yücedağ, L. Gürkan KAYA, Hava Kirleticilerin Bitkilere Etkileri, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 7 (2016) 67–74.
- [57] M.T. Ozdemir, S. Ertas, Çöl Tozu Taşınımlarının Partiküler Madde Konsantrasyonu Üzerine Etkisi: Ankara İli Örneği, *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*. 68 (2011) 23–34.
- [58] J.C. Chow, Critical Review: Measurement Methods to Determine Compliance with Ambient Air Quality Standards for Suspended Particles, *J. Air Waste Manage.* 45 (1995) 320–382.
- [59] C.D. Ahrens, Essentials of Meteorology An Invitation to the Atmosphere, İkinci Baskı, *Brook/Cole Publishing Company*, USA, 2000.
- [60] Abcdust, How Large is a Corona Virus Virion Compared to the PM10-2.5, (2020). <https://abcdust.net/how-large-is-a-corona-virus-virion-compared-to-the-mp10-2-5/> (Erişim: Haziran 2, 2022).
- [61] İ. Gül, Edirne Merkez İlçede Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Hava Kalitesi İzleme İstasyonunda Ölçülen Partiküler Madde 10 (Pm10) Bileşiminin Araştırılması, Uzmanlık Tezi, Trakya Üniversitesi, Tıp Fakültesi, 2018.
- [62] M. Özkütükçü, Keşan İlçesinde Hava Kalitesi İzleme İstasyonunda Ölçülen Pm10 ve Pm2.5 İçeriğinin Araştırılması, Uzmanlık Tezi, Trakya Üniversitesi, Tıp Fakültesi, 2021.
- [63] Z. Bozkurt, PM10 ve PM2.5 Boyutundaki Atmosferik Partiküllerin Bölgesel, Mevsimsel Değişimlerinin ve Meteorolojik Parametrelerle İlişkilerinin İncelenmesi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*. 6 (2018) 1305–1320.
- [64] J. Watson, J. Chow, Reconciling Urban Fugitive Dust Emissions Inventory and Ambient Source Contribution Estimates: Summary of Current Knowledge and Needed Research, (2000).
- [65] T. Ayvaz Kahramantekin, Atmosferik Partiküllerde İyon Analizi ve İstatistiksel Değerlendirme, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.

- [66] Encyclopedia of the Environment, Lung Penetration of Particles, (2019). <http://www.encyclopedie-environnement.org/en/health/airborne-particulate-health-effects/> (Erişim: Ocak 4, 2022).
- [67] U. Pöschl, Atmospheric Aerosols: Composition, Transformation, Climate and Health Effects, *Angewandte Chemie International Edition*. 44 (2005) 7520–7540.
- [68] World Health Organization (WHO), Health Effects of Particulate Matter (Policy Implications for Countries in Eastern Europe, Caucasus and Central Asia), 2013.
- [69] M. Öztürk, Hava Kirliliğinin Halk Sağlığı Üzerine Etkisi, Ankara, 2008.
- [70] T.C Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Ulusal Hava Kalitesi İndeksi Kesme Noktaları, (2022). <https://sim.csb.gov.tr> (Erişim: Ocak 2, 2022).
- [71] T.C Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, EPA Hava Kalitesi İndeksi, (2022). <https://sim.csb.gov.tr/> (Erişim Haziran 20, 2022).
- [72] F. Kunt, Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağları Yöntemleri Kullanılarak Konya İl Merkezi Hava Kirliliği Modellenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014.
- [73] H. Tekin, F.Ö. Helvacı, Orman Ekosistemleri Açısından Hava Kalitesinin İzlenmesi, Önemi ve Yöntemleri, in: *I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, Bildiriler kitabı*, 2014: pp. 343–351.
- [74] J.L. McKernan, D.W. Grosse, R. Truesdale, H. Hayes, H. Dawson, T. McAlary, C. Lutes, Passive Samplers for Investigations of Air Quality: Method Description, Implementation, and Comparison to Alternative Sampling Methods, 2015.
- [75] C. Yeşilyurt, N. Akcan, Hava Kalitesi İzleme Metodolojileri ve Örneklem Kriterleri, *Sağlık Bakanlığı Refik Saydam Hıfzıssıhha Merkezi Başkanlığı Çevre Sağlığı Araştırma Müdürlüğü*, Ankara, 2001.
- [76] E. Yılmaz, Çözücü Kullanan İşyerlerinin İç Ortam Havasında Uçucu Organik Bileşiklerin Pasif Örnekleme ile Tayini ve İzlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü, 2011.
- [77] Z. Bozkurt, İç Ortam Havasında Eser Elementler ve İnorganik Gaz Kirleticilerin Düzeylerinin, Kaynaklarının ve Sağlık Etkilerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [78] H.İ. Hacıoğlu, Kütahya Bölgesinde Hava Kalitesi İzleme İstasyonları İçin Yer Seçimi Ve İstasyonlarda Ölçülen Kirleticilerin Zamansal Değişimleri, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.
- [79] İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Çevre Koruma ve Kontrol Daire Başkanlığı, PM Ölçüm Cihazları <https://havakalitesi.ibb.gov.tr/Icerik/hakkimizda/olcum-cihazlari> (Erişim: Ocak 4, 2022).

- [80] T. Kavzoğlu, İ. Çölkesen, Uzaktan Algılama Teknolojileri ve Uygulama Alanları, (2011).
- [81] K.K. Shandilya, S.P. Shukla, V. Pathak, Applications of Remote Sensing, in: *Nova Science Publishers*, Toledo, 2013.
- [82] E. Malkan İspir, Uzaktan Algılama Yöntemleri İle Köyceğiz Bölgesindeki Sığla Ormanlarının Değişim Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2000.
- [83] H. Shwan, M. Al-Khafaji, H. Ibrahim, Water Quality Assessment For Dokan Lake Using Landsat 8 Oli Satellite Images, University of Sulaimani, 2016.
- [84] T.M., Lillesand, R.W. Kiefer, J., Chipman, Remote Sensing and Image Interpretation, 5th ed., *John Wiley & Sons*, New York, 2004.
- [85] F.F., Sabins, Remote Sensing Principles and Interpretation Remote Sensing Enterprises, New York, 2000.
- [86] M.A. Davarcı, 2006-2010 Yılları Arasında Seyhan ve Yüreğir İlçelerinde Uzaktan Algılama ile Ekili Ürün Değişimi Tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.
- [87] M.V.K. Sivakumar, P.S. Roy, K. Harmsen, S.K. Saha, Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology, Geneva, 2003.
- [88] N. Musaoğlu, Elektro-Optik ve Aktif Mikrodalga Algılayıcılardan Elde Edilen Uydu Verilerinden Orman Alanlarında Meşcere Tiplerinin ve Yetişme Ortamı Birimlerinin Belirlenme Olanakları, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999.
- [89] C. Örmeci, Uzaktan Algılama (Temel Esaslar ve Algılama Sistemleri), *İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası*, İstanbul, 1987.
- [90] S. Ekercin, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Entegrasyonu İle Tuz Gölü ve Yakın Çevresinin Zamana Bağlı Değişim Analizi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [91] Ö. Kayman, Spektral İndekslerin Arazi Örtüsü/Kullanımı Sınıflandırmasına Etkisi: İstanbul, Beylikdüzü İlçesi, Arazi Kullanımı Değişimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.
- [92] W.G. Rees, Physical Principles of Remote Sensing (Topics in Remote Sensing), 1st ed., *Cambridge University Press*, 1990.
- [93] D.P., Paine, J.D., Kiser, Aerial Photography and Image Interpretation, 2nd ed., *John Wiley & Sons Pres*, New Jersey, 2003.
- [94] S. Ekercin, Meriç Nehri Kıyı Çizgisi ve Deltasının Uydu Verileri Yardımı ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2000.

- [95] M.D., Akça, S. Doğan, Sayısal Görüntülerde Ana Bileşenler Dönüşümü (The Principal Components Transformation on Digital Images), *Harita Dergisi*. (2002) 1–15.
- [96] E.R., Stoner, Baumgardner M.F., Characteristic Variations in Reflectance of Surface Soil, *Purdue Universty Press*, 1980.
- [97] E., Fitzgerald, Multispectral Scanning Systems and Their Potential Application to Earth Resource Organization, *ESRD*. 2 (1972).
- [98] R.G. Reeves, A. Anson, D. Landen, Manual of Remote Sensing, *American Society of Photogrammetry*, 1974.
- [99] H.T. Aksoy, Çok Zamanlı Uydu Görüntü Verileriyle Kentsel Gelişim Analizi: Bursa Osmangazi Belediyesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2001.
- [100] National Aeronautics and Space Administration (NASA) Applied Sciences Remote Sensing Training Program, Diagram of a Passive Sensor Versus an Active Sensor, <https://earthdata.nasa.gov/learn/backgrounders/remote-sensing> (Erişim: Ocak 4, 2022).
- [101] S. Gupta, Active and Passive Remote Sensing, *Environmental Sciences*. 6 (2018).
- [102] Info Geographical Information Systems Map (IGISMAP), Active Remote Sensors, <https://www.igismap.com/what-is-remote-sensing/> (Erişim: Ocak 4, 2022).
- [103] M. Drusch, U. del Bello, S. Carlier, O. Colin, V. Fernandez, F. Gascon, B. Hoersch, C. Isola, P. Laberinti, P. Martimort, A. Meygret, F. Spoto, O. Sy, F. Marchese, P. Bargellini, Sentinel-2: ESA's Optical High Resolution Mission for GMES Operational Services, *Remote Sensing of Environment*. 120 (2012) 25–36.
- [104] D. Nakar, Sentinel-2: Multispectral Instrument (MSI) Design and System Performance, 2019.
- [105] Z. Malenovský, H. Rott, J. Cihlar, M.E. Schaepman, G. García-Santos, R. Fernandes, M. Berger, Sentinels for Science: Potential of Sentinel-1, -2, and -3 Missions for Scientific Observations of Ocean, Cryosphere, and Land, *Remote Sensing of Environment*. 120 (2012) 91–101.
- [106] F. Spoto, O. Sy, P. Laberinti, P. Martimort, V. Fernandez, O. Colin, B. Hoersch, A. Meygret, Overview of Sentinel-2, in: *2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2012: pp. 1707–1710.
- [107] G. Wiedermann, W. Gockel, S. Winkler, J. Rieber, B. Kraft, D. Reggio, The Sentinel-2 Satellite Attitude Control System - Challenges And Solutions, in: *9th International ESA Conference on Guidance, Navigation and Control System*, European Space Agency, Porto, 2014.

- [108] H. Zhang, D. Roy, L. Yan, Z. Li, H. Huang, E. Vermote, S. Skakun, J.-C. Roger, Characterization of Sentinel-2A and Landsat-8 top of Atmosphere, Surface, and Nadir BRDF Adjusted Reflectance and NDVI Differences, *Remote Sensing of Environment*. 215 (2018).
- [109] European Space Agency (ESA), Sentinel-2 User Handbook, 2015.
- [110] Earth Observing System (EOS), Sentinel-2 Satellite Bands, (n.d.) <https://eos.com/find-satellite/sentinel-2/> (Erişim: Haziran 16, 2022).
- [111] S. şahinler, En K Kareler Yöntemi ile Doğrusal Regresyon Modeli Oluşturmanın Temel Prensipleri, *MK Ziraat Fakültesi Dergisi*. 5 (2000) 57–73.
- [112] C. zcan, B. Ayvaz, oklu Regresyon Yöntemi İle Tedarik Zinciri Performansı ve Uygulama Derecesinin İşletme Karlılığı zerindeki Etkisinin İncelenmesi, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 14 (2015) 1–14.
- [113] G.S. Maddala, Introduction to Econometrics, 3rd ed., *John Wiley&Sons*, New York, 2001.
- [114] N. Mahir, Pazarlama Araştırmaları, Teknikler ve SPSS Destekli Uygulamalar, *Seğkin Yayınevi*, Ankara, 2003.
- [115] M. Glerce, Eğitim ve Sağlık Yapılarında Regresyon Yöntemiyle Maliyet Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [116] Ankara Üniversitesi Açık Ders Malzemeleri, İlişkilerin Yorumu, (n.d.) [https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/2154/mod\\_resource/content/2/konu8\\_a.pdf](https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/2154/mod_resource/content/2/konu8_a.pdf) (Erişim: Ocak 8, 2022).
- [117] N.E. Gnaşdı, ok Değişkenli oklu Doğrusal Regresyon Analizinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014.
- [118] . Yıldız, M.S. Temurlenk, Ekonometrinin Temelleri, *Anadolu Üniversitesi*, Eskişehir, 2020.
- [119] S. Hamzaoğlu, oklu Regresyon Yöntemlerinde G Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.
- [120] A. Reha, Uygulamalı ok Değişkenli İstatistiksel Yöntemlere Giriş 1, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 2003.
- [121] M.S. Srivastava, E.M. Carter, An Introduction to Applied Multivariate Statistics, *Elsevier Science*, New York, 1983.
- [122] İ. eri, ok Değişkenli Regresyon Analizi (Gsm Sektöründe Bir Uygulama), Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2010.

- [123] A. Kılıçbay, Ekonometrinin Temelleri, *İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Yayını*, İstanbul, 1980.
- [124] A. Koutsoyiannis, Ekonometri Kuramı, *İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası*, İstanbul, 1992.
- [125] D.N. Gujarati, Temel Ekonometri, *Literatür Yayıncılık*, İstanbul, 2005.
- [126] T. Ertek, Ekonometriye Giriş, *Beta Yayınları*, Ankara, 2000.
- [127] C. İnal, B. Turgut, C.Ö. Yiğit, Lokal Alanlarda Jeoit Ondülasyonlarının Belirlenmesinde Kullanılan Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması, *Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu*. (2002) 16–18.
- [128] S. Köroğlu, Farklı Enterpolasyon Yöntemlerinin Hacim Hesabına Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [129] B. Nas, H. Karabork, A. Berktaş, S. Ekercin, Assessing Water Quality in the Beyşehir Lake (Turkey) by the Application of GIS, Geostatistics and Remote Sensing, 2007.
- [130] N. Kuter, Çankırı Kenti ve Çevresinin Turizm Açısından Değerlendirilmesi, *ZKÜ Bartın Orman Fakültesi Dergisi*. 9 (2007).
- [131] Shenzhen Everbest Machinery Industry Company, CEM DT-9880 Air Particle Counter, (n.d.). <https://www.cem-instruments.com/en/product-id-1284> (Erişim: Haziran 20, 2022).
- [132] P.M. Mather, M. Koch, Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introduction, 4th ed., *Wiley-Blackwell*, Chichester, 2011.
- [133] C. Ormeci, S. Ekercin, An Assessment of Water Reserve Changes in Salt Lake, Turkey, Through Multi-temporal Landsat Imagery and Real-time Ground Surveys, *Hydrological Processes*. 21 (2007) 1424–1435.
- [134] İ. Çerçi, Çok Değişkenli Regresyon Analizi (Gsm Sektöründe Bir Uygulama), Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2010.
- [135] A. Öncü Uysal, Veri Tabanı Sistemlerinde Sorgu Optimizasyonlarının Veri Analiz Teknikleriyle Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.
- [136] İ. Güçlü, Sosyal Bilimlerde Nicel Veri Analizi Örneklerle SPSS Uygulamaları ve Yorumlaması, *Gazi Kitabevi*, 2020.
- [137] G. Başol, Araştırmacılar İçin İstatistik, *Pegem Akademi Yayıncılık*, 2020.