



Türk Coğrafya Dergisi

Turkish Geographical Review

www.tcd.org.tr

Basılı ISSN 1302-5856

Elektronik ISSN 1308-9773



Kocaeli ilinde uydu verileri ve yer istasyonu ölçümlerine bağlı olarak hava kalitesinin değerlendirilmesi

Evaluation of air quality based on satellite data and ground station measurements in Kocaeli province

Mücahit Coşkun^a  Hüseyin Şahiner^b  Sohaib K.M. Abujayyab^c  Onur Canbulat^{d*} ^a Karabük Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Karabük, Türkiye.^b Sinop Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Nükleer Enerji Mühendisliği Bölümü, Sinop, Türkiye.^c Karabük Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Karabük, Türkiye.^d Fire Safety Engineering, International College for Engineering and Management, Muscat, 112, Oman.^d Karabük Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Karabük, Türkiye.

ORCID: M.C. 0000-0002-7881-6742; H.Ş. 0000-0002-3191-1590; S.A. 0000-0002-6692-3567; O.C. 0000-0002-9269-4219

BİLGİ / INFO

Geliş/Received: 24.04.2022

Kabul/Accepted: 27.10.2022

Anahtar Kelimeler:

Kocaeli

Hava kirliliği

Google Earth Engine

Keywords:

Kocaeli

Air pollution

Google Earth Engine

*Sorumlu yazar/Corresponding author:

(O. Canbulat)

onurcanbulat25@gmail.com

DOI: 10.17211/tcd.1108123



Atıf/Citation:

Coşkun, M., Şahiner, H., Abujayyab, S. K., & Canbulat, O. (2022). Kocaeli ilinde uydu verileri ve yer istasyonu ölçümlerine bağlı olarak hava kalitesinin değerlendirilmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (81), 53-68. <https://doi.org/10.17211/tcd.1108123>

ÖZ / ABSTRACT

Sanayi faaliyetlerinin ve nüfus miktarının fazla olduğu yerleşim alanlarında hava kalitesinin sürekli kontrolü yaşamsal bir zorunluluktur. Bu öneme bağlı olarak araştırmanın alan kapsamını Kocaeli ili, konu kapsamını ise sahadaki kirlleticilerin dağılımı oluşturmaktadır. Araştırmanın amacı çeşitli kaynaklardan atmosfere bırakılan kirleticilerin alansal dağılımını ve atmosferde ulaşacağı yaklaşık yükselti seviyesini ortaya koymaktır. Bu amaç doğrultusunda Sentinel-5P (Tropospheric Monitoring Instrument) uydusuna ve Kocaeli ilinde bulunan Marmara Temiz Hava Merkezine ait istasyon verileri kullanılmıştır. Uydu verilerine ait analizler Google Earth Engine ara yüzü ile gerçekleştirilmiş, haritalamalarda ise Arc GIS 10.4 programından faydalanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda İzmit ilçesinin körfez kıyısı, Derince ve Körfez ilçeleri sınırını oluşturan sahil şeridi; Dilovası, Gebze ve Darıca sahil kuşağı hava kalitesinin en düşük olduğu alanlar olarak tespit edilmiştir. Ayrıca belirlenen aerosol yüksekliğine paralel olarak araştırma sahasında kirleticiler, 0-500 metre yükselti aralığında yoğunlaşmaktadır. Hem uydu hem de yer istasyon verileri incelendiğinde azot oksitler, karbon monoksit ve kükürt dioksit arasında pozitif korelasyon olduğu tespit edilmiştir. Kış mevsiminde atmosferdeki yoğunluğu artan bu gazlar, yaz aylarında seyrelmektedir. Formaldehit ve aerosol indeksi verileri ise fotokimyasal süreçlerin etkisiyle yaz mevsiminde daha yüksek değerler göstermektedir. Kocaeli gibi hem sanayi hem de nüfus anlamında önlerde yer alan şehirlerde, çok yönlü araştırmaların artırılması öncü bilgiler sağlayarak daha sağlıklı bir hava kalitesini beraberinde getirecektir.

In areas with heavy industrial activity and population, controlling air pollution is essential for maintaining a good standard of living. Researchers are drawn to study the behavior of primary and secondary sources to reduce pollution. Kocaeli is one of the good candidates with high population and industrial activities. Thus, the scope of the study consists of the distribution of pollutants in Kocaeli province. The primary objective is to identify the spatial distribution of pollutants emitted into the atmosphere from various sources as well as the approximate height at which they will come to a stop. To achieve the goal, data from the Sentinel-5P satellite and the Marmara Clean Air Center in Kocaeli province were also consulted. Additionally, Arc GIS 10.4 was used for the mapping, and Google Earth Engine was used for processing the satellite data. The investigation has revealed that the coastal belts of the Dilovas, Gebze, and Darica are those with the highest levels of air pollution. Pollutant concentrations in the study region have been concentrated between 0 and 500 meters above the observed aerosol height. It was discovered that there was a positive correlation between nitrogen oxide derivatives, carbon monoxide, and sulfur dioxide after both satellite and ground station data were examined. During the winter, these gases become more dense in the atmosphere, and during the summer, they become less dense. This state is effectively created by convective motions brought on by conditions of rising temperature. Data on the aerosol index and formaldehyde reveal greater values throughout the summer because of photochemical reactions. An improvement in multi-dimensional research would lead to ground-breaking knowledge and better air quality in cities like Kocaeli, which is among the first in terms of industry and population.

Extended Abstract

Introduction

The atmosphere due to its gaseous compounds and properties has conditions that are needed for all living. Air pollution is the change in concentration of compounds and atmospheric properties over time such that it discomforts the living. The change occurs with human activities as well as natural causes (Akyürek et al., 2013). Industrial activities, the density of traffic, and fossil fuel usage in houses especially during the winter are the factors that disrupt the atmospheric conditions for the living. Thus, the pollutants from these sources can cause health problems based on exposure time and quantity (Öztürk et al., 2021). Some important gas pollutants are nitrogen oxides (NO_x), carbon monoxide (CO), sulfur dioxide (SO_2), methane (CH_4), hydrocarbons, carbon dioxide (CO_2), and ozone (O_3) whereas liquid and solid pollutants are aerosols, volatile ashes, smoke, and dust (İlkılıç & Behçet, 2006). The pollutants directly from their source are called primary while the pollutants resulting from molecular reactions are called secondary pollutants. Primary pollutants are straightforward to prevent because their sources are known. However, secondary pollutants can be challenging (Bhaskar & Lakshminarayanachari, 2021).

Fundamentally, pollutants are either transported and dissipated by wind horizontally and elevated vertically by convective motion due to temperature or trapped in air as a parcel depending on atmospheric stability. Thus, atmospheric events and atmospheric stability are playing crucial roles on air pollutions (Keresztes & Rapo, 2017). Even though literature suggests several methods for atmospheric stability, the methods are usually for weather forecasting. Stability criteria for air pollution is more convenient when it depends on near-ground measurements, solar radiation, cloudiness, and wind speed (Pasquill, 1961).

This research was conducted based on data obtained from satellites (Sentinel 5P) and terrestrial observation systems of the Marmara Clean Weather Center. Although the literature shows several works (Cindoruk, 2018; Dey & Chowdhury, 2022; B. Guo et al., 2021; Tuygun & Elbir, 2020) done by similar data sources, this work focuses on correlations between pollutants and meteorological parameters as well as topographic conditions and atmospheric events. The city of Kocaeli was selected as the location of interest. It has heavy industry and is near Istanbul, where the highest population in Turkey lives in. The paper aims to provide conceptual frameworks to exhibit the dispersion and concentration of pollutants as well as their height in the atmosphere.

Data and Method

Various methods have been used and introduced to analyze the behavior of atmospheric pollution by using satellite and terrestrial data. A quantitative approach in this work was conducted to find out the correlation between pollutant concentrations and their height. Sentinel-5P satellite data was used in the Google Earth Engine (GEE) web interface. For academic use, GEE is open-source, free of up to 5000 elements, and growing in popularity. The engine allows users to analyze and map drought indexes, land cover, climate change, wildfires, etc. (UN, 2021). GEE can process data with cloud computing without downloading the data. Sentinel-5P satellite funded by European Space Agency (ESA) and Nederland was designed for

atmospheric purposes. It carries a Tropospheric Monitoring Instrument (TROPOMI) that records atmospheric properties. The main purpose of the satellite is to record ozone, air quality, ultraviolet radiation, climate monitoring, and prediction with high resolution. Data was provided by TROPOMI for the 6th and 7th months of 2018 up to the present day (last day of data) Average values were used for seasonal data with the unit of mol/m^2 and a resolution of 1113.2 m. Pollutant data consists of concentration and density parameters throughout a surface, while aerosol index offers heights of vertical distribution. The inversion layer traps pollutants between the surface and an altitude of the planet, especially during the winter. The determination of the height gives a conceptual understanding of the planetary boundary layer.

Terrestrial data from Marmara Clean Weather Center was obtained at 12 stations (Kocaeli, Ali Kahya, Dilovası, Dilovası Organized Industrial Zone (OSB) 1, Dilovası OSB-2, Gebze, Gebze OSB, Gölcük, İzmit, Kandıra, Körfez and Yeniköy). Daily data from July 2018 to November 2021 was analyzed to be consistent with the GEE data period. NO_2 , SO_2 , CO, O_3 , NO_x , and additionally, particulate matter (PM) 10 data were used to compare the data from GEE.

Principal Component Analysis, Weighted Overlay Analysis, and Polygonal Risk Field Combination techniques were used to map and combine satellite and terrestrial data. The reliability of the analysis is increased by combining the three methods.

Results

NO_2 values from Sentinel-5P values were higher near bay area of Kocaeli depicted in Figure 1. This was due to traffic density and industrial activities were higher in the bay area. Due to the convective motion driven by the warmer temperatures, the pollution in the summer was lower than in the winter. Values of SO_2 were more evenly distributed than NO_2 . The highest values still were concentrated near the bay area in Figure 2. Distribution of CO differs from that of NO_2 and SO_2 . It was stretched from east of the bay to Sapanca lake in Figure 3. HCHO, originated from methane oxidation, usually emerged from industrial activities, were found to be dense in industrial and urban areas in Figure 4. O_3 concentration was similar that of CO in Figure 5. Aerosols are emitted usually from anthropogenic sources where population and industrial activities are high. This was confirmed in Figure 6. The height of aerosols reflects the height of the planetary boundary layer. The height of aerosols in Kocaeli varies between 81 and 1000 m. Aerosol height was less than 500 m in İzmit, Darıca, Çayırova, Kandıra, and Gebze towns represented in Figure 7. The height was determined as the height that pollutants can reach.

The concentrations of the pollutants are generally high in winter. It can be pointed out that stable atmospheric conditions which prevent dilution of the concentration of pollutants occur in winter. While the concentration of NO_2 , SO_2 , and CO decreased, HCHO and aerosols increased towards summer. This inverse behavior was attributed to the photochemical processes.

Discussion

Because industrial operations are the primary sources of pollutants in heavy industrial zones, pollution surveys should be

used to monitor industrial activities. The production of NO_2 , SO_2 , and CO pollutants increased in the winter, according to satellite pictures. The level of SO_2 was 4.3 times the average. This was attributed to the use of fossil fuels for winter heating. HCHO and aerosol index obtained high in the summer due to photo-chemical processes. Planetary boundary layer was estimated less than 500 m for the area of interest. Thus, pollutants that have been released into the area are likely to be trapped at a 500 m height. There was a positive correlation between NO_2 , SO_2 , and CO whereas a negative correlation was observed HCHO. O_3 had a weak negative correlation. For the same location, correlation analysis using terrestrial data revealed stronger relationships while using satellite data revealed relatively weaker relationships. Industrial activities should be directed by the relationship between the pollutants throughout the course of a year in order to lower concentrations.

1. Giriş

Atmosfer sahip olduğu gaz bileşimi ve özellikleri sayesinde canlı yaşamı için elverişli şartlar barındırmaktadır. Hava kirliliği atmosferdeki gaz yoğunluğunun canlı yaşamını olumsuz etkileyecek şekilde, belirli bir süre ve özellik olarak değişmesidir. Bu değişim doğal olaylar sonucunda meydana gelebileceği gibi (volkanik patlamalar vb.) daha çok insan faaliyetlerine bağlı olarak ortaya çıkmaktadır (Akyürek vd., 2013). Sanayi faaliyetleri, yoğun trafikten kaynaklı ortaya çıkan gazlar, özellikle kış mevsiminde konutların ısıtılmasında kullanılan fosil yakıtlar atmosferdeki gaz dengesini bozan etkenlerdir. Kirleticiler katı, sıvı ya da gaz şeklinde atmosfere karışmakta, maruz kalınan süre ve miktara göre sağlık problemlerine sebep olmaktadır (Öztürk vd., 2021). Gaz halindeki kirleticilere azot oksitler (NO_x), karbon monoksit (CO), sülfür dioksit (SO_2), metan (CH_4), hidrokarbonlar, karbondioksit (CO_2), ozon (O_3) örnek verilebilirken; sıvı ya da katı (partikül madde) haldeki kirleticiler aerosol, uçucu küller, duman ve tozlardır. Ayrıca kirleticiler, belirli bir çıkış noktasından atmosfere salınan birincil kirleticiler ve bu gazların atmosferde oluşturduğu bileşiklerden meydana gelen ikincil kirleticiler olarak da gruplandırılmaktadır (Coşkun, 2011; İlkılıç & Behçet, 2006). Kükürt ve azot temelli kirleticiler atmosferde farklı bileşikler meydana getirerek; yoğun sislere, asit yağmurlarına, ozon tabakasının tahribatına sebep olmakta, insan sağlığı açısından olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. İkincil kirleticiler atmosferde tepkimeler sonucunda ortaya çıktığı için kontrolü daha zordur. Birincil kirleticilerin çıkış noktası bilindiğinden önlemler alınabilmektedir (Bhaskar & Lakshminarayananachari, 2021).

Hava kirliliğine sebep olan gazlardan SO_2 petrol rafinerileri, fosil yakıt kullanımı, taşıt emisyonları, kurşun, çinko, bakır üretimi gibi sebeplerle açığa çıkmakta ve atmosferde bileşik oluşturup sülfürik aside dönüşerek asit yağmurlarına sebep olmaktadır. Bu durumda oluşturduğu bileşik kontrolü daha zor ikincil bir kirleticisi haline gelmektedir (Vallero, 2019). Her iki durumda da canlı sağlığı üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır (Ren vd., 2022). SO_2 doğal ve beşeri sebeplerle ortaya çıkmakla birlikte oluşumunun büyük çoğunluğu antropojenik kökenlidir (Ashar, 2016). NO_x 'ler (azot oksitler, NO_2 , NO gibi) her türlü yanma olayı sonucunda ortaya çıkan gazlardır. Sanayi faaliyetlerinin yoğun olduğu alanlarda daha fazla açığa çıkmaktadır. NO renksiz kokusuz bir gaz olup oksijen ile bileşik yaparak NO_2 'ye dönüşür ve atmosferde yarıyıldan fazla kalabilir. Zehirli bir gaz oluşu, foto

kimyasal sisleri oluşturmaları, küresel iklim değişikliği ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkisi temel özellikleridir. CO bünyesinde karbon bulunan materyallerin eksik yanmasıyla ortaya çıkan kirleticilerdendir. Solunum yoluyla alındığında, kandaki hemoglobine etki ederek vücuttaki hücrelere daha az oksijen gitmesine sebep olmaktadır (Fayyazbakhsh vd., 2022). O_3 (troposferik ozon), azot oksitlerin ultraviyole ışınlarla reaksiyona girmesiyle oluşur (Tıgılı & Cangür, 2019). Aynı zamanda pusun (smog) oluşumunda etkili olan temel gazdır ve atmosferin temel kirleticilerindendir. HCHO (atmosferik formaldehit) keskin kokulu, renksiz ve zehirli bir gazdır. Temelde organik bir bileşik olan formaldehit doğal olarakta ortaya çıkabilmekte; boya, tekstil, plastik sanayinde kullanılmakta; ürünlerin son kullanma tarihini uzattığı için tercih edilmektedir. Aşırı kullanımı atmosferde zehirli bir gazın sürekli birikmesi anlamına gelmektedir. Atmosferik formaldehitin ana kaynağı metan oksidasyonudur. Troposferik ozonu besleyen öncü gazlardandır (Ünsaldı & Çiftçi, 2010). Her türlü oksidasyon sonucunda ortaya çıkmaktadır (Vallero, 2019). Aerosoller ise atmosferdeki sıvı ya da katı partikülleri ifade etmektedir. Çok farklı kaynaklardan (volkanik faaliyetler, insan aktiviteleri, bitkisel gelişim, dalga kırılmaları vb.) ortaya çıkmaktadır. Özellikle sanayi faaliyetlerinin yoğun olduğu şehirlerde atmosferde bulunan aerosoller insan kaynaklıdır. Bu nedenle aerosol yoğunluğu, bu tür şehirlerde hava kirliliğini değerlendirirken bakılabilecek parametrelerdendir (Ghasempour vd., 2021).

Araştırmada kirleticilere ait analizler, uydu görüntüleri (Sentinel 5P) ve Marmara Temiz Hava Merkezi Müdürlüğü'ne ait yer istasyonları verilerine dayanılarak yapılmıştır. Literatürde uydu görüntüleri ve yer istasyonu verilerine dayalı birçok çalışma bulunmaktadır (Cindoruk, 2018; Dey & Chowdhury, 2022; B. Guo vd., 2021; Tuna Tuygun & Elbir, 2020). Bu çalışmalardan bazılarında kirleticiler gazlar ve meteorolojik parametreler arasındaki ilişki korelasyon-regresyon analizleriyle ortaya konulmuş, bazılarında ise topoğrafik şartlar ve hava olaylarının (inversiyon, yüksek basınç şartları vb.) kirlilik üzerindeki etkisi araştırılmıştır (Coşkun vd., 2020; İskan & Koç, 2021). Ayrıca çöl alanlarından Türkiye'ye doğru olan toz taşınımları, atmosfer koşullarının hava kalitesi üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi, PM 10 düzeylerinin tespiti uydu verilerine bağlı olarak yapılan çalışmalardandır (Çapraz & Deniz, 2018; Ghasempour vd., 2021; Özelkan vd., 2015; Yavuz vd., 2022). Temelde kirleticiler ya yatay olarak rüzgarlar aracılığıyla başka alanlara taşınarak seyreler ya da sıcaklığa bağlı olarak meydana gelecek konvektif (dikey) akımlarla atmosferin yükseklerine doğru taşınır. Bu nedenle rüzgar hızı ve sıcaklık arttığında genel olarak kirleticiler yoğunluğu azalmaktadır. Yüksek basınç şartları havanın dikey olarak yükselmesini engellediği için kirliliği artırmaktadır. Nemlilik ve bulutluluk ise havadaki dikey sıcaklık değişimini azalttığı için atmosferdeki konvektif hareketleri yavaşlatır. Bu da kirleticilerin dağılımını azaltmaktadır. Ayrıca bir sahada görülen atmosfer kararlılık şartları kirleticilerin dağılımı üzerinde etkilidir. Kararsız atmosfer koşullarında, hava yükselme isteği içinde bulunacağından kirleticiler yükseklerle doğru taşınır (Keresztes & Rapo, 2017). Özellikle kış mevsiminde görülen kararlı atmosfer şartlarında ise hava kütlesi yükselmez ve kirleticiler atmosferde yer ile belirli yükseltiler arasında hapsolür. Atmosfer kararlılığının belirlenmesinde, iklim elemanlarının farklı yükseltilerdeki ölçüm değerlerini dikkate alan birçok metot bulunmaktadır. Ancak bu metotlar meteorolojik olayların tahmini için tasarlanmıştır. Hava kirliliği araştırmalarında ise

yer yüzeyine yakın ölçümlere dayalı, iklim parametresi olarak güneş radyasyonu, rüzgâr hızı ve bulutluluk gibi meteorolojik parametreleri kullanan kararlılık sınıflandırmaları daha doğru değerlendirmelere imkan sağlamaktadır (Pasquill, 1961).

Kocaeli ili Türkiye'nin en önemli sanayi alanlarından biridir. Türkiye İstatistik Kurumu'nun 31 Aralık 2021 verilerine göre il 2.033.441 kişilik nüfusa sahiptir. Türkiye imalat sanayindeki payı % 13'tür. 13 adet organize sanayi bölgesi bulunan ilde ağırlıklı sektörler petro-kimya, taşıt, kimya, makine, plastik, demir-çelik ve taşıt yan sanayidir (KOSANO, 2022). Sanayi kuruluşlarının faaliyetleri, trafik yoğunluğunun ortaya çıkardığı zararlı gazlar, doğalgazın yaygınlaşmış olmasına rağmen özellikle kış aylarında konutların ısıtılmasında fosil yakıt kullanımına bağlı olarak oluşan kirlilikler, barındırdığı nüfus ve ekonomik potansiyeli itibarıyla Kocaeli ilini önemli bir araştırma sahası yapmaktadır. Araştırma sonuçları hava kalitesi değerlendirmelerinde, yönetmeliklerde belirtilen değerlere ek olarak yardımcı bir bakış açısı sağlayacaktır. Yer istasyonları ve uydu verilerinin birlikte kullanılması, yer istasyonlarının yanında uydu ölçümlerinin farklı bir yöntemle haritalandırılması ve tüm bu haritalardan ortak bir hava kalitesi haritasının elde edilmesi araştırma konusuna yeni bir bakış açısı kazandıracaktır. Kocaeli ili gibi önemli sanayi alanlarında hava kalitesi araştırmalarının çok yönlü veri ve metoda dayandırılması yapılan değerlendirmelerin tutarlılığını artıracaktır.

Bu çalışmanın amacı uydu görüntüleri ve yer istasyonlarına ait çok yönlü verilerle kirleticilerin alansal dağılımını, yoğunluğunu ve genel hava kalitesini ortaya koymaktır. Sanayi ve endüstriyel üretim, nüfus yoğunluğu ve stratejik konumundan dolayı Kocaeli ili çalışmanın alan kapsamını oluşturmaktadır. Çok yönlü verilerin karşılaştırılabilirliğinin sağlanması ve hava kalitesine etkilerinden dolayı sağlık problemlerine yol açabilecek kirleticiler ise (NO_2 , SO_2 , O_3 , CO , HCHO , aerosol) çalışmanın konu kapsamını oluşturmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Araştırmada kirleticilere ait yapılan analizlerde Sentinel-5P uydu verilerinden yararlanılmış ve hesaplamaları Google Earth Engine (GEE) web ara yüzü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. GEE akademik araştırmalar için kullanıma açık, internet tabanlı bir platformdur. Ücretsiz kullanımında 5000 element ve analizlerde belirli bir zaman sınırına sahiptir. Kullanıcılarına geniş alanlarda çeşitli analiz imkânı sunmaktadır. Yüzey değişikliklerini tespit etmek ve haritalamak mümkündür. Kuraklık indisleri, arazi örtüsü sınıflandırmaları, iklim değişikliğine ait analizler, orman yangınları, meteorolojik veriler, kirleticiler, toprak özellikleri, aerosol dağılışı platformda yapılabilecek analizlerden bazılarıdır (UN, 2021). Son zamanlarda yayınlanan akademik araştırmalarda sıkça kullanılmaktadır (Bar vd., 2020; Dasgupta vd., 2021; Jamali vd., 2022). Bulut tabanlı bu veri işleme platformunda daha önceden olduğu gibi verilerin bilgisayarlara indirilmesine gerek kalmaz ve çok geniş alanlara

ait hesaplamalar belirli algoritmalar aracılığıyla online olarak gerçekleştirilir (Aghlmand vd., 2021).

Sentinel-5P uydusu atmosferik verilerin incelenmesi amacıyla tasarlanmıştır. Avrupa Uzay Ajansı (ESA) ve Hollanda tarafından finanse edilen uydu, atmosfer özelliklerini kaydeden bir cihaz (Troposferic Monitoring Instrument-TROPOMI) taşımaktadır. 13 Ekim 2017'de Rusya'dan fırlatılan uydunun temel amacı ozon, hava kalitesi, bulut, ultraviyole radyasyonu, iklim izleme ve tahmin hesaplamaları vb. için yüksek çözünürlükte ölçümler yapmaktır (ESA, 2021). TROPOMI, küresel iklim değişikliğinin izlenmesi ve çevre politikalarının oluşturulması adına önemli bir veri kaynağıdır (Tablo 1). Araştırmada bu uyduya ait NO_2 , SO_2 , CO , O_3 , HCHO , ultraviyole aerosol indeks ve aerosol tabakası yüksekliği verileri kullanılmıştır.

Haritalamalarda 2018 yılının haziran ve temmuz aylarından 1 Kasım 2021 tarihine kadar olan verilerden yararlanılmıştır. Araştırmada, mevsimlik analizlerde (kış ve yaz) belirtilen zaman aralığındaki ortalama veriler ele alınmıştır. Kirleticilerin yıl içindeki dağılışı gösteriminde, 2021 yılına ait verilerden yararlanılmıştır. 1113.2 metre çözünürlüğe ve farklı band türlerine sahip veriler, birim olarak mol/m^2 türünde sunulmaktadır. NO_2 verileri bütün NO_x türlerini kapsamaktadır. Aerosol verileri, aerosol indeksinin görüntülerinden oluşmaktadır. Hesaplanan değerin pozitif olması ultraviyole emici aerosol varlığını ifade etmektedir. Pozitif değer aynı zamanda insan sağlığını olumsuz etkileyen troposferik ozonun gelişimi anlamına gelmektedir. Aerosol indeksi verileri orman yangınları, volkanik patlamalar ve büyük toz taşınımalarının oluşturduğu epizodik aerosol bulutlarının gelişimini izlemek için de kullanışlıdır. Aerosol tabakası yüksekliği verileri birim olarak metredir. Diğer analizlerde alansal dağılışı ve yoğunluk ortaya konulurken, aerosol tabakası yüksekliği verileri, kirleticilerin dikey dağılışı hakkında bilgi verir. Özellikle kış aylarında karşılaşılan sıcaklık terselmesi olaylarında kirleticiler, yeryüzü ile belirli yükseltiler arasında sıkışmaktadır. Bu yükseltinin tespiti aynı zamanda kirliliğin artacağı zaman dilimleri ve gezegensel sınır tabakası hakkında önemli bilgiler vermektedir. Gezegensel sınır tabakasının yükseltisi kirleticilerin ulaşacağı en yüksek seviyeyi ifade ettiği için, bu yükseltinin tespiti hava kirliliği araştırmalarında son derece önemlidir. Literatürde uydu ve yer tabanlı aerosol verileri kullanılarak sınır tabakası yüksekliğini sunan birçok çalışma mevcuttur (Huo vd., 2021; Kim vd., 2021; Li vd., 2021; Su vd., 2020). Sentinel 5P uydusuna ait aerosol tabakası yüksekliği verileri, araştırmacıların bu üst sınır yüksekliğini tespit etmesini kolaylaştırmaktadır. Böylece yıl içerisinde hangi mevsim ya da aylarda hava kirliliğinin daha yoğun hissedileceği rahatlıkla tespit edilebilmektedir.

GEE analizleri ve Marmara Temiz Hava Merkezi'ne (MTHM) ait yer istasyonlarından elde edilen veriler (ÇŞİDB, 2022) ArcGIS 10.4 programı ile haritalandırılmıştır. Kocaeli, Ali Kahya, Dilo-vası, Dilo-vası organize sanayi bölgesi (OSB) 1, Dilo-vası OSB-2, Gebze, Gebze OSB, Gölçük, İzmit, Kandıra, Körfez ve Yeniköy

Tablo 1. Sentinel-5P TROPOMI optik kanalları ve ürünleri (Vries vd., 2007).

Table 1. Sentinel-5P TROPOMI optical channels and products (Vries et al., 2007).

Optik Kanal	UV 1	UV 2	VIS	NIR	SWIR
Tam Spektral Aralık (nm)	270-320	295-380	360-495	710-775	2305- 2385
Ürünler	O_3	O_3 , SO_2 , HCHO	NO_2 , O_2 , Bulut Özellikleri	Bulut Özellikleri, Aerosol Yüksekliği, H_2O	CO , CH_4

olmak üzere toplam 12 MTHM istasyonuna ait günlük ortalama veriler kullanılmıştır. Veri aralığı 2018 yılının temmuz ayından, 2021 yılının kasım ayına kadar geçen süreyi kapsamaktadır. Bu tarih aralığının GEE analizlerindeki veri aralığı ile uyumlu olmasına dikkat edilmiştir. NO_2 , SO_2 , CO , O_3 , NO_x ve ek olarak partikül madde (PM) 10 verileri kullanılmıştır. Uydu analizlerine ek olarak yer istasyonlarına ait ölçümlerden yararlanılması hem analizlerin karşılaştırılmasını sağlamakta hem de araştırmada elde edilen sonuçların ne kadar tutarlı olduğu hakkında fikir vermektedir. İnterpolasyon yöntemlerinden ters ağırlıklı mesafe (IDW) kullanılarak yer istasyonlarına ait günlük ortalama değerler haritalandırılmıştır. IDW birbirine yakın olan noktalarda değerlerin daha çok benzeşeceği mantığı üzerine kurulu bir interpolasyon yöntemidir. Mesafe, en yakın nokta, güç dengesi ve engelleri hesaba katarak farklı noktalar arasındaki değerler hesaplanır (Maleika, 2020). Araştırmada bu yöntemle ölçüm istasyonlarına ait değerler ArcGIS ortamına alınmış ve IDW yöntemiyle istasyonlar arasında kalan sahaların olası değerleri haritalandırılmıştır. Korelasyon analizlerinde SPSS programından faydalanılmıştır. GEE verilerine ait korelasyon karşılaştırmaları için yer istasyonları arasında araştırmaya dahil tüm kirleticilere ait ölçümlerin yapıldığı tek istasyon olan Dilovası ölçüm istasyonunun verileri kullanılmıştır.

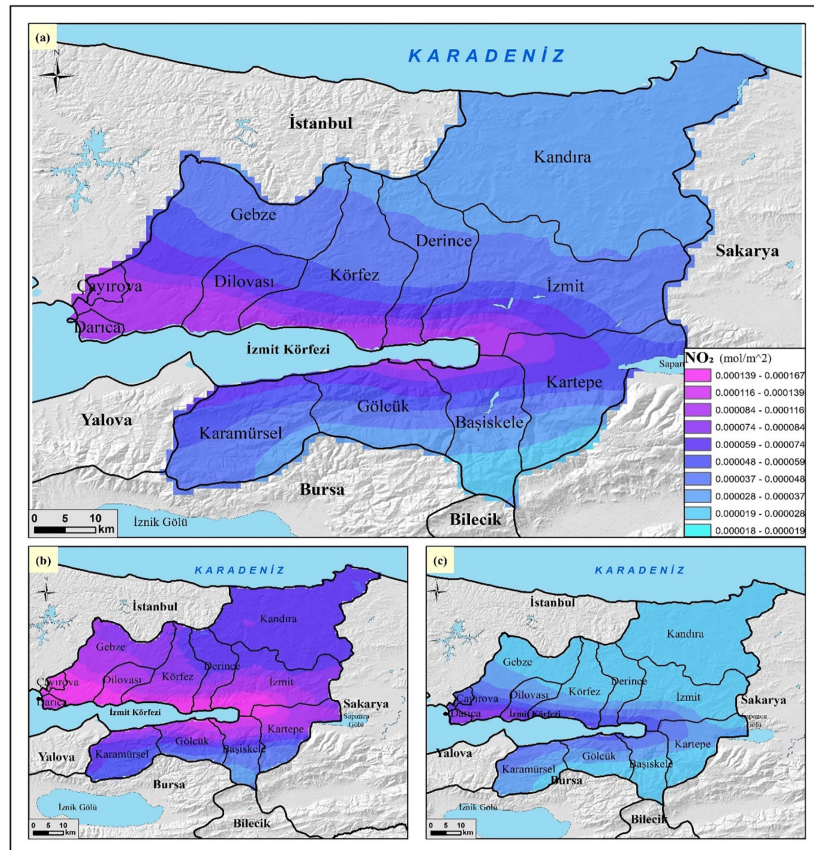
Yer istasyonlarından ve uydu verilerinden elde edilen değerlerle bağlı olarak kirlenici gazlara ait haritalar hazırlanmıştır. Daha sonra bu haritalar üç farklı yöntemle birleştirilerek genel hava kalitesi haritaları oluşturulmuştur. Üç farklı yöntemin kullanılmasındaki amaç elde edilen sonuçların güvenilirliğini sınamaktır. Temel Bileşen Analizi (Principal Component Analysis), Çok Katmanlı Ağırlıklı Çakıştırma Yöntemi (Weighted Overlay Analysis) ve kirlilik alanlarını oluşturan poligonların birleştiril-

mesi sonuç haritalarında kullanılan yöntemlerdir. Bu üç yöntem de Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin kullanım yapısına uygun olarak farklı değişkenlerin mekânsal dağılışındaki benzerlik ve kesişimleri ortaya koymaktadır.

Temel Bileşen Analizi, tüm bilimsel disiplinler tarafından kullanılan çok değişkenli istatistiksel bir tekniktir. Birbiriyle ilişkili veri kümelerini analiz ederek önemli bilgileri 'temel bileşenler' adıyla ortaya koyar. Değişkenlerin uygun doğrusal kombinasyonlarını (ağırlıklı ortalamalar) kullanır. Tüm veri kümesindeki varyasyonu en iyi açıklayan yeni değişkeni elde etmek için gereken ağırlıkları sağlar. Değişkenlerin ve gözlemlerin benzerlik modelinin haritalarla görüntülenmesini sağlar (Abdi & Williams, 2010). Çok katmanlı Ağırlıklı Çakıştırma Yöntemi, farklı raster katmanlarına önemine göre ağırlık verilmesi ve üst üste çakıştırılarak bir sonuç haritası elde edilmesi işlemine dayanır. Ağırlık toplamalarının 100'e eşit olması gerekmektedir. Araştırmada uzman görüşlerine bağlı olarak her katman için eşit ağırlıklandırma yapılmıştır. Poligonların birleştirilmesi yönteminde ise bütün kirleticiler için eşit kategorilere ayrılan hava kalitesi sınıflandırma grupları, üst üste bindirilerek genel hava kalitesi haritası oluşturulmuştur.

3. Bulgular

Araştırma sahasına ait Sentinel-5P (TROPOMI) uydu verileri kullanılarak yapılan NO_2 haritasında ortalama ölçüm değerleri 0.000026-0.000116 mol/m^2 arasında değişmektedir. Genel olarak körfez çevresinde, özellikle körfezin kuzey kıyılarında artan değerlerin; Dilovası, Darıca, Çayırova ve Körfez ilçe sahillerinde en yüksek seviyeye ulaştığı görülmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Kocaeli iline ait (a) ortalama, (b) kış, (c) yaz mevsimi NO_2 değerleri.

Figure 1. NO_2 values of Kocaeli province. (a) average, (b) winter, (c) summer.

Kış mevsiminde yaklaşık tüm körfez kıyılarında NO_2 değeri $0.0001671 \text{ mol/m}^2$ 'ye ulaşmaktadır. Yaz mevsiminde ise kirlenici yoğunluğu azalmaktadır. Dikey hava akımlarına kaynaklık eden konvektif hareketlerin, sıcaklık artışına bağlı olarak yaz mevsiminde daha fazla oluşması bu durumun temel sebebidir. Trafik yoğunluğu ve sanayi tesislerinin körfez çevresindeki yapılaşması, kirlenici gazların bu alanda yüksek değerlere ulaşmasına sebep olmaktadır.

SO_2 fosil yakıtlar, termik enerji santrallerinde kömür kullanımı, petrol rafinerileri, taşıt emisyonları, ısınma, gibi faaliyetlerle atmosfere karışmaktadır. Çalışma alanında ortalama SO_2 değerleri 0.0001329 - $0.0004015 \text{ mol/m}^2$ arasında değişmektedir. En yüksek değerlere körfezin güney ve kuzeyinde yer alan ilçelerde rastlanmaktadır. Karamürsel, Gölcük, Derince, Körfez, Dilovası, Gebze, ilçeleri en yüksek SO_2 değerlerine sahiptir. Kış mevsiminde maksimum SO_2 değeri 0.001753 mol/m^2 'ye ulaşmaktadır. Bu değer genel ortalama SO_2 maksimumunun 4.3, yaz maksimumunun ise 6.9 katına eşittir (Şekil 2). Her ne kadar doğalgaz yaygınlaşmış olsa da ısınmada kullanılan kömür vb. fosil yakıtların bu artışta etkisi büyüktür.

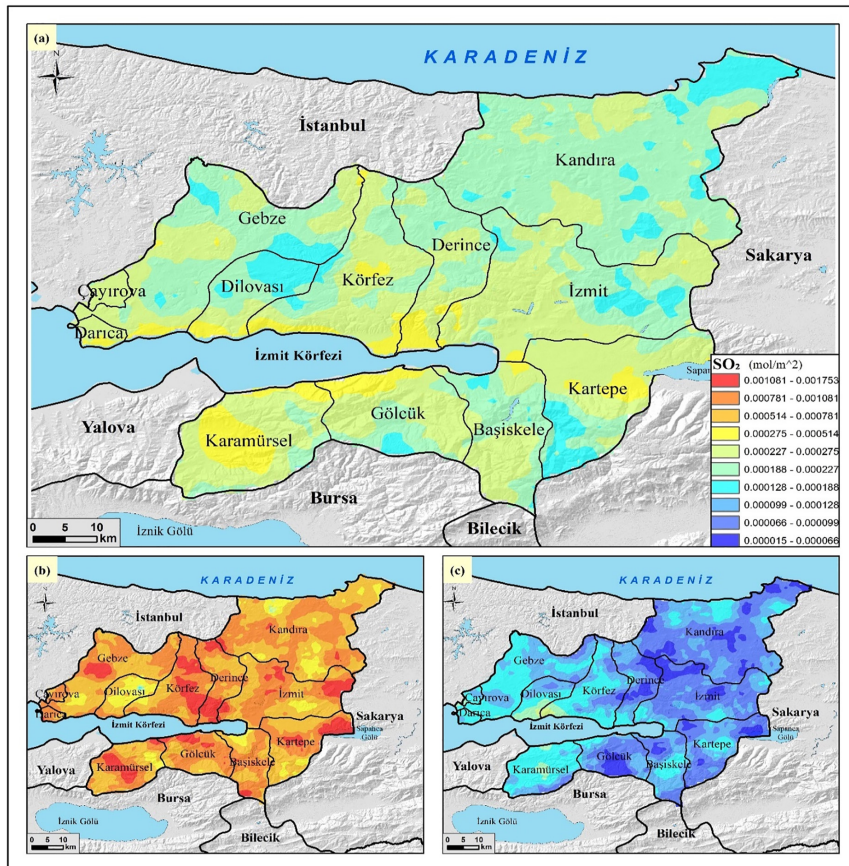
İnsan sağlığını olumsuz etkileyen temel gazlardan biri olan CO'nun araştırma sahasındaki ortalama değerleri 0.02851 - 0.03511 mol/m^2 arasında değişmektedir. NO_2 ve SO_2 ortalama dağılımından farklı olarak CO değerlerinin en yüksek görüldüğü alan, körfezin doğusuna doğru Sapanca Gölü kıyılarına kadar uzanmakta ve Kandıra ilçesi sahil şeridini kaplamaktadır (Şekil 3).

Troposferik ozon oluşumunun temel sebeplerinden olan HCHO, metan oksidasyonu ile oluşan zehirli bir gazdır. Endüstriyel faaliyetler başlıca HCHO kaynaklarıdır. Çalışma alanında ortalama HCHO değerleri 0.00007723 - $0.0001412 \text{ mol/m}^2$ arasında değişmektedir. Sanayi ve yerleşmenin yoğun olduğu ilçeler, özellikle körfez kıyıları en yüksek değerlerin görüldüğü alanlardır (Şekil 4).

Troposferik ozon; azot oksit, hidrokarbonlar, formaldehit vb. kirlenicilerin ultraviyole ışınlarla reaksiyona girmesiyle oluşmaktadır. Pus oluşumuna sebep olmakta ve hava kalitesini düşürmektedir. Kocaeli ilinde ortalama O_3 değerleri 0.1424 - 0.1453 mol/m^2 arasında değişmektedir. CO yoğunluğu haritasında görüldüğü gibi O_3 yoğunluğunda da Kandıra ilçesi kıyıları dikkat çekmektedir. Kış mevsiminde yoğunluk daha yüksek değerlere ulaşmaktadır (Şekil 5).

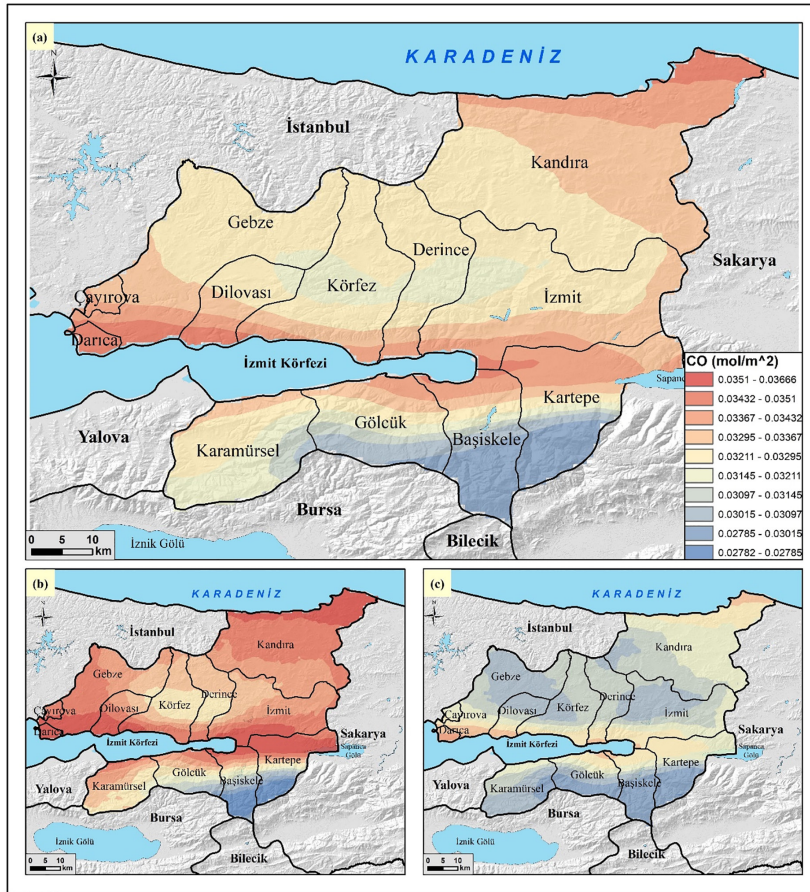
Aerosoller doğal ya da beşeri kaynaklardan ortaya çıkmaktadır. Yoğun nüfuslu ve sanayi faaliyetlerinin yaygın olduğu alanlarda çoğunlukla antropojenik kaynaklıdır. Sentinel-5P uydusu ölçümlerine göre pozitif aerosol değerleri troposferik ozonun gelişimi anlamına gelmektedir. İzmit, Derince, Körfez, Dilovası, Gebze, Darıca ilçe sahilleri ve Çayırova aerosol yoğunluğunun daha fazla olduğu alanlardır. Araştırma sahasında gerek genel gerekse kış ve yaz mevsimi ortalamalarında pozitif değerlerin görülmemesi hava kalitesi adına olumlu bir durumdur (Şekil 6).

Aerosol tabakası yüksekliği doğal ya da beşeri kaynaklı aerosollerin atmosferde ulaştığı üst sınırı ifade etmektedir. Bu yükselti aynı zamanda gezegensel sınır tabakasının üst seviyesi hakkın-

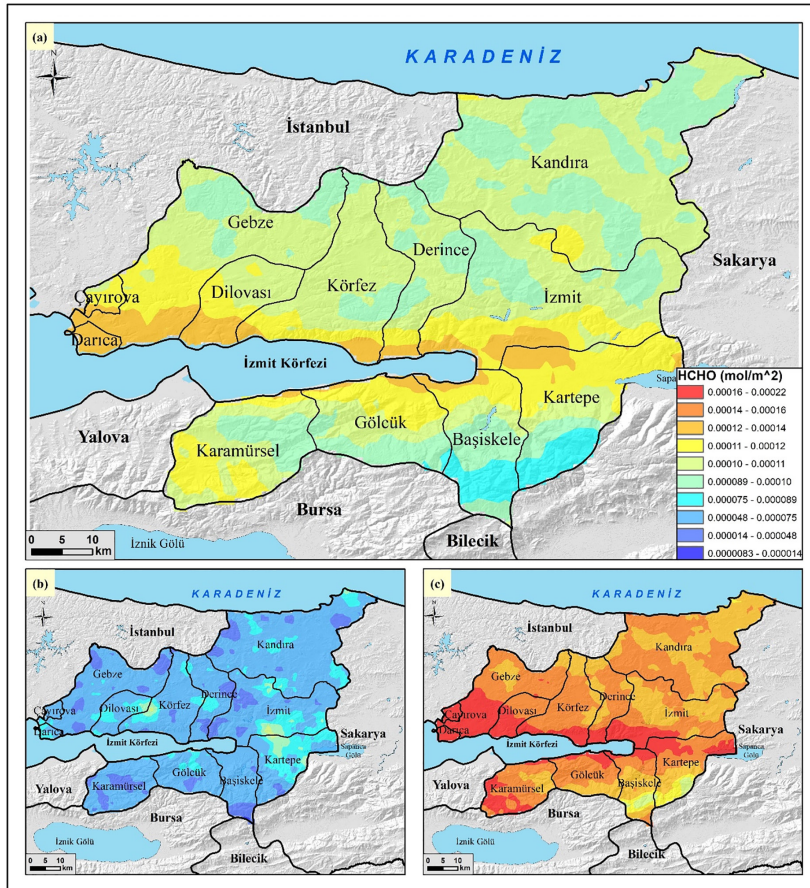


Şekil 2. Kocaeli iline ait (a) ortalama, (b) kış, (c) yaz mevsimi SO_2 değerleri.

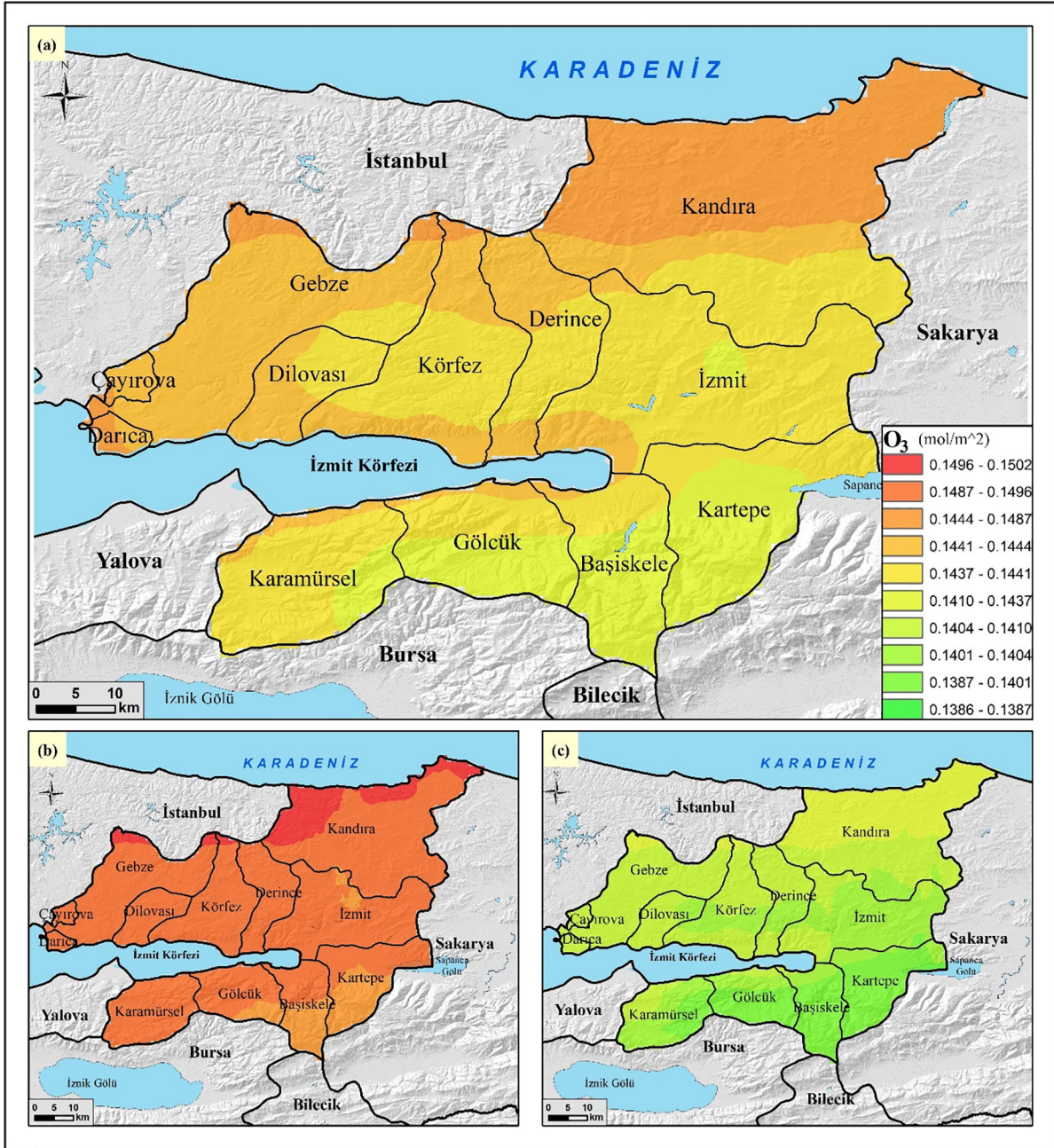
Figure 2. SO_2 values of Kocaeli province. (a) average, (b) winter, (c) summer.



Şekil 3. Kocaeli iline ait (a) ortalama, (b) kış, (c) yaz mevsimi CO değerleri.
Figure 3. CO values of Kocaeli province. (a) average, (b) winter, (c) summer.



Şekil 4. Kocaeli iline ait (a) ortalama, (b) kış, (c) yaz mevsimi HCHO değerleri.
Figure 4. HCHO values of Kocaeli province. (a) average, (b) winter, (c) summer.



Şekil 5. Kocaeli iline ait (a) ortalama, (b) kış, (c) yaz mevsimi O_3 değerleri.

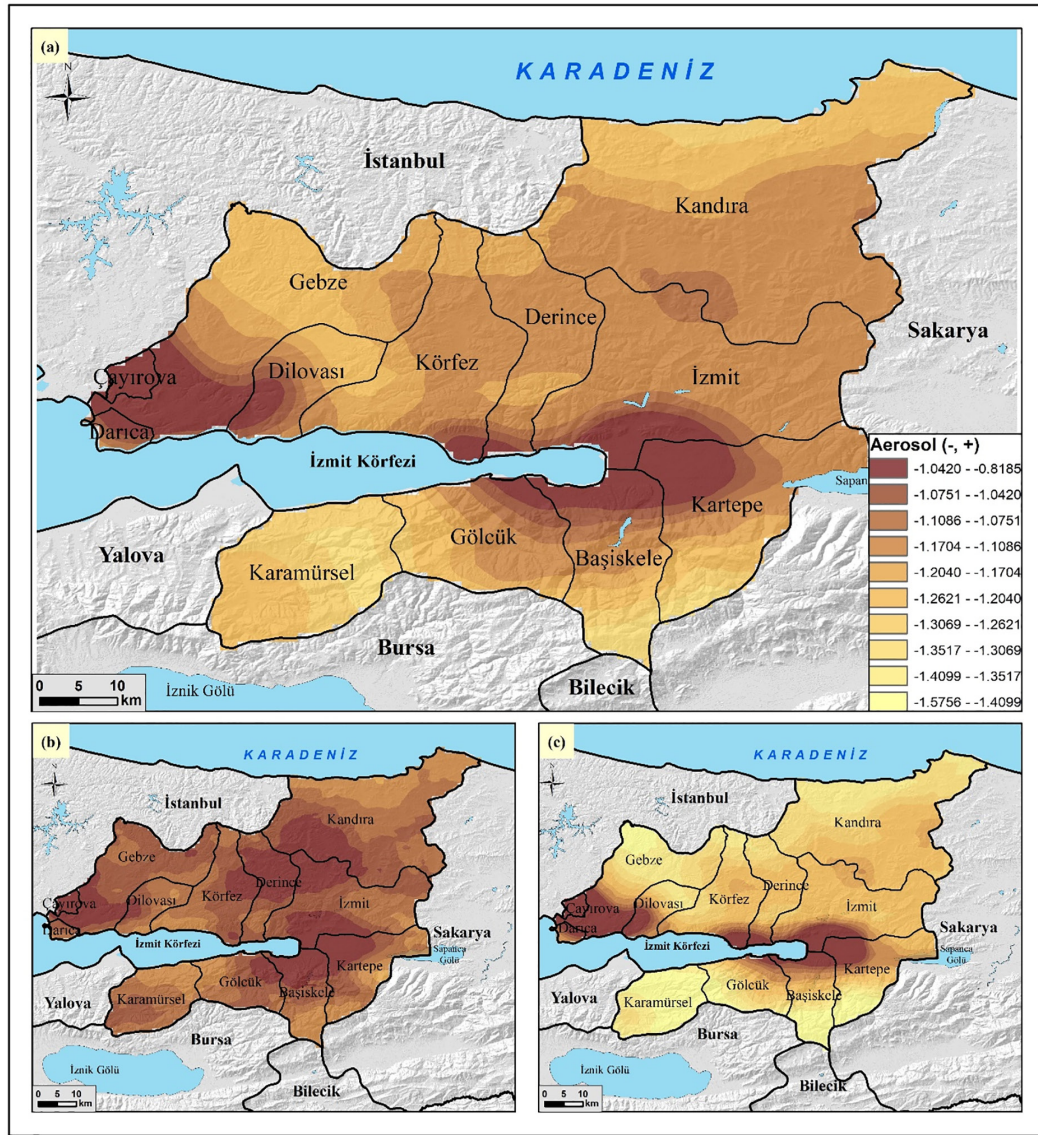
Figure 5. O_3 values of Kocaeli province. (a) average, (b) winter, (c) summer.

da fikir verir. Çalışma sahasında kirliliğin yoğun olarak yaşandığı körfez çevresinde aerosol tabakası yüksekliği 81-1000 m arasında değişmektedir. İzmit, Darıca, Çayırova, Kandıra, Gebze ilçelerinde ve körfezin özellikle doğu kıyılarında ortalama aerosol tabakası yüksekliği 500 m'nin altına inmektedir (Şekil 7). Bu yükselti, insan sağlığına etki eden kirlleticilerin ulaşacağı yaklaşık üst sınırı göstermektedir.

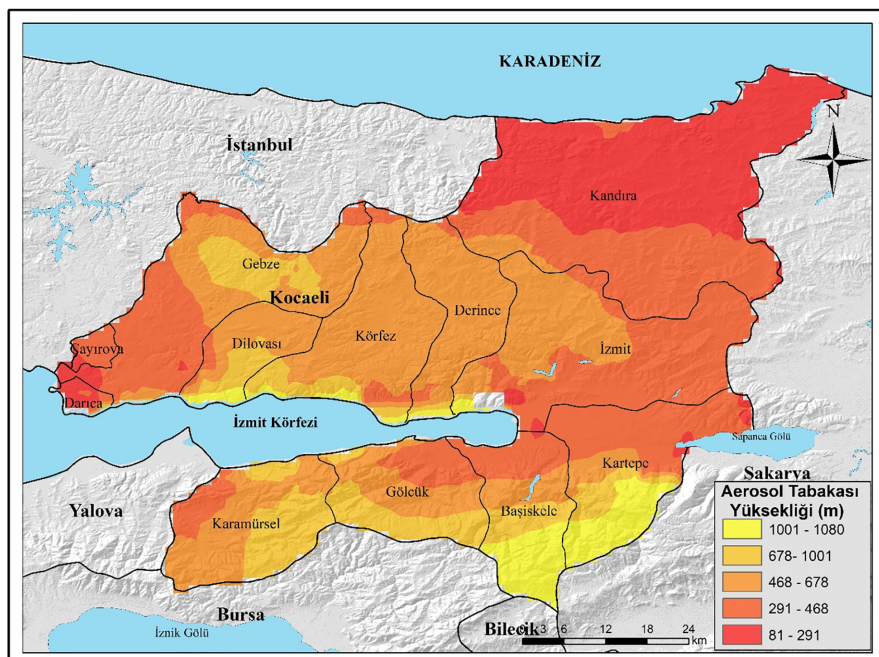
Kirlotici gazlara ait yoğunluk düzeylerinin yıl içerisinde dağılışına bakıldığında ufak farklılıklar olsa da genel olarak kış mevsimi, değerlerin daha yüksek olduğu zaman dilimini ifade etmektedir. Bu durumun ortaya çıkmasında insan faaliyetlerine dayalı antropojenik etkilerin dışında, kirlotici gazların seyrelmesini engelleyen kararlı atmosfer koşullarının oluşumu ve sınır tabakası yükseltisinin azalması etkilidir. NO_2 , SO_2 , CO 'nun atmosferdeki miktarı yaz aylarına doğru azalırken; $HCHO$ ve insan sağlığını olumsuz etkileyebilecek aerosol miktarı artmaktadır (Şekil 8). Bu farklılık fotokimyasal süreçlerle alakalıdır. Kış mevsimin-

de daha çok insan faaliyetlerine bağlı olarak oluşan $HCHO$, yaz mevsiminde azot oksitler, metan vb. gazların oksidasyonu ile meydana gelmektedir. Troposferik ozon oluşumuna etki etmekle birlikte hızlı reaksiyona giren zehirli bir gazdır (Y. Guo vd., 2021). Yaz mevsiminde metanın bulunduğu ortamlarda çözünürlüğünün azalarak atmosfere daha fazla dahil olması ve reaksiyonu hızlandıracak ultraviyole miktarının bu mevsimde daha yüksek seviyelere çıkması, $HCHO$ yoğunluğunun artmasının başlıca sebebidir. NO_2 'nin yıl içindeki dağılımı ile ters korelasyona sahip olması da bu özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Bu tür kimyasal reaksiyonların zararlı aerosollerin oluşumuna katkısı, aerosol yoğunluğunun yaz mevsiminde artmasına etki etmektedir (Luecken vd., 2018; Stroud vd., 2016).

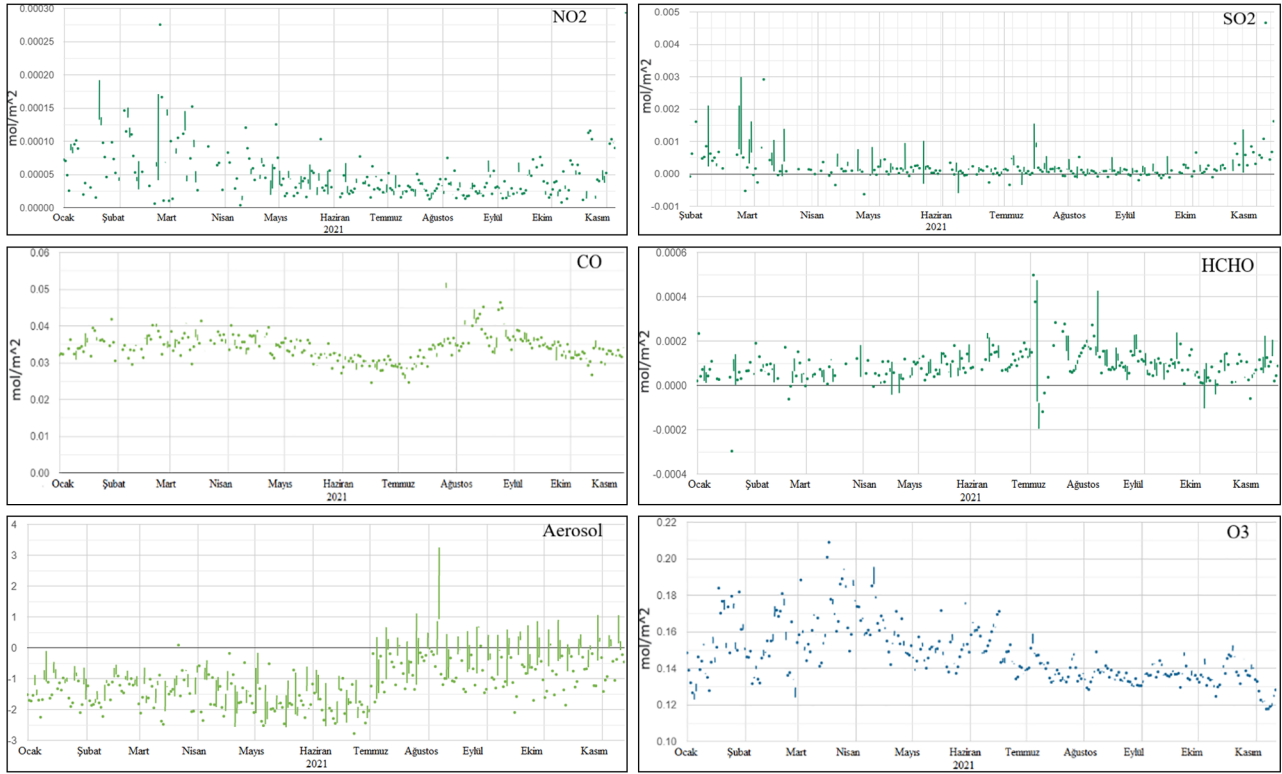
Araştırma sahasında aerosol tabakası yüksekliğinin yıl içindeki döngüsü incelendiğinde zaman zaman 1000 m'yi aşan değerler dikkat çekse de genel olarak 500 m ve daha az yükselti seviyelerinin yoğunlukta olduğu görülmektedir (Şekil 9). Bu durum



Şekil 6. Kocaeli iline ait (a) ortalama, (b) kış, (c) yaz mevsimi aerosol değerleri.
Figure 6. Aerosol values of Kocaeli province. (a) average, (b) winter, (c) summer.

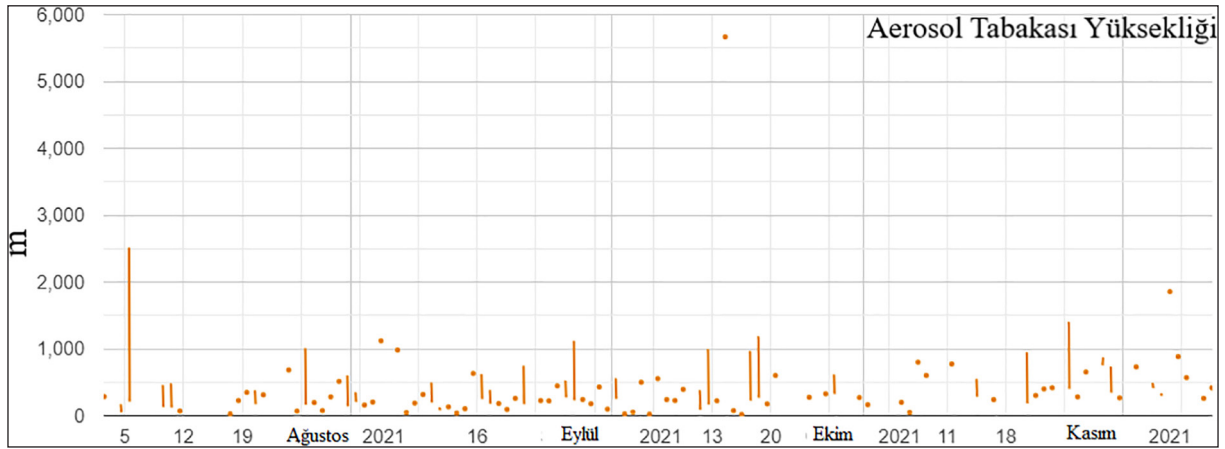


Şekil 7. Kocaeli iline ait ortalama aerosol tabakası yüksekliği değerleri.
Figure 7. Average aerosol layer height values of Kocaeli province.



Şekil 8. Kocaeli ilinde kirlenici gaz yoğunluklarının yıl içindeki değişimi.

Figure 8. Changes in pollutant gas concentrations in Kocaeli province during the year.



Şekil 9. Aerosol tabakası yüksekliğinin yıl içindeki değişimi.

Figure 9. Variation of aerosol layer height during the year.

doğal ya da beşeri kaynaklı aerosol oluşumlarının 0-500 m arasında dağılıcağı anlamına gelir. Ayrıca National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) kuruluşunun, National Centers for Environmental Prediction-Climat Forecast System Reanalysis verilerine göre gece koşullarında (00:00 ve 03:00) çalışma sahasında ve Türkiye'nin birçok alanında gezegen-sel sınır tabakası yüksekliği 100 m'nin altına düşmektedir (NOAA, 2022). Oluşan bu şartlar araştırma sahasındaki hava kalitesini olumsuz etkileyecektir.

Yer istasyonlarına ait korelasyon analizi için tüm kirlenici ölçümlerinin yapıldığı tek istasyon olan Dilovası istasyonu ve-rileri, örnek istasyon olarak kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına bakıldığında NO₂, SO₂, CO, ve NO_x kirlenicileri arasında pozitif korelasyon olduğu görülmektedir (Tablo 2). O₃ ise tüm bu kirleniciler ile ters korelasyona sahiptir. Troposferik ozon oluşumunun öncülleri olan bu kirlenicilerin (NO₂, NO_x, Hidrokar-

bonlar vb) ultraviyole ışınlarla tepkimeye girmesiyle O₃ meydana gelmektedir (Archibald vd., 2020; Liu vd., 1980; Ma vd., 2022). Aradaki negatif korelasyonun sebebi bu dönüşüm faaliyetleridir. Sentinel-5P TROPOMI verilerinde ise yer istasyon verilerindeki kadar kuvvetli olmasa da NO₂, SO₂, CO arasında pozitif korelasyon görülmektedir (Tablo 3). HCHO ve kısmen O₃ bu kirleniciler ile negatif korelasyona sahiptir. HCHO da O₃ gibi yoğunlukla ultraviyole reaksiyon sonucu ortaya çıktığı için bu iki kirlenici grubu arasında negatif korelasyon görülmektedir.

Uydu ve yer istasyonuna ait korelasyonlarda sayısal farklılıklar görülsede eğilimler yaklaşık olarak paraleldir. Her iki veri grubunda yer alan kirleniciler içerisinde NO₂-SO₂, NO₂-CO daha kuvvetli ilişki içerisinde. Kirlenicilere ait değerlendirmelerde her iki veri grubunun da dikkate alınması araştırma sonuçlarının doğruluğuna katkı sağlayacaktır.

Tablo 2. Dilovası istasyonu ölçümlerine ait korelasyon değerleri.**Table 2.** Correlation values of Dilovası station measurements.

Dilovası İstasyonu	NO ₂	NO _x	CO	SO ₂	O ₃	PM10
NO ₂ (µg/m ³)	1					
NO _x (µg/m ³)	0.914516	1				
CO (µg/m ³)	0.43771	0.543506	1			
SO ₂ (µg/m ³)	0.68698	0.68762	0.50745	1		
O ₃ (µg/m ³)	-0.605885	-0.62632	-0.56039	-0.5961	1	
PM10 (µg/m ³)	0.559051	0.707917	0.560354	0.551876	-0.49016	1

Tablo 3. Sentinel-5P TROPOMI verilerine ait korelasyon değerleri.**Table 3.** Correlation values of Sentinel-5P TROPOMI data.

Dilovası İstasyonu	NO ₂	NO _x	CO	SO ₂	O ₃	PM10
NO ₂ (µg/m ³)	1					
NO _x (µg/m ³)	0.914516	1				
CO (µg/m ³)	0.43771	0.543506	1			
SO ₂ (µg/m ³)	0.68698	0.68762	0.50745	1		
O ₃ (µg/m ³)	-0.605885	-0.62632	-0.56039	-0.5961	1	
PM10 (µg/m ³)	0.559051	0.707917	0.560354	0.551876	-0.49016	1

4. Sonuçlar

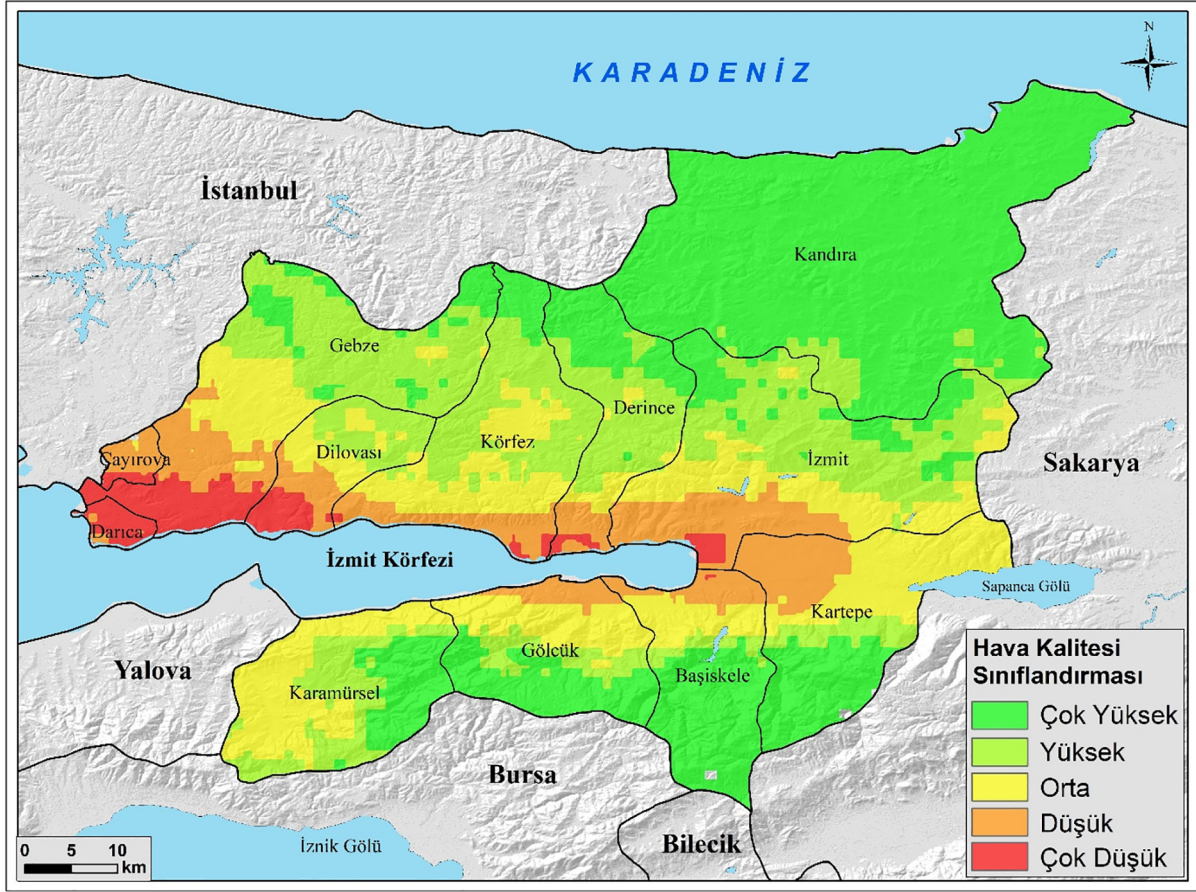
Kocaeli ili Türkiye'nin önemli sanayi alanlarından. Ülkeye kazandırdığı ekonomik değerler ile birlikte hava kalitesinin de sürekli kontrol altında tutulması gerekmektedir. Araştırmada uydu (NO₂, SO₂, CO, O₃, HCHO, ultraviyole aerosol indeksi, aerosol tabakası yüksekliği) ve yer istasyonlarına ait (NO₂, SO₂, CO, O₃, NO_x, PM 10) veri kayıtları kullanılmıştır. Hava kalitesinin en düşük olduğu alan, İzmit Körfezi çevresindeki ilçelerin kıyı kesimleridir. Tüm kirleticiler İzmit, Derince, Körfez, Dilovası, Gebze ve Darıca ilçelerinin kıyı kuşağında maksimum değerlere ulaşmaktadır. Sanayileşme ve trafik yoğunluğu, bu durumun ortaya çıkmasında temel faktördür. Uydu verilerine ait haritalarda NO₂, SO₂, CO yoğunluğunun kış mevsiminde daha da arttığı görülmektedir. Özellikle SO₂ ortalama değerlerin 4.3 katına ulaşır. Bu durumun ortaya çıkmasında bu mevsimde ısınma amaçlı kullanılan fosil yakıtların etkisi büyüktür. HCHO ve ultraviyole aerosol indeksi yaz mevsiminde yaşanan fotokimyasal süreçlere bağlı olarak daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Aerosol indeksi, özellikle yaz aylarında insan sağlığını olumsuz etkileyecek ve troposferik ozon (kötü huylu ozon) oluşumuna sebep olacak pozitif değerler gösterse de genel ortalama risk oluşturmamaktadır. Aerosollerin atmosferde ulaştığı yükselti seviyesi, kirliliğin dikey dağılımı hakkında bilgi vermektedir. Yaklaşık olarak gezegensel sınır tabakasını ifade eden ve atmosfer şartlarına bağlı olarak değişen bu yükselti, özellikle kış aylarında yer yüzeyine iyice yaklaşmaktadır. Bu durum, hissedilen kirliliğin boyutunu arttırmaktadır. Araştırma sahasında aerosol tabakası yüksekliği zaman zaman 1 km'nin üzerine çıksa da yılın büyük bölümünde bu yükseltiden daha azdır. 0-500 m yükselti aralığı aerosol dağılımının en yoğun gözlemlendiği seviyedir. Bu şartlar atmosfere bırakılacak kirlenici gazların çoğunlukla yer yüzeyi ile 500 m yükselti arasında sıkışacağı anlamına gelmektedir. Kış mevsiminde oluşacak inversiyon şartlarında ya da gece koşullarında bu yükselti daha da azalmaktadır. Sonuçta hissedilen kirliliğin boyutu sağlık açısından daha tehlikeli seviyelere ulaşır. Ayrıca NOAA'nın gezegensel sınır tabakası yüksekliğini de içeren Climate Forecast System Reanalysis verileri incelendiğinde, araştırma sahasın-

da sınır tabakasının gece koşullarında (00:00, 03:00) 100 m ve daha az yükseltiye sahip olduğu görülür. Bu veri tabanı da elde edilen bulguları desteklemektedir.

Kirlenici gazlara ait korelasyonlar incelendiğinde hem uydu hem de yer gözlemlerinde NO₂, SO₂ ve CO arasında pozitif korelasyon olduğu görülmektedir. HCHO ve nispeten O₃ diğer kirleneticilerle negatif korelasyona sahiptir. Pozitif korelasyon üzerinde kirlenici kaynaklarının ortak olması ve atmosfer şartları etkili olurken, negatif korelasyonda yaşanan fotokimyasal süreçler etkilidir. Çünkü HCHO ve troposferik ozon, azot oksitlerin ultraviyole ışınlarla tepkimeye girmesi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bu durumda atmosferde azot oksitler azalırken, HCHO ve troposferik ozon oluşumu artar. Korelasyon değerleri yer istasyonu verilerinde daha yüksektir.

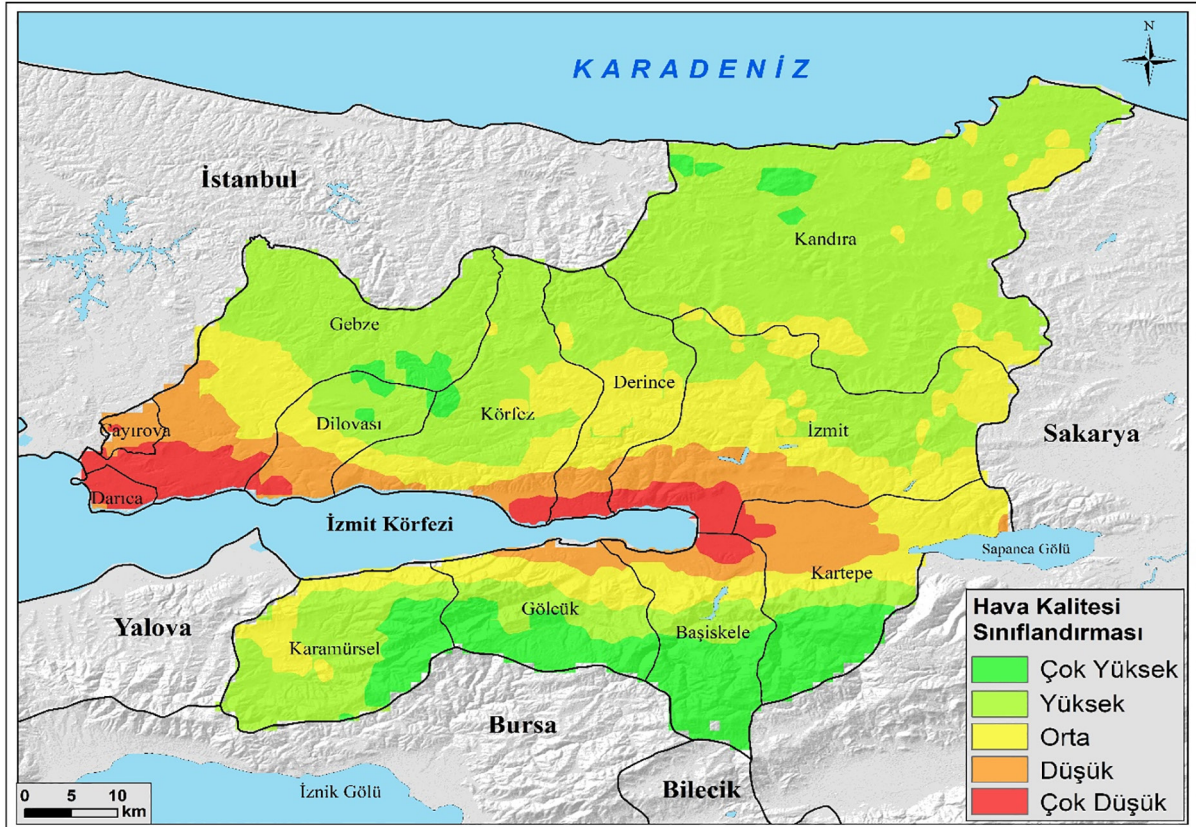
Hava kalitesi haritaları oluşturmak için, uydu ve yer istasyonlarına ait toplam on iki adet kirlenici haritası eşit risk aralıklarına bölünerek üç farklı yöntemle hazırlanmıştır. Üç farklı yöntemin kullanılma sebebi sonuçların doğruluğunu sınamaktır. Haritalar incelendiğinde sonuçların çok benzer olduğu dikkat çekmektedir. Her üç haritada da İzmit ilçesinin körfez kıyısı, Derince ve Körfez ilçelerinin sınırını oluşturan sahil şeridi, Dilovası, Gebze ve Darıca kıyı kuşağı hava kalitesinin en düşük olduğu alanlardır. Kandıra çevresi, Gebze, Derince, Körfez, İzmit ilçelerinin kuzeyi ayrıca Kartepe, Başiskele ve Gölçük ilçelerinin güney kesimlerinde hava kalitesi en yüksektir (Şekil 10, 11, 12). Haritalarda lejantlar il içi göreceli hava kalitesi sınıflandırmasına göre düzenlenmiştir.

Sonuçta insan faaliyetleri ekolojik ortamlar üzerinde baskı oluşturmaktadır. Atmosfer de bu zorlamaya maruz kalan alanlardan biridir. Her ne kadar Marmara Temiz Hava Merkezi istasyonları gibi gözlem araçlarıyla sürekli ölçümler yapılsada, kirleneticilerin körfezin özellikle kuzey yakasında ve doğusunda yoğunluk kazandığı, bu alanlarda insan sağlığını daha fazla olumsuz etkileyebileceği araştırmada yapılan analizlerin ortak sonucudur. Uydu verileri ile yapılan analizler literatürde hızla artmakta ve yer istasyon ölçüm değerlerine alternatif oluşturu-



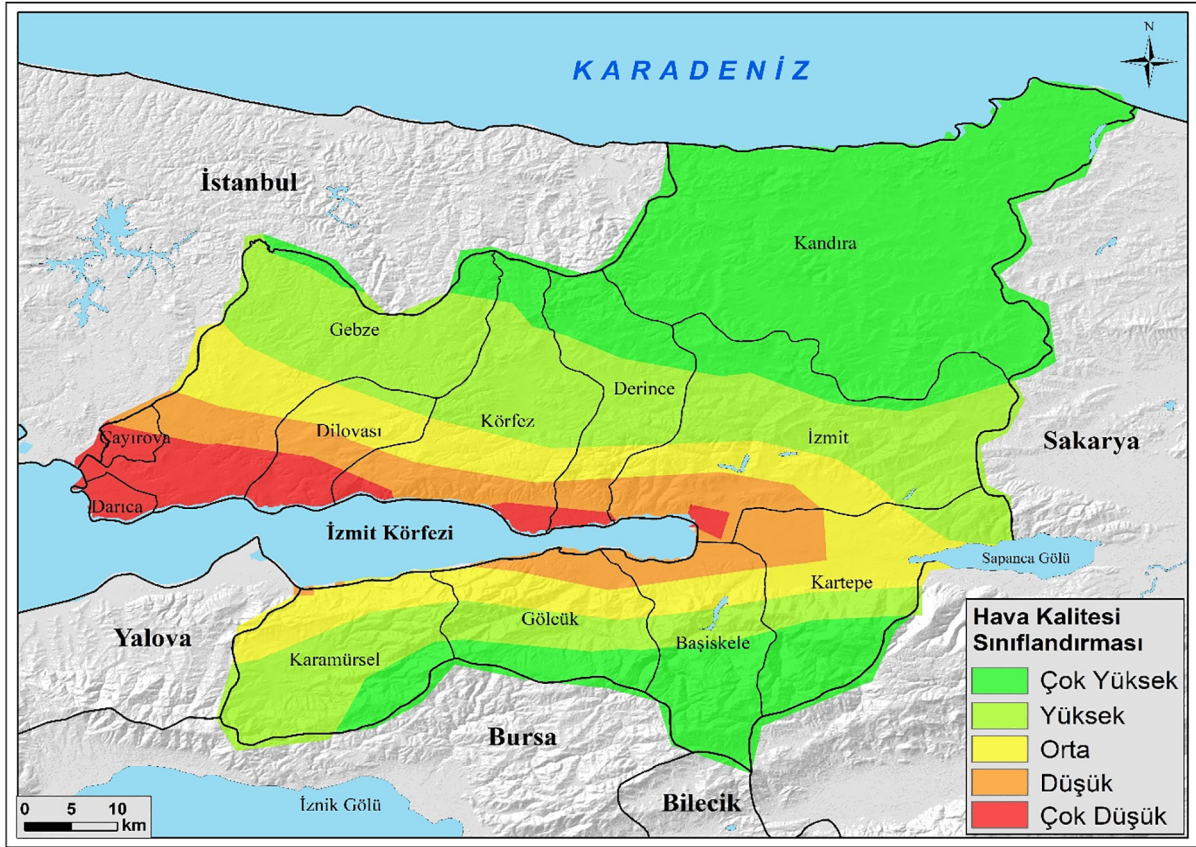
Şekil 10. Temel bileşen analizi (principal component analysis) ile hazırlanan genel hava kalitesi haritası.

Figure 10. General air quality map prepared by principal component analysis.



Şekil 11. Çok katmanlı ağırlıklı çakıştırma yöntemi (weighted overlay) ile hazırlanan genel hava kalitesi haritası.

Figure 11. General air quality map prepared by multilayer weighted overlay method.



Şekil 12. Tüm kirleticilerin dağılışı alanlarının birleştirilmesiyle oluşturulan genel hava kalitesi haritası.

Figure 12. General air quality map created by combining the distribution areas of all pollutants.

maktadır. Mekansal ve zamansal dağılışı yüksek oranda doğrulukla araştırmacıya sunan bu veri kaynağı daha yaygın bir şekilde kullanılmalıdır.

5. Tartışma ve Öneriler

Atmosfere bırakılan kirleticilerin kısa süreli de olsa yoğunluğunun arttığı zaman dilimleri, canlı yaşamı için tehdit oluşturmaktadır. Özellikle Kocaeli gibi sanayi şehirlerinde bu durumla daha sık karşılaşmaktadır. Kirlenici gazların atmosferdeki dağılımı uydu ve yer tabanlı ölçümlerle sürekli gözlemlenmeli, dağılımı şekillendiren faktörler ortaya konmalı, yoğunluk haritaları oluşturularak sürekli güncellenmeli, sanayi faaliyetleri bu çalışmalar neticesinde yönlendirilmelidir. Araştırmacının konu kapsamıyla ilgili uydu görüntülerini ve yer istasyonu verilerini kullanan çalışmalara ait alan yazın incelendiğinde Öztürk vd. (2021) Kocaeli'nin İzmit ilçesinde PM 2.5 konsantrasyonunun zamansal ve mekânsal dağılımını incelemiş, atmosfere aynı miktarda kirlenici bırakılsa bile yaz mevsiminde karışım yüksekliğinin artmasına bağlı olarak kirliliğin azaldığını tespit etmiştir. Çalışma bulguları, araştırmadaki gaz yoğunluklarının genel olarak kış mevsiminde daha fazla olduğu ve sıcaklığın arttığı yaz aylarına doğru kirlenici yoğunluğunun azaldığı sonuçlarını desteklemektedir. Cindoruk (2018), Marmara Bölgesinde 11 ilde bulunan 38 yer istasyonuna ait NO ve NO₂ ölçümlerini karşılaştırdığı çalışmada eşik değerlerin İstanbul, Bursa, Kocaeli, Tekirdağ illerinde çoğu kez aşıldığını vurgulamış, endüstri ve diğer alanlarda alternatif enerji kaynaklarının artırılması önerisinde bulunmuştur. Sanayi faaliyetlerinin hava kalitesi üzerindeki olumsuz etkisi ve alternatif enerji kaynaklarının tercih edilmesi tavsiyesi araştırmaya paralel olan sonuçlardır. Luecken vd. (2018), atmosferik formaldehit ve ozon oluşumu-

nun mevsimsel döngüsünü, bu oluşumun azot oksitlerle olan bağlantısını incelemiştir. Fotokimyasal süreçlerin azot oksitler ile troposferik ozon ve formaldehit arasında negatif bir korelasyon oluşturduğunu tespit etmiştir. Ayrıca bu süreçlerin yaz aylarında daha yaygın olduğunu dile getirmektedir. Araştırmada kirlenici gazların yıl içindeki dağılımının gösterildiği grafiklerde formaldehit yoğunluğunun yaz aylarında artması ve NO₂-formaldehit arasındaki ters korelasyon bu çalışma ile ilgili ortak sonuçlardır. Keresztes & Rapo (2017), Romanya'nın Cuic havzasında hava kirliliğinin nedenleri ve kirlenici gazlar arasındaki korelasyonları incelediği çalışmalarında, Luecken vd. (2018)'e paralel sonuçlara ulaşmıştır. Bu iki çalışma araştırmanın ters korelasyona ait bulgularını yani NO₂-formaldehit, NO₂-O₃ ve NO₂-aerosol bulgularını desteklemektedir. Tuygun & Elbir (2020), uydu ve yer istasyonu ölçümlerine bağlı olarak Türkiye'nin güney kıyılarında gezegensel sınır tabakası yüksekliği ile PM 10 ve aerosol ilişkisini incelemişlerdir. Araştırma sınır tabakası yüksekliğinin azaldığı dönemlerde, atmosferde partikül yoğunluklarının arttığına vurgu yapmaktadır. Bu bulgu araştırmanın sınır tabakası ve aerosol tabakası yüksekliğinin azaldığı zaman dilimlerinde kirlenici yoğunluğunun arttığı sonucuyla paraleldir. Kıyıda oluşan meltemlerin ve termal inversiyonların sınır tabakası yüksekliğini azalttığı, bunun da kirliliğin daha yoğun hissedilmesine sebep olduğu, bulgular içerisinde yer alır. Ayrıca araştırma, PM 10 ve aerosol yoğunluklarının sadece sınır tabakası yükseltisi tarafından şekillendirilmediğini de dile getirmektedir. Ghasempour vd. (2021), Türkiye'de Covid 19 salgını öncesi ve salgın sürecinde hava kirliliğini Google Earth Engine kullanarak değerlendirdikleri çalışmalarında sanayi faaliyetlerinin yavaşlamasının hava kalitesi üzerinde etkisi olduğu, meteorolojik parametreler ile kirlenici yoğunlukları arasın-

da ilişki bulunduğu ve uydu tabanlı verilerin hava kalitesinin değerlendirilmesinde önemli sonuçlar sağladığı bulgularına ulaşmışlardır. Bu bulgular araştırmanın özellikle rüzgar hızı ve sıcaklık artışının kirleticilerin atmosferdeki dağılımını etkilediği, sanayi faaliyetlerinin hava kalitesi üzerindeki olumsuz etkisinin varlığı ve uydu verilerinin araştırmalarda artık daha yaygın bir şekilde kullanılması gerektiği sonuçları ile örtüşmektedir.

Sonuç olarak atmosferdeki kirletici yoğunlukları birçok farklı süreç tarafından yönlendirilmektedir. Sağlıklı bir hava kalitesi adına kirleticilere yoğunluk değerlerinin ötesinde, dikkat edilmesi gereken çok fazla parametre vardır. Özellikle Kocaeli gibi sanayi şehirlerinde çok yönlü araştırmaların artırılması, karar verici makamlara ışık tutarak daha sağlıklı bir hava kalitesini beraberinde getirecektir. Araştırmada uydu görüntülerine ait veri zaman aralığının sınırlı olması ve bulutlu günlerde yaşanan veri kayıpları en önemli sınırlılığı oluşturmaktadır. Yaşanan veri kayıpları ister istemez elde edilen sonuçları etkilemektedir. Bu alanda yapılacak çalışmalarda bu gibi sınırlılıklar dikkate alınmalıdır.

Çıkar Çatışması / Conflict of interest : Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder. *The author declares that there is no conflict of interest.*

Veri erişilebilirliği / Data availability : Hava kirliliğine sebep olan gazlara ait uydu ölçümlerine dayanan veriler <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/sentinel-5p> adresinden, yer istasyonlarına ait veriler <http://sim.csb.gov.tr/Services/airquality> adresinden elde edilmiştir. *Data based on satellite measurements of gases causing air pollution are available at https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/sentinel-5p and data from ground stations at http://sim.csb.gov.tr/Services. Obtainable via /airquality.*

Yazar Katkısı / Author contribution : M.C., Araştırma konusunun tespit edilmesi, kavramsal çerçeve ve yazım akışının oluşturulması, H.Ş. Abstract ve İngilizce genişletilmiş özetin yazımı, makalenin tamamında akademik bütünlüğün kontrolü ve sağlanması, S.K.M.A. Hava kalitesi haritalarının yapılması ve korelasyon hesaplamaları, O.C. Çok katmanlı ağırlıklı çıkartma yöntemi, temel bileşen analizi ve kirletici dağılımlarının birleştirilmesi ile oluşan sonuç haritalarının hazırlanması, sorumlu yazar olarak sürecin takibine katkı sunmuştur. *M.C., Determining the research topic, creating the conceptual framework and writing flow, H.Ş. Writing the abstract and the extended summary in English, checking and ensuring the academic integrity of the entire article, S.K.M.A. Making air quality maps and correlation calculations, O.C. As the responsible author, he contributed to the follow-up of the process by preparing the result maps formed by combining the multi-layered weighted overlay method, principal component analysis and pollutant distributions.*

Kaynakça

- Abdi, H., & Williams, L. J. (2010). Principal component analysis. *Wires Computational Statistics*, 2(4), 433–459. <https://doi.org/10.1002/wics.101>
- Aghlmand, M., Kalkan, K., Onur, M. İ., Öztürk, G., & Ulutak, E. (2021). Google Earth Engine ile arazi kullanımı haritalarının üretimi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1), 38–47. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.795977>
- Akyürek, Ö., Arslan, O., & Karademir, A. (2013). *SO₂ ve PM₁₀ hava kirliliği parametrelerinin CBS ile konumsal analizi: Kocaeli örneği*. TMMOB coğrafi bilgi sistemleri kongresi, Ankara.
- Archibald, A., Turnock, S., Griffiths, P., Cox, T., Derwent, R., Knote, C., & Shin, M. (2020). On the changes in surface ozone over the twenty-first century: sensitivity to changes in surface temperature and chemical mechanisms. *Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences*, 378, 20190329. <https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0329>
- Ashar, N. G. (2016). *Chemical and physical properties of sulphur dioxide and sulphur trioxide bt - advances in sulphonation techniques: liquid sulphur dioxide as a solvent of sulphur trioxide* (N. G. Ashar (ed.); ss. 9–19). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-22641-5_2
- Bar, S., Parida, B. R., & Pandey, A. C. (2020). Landsat-8 and Sentinel-2 based Forest fire burn area mapping using machine learning algorithms on GEE cloud platform over Uttarakhand, Western Himalaya. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 18, 100324. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100324>
- Bhaskar, C., & Lakshminarayananachari, K. (2021). Numerical model for primary and secondary air pollutants emitted from an area and point source in an urban area with chemical reaction and removal mechanisms. *Materials Today: Proceedings*, 37, 2961–2967. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.706>
- Çapraz, Ö., & Deniz, A. (2018). Analysing of a Saharan dust event in İstanbul using remote sensing data. *Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği Bilimsel Kongresi*.
- Cindoruk, S. S. (2018). Havadaki NO ve NO₂ parametrelerinin Mar-mara Temiz Hava Merkezi ölçümleri kapsamında incelenmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 600–611. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.443194>
- Coşkun, M. (2011). Fundamental pollutants in the European Union (EU) countries and their effects on Turkey. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 19, 467–473. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.05.156>
- Coşkun, M., Coşkun, S., & Gözalan, S. (2020). Temperature Inversion Winter Seasonal in Karabük-Safranbolu Basin : Possible Effects on Natural and Human Environment (Turkey) *Turkish Studies* 15(1), 71–82. <https://doi.org/10.29228/TurkishStudies.40320>
- Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (2022). *Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığı, hava kalitesi izleme istasyonları*. <http://sim.csb.gov.tr/Services/airquality>
- Dasgupta, S., Lall, S., & Wheeler, D. (2021). Spatiotemporal analysis of traffic congestion, air pollution, and exposure vulnerability in Tanzania. *Science of The Total Environment*, 778, 147114. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147114>
- Dey, S., & Chowdhury, S. (2022). Chapter 12 - Air quality management in India using satellite data. In (R.P. Singh (ed.) *Asian Atmospheric Pollution* (pp. 239–254). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816693-2.00019-6>

- ESA. (2021). *The European Space Agency*. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-5p>
- Fayyazbakhsh, A., Bell, M. L., Zhu, X., Mei, X., Koutný, M., Hajinajaf, N., & Zhang, Y. (2022). Engine emissions with air pollutants and greenhouse gases and their control technologies. *Journal of Cleaner Production*, 376, 134260. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134260>
- Ghasempour, F., Sekertekin, A., & Kutoglu, S. H. (2021). Google Earth Engine based spatio-temporal analysis of air pollutants before and during the first wave Covid-19 outbreak over Turkey via remote sensing. *Journal of Cleaner Production*, 319, 128599. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128599>
- Guo, B., Zhang, D., Pei, L., Su, Y., Wang, X., Bian, Y., Zhang, D., Yao, W., Zhou, Z., & Guo, L. (2021). Estimating PM_{2.5} concentrations via random forest method using satellite, auxiliary, and ground-level station dataset at multiple temporal scales across China in 2017. *Science of The Total Environment*, 778, 146288. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146288>
- Guo, Y., Wang, S., Zhu, J., Zhang, R., Gao, S., Saiz-Lopez, A., & Zhou, B. (2021). Atmospheric formaldehyde, glyoxal and their relations to ozone pollution under low- and high-NO_x regimes in summertime Shanghai, China. *Atmospheric Research*, 258, 105635. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105635>
- Huo, Y., Wang, Y., Paasonen, P., Liu, Q., Tang, G., Ma, Y., Petaja, T., Kerminen, V. M., & Kulmala, M. (2021). Trends of Planetary Boundary Layer Height Over Urban Cities of China From 1980–2018. *Frontiers in Environmental Science*, 9(September), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.744255>
- İlkılıç, C., & Behçet, R. (2006). Hava kirliliğinin insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkisi. *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*, 5(1), 66–72. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/fudad/issue/47092/592365>
- İşkan, S., & Koç, T. (2021). İnegöl (Bursa) havzasında hava kalitesinin fiziki ortam ile ilişkisi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 77, 7–18. <https://doi.org/10.17211/tcd.871839>
- Jamali, A. A., Ghorbani Kalkhajeh, R., Randhir, T. O., & He, S. (2022). Modeling relationship between land surface temperature anomaly and environmental factors using GEE and Giovanni. *Journal of Environmental Management*, 302, 113970. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113970>
- Keresztes, R., & Rapo, E. (2017). Statistical Analysis of air pollution with specific regard to factor analysis in the Ciuc basin, Romania. *Studia Universitatis Babeş-Bolyai. Chemia*, 62, 283+. <https://link.gale.com/apps/doc/A524380378/AONE?u=anon~6ff7624f&sid=googleScholar&xid=e1757603>
- Kim, M. H., Yeo, H., Park, S., Park, D. H., Omar, A., Nishizawa, T., Shimizu, A., & Kim, S. W. (2021). Assessing Calipso-derived planetary boundary layer height using ground-based lidar. *Remote Sensing*, 13(8), 1–14. <https://doi.org/10.3390/rs13081496>
- KOSANO. (2022). *Kocaeli ve sanayi*. <https://kosano.org.tr/kocaeli-ve-sanayi/>
- Li, Y., Li, J., Zhao, Y., Lei, M., Zhao, Y., Jian, B., Zhang, M., & Huang, J. (2021). Long-term variation of boundary layer height and possible contribution factors: A global analysis. *Science of the Total Environment*, 796(July), 148950. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148950>
- Liu, S., Kley, D., McFarland, M., Mahlman, J., & Levy, H. (1980). On the origin of tropospheric ozone. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 85. <https://doi.org/10.1029/JC085iC12p07546>
- Lueken, D. J., Napelenok, S. L., Strum, M., Scheffe, R., & Phillips, S. (2018). Sensitivity of Ambient Atmospheric Formaldehyde and Ozone to Precursor Species and Source Types Across the United States. *Environmental Science & Technology*, 52(8), 4668–4675. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b05509>
- Ma, J., Zhou, X., Xu, X., Xu, X., Gromov, S., & Lelieveld, J. (2022). Chapter 15 - Ozone and aerosols over the Tibetan Plateau (R. P. B. T.-A. A. P. Singh (ed.); ss. 287–302). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816693-2.00008-1>
- Maleika, W. (2020). Inverse distance weighting method optimization in the process of digital terrain model creation based on data collected from a multibeam echosounder. *Applied Geomatics*, 12(4), 397–407. <https://doi.org/10.1007/s12518-020-00307-6>
- NOAA. (2022). *National Oceanic and Atmospheric Administration, National Centers for Environmental Prediction-Climate Forecast System Reanalysis*.
- Ozelkan, E., Karaman, M., Mostamandi, S., Uça Avcı, Z., & Toros, H. (2015). Derivation of PM₁₀ Levels Using OBRA on Landsat 5 TM Images: A Case Study in Izmir, Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24, 1585–1596.
- Öztürk, S., Gerçek, D., Güven, İ. T., Gaga, E., Özden Üzmez, Ö., & Civan, M. (2021). Kocaeli İzmit İlçesi'nde partikül madde (Pm_{2.5}) konsantrasyon seviyeleri, mekânsal ve mevsimsel değerlendirilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(3), 809–821. <https://doi.org/10.21923/jesd.888896>
- Pasquill, F. (1961). The estimation of the dispersion of windborne material. *Meteorology Magazine*, 8(11), 33–40.
- Ren, Y., Wei, J., Wang, G., Wu, Z., Ji, Y., & Li, H. (2022). Evolution of aerosol chemistry in Beijing under strong influence of anthropogenic pollutants: Composition, sources, and secondary formation of fine particulate nitrated aromatic compounds. *Environmental Research*, 204, 111982. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111982>
- Stroud, C. A., Zaganescu, C., Chen, J., McLinden, C. A., Zhang, J., & Wang, D. (2016). Toxic volatile organic air pollutants across Canada: multi-year concentration trends, regional air quality modelling and source apportionment. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 73(2), 137–164. <https://doi.org/10.1007/s10874-015-9319-z>
- Su, T., Li, Z., Li, C., Li, J., Han, W., Shen, C., Tan, W., Wei, J., & Guo, J. (2020). The significant impact of aerosol vertical structure on lower atmosphere stability and its critical role in aerosol-planetary boundary layer (PBL) interactions. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20(6), 3713–3724. <https://doi.org/10.5194/acp-20-3713-2020>
- Tıgılı, N. E., & Cangür, Ş. (2019). Ankara'da farklı hava kalitesi izleme istasyonlarından elde edilen verilerin kantil regresyon analizi ile incelenmesi. *Nicel Bilimler Dergisi*, 1(2), 62–86. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/nicel/issue/51142/567926>
- Tuna Tuysun, G., & Elbir, T. (2020). Long-term temporal analysis of the columnar and surface aerosol relationship with planetary boundary layer height at a southern coastal site of Turkey. *Atmospheric Pollution Research*, 11(12), 2259–2269. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.09.008>
- UN. (2021). *United Nations Office for Outer Space Affairs Un-Spider Knowledge Portal*. <https://un-spider.org/links-and-resources/gis-rs-software/google-earth-engine-google>
- Ünsaldi, E., & Çiftçi, M. K. (2010). Formaldehit, kullanım alanları, risk grubu, zararlı etkileri ve koruyucu önlemler. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 21(1), 71–77–77.

- Vallero, D. (2019). *Characterizing air pollutants* (ss. 29–44). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814934-8.00002-8>
- Vries, J., Laan, E., Hoogeveen, R. W. M., Jongma, R., Aben, I., Visser, H., Boslooper, E., Saari, H., Dobber, M., Veefkind, P., Kleipool, Q., & Levelt, P. (2007). Tropomi: Solar backscatter satellite instrument for air quality and climate - art. no. 674409. *Proceedings of Spie - The International Society for Optical Engineering*. <https://doi.org/10.1117/12.737755>
- Yavuz, V., Özen, C., Çapraz, Ö., Özdemir, E., Deniz, A., akbayır, I., & Temur, H. (2022). Analysing of atmospheric conditions and their effects on air quality in Istanbul using Sodar and Ceilometer. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 1–20. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16958-w>