

Kocaeli İlinde CO ve NO₂ Konsantrasyonlarının Zamansal ve Mekânsal Analizi (Temporal and Spatial Analysis of CO and NO₂ Concentrations in Kocaeli Province)

Elif ÖZLER¹ , Rümeysa KARATAŞ¹ , Nur YAĞMUR AYDIN¹ 

¹Gebze Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği, Gebze, Kocaeli
e.ozler2020@gtu.edu.tr, r.karatas2019@gtu.edu.tr, nyagmur@gtu.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 17.02.2025

Kabul Tarihi (Accepted): 15.07.2025

ÖZ

Hava kirliliği, toplum ve çevre sağlığını etkileyen önemli bir faktördür. Kentsel alanların yayılması ile artan insan faaliyetleri ve endüstriyel aktiviteler, hava kalitesinde etken parametrelerin de artışına sebebiyet vermektedir. Hava kalitesini oluşturan birçok parametre olsa da CO ve NO₂ parametreleri insan faaliyetlerinden en çok etkilenen parametrelerdir. Ancak yersel hava kalite izleme sistemlerinde istasyon sayıları kısıtlı olduğundan, bu parametrelerin bölgesel olarak karakterize edilmesi mümkün olamamaktadır. Geniş kapsama alanı ile uzaktan algılama sistemleri, lokal ve küresel ölçekte hava kalite parametrelerinin izlenmesine olanak sunmaktadır. Belirli periyotlarda veri alma olanaklarıyla hava kalite parametrelerinin sürekli izlenmesini sağlamaktadırlar. Bu çalışma kapsamında da sanayi ve endüstriyel faaliyetlerin yoğun olduğu Kocaeli ilinde CO ve NO₂ parametrelerinin aylık ve mevsimsel olarak değişim analizi Sentinel-5P uydu verileri ile irdelenmiştir. Bu amaçla, her iki parametre için 2019-2024 yılları arasında aylık olarak zaman serileri oluşturulmuş ve mevsimsel görüntüler oluşturularak 2018 yılı CORINE arazi örtüsü ve kullanımı verisi ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde soğuk mevsimlerde ısınma ve faaliyetlerinin artması ile CO ve NO₂ konsantrasyonları artarken, sıcak mevsimlerde bu faaliyetler azaldığından bu parametrelerin yoğunluğu da azalmaktadır. Kritik bölgelerin tespiti için mekansal istatistiksel analiz yöntemlerinden yararlanılmıştır. Mevsimsel ortalamalar alınarak oluşturulan görüntülere Sıcak Nokta Analizi uygulanırken, konum-zaman ilişkisini beraber inceleyen Gelişmiş Sıcak Nokta Analizi ise 2019-2024 yılları arasında aylık periyotlarda üretilen ortalama görüntülere uygulanmıştır. Analizler sonucunda endüstriyel faaliyetlerin yüksek olduğu İzmit Körfezi'nin çevresindeki alanlar yoğunlaşan sıcak alanlar olarak belirlenirken, şehrin kuzey ve güney kesimleri de yoğunlaşan soğuk alanlar olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, hava kalite yönetim stratejilerinin belirlenmesinde uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemlerinin kullanımının önemini kapsamlı bir şekilde ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Sentinel-5P, Sıcak Nokta Analizi, Konum-Zaman Küpü, Kocaeli, Hava Kalitesi.

ABSTRACT

Air pollution is a significant factor affecting both public and environmental health. With the expansion of urban areas, increasing human and industrial activities contribute to rising air quality parameter levels. Although air quality is influenced by many factors, CO and NO₂ are among the most impacted by human activities. However, due to the limited number of ground-based air quality monitoring stations, it is not possible to characterize these parameters at a regional scale. Remote sensing systems with their wide coverage area enable air quality monitoring at both local and global scales. Additionally, they facilitate continuous air quality assessments through periodic data acquisition technologies. In this study, the monthly and seasonal variations of CO and NO₂ concentrations in Kocaeli Province, an area with intense industrial activity, were analyzed using Sentinel-5P satellite data. For this purpose, monthly time series were generated for both parameters from 2019 to 2024, and seasonal images were created and evaluated using the CORINE dataset from 2018. The results indicate that CO and NO₂ concentrations increase due to heating activities during the colder seasons, while their levels decline as these activities decrease in the warmer seasons. Spatial statistical analysis methods were used to identify regionally critical areas. While Hot Spot Analysis, which examines spatial and temporal patterns, was applied to monthly average images from 2019 to 2024. The analysis revealed that areas surrounding İzmit Bay, where urbanization and industrial activities are dense, were identified as intensifying hot spots, while the northern and southern parts of the city were classified as intensifying cold spots. These findings highlight the crucial role of remote sensing and geographic information systems in shaping air quality management strategies.

Keywords: Sentinel-5P, Hot Spot Analysis, Space-Time Cube, Kocaeli, Air Quality.

1. GİRİŞ

Hava kalitesi hem çevre sağlığı hem de insan yaşamı için kritik bir öneme sahiptir. Günümüzde sanayi, ulaşım ve enerji üretimi gibi insan faaliyetleri, atmosferdeki gaz dengesini bozmaktadır. Bu durum, hava kirliliğine ve beraberinde ciddi çevresel sorunlara yol açmaktadır. Karbon monoksit (CO) ve azot dioksit

(NO₂), kirlletici gazlar arasında özellikle dikkat çeken iki önemli parametredir (WHO, 2016). CO parametresi, genellikle fosil yakıtların tam olarak yanmaması sonucu oluşurken, kentsel alanlarda endüstriyel faaliyetler, taşıt yoğunluğu ve orman yangınları da temel kaynaklarındandır (HSGM, 2023). Havada kalma süresi 60 günden fazla olan CO (Menteşe ve Çotuker, 2021), insan sağlığı üzerinde doğrudan etkiler yaratabilmektedir (EPA, 2024a). NO₂ ise motorlu taşıtların egzoz gazlarından, ısıtma faaliyetlerinden ve sanayi tesislerinden kaynaklanmaktadır (Virta, Ialongo, Szeląg ve Eskes, 2023; EPA, 2024b). Bu gaz, solunum yollarını tahriş eder ve astım gibi hastalıkları tetikleyebilir. Ayrıca atmosferdeki ozon gibi diğer zararlı kirlleticilerin oluşumunda rol oynar ve hava kirliliğini daha da artırır (Bostan ve Olcay, 2022; EPA, 2024b). Bu sebeple, her iki parametre de kentsel dokunun ve endüstriyel faaliyetlerin olduğu bölgelerde yoğunlaştıkça, insan sağlığı üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır.

Hava kirliliğinin izlenmesi ve ölçülmesi, çevre politikalarının oluşturulması ve hava kalitesinin iyileştirilmesi için kritik öneme sahiptir. Bu kapsamda, kurum ve kuruluşlar tarafından yersel hava kalite ölçüm istasyonları kurulmuştur. Hava kirliliğinin noktasal veri kaynağı olan yer istasyonları ile bölgesel olarak belirlenmesinde, detaylı matematiksel modelleme ve enterpolasyon yöntemlerine başvurulmaktadır (Demirarslan ve Akıncı, 2018; Vural, 2021; Arıkan İspir ve Yıldız, 2025). Ancak, yer istasyonları ile gerçekleştirilen bu çalışmalar, bölgedeki hava kirliliğini ve olası kirlletici unsurları yeterince iyi karakterize edememektedir. Bu kapsamda, gelişen teknolojiyle birlikte uydu tabanlı sistemler hava kalitesinin izlenmesi sürecinde büyük kolaylık sağlamaktadır (Martin, 2008). Özellikle Sentinel-5P uydusu gibi hava kalitesi için geliştirilmiş uydu sistemleri, hava kalitesini etkileyen gazların dağılımını geniş bir alan içerisinde yüksek hassasiyetle izleme imkânı sunmaktadır (Sünsüli ve Kalkan, 2022).

Hava kalitesinin izlenmesinde Sentinel-5P TROPOMI uydu verilerinin kullanımı oldukça yaygındır. Sentinel-5P uydu verileri ile hem ülke (Zheng, Yang, Wu ve Marinello, 2019; Vîrghileanu, Săvulescu, Mihai, Nistor ve Dobre, 2020; Levelt ve diğerleri, 2022; Sünsüli ve Kalkan, 2022) hem de il bazında hava kalite parametrelerinin izlenmesi çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Kaloni, Lee ve Dev, 2021; Coşkun, Şahiner, Abujayyab ve Canbulat, 2022; Makineci, 2022; Uyar, 2024; Morillas, Alvarez, Pires, Garcia ve Martinez, 2024). NO₂

parametresinin mevsimsel hareketliliği, pandemi ve deprem süreçlerindeki değişimi (Sünsüli ve Kalkan, 2022; Çilek, 2022; Özçelik ve Küçükönder, 2024) ile CO parametresinin mevsimsel hareketliliği ve çevresel faktörler ile değişimi üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Bodah ve diğerleri, 2022; Makineci, 2022; Arıkan ve Yıldız, 2023). Bu çalışmalar neticesinde, Sentinel-5P uydu verilerinin NO₂ ve CO parametrelerinin bölgesel dağılımının ve zamansal değişiminin incelenmesinde oldukça etkili olduğu ve özellikle insan faaliyetlerinin yoğunlaştığı bölgelerde önemli bulgular sunduğu ortaya konmuştur.

Çalışma kapsamında, sanayi faaliyetlerinin yoğun olduğu Kocaeli ilinde CO ve NO₂ parametrelerinin zamansal değişimi ve mekânsal dağılımı incelenmiştir. Bu doğrultuda, 2019-2024 yılları arasında elde edilen Sentinel-5P uydu verileri kullanılmıştır. Ancak günümüzde, hava kalite parametrelerinin yoğunlaştığı bölgelerin tespitinde mekânsal istatistiksel analizlerin kullanımı yaygınlaşmaktadır (Müller, Erbertseder ve Taubenböck, 2022; Özçelik ve Küçükönder, 2024; Chi, Ren, Xu ve Zhan, 2024). Buradan hareketle, mekânsal istatistiksel analiz yöntemlerinden olan sıcak nokta analizleri ile CO ve NO₂ parametrelerinin değişimi hem mevsimsel hem de bölgesel olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, kritik düzeydeki bölgelerin tespitinde ve çevre politikalarının oluşturulmasında önemli katkılar sağlayacaktır.

2. MATERYAL VE METOT

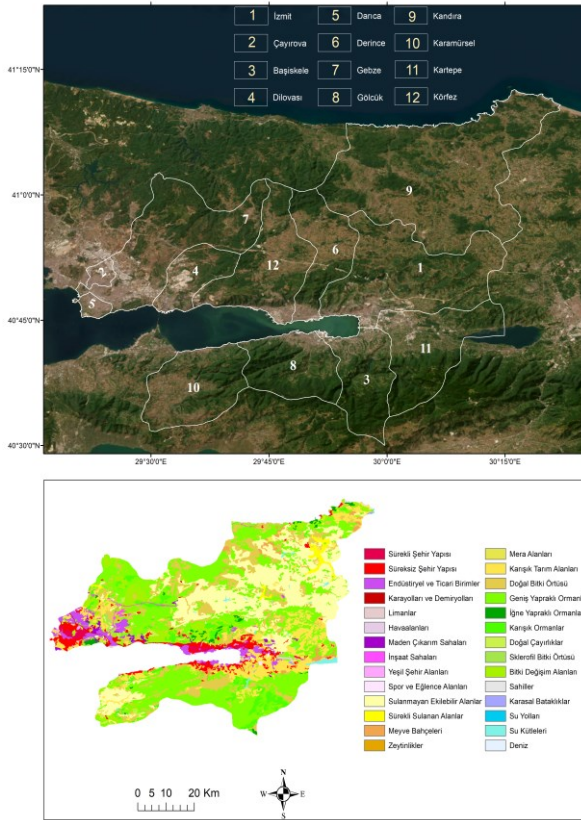
a. Çalışma Alanı

Kocaeli, Marmara Denizi'nin ve Marmara Bölgesi'nin doğusunda yer almaktadır. İlin kuzeyinde Karadeniz, doğu ve güneydoğusunda Sakarya, güneyinde Bursa, batısında ise Yalova ve İstanbul illeri bulunmaktadır. 29° 22' ve 30° 21' doğu boylamları ile 40° 30' ve 41° 13' kuzey enlemleri arasında konumlanmış olan il, çok önemli bir liman şehri olarak İzmit Körfezi çevresinde konumlanmıştır. 3.623 km² yüzölçümü ile Türkiye'nin en küçük 6. ildir. 31 Aralık 2023 tarihi itibarıyla ilin nüfusu yaklaşık olarak 2 milyon olup kilometrekareye düşen nüfus sayısı yaklaşık 582 kişidir.

İzmit, Çayırova, Başiskele, Dilovası, Darıca, Derince, Gebze, Gölcük, Kandıra, Karamürsel, Kartepe ve Körfez olmak üzere 12 ilçeden oluşan ilde, kentsel ve endüstriyel alanlar İzmit Körfez çevresinde yoğunlaşmaktadır (Şekil 1a). Şehrin

kuzey ve güney kesimlerinde ise tarım alanları ile ormanlık alanlar yer almaktadır (Şekil 1b).

Kocaeli, sanayi alanında Türkiye'nin başlıca üretim merkezlerinden biri olma özelliğini taşımaktadır. Özellikle 1990'lardan itibaren organize sanayi bölgeleriyle sanayinin planlı gelişimi desteklenmiş, ancak kent içinde kalan sanayi alanlarının ve özellikle Dilovası gibi bölgelerde görülen çevresel sorunların çözümüne yönelik belirsizlikler sürmektedir. Bölgesel kalkınma planlarında Kocaeli'nin, küresel bir sanayi ve Ar-Ge merkezi olarak konumlandırılması hedeflenmiştir. Bu kapsamda, yaşam kalitesinin artırılması ve sanayi alanlarının dönüşümü için çeşitli projeler yürütülmektedir. Ayrıca Ar-Ge merkezlerinin, üniversitelerin ve teknoparkların yaygınlaşmasıyla Kocaeli, geleneksel sanayi kimliğinden sıyrılarak, bilgi ve teknoloji odaklı bir üretim merkezi olma yolunda önemli adımlar atmaktadır (Albayrak, 2017).



Şekil 1. a) Çalışma alanının konumu ve b) 2018 yılı CORINE arazi örtüsü ve arazi kullanımı (AÖ/AK) haritası.

b. Kullanılan Veriler

Çalışma kapsamında, NO_2 ve CO dağılımlarının incelenmesinde Sentinel-5P TROPOMI (TROPOspheric Monitoring Instrument) uydu verisinden yararlanılmıştır. Sentinel-5P uydusu, Avrupa Uzak Ajansı'nın (ESA) Copernicus programı kapsamında Ekim 2017'de uzaya fırlatılmıştır. Üzerinde bulunan TROPOMI sensörü, atmosferdeki azot dioksit (NO_2), ozon (O_3), karbon monoksit (CO), metan (CH_4), formaldehit (HCHO) ve sülfür dioksit (SO_2) gibi gazların yanı sıra aerosol indeksinin ölçümünü gerçekleştirmektedir. Bu veriler, uzaktan algılama yöntemleriyle hava kalitesinin izlenmesi ve kirlilik kaynaklarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Tablo 1'de Sentinel-5P uydu verisinin özellikleri verilmiştir. 3.5 x 5.5 km mekânsal çözünürlüğe sahip veriler, yaklaşık olarak 1 km mekânsal çözünürlüğe örneklenerek Google Earth Engine (GEE) bulut platformunda servis edilmektedir.

Tablo 1. Sentinel-5P Uydu Özellikleri (UV: Ultraviyole, VIS: Görünür, NIR: Yakın Kızılötesi, SWIR: Kısa Dalga Kızılötesi)

Bant	Spektrum (nm)	Mekânsal Çözünürlük (Seviye 2)**	Mekânsal Çözünürlük (Seviye 3)
UV	270-320	3.5 x 5.5 km	~ 1 km
VIS	320-500		
NIR	675-775		
SWIR	2305-2385		

** 3.5 km, uydu uçuş yönünde, 5 km ise nadir yönünde mekânsal çözünürlüğü ifade eder.

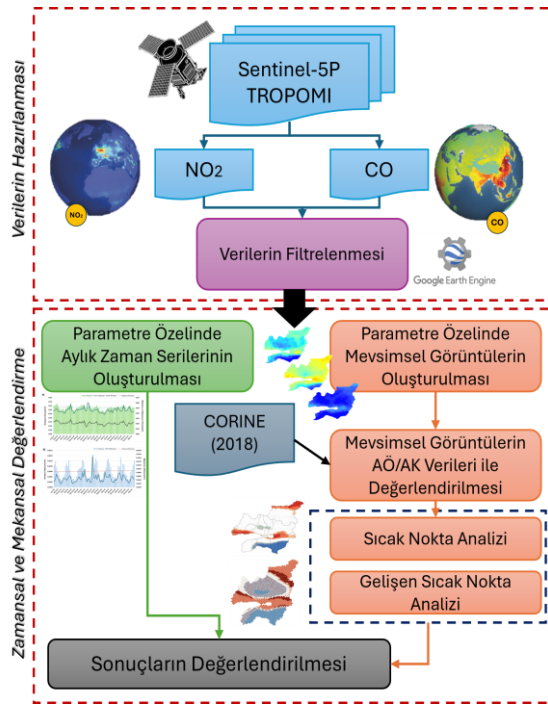
Arazi örtüsü ve arazi kullanımı (AÖ/AK) verileri, Sentinel-5P uydu verilerinden elde edilen NO_2 ve CO parametrelerinin zamansal ve mekânsal değişim analizlerinin değerlendirilmesinde ve kirlenici kaynaklarının belirlenmesinde etkileyici rol oynayabilmektedir. Bu kapsamda, CORINE verilerinden faydalanılmıştır. CORINE, Avrupa Çevre Ajansı (European Environment Agency-EEA) tarafından yürütülen, Avrupa'nın arazi örtüsü ve kullanımını haritalandırmayı hedefleyen bir uzaktan algılama projesidir. CORINE, 25 hektarlık minimum haritalama birimi ile mekânsal çözünürlük sunarken, 6-12 yıl arasında değişen zamansal çözünürlüğü ile 1990, 2000, 2006, 2012 ve 2018 yıllarında güncellemeler yapılarak kullanıma sunulmuştur. 44 sınıftan oluşan hiyerarşik bir sınıflandırma sistemi kullanılırken, yapay yüzeyler, tarım alanları, ormanlar, su kütleleri ve doğal/yarı-doğal alanlar gibi ana kategorilere odaklanılmaktadır. Mekânsal ve zamansal çözünürlük özellikleri ile sağlam bir tematik yapıya sahip olan CORINE, çevresel bilimler ve yönetim süreçlerinde karar destek

sistemleri için güvenilir bir kaynak sunmaktadır (CLMS, 2025).

Çalışma kapsamında, en son güncellemelerin gerçekleştirildiği 2018 yılına ait CORINE AÖ/AK verisinden yararlanılmıştır. Sentinel-5P uydu verileri ise 2019 ve 2024 yılları arasında değerlendirilmiştir. Sentinel-5P uydu verisinin mekânsal çözünürlüğü dikkate alındığında, yıllar içerisinde meydana gelebilecek AÖ/AK değişimleri göz ardı edilmiştir. Temel amaç kentsel ve kırsal dokular üzerinde hava kalite parametrelerinin yoğunluğunun değerlendirilmesi olduğundan, CORINE verisi bu amaca etkili bir araç olarak hizmet edebilmektedir.

c. Metodoloji

Çalışma kapsamında uygulanan metodoloji iki ana başlıkta uygulanmıştır: verilerin hazırlanması ve zamansal – mekânsal değerlendirmelerin yapılması. Uygulanan akış şeması Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Çalışmanın akış şeması.

Verilerin hazırlanması aşamasında; Sentinel-5P uydu verileri kullanılarak CO ve NO₂ parametrelerinin 2019-2024 yılları arasında alınan verileri Kocaeli ili özelinde filtrelenmiştir. İl bazında aylık zaman serileri oluşturulurken, CO ve NO₂ parametrelerine ait ortalama, maksimum ve minimum değerleri elde edilerek grafiklendirilmiştir. Bu grafikler kirlenici gazlardaki

kısa vadeli dalgalanmaları, ani artış ve düşüşleri belirlemede yardımcı olmuştur. Aylık analiz, emisyon kaynaklarının değişkenliğini daha hassas bir şekilde ortaya koyarak, sanayi faaliyetleri, tarımsal uygulamalar, ulaşım yoğunluğu gibi faktörlerin etkisini ayrıntılı bir biçimde inceleme fırsatı sunmuştur.

Aylık zaman serilerinin yanı sıra, parametrelerin mevsimsel değerlendirmeleri görüntüler üzerinden gerçekleştirilmiştir. Mevsimsel değerlendirmede, mevsimler içerisinde yer alan farklı tarihli görüntülerdeki piksel değerlerinin ortalaması alınarak mevsimsel ortalama görselleri oluşturulmuştur. Böylelikle emisyon kaynaklarının mevsime bağlı değişimi incelenebilmiştir. Ayrıca kirlenici parametrelerinin AÖ/AK verileri ile değerlendirilmesi, hava kirlenici parametrelerinin mekânsal dağılımı ile olası kirlenici kaynakları arasındaki ilişkilerin daha detaylı analiz edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu noktada, 2018 yılı CORINE AÖ/AK verisi ile sanayi bölgeleri, tarımsal alanlar ve yerleşim yerleri gibi farklı arazi kullanımlarının CO ve NO₂ seviyeleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Sentinel-5P uydu verilerinin temini ve analizinde GEE platformundan yararlanılmıştır. GEE, dünya çapında coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama alanlarında verilerin toplanması, analiz ve görselleştirme amacıyla geliştirilmiş bulut tabanlı bir platformdur. GEE, Google'nin bulut tabanlı altyapısıyla çalışır ve dünya çapındaki uydu gözlemleri ile harita verilerinin bir merkezde toplanıp, analiz edilmesiyle kullanıcıların erişimine sunar. Uzaktan algılama verilerinin analizi için çok çeşitli araç ve veri kümeleri sağlayan GEE'nin en önemli özelliklerinden biri, büyük veri setlerini işleme gücüdür. GEE, kullanıcılara web tabanlı bir çalışma ortamı sunarken, JavaScript ve Python programlama dilleri ile verilerin işlenmesine olanak sağlamaktadır.

Mevsimsel olarak CO ve NO₂ kirlenici parametrelerinin yoğunlaştığı bölgeleri tespit etmek amacıyla, mevsimsel ortalama görüntülere Sıcak Nokta Analizi uygulanmıştır. Sıcak Nokta Analizi, örnekler arasındaki mesafeye göre gizli mekânsal kümeleri ortaya çıkarabilen ve belirli bir coğrafi alanda istatistiksel olarak anlamlı yüksek ve düşük değerlere sahip yerleri belirleyebilen mekânsal bir istatistiksel analiz yöntemidir. Getis-Ord Gi* istatistiği, yerel ölçeklerde mekânsal otokorelasyonun bir ölçüsüdür ve lokal ölçekte yüksek (sıcak noktalar) ve düşük değerlerin (soğuk noktalar) istatistiksel olarak anlamlı

mekânsal kümelerini tanımlamak için kullanılan bir yöntemdir (Ord ve Getis, 1995). Lokal Gi* istatistiği, her bir özelliği ve komşularını hesaplayarak veri kümelerindeki tüm özellikler için z testini uygular, z puanlarını ve p değerlerini döndürür. İstatistiksel olarak anlamlı sıcak nokta, yüksek z ve düşük p değerleriyle ifade edilirken, yüksek negatif z ve düşük p değerleri anlamlı soğuk noktaları ifade eder. Getis-Ord Gi* istatistiğinin Eşitlik 1'de verilen denklem aracılığıyla hesaplanır (Getis ve Ord, 1992):

$$Gi^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} x_j - \bar{x} \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{s \sqrt{\frac{[n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{i,j})^2]}{n-1}}} \quad (1)$$

Eşitlik 1'de x, değişkenin j konumundaki değerini ifade ederken, $w_{i,j}$ ise i ve j konumları arasındaki mekânsal ağırlıktır. n ise toplam birim sayısını ifade etmektedir. $\bar{x}$ ve s ise sırasıyla ortalama ve varyans değerlerini ifade etmektedir ve Eşitlik 2 ve 3'te denklemleri verilmiştir.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \quad (2)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{x})^2} \quad (3)$$

Bölgenin hem zamansal hem de mekânsal analizlerinin değerlendirilebilmesi için Gelişen Sıcak Nokta Analizi uygulanmıştır. Klasik sıcak nokta analizi yönteminde verilerin zamandan bağımsız olarak mekânsal analizi gerçekleştirilerek sadece sıcak ve soğuk noktaların belirlenmesi hedeflenmektedir. Gelişen Sıcak Nokta Analizi'nde ise hem zamansal hem de konumsal ilişkiler birlikte incelenmektedir. Bu yöntemde, veriler bir konum-zaman küpüne entegre edilir ve konumsal ilişkileri Getis-Ord Gi* incelenirken, zamana bağlı eğilimleri ise Mann-Kendall istatistiksel analiz yöntemi ile belirlenir. Gelişen Sıcak Nokta Analizi sonucunda 17 sınıf elde edilir (ESRI, 2024). Sınıflar ve açıklamaları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Gelişen Sıcak Nokta Analizi sonucu elde edilen sınıflar ve detayları

Sınıf Adı	Açıklama
Yeni Sıcak/Soğuk Nokta	Daha önce sıcak/soğuk nokta olmayıp, son zaman adımıyla sıcak/soğuk nokta olan konumdur.
Ardışık Sıcak/Soğuk Nokta	Bir konum, son zaman adımı aralıklarında en az iki ardışık istatistiksel olarak anlamlı sıcak/soğuk nokta içeriyorsa bu şekilde tanımlanır. Bu konum, daha önce hiç istatistiksel olarak anlamlı bir sıcak/soğuk nokta olmayıp, tüm zaman dilimlerindeki sıcak/soğuk noktaların oranı %90'ın altındadır.
Yoğunlaşan Sıcak/Soğuk Nokta	Son zaman adımı da dahil olmak üzere zaman adımı aralıklarının %90'ında istatistiksel olarak anlamlı bir sıcak/soğuk nokta olan ve her zaman adımıyla yüksek değerlerin kümelenme yoğunluğu istatistiksel olarak anlamlı artış gösteren konumu ifade etmektedir.
Sürekli Sıcak/Soğuk Nokta	Bir konum, zaman adımı aralıklarının %90'ında istatistiksel olarak anlamlı bir sıcak/soğuk nokta olmuşsa ve kümelenme yoğunluğunda zaman içinde belirgin bir eğilim yoksa bu şekilde tanımlanır.
Azalan Sıcak/Soğuk Nokta	Bir konum, tüm zaman adımı aralıklarının %90'ında istatistiksel olarak anlamlı bir sıcak/soğuk nokta ise ve kümelenme yoğunluğu istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde azalıyorsa bu şekilde tanımlanır.
Aralıklı Sıcak/Soğuk Nokta	Bir konum, son zaman adımı aralığında istatistiksel olarak anlamlı bir sıcak/soğuk nokta olup geçmişte de zaman zaman sıcak/soğuk nokta olarak ortaya çıkmışsa bu şekilde tanımlanır.
Salınımlı Sıcak/Soğuk Nokta	Bir konum, son zaman adımı aralığında istatistiksel olarak anlamlı bir sıcak nokta olup, önceki zaman adımlarında istatistiksel olarak anlamlı bir soğuk nokta olarak da ortaya çıkmışsa veya son zaman adımı aralığında soğuk nokta olup zaman zaman sıcak nokta olarak da ortaya çıkmışsa bu şekilde tanımlanır.
Tarihi Sıcak/Soğuk Nokta	En son zaman dilimi sıcak/soğuk nokta olmasa da zaman adımı aralıklarının en az %90'ında istatistiksel olarak anlamlı sıcak/soğuk nokta olarak görüldüyse bu şekilde tanımlanır.
Anlamsız	Sıcak veya soğuk nokta olmayan, istatistiksel olarak anlamsız noktalar bu şekilde tanımlanır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında, CO ve NO₂ parametrelerinin 2019-2024 yılları özelinde zamansal ve mekânsal değişimi ayrı başlıklar altında incelenmiştir. Sıcak nokta analizleri ile parametrelerin mekânsal değerlendirmesi ise her iki parametre için beraber sunulmuştur.

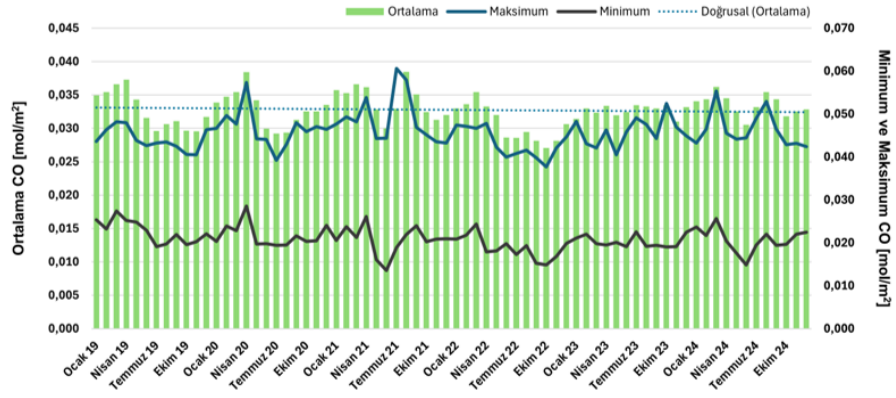
a. CO Parametresinin Zamansal ve Mekânsal Değişim Analizi

Aylık olarak elde edilen CO gazının zaman serisi Şekil 3'te verilmiştir. Grafik üzerinde verilen yeşil kolonlar aylık ortalamaları ifade ederken, siyah çizgi aylık minimum değeri, mavi çizgi aylık maksimum değeri ve kesikli çizgi ise aylık ortalamanın doğrusal trendini ifade etmektedir. Elde edilen sonuçlar, ortalama CO konsantrasyonunun nispeten azalan bir trend gösterdiğini ortaya koyarken, maksimum değerlerin 0,025-0,040 mol/m² aralığında, minimum değerlerin ise 0,010-0,018 mol/m² bandında seyrettiği gözlenmiştir. Çalışma periyodu içerisinde en yüksek CO konsantrasyonu 2021 yılının temmuz ayında yaklaşık 0,039 mol/m² olarak kaydedilmiş olup, özellikle ilkbahar aylarında maksimum değerlerde görülen hafif yükselişlerin meteorolojik koşullar ve antropojenik aktivitelerin etkileşiminden kaynaklandığı değerlendirilmektedir (Ünal ve Özel, 2022; Yakut, 2023). İncelenen altı yıllık periyotta CO seviyesi 2022 yılı yaz aylarında en düşük seviyelere ulaşırken, sonrasında daha stabil bir hareket gösterdiği gözlenmiştir. Genel olarak mevsimsel bir hareket gösteren parametrenin kış aylarında yoğunluğu artarken, yaz aylarında düştüğü görülmüştür. Li, Wang, Xu ve Cao (2021) CO parametresinin hava sıcaklığı ile ters ilişkili olduğunu belirlemişlerdir ve bu durum elde edilen sonuçları destekler niteliktedir.

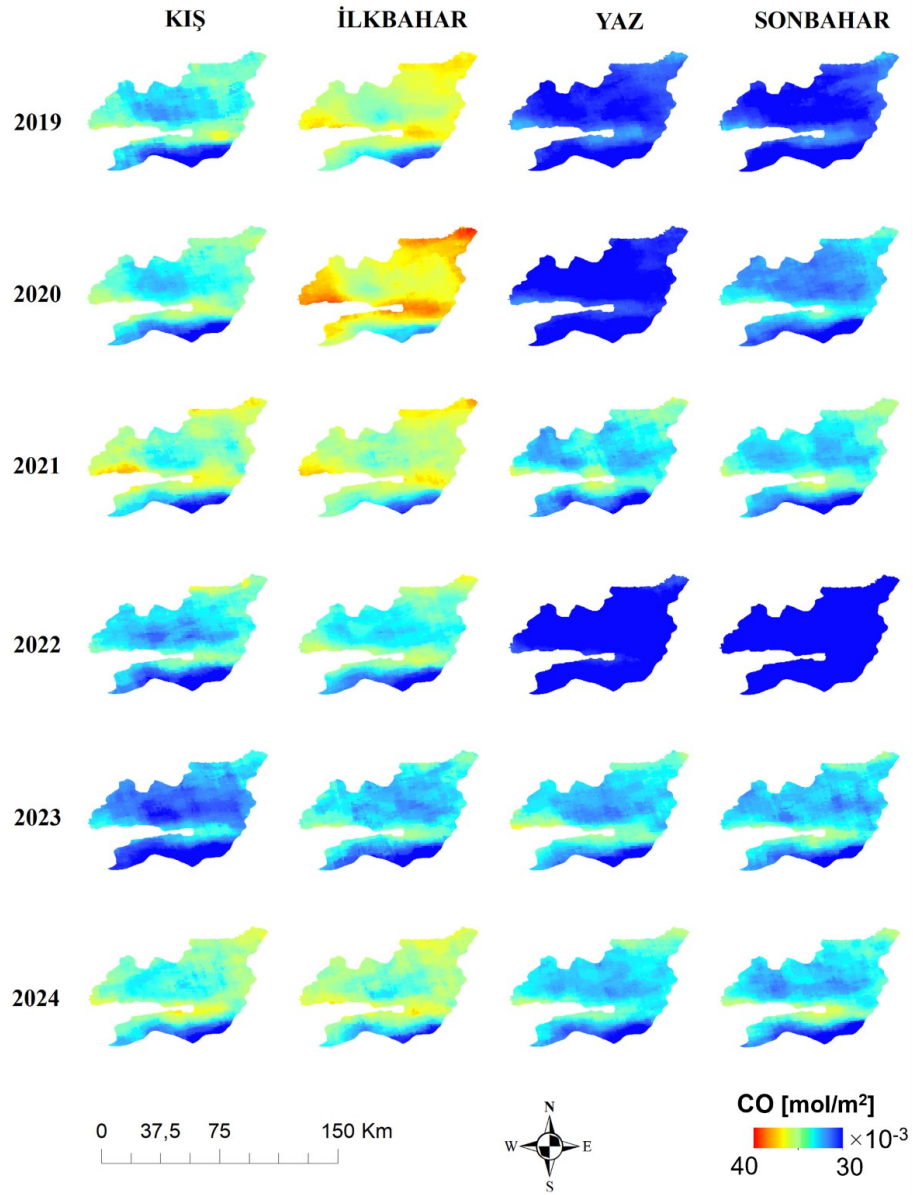
2019-2024 yılları arasında mevsimsel olarak oluşturulan haritalar ile CO parametresinin mekânsal dağılımı görselleştirilmiştir. CO gazı için oluşturulan 6 yıllık mevsimsel görüntüler Şekil 4'te verilmiştir. Oluşturulan görüntüler, bütün mevsimler için aynı değer aralığı ile renklendirilmiş ve hava kalite parametrelerinin mevsimsel değişimi ortaya konmuştur. Kırmızı ve mavi alanlar sırasıyla CO değerinin yüksek ve düşük olduğu bölgeleri ifade etmektedir. Elde edilen bulgular ışığında, CO konsantrasyonunun zaman serileriyle paralel olarak özellikle yaz ve sonbahar aylarında düşük seviyelerde seyrettiği, buna karşın kış ve ilkbahar aylarında nispeten daha yüksek değerlere ulaştığı gözlemlenmiştir.

Özellikle 2020 yılının ilkbahar mevsiminde CO yoğunluğunun maksimum seviyelere ulaştığı, 2023 ve 2024 yıllarında ise mevsimsel farklılıkların azaldığı tespit edilmiştir. Çalışma alanının kuzey kesimlerinde, CO konsantrasyonunun yüksek olduğu, güney kesimlerinde ise tüm mevsimlerde düşük konsantrasyon değerlerinin hâkim olduğu belirlenmiştir. Ayrıca İzmit Körfezi'nin kıyı kesimlerinde yoğunluğun fazla olduğu görülmektedir. Bu mekânsal ve zamansal farklılıkların, bölgenin topografik yapısı, kentsel yerleşim alanlarının dağılımı, sanayi tesislerinin konumları ve mevsimsel meteorolojik koşullarla ilişkili olduğu değerlendirilmektedir (Garipağaoğlu ve Duman, 2017). Bu bağlamda, Şekil 1b'de verilen CORINE AÖ/AK haritası ile irdelendiğinde, CO parametresinin yüksek olduğu bölgelerde endüstriyel birimler, kentsel alanlar, karayolları, limanlar ve inşaat sahaları olduğu görülmektedir. Parametrenin düşük olduğu bölgelerde ise doğal bitki örtüsü, geniş yapraklı, iğne yapraklı ve karışık ormanların çoğunlukta olması, insan faaliyetlerinin CO parametresi üzerindeki etkisini kanıtlar niteliktedir. Ulaşım faaliyetlerinin de CO yoğunluğunu arttırdığı bilindiğinden, okulların tatil olduğu yaz aylarında da ulaşım faaliyetleri azaldığı için CO parametresi üzerinde iyileştirici etkilerinin görüldüğü söylenebilmektedir (Yakut, 2023).

CO parametresinin soğuk havalarda yüksek olmasının bir diğer sebebi ise enverziyon olarak gösterilmektedir. Sıcaklık terselmesi olarak adlandırılan enverziyon durumu, sıcak havanın yükseldikçe azalmak yerine artması durumunda meydana gelir ve havanın düşey olarak birbirine karışmasına engel olarak kirlenici parametrelerin havada birikmesine ve dolayısıyla hava kirliliğine neden olur (KÇŞİD, 2023). Karataş, Özler ve Yağmur Aydın (2025) tarafından Kocaeli özelinde ERA5-Land ve Sentinel-5P verileriyle gerçekleştirilen çalışmada, sıcaklığın CO parametresi üzerindeki etkisinin de istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3. CO parametresinin 2019-2024 yılları arasındaki aylık zamansal değişim grafiği



Şekil 4. CO parametresinin 2019-2024 yılları arasında mevsimsel tematik haritaları

b. NO₂ Parametresinin Zamansal ve Mekânsal Değişim Analizi

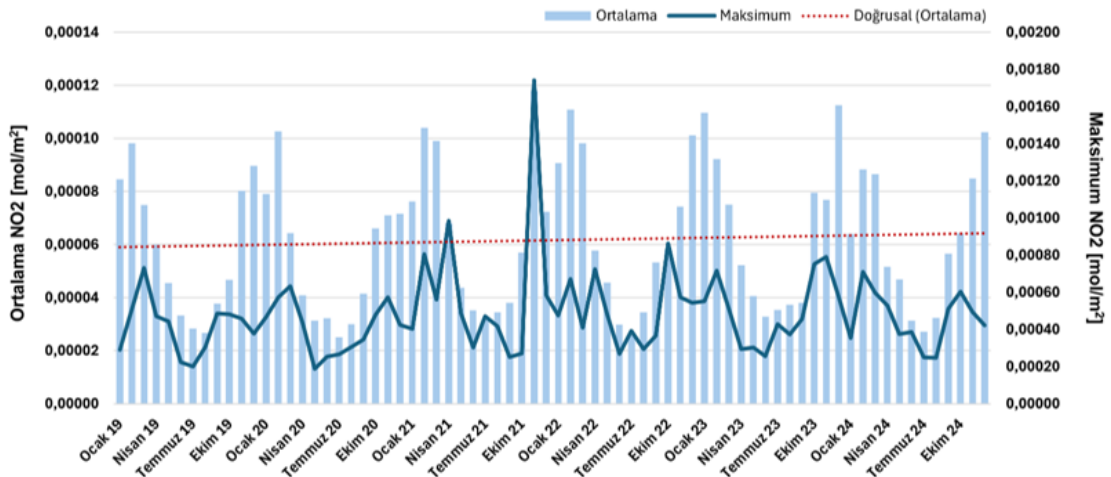
Aylık olarak elde edilen NO₂ parametresinin zaman serisi Şekil 5'te verilmiştir. NO₂ konsantrasyonlarının zamansal değişimi incelendiğinde, ortalama değerlerde hafif bir artış trendi olduğu gözlemlenmiştir. Maksimum değerler 0,0002-0,0008 mol/m² aralığında dalgalanma gösterirken, en yüksek NO₂ konsantrasyonu 2021 yılının Ekim ayında yaklaşık 0,00012 mol/m² olarak kaydedilmiştir. Bu parametre için minimum değerler incelendiğinde, zaman serisi boyunca oldukça stabil değerler elde edildiğinden grafiğe dahil edilmemiştir.

Şekil 5'te dikkat çeken bir diğer önemli bulgu ise NO₂ konsantrasyonlarının özellikle kış aylarında daha yüksek değerler gösterme eğiliminde olmasıdır ki bu durum ısınma kaynaklı emisyonların artışı ve kış mevsiminde görülen atmosferik inversiyon olayları ile ilişkilendirilebilmektedir (Ünal ve Özel, 2022). Bu veriler, şehir atmosferindeki NO₂ kirliliğinin mevsimsel değişimini ve uzun vadeli eğilimini belirlemek açısından önemli bilgiler sağlamakta olup, hava kalitesi yönetim stratejilerinin geliştirilmesinde kullanılabilecek değerli bir veri seti oluşturmaktadır.

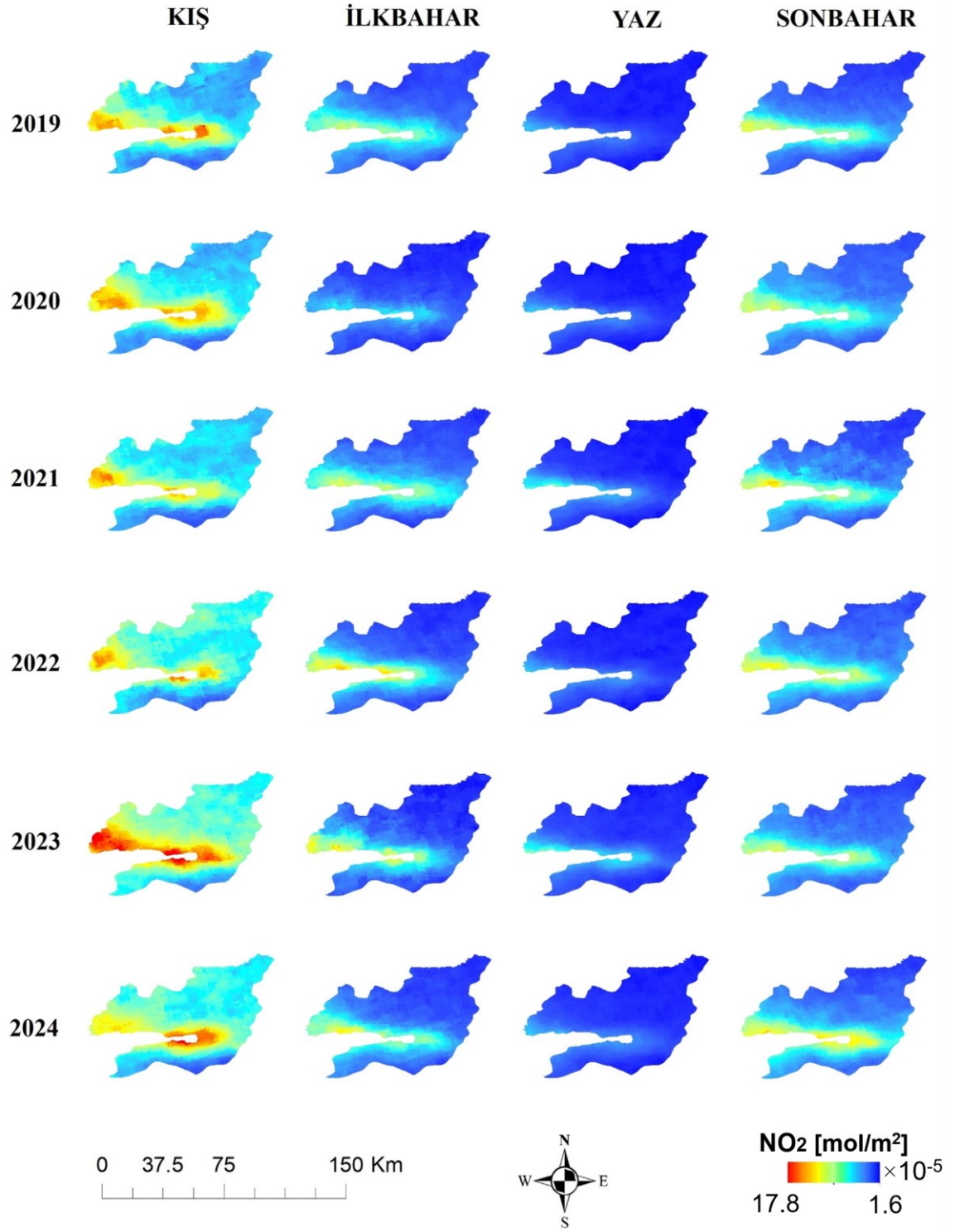
NO₂ zaman serisi grafiğinde dikkat çeken bir diğer unsur ise 2020 yılında NO₂ değerlerinin diğer yıllara nispeten düşük değerlerde seyretmesidir. Dünya'yı saran COVID-19 pandemi süreci bu durumun temel sebebi olarak gösterilebilmektedir. Pandemi sürecinde azalan endüstriyel faaliyetler ve trafik yükü, NO₂ parametresinin azalması ile

sonuçlanmıştır. Ancak pandemi süreci sona erdiğinde üretim faaliyetleri artış göstermiş ve dolayısıyla 2021 yılı Ekim ayında en yüksek değerlere ulaşmıştır.

NO₂ gazının altı yıllık periyotta oluşturulan mevsimsel görüntüleri Şekil 6'da verilmiştir. Oluşturulan görüntüler, bütün mevsimler için aynı değer aralığı ile renklendirilmiş ve hava kalite parametrelerinin mevsimsel değişimi ortaya konmuştur. Kırmızı ve mavi alanlar sırasıyla NO₂ değerinin yüksek ve düşük olduğu bölgeleri ifade etmektedir. Şekil 6 incelendiğinde, NO₂ konsantrasyonunun özellikle yaz aylarında düşük değerler gösterdiği, kış mevsiminde ise belirgin şekilde yükseldiği tespit edilmiştir. Çalışma alanının batı kesiminde, özellikle kış aylarında NO₂ yoğunluğunun maksimum seviyelere ulaştığı ve 2023 yılı kış mevsiminde en yüksek konsantrasyon değerlerine ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Doğu kesimlerinde ise tüm mevsimlerde göreceli olarak düşük konsantrasyon değerleri hakimdir. Bu mekânsal ve zamansal değişkenliğin temel nedenleri arasında kentsel yerleşimlerin dağılımı, kış aylarında artan fosil yakıt kullanımı, endüstriyel faaliyetlerin yoğunluğu ve mevsimsel atmosferik koşulların etkisi olduğu değerlendirilmektedir (Taşdemir ve Erbaşlar, 2007). Ayrıca, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde orta düzeyde seyreden NO₂ konsantrasyonlarının geçiş mevsimlerindeki meteorolojik koşullarla ilişkili olduğu belirtilirken (Taşdemir ve Erbaşlar 2007), NO₂ konsantrasyonunun hava sıcaklığı ile ters ilişkili olduğu belirtilmiştir (Cichowicz, Wielgosinski ve Fetter, 2017; Li ve diğerleri, 2021).



Şekil 5. NO₂ parametresinin 2019-2024 yılları arasındaki aylık zamansal değişim grafiği



Şekil 6. NO₂ parametresinin 2019-2024 yılları arasında mevsimsel tematik haritaları

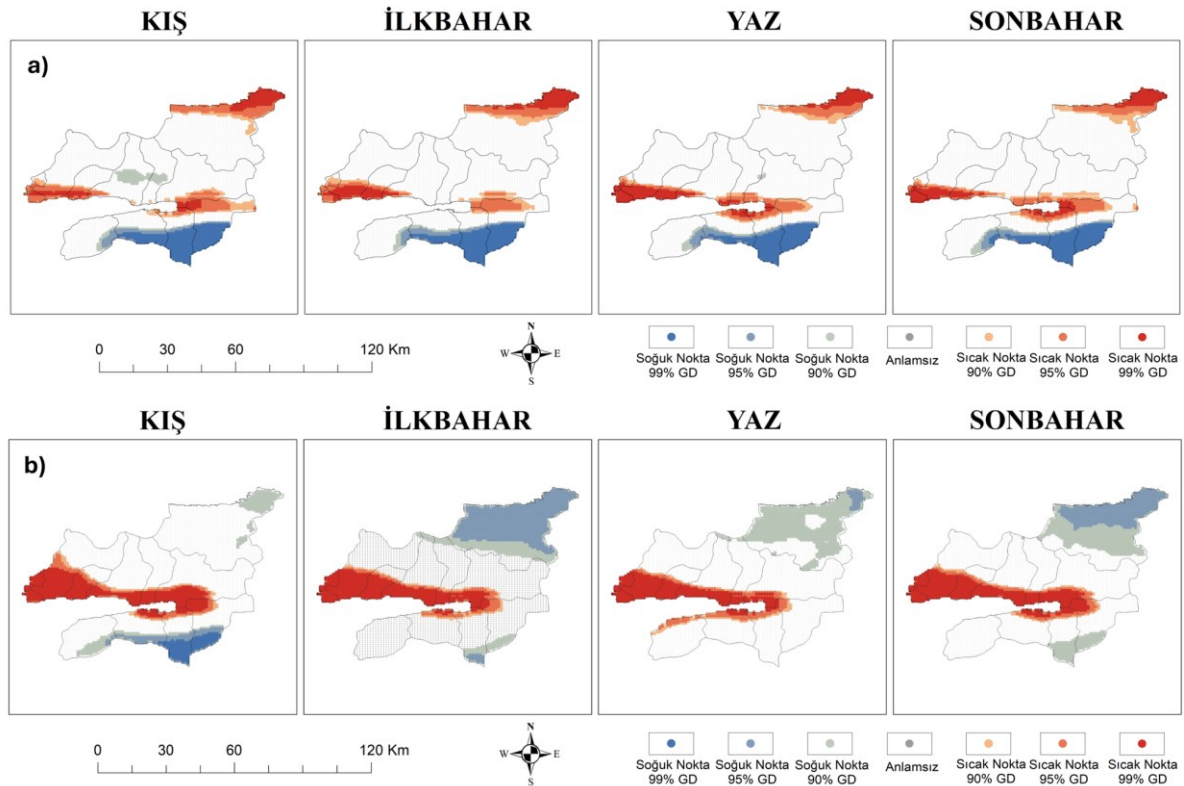
c. CO ve NO₂ Parametrelerinin Mekânsal İstatistiksel Yöntemler ile Analizi

CO ve NO₂ parametrelerinin mevsimler özelinde yoğun olduğu bölgelerin tespiti için parametrelerin 2019-2024 yılları arasında mevsimsel ortalama görüntüleri oluşturulmuş ve Sıcak Nokta Analizi uygulanmıştır. Sıcak Nokta Analizi uygulanırken, 1 km'lik grid ağı oluşturularak görüntülerden piksel değerleri elde edilmiştir. Elde edilen piksel değerleri ile analizler gerçekleştirilmiş ve mekansal ağırlıklar, öklid mesafesi baz alınarak sabit olarak belirlenmiştir. Sonuçlar Şekil 7'de verilmiştir.

Şekil 7a'da verilen CO konsantrasyonlarının dağılımı incelendiğinde, ilin kuzey ve orta kesimlerinde sıcak noktaların baskın olduğu, güney kesimlerinde ise soğuk noktaların istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde kümeleniği gözlemlenmiştir. Bu dağılım örüntüsü tüm mevsimlerde yer yer azalsa da benzer bir karakteristik sergilemektedir. İzmit Körfezi kıyı kesimlerindeki sıcak noktaların olduğu bölgelerde endüstriyel tesislerin, kentleşmenin ve limanların yoğun olduğunu, güney kesimdeki soğuk noktalara sahip olan kısımların ise genellikle

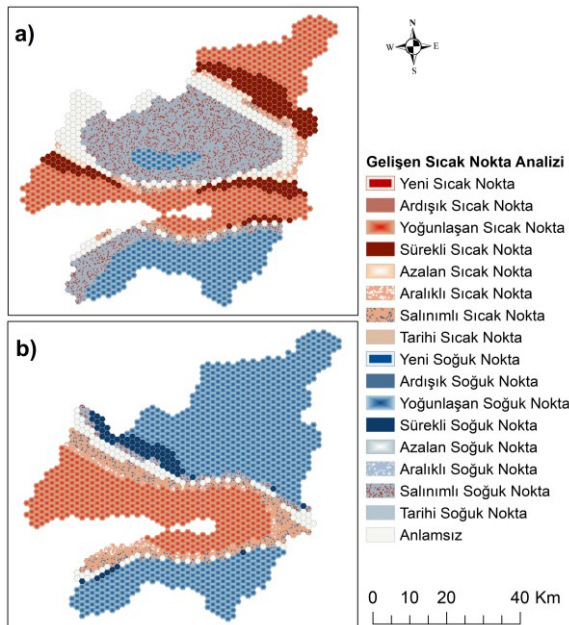
orman türlerine sahip olduğu Şekil 1b'de verilen AÖ/AK haritası ile tespit edilmiştir. Yüksek değerlerin görüldüğü ilçeler İzmit, Çayırova, Dilovası, Darıca, Gebze, Kandıra, Kartepe ve Körfez iken; düşük değerlerin görüldüğü ilçeler ise Başiskele, Derince, Gölcük ve Karamürsel'dir. Yüksek olan ilçelerde toplam 14 organize sanayi bölgesi (OSB) bulunurken bu OSB'lerin ikisi İzmit ilçesinde, üçü Dilovası ilçesinde, yedisi Gebze ilçesinde ve kalanı Kartepe ve Kandıra ilçelerinde bulunmaktadır.

Şekil 7b'de verilen NO₂ gazının sıcak ve soğuk nokta dağılımı incelendiğinde özellikle ilin orta kesimlerinde sıcak noktaların baskın olduğu gözlemlenmiştir. Yoğunlaşmanın belirginleştiği merkezi bölgede, yoğun sanayi tesislerinin, kentleşme alanlarının ve şehir içi trafiğin yoğun olduğu bilinmektedir. İlkbahar ve sonbahar mevsimlerinde şehrin kuzey kesimlerinde soğuk noktaların arttığı ancak yaz ve özellikle kış mevsimlerinde azaldığı dikkat çekmektedir. Bu bölgelerde, doğal bitki örtüsü, iğne yapraklı, geniş yapraklı ve karışık orman örtüsünün yoğunlukta olduğu (Şekil 1b) bilinmektedir.



Şekil 7. a) CO ve b) NO₂ parametrelerinin mevsimsel olarak elde edilen Sıcak Nokta Analizi sonuçları (GD: güven değeri)

CO ve NO₂ parametrelerinin konumsal olarak yoğun olduğu bölgeler Sıcak Nokta Analizi ile belirlenirken hem konuma hem de zamana bağlı değişimlerinin birlikte değerlendirilebilmesi için her iki parametre özelinde 2019-2024 yılları arasında her bir ay için üretilen aylık ortalama görüntüler GEE platformu aracılığıyla oluşturularak (72 görüntü) 1 km'lik gridler ile her görüntüden piksel değerleri elde edilmiştir. Gelişen Sıcak Nokta Analizi uygulanırken aylık ortalama görüntüler kullanıldığından zaman adımı 1 ay, zaman aralığı ise 54 ay olarak alınmıştır. Süreç içerisinde hava kalite parametreleri üzerinde COVID-19 pandemi sürecinin etkileri izlendiğinden zaman aralığı geniş tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. a) CO ve b) NO₂ parametrelerine uygulanan Gelişen Sıcak Nokta Analizi sonuçları.

Şekil 8'de verilen sonuçların Sıcak Nokta Analizi ile tutarlı olduğu görülmektedir. CO parametresinde şehrin kuzey kesimlerinde ve İzmit Körfezi kıyılarında yoğunlaşan ve sürekli sıcak nokta sınıflarının çoğunlukta olduğu görülmektedir. Şehrin güney kesimlerinde ise yoğunlaşan soğuk nokta sınıfının hâkim olduğu görülmektedir. Bu kesimler arasındaki geçiş bölgelerinde ise salınımlı soğuk noktalar yer almaktadır. NO₂ parametresinin analiz sonuçları incelendiğinde, kentsel ve endüstriyel alanlar ile ulaşım altyapılarının yoğunlukta olduğu İzmit Körfezi çevresinde yoğunlaşan sıcak noktaların baskın olduğu görülmektedir. Şehrin kuzey ve güney kesimlerinde ise yoğunlaşan soğuk noktaların hakimiyeti dikkat çekmektedir. Elde

edilen bulgular neticesinde, CO ve NO₂ parametrelerinin, insan faaliyetleri ve AÖ/AK ile ilişkili olduğu belirlenmiştir.

4. SONUÇLAR

Hava kalitesi, insan sağlığı, ekosistemlerin sürdürülebilirliği ve genel çevresel koşullar açısından kritik bir faktördür. Sanayi faaliyetleri, ulaşım ve diğer insan kaynaklı emisyonlar, atmosferdeki kirlenici gaz seviyelerini doğrudan etkilemekte ve bu durum, solunum hastalıkları başta olmak üzere birçok sağlık sorununa yol açmaktadır. Kocaeli, sanayi yoğunluğu ve stratejik konumu nedeniyle hava kalitesinin sürekli izlenmesi gereken iller arasında yer almaktadır. Ancak, geleneksel hava kalitesi izleme yöntemleri, yeterli sayıda yer izleme istasyonu bulunmaması ve bölgesel ölçekte mekânsal çözünürlüğün düşük olması gibi kısıtlamalar nedeniyle belirli sınırlılıklara sahiptir. Uzaktan algılama sistemleri ise geniş kapsama alanı ve tekrarlı geçiş sistemleri ile sürekli veri alımı sayesinde il ve hatta ülke ölçeğinde hava kalite parametrelerinin izlenmesine olanak sağlamaktadır.

Bu çalışmada kapsamında, Kocaeli ilinde hava kalitesini etkileyen CO ve NO₂ gazlarının mekânsal ve zamansal değişimleri GEE platformu kullanılarak analiz edilmiş ve mekânsal istatistiksel analiz yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, uydu verilerinin hava kirliliğinin izlenmesinde önemli bir veri kaynağı olduğunu ve geleneksel yer gözlem istasyonlarına tamamlayıcı bir rol üstlenebileceğini göstermektedir. Çalışmada elde edilen sonuçlar, ayrıca CORINE AÖ/AK verisi ile irdelenmiş ve farklı arazi kullanımlarının hava kirliliği ile ilişkisi değerlendirilmiştir. Özellikle sanayi ve yerleşim alanlarında NO₂ seviyelerinin yüksek olduğu, ormanlık ve su kütleleri gibi doğal alanlarda ise daha düşük seviyelerde seyrettiği, CO parametresinin ise ilkbahar mevsiminde genel olarak daha yüksek değerler aldığı gözlemlenmiştir. Gerçekleştirilen mekânsal ve istatistiksel analizler ile sıcak ve soğuk noktaların yanı sıra konu-zaman ilişkisi de ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlar neticesinde, özellikle sanayi tesisleri ve ulaşım ağlarının yoğun olduğu bölgelerde hava kirliliğinin daha yüksek olduğu ve zaman içerisinde de yoğunlaştığı görülmüştür. Bu durum, sanayi bölgelerinin çevresel etkilerini azaltmaya yönelik stratejik düzenlemelerin gerekliliğini bir kez daha ortaya koymaktadır.

Uydu tabanlı izleme sistemleri, geniş alanlarda sürekli ve homojen bir veri sağlama kapasitesine sahiptir. Yer istasyonlarının düzensiz dağılımı ve sınırlı ölçüm kabiliyetleri nedeniyle, özellikle sanayi bölgeleri gibi yüksek kirletici emisyonlarının bulunduğu alanlarda Sentinel-5P verilerinin kullanımı, hava kalitesinin izlenmesi açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, GEE platformu sayesinde elde edilen aylık ve mevsimsel veriler ile gerçekleştirilen analizler, kirlilik seviyelerindeki dalgalanmaların meteorolojik koşullar, sanayi faaliyetleri ve ulaşım yoğunluğu gibi faktörlerle ilişkilendirilebileceğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışma, hava kalitesinin izlenmesinde uzaktan algılama tekniklerinin ve mekânsal analiz yöntemlerinin entegrasyonunun sağladığı avantajları ortaya koymaktadır. Uydu tabanlı gözlemler, karar vericilere geniş ölçekli ve güncel veri sağlayarak, hava kirliliği takibinde ve yönetiminde geleneksel yöntemlere kıyasla daha etkin bir yaklaşım sunmaktadır. Bu bağlamda, hava kalitesinin sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi, sanayi kaynaklı kirliliğin azaltılması ve halk sağlığının korunması için uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri destekli çalışmaların yaygınlaştırılması ve yönetim sistemlerine entegre edilmesi büyük önem taşımaktadır.

ORCID

Elif ÖZLER 
<https://orcid.org/0009-0000-0519-9897>

Rümeysa KARATAŞ 
<https://orcid.org/0009-0009-5046-6208>

Nur YAĞMUR AYDIN 
<https://orcid.org/0000-0002-5915-6929>

KAYNAKLAR

- Albayrak, A.N (2017). *Kocaeli'de Sanayinin Gelişimi ve Sanayide Mekânsal Değişim*. Erişim Adresi: <https://www.arkitera.com/gorus/kocaelide-sanayinin-gelisimi-ve-sanayide-mekansal-degisim>
- Arikan, D. ve Yıldız, F. (2023). Investigation of urban heat island and carbon monoxide change using Google Earth engine in Konya. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(4), 1185-1193. doi: 10.28948/ngumuh.1279129

- Arikan İspir, D. ve Yıldız, F. (2025). Air Quality of Bursa: Temporal and Spatial Evaluation of PM10, PM2.5, NO₂ and SO₂ Pollutants Using IDW Geostatistical Technique. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 11(1), 181-193. doi: 10.21324/dacd.1562860
- Bodah, B. W., Neckel, A., Maculan, L. S., Milanes, C. B., Korcelski, C., Ramírez, O., ... ve Oliveira, M. L. (2022). Sentinel-5P TROPOMI satellite application for NO₂ and CO studies aiming at environmental valuation. *Journal of Cleaner Production*, 357, 131960. doi: 10.1016/j.jclepro.2022.131960
- Bostan, P. ve Olcay, S. S. (2022). Düünden bugüne ülkemizde yapılan dış ortam hava kirliliği sağlık etkileri araştırmaları. *Türkiye Sağlık Araştırmaları Dergisi*, 3(3), 22-29.
- Chi, Y., Ren, Y., Xu, C. ve Zhan, Y. (2024). The spatial distribution mechanism of PM2.5 and NO₂ on the eastern coast of China. *Environmental Pollution*, 342, 123122.
- Cichowicz, R., Wielgosiński, G. ve Fetter, W. (2017). Dispersion of atmospheric air pollution in summer and winter season. *Environmental monitoring and assessment*, 189, 605. doi: 10.1007/s10661-017-6319-2
- CLMS (Copernicus Land Monitoring Service), (2025). *CORINE land cover*. European Environment Agency. Retrieved January 29, 2025, <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover>
- Coşkun, M., Şahiner, H., Abujayyab, S. K. ve Canbulat, O. (2022). Kocaeli ilinde uydu verileri ve yer istasyonu ölçümlerine bağlı olarak hava kalitesinin değerlendirilmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (81), 53-68. doi: 10.17211/tcd.1108123
- Çilek, M. Ü. (2022). Troposferik Nitrojen Dioksitin (NO₂) COVID-19 Pandemisinde Mekânsal ve Zamansal Analizi: Adana-Mersin Bölgesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(3), 581-594. doi: 10.53433/yyufbed.1119418
- Demirarslan, K. O. ve Akıncı, H. (2018). CBS ve hava kalitesi verileri kullanılarak Marmara Bölgesinin kış sezonunda hava kalitesinin değerlendirilmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 4(1), 11-27. doi: 10.21324/dacd.344564

- EPA (U.S. Environmental Protection Agency), (2024a). *Basic Information about Carbon Monoxide (CO) Outdoor Air Pollution*. Erişim Adresi: <https://www.epa.gov/co-pollution/basic-information-about-carbon-monoxide-co-outdoor-air-pollution#What%20is%20CO>
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency), (2024b). *Basic Information about NO₂*. Erişim Adresi: <https://www.epa.gov/no2-pollution/basic-information-about-no2#What%20is%20NO2>
- ESRI, (2024). *How Emerging Hot Spot Analysis works*. Erişim Adresi: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/space-time-pattern-mining/learnmoreemerging.htm>
- Garipağaoğlu, N. ve Duman, C. (2017). Bursa Kenti Hava Kalitesinin Zaman İçerisindeki Değişimi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (36), 57-70.
- Getis, A. ve Ord, J. K. (1992). The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographical analysis*, 24(3), 189-206.
- HSGM (Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü), (2023). Erişim Adresi: <https://hsgm.saglik.gov.tr/tr/ced/hava-kirliligi.html>
- Kaloni, D., Lee, Y. H. ve Dev, S. (2021, July). *Impact of COVID-19-induced lockdown on air quality in Ireland*. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS, Brussels, Belgium.
- Karataş, R., Özler, E. ve Yağmur Aydın, N. (2025, Haziran). *Yersel ve Uydu Tabanlı NO₂ ve CO Parametrelerinin Sıcaklık ile İlişkisinin İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi: Kocaeli Örneği*. TUFUAB 2025, 18-20 Haziran 2025, Zonguldak.
- Kocaeli Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü (KÇŞİD), (2023). *Kocaeli İli 2022 Yılı Çevre Durum Raporu*. Erişim Adresi: <https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/kocaeli-ilcdr-2022-20230706104825.pdf>
- Levelt, P. F., Stein Zweers, D. C., Aben, I., Bauwens, M., Borsdorff, T., De Smedt, I., ... ve Verhoelst, T. (2022). Air quality impacts of COVID-19 lockdown measures detected from space using high spatial resolution observations of multiple trace gases from Sentinel-5P/TROPOMI. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 22(15), 10319–10351. doi: 10.5194/acp-22-10319-2022
- Li, Z., Wang, Y., Xu, Z. ve Cao, Y. E. (2021). Characteristics and sources of atmospheric pollutants in typical inland cities in arid regions of central Asia: A case study of Urumqi city. *Plos One*, 16(4), e0249563. doi: 10.1371/journal.pone.0249563
- Makineci, H. B. (2022). İstanbul İli Merkez İlçelerindeki NO₂ ve CO Emisyonlarının Uzaktan Algılama ve Yersel İstasyon Verileri Kullanılarak İncelenmesi. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 4(2), 62-74. doi: 10.51489/tuzal.1160333
- Martin, R.V. (2008). Satellite remote sensing of surface air quality. *Atmospheric Environment*, 42(34), 7823–7843. doi: 10.1016/j.atmosenv.2008.07.018
- Menteşe, S. ve Çotuker, O. (2021). Partikül madde, karbon monoksit ve karbondioksit seviyelerinin iç ve dış ortamlarda değişimi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(3), 723-734. doi: 10.21923/jesd.811053
- Morillas, C., Alvarez, S., Pires, J. C., Garcia, A. J. ve Martinez, S. (2024). Impact of the implementation of Madrid's low emission zone on NO₂ concentration using Sentinel-5P/TROPOMI data. *Atmospheric Environment*, 320, 120326. doi: 10.1016/j.atmosenv.2024.120326
- Müller, I., Erbertseder, T. ve Taubenböck, H. (2022). Tropospheric NO₂: Explorative analyses of spatial variability and impact factors. *Remote Sensing of Environment*, 270, 112839. doi: 10.1016/j.rse.2021.112839
- Ord, J. K. ve Getis, A. (1995). Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and an application. *Geographical analysis*, 27(4), 286-306.
- Özçelik, D. ve Küçükönder, M. (2024). 2023 Depremleri afet bölgesinde NO₂ troposferik yoğunlukların mekânsal-zamansal sıcak noktaları. *Türk Coğrafya Dergisi*, (86), 87-103. doi: 10.17211/tcd.1514632
- Sünsüli, M. ve Kalkan, K. (2022). Sentinel-5P uydu görüntüleri ile azot dioksit (NO₂) kirliliğinin izlenmesi. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 4(1), 1-6. doi: 10.51489/tuzal.1056261
- Taşdemir, Y. ve Erbaşlar, T. (2007). Bursa Atmosferinde Ölçülen Klasik Hava Kirleticilerin Birbirleri ile Olan İlişkileri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 12(2), 9-19.

- Uyar, N. (2024). Monitoring and analysis of air quality in Zonguldak Province by remote sensing. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 6(1), 57-67. doi: 10.51489/tuzal.1484324
- Ünal, C. ve Özel, G. (2022). Bolu İli Hava Kirleticisi Maddeler ile Meteorolojik Faktörler Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi. *Karaelmas Fen Ve Mühendislik Dergisi*, 12(2), 194-206. doi: 10.7212/karaelmasfen.1071238
- Vîrghileanu, M., Săvulescu, I., Mihai, B. A., Nistor, C., ve Dobre, R. (2020). Nitrogen Dioxide (NO₂) Pollution monitoring with Sentinel-5P satellite imagery over Europe during the coronavirus pandemic outbreak. *Remote Sensing*, 12(21), 3575. doi: 10.3390/rs12213575
- Virta, H., Ialongo, I., Szelağ, M., ve Eskes, H. (2023). Estimating surface-level nitrogen dioxide concentrations from Sentinel-5P/TROPOMI observations in Finland. *Atmospheric Environment*, 312, 119989. doi: 10.1016/j.atmosenv.2023.119989
- Vural, E. (2021). Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerinin CBS kullanarak hava kalitesinin mekânsal değişiminin incelenmesi (2007-2019). *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(1), 124-135. doi: 10.21324/dacd.718450
- World Health Organization (WHO). (2016). *Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease*. WHO Press. Erişim Adresi: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/250141/9789241511353-eng.pdf>
- Yakut, Ş. M. (2023). Nevşehir İli Hava Kalitesinin Mevsimsel ve Senelik Değerlendirilmesi. *Aksaray University Journal of Science and Engineering*, 7(2), 77-84. doi: 10.29002/asujse.1358937
- Zheng, Z., Yang, Z., Wu, Z. ve Marinello, F. (2019). Spatial variation of NO₂ and its impact factors in China: An application of Sentinel-5P products. *Remote Sensing*, 11(16), 1939. doi: 10.3390/rs11161939