



2023 Depremleri afet bölgesinde NO₂ troposferik yoğunlukların mekânsal-zamansal sıcak noktaları

Spatial-temporal hotspots of NO₂ tropospheric concentrations in the disaster area of 2023 earthquakes

Derya Özçelik^a  Muhterem Küçükönder^{b*} 

^a Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye.

^b Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye.

ORCID: D.Ö. 0009-0007-1132-4480, M.K. 0000-0001-5350-7794

BİLGİ/INFO

Geliş/Received: 11.07.2024

Kabul/Accepted: 27.08.2024

Anahtar Kelimeler:

Hava Kalitesi

NO₂

Sentinel-5P

Zamansal-Mekansal Sıcak Nokta

Keywords:

Air Quality

NO₂

Sentinel-5P

Temporal-Spatial Hot Spot

*Sorumlu yazar/Corresponding author:

(M. Küçükönder)

mhtrm.kckndr@gmail.com.

DOI: 10.17211/tcd.1514632



Atf/Citation:

Özçelik, D., & Küçükönder, M. (2024). 2023 Depremleri afet bölgesinde NO₂ troposferik yoğunlukların mekânsal-zamansal sıcak noktaları. *Türk Coğrafya Dergisi* (86), 87-103. <https://doi.org/10.17211/tcd.1514632>

ÖZ/ABSTRACT

Hava kirliliğine neden olan parametrelerin konsantrasyonlarında meydana gelen değişimlerin izlenmesi, hava kalitesi yönetimi ve sürdürülebilir mekânsal planlama süreçlerinin bir parçasıdır. Bu çalışmada 2023 şubat depremleri sonrasında yapısal, sosyolojik, ekonomik boyutlarıyla ciddi bir afet yaşayan ve farklı kademelerde iyileşme-iyileştirme eylemleri planlanan ve uygulanan afet bölgesinde hava kirliliği için önemli parametrelerden biri olan NO₂ troposferik yoğunluğunun, Sentinel 5P tabanlı izlenmesi ve mekânsal zamansal değişim trendlerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Kış sezonunda fosil yakıt kullanımında artış ve alçalcı hava hareketleri nedeniyle maksimum değerlere ulaştığı, yaz sezonunda ise İskenderun ve Pazarcık gibi konumlar dışında azaldığı görülmektedir. Yaz sezonu azalma eğilimi Harran ovası gibi tarımsal alanlarda muhtemel anız yakılması ile ilişkili artış eğilimindedir. 2018 ve 2024 yılları arasında aylık ortalama NO₂ değerleri için sıcak ve soğuk noktalar mekânsal-zamansal gelişen sıcak nokta analizi ile tespit edilmiştir. Sıcak nokta alanlarının arazi kullanım ve ilçe ölçeğinde gelişmişlik düzeyleri ile ilişkisi irdelenmiştir. Çalışma alanında yer alan nüfus değerleri 350000 üzerinde, birinci ve ikinci kademe gelişmişlik düzeyinde aynı zamanda yapılaşma yoğunluğu fazla olan yerleşim birimleri daimî sıcak nokta veya yoğunlaşan sıcak nokta sınıfındadırlar. Yoğun ulaşım kavşakları, açık maden işletmelerinin olduğu bazı konumların arazi kullanım ile ilişkili olarak salınımlı veya nadiren sıcak nokta sınıfına katıldıkları belirlenmiştir.

Monitoring changes in the concentrations of parameters that cause air pollution is a critical aspect of air quality management and sustainable spatial planning processes. This study aimed to monitor the NO₂ tropospheric density using Sentinel 5P data, and to determine spatio-temporal change trends, which is one of the important parameters for air pollution, in the disaster area affected by the February 2023 earthquakes. The region experienced significant structural, sociological, and economic impacts, with recovery and improvement actions planned and implemented at different levels. The findings show that NO₂ concentrations reach their maximum values during the winter season due to increased fossil fuel use and descending air movements, and decrease during the summer season, except in locations such as İskenderun and Pazarcık. In agricultural areas like the Harran Plain, there is a noticeable increase in NO₂ levels, likely due to stubble burning, though there is a general tendency for levels to decrease in the summer. A spatio-temporal emerging hotspot analysis was conducted on monthly average NO₂ values from the 2018 to 2024 dataset. The relationship between hotspots and land use, as well as development levels at the district scale, was examined. Settlements within the study area that have population values over 350000, first and second-stage development levels, and a high density of built-up areas are classified as either permanent hotspots or intensifying hotspots. Additionally, locations with high-intensity transportation intersections and open-pit mining areas were classified as oscillating or sporadic hotspots, reflecting their relationship with land use.

Extended Abstract

Introduction

The inadequacy of point measurements of air pollutant parameters in urban and spatial planning, coupled with the lack of consideration for climatological elements such as wind and temperature in planning applications, often leads to weak dispersion in certain areas (Köse & Erbaş, 2003). Therefore, it is crucial to focus on air pollution not only temporally but also spatially, necessitating approaches that evaluate these dimensions together. However, large data sizes, the selection of interpretation models, and the transformation of information, such as satellite images, can be time-consuming. Geographic Information Systems (GIS) are an important tool that accelerates these large and intensive data processing tasks.

In this study, we aim to monitor satellite-based parameters and determine spatio-temporal change trends of air pollution (NO_2) in the provinces of Adana, Adıyaman, Diyarbakır, Elazığ, Gaziantep, Hatay, Kahramanmaraş, Kilis, Malatya, Osmaniye, and Şanlıurfa—regions that have experienced a serious disaster with structural, sociological, and economic dimensions, and where recovery and remediation actions have been planned and implemented at different levels. Specifically, this study seeks to identify the hot and cold spots for NO_2 values between 2018 and 2024 in these regions, which are currently in a significant recovery process. Additionally, we will explore the factors that may be associated with the identified hot or cold areas. The results of this study are expected to serve as an application example for inventory and modeling approaches aimed at developing air quality management practices in line with the Sustainable Development Goals (SDGs) for environmental protection within the Twelfth Development Plan.

Data and Method

In this study, the Google Earth Engine (GEE) platform was used to select, calculate, and download monthly averages of NO_2 tropospheric concentration TROPOMI offline version data based on the inversion of differential absorption spectroscopy published by ESA. For the analysis, a NO_2 monthly image dataset with a spatial resolution of 1113.2 meters was produced for 70 months between July 2018 and April 2024. This dataset was created by calculating monthly averages of approximately four thousand images between 2018 and 2024, applying cloud filtering (0.3) for the study area.

Emerging Hot Spot Analysis is a statistical approach that allows data to be modeled in the context of both time and space (ESRI, 2024). The purpose of hot spot analysis is to determine the temporal and spatial dimensions within the dataset and to identify trends in the development of newly formed, decreasing, or increasing hot and cold spots.

Results and Discussion

This study was conducted to determine the temporal and spatial change trends of a single air pollution parameter (NO_2). In line with the study's general objective, NO_2 air pollution levels and hot and cold spots were determined using emerging hot-spot analysis based on S5P data. According to the dataset cover-

ing the years 2018-2024, no significant trend change was detected in NO_2 tropospheric concentrations in the districts of Antakya, Adıyaman, Malatya, and Kahramanmaraş, which suffered significant structural damage during the February 2023 earthquakes. Similarly, despite a decrease in NO_2 levels during the COVID-19 pandemic lockdowns, this situation did not indicate a decreasing trend in long-term monthly averages. Bigger settlements are the areas where NO_2 tropospheric concentration is highest, with peaks in the winter season. Among these settlements, İskenderun and the vicinity of Pazarcık-Narlı were identified as locations where the most intense values were observed throughout the year, despite both their development levels and low population densities. Malatya, Elazığ, and Adıyaman, as settlement centers that are still oscillating hotspots, should be prioritized in regional planning to avoid being classified as persistent hotspots.

The absence of newly developing hot or cold spots in tropospheric NO_2 density in the study area between 2018 and 2024 indicates that there were no large-scale changes in either land use status or industrialization that would increase development levels. The fact that no new, consecutive, or diminishing hot or cold spots were detected in tropospheric NO_2 density can be attributed to the lack of effective implementation of air quality improvement measures, as no statistically significant trend was observed during the research period. In the districts of Bağlar, Eyyubiye, and Haliliye, where the predominant wind direction is northwest, it is recommended that local NO_2 source identification and measures to reduce nitrogen emissions be undertaken to protect public health. In the industrial zones located in the dominant wind direction (Northwest) in the Onikişubat and Dulkadiroğlu districts of Kahramanmaraş province, emission reduction regulations should be implemented, and persistent hot spot situations should be mitigated. Regional air pollution assessments can contribute to planning processes in areas declared as disaster zones following the 2023 earthquakes, where numerous spatial planning processes are ongoing. According to the National Air Quality Monitoring Network web interface data from the Ministry of Environment, Urbanization, and Climate Change, there are a total of 23 air quality stations for 124 districts in the study area, seven of which are in Adana and five in Gaziantep. However, NO_2 parameter measurements are not consistently carried out in many of these air quality monitoring stations. The study results using S5P satellite data highlight the need for continuous monitoring of the NO_2 parameter at air quality monitoring stations and for increasing the number of monitoring stations in the region. In the site selection of newly established air quality measurement stations, not only urban areas but also agricultural plains, industrial zones, and important transportation junctions should be considered.

The paradox of defining ideal conditions that increase welfare levels, such as better transportation, heating, and industry, as indicators of quality of life, while simultaneously recognizing them as sources of pollution that create long-term health and environmental problems, poses a challenge for spatial planning approaches (Tonion & Pirotti, 2022). One of the main goals in National Development Plans is to reduce pollutant emissions at their source and determine the most effective measures to reduce emissions at local and national levels. In this context,

temporal-spatial hotspot analysis has been identified as a crucial factor for detecting persistent hotspots in tropospheric NO₂ concentrations, especially in the study area, where industrialization-related developments are affecting the development level and where population density is high. The findings can contribute to planning processes by considering air pollution parameters in the region, which is undergoing reconstruction following the 2023 earthquakes (Adana, Adıyaman, Diyarbakır, Elazığ, Gaziantep, Hatay, Kahramanmaraş, Kilis, Malatya, Osmaniye, Şanlıurfa). It is recommended that the results of this regional-scale study should not be directly applied to local spatial planning processes, particularly in urban designs. In areas identified as persistent and intensifying hotspots, it is advised to map and model large-scale topography, wind, temperature, and pollutant sources to accurately determine and mitigate inversion potential in the city planning process.

1.Giriş

İnsan ve çevre sağlığı üzerinde negatif etkileri ile azot oksitler, kükürt oksitler, amonyak, karbon monoksit, doğrudan havada yayılan veya asılı kalan partikül maddeler temel hava kirletici bileşenler olarak tanımlanmaktadır (Tista vd., 2019). Bunlar arasında atmosferde yüksek oranda bulunan azot, çeşitli yanma reaksiyonlarının ürünü olarak azot oksitleri meydana getirmektedir ve başlıca hava kirletici bileşenler arasında yer alan NO ve NO₂'nin toplamı şeklinde değerlendirilmektedirler (Çınar, 2008; Marc vd., 2015). Azot oksitler, doğal süreçler (volkanik patlamalar, orman yangınları, topraktaki mikrobiyolojik süreçler vb.) veya yoğunlukla antropojenik etkiler (çeşitli ulaşım araçları, endüstriyel gaz atıklar, evsel ısınma gibi) sonucunda atmosfere salınmaktadır (Şahin, 1989; Karpuzcu, 2016; Cindoruk, 2018; Swamy vd., 2024). Özellikle insan sağlığı üzerindeki etkileri nedeniyle Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Avrupa Çevre Ajansı (European Environmental Agency (EEA)) azot dioksit (NO₂) ile ilgili olarak 21 ppb (40 µg/m³) üst sınır olarak belirlemişlerdir. Ülkemizde Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi mevzuatına göre ise yersel ölçümlerde NO₂ insan sağlığının korunması için saatlik sınır değer ortalaması 250 µg/m³, 24 saatlik sınır değer ortalaması 300 µg/m³ ve yıllık ortalaması 100 µg/m³ üst sınır olarak kullanılmaktadır. Türkiye'de izleme, kontrol ve bilgilendirme süreci Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Ulusal Hava Kalite İzleme Ağı tarafından yürütülmektedir. Aynı zamanda yersel ölçüm istasyonları verilerinden yararlanarak ülkemizde bölge ölçeğinde Marmara bölgesi (Cindoruk, 2018) ve il ölçeğinde Malatya (Sever, 2008), Karaman (Cicibiyik vd., 2019), Sivas (Fertelli, 2020), Siirt (Alkan, 2018), Kütahya (Köse & Erbaş, 2003), Gelibolu (Aydın & Mentşe, 2024), Kahramanmaraş (Yıldırım & Korkmaz, 1998) ve Konya (Kara vd., 2018) hava kalitesinin belirlenmesi ve diğer coğrafi koşullar ile ilişkilendirilmesi çerçevesinde çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Konvansiyonel yöntemlerin dezavantajları dikkate alındığında hava kirliliğinin izlenmesi, artan nüfus ve yaşam kalitesini artıran tüm ihtiyaçların sağlanmasına yönelik talepler (ulaşım, sanayileşme vb.) doğrultusunda, uydu sistemleri ile gerçekleştirilen yer gözlem uygulamalarının temel hedefleri arasında yer almaktadır (Tonion & Pirotti, 2022). Yersel hava kalitesi izleme çalışmalarının noktasal bağımlılığını ortadan kaldıran uydu temelli yaklaşımlar alansal izleme süreçlerine

önemli katkılar sunmaktadır. OMI/Aura, GOME/ERS-2, SCIAMACHY/ENVISAT, GOME-2/Metop-A ve GOME-2/Metop-B, TROPOMI-S5P gibi uydu tabanlı veriler, havadaki kirletici konsantrasyon seviyesindeki değişikliklerin mekânsal-zamansal analizlerinin gerçekleştirilmesi sürecinde önemli veri kaynaklarıdır (Boersma vd., 2011; Marc vd., 2015; Georgoulas vd., 2019; Naveed-ul-Zafar, 2021; Wiczorek, 2023). Mevcut yersel izleme yöntemleri için tamamlayıcı ve yersel ölçümlerin gerçekleştirmediği birçok durumda hava kalitesi izleme süreçlerinin birincil kaynağı haline gelmektedirler (Marc vd., 2015). Uydu tabanlı veri setlerine sınırsız ve ücretsiz erişimi göz önüne alındığında, kirletici kaynakların tespiti, kirlenme derecesinin belirlenmesi ve etkilerinin değerlendirilmesi alanında sürekli izleme çalışmaları açısından önemli hale gelmişlerdir. Özellikle volkanik patlamalar ve COVID-19 pandemi dönemi gibi afet süreçlerinin etkilerini değerlendirmek amacıyla uydu tabanlı verilerin kullanılmasıyla NO₂ gibi hava kalitesi seviyelerinde değişim analizleri yaygınlaşmıştır. Pandemi sürecinde Güney Asya bölgesi için insan hareketliliği ile NO₂ değişimlerinin ilişkilendirilmesi (Liu vd., 2024), dönemsel değişim tespitine yönelik Jakarta (Faisal & Jaelani, 2023), hava kalitesinin izlenmesine yönelik Ekvator (Mejía vd., 2024) ve Tayland (Stratoulas & Nuthammachot, 2020) bölgelerinde çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ulusal ölçekte ise troposferik NO₂ yoğunluklarının değişiminin belirlenmesine yönelik OMI (Ozone Measuring Instrument) (Yavaşlı ve Ölgen, 2022) ve S5P (Sümsüli & Kalkan, 2022; Çilek, 2022; Makineci, 2022) farklı algılayıcıların kullanıldığı görülmektedir.

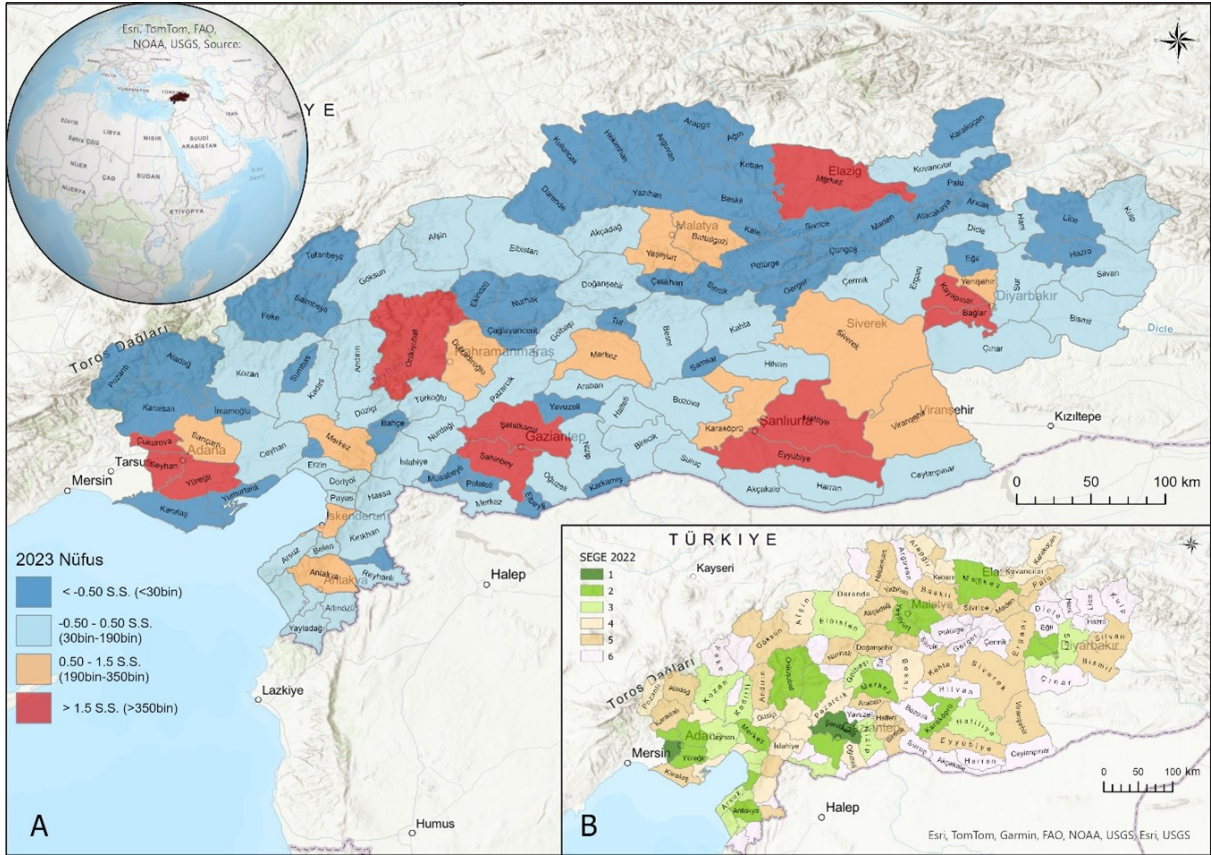
Hava kirleticilerin belirli bir yer ve zamandaki konsantrasyonu, emisyon kaynakları, meteoroloji, topografik özellikleri ve fizikokimyasal dönüşümleri etkileyen arazi örtüsü/kullanım özellikleri dahil olmak üzere birçok faktör ile yakından ilişkilidir (Şahin, 1989; Çınar, 2008; Karpuzcu, 2016). Şehir ve mekânsal planlama süreçlerinde hava kirletici parametrelerin noktasal ölçümünün yetersizliği ve klimatolojik unsurların (rüzgâr, sıcaklık gibi) planlama uygulamalarında dikkate alınmamasının bazı alanlarda zayıf dispersiyon oluşturması konusuna dikkat edilmesi (Köse & Erbaş, 2003) adına hava kirliliği ile ilgili sadece zamansal değil mekân ve zamanı birlikte değerlendiren yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Büyük veri boyutu, yorumlama modelinin seçimi ve uydu görüntüleri gibi bilgi dönüşümü zaman alıcıdır. Coğrafi bilgi sistemleri ise bu gibi büyük ve yoğun veri işleme süreçlerini hızlandıran önemli bir araç olmaktadır. Bu çalışmada, yapısal, sosyolojik, ekonomik boyutlarıyla ciddi bir afet yaşayan ve farklı kademelerde iyileşme-iyileştirme uygulamaları planlanan ve uygulanan Adana, Adıyaman, Diyarbakır, Elazığ, Gaziantep, Hatay, Kahramanmaraş, Kilis, Malatya, Osmaniye, Şanlıurfa illerinde hava kirliliği (NO₂) parametrelerinin uydu tabanlı izlenmesi ve mekânsal zamansal değişim trendlerinin belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu doğrultuda önemli bir iyileşme süreci içerisinde olan seçilen bölgede 2018 ve 2024 yılları arasında NO₂ değerleri için sıcak ve soğuk noktalar nelerdir? Tespit edilecek sıcak veya soğuk bölgeler hangi faktörler ile ilişkili olabilir? sorularının yanıtları çözümlenmeye çalışılacaktır. Çalışma sonuçlarının, Onikinci Kalkınma Planında, çevrenin korunmasına yönelik olarak Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) doğrultusunda hava kalitesi yönetim uygulamalarının geliştirilmesine yönelik envanter ve modelleme yaklaşımları sürecinde hassas bir alan için uygulama örneği olması düşünülmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı

Coğrafi olarak Akdeniz, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri arasında geçit kuşağı olarak değerlendirilen 2023 yılı Kahramanmaraş merkezli depremlerden etkilenen 11 il çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 1). Bölgede, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) 2023 yılı verilerine göre yaklaşık 14 milyon nüfus yaşamaktadır. Çalışma alanında Şahinbey ve Şehitkamil (Gaziantep), Seyhan, Yüreğir ve Çukurova (Adana), Merkez (Elazığ), Onikişubat (Kahramanmaraş), Kayapınar ve Bağlar (Diyarbakır), Eyyübiye ve Haliliye (Şanlıurfa) nüfusu 350000 üzerinde olan ilçelerdir (Şekil 1A). Hava kirliliği için önemli olan bir bölgede yaşayan nüfus yoğunluğunun yanı sıra bu nüfusun sanayi, ulaşım, tarım gibi sektörlerde katılımının ortaya çıkarma potansiyeli bulunan emisyon kaynakları ile birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda bölgenin ilçe düzeyinde sosyo-ekonomik gelişmişlik durumu T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Kalkınma Ajansları Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırmaları (SEGE) 2022 yılı raporu dikkate alınarak incelenmiştir (Şekil 1B). Birçok kurum ve kuruluş tarafından mevzuat düzenlemelerinde ve politika uygulamalarında referans olan SEGE çalışması, demografik, istihdam ve sosyal güvenlik, eğitim, sağlık, finans, rekabetçilik, yenilikçilik ve yaşam kalitesi göstergeleri ana başlıklarında birçok değişken Güçlü Temel Bileşenler Analizi yöntemiyle değerlendirilmektedir (Acar vd., 2022). Çalışma alanında sadece Şehitkamil (Gazi-

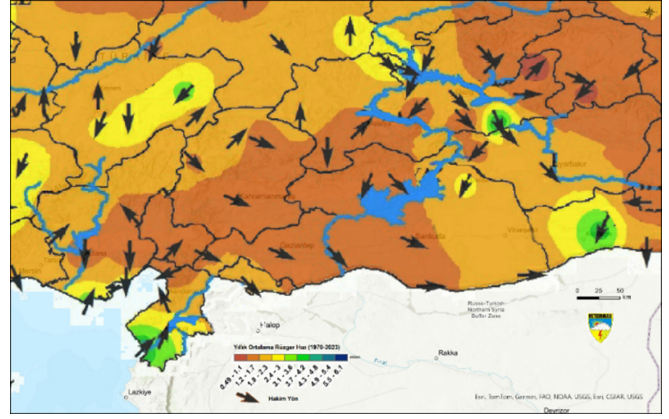
antep) ve Seyhan (Adana) ilçeleri, imalat sanayi ve hizmetler sektörlerindeki iş yeri payları ve altyapı, eğitim, sağlık hizmetlerine erişen nüfus oranı ve diğer yaşam kalitesi göstergelerindeki sıralamalarından dolayı birinci kademe gelişmiş ilçe grubundadır (Şekil 1B). Sarıçam, Çukurova, Yüreğir (Adana), Şahinbey (Gaziantep), Onikişubat, Dulkadiroğlu (Kahramanmaraş), Battalgazi, Yeşilyurt (Malatya), Merkez (Osmaniye), İskenderun, Antakya (Hatay), Merkez (Elazığ), Kayapınar, Yenişehir (Diyarbakır), Merkez (Adıyaman), Karaköprü (Şanlıurfa) ilçeleri ise ikinci kademe gelişmiş ilçe grubundadırlar. İkinci kademe, çoğunlukla büyükşehirlerin birinci kademe de yer almayan ilçeleri, diğer illerin merkez ilçeleri ve turizm merkezi ilçeler olurken imalat sanayinin yoğunlaştığı, ülkemizde sanayi elektrik tüketiminin %51'ini gerçekleştiren ve diğer ilçelere göre yatırım teşviklerinin ön plana çıktığı ilçeler olarak değerlendirilmektedir (Acar vd., 2022). Birinci ve ikinci gelişmişlik kademesi ile karşılaştırıldığında imalat sanayii ve hizmetler sektörleri iş yerlerinin Türkiye payları yaklaşık %50 düşük olan üçüncü kademe gelişmişlik düzeyinde Ceyhan ve Kozan (Adana), Arsuz, Belen, Defne, Dörtöy, Payas ve Samandağ (Hatay), Bağlar ve Sur (Diyarbakır), Kadiri ve Toprakkale (Osmaniye), Elbistan (Kahramanmaraş), Nizip (Gaziantep), Merkez (Kilis), Haliliye (Şanlıurfa) ve Gölbasi (Adıyaman) ilçeleri yer almaktadır. Çalışma alanında yer alan ilçelerin yaklaşık %70'i ise dördüncü, beşinci ve altıncı kademe gelişmişlik düzeyindedir (Şekil 1B). Bu ilçeler sanayi, eğitim, sağlık hizmetleri ve yaşam kalitesi göstergeleri açısından Türkiye ortalamasının oldukça altında değerlere sahiptirler.



Şekil 1. Çalışma alanı konumu A) İlçelerin 2023 yılı nüfus verilerinin standart sapma (S.S.) gruplarına göre dağılımı, B) İlçelerin sosyo-ekonomik gelişmişlik sıralaması araştırmalarına göre kademeleri (Acar vd., 2022).

Figure 1. Location of the study area A) Distribution of the districts' 2023 population data according to standard deviation (S.D.) groups, B) Stages of the districts according to socio-economic development ranking research (Acar et al., 2022).

Gazların atmosferde birkaç saatten bir aya kadar kalıcılığı, çeşitli hava olayları tarafından belirlenen dağılım koşullarına bağlıdır. Hava kirliliği üzerinde etkili olan önemli etmenler arasında bulunan kirletici konsantrasyonun dağılımını kontrol eden bölgenin basınç ve rüzgâr koşullarının alçalıcı davranışı (havanın zemine doğru hareketi) kirleticilerin zararlı etkilerini artırmaktadır (Karpuzcu, 2016). Rüzgârın olmaması, özellikle yerleşim alanlarının topografik koşulları ile de ilişkili olarak inversiyon, kurak ve yağışsız dönemler hava kirliliğinin etkisini artırıcı rol oynamaktadır (Çınar, 2008; Türkes, 2010; Karpuzu, 2016). Yıl boyunca birçok hava kütesinin etkisi altında kalan Türkiye'nin etkilendiği basınç durumlarına bağlı olarak yaz ve kış mevsimlerinde hâkim rüzgâr yönlerinde değişimler meydana gelmektedir. Ülkemiz kış aylarında genel olarak kuzey yönlü Sibiryaya Yüksek Basıncının etkisine girerken yaz aylarında ise güney yönlü Basra Alçak Basıncının etkisi altına girmektedir (Türkes, 2010). Kış mevsiminde hissedilen soğuk havanın etkisiyle oluşan yüksek basınç alanından Anadolu'ya kuzeyden gelen karasal polar hava kütesi Anadolu üzerinde bir yüksek basınç sahasını meydana getirmekte ve bunun sonucunda Akdeniz üzerinde bir alçak basınç sahası oluşmaktadır (Koçman, 1993). Bu durum Doğu Akdeniz'de hissedilen yağışlar ve rüzgâr akımına neden olmaktadır. Bu koşullar eylül ayından itibaren başlamakta ocak ve aralıkta ise iyice belirgin hale gelmektedir. Ocak ayı itibarı ile güneyden Anadolu'ya ulaşan nemli ve sıcak hava ile kuzeyden gelen soğuk havanın karşılaşması sonucunda Akdeniz üzerinden ilerleyen sıcak ve nemli hava Akdeniz ile Güneydoğu Anadolu bölgesinde yağışlara sebep olmaktadır. Toroslar üzerinden Akdeniz'e doğru hareket eden poyraz rüzgârları da yine bu dönemde Akdeniz'deki sıcaklığı düşürücü etki yapmaktadır (Koçman, 1993; Yavaşlı ve Ulukuş, 2020). Kış aylarında yüksek basıncın etkisi ile alçalıcı ve durgun etki ortaya çıkmakta ve havanın düşey doğrultudaki hareketi aşağı yönlü olması hava kirliliği açısından negatif bir durum ortaya çıkarmaktadır (Türkes, 2010). Yaz mevsiminde ise balkanlara kadar sokulan bir Azor Yüksek basıncı ve Basra körfezi üzerinde bir alçak basınç sahası oluşmaktadır. Yaz boyunca Türkiye genelinde Kontinental tropikal (cT) hava kütesinin etkisi görülmektedir. Çöl sıcaklarını taşıyan bu hava kütesi yaz ayları boyunca Basra üzerinde merkezileşerek alçak basınç alanı oluşturmakta ve güneydoğu bölgesinden başlamak üzere geniş bir sahayı kuru ve sıcak hava etkisi altına almasına yol açmaktadır. Yaz aylarında Mersin ve İskenderun körfezleri çevresinde güney sektörlü rüzgarlar haricinde hâkim rüzgâr yönü kuzey sektörlü olmaktadır (Koçman, 1993; Türkes, 2010). Çalışma alanı olarak seçilen bölgenin iklimi ise Eriñç yıllık yağış etkinlik indeksi değerleri ile gerçekleştirilen analizlere göre Yarı Kurak - Yarı Nemli sınıfı içerisinde yer almaktadır (Aydın vd, 2019; Güngör, 2019). Köppen- Geiger iklim sınıflamasını göre ise Akdeniz bölgesi itibarı ile güneydoğu Torosların güney kesimleri çoğunluk olarak Ilıman - Kurak Yaz, Sıcak Yaz (Csa) iklim sınıfı içerisinde yer almaktadır. Kahramanmaraş'ın kuzey kesimleri ile Doğu Torosların kuzeyinde kalan Malatya, Elazığ bölgesi Soğuk - Kurak Yaz, Sıcak Yaz (Dsa) ve Soğuk - Kurak Yaz, Serin Yaz (Dsb) iklim sınıfına dâhil edilmektedir (Yılmaz & Çiçek, 2018). Bazı kirletici türleri atmosferdeki emisyon değişikliklerini yaz sıcaklığında net ve hızlı bir şekilde gösterirken, bazıları ise kış aylarında bunu göstermektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından 1970 ve 2023 yılları arası veriler ile hazırlanan Türkiye rüzgâr istatistiklerine göre çalışma alanının büyük bir bölümü ortalama 1,2 ile 1,7 m/sn rüzgâr hızına sahiptir (Şekil 2). Hatay ve



Şekil 2. Türkiye ortalama rüzgâr hızı ve hâkim rüzgâr yönleri haritası (1970-2023) (MGM, 2023'den değiştirilerek).

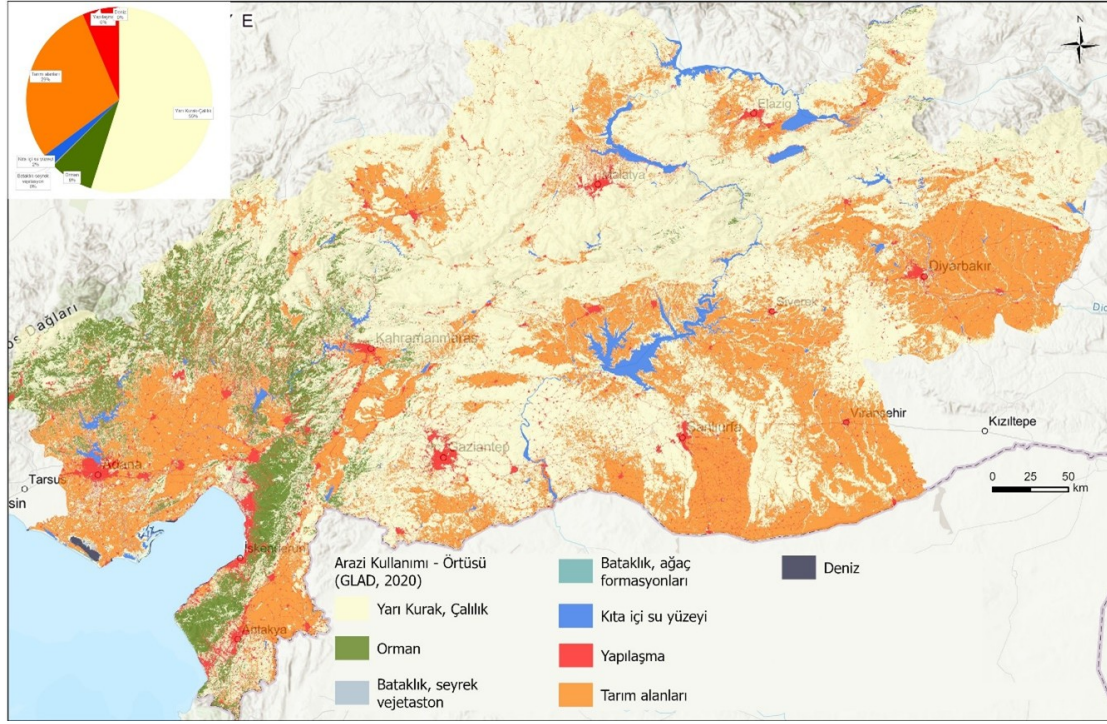
Figure 2. Türkiye average wind speed and predominant wind directions map (1970-2023) (revised from MGM., 2023).

Adana güneyinde, Siverek ve Maden civarında ortalama rüzgâr hızları 2,3 m/sn üzerine çıkmaktadır. Çalışma alanında hâkim rüzgâr yönleri oldukça değişiklik göstermektedir. Kahramanmaraş, Gaziantep, Şanlıurfa ve Kilis illerinde kuzeybatı, Adana ili için kuzey ve Antakya için güney sektörlü rüzgarlar dominant durumdadır (MGM, 2023).

Yer yüzeyinin fiziksel ve termal özelliklerini belirleyen arazi kullanımı ve örtüsü hava kalitesini doğrudan veya dolaylı olarak etkilemektedir. Ormansızlaşma ve şehirleşme gibi arazi kullanımı/örtüsü değişimleri, örtüsüz alanların veya yapay beton, asfalt gibi yüzeylerin artmasına bu durumda yer yüzey sıcaklığının yükselmesi ile ilişkili olarak çeşitli kirletici emisyonların artmasına neden olmaktadır (Jodhani vd., 2024). Arazi kullanım ve arazi örtüsü, Landsat 2020 yılı verilerinden elde edilmiş olan 30 m çözünürlükte, % 85 doğruluğa sahip Küresel Arazi Örtüsü ve Arazi Kullanımı Değişimi (The Global Land Cover and Land Use Change, 2000-2020; GLAD) veri seti ve veri seti için hazırlanan lejant (Potapov vd., 2022) kullanılarak incelendiğinde çalışma alanının büyük bir bölümü yarı kurak, çalı formasyonu grubunda yer almaktadır (Şekil 3). Çukurova, Harran, Amik ve Kahramanmaraş, Elbistan, Malatya ovalarında ağırlıklı olarak üzere tarım alanları bölgenin ikinci (%29) yaygın arazi kullanım sınıfını oluşturmaktadır. Orman alanları çoğunlukla Toros ve Amanos Dağlarında % 8'lik bir alana sahipken Yapılaşma olarak sınıflanan yerleşim, endüstri ve yollar çalışma alanının yaklaşık % 6'sını teşkil etmektedir. Yapılaşma alanlarının gelişmişlik düzeyi yüksek olarak tespit edilen ilçelerde (Seyhan, Şehitkamil) görece daha fazla olduğu görülmektedir.

2.2. NO₂ Verileri

Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından yürütülen Copernicus programı öncelikli olarak iklim değişikliği yönetimi, okyanus, atmosfer, karasal, çevre güvenliği ve acil durum izleme uygulamalarının geliştirilmesi için altı uydudan oluşan Sentinel adı verilen bir seri çerçevesinde yürütülmektedir. Bu çalışmada Sentinel 5P (S5P) uydusunda yer alan atmosferin ve hava kalitesinin küresel olarak izlenmesi amacıyla geliştirilmiş TROPOMI (The TROPOspheric Monitoring Instrument) algılayıcısı verilerinden yararlanılmıştır. Pasif bir algılayıcı olan TROPOMI ultraviyole (270–320 nm), görünür (310–500 nm), yakın kızılötesi (675–775 nm) ve kısa dalga kızılötesi (2305–2385 nm)



Şekil 3. 2020 yılı arazi örtüsü ve arazi kullanım haritası (Potapov vd., 2022).

Figure 3. Land cover and land use map for 2020 (Potapov et al., 2022).

dalga boylarında görüntü olarak seviye 3 görüntüleri (COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_NO2) 1113,2 m çözünürlükte açık erişim sunulmaktadır.

Yersel veriler bir noktadaki konsantrasyonu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ölçümlerle elde edilirken uydu tabanlı veriler troposferik yoğunlukları (mol/m^2) belirlemektedir. Bu nedenle uydu tabanlı elde edilen sonuçların gerek ulusal gerekse uluslararası yönergelerin tanımladığı limit eşik değerler ile doğrudan karşılaştırılmaması önerilmektedir (Müller vd., 2022). Yapılan bazı çalışmalarda S5P elde edilen NO_2 verilerinin yersel ölçümlerle ilişkisi test edildiğinde İtalya için determinasyon katsayısı ortalama 0,4 ve ortalama karekök sapması ise $8 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ olarak belirlenmiştir (Tonion & Pirotti, 2022).

Polonya ve Ukrayna için yapılan çalışmada ortalama karekök sapmasını $3,75 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ (korelasyon katsayısı 0,50 üzerinde olan istasyonlar için) (Wieczorek, 2023) olarak belirtilirken Madrid için gerçekleştirilen çalışmada korelasyon katsayısı 0,72 olarak (Morillas vd., 2024) hesaplanmıştır. Yersel ölçümler ile S5P değerleri arasında fark, troposferik yoğunlukların hava konsantrasyon değerlerine dönüştürülmesinde kullanılan yaklaşıma, hava kalitesi ölçüm istasyonunun konumuna, topografik özellikler ve atmosferik sirkülasyon paternlerine bağlı olarak değişiklik göstermesine karşın bölgesel ölçekte kirletici kaynakları ve kirlilik düzeyinin mekânsal ve zamansal izlenmesi için kabul edilebilir düzeydedir (Tonion & Pirotti, 2022; Wieczorek, 2023; Morillas vd., 2024).

Bu çalışmada, ESA tarafından yayımlanan diferansiyel absorpsiyon spektroskopisinin ters çevrilmesine dayanan troposferik NO_2 konsantrasyonu TROPOMI çevrimdışı versiyonunu verilerinin seçilmesi, aylık ortalamalarının hesaplanması ve indirilmesi için Google Earth Engine (GEE) platformundan yararlanılmıştır. Analizlerde kullanılmak üzere çalışma alanı için bulut filtrelemesi (0,3) uygulanarak 2018 ve 2024 yılları ara-

sında yaklaşık dört bin görüntüden aylık ortalamalar hesaplanarak Temmuz 2018 ve Nisan 2024 ayları arasında 70 ay için 1113,2 metre mekânsal çözünürlükte bir NO_2 aylık görüntü veri seti üretilmiştir.

2.3. Mekânsal-Zamansal Gelişen Sıcak Nokta (Emerging Hotspot) Analizi

Coğrafi Bilgi Sistemleri mekânsal verinin zaman boyutuna hassas analiz, simülasyon ve modelleme tekniklerinin kullanımı ile yaygınlaşmaya devam etmektedir. Mekânsal-Zamansal Gelişen Sıcak Nokta Analizi 1960'lı yılların sonlarında İsveçli coğrafyacı Hägerstrand tarafından sunulan (Pavelescu vd., 2022) mekân-zaman küp modeline dayanan verinin zaman ve mekân bağlamında modellenmesini sağlayan istatistiksel bir yaklaşımdır (ESRI, 2024). Gelişen sıcak nokta analizinde hedef, veri kümesinde zaman ve mekân boyutları ile yeni oluşan, azalan veya artış yönünde sıcak ve soğuk noktaların gelişim eğilimlerini belirlemektir. Seçilen bir alanda zamana bağlı veri serileri bir araya getirilerek her bir zaman dilimi Getis-Ord G_i^* istatistiği için Hatalı Bulgu Oranı (False Discovery Rate -FDR) düzeltmesi kullanılarak Mekansal İlişkilerin Kavramsallaştırılması değerleri hesaplanmaktadır. Her bir dilimin z, p skorları ve sıcak/soğuk nokta değerlerini sunan Getis-Ord G_i^* istatistiği hesaplanmasının ardından tüm dilimlerde her bir konum için Mann-Kendall trend analizi uygulanmaktadır. Elde edilen sonuçlar skorlarına bağlı olarak 17 sınıfa ayrılarak incelenmektedir (Tablo1).

3. Bulgular ve Tartışma

Hazırlanan görüntü veri seti için analizler, çalışma alanı içerisinde belirli özelliklerine göre seçilen lokasyonlardaki zaman serileri, çalışma alanının tamamı için uzun yıllar aylık ortalamaları ve mekânsal-zamansal gelişen sıcak nokta analizi olarak üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanında hem 2023 yılı nüfus yoğunlukları hem de S5P NO_2 veri seti ön incelemele-

Tablo 1. Mekânsal-Zamansal Gelişen Sıcak Nokta (HOTSPOT) Analizi sonuçları patern sınıflamaları ve açıklamaları (ESRI, 2024).**Table 1.** Spatial-Temporal Emerging Hot Spot (HOTSPOT) Analysis results pattern classifications and explanations (ESRI, 2024).

Patern Sınıfı	Açıklama
Yeni Sıcak Nokta veya Soğuk Nokta	Son zaman adımı için istatistiksel olarak anlamlı bir sıcak/soğuk nokta olan ve daha önce hiç istatistiksel olarak anlamlı bir sıcak/soğuk nokta olmayan bir konum.
Ardışık Sıcak Nokta veya Soğuk Nokta	Son zaman adımı aralıklarında istatistiksel olarak anlamlı en az iki sıcak/soğuk nokta bölmesinin kesintisiz bir araya geldiği bir konum. Konum, son sıcak/soğuk nokta tanımlanmasından önce hiçbir zaman istatistiksel olarak anlamlı bir sıcak/soğuk nokta olmamıştır ve tüm serilerin yüzde 90'ından azı istatistiksel olarak önemli sıcak/soğuk noktalarıdır.
Yoğunlaşan Sıcak Nokta veya Soğuk Nokta	Son zaman adımı da dahil olmak üzere tüm zaman adımı aralıklarının yüzde 90'ı için istatistiksel olarak anlamlı bir sıcak/soğuk nokta olan bir konum. Ayrıca artan/azalan değerlerin her zaman adımıdaki kümelenme yoğunluğu genel olarak istatistiksel olarak anlamlı artmaktadır/azalmaktadır.
Daimi Sıcak Nokta veya Soğuk Nokta	Zaman adımı aralıklarının yüzde 90'ı için istatistiksel olarak anlamlı bir sıcak/soğuk nokta olan ve zaman içinde kümelenme yoğunluğunda fark edilebilir bir trend olmayan bir konum.
Azalan Sıcak Nokta veya Soğuk Nokta	Her bir zaman adımıdaki kümelenme yoğunluğu genel olarak azalmaktadır ve bu azalmanın istatistiksel olarak anlamlı olduğu, son zaman adımı da dahil olmak üzere zaman adımı aralıklarının yüzde 90'ı için istatistiksel olarak anlamlı bir sıcak/soğuk nokta olan bir konum.
Nadiren Sıcak Nokta veya Soğuk Nokta	Son zaman adımı aralığı için istatistiksel olarak anlamlı bir sıcak/soğuk nokta ve aynı zamanda tekrar tekrar açılıp kapanan bir sıcak/soğuk nokta geçmişine sahip olan konum. Zaman adımı aralıklarının yüzde 90'ından azı istatistiksel olarak anlamlı sıcak/soğuk noktalar olmakta ve zaman adımı aralıklarının hiçbiri istatistiksel olarak anlamlı soğuk/sıcak noktalar olmamaktadır.
Salımlı Sıcak Nokta veya Soğuk Nokta	Önceki bir zaman adımı sırasında istatistiksel olarak anlamlı bir soğuk/sıcak nokta olma geçmişine sahip olan, son zaman adımı aralığı için istatistiksel olarak anlamlı bir sıcak/soğuk nokta. Zaman adımı aralıklarının yüzde 90'ından azı istatistiksel olarak anlamlı sıcak/soğuk noktalar olan konum.
Tarihi Sıcak Nokta veya Soğuk Nokta	En yakın zaman dilimi sıcak/soğuk nokta değildir ancak zaman adımı aralıklarının en az yüzde 90'ı istatistiksel olarak anlamlı sıcak/soğuk noktalarıdır.
Patern yok	Sıcak veya soğuk nokta modellerinden hiçbirine girmemektedir.

rinde diğer bölgelere oranla NO₂ yoğunluğu fazla olan yerleşim merkezlerinden öne çıkan 12 örneklem noktası seçilmiştir (Şekil 4A). Seçilen 12 örneklem noktaları arasında İskenderun 2018 temmuz itibarıyla tüm zaman serisinde en yüksek NO₂ emisyon değerlerine sahip bölgesi olmuştur (Şekil 4B). İskenderun için 2019 Şubat (0,00016 mol/m²) ve Aralık (0,00019 mol/m²), 2020 Mart (0,00013 mol/m²), 2021 Şubat (0,00021 mol/m²) ve Kasım (0,00021 mol/m²), 2022 Şubat (0,00018 mol/m²) ve Aralık (0,00025 mol/m²), 2024 Ocak (0,00024 mol/m²) ayları hem kendi içerisinde hem de diğer örneklem noktaları arasında maksimum değerleri vermektedir (EK1).

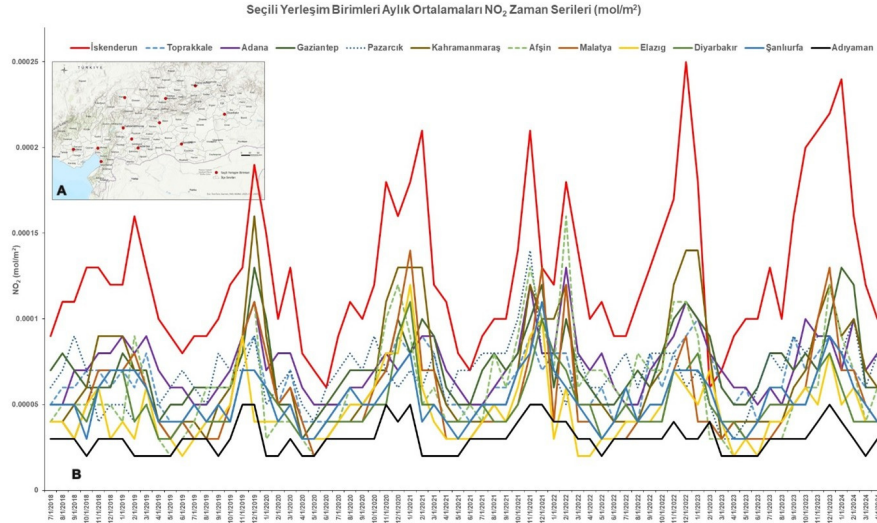
Örneklem lokasyonları içerisinde en düşük değerler Adıyaman (Şekil 4B) lokasyonu için tespit edilmiştir. Zaman serisinde 12 lokasyon için kasım, aralık, ocak ve şubat aylarını içeren kış sezonu değerleri tüm lokasyonlarda artış yönünde iken yaz sezonu ve geçişinde (mayıs, haziran, temmuz) için oldukça düşük yoğunluk değerleri hesaplanmaktadır.

2018 ve 2024 yılları arasında NO₂ aylık ortalamalar incelendiğinde İskenderun, Kahramanmaraş, Toprakkale, Afşin, Malatya, Adana, Gaziantep, Diyarbakır ve Şanlıurfa örneklem noktalarında kasım, aralık, ocak ve şubat ayları en yüksek değer ortalamasının yaşandığı konumlardır (Tablo 2, Şekil 5B). Elazığ ve Adıyaman örneklem konumlarında ise kasım, aralık, ocak ayları yüksek değer ortalaması görülürken şubat ayı yerine ekim ayında en yüksek değer ortalaması elde edilmektedir. Seçilen konumlar içerisinde Pazarcık en yüksek ortalama değerleri kasım ve aralık aylarında ve diğer lokasyonlardan farklı olarak eylül ve ekim aylarında yaşanmaktadır (Şekil 5B). Aylık ortalamaların minimum olduğu ay Kahramanmaraş, Gaziantep, Afşin, Malatya, Diyarbakır ve Şanlıurfa için mayıs iken Pazarcık konumu Nisan ayında minimum değer göstermektedir. Haziran dönemi ortalama aylık en düşük değer İskenderun, Toprakkale ve Elazığ illerinde görülmektedir.

Pazarcık örneği gibi Adıyaman ili en düşük aylık ortalaması diğer lokasyonlardan farklı olarak Temmuz ayında hesaplanmıştır (Tablo 2). NO₂ görüntü veri setinde %30 şeffaflık ayarı ile en düşük 0,000013 (mavi), en yüksek 0,000096 (kırmızı) standartlaştırılmış ölçüğü ile hazırlanan haritalar incelendiğinde (Şekil 6) örneklem konumlarının istatistikleri ile benzer şekilde çalışma alanının yaz sezonu geçişinde (mayıs, haziran ve temmuz) NO₂ yoğunlukları diğer aylara oranla düşüktür. Tüm aylar ortalamalarında arazi kullanım/arazi örtüsü ile karşılaştırıldığında yüksek değerler ile yapılaşma alanları (Şekil 2) belirgin bir şekilde ayırt edilebilmektedir. Bölgenin kuzeyi özellikle dağlık alanlar tüm aylarda en düşük NO₂ değerleri göstermektedir. Görüntü setleri incelendiğinde temmuz ayı ortalamaları genel anlamda düşüş eğilimi göstermesine karşın özellikle Harran ovasında olası anız yakımı ile ilişkili olarak bir artış gözlenmektedir (Şekil 6G).

2018 Temmuz ayından 2024 Nisan ayına kadar hesaplanan aylık ortalama katmanları içeren 70 zaman diliminde NO₂ görüntü veri seti kullanılarak Zamansal-Mekânsal Gelişen Sıcak Nokta analizi uygulandığında çalışma alanının büyük bir kısmı (yaklaşık %35) patern oluşturmamıştır (Şekil 7, Tablo 3). Patern oluşturmayan alanlar yerleşim bulunmayan baskın olarak yarı kurak-çalılık arazi örtüsüne sahip olduğu görülmektedir. Bu zaman serisi içinde çalışma alanında yeni, ardışık ve azalan bir sıcak veya soğuk nokta gelişimi ve aynı zamanda tarihi bir soğuk nokta alanı tespit edilmemiştir.

Çalışmada aylık ortalama değerlerin kullanılması kısa dönemli mevcut arazi kullanımında ve örtüsünde özellikle veri seti zaman aralığında emisyon değerlerini etkileyecek büyük ölçekli bir değişim olmaması ile ilişkilendirilmektedir. Daimî sıcak nokta alanları çalışma alanının %1'inden daha az alanda oluşmasına karşın neredeyse tamamı popülasyon yoğunluğu fazla yerleşim birimlerinde odaklanmaktadır.



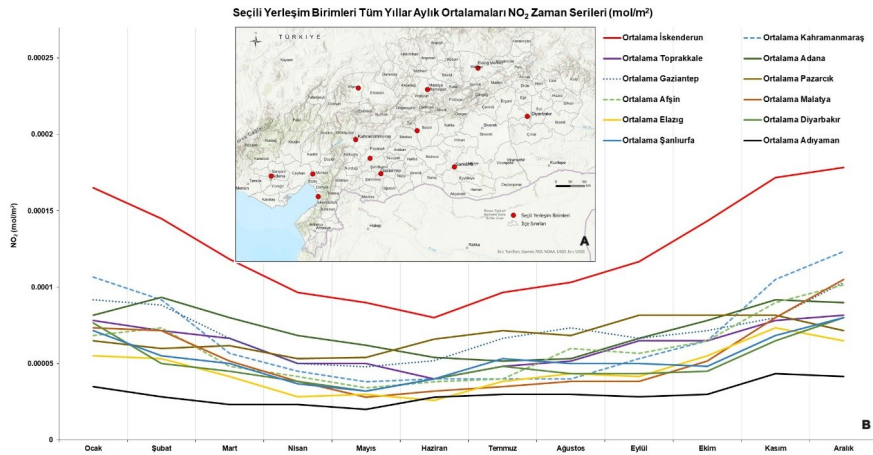
Şekil 4. A) 2018 Temmuz-2024 Nisan tarihleri arasında incelenen 12 lokasyon konumu B) İskenderun, Toprakkale, Adana, Gaziantep, Kahramanmaraş, Pazarcık, Afşin, Malatya, Diyarbakır, Adıyaman, Şanlıurfa, Elazığ lokasyonlarında incelenen zaman serisi grafiği.

Figure 4. A) Sample points that examined between July 2018 and April 2024. B) Time series graph examined in İskenderun, Toprakkale, Adana, Gaziantep, Kahramanmaraş, Pazarcık, Afşin, Malatya, Diyarbakır, Adıyaman, Şanlıurfa, Elazığ locations.

Tablo 2. İskenderun (İsk), Kahramanmaraş (KM), Toprakkale (TK), Adana (Ad), Gaziantep (GA), Pazarcık (P), Afşin (Af), Malatya (M), Elazığ (E), Diyarbakır (DB), Şanlıurfa (Ş) ve Adıyaman (A) örneklem konumlarında 2018-2024 yılları aylık ortalama değerleri. (Ocak – O, Şubat – Ş, Mart – M, Nisan – N, Mayıs – May, Haziran – H, Temmuz – T, Ağustos – A, Eylül – Ey, Ekim – Ek, Kasım – K, Aralık – Ar.)

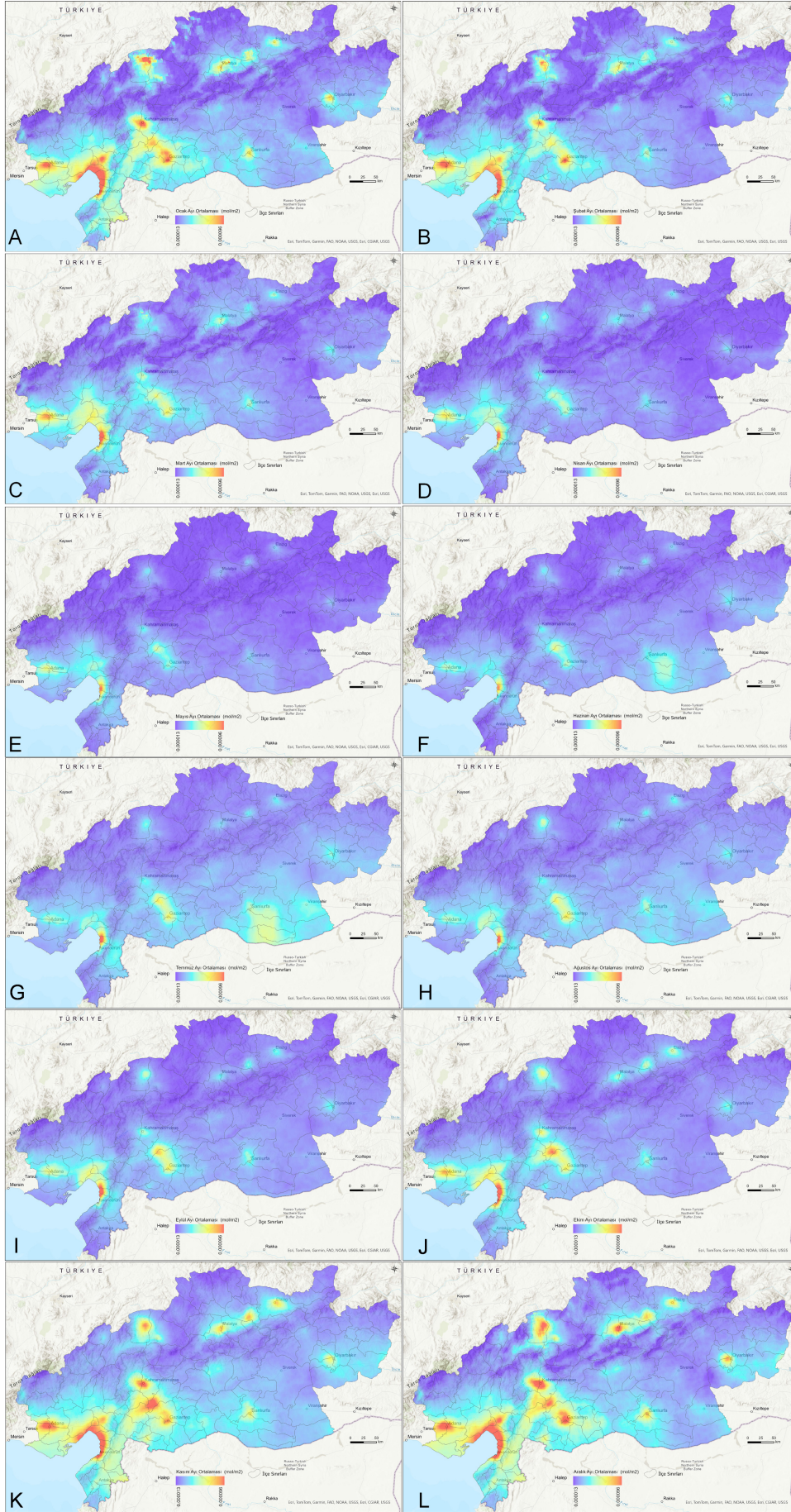
Table 2. Monthly average values for the years 2018-2024 in the sample locations İskenderun (İsk), Kahramanmaraş (KM), Toprakkale (TK), Adana (Ad), Gaziantep (GA), Pazarcık (P), Afşin (Af), Malatya (M), Elazığ (E), Diyarbakır (DB), Şanlıurfa (Ş) and Adıyaman (A). (January – O, February – Ş, March – M, April – N, May – May, June – H, July – T, August – A, September – Ey, October – Oct, November – K, December – Ar.)

Ay	İsk.	KM	TK	Ad	GA	P	Af	M	E	DB	Ş	A
O	0.000165	0.000107	0.000078	0.000082	0.000092	0.000065	0.000068	0.000073	0.000055	0.000077	0.000072	0.000035
Ş	0.000145	0.000092	0.000072	0.000093	0.000088	0.000060	0.000073	0.000072	0.000053	0.000050	0.000055	0.000028
M	0.000118	0.000057	0.000067	0.000080	0.000067	0.000062	0.000048	0.000052	0.000042	0.000045	0.000050	0.000023
N	0.000097	0.000045	0.000050	0.000068	0.000050	0.000053	0.000042	0.000038	0.000028	0.000038	0.000037	0.000023
May	0.000090	0.000038	0.000050	0.000062	0.000048	0.000054	0.000034	0.000028	0.000030	0.000032	0.000032	0.000020
H	0.000080	0.000040	0.000040	0.000054	0.000052	0.000066	0.000038	0.000032	0.000026	0.000040	0.000040	0.000028
T	0.000097	0.000040	0.000048	0.000052	0.000067	0.000072	0.000040	0.000035	0.000038	0.000048	0.000053	0.000030
A	0.000103	0.000040	0.000052	0.000053	0.000073	0.000068	0.000060	0.000038	0.000043	0.000043	0.000050	0.000030
Ey	0.000117	0.000053	0.000065	0.000067	0.000067	0.000082	0.000057	0.000038	0.000042	0.000043	0.000050	0.000028
Ek	0.000143	0.000065	0.000065	0.000072	0.000072	0.000082	0.000065	0.000052	0.000055	0.000045	0.000048	0.000030
K	0.000172	0.000105	0.000078	0.000092	0.000080	0.000082	0.000090	0.000080	0.000073	0.000065	0.000068	0.000043
Ar	0.000178	0.000123	0.000082	0.000090	0.000103	0.000072	0.000102	0.000105	0.000065	0.000080	0.000080	0.000042



Şekil 5. A) 2018 Temmuz-2024 Nisan tarihleri arasında incelenen 12 lokasyon konumu B) İskenderun, Toprakkale, Adana, Gaziantep, Kahramanmaraş, Pazarcık, Afşin, Malatya, Diyarbakır, Adıyaman, Şanlıurfa, Elazığ lokasyonlarında incelenen tarihler için aylık ortalama değerler grafiği.

Figure 5. A) locations of 12 point that examined between July 2018 and April 2024, B) Monthly average values chart for the İskenderun, Toprakkale, Adana, Gaziantep, Kahramanmaraş, Pazarcık, Afşin, Malatya, Diyarbakır, Adıyaman, Şanlıurfa, Elazığ locations.



Şekil 6. 2018 Temmuz-2024 Nisan tarihleri arasında NO₂ görüntü veri seti aylık ortalama görüntüleri A) Ocak, B) Şubat, C) Mart, D) Nisan, E) Mayıs, F) Haziran, G) Temmuz, H) Ağustos, I) Eylül, J) Ekim, K) Kasım, L) Aralık.

Figure 6. Monthly average images of NO₂ image dataset between July 2018 and April 2024 A) January, B) February, C) March, D) April, E) May, F) June, G) July, H) August, I) September, J) October, K) November, L) December.

2018 ve 2024 yılları arası aylık adımların %90'unda istatistiksel olarak anlamlı ve değişim trendine sahip olmayan Diyarbakır (Şekil 8A), Şanlıurfa (Şekil 8B), Kahramanmaraş (Şekil 8C) ve İskenderun (Şekil 7 ve 9) daimî sıcak nokta alanları olmuştur. Bu alanlar 2. seviye gelişmişlik düzeyleri (Şekil 1B) ile nüfusu (Şekil 1A) 350000 üzerinde olan bölgelerdir. Yapılaşma yoğunlukları yanı sıra endüstriyel üretim açısından da bölge içerisinde önemli yerleşim birimleridir.

Daimî sıcak nokta alanları içerisinde İskenderun bölgesinin nispeten düşük popülasyonu ve ılıman iklimine (kış dönemi fosil yakıt kullanımı düşüklüğü) karşın demir-çelik sanayii ve liman işletmeleri nedeniyle tüm inceleme döneminde NO₂ troposferik yoğunluğu fazla olduğu görülmektedir (Şekil 9).

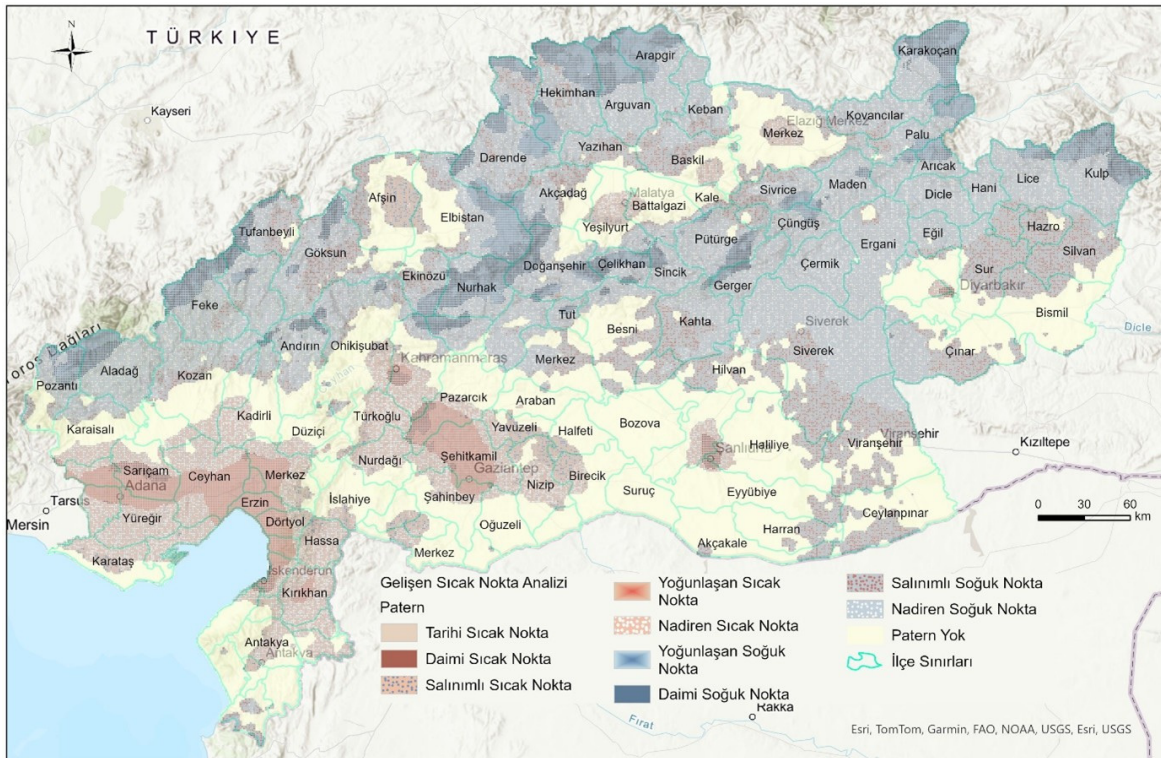
İskenderun çevresi ise hâkim rüzgâr yönünün özellikle batılı sektörlerde (Şekil 2) baskın olması ve düşük yapılaşmaya sahip ormanlık alanlar yanı sıra topografik koşulları nedeniyle nadiren sıcak nokta sınıfında yer almıştır.

Tarihi Sıcak Nokta sınıfı Diyarbakır merkezin güneyinde çok dar bir alanda (%0,003) görülmektedir (Şekil 8A, Tablo 3).

Çalışma alanında gelişmişlik seviyeleri 1 olmasına karşın Adana (Seyhan) (Şekil 8D) ve Gaziantep (Şehitkamil) (Şekil 8E) incelenen zaman aralığında istatistiksel olarak anlamlı bir artış trendine sahip Yoğunlaşan Sıcak noktalar. Nüfus ve yapılaşma yoğunluğu fazla olan bu iki yerleşmenin kent içi endüstriyel üretim oranının düşük olması yanı sıra hâkim rüzgâr yönü etkisi nedeniyle bu durumun açıklanabileceği düşünülmektedir. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi (HKDY) Yönetmeliği kapsamında 2013 yılı itibarıyla faaliyete alınan Temiz Hava Eylem

Planlarının öncelikli büyükşehir statüsünde yüksek nüfus yoğunluğuna sahip Adana (7 hava kalitesi izleme istasyonu) ve Gaziantep (5 hava kalitesi izleme istasyonu) illerinde uygulamasının bu duruma katkısı söz konusudur. Bölgede nüfus oranı fazla olan Elazığ (Şekil 8F) ve Malatya (Şekil 8G) ise salınımlı ve nadiren sıcak nokta sınıfına dahil olarak bazı dönemlerde NO₂ yoğunluğu artmasına karşın istatistiksel olarak anlamlı bir sıcak nokta serisi devam ettirmeyen bölgelerdir.

Gelişmişlik düzeyi 2 tanımlanan Elazığ ve Malatya kentlerinde topografik koşulların ve kuzey sektörlü rüzgarların NO₂ yoğunluğunu azaltıcı bir etkiye sahip olması söz konusu olabilir. Gelişmişlik düzeyleri düşük olan Afşin (Şekil 8H) bölgedeki termik santral etkisi ile salınımlı sıcak nokta iken önemli bir yerleşim alanı barındırmayan Elazığ-Malatya arasında yer alan Kömürhan mevki (Şekil 8I) bölge içerisinde ulaşım yoğunluğu nispeten yüksek tünel ve köprü bağlantısının yanı sıra açık maden işletmeleri ile de salınımlı ve nadiren sıcak nokta alanları olarak sınıflanmışlardır. Çalışma alanı içerisinde diğer dikkat çeken yoğun yerleşim birimleri dışında kalmasına karşın daimî sıcak nokta olarak Pazarcık-Narlı mevkiidir (Şekil 10). Yapılaşmanın seyrek endüstriyel üretimin düşük ve tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu 4. seviye gelişmişlik düzeyinde yer alan Kahramanmaraş Pazarcık ilçesinin Narlı ovası bölgesinde daimî sıcak nokta alanı bu özellikleri ile diğer bölgelerden ayrılmaktadır. Narlı bölgesinin daimî sıcak nokta alanı olmasının maden alanları (taş - kum ocakları) ve çimento sanayii ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Aynı zamanda Narlı ovasında tarım alanları için özellikle yaz dönemi anız yakma sürecinin NO₂ yoğunluğunda meydana getirdiği artış ile daimî sıcak nokta sınıfına dahil olmasına katkısı söz konusu olabilir.

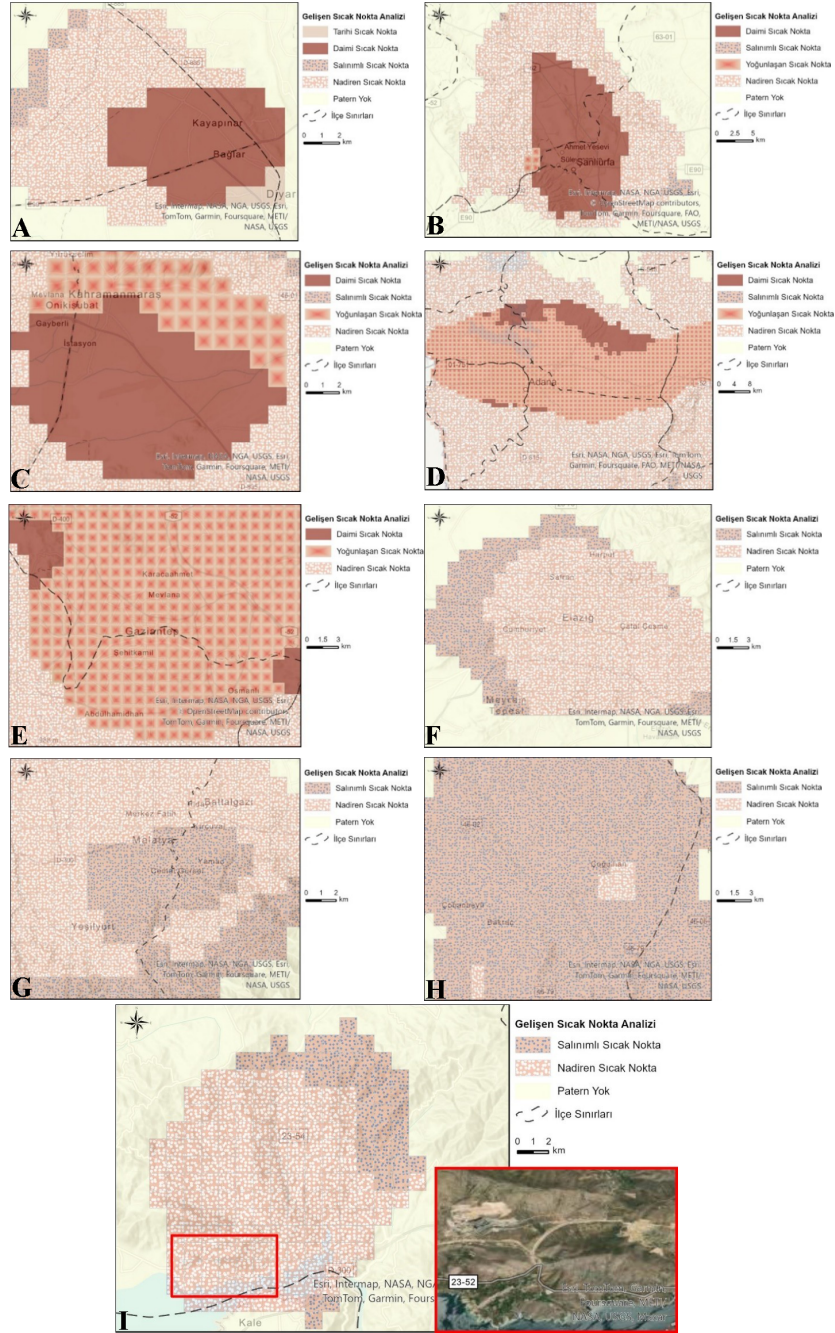


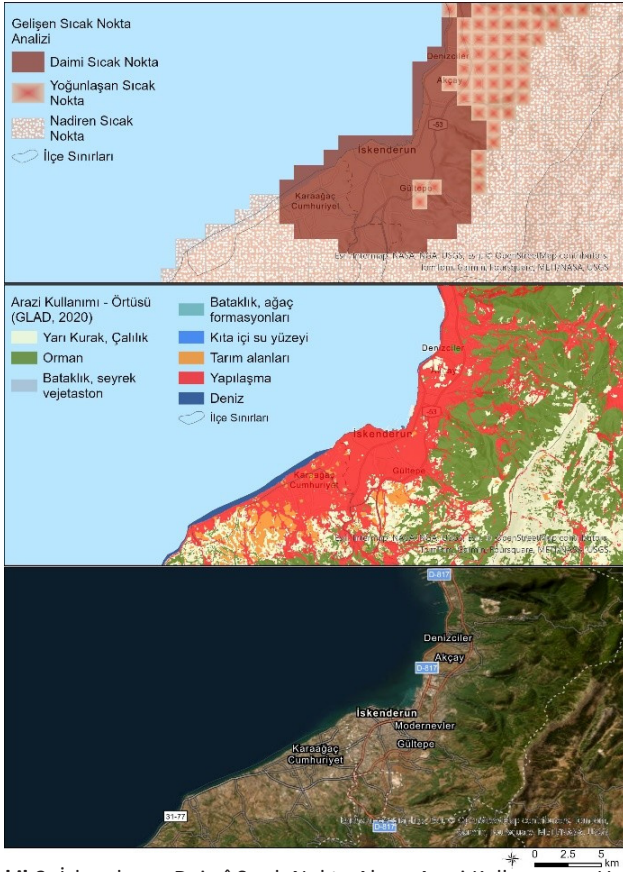
Şekil 7. 2018-2024 yılları arasında NO₂ veri seti Zamansal-Mekânsal Gelişen Sıcak Nokta Analiz Sonucu.

Figure 7. Resulting map of Temporal-Spatial Emerging Hot Spot Analysis of NO₂ data set between 2018-2024.

Table 3. Zamansal-Mekânsal Gelişen Sıcak Nokta Analiz sınıfları alansal dağılım oranları.**Table 3.** Areal distribution percentages of Temporal-Spatial Emerging Hot Spot Analysis classes.

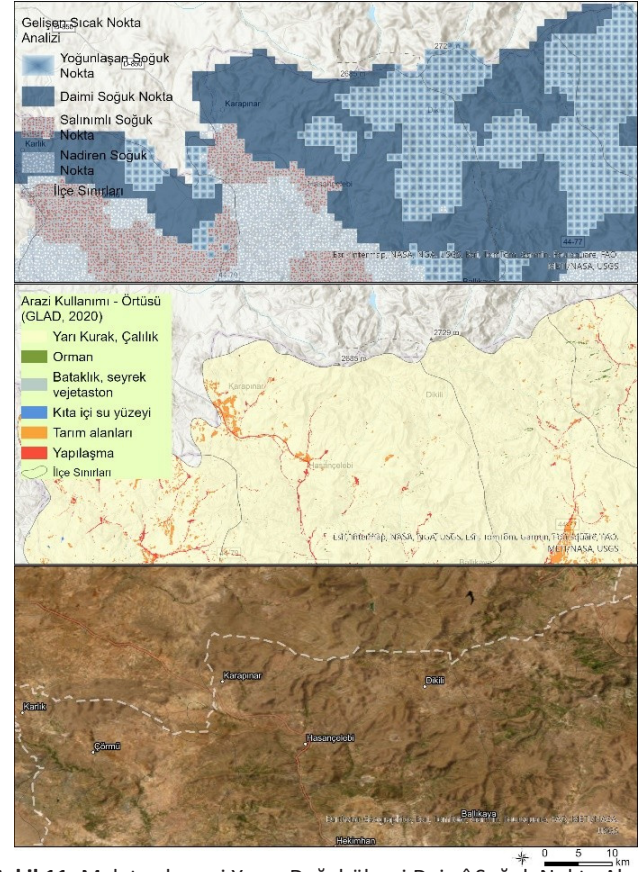
Zamansal-Mekânsal Gelişen Sıcak Nokta Sınıfı	Dağılım Oranı (%)
Tarihi Sıcak Nokta	0.003
Daimî Sıcak Nokta	0.7
Salımlı Sıcak Nokta	2.2
Yoğunlaşan Sıcak Nokta	3.4
Yoğunlaşan Soğuk Nokta	3.5
Daimî Soğuk Nokta	5.2
Nadiren Sıcak Nokta	9.2
Salımlı Soğuk Nokta	13.7
Nadiren Soğuk Nokta	28.6
Patern yok	33.5

**Şekil 8.** 2018-2024 yılları arasında NO2 veri seti Zamansal-Mekânsal Gelişen Sıcak Nokta Analiz sonuçlarına göre daimî, yoğunlaşan, salımlı, nadiren sıcak nokta tespit edilen bölgeler A) Diyarbakır, B) Şanlıurfa, C) Kahramanmaraş, D) Adana, E) Gaziantep, F) Elazığ, G) Malatya, H) Afşin, I) Elazığ-Malatya bağlantısını sağlayan Kömürhan Köprüsü ve Tüneli mevkii.**Figure 8.** Temporal-Spatial Emerging Hot Spot Analysis results of the NO2 data set between 2018-2024, the regions where permanent, intensifying, oscillating and rarely hot spots were detected are A) Diyarbakır, B) Şanlıurfa, C) Kahramanmaraş, D) Adana, E) Gaziantep, F) Elazığ, G) Malatya, H) Afşin, I) Kömürhan Bridge and Tunnel location, which provides the connection between Elazığ and Malatya.



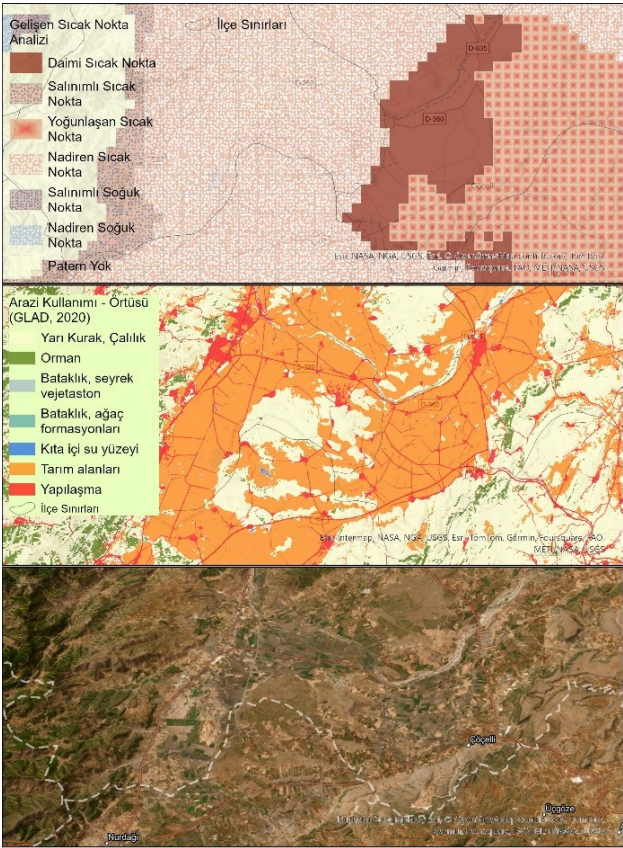
Şekil 9. Iskenderun Daimî Sıcak Nokta Alanı, Arazi Kullanımı ve Uydu Görüntüsü.

Figure 9. Iskenderun Permanent Hotspot Area, Land Use and Satellite Image.



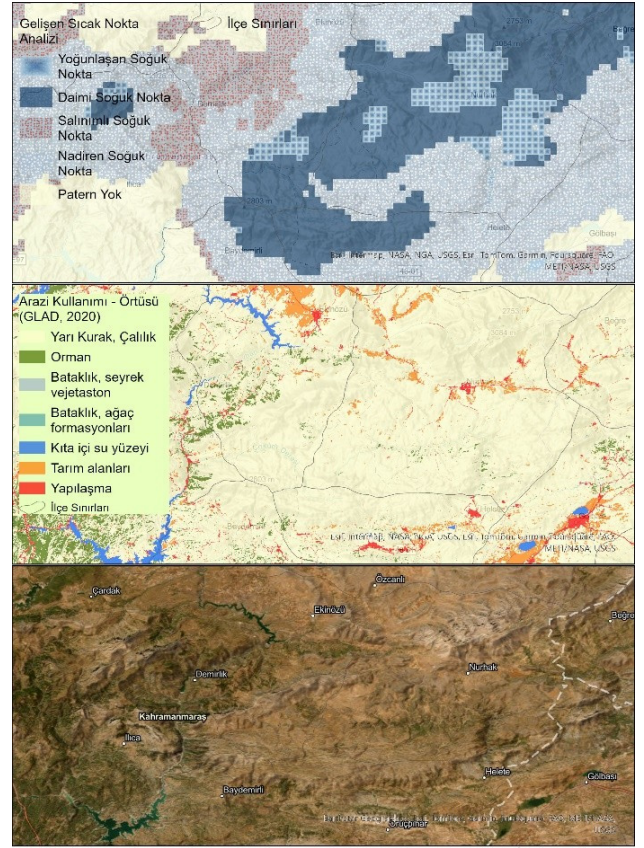
Şekil 11. Malatya kuzeyi Yama Dağı bölgesi Daimî Soğuk Nokta Alanı, Arazi Kullanımı ve Uydu Görüntüsü.

Figure 11. North of Malatya, Permanent Cold Spot Area, Land Use and Satellite Image of Yama Mountain region.



Şekil 10. Pazarcık Daimî Sıcak Nokta Alanı, Arazi Kullanımı ve Uydu Görüntüsü.

Figure 10. Pazarcık Permanent Hotspot Area, Land Use and Satellite Image.



Şekil 12. Engizek ve Nurhak Dağları Daimî Soğuk Nokta Alanı, Arazi Kullanımı ve Uydu Görüntüsü.

Figure 12. Engizek and Nurhak Mountains Permanent Cold Spot Area, Land Use and Satellite Image.

Bölgenin incelenen zaman aralığında NO₂ değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı azalma veya artma yönünde bir eğilim gözlemlenmediği %8'i daimî ve yoğunlaşan soğuk nokta olarak tespit edilmiştir. Daimî soğuk nokta alanlar Toroslar, Malatya kuzeyi (Şekil 11), Nurhak ve Engizek (Şekil 12), Kenger Dağları gibi dağlık bölgelerde Yoğunlaşan Soğuk noktalar ise bu bölgelerin yakın çevresini oluşturmaktadır. Nadiren Soğuk Noktalar çalışma alanının %30'unda istatistiksel olarak anlamlı, düşük NO₂ değeri veren çalışma alanının kuzey ve kuzeydoğu bölgelerinde tespit edilmiştir. Bu alanlarda ortak özellikler yapılaşmanın ve dolayısıyla tarım alanlarının oldukça az olması (Şekil 3), topografik olarak yükseltilerin fazla ve ortalama rüzgar hızının 1,8 m/sn üzeri ve değişken hakim rüzgar yönüne (Şekil 2) sahip olmalarıdır.

4. Sonuç ve Öneriler

Çalışma tek bir hava kirlilik parametresi (NO₂) üzerinden zamansal ve mekânsal değişim trendlerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın genel amacına uygun olarak uydu verilerine dayanarak NO₂ hava kirliliği düzeylerini ve sıcak ve soğuk noktalar gelişen sıcak nokta analizi ile belirlenmiştir. 2018-2024 yıllarını kapsayan veri setine göre 2023 Şubat depremlerinde önemli yapısal hasar alan Antakya, Adıyaman, Malatya ve Kahramanmaraş ilçelerinde NO₂ troposferik yoğunluklarında önemli bir trend değişimi tespit edilmemiştir. Bu durum aynı şekilde COVID-19 pandemi dönemi kapanmalarının etkisiyle bir azalma olmasına karşın uzun süreli aylık ortalamalar için bir azalma trendi ortaya çıkarmamaktadır. Önemli yerleşim birimleri kış sezonunda maksimumlarını sergilemek ile birlikte NO₂ troposferik yoğunluğunun en yüksek kaydedildiği alanlar olmaktadır. Bu yerleşim alanları içerisinde İskenderun ve Pazarcık-Narlı civarı ise gerek gelişmişlik düzeyleri gerek ise düşük nüfus yoğunluklarına karşın tüm yıl içerisinde en yoğun değerlerin görüldüğü lokasyonlar olarak tespit edilmişlerdir. Malatya, Elazığ ve Adıyaman henüz salınımlı sıcak nokta olan yerleşim merkezleri olarak daimi sıcak nokta sınıfına geçilmemesi adına, yapılaşma ve sanayileşme planlamaları öncelikli olarak bölge planlamasında bu durumun göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Çalışma alanında 2018 ve 2024 zaman aralığında NO₂ troposferik yoğunluğunda yeni gelişen bir sıcak veya soğuk nokta tespit edilmemesi gerek arazi kullanım durumunda gerek gelişmişlik düzeyini artırıcı sanayileşme alanında büyük ölçekli bir değişimin yaşanmadığının bir göstergesi olarak kabul edilmiştir. NO₂ troposferik yoğunluklarda ardışık ve azalan sınıfa dahil olan bir sıcak ve soğuk nokta belirlenmemesi yine araştırma periyodu içerisinde istatistiksel olarak anlamlı bir eğilim ortaya çıkarmayan, hava kalitesini iyileştirmeye yönelik önlemlerin bir parçası olarak politikaların uygulanmaması ile ilişkilendirilebilir. Hâkim rüzgâr yönünün kuzeybatı olduğu Bağlar (Diyarbakır), Eyyübiye ve Haliliye (Şanlıurfa) ilçelerinde halk sağlığını korumak üzere yerel NO₂ kaynak tespiti yapılması ve azot emisyonlarını azaltıcı önlemlerin alınması önerilmektedir. Kahramanmaraş ili Onikişubat ve Dulkadiroğlu ilçelerinde hâkim rüzgâr yönünde (Kuzeybatı) bulunan sanayi bölgelerinde emisyon azaltıcı düzenlemelere gidilmesi ve daimî sıcak nokta durumlarının iyileştirici adımlar atılması gerekmektedir. 2023 depremleri ile afet bölgesi ilan edilen ve birçok mekânsal planlama sürecinin yürütüldüğü alanda planlama süreçlerine böl-

gesel hava kirliliği değerlendirmelerinin katkı sağlayabileceği görülmektedir.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Ulusal Hava Kalite İzleme Ağı web arayüzü verilerine göre çalışma alanında 124 ilçe için 7'si Adana ve 5'i Gaziantep olmak üzere toplam 23 adet hava kalitesi ölçüm istasyonu bulunmaktadır. Bu hava kalitesi izleme istasyonlarının birçoğunda ise sürekli NO₂ parametre ölçümü gerçekleştirilmemektedir. S5P uydu verilerinin kullanıldığı çalışma sonuçlarına göre bölgede NO₂ salınımının gerçekleştiği ve bu nedenle hava kalitesi ölçüm istasyonlarında sürekli NO₂ parametresinin izlenmesi ve izleme istasyon sayısının artırılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Yeni kurulacak hava kalitesi ölçüm istasyonlarının yer seçiminde sadece kent içi değil tarım alanları, sanayi bölgeleri ve önemli ulaşım kavşaklarının da dikkate alınması gerekmektedir.

Yaşam kalitesinin bir göstergesi olarak daha iyi ulaşım, ısınma, sanayi gibi refah düzeyi yükselten ideal koşullara kavuşmanın uzun vadede sağlık ve çevre problemleri oluşturan kirlilik kaynakları olarak tanımlanması paradoksu (Tonion ve Pirotti, 2022) mekânsal planlama yaklaşımlarının bir meydan okuması olarak karşımıza çıkmaktadır. Ulusal Kalkınma Planlarında ana hedefler arasında yer alan, kirletici emisyonları kaynağında azaltmak ve emisyonları yerel ve ulusal düzeyde azaltmak için en etkili önlemleri belirlemektir. Bu bağlamda zamansal-mekânsal gelişen sıcak nokta analizi özellikle popülasyonun fazla olduğu gelişmişlik düzeyini etkileyen sanayileşme ile ilgili gelişmelerin çalışma alanında NO₂ troposferik yoğunluklarda ortaya çıkan daimî sıcak noktalar için belirleyici bir etmen olarak tespit edilmiştir. 2023 yılı depremleri sonrasında yeniden yapılanma sürecine giren bölgede (Adana, Adıyaman, Diyarbakır, Elazığ, Gaziantep, Hatay, Kahramanmaraş, Kilis, Malatya, Osmaniye, Şanlıurfa) hava kirliliği parametrelerinin göz önünde bulundurulması açısından planlama süreçlerine katkı sağlayabileceği görülmektedir. Bölgesel ölçekte gerçekleştirilen bu çalışma sonuçlarının yerel mekânsal planlama sürecinde özellikle kent tasarımlarında doğrudan kullanılmaması önerilmektedir. Sıcak ve yoğunlaşan sıcak nokta olarak belirlenen alanlarda şehir planlama sürecine inversiyon potansiyelinin doğru tespiti ve iyileştirilmesi adına büyük ölçekli topografya, rüzgâr, sıcaklık ve kirletici kaynakların haritalandırılarak modellenmesi önerilmektedir.

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

Yazar katkısı/Author contribution: Çalışma konsepti ve tasarımı M. K. tarafından yapılmıştır. M. K. tarafından veriler toplanmış ve analiz edilmiştir. Yazım kısmı M. K. ve D.Ö. tarafından yapılmıştır. *The study concept and design were made by M. K. Data were collected and analyzed by M. K. Writing part was made by M. U. and D.Ö.*

Etik Kurulu Onayı/Ethics Committee Approval: Bu çalışma için etik kurul izni gerekmemektedir. *Ethics committee approval is not required for this study.*

Kaynakça

- Acar, S., Şahin Cinoğlu, D., Karagöz, T., Kaygısız, G., Meydan, M. C., & Işık, M. (2022). *İlçelerin Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırması SEGE-2022 Raporu*. Kalkınma Ajansları Genel Müdürlüğü Yayını, Sayı: 35, Araştırma Raporu Sayı: 8, Ankara.
- Alkan, A. (2018). Hava kirliliğinin ciddi boyutlara ulaştığı kentlere bir örnek: Siirt. *Bitlis Eren Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(2), 641-666. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bitlissos/issue/41200/475981>
- Aydın, M., & Menteşe, S. (2024). Gelibolu hava kalitesinin belirlenmesi. *Environmental Toxicology and Ecology*, 4(1), 11-25. <https://doi.org/10.59838/etoxec.1346416>
- Aydın, S., Şimşek, M., Çetinkaya, G., & Öztürk, M. (2019, 20-22 Haziran). *Erinç yağış etkinlik indisi'ne göre belirlenen Türkiye iklim bölgelerinin rejim karakteristikleri*. [Kongre Sunumu] İstanbul Uluslararası Coğrafya Kongresi Bildiri Kitabı, s. 752-760, İstanbul. <https://doi.org/10.26650/PB/PS12.2019.002.074>
- Boersma, K. F., Eskes, H. J., Dirksen, R. J., Van Der A, R. J., Veefkind, J. P., Stammes, P., Huijnen, V., Kleipool, Q. L., Sneep, M., Claas, J., Leitão, J., Richter, A., Zhou, Y., & Brunner, D. (2011). An improved tropospheric NO₂ column retrieval algorithm for the Ozone Monitoring Instrument. *Atmospheric Measurement Techniques*, 4(9), 1905-1928. <https://doi.org/10.5194/amt-4-1905-2011>
- Cicibiyık, A., Şarlak, N., & Üstün, D. (2019). Karaman ili hava kirliliği durumu. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1(1), 59-69. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/kmujiens/issue/57687/820866>
- Cindoruk, S. (2018). Havadaki NO ve NO₂ Parametrelerinin Marmara temiz hava merkezi ölçümleri kapsamında incelenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 600-611. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.443194>
- Çınar, Ö. (2008). *Çevre kirliliği ve kontrolü*. Nobel Yayın Dağıtım.
- 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. <https://doi.org/10.53433/yyufbed.1119418>
- ESRİ. (2024, Mayıs). Emerging Hot Spot Analysis (Space Time Pattern Mining) ArcGIS Pro Resources, How emerging hot spot analysis works. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/2.8/tool-reference/space-time-pattern-mining/learn-moreemerging.htm>
- Faisal, M., & Jaelani, L. M. (2023). Spatio-temporal analysis of nitrogen dioxide (NO₂) from Sentinel-5P imageries using Google Earth Engine changes during the COVID-19 social restriction policy in Jakarta. *Natural Hazards Research*, 3(2), 344-352. <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2023.02.006>
- Fertelli, A. (2020). Sivas ilindeki hava kirliliğine doğal gaz kullanımının etkileri. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 18-23. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bjesr/issue/57523/766724>
- Georgoulas, A. K., van der A, R. J., Stammes, P., Boersma, K. F., & Eskes, H. J. (2019). Trends and trend reversal detection in 2 decades of tropospheric NO₂ satellite observations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19(9), 6269-6294. <https://doi.org/10.5194/acp-19-6269-2019>
- Güngör, T. (2019). *Belirli iklim sınıflandırmalarının Türkiye için karşılaştırmalı analizi*. (Tez No: 591492) [Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=eYVqJcysySdR51vqcbU90Q&no=pdkBPhoKIPxfZ_i3MgYEIlg
- Jodhani, K. H., Gupta, N., Parmar, A. D., Bhavsar, J. D., Patel, H., Patel, D., Singh, A.D., Mishra, Um, & jee Omar, P. (2024). Synergizing google earth engine and earth observations for potential impact of land use/land cover on air quality. *Results in Engineering*, 22, 102039. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102039>
- Kara, G., Yalçınkaya, B., & Özdil, B. (2018). Konya ilinin hava kirliliğine bazı meteorolojik faktörlerin etkisi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(2), 104-109. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ucbad/issue/38487/447121>
- Karpuzcu, P. D. (2016). *Çevre kirlenmesi ve kontrolü*. Kubbealtı Yayınevi.
- Koçman, A. (1993). *Türkiye iklimi* (No. 72). Ege Üniversitesi.
- Köse, R., & Erbaş, O. (2003). Bazı meteorolojik faktörlerin Kütahtya'daki hava kirliliğine etkisi. *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University*, 004, 255-269. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/dpufbed/issue/36325/410919>
- Liu, Z., Li, Y., Law, A., Tan, J. Y. K., Chua, W. H., Zhu, Y., Feng C.C. & Luo, W. (2024). Association between NO₂ and human mobility: a two-year spatiotemporal study during the COVID-19 pandemic in Southeast Asia. *Annals of GIS*, 1-18. <https://doi.org/10.1080/19475683.2024.2325577>
- Makineci, H. B. (2022). İstanbul ili merkez ilçelerindeki NO₂ ve CO emisyonlarının uzaktan algılama ve yersel istasyon verileri kullanılarak incelenmesi. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 4(2), 62-74. <https://doi.org/10.51489/tuzal.1160333>
- Marc, M., Tobiszewski, M., Zabiegala, B., De La Guardia, M., & Namiesnik, J. (2015). Current air quality analytics and monitoring: A review, *Analytica Chimica Acta*, 853, 116-126. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2014.10.018>
- Mejía, D., Faican, G., Zalakeviciute, R., Matovelle, C., Bonilla, S., & Sobrino, J. A. (2024). Spatio-temporal evaluation of

- air pollution using ground-based and satellite data during COVID-19 in Ecuador. *Heliyon*, 10(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28152>
- MGM. (2023). *Meteorolojik parametrelerin Türkiye analizi, Türkiye ortalama rüzgâr 2023*. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara. <https://www.mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/parametreAnalizi/2023-ortalama-ruzgar.pdf>
- Morillas, C., Alvarez, S., Pires, J. C., Garcia, A. J., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2024.120326>
- Müller, I., Erbertseder, T., & Taubenböck, H. (2022). Tropospheric NO₂: Explorative analyses of spatial variability and impact factors. *Remote Sensing of Environment*, 270, 112839. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112839>
- Naveed-ul-Zafar, M. (2021). Spatio-temporal analysis of tropospheric NO₂ pollution during the COVID-19 pandemic lockdowns [Unpublished doctoral dissertation] Aalborg University.
- Pavelescu, A. Ş., Badea, A. C., & Croitoru, C. (2022). Analyzing air quality using GIS tools. *RevCAD Journal of Geodesy and Cadastre*, 32, 75-84. http://revcad.uab.ro/upload/53_838_pavelescu_badea_croitoru.pdf
- Potapov P., Hansen M.C., Pickens A., Hernandez-Serna A., Tyukavina A., Turubanova S., Zalles V., Li X., Khan A., Stolle F., Harris N., Song X.-P., Baggett A., Kommareddy I., Kommareddy A. (2022) The global 2000-2020 land cover and land use change dataset derived from the Landsat archive: first results. *Frontiers in Remote Sensing*, 3, 856903. <https://doi.org/10.3389/frsen.2022.856903>
- Sever, R. (2008). Malatya'daki hava kirliliğine coğrafi bakış. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 13(20), 59-76. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ataunidcd/issue/2444/30985>
- Stratoulas, D., & Nuthammachot, N. (2020). Air quality development during the COVID-19 pandemic over a medium-sized urban area in Thailand. *Science of the Total Environment*, 746, 141320. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141320>
- Sünsülü, M., & Kalkan, K. (2022). Sentinel-5p uydu görüntüleri ile azot dioksit (NO₂) kirliliğinin izlenmesi. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 4(1), 1-6. <https://doi.org/10.51489/tuzal.1056261>
- Swamy, G.S.N.V.K.S.N., Erva, R. R., Pujari, M., & Kodavaty, J. (2024). An overview on patterns, monitoring, and modeling of the urban climate changes. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 103625. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2024.103625>
- Şahin, C. (1989). Hava kirliliği ve hava kirliliğini etkileyen doğal çevre faktörleri. *Atatürk Kültür Dil ve Tarih Yüksek Kurumu Coğrafya Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 194-208.
- Tista, M., Gager, M., Gaisbauer, S., & Ullrich, B. (2019). *European Union Emission Inventory Report 1990–2017 under the UNECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution (LRTAP)*. Publications Office of the European Union.
- Tonion, F. & Pirotti, F. (2022). Sentinel-5P NO₂ Data: Cross-Validation and Comparison with Ground Measurements, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLIII-B3-2022, 749–756. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2022-749-2022>
- Türkeş, M. (2010). *Klimatoloji ve meteoroloji*. İstanbul: Kriter Yayınevi.
- Wieczorek, B. (2023). Air pollution patterns mapping of SO₂, NO₂, and CO derived from TROPOMI over Central-East Europe. *Remote Sensing*, 15(6), 1565. <https://doi.org/10.3390/rs15061565>
- Yavaşlı, D. D., & Ölgün, M. K. Impacts of COVID-19 pandemic on tropospheric NO₂ over Turkey. *Ege Coğrafya Dergisi*, 31(2), 255-264. <https://doi.org/10.51800/eecd.1109104>
- Yavaşlı, D. D., & Ulukuş, Ş. (2020). *Atmosferik tozun uzaktan algılama ile belirlenmesi*. İstanbul: Kriter Yayınevi.
- Yıldırım, U., & Korkmaz, H. (2014). Kahramanmaraş'ta coğrafi faktörlerin hava kirliliğine etkileri. *Türk Coğrafya Dergisi*, 33, 389-411. <https://doi.org/10.17211/tcd.62014>
- Yılmaz, E., & Çiçek, İ. (2018). Detailed Köppen-Geiger climate regions of Turkey (Türkiye'nin detaylandırılmış Köppen-Geiger iklim bölgeleri). *Journal of Human Sciences*, 15(1), 225-242. <https://doi.org/10.14687/jhs.v15i1.5040>

EK1

Seçilen 12 örneklem noktası için tüm veri seti aylık ortalama NO₂ yoğunluk değerleri.

Zaman	İskenderun	Toprakale	Adana	Gaziantep	Pazarcık	Kahramanmaraş	Afşin	Malatya	Elazığ	Diyarbakır	Şanlıurfa	Adıyaman
Jul-18	0.00009	0.00005	0.00005	0.00007	0.00006	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00005	0.00005	0.00003
Aug-18	0.00011	0.00006	0.00005	0.00008	0.00007	0.00004	0.00005	0.00004	0.00004	0.00005	0.00005	0.00003
Sep-18	0.00011	0.00006	0.00007	0.00007	0.00009	0.00005	0.00005	0.00003	0.00003	0.00005	0.00005	0.00003
Oct-18	0.00013	0.00007	0.00007	0.00006	0.00007	0.00006	0.00005	0.00005	0.00005	0.00004	0.00003	0.00002
Nov-18	0.00013	0.00007	0.00008	0.00006	0.00004	0.00009	0.00005	0.00007	0.00006	0.00006	0.00006	0.00003
Dec-18	0.00012	0.00006	0.00008	0.00006	0.00005	0.00009	0.00005	0.00007	0.00003	0.00007	0.00007	0.00003
Jan-19	0.00012	0.00007	0.00009	0.00008	0.00005	0.00009	0.00004	0.00007	0.00004	0.00007	0.00007	0.00003
Feb-19	0.00016	0.00006	0.00008	0.00007	0.00004	0.00007	0.00009	0.00008	0.00003	0.00004	0.00007	0.00002
Mar-19	0.00013	0.000058	0.00009	0.00007	0.00005	0.00006	0.00006	0.00006	0.00006	0.00005	0.00006	0.00002
Apr-19	0.0001	0.00005	0.00007	0.00004	0.00005	0.00004	0.00003	0.00004	0.00003	0.00003	0.00004	0.00002
May-19	0.00009	0.00004	0.00006	0.00005	0.00006	0.00003	0.00002	0.00003	0.00003	0.00003	0.00004	0.00002
Jun-19	0.00008	0.00004	0.00006	0.00005	0.00007	0.00004	0.00003	0.00004	0.00002	0.00004	0.00004	0.00003
Jul-19	0.00009	0.00003	0.00005	0.00006	0.00006	0.00004	0.00004	0.00003	0.00003	0.00005	0.00005	0.00003
Aug-19	0.00009	0.00004	0.00005	0.00006	0.00005	0.00003	0.00006	0.00003	0.00004	0.00004	0.00004	0.00003
Sep-19	0.0001	0.00005	0.00006	0.00006	0.00008	0.00005	0.00006	0.00003	0.00004	0.00004	0.00005	0.00002
Oct-19	0.00012	0.000046	0.00007	0.00006	0.00007	0.00006	0.00006	0.00005	0.00005	0.00004	0.00004	0.00003
Nov-19	0.00013	0.00008	0.00009	0.00008	0.00007	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00007	0.00007	0.00005
Dec-19	0.00019	0.00009	0.00011	0.00013	0.00009	0.00016	0.00011	0.00011	0.00004	0.00007	0.00007	0.00005
Jan-20	0.00015	0.00006	0.00007	0.0001	0.00005	0.00009	0.00003	0.00008	0.00004	0.00006	0.00006	0.00002
Feb-20	0.0001	0.00005	0.00008	0.00005	0.00006	0.00005	0.00004	0.00005	0.00004	0.00005	0.00004	0.00002
Mar-20	0.00013	0.00007	0.00008	0.00005	0.00007	0.00006	0.00004	0.00006	0.00005	0.00004	0.00005	0.00003
Apr-20	0.00008	0.00004	0.00006	0.00003	0.00005	0.00003	0.00003	0.00004	0.00003	0.00003	0.00003	0.00002
May-20	0.00007	0.00004	0.00005	0.00004	0.00004	0.00003	0.00002	0.00002	0.00003	0.00003	0.00003	0.00002
Jun-20	0.00006	0.00004	0.00005	0.00005	0.00006	0.00004	0.00003	0.00003	0.00003	0.00004	0.00004	0.00003
Jul-20	0.00009	0.00005	0.00005	0.00006	0.00007	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00005	0.00003
Aug-20	0.00011	0.00005	0.00006	0.00007	0.00008	0.00004	0.00006	0.00004	0.00005	0.00004	0.00006	0.00003
Sep-20	0.0001	0.00005	0.00006	0.00007	0.00007	0.00005	0.00005	0.00004	0.00005	0.00004	0.00005	0.00003
Oct-20	0.00012	0.00006	0.00007	0.00007	0.00009	0.00006	0.00006	0.00006	0.00006	0.00005	0.00005	0.00003
Nov-20	0.00018	0.00007	0.00008	0.00007	0.00007	0.00011	0.0001	0.00007	0.00008	0.00005	0.00006	0.00005
Dec-20	0.00016	0.00009	0.00007	0.0001	0.00006	0.00013	0.00012	0.0001	0.00008	0.00009	0.00007	0.00004
Jan-21	0.00018	0.00008	0.00008	0.00008	0.00007	0.00013	0.00009	0.00014	0.00012	0.00011	0.00008	0.00005
Feb-21	0.00021	0.00009	0.00009	0.0001	0.00006	0.00013	0.00005	0.00007	0.00006	0.00005	0.00004	0.00002
Mar-21	0.00012	0.00008	0.00009	0.00009	0.00008	0.00007	0.00006	0.00007	0.00004	0.00005	0.00005	0.00002
Apr-21	0.00011	0.00005	0.00007	0.00006	0.00005	0.00005	0.00004	0.00003	0.00003	0.00004	0.00004	0.00002
May-21	0.00008	0.00005	0.00006	0.00005	0.00007	0.00004	0.00004	0.00003	0.00003	0.00004	0.00003	0.00002
Jun-21	0.00007	0.00004	0.00005	0.00005	0.00007	0.00004	0.00005	0.00003	0.00003	0.00004	0.00004	0.00003
Jul-21	0.00009	0.00005	0.00005	0.00007	0.00008	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00005	0.00005	0.00003
Aug-21	0.0001	0.00006	0.00006	0.00008	0.00008	0.00005	0.00008	0.00004	0.00005	0.00004	0.00005	0.00003
Sep-21	0.0001	0.00006	0.00007	0.00007	0.00008	0.00005	0.00006	0.00004	0.00004	0.00004	0.00005	0.00003
Oct-21	0.00014	0.00007	0.00008	0.00008	0.0001	0.00007	0.00009	0.00005	0.00006	0.00005	0.00007	0.00004
Nov-21	0.00021	0.00009	0.00012	0.0001	0.00014	0.00012	0.00013	0.00008	0.00009	0.00007	0.00008	0.00005
Dec-21	0.00013	0.00007	0.00008	0.00012	0.00008	0.0001	0.0001	0.00013	0.0001	0.0001	0.00011	0.00005
Jan-22	0.00012	0.00008	0.00008	0.00006	0.00007	0.0001	0.00007	0.00004	0.00003	0.00008	0.00007	0.00004
Feb-22	0.00018	0.00008	0.00013	0.0001	0.00005	0.00012	0.00016	0.00012	0.00006	0.00007	0.00006	0.00004
Mar-22	0.00014	0.00005	0.00008	0.00007	0.00008	0.00005	0.00006	0.00004	0.00002	0.00005	0.00005	0.00003
Apr-22	0.0001	0.00005	0.00007	0.00006	0.00006	0.00005	0.00007	0.00004	0.00002	0.00005	0.00004	0.00003
May-22	0.00011	0.00005	0.00008	0.00005	0.00006	0.00005	0.00007	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00002

Jun-22	0.00009	0.00004	0.00006	0.00005	0.00007	0.00004	0.00006	0.00003	0.00003	0.00004	0.00004	0.00003
Jul-22	0.00009	0.00005	0.00005	0.00006	0.00008	0.00004	0.00005	0.00003	0.00004	0.00005	0.00006	0.00003
Aug-22	0.00011	0.00004	0.00005	0.00007	0.00006	0.00004	0.00008	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00003
Sep-22	0.00013	0.00008	0.00007	0.00006	0.00008	0.00006	0.00007	0.00004	0.00004	0.00004	0.00005	0.00003
Oct-22	0.00015	0.00006	0.00008	0.00008	0.00008	0.00007	0.00007	0.00004	0.00005	0.00004	0.00005	0.00003
Nov-22	0.00017	0.00008	0.00009	0.0001	0.00008	0.00012	0.00011	0.00007	0.00007	0.00007	0.00007	0.00004
Dec-22	0.00025	0.00009	0.00011	0.00011	0.00006	0.00014	0.00011	0.00009	0.00006	0.00007	0.00007	0.00003
Jan-23	0.00018	0.0001	0.0001	0.0001	0.00007	0.00014	0.00009	0.00004	0.00005	0.00008	0.00007	0.00003
Feb-23	0.00006	0.00008	0.00008	0.00009	0.00005	0.00008	0.00003	0.00004	0.00007	0.00005	0.00006	0.00004
Mar-23	0.00007	0.00006	0.00007	0.00006	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00004	0.00004	0.00004	0.00002
Apr-23	0.00009	0.00006	0.00006	0.00005	0.00003	0.00004	0.00002	0.00004	0.00002	0.00004	0.00003	0.00002
May-23	0.0001	0.00006	0.00006	0.00005	0.00004	0.00004	0.00002	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00002
Jun-23	0.0001	0.00004	0.00005	0.00006	0.00006	0.00004	0.00002	0.00003	0.00002	0.00004	0.00004	0.00002
Jul-23	0.00013	0.00006	0.00006	0.00008	0.00008	0.00004	0.00003	0.00003	0.00004	0.00005	0.00006	0.00003
Aug-23	0.0001	0.00006	0.00005	0.00008	0.00007	0.00004	0.00003	0.00004	0.00004	0.00005	0.00006	0.00003
Sep-23	0.00016	0.00009	0.00007	0.00007	0.00009	0.00006	0.00005	0.00005	0.00005	0.00005	0.00005	0.00003
Oct-23	0.0002	0.00007	0.0001	0.00008	0.00008	0.00007	0.00006	0.00006	0.00006	0.00005	0.00005	0.00003
Nov-23	0.00021	0.00008	0.00009	0.00007	0.00009	0.0001	0.00006	0.0001	0.00005	0.00007	0.00007	0.00004
Dec-23	0.00022	0.00009	0.00009	0.0001	0.00009	0.00012	0.00012	0.00013	0.00008	0.00008	0.00009	0.00005
Jan-24	0.00024	0.00008	0.00007	0.00013	0.00008	0.00009	0.00009	0.00007	0.00005	0.00006	0.00008	0.00004
Feb-24	0.00016	0.00007	0.0001	0.00012	0.0001	0.0001	0.00007	0.00007	0.00006	0.00004	0.00006	0.00003
Mar-24	0.00012	0.00006	0.00007	0.00006	0.00006	0.00007	0.00004	0.00005	0.00004	0.00004	0.00005	0.00002
Apr-24	0.0001	0.00006	0.00008	0.00006	0.00008	0.00006	0.00006	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00003