

SENTİNEL-5P TABANLI KONUMSAL VE ZAMANSAL NO₂ ANALİZİ: 2020-2024 KIŞ DÖNEMİ İĞDIR GÖZLEMİ

Emirhan ÖZDEMİR¹, Rüştü ÇALLI², Mitat Can YILDIZ³, Alihsan ŞEKERTEKİN⁴

¹Öğr. Gör. Dr., Iğdır Üniversitesi, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 76002, Suveren, Iğdır, emirhan.ozdemir@igdir.edu.tr

²Öğr. Gör., Iğdır Üniversitesi, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 76002, Suveren, Iğdır, rustu.calli@igdir.edu.tr

³Öğr. Gör., Iğdır Üniversitesi, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 76002, Suveren, Iğdır, mcan.yildiz@igdir.edu.tr

⁴Doç. Dr., Iğdır Üniversitesi, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 76002, Suveren, Iğdır, alihsan.sekerteekin@igdir.edu.tr

ÖZET

Gelişmekte olan ülkeler, hızlı kentleşme, sanayileşme ve fosil yakıtların yaygın kullanımı nedeniyle artan hava kirliliğiyle karşı karşıyadır. Bu kirlilik, özellikle büyük şehirlerde ciddi sağlık ve çevresel sorunlara yol açmaktadır. Hava kirlleticilerinden biri olan nitrojen dioksit (NO₂), hem insan sağlığına zarar vermesi hem de metropol alanlarda görünürlüğü azaltması nedeniyle önemli bir risk faktörüdür. NO₂ kirliliğinin izlenmesi, hem yersel ölçüm istasyonları hem de uydu tabanlı uzaktan algılama sistemleri ile yapılmaktadır. Uydu teknolojileri, bu kirliticilerin geniş alanlardaki dağılımını etkili bir şekilde izleyebilme avantajına sahiptir. Bu çalışmada, 2020-2024 yılları kış ayları (Aralık, Ocak ve Şubat) için Iğdır ilinde NO₂'nin mekânsal ve zamansal dağılımı incelenmiştir. TROPOMI sensörüne sahip Sentinel-5P uydusundan elde edilen günlük NO₂ verileri kullanılarak kış mevsimleri için ortalama NO₂ yoğunluk haritaları oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda Iğdır'ın kuzey ve doğu kesimlerinde NO₂ yoğunluğunun diğer bölgelere kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür; bu durum, bu bölgelerdeki nüfus yoğunluğu ve tarımsal faaliyetlerle ilişkilendirilmiştir. Ayrıca Sentinel-5P uydu verileri, Iğdır'daki yer istasyonlarından alınan NO₂ ölçümleriyle karşılaştırılmış ve uydu tabanlı NO₂ verileri ile yersel istasyon verileri arasındaki %82'lik korelasyon, uzaktan algılama teknolojilerinin hava kirliliği izleme konusunda güvenilir bir yöntem olduğunu göstermiştir.

Anahtar Sözcükler: uzaktan algılama, hava kalitesi, hava kirliliği, TROPOMI, Iğdır.

ABSTRACT

SENTINEL-5P BASED SPATIAL AND TEMPORAL NO₂ ANALYSIS: 2020-2024 WINTER PERIOD İĞDIR OBSERVATION

Developing countries have been facing with the increasing air pollution due to rapid urbanization, industrialization, and the widespread use of the fossil fuels. This pollution causes significant health and environmental issues, particularly in large cities. Nitrogen dioxide (NO₂), one of the air pollutants, poses a considerable risk due to its harmful effects on human health and its ability to reduce visibility in metropolitan areas. Monitoring NO₂ pollution is conducted through both ground-based measurement stations and satellite-based remote sensing systems. Satellite technologies offer the advantage of effectively monitoring the spatial distribution of these pollutants over large areas. In this study, the spatial and temporal distribution of NO₂ in the Iğdır province during the winter months (December, January and February) from 2020 to 2024 was examined. Using daily NO₂ data obtained from the Sentinel-5P satellite equipped with the TROPOMI sensor, average NO₂ concentration maps were generated for the winter seasons. The results revealed that NO₂ concentrations were higher in the northern and eastern parts of Iğdır compared to other regions, which was attributed to population density and agricultural activities in these areas. Furthermore, the Sentinel-5P satellite data were compared with NO₂ measurements from ground stations in Iğdır, and the 82% correlation between satellite-based NO₂ data and ground station measurements demonstrated that remote sensing technologies are a reliable tool for monitoring air pollution.

Keywords: remote sensing, air quality, air pollution, TROPOMI, Iğdır.

1. GİRİŞ

Şehirleşme, sosyal, çevresel ve ekonomik sürdürülebilirlik üzerinde önemli ve kapsamlı etkileri olan büyük bir dönüşümü temsil etmektedir (Abou Samra, 2023). Kentsel alanların genişlemesi, kırsal bölgelerden ve diğer ülkelerden bu bölgelere göç oranlarını önemli ölçüde artırmıştır (Bhatkar vd., 2020). Yapılan çalışmalar, 2050 yılına kadar dünya genelindeki şehir nüfus oranının %50'den %70'e çıkacağını ve bu süreçte yaklaşık 2,5 milyar insanın daha şehirlerde yaşamaya başlayacağını öngörmektedir (UNDESA, 2018; Kookana vd., 2020). Şehirleşme sürecinin, ilgili şehirlerin ve ülkelerin ekonomilerine olumlu katkıları bulursa da, beraberinde getirdiği çevresel sorunlar göz ardı edilmemelidir (López-Guerrero vd., 2022). Şehirler, dünya yüzeyinin sadece küçük bir kısmını kaplamalarına rağmen, küresel sera gazı emisyonlarının büyük bir kısmından sorumlu olup bu oran hızla artmaktadır (Abou Samra, 2023).

Temiz hava, tüm canlı organizmaların hayatta kalması için kritik bir öneme sahiptir ve insan faaliyetleri, özellikle fosil yakıtların yakılması, sanayileşme ve arazi kullanımı gibi süreçler, atmosferde sera gazlarının birikmesine neden olmaktadır. Bu kirliticiler, asit yağmurlarına ve bitki örtüsü ile sucul ekosistemler üzerinde zararlı etkilere yol açarak

iklim değişikliği ve küresel ısınma gibi ciddi çevresel sorunlara neden olmaktadır (Mahmood ve Babel, 2013; Huang vd., 2011; Chu vd., 2010; Omar ve Kumar, 2021; Srivastava vd., 2023; Gupta vd., 2023; Li vd., 2017). Bu nedenle, sürdürülebilir kalkınma hedeflerini belirleyen birçok ülke, sağlık, sürdürülebilir enerji ve şehirlerin gelişimi gibi konulara odaklanmaktadır (<https://sdgs.un.org/goals>; Jodhani vd., 2024).

Atmosferdeki ana kirleticiler olan kükürt dioksit (SO₂), karbon monoksit (CO), ozon (O₃), metan (CH₄) ve karbon dioksit (CO₂), insan faaliyetleri sonucunda artan konsantrasyonlarıyla son yıllarda gözlemlenen dinamik iklim değişikliklerinin başlıca nedenlerinden biri haline gelmiştir (Trenchev vd., 2023). Bu kirleticilerin konsantrasyonlarındaki hızlı artış, hem yerel hem de küresel düzeyde hava kalitesini olumsuz etkileyerek insan sağlığını doğrudan tehdit etmektedir (Amiri vd., 2023). Bundan dolayı kirleticilerin mekansal ve zamansal dağılımlarını detaylı bir şekilde analiz etmek, emisyonların doğru bir şekilde envanterlenmesi için önemli bir adımdır (Trenchev vd., 2023).

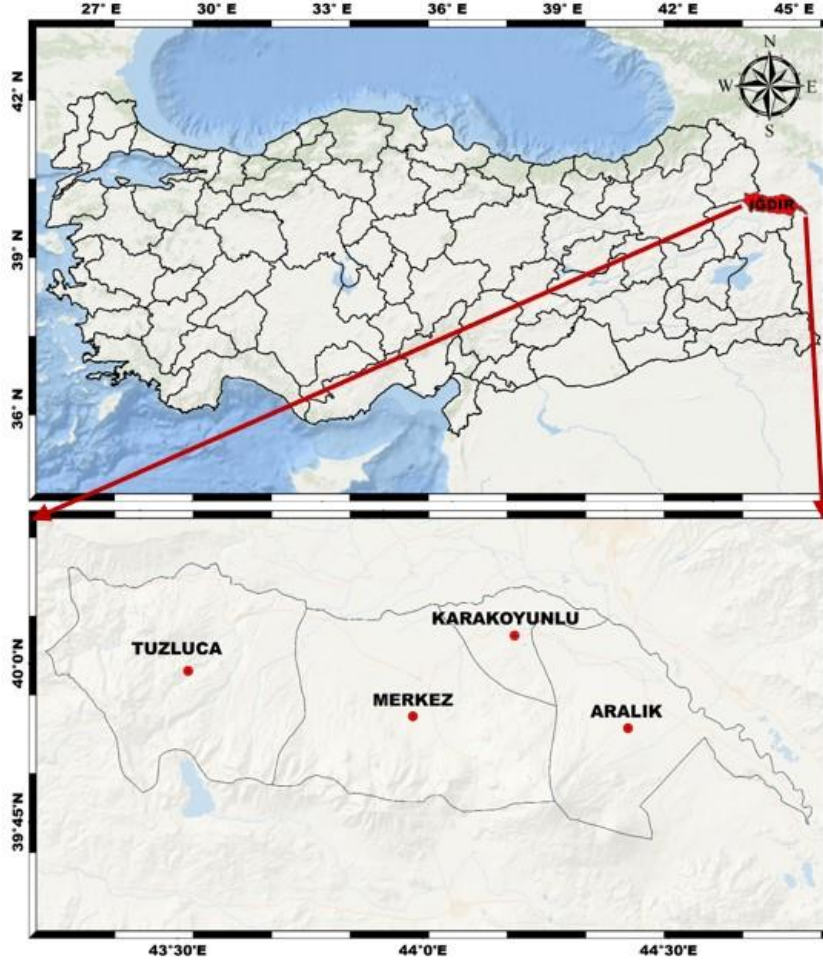
Atmosferik hava kirliliğinin izlenmesinde yer sensörleri ve uydu tabanlı teknolojiler başlıca yöntemler arasında yer almaktadır. Ancak yer tabanlı hava kalitesi izleme sistemlerinin sınırlı mekansal ve zamansal kapsama alanı, bu sistemlerin veri sağlama kapasitelerini sınırlandırmaktadır. Ayrıca, yüksek maliyetli ölçüm cihazlarının kullanımı, geniş çaplı değerlendirmeler için önemli kısıtlamalar yaratmaktadır (Estrabou vd., 2011). Uydu teknolojilerindeki ilerlemeler, atmosferik kirliliğin geniş ölçekli izlenmesi için yeni fırsatlar sunmaktadır. Özellikle, geniş bir kapsama alanı ve yüksek zamansal çözünürlük sunan uydu tabanlı cihazlar, yer tabanlı izleme yöntemlerine kıyasla önemli avantajlar sağlamaktadır (Leelösy vd., 2014).

Son yıllarda, hava emisyonlarının izlenmesi uzaktan algılama teknolojilerinin önemli bir uygulama alanı haline gelmiştir. Bu alandaki en önemli adımlardan biri, 2017 yılında Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından fırlatılan Sentinel-5P uydusuna yerleştirilen Troposferik İzleme Sensörünün (TROPOMI) tanıtılmasıdır. Sentinel-5P uydusunun misyonu, atmosferik ölçümler yapmak üzere tasarlanmış olup, hava kalitesi, iklim değişikliği ve ozon tabakasının izlenmesine katkı sağlamak için geniş bir veri seti sunmaktadır (Li vd., 2005; Farrag, 2000; Fishman vd., 2012; Zhang vd., 2023). TROPOMI sensörü, yüksek mekansal ve zamansal çözünürlüğü ile günlük olarak CO, NO₂, O₃, SO₂ ve CH₄ konsantrasyonlarını küresel ölçekte izleyebilmektedir. Bu özellikleri doğrultusunda, Sentinel-5P verileri, şehirlerde hava kalitesini izlemek için geleneksel yer tabanlı yöntemlere ihtiyaç duymadan alternatif bir çözüm sunmaktadır (Sunsuli ve Kalkan, 2022; Alvarez-Mendoza vd., 2023).

Bu çalışma kapsamında, ESA tarafından fırlatılan Sentinel-5P uydusu ile elde edilen 2020-2024 yılları kış aylarına (Aralık, Ocak ve Şubat) ait NO₂ emisyon verileri, Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na ait hava kalitesi izleme portalından elde edilen yer tabanlı ölçüm verileri ile detaylı bir karşılaştırmalı analiz sürecine tabi tutulmuştur. NO₂ yoğunluğunun genellikle kış aylarında daha yüksek konsantrasyonlarda olması nedeniyle kış dönemi dikkate alınmıştır. 2020 ve 2024 yılları arasında 5 yıl boyunca her yıl kış mevsimlerine ait TROPOMI tabanlı günlük NO₂ görüntüleri kullanılarak kış ayları için ortalama NO₂ görüntüleri üretilmiştir. Ayrıca günlük NO₂ görüntüleri ile İğdir ilinde yer alan yer istasyonuna ait NO₂ verileri karşılaştırılmıştır. Görüntü analizleri Google Earth Engine (GEE) bulut platformu kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANI

Bu çalışma, Türkiye'nin doğusunda, Nahçıvan Özerk Cumhuriyeti, İran ve Ermenistan ile sınır komşusu olan İğdir ilinde gerçekleştirilmiştir. İğdir, 39° 55' 25.36" kuzey enlemi ve 44° 02' 42.00" doğu boylamında yer almakta olup, 3588 km²'lik bir yüzölçümüne sahiptir (Şekil 1). Yaklaşık 200.000 nüfusa sahip olan ilin rakımı 800-900 metre arasında değişmektedir (Tırnk ve Ozturk, 2023). İğdir, Doğu Anadolu Bölgesi'nin en alçak rakımlı ili olup, bu özelliğiyle çevresindeki yüksek dağlardan ayrılmaktadır. Özellikle 5137 metre yüksekliğindeki Büyük Ağrı Dağı, ilin güney sınırında görkemli bir şekilde yükselmektedir (Ozturk vd., 2023).



Şekil 1. Çalışma Alanı lokasyon haritası; il ve ilçe sınırları

İğdır ili, çevresindeki volkanik dağlarla kuşatılmış geniş bir ova üzerine kuruludur. Bölge, genel olarak karasal iklimin etkisi altında olsa da, ilin alçak rakımı nedeniyle sert iklim koşulları, şehir merkezi üzerinde hafifletmekte ve mikroklimatik özellikler görülmektedir. Yıllık ortalama sıcaklık 11.6°C olup, en yüksek sıcaklıklar Ağustos ayında 42°C'ye, en düşük sıcaklıklar ise Ocak ayında -23.6°C'ye ulaşmaktadır. Yıllık ortalama yağış miktarı 256.4 mm olan il, Türkiye'nin en az yağış alan bölgelerinden biridir (Altıkat, 2020). İlin topografik yapısı, hava kirliliği üzerinde belirgin bir etkiye sahiptir. İğdır Ovası, bir çöküntü ovası olarak çevresindeki yüksek dağlarla çevrilidir ve bu durum, özellikle kış aylarında şehir merkezindeki hava hareketlerini sınırlayarak duman ve sisin yoğunlaşmasına neden olmaktadır. Dağlarla çevrili olan bu "çanak" yapı, kirli havanın ovada sıkışmasına neden olarak hava kirliliğinin artmasına sebep olmaktadır. Bölgedeki yerleşim birimleri, rüzgar yönüne dik konumlandığından, bu topografik koşullar hava kirliliğinin yayılmasını zorlaştırmaktadır (Sahin, 2020). Sonuç olarak, İğdır ili, coğrafi konumu ve topografik yapısı ile hem iklimsel hem de çevresel açıdan belirgin özellikler taşımaktadır. Bu özellikler, ilin hava kirliliği ve iklimsel değişimlere karşı olan duyarlılığını artırmakta ve bu çalışma alanını araştırmalar için önemli kılmaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

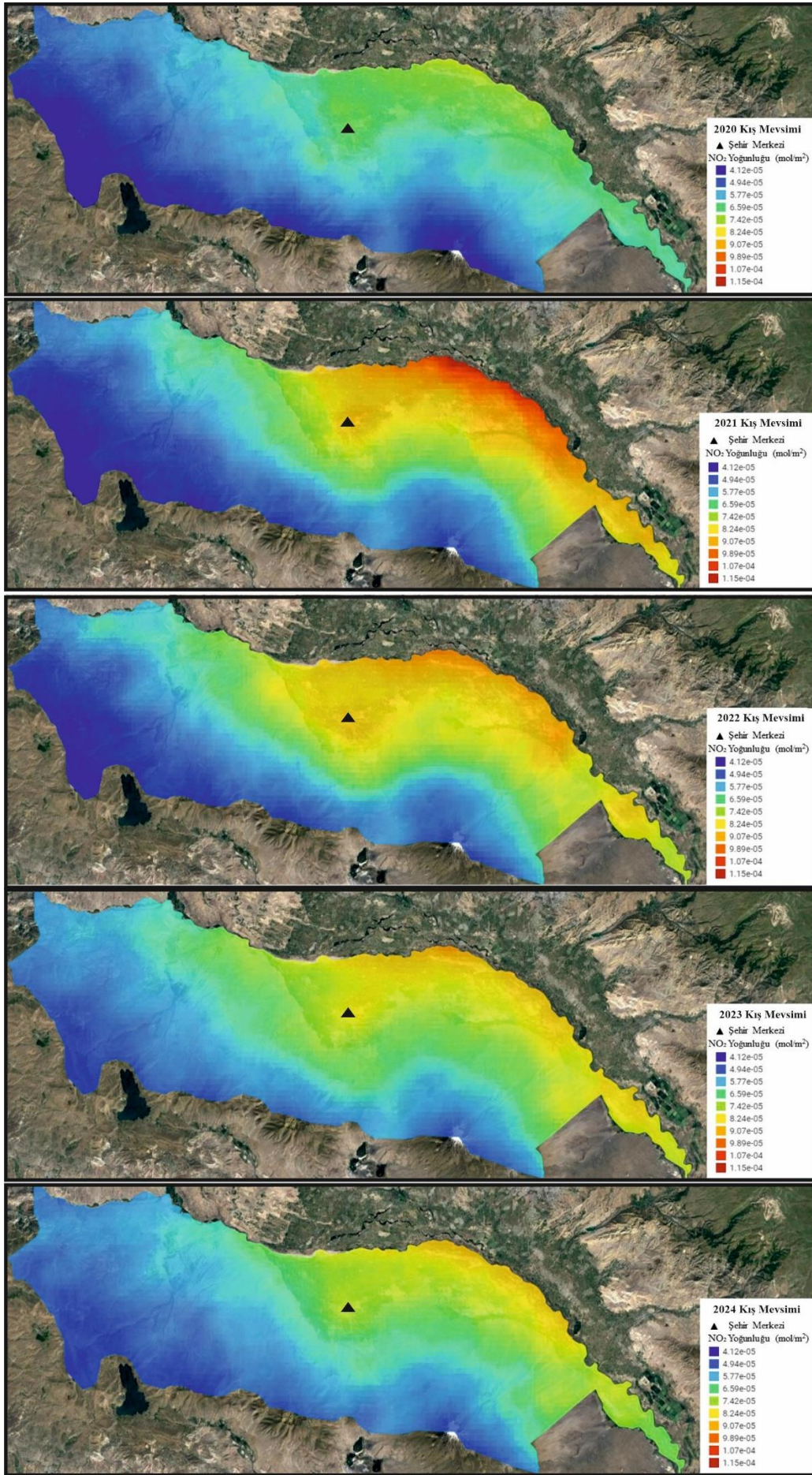
Bu çalışmada, ESA Copernicus Sentinel-5P uydusundan elde edilen veri setleri temel kaynak olarak kullanılmıştır. Sentinel-5P uydusu, ultraviyole ve kısa dalga boyu kızılötesi aralığında çalışan, yüksek çözünürlüklü bir spektrometreye sahiptir. Bu spektrometre; UV-1 (270–300 nm), UV-2 (300–370 nm), VIS (370–500 nm), NIR-1 (685–710 nm), NIR-2 (745–773 nm), SWIR-1 (1590–1675 nm) ve SWIR-3 (2305–2385 nm) olmak üzere yedi farklı spektral bantı kapsamaktadır (Tabunshchik vd., 2023). Çalışma kapsamında verilerin işleme sürecini basitleştirmek ve netCDF dosyalarını daha erişilebilir hale getirmek amacıyla GEE platformu tercih edilmiştir. GEE, CO, NO₂, O₃, SO₂ ve CH₄ gibi kirleticilerin aylık ve yıllık ortalama konsantrasyonlarının hesaplanmasının yanı sıra aerosol indeksi değerinin belirlenmesi için de kullanılmaktadır. Bulut tabanlı bir platform olan GEE, büyük ölçekli coğrafi veri analizleri ve işlemleri için güçlü ve esnek bir altyapı sunmaktadır. Bu altyapı, Sentinel-5P verileri dahil olmak üzere geniş bir uzaktan algılama ve uydu veri yelpazesi ile çalışmak için uygundur (Alvarez-Mendoza vd., 2023). GEE'nin en önemli avantajlarından biri, büyük veri setlerinin analizinde pahalı donanım veya yazılım gerektirmeden verimli

bir şekilde işlem yapabilmek için sunmasıdır. Çalışmada, NO₂ konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla "Sentinel-5P L3" koleksiyonu (ee.ImageCollection (COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_NO2)) kullanılmıştır. Bu koleksiyonda, yıllık ve aylık ortalama değerlerin hesaplanmasına yönelik çeşitli filtreleme yöntemleri ve çalışılan alanın sınırları boyunca verilerin kırılması gibi veri işleme adımları uygulanmış, elde edilen raster kirletici değerleri üzerinde daha ileri analizler gerçekleştirilmiştir.

Sentinel-5P uydusundan elde edilen NO₂ değerlerinin yer tabanlı verilerle karşılaştırılması amacıyla T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığına ait hava kalitesi izleme portalı (https://sim.csb.gov.tr/STN/STN_Report/StationDataDownloadNew) kullanılmıştır. Türkiye Hava Kalitesi İzleme Sistemi (HKİ-SİM), Türkiye genelinde hava kalitesini izlemek ve değerlendirmek amacıyla Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yürütülen bir projedir. HKİ-SİM, ulusal ve uluslararası standartlara uygun bir şekilde hava kalitesini izlemek üzere ülke genelinde kurulu birçok izleme istasyonu ile faaliyet göstermektedir (<https://www.havaizleme.gov.tr>). Bu merkez, insan sağlığını tehdit eden kirleticilerin (partikül madde, kükürt dioksit, nitrojen dioksit, karbon monoksit, ozon vb.) anlık ölçümlerini yaparak kamuoyuyla paylaşmakta ve hava kirliliği ile mücadelede politika yapıcıların veri temelli kararlar almasına yardımcı olmaktadır. Böylece, hava kirliliği ve insan sağlığı arasındaki ilişki daha detaylı bir şekilde analiz edilmekte ve çeşitli kirlilik önleme stratejilerinin geliştirilmesine olanak tanınmaktadır. Çalışma kapsamında Sentinel-5P uydusundan elde edilen NO₂ değerleri ile yersel verileri kıyaslayabilmek için çalışma alanı içerisinde kalan IGD istasyonundan ilgili tarih aralığındaki değerler elde edilmiştir. Bu veriler uydu geçiş zamanları ile aynı zamanda olacak şekilde seçilerek karşılaştırma yapılmıştır.

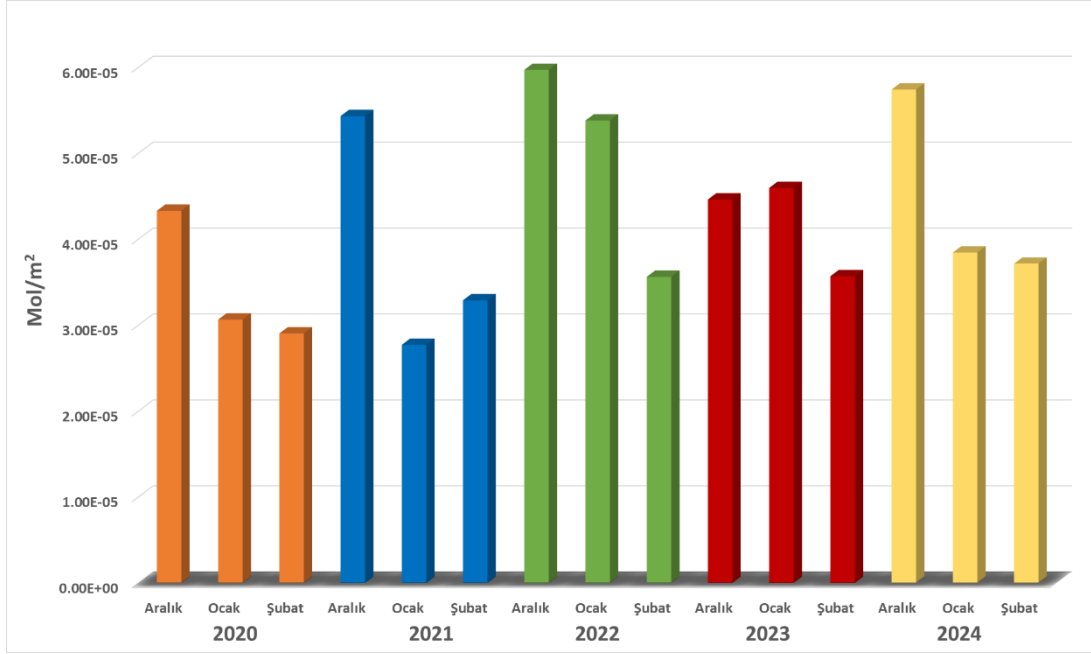
4. BULGULAR

Çalışma kapsamında İğdir ili 2020-2024 yılları kış ayları için Sentinel-5P uydusundan elde edilen NO₂ yoğunluk dağılımları gösterilmiştir (Şekil 2). Şekil 2, İğdir ilinin 2020-2024 Aralık, Ocak ve Şubat ayları ortalama NO₂ konsantrasyonu değerlerinin değişkenliğini göstermektedir. Sağlıklı bir karşılaştırma yapabilmek adına görüntülerde ortak lejant kullanılmıştır. Şekil 2'de açıkça görülmektedir ki, NO₂ konsantrasyonlarının en yüksek olduğu yerler şehir merkezi ve Karakoyunlu ile Aralık ilçe yerleşim alanlarıdır. NO₂ konsantrasyonlarının en düşük olduğu bölgeler ise şehrin güney ve güney batı kısımlarında daha çok rakımın yüksek olduğu alanlarda görülmektedir. Bu bölgelerde ekosistemler üzerindeki insan kaynaklı etkiler minimum düzeydedir. Mevsimsel ortalama veriler dikkate alındığında özellikle 2021 kış mevsimi görüntüsünde Ermenistan sınırı olan kuzeydoğu kesimlerde NO₂ yoğunluğunun diğer bölgelere nazaran çok yüksek olduğu görülmektedir. Zira COVID-19 pandemisi dönemine rastlayan bu zaman diliminin hava kalitesi açısından durgun geçmesi gerektiği düşünülmektedir. Bu konuda ileriki çalışmalarla detaylı araştırmaların yapılması hatta Ermenistan bölgesinin de analizlere dahil edilmesi bu yüksek yoğunluğun kesin sebebinin açıklanması için yerinde olacaktır.

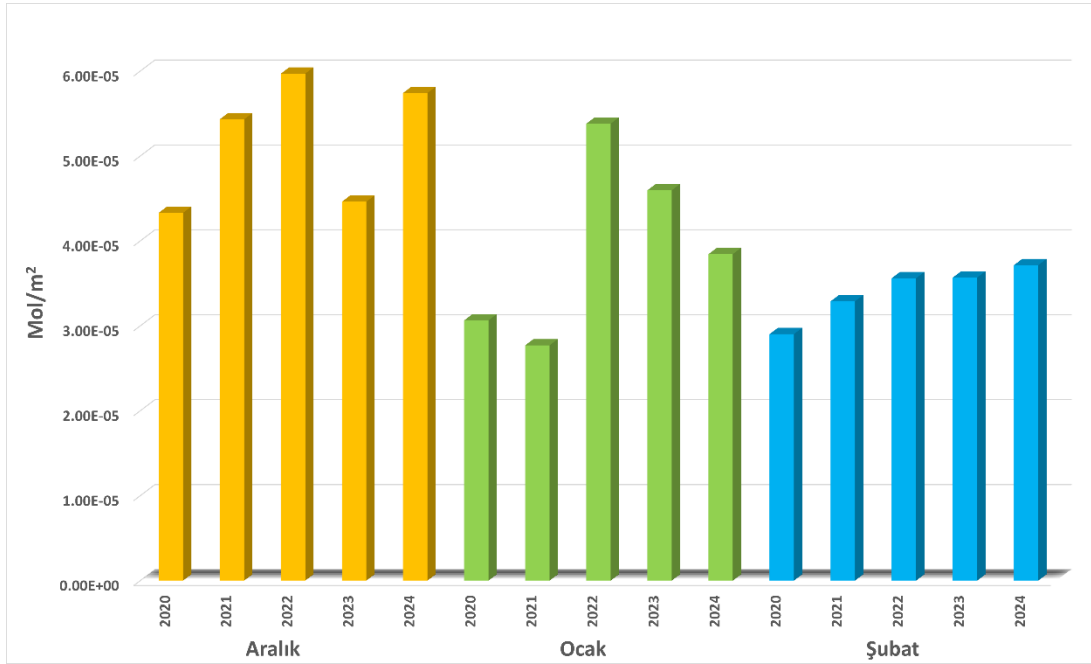


Şekil 2. Iğdir ili 201-2024 kış ayları ortalama NO₂ konsantrasyonu dağılımı

Çalışma alanının 2020-2024 yılları Aralık, Ocak ve Şubat aylık ortalama değerleri ayrıca hesaplanmıştır (Şekil 3). Şekil 3 ayrıntılı bir şekilde incelendiğinde NO₂ konsantrasyonları genel olarak aralık aylarında artış göstermiştir. Ayrıca, çalışma kapsamında araştırılan 5 yıl içerisinde 2021-2022 kış dönemi ortalama değeri en yüksek olan dönem olduğu tespit edilmiştir.



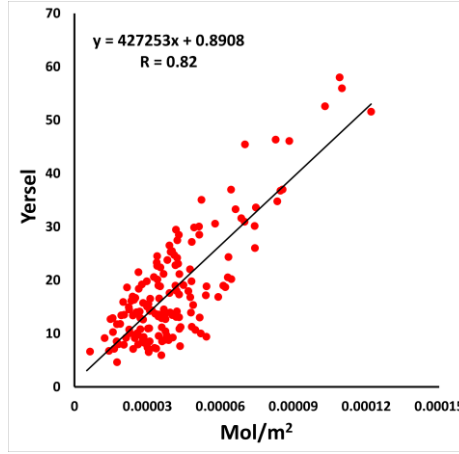
(a)



(b)

Şekil 3. 2020-2024 aylık ortalama NO₂ konsantrasyonu; a) Yıllara göre aylık NO₂ konsantrasyonu, b) Aylara göre yıllık NO₂ konsantrasyonu

Sentinel-5P uydusundan elde edilen NO₂ değerleri ile yersel verileri kıyaslayabilmek için çalışma alanı içerisinde kalan IGD istasyonundan ilgili tarih aralığındaki NO₂ değerleri elde edilmiştir. Bu veriler uydu geçiş zamanları ile aynı zamanda olacak şekilde seçilerek karşılaştırma yapılmıştır. Çalışma kapsamında 2020-2024 kış ayları için Sentinel-5P uydusundan elde edilen NO₂ ile HKİ-SİM yer tabanlı istasyon ölçüm değerleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda istasyon tabanlı NO₂ verileri ile uydu tabanlı NO₂ verileri arasında %82'lik bir korelasyon katsayısı hesaplanmıştır (Şekil 4). Hesaplanan bu değer, uzaktan algılama teknolojilerinin hava kirliliği izleme konusunda güvenilir bir yöntem olduğunu göstermektedir.



Şekil 4. Uydu ve yersel istasyon tabanlı NO₂ verilerinin saçılım grafiği ile karşılaştırılması

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, 2020-2024 yılları kış mevsimleri için Türkiye'nin doğusunda yer alan Iğdır ilinin Sentinel-5P uydusundan elde edilen NO₂ emisyon verileri çıkarılarak analiz edilmiştir. Ayrıca Türkiye Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na ait yer tabanlı hava kalitesi verileri ile uydu verileri karşılaştırılmıştır. Sentinel-5P, geniş alanları kapsayan hava kalitesi verileri bakımından yüksek çözünürlüklü uzaktan algılama verileri sunmuş ve yer tabanlı sensörlerle uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Ancak, küçük ölçekteki NO₂ değişimlerini belirlemede uydu verilerinin sınırlı kalabileceği gözlemlenmiştir. Iğdır'da NO₂ konsantrasyonlarda ilin çanak şeklindeki coğrafi yapısı, çevresindeki dağlar, kirli havanın dağılmasını zorlaştırarak kış aylarında hava kirliliğinin artmasına neden olmuştur. 2019'dan 2024'e kadar olan dönemde NO₂ konsantrasyonlarında belirgin bir artış görülmemiş, ancak bazı yıllarda kısa süreli dalgalanmalar kaydedilmiştir. Bu dalgalanmalar, şehirleşme, sanayi faaliyetlerindeki değişiklikler, hava koşulları ve trafik yoğunluğuyla ilişkilendirilebilir. Sonuç olarak, NO₂ konsantrasyonunun yıllara göre değişim eğilimini belirlemenin yanı sıra, uzaktan algılama teknolojilerinin, özellikle Sentinel-5P uydusunun sunduğu geniş ölçekli ve yüksek çözünürlüklü veri setlerinin, geleneksel yer tabanlı ölçüm yöntemlerine kıyasla hava kirliliği izleme ve değerlendirme süreçlerinde ne denli güvenilir ve etkili bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular, atmosferik kirlilik izleme çalışmalarında yer tabanlı sensörler ve uzaktan algılama verilerinin birbirini tamamlayıcı nitelikte olduğunu ve bu teknolojilerin entegre kullanımının çevresel izleme ve sürdürülebilir kentleşme politikaları açısından büyük bir potansiyel sunduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

Abou Samra, R. M., 2023. Investigating and mapping day-night urban heat island and its driving factors using Sentinel/MODIS data and Google Earth Engine. Case study: greater Cairo, Egypt. *Urban Climate*, 52, 101729.

Altikat, A., 2020. Modeling air pollution levels in volcanic geological regional properties and microclimatic conditions. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(4), syf: 2377-2384.

Alvarez-Mendoza, C. I., Lopez, S. ve Vasquez, D., 2023. Monitoring air quality using remote sensing based on a Google Earth engine application in countries with limited air quality data and control policies: a case study in Ecuador. *In Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments VIII* (Vol. 12735, syf: 80-85). SPIE.

Amiri, F., Jamali, A. A. ve Gharibvand, L. K., 2023. Tracing air pollution changes (CO, NO₂, SO₂, and HCHO) using GEE and Sentinel 5P images in Ahvaz, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(10), 1259.

Bhatkar, R., Syamala, S. R. N. A. ve Varghese, J. T., 2020. Impact of population count on the presence of nitrogen dioxide in United Arab Emirates using Sentinel-5P satellite data. *IEEE 15th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS)*, 231-235.

Chu J. T., Xia J., Xu C. Y. ve Singh V. P., 2010. Statistical downscaling of daily mean temperature, pan evaporation and precipitation for climate change scenarios in haihe river, China. *Theor Appl Climatol*.

- Estrabou, C., Filippini, E., Soria, J. P., Schelotto, G. ve Rodriguez, J. M.**, 2011. Air quality monitoring system using lichens as bioindicators in Central Argentina. *Environmental Monitoring and Assessment*, 182(1–4), 375–383.
- Farrag, F. A.**, 2000. The Role of SPOT Satellite Images in Mapping Air Pollution Caused by Cement Factories. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens.* 33, 46–53.
- Fishman, J., Iraci, L. T., Al-Saadi, J., Chance, K., Chavez, F., Chin, M., Coble, P., Davis, C., DiGiacomo, P. M. ve Edwards, D.**, 2012. The United States' next generation of atmospheric composition and coastal ecosystem measurements: NASA's Geostationary Coastal and Air Pollution Events (GEO-CAPE) mission. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 93, 1547–1566.
- Gupta L. K., Pandey M. ve Raj P. A.**, 2023. Numerical modeling of scour and erosion processes around spur dike. *Clean (Weinh)*.
- Huang J., Zhang J., Zhang Z., Xu C. Y., Wang B. ve Yao J.**, 2011. Estimation of future precipitation change in the yangtze river basin by using statistical downscaling method. *Stoch Env Res Risk Assess.*
- Jodhani, K. H., Gupta, N., Parmar, A. D., Bhavsar, J. D., Patel, D., Singh, S. K., & Omar, G. J.**, 2024. Unveiling Seasonal Fluctuations in Air Quality Using Google Earth Engine: A Case Study for Gujarat, India. *Topics in Catalysis*, 1-22.
- Kookana, R. S., Drechsel, P., Jamwal, P. ve Vanderzalm, J.**, 2020. Urbanisation and emerging economies: issues and potential solutions for water and food security. *Sci. Total Environ.* 732, 139057.
- Leelőssy, Á. Molnár, F. Izsák, F. Havasi, Á. Lagzi, I., & Mészáros, R.**, 2014. Dispersion modeling of air pollutants in the atmosphere: A review. *Open Geosci.* 6, 257–278.
- Li, C. Mao, J. Lau, A.K. Yuan, Z. Wang, M. ve Liu, X.**, 2005. Application of MODIS satellite products to the air pollution research in Beijing. *Sci. China Ser. D (Earth Sci.)* 48, syf: 209–219.
- Li C, McLinden C., Fioletov V., Krotkov N., Carn S., Joiner J., Streets D., He H., Ren X., Li Z. ve Dickerson R. R.**, 2017. India is overtaking China as the world's largest emitter of anthropogenic sulfur dioxide. *Sci Rep* 7:14304.
- L'opez-Guerrero, R. E., Verichev, K., Moncada, G. ve Carpio, M.**, 2022. How do urban heat islands affect the thermo-energy performance of buildings? *J. Clean. Prod.* 133713.
- Mahmood R. ve Babel M. S.**, 2013. Evaluation of SDSM developed by annual and monthly sub-models for downscaling temperature and precipitation in the Jhelum basin, Pakistan and India. *Theor Appl Climatol.*
- Omar P. J. ve Kumar V.**, 2021. Land surface temperature retrieval from TIRS data and its relationship with land surface indices. *Arab J Geosci*, 14:1897.
- Ozturk, Y., Yulu, A. ve Turgay, O.**, 2023. Remote sensing supported analysis of the effect of wind erosion on local air pollution in arid regions: a case study from İğdir province in eastern Türkiye. *Environmental Systems Research*, 12(1), 13.
- Sahin, F., Işık, G., Şahin, G. ve Kara, M. K.**, 2020. Estimation of PM10 levels using feed forward neural networks in İğdir, Turkey. *Urban Climate*, 34, 100721.
- Srivastava S., Omar P. J., Shekhar S. ve Gupta S.**, 2023. Study of acidic air pollutant (SO₂ and NO₂) tolerance of microalgae with sodium bicarbonate as growth stimulant. AQUA—water infrastructure. *Ecosystems and Society*, 72 739–749.
- Sunsuli, M. ve Kalkan, K.**, 2022. Sentinel-5P uydu görüntüleri ile azot dioksit (NO₂) kirliliğinin izlenmesi. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 4(1), 1-6.
- Tabunschik, V., Gorbunov, R. ve Gorbunova, T.**, 2023. Unveiling air pollution in crimean mountain rivers: analysis of sentinel-5 satellite images using google earth engine (GEE). *Remote Sensing*, 15(13), 3364.
- Tırınk, S. ve Öztürk, B.**, 2023. Evaluation of PM10 concentration by using Mars and XGBOOST algorithms in İğdir Province of Türkiye. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20(5), 5349-5358.

Trenchev, P., Dimitrova, M. ve Avetisyan, D., 2023. Determining background concentrations of major atmospheric pollutants using Sentinel-5P TROPOMI data. In *Remote Sensing of Clouds and the Atmosphere XXVIII* (Vol. 12730, syf: 207-214). SPIE.

UNDESA, 2018. World Urbanisation Prospects 2018. UN Department of Economic and Social Affairs: Population Dynamics. <https://population.un.org/wup/> (last accessed 16 Dec 2019).

Zhang, Q., Boersma, K. F., Zhao, B., Eskes, H., Chen, C., Zheng, H. ve Zhang, X., 2023. Quantifying daily NO_x and CO₂ emissions from Wuhan using satellite observations from TROPOMI and OCO-2. *Atmos. Chem. Phys.* 23, syf: 551–563.