



## Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

### Troposferik Nitrojen Dioksitin (NO<sub>2</sub>) COVID-19 Pandemisinde Mekânsal ve Zamansal Analizi: Adana-Mersin Bölgesi

Müge ÜNAL ÇİLEK

Fırat Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 23119, Elazığ, Türkiye  
Müge ÜNAL ÇİLEK, ORCID No: 0000-0002-1147-9729,

\* Sorumlu yazar e-posta : mugeunal@firat.edu.tr

#### Makale Bilgileri

Geliş: 21.05.2022  
Kabul: 26.07.2022  
Online Aralık 2022  
DOI: 10.53433/yyufbed.1119418

#### Anahtar Kelimeler

Atmosferik kirlilik,  
COVID-19,  
Hava kalitesi,  
Nitrojen dioksit,  
Sentinel 5P

**Öz:** Şehirlerin sürdürülebilirliği ve halk sağlığı için hayati sorunlardan birisi olan hava kirliliği COVID-19 pandemisi ile insan/endüstriyel faaliyetlerindeki değişimin gözlemlenebilmesini sağlamıştır. Bu doğrultuda çalışmada Adana-Mersin kentlerinde COVID-19 dönemini kapsayan yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri aracılığı ile yerel hava kalitesi/hava kirliliğinin yersel/zamansal ilişkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Ocak 2019'dan Ocak 2022'ye kadar olan hava kalitesinde etkili olan troposferik nitrojen dioksit (NO<sub>2</sub>) konsantrasyonuna ilişkin 4 x 7 km yersel çözünürlükteki veriler Sentinel-5P uydusundan elde edilmiştir. Çalışma sonucunda endüstriyel ve ticari birimlerin en yüksek NO<sub>2</sub> konsantrasyonuna sahip olduğu görülürken, sürekli şehir yapısı, karayolları ve ilgili alanlarda konsantrasyon değerlerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca şehir yapılarına ait sınıflarda NO<sub>2</sub> konsantrasyonu 2020 yılında en düşük değerlere sahip iken, 2021 yılında süreksiz şehir yapısı ve karayolları sınıfları en yüksek konsantrasyona sahiptir. Bu çalışma Sentinel-5P TROPOMI verilerinin yerel alanlarda hava kalitesi ve hava kirliliğinin izlenmesinde kullanılma kapasitesini göstermiştir. Sonuçlar NO<sub>2</sub> kirliliğinin izlenmesi ve düzenlenmesinde karar vericilerin çevresel kalite ve nüfus sağlık durumunun iyileştirilmesinde çözüm geliştirmeleri için gereklidir.

### Spatial and Temporal Analysis of Tropospheric Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>) in COVID-19 Pandemic: Adana-Mersin Region

#### Article Info

Received: 21.05.2022  
Accepted: 26.07.2022  
Online December 2022  
DOI: 10.53433/yyufbed.1119418

#### Keywords

Air quality,  
Atmospheric pollution,  
COVID-19,  
Nitrogen dioxide,  
Sentinel 5P

**Abstract:** Air pollution is one of the vital problems for the sustainability of cities and public health. The change in human/industrial activities with COVID-19 has enabled air pollution to be observed. This study examines the spatial/temporal relationship of local air quality/air pollution through relatively high-resolution satellite images covering the COVID-19 period in Adana-Mersin cities. For this purpose, 4 x 7 km spatial resolution data on tropospheric nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) concentration from the Sentinel 5P were analyzed between January 2019 to January 2022. As a result of the study, industrial and commercial units have the highest NO<sub>2</sub> concentration, while the continuous urban area, highways, and related areas are higher value areas. In addition, while 2020 had the lowest values in the classes within the urban areas, 2021 had the highest concentration in the discontinuous urban areas and highway classes. This study also showed the capacity of Sentinel-5P TROPOMI data to monitor air quality and air pollution in local areas. In conclusion, monitoring and regulating NO<sub>2</sub> pollution are essential for a sustainable solution to improving environmental quality and population health status for decision-makers.

## 1. Giriş

Dünya nüfusunun artması ve buna bağlı olarak enerji ihtiyacının fosil yakıt kullanımı ile temin edilmesi insan sağlığı, bitki ve hayvan yaşamı üzerinde önemli endişe kaynağı olmaya devam etmektedir. Hava kirliliğinin ana nedenlerinden biri kentleşme, enerji tüketimi, ulaşım ve sanayidir. Ayrıca nüfus artışı ve hava kirleticilerine maruz kalma, çevrenin kalitesi ve insan sağlığı üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olması Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından dünyadaki en büyük çevresel sağlık riski olarak tanımlanmıştır (Mayer, 1999; Kampa & Castanas, 2008; Hou ve ark., 2019). Günlük hayatımızda karşılaştığımız en büyük hava kirleticileri partikül madde (PM), kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>), nitrojen dioksit (NO<sub>2</sub>), ozon (O<sub>3</sub>), karbon monoksit (CO) ve karbondioksit (CO<sub>2</sub>) (Chen ve ark., 2007). Havadaki kirletici gazlardan biri olan nitrojen dioksit (NO<sub>2</sub>), atmosferin hem troposfer, hem de stratosfer tabakasında bulunan önemli kirletici gazlardandır. Atmosfere özellikle fosil yakıtların ve biyokütlenin yanması ile girer. Bu bakımdan özellikle bu kirleticinin ölçümü önem arz etmektedir. NO<sub>2</sub>, kentsel hava kirliliğinin en büyük bileşenlerinden biridir ve yer seviyesindeki O<sub>3</sub>, PM ve asit yağmurunun habercisidir (Bechle ve ark., 2013). NO<sub>2</sub>'nin ana kaynağı kömür, petrol ve gaz gibi fosil yakıtların yakılmasıdır (Inness ve ark., 2019). Avrupa Çevre Ajansı 2018 Hava Kalitesi raporuna göre, Avrupa şehirlerindeki nitrojen dioksitinin %60'ından fazlası motorlu araç egzozundan gelmektedir (Avrupa Çevre Ajansı, 2018). Diğer NO<sub>2</sub> kaynakları, petrol ve metal arıtma, kömürle çalışan elektrik santrallerinden elektrik üretimi, diğer imalat sanayileri ve gıda işlemedir.

Hava kirleticilerinin etkisini azaltmak için güvenilir bir tahmin yöntemine ihtiyaç duyulmakla birlikte ve kontrolü noktasında hava kalitesinin sürekli ve doğru bir şekilde izlenmesi gerekmektedir (Hou ve ark., 2019). Geleneksel ölçümlerle karşılaştırıldığında, uzaktan algılama teknikleri izlenmeyen alanlar için tamamlayıcı bilgiler sağlama ve kara ve deniz yüzeyi sıcaklık gibi Dünya hakkında bilgi edinme yeteneğine sahiptir (Guo ve ark., 2019; Theys ve ark., 2019). Hava kalitesinin izlenmesi ve takibi noktasında 1978'de Toplam Ozon İzleme Aracının (TOMS), 1995'de Küresel Ozon İzleme Deneyi (GOME), 2004'de Ozon İzleme Aracının (OMI) ve 2017'de Sentinel 5P Troposferik İzleme Cihazı (TROPOMI) başta olmak üzere 40 yılı aşkın süredir uydulardan elde edilen veriler kullanılmaktadır (Burrows ve ark., 1999; Nacef ve ark., 2016; Khorrami ve ark., 2019). Uyduların teknolojileri ve görüntü işleme metodlarının gelişimi sayesinde atmosferik gözlemlerin yapılması zaman ve kapsam açısından daha da kolaylaşmıştır. Uzaktan algılama ile atmosferik ölçümlerin yapılabildiği uydulardan birisi de Sentinel-5P'dir. Copernicus Sentinel-5P uydusu Avrupa Uzay Ajansı (ESA), Avrupa Komisyonu, Hollanda Uzay Ofisi (NSO), endüstri, veri kullanıcıları ve bilim adamları arasındaki yakın işbirliğinin bir sonucu geliştirilmiş ve *TROPOspheric Monitoring Instrument* (TROPOMI) cihazını taşımaktadır. TROPOMI verileri bilim adamları ve mühendisler tarafından birçok alanda değerlendirilmektedir. Bunlardan bir tanesi son yıllarda dünya gündemini yakından etkileyen COVID-19 salgınında küresel düzeyden (Nicola ve ark., 2020) bölgesel ve yerel ölçeğe (Brickell ve ark., 2020) kadar hava kalitesinin izlenmesidir. Dünya çapındaki halk sağlığı sisteminde yaşanan zorlukların ve afetlerin ötesinde, ekonomik açıdan ani bir değişikliğe yol açan işletmelerin, eğitim tesislerinin ve fabrikaların geçici olarak kapatılması, trafik kısıtlamaları, uçuşların durdurulması, sokağa çıkma yasağı gibi uygulamalar hayata geçirilmiş nüfusun iş ve diğer amaçlar için hareketliliği üzerinde derin bir etkisi olmuştur (Bonaccorsi ve ark., 2020). Pandemi döneminde sosyal ve ekonomik işlevleri sürdürmek için evde çalışma ihtiyacı ulaşım ve trafik üzerinde olumlu katkılar sağlamıştır (Beck ve ark., 2020). Çevresel olumlu etkiler, trafik ve endüstriyel kirliliğin sınırlandırılmasından (Muhammad ve ark., 2020) yıkıcı ekonomik uygulamaların ciddi şekilde sınırlandırılmasına (Paudel, 2021) ve atmosferdeki NO<sub>2</sub> konsantrasyonunun azalmasına (Conticini ve ark., 2020; Dutheil ve ark., 2020; Filippini ve ark., 2020; Ji & Chang, 2020; Le ve ark., 2020; Shehzad ve ark., 2020; Siciliano ve ark., 2020) kadar toplum ve ekonomi için bir fayda olarak bulunmuştur. Mart 2020'de Avrupa Uzay Ajansı, trafik ve enerji endüstrisi kirlilik seviyesinin belirlenmesinde önemli bir gösterge olarak Sentinel-5P TROPOMI NO<sub>2</sub> verilerini kullanarak Çin için pandemik krizin etkilerini yayınladı (ESA, 2020). Bu, TROPOMI sensör verilerinin uzamsal etkilerinin zamansal olarak modellenmesi ve haritalanması önemli bir fırsat olmuştur (Bauwens ve ark., 2020; Cameletti, 2020; Kaplan & Avdan, 2020; Mesas-Carrascosa ve ark., 2020; Ogen, 2020; Stratoulas & Nuthammachot, 2020; Virghileanu ve ark., 2020; Sekmoudi ve ark., 2022). Bu kapsamda yapılan çalışmalardan birisi ESA Copernicus Sentinel-5P ile Pandemi süresince Avrupa'daki azot dioksit kirliliğinin izlenmesi çalışmasıdır (Virghileanu ve ark., 2020). Türkiye'nin pandemi sürecindeki yersel-zamansal analizini içeren çalışmalar da yapılmıştır (Ghasempour ve ark.,

2021; Sünsüli ve Kalkan, 2022). Ghasempour ve ark. (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, TROPOMI sensör verileri aracılığıyla tüm Türkiye'ye ait NO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> yoğunluklarındaki değişim Ocak 2019'dan Eylül 2020'ye kadar olan dönem için aylık olarak haritalanmıştır. Çalışmada İstanbul kentsel alanı, kırsal alanı ve kent trafiğinden elde edilen yersel ölçümler ile TROPOMI uydu verileri arasındaki korelasyon analiz edilmiştir. Analiz sonuçları doğrultusunda NO<sub>2</sub> konsantrasyonu için kentsel alanlarda %70, kırsal alanlarda %83 ve kent trafiğinde ise %65 ilişki bulunmuş iken SO<sub>2</sub> konsantrasyonu için herhangi bir ilişki tespit edilmemiştir. Sünsüli & Kalkan (2022) ise Marmara Bölgesi'nde 2019-2021 yıllarındaki Temmuz ve Aralık aylarındaki NO<sub>2</sub> konsantrasyonundaki değişimi incelemiştir. TROPOMI uydusundan elde edilen yersel veriler ölçüm verileriyle karşılaştırarak yüksek korelasyonun sağlandığını (%85) tespit etmişlerdir. Hava kirliliğinin izlenmesinde Sentinel 5P uydu görüntülerinin etkin bir şekilde kullanılabilir olduğunu ortaya koymuşlardır.

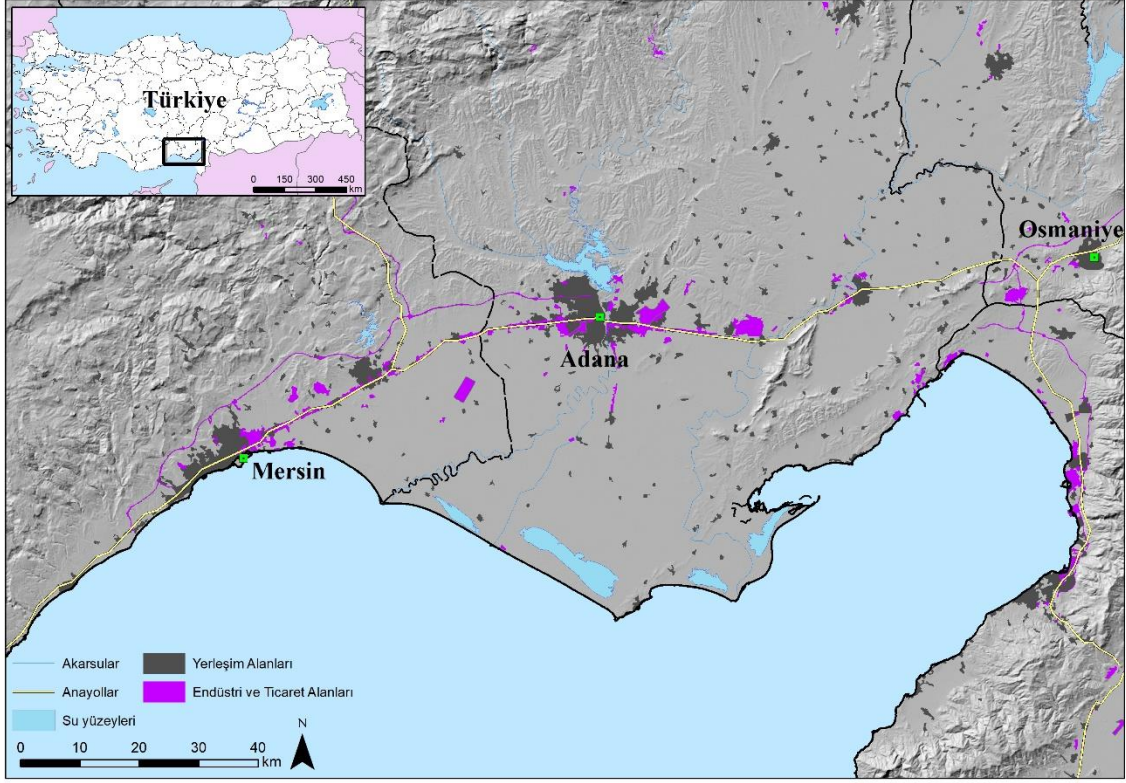
Bu doğrultuda çalışmada COVID-19 pandemi döneminde sanayi bakımından önemli olan Adana-Mersin bölgesinde 2019-2021 yılları arasındaki troposferik NO<sub>2</sub> değerlerindeki değişimin konumsal ve zamansal değişimlerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Değişimin tespit edilmesinde Sentinel-5P uydu görüntülerinden faydalanarak karşılaştırmalı analizler gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Çevresel Bilginin Koordinasyonu (Coordination of Information on the Environment - CORINE) 3. düzey arazi örtüsü/arazi kullanımı (AÖ/AK) sınıfları doğrultusunda yorumlanmıştır. Sonuçların yorumlanmasında CORINE sınıflarının ve yüksek zamansal çözünürlüklü uydu verilerinin kullanılması yönü ile çalışma özgündür.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Çalışma alanı

Çalışma alanı olarak belirlenen Adana ve Mersin ekonomisi, sanayi ve üretim açısından ülkemiz ve Doğu Akdeniz Bölgesi için önemli bir yere sahiptir (Şekil 1). Adana ve Mersin illerini kapsayan Çukurova bölgesi, Marmara havzasına alternatif bir gelişme odağı ve metropoliten çekim merkezi olarak gösterilmektedir. Önemli sanayi ve lojistik merkezine sahip olan bölgede tarım ve tarıma dayalı sanayisi, turizm ve lojistik sektörü ile ülkenin en önemli iktisadi gelişme merkezlerinden biridir. Bölge illerinden Adana, sanayileşmenin öncü şehirlerinden olurken, Mersin limanı sayesinde ticarete ilerlemektedir. Akdeniz Bölgesi ve TR62 Bölgesi içerisinde, Türkiye'nin önde gelen metropol niteliğine sahip kentlerine alternatif olarak gelişen illerimizdir. Stratejik konumu, coğrafi, tarihsel, kültürel değerleri ve özgün dinamikleriyle Akdeniz'i İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu ve hatta Doğu Anadolu bölgelerine bağlayan Akdeniz yerleşmeleridir (Çukurova Kalkınma Ajansı, 2015).

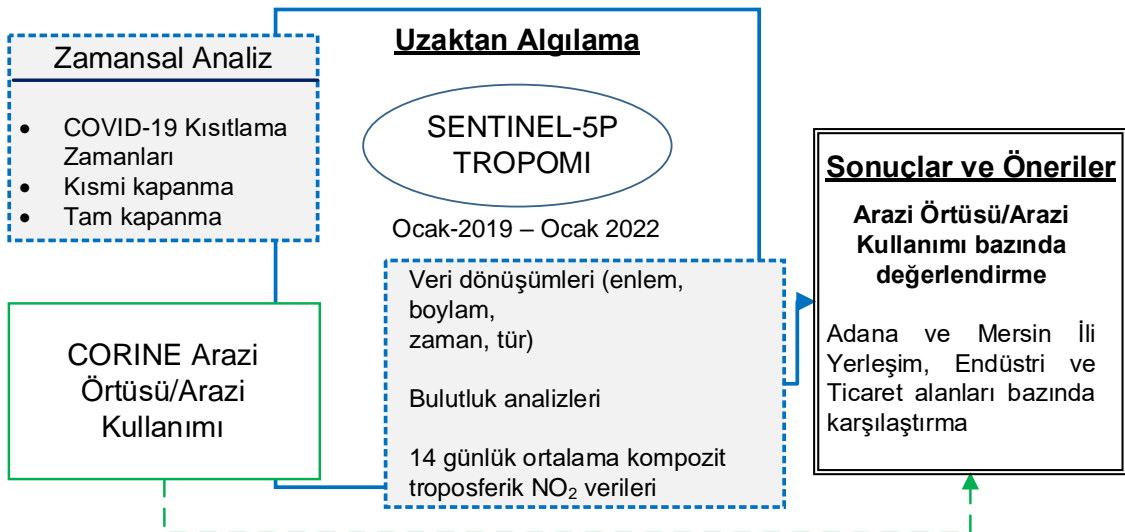
Sanayi, ısınma, ulaşım ve enerji üretimi gibi alanlarda fosil yakıt kullanılarak gerçekleştirilen yanma faaliyetleri havada kirliliğe neden olmaktadır. Bunun dışında altyapı faaliyetleri, kentsel dönüşüm faaliyetleri, her türlü hafriyat, maden çıkartılması ve taşınması, tarımsal faaliyetler, anız yakılması, orman yangınları ve diğer yangınlar da insan kaynaklı hava kirliliğinin nedenleri arasındadır. Son yıllarda bölgedeki nüfus ve kentleşmedeki artış enerji tüketimi ile beraber enerji üretimini de artırmıştır. Enerji üretiminde kullanılan kömür, mazot ve LPG gibi petrol türevlerinden oluşan fosil yakıt kullanan tesisler havaya CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, Pb bileşikleri gibi kirletici gaz salınmasına sebep olmaktadır. Kentsel alanlarda kış aylarında (Ekim-Mart), ısınma amacıyla düşük kalorili, yüksek kükürt ve kül oranı içeren kömürlerin kullanılması sonucu havaya salınan SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub> gibi kirletici gaz emisyonları ile küçük havada asılı partikül maddeler nüfusun yoğunlaştığı bölgelerde hava kirliliğe neden olmaktadır. Trafiğin yoğun olduğu zamanlarda ve alanlarda araçlardan salınan emisyon miktarları ise önemli düzeydedir. Örneğin kent merkezlerindeki CO emisyonlarının yüzde 70-90'ından, azot oksit (NO) emisyonlarının yüzde 40-70'inden, hidrokarbon emisyonlarının yüzde 50'sinden ve şehir bazında kurşun emisyonlarının tamamından motorlu taşıtlar sorumludur (THEP, 2020).



Şekil 1. Çalışma alanı.

## 2.2. Yöntem

Çalışmada takip edilen metodoloji 4 aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada, yersel ve zamansal analizlerde konsantrasyon değişiminin gözlemlenmesi için önemli olan COVID-19 pandemisine ait tarihler belirlenmiştir. İkinci aşamada NO<sub>2</sub> ölçümlerine ilişkin yersel ve zamansal uzaktan algılanmış veriler Sentinel-5P uydusundan elde edilmiştir. Üçüncü aşamada veri dönüşümlerini, bulutluluk analizlerini ve 14 günlük kompozit troposferik NO<sub>2</sub> verilerinin üretilmesini içeren veri analizleri gerçekleştirilmiştir. Son olarak bulgular doğrultusunda 3. düzey CORINE arazi örtüsü sınıfları dikkate alınarak sonuçlar yorumlanmış ve öneriler geliştirilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışmanın akış diyagramı.

### 2.2.1. Yersel-Zamansal analiz tarihlerinin belirlenmesi

Çalışmanın birinci aşamasında COVID-19 pandemi dönemindeki önemli tarihler belirlenmiştir. COVID-19 dönemi sırasında alınan kısıtlamaların öncesi ve sonrası ile yersel ve zamansal ilişkisini araştırmak için Ocak 2019'dan Ocak 2022 tarihleri arası verileri Avrupa'daki koronavirüs pandemisinin gelişimine göre seçilmiştir. Avrupa'da koronavirüs pandemisi 24 Ocak'ta Fransa'da ilk ilan edilen vakayla başladı, ancak sokağa çıkma yasağı ilk olarak 8 Mart'ta Kuzey İtalya'daki Lombardiya bölgesinde, ardından Fransa, İspanya, Almanya, Romanya, Polonya'daki diğer bölgelerde uygulandı. 13 Mart'ta Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), yeni vakaların sayısı Çin'den daha fazla olduğu için Avrupa'yı aktif bir COVID-19 pandemi merkezi olarak ilan etti. Dünya geneline yayılan COVID-19 salgınının Türkiye'de tespit edilen ilk vaka Sağlık Bakanlığı tarafından 11 Mart 2020 günü açıklandı. 16 Mart'tan 2020'den itibaren eğitimlere ara verilmeye başlandı ve pandemi kısıtlamaları başladı. 11-12 Nisan 2020'de ise, ilk kez geniş çaplı bir sokağa çıkma yasağı ilan edildi. 17-19 Nisan 2020, 23-26 Nisan 2020, 1-3 Mayıs 2020, 23-26 Mayıs 2020 tarihleri arasında tam kapanma ilan edilmiştir. 14 Nisan-28 Nisan 2021 tarihleri arasında gece ve hafta sonları sokağa çıkma yasağı, 29 Nisan 2021-17 Mayıs 2021 tarihleri arasında ise tam kapanma ilan edilmiştir. 17 Mayıs 2021'den 1 Haziran 2021'e kadar kademeli (hafta sonları ve gece kapanma) normalleşme dönemi devam etmiştir. 1 Haziran 2021-1 Temmuz 2021 arasında da kademeli normalleşme süreci devam ederek 1 Temmuz 2021 sonrasında normalleşme dönemine girilmiştir (Türkçe Ansiklopedi, 2022).

### 2.2.2. Uzaktan algılanmış verilerin elde edilmesi

Çalışmanın ikinci aşamasında pandemi dönemi ile uyumlu olacak uydu görüntü tarihleri belirlenmiş ve veriler elde edilmiştir. Uzaktan algılanan hava kirliliği verilerinin yüksek konumsal ve zamansal çözünürlükte geniş kapsama alanı içermektedir. ESA Copernicus uzay araştırmaları tarafından 2017 yılında fırlatılan Sentinel 5P uydusu hava kalitesi ve iklimi etkileyen çeşitli atmosferik gazların, aerosollerin ve bulut dağılımlarının yoğunluklarını izlemektedir. Ölçümler, TROPOMI adı verilen son teknoloji cihazla yapılır. TROPOMI, Dünya'nın atmosferinden ve yüzeyinden uzaya yansıyan veya saçılan güneş radyasyonunu algılayan çok bantlı bir görüntüleme spektrometresidir. Sentinel 5P, tüm dünyada yoğun ölçümlere erişim sağlayarak her 24 saatte bir tüm dünyadan veri alabilir. TROPOMI, ultraviyole ve görünür (270-500 nm), yakın kızılötesi (675-77 nm) ve kısa dalga kızılötesi (2305-2385 nm) aralığında birçok spektral banda sahiptir. Bu spektral bantlar ile azot dioksit (NO<sub>2</sub>), ozon (O<sub>3</sub>), kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>) ve karbon monoksit (CO) gibi geniş bir yelpazedeki atmosferik gazların ölçülmesini sağlar (Copernicus, 2018). Veriler açık erişime sahiptir ve ESA Copernicus Open Access Hub'dan (Copernicus, 2022) indirilebilir. Çalışmada günlük olarak elde edilen veriler indirilerek bulutluluk hatalarını giderildikten sonra 14 günlük ortalamalar alınmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan Sentinel 5P TROPOMI görüntü tarihleri

2019 yılı	2020 yılı	2021-2022 yılı
31 Aralık 2018- 29 Aralık 2019 (26 adet 14 günlük kompozit görüntü)	30 Aralık 2019-27 Aralık 2020 (24 adet 14 günlük kompozit görüntü)	28 Aralık 2021-6 Şubat 2022 (29 adet 14 günlük kompozit görüntü)

\*Görüntüler 14 günlük kompozitler halinde oluşturulup Pazartesi gününden başlayacak şekilde oluşturulmuştur.

### 2.2.3. Veri analizi

Çalışmanın üçüncü aşaması elde edilen uydu görüntülerinden nitrojen dioksit (NO<sub>2</sub>) konsantrasyonuna ilişkin verilerin elde edilmesidir. Adana-Mersin ili çevresinde 4 x 7 km yersel çözünürlükte elde edilen 14 günlük ortalama troposferik nitrojen dioksit (NO<sub>2</sub>) konsantrasyonu verileri analiz edilmiştir. Veri işleme metodolojisi Sentinel-5P Seviye 2 NO<sub>2</sub> verileri için Sentinel uyduları için geliştirilmiş olan SNAP yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Günlük troposferik NO<sub>2</sub> sütun yoğunluğu, Seviye 2-NO<sub>2</sub> ürünlerinin toplam sütunlarından türetilmiştir ve veriler Seviye 2'den Seviye 3'e dönüştürülmektedir. Bu dönüştürme işlemi değişkenleri (veri adları ve veri türleri) boyut (zaman, enlem ve boylam) açısından düzeltmektedir. 185x250 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kapsayan çalışma alanı oluşturularak indirilen veriler çalışma alanına göre düzenlenmiştir. İkinci olarak, bulutların neden

olduğu hataları ortadan kaldırmak için veriler 75'in üzerinde bir yoğunluk değerine (*tropospheric\_NO<sub>2</sub>\_column\_number\_density\_validity* > 75) göre filtrelenmiştir. Üçüncü olarak, günlük troposferik NO<sub>2</sub> sütun sayısı yoğunluğu, tüm çalışma alanını kapsayan tek bir raster verisi olarak  $\mu\text{mol}/\text{m}^2$  birimlerinde türetilmiştir. 14 günlük ortalama troposferik NO<sub>2</sub> sütun yoğunluğu ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ ) mozaikleri, elde edilen katmanların aritmetik ortalaması kullanılarak üretilmiştir.

#### 2.2.4. Sonuçların yorumlanması

Çalışmada son olarak 2019-2021 tarihleri arasındaki 14 günlük troposferik NO<sub>2</sub> konsantrasyonu verileri Copernicus Arazi İzleme Servisi'nden temin edilen CORINE 3. Düzey AÖ/AK sınıfları düzeyinde incelenmiştir. CORINE sınıflaması Avrupa Çevre Ajansı (AÇA)'nın belirlediği kriterler ve sınıflandırma sistemi doğrultusunda AÇA'ya üye tüm ülkeler için aynı temel verilerin yönetilmesi ve standart bir veritabanının oluşturulması amacıyla geliştirilmiştir. Sınıflamada yapay bölgeler, tarımsal alanlar, ormanlar ve yarı doğal alanlar, sulak alanlar ve su yapılarına ait alt düzeyler değerlendirilmiştir. Avrupa Çevre Ajansı kriterleri ve sınıflama birimlerine göre 3. düzeyde 44 AÖ/AK sınıfı uzaktan algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri yardımıyla tespit edilmektedir (Avrupa Çevre Ajansı, 2018). Özellikle tam kapanma ve kısmi kapanma zamanlarındaki konsantrasyonlar her bir arazi örtüsü için pandemi öncesi ve sonrası değerler ile karşılaştırılmıştır. Böylece COVID-19 pandemisinin hava kalitesinde önemli bir gösterge olan NO<sub>2</sub> konsantrasyonu üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca üretilen bu veriler Adana ve Mersin ili kent merkezi ve ana sanayi bölgelerinde aylık analizleri yapılarak NO<sub>2</sub> yoğunluğunun zaman içindeki değerleri şekil ve grafikler üzerinde gösterilmiştir.

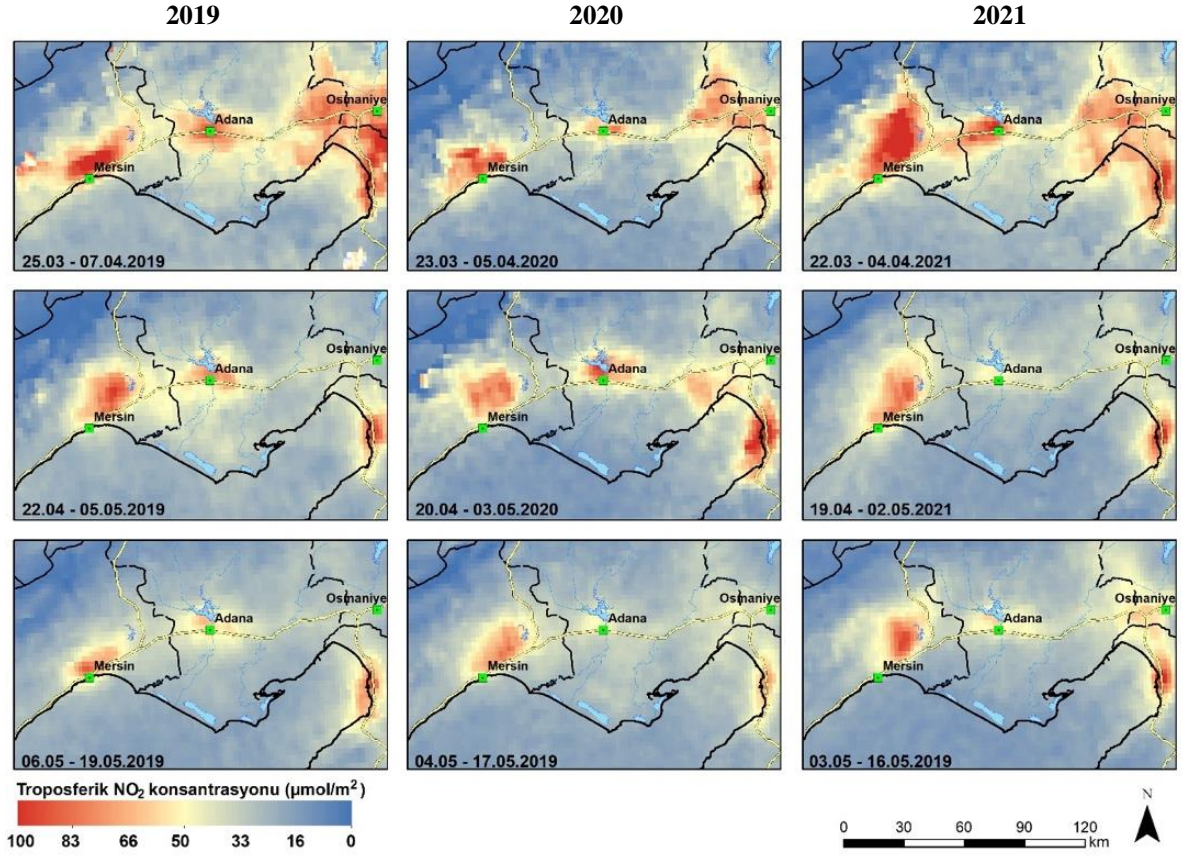
### 3. Bulgular

Çalışmada, ESA Copernicus Sentinel-5P ürünlerine dayalı olarak Ocak 2019- Ocak 2022 dönemi arasında tam kapanma ve kısmi kapanma tarihleri ortaya konularak 14 günlük periyotlarda Adana-Mersin Bölgesi üzerinde troposferik NO<sub>2</sub> verileri elde edilmiştir. Günlük veriler Copernicus Open Access Hub tarafından indirilmiş, veri türü, enlem-boylamı düzeltilmiş, bulutluluk analizi yapılarak bulutlu ve ekstrem değerler çıkarılmış ve 14 günlük ortalama veriler haline dönüştürülmüştür.

#### 3.1. NO<sub>2</sub>'nin genel sonuçları

Sentinel-5P görüntülerinden elde edilen Troposferik NO<sub>2</sub> için Ocak 2019- Ocak 2022 dönemi için COVID-19 dönemindeki etkisinin anlaşılması amacıyla yoğun karantina dönemlerini kapsayan görüntüler Şekil 2'de verilmiştir. NO<sub>2</sub> konsantrasyonu haritasına göre NO<sub>2</sub> değerleri kent merkezlerinde ve sanayi alanlarında yoğunlaştığı, pandeminin başladığı 2020 yılında 2019 ve 2021 yılına göre daha düşük değerlere sahip olduğu açıkça görülmektedir. COVID-19 pandemisi nedeniyle Sağlık Bakanı tarafından 11.03.2020 tarihinde açıklanan karantina önlemleri sonucu (büyükşehirlerdeki seyahat yasakları, evden çalışma vb.) hareketlilik ve trafikte düşüş yaşanmıştır. Ulaşımında kullanılan fosil yakıtların azalmasının kükürtdioksit kirliliğini azalttığı uydu verilerinde açıkça görülmektedir ancak bu azalma trafiğin tekrar artması nedeniyle tekrar yükselmektedir.

Türkiye genelinde endüstriyel faaliyetlerinin ve araç trafiğinin yoğun bir şekilde durmasının etkisi olarak, hava kirliliğinin iyileştirilmesinde önemli parametre olan NO<sub>2</sub> konsantrasyonu 2020 yılı Nisan ayının sonuna kadar ve 2020-2021 kış aylarında önemli ölçüde azalmıştır. Bu durum Avrupa için de benzer sonuçları göstermektedir. Nisan ayının sonunda, daha önce yüksek düzeyde hava kirliliğine sahip birçok Avrupa şehri, NO<sub>2</sub> parametreleri de dahil olmak üzere mükemmel hava kalitesi indeksi değerleri bildirmiştir (Virghileanu ve ark., 2020). Çalışmada hedeflenen bölgesel analiz ile Adana-Mersin Bölgesindeki NO<sub>2</sub> kirliliği farklılıklarının yersel dağılımını ve kirlilik kaynakları ile kentsel-endüstriyel alanlar arasındaki ilişkiyi anlamak için önemlidir. Pandemi sürecinde tam kapanma ilan edilen zamanlarda görüntülenen Şekil 3'teki haritalar, kentsel ve endüstriyel alanlar ile NO<sub>2</sub> kirlilik noktaları arasındaki doğrudan ilişkiyi açıkça vurgulayarak, NO<sub>2</sub> emisyon kaynaklarıyla ilgili "Pandeminin hava kalitesine olumlu etkisi olmuştur" hipotezini doğrulamaktadır. Ayrıca, hava kütlesi hareketlerinin kirlenici dağılımı ve dağılımı üzerindeki baskın rolünü göstermektedir. Örneğin, Mersin ilinde denizden gelen rüzgarın yönünü takip ederek kuzeye doğru kirliliğin yayılması coğrafi koşulların izlerini bırakmaktadır.



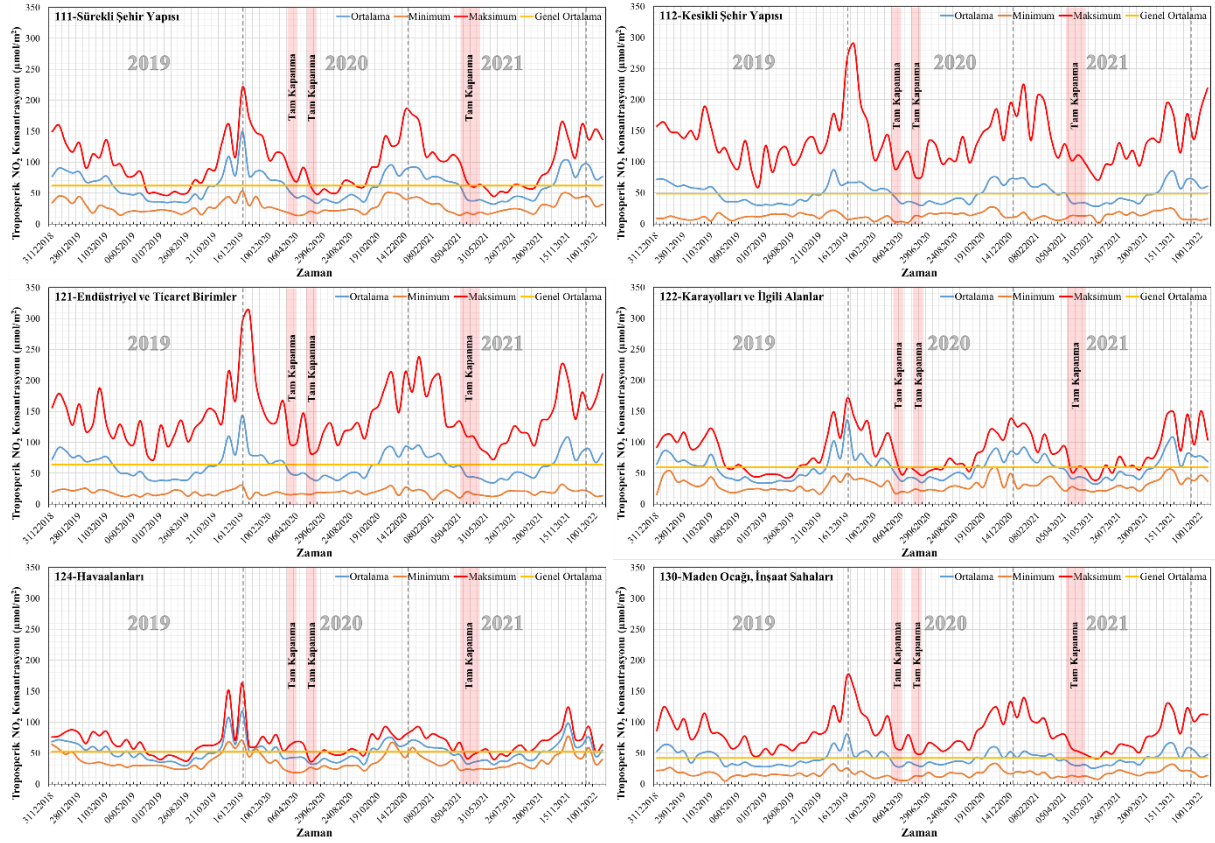
Şekil 3. 2019, 2020 ve 2021 yılları için farklı tarihlerdeki 14 günlük ortalama troposferik NO<sub>2</sub> konsantrasyonları.

### 3.2. CORINE AÖ/AK düzeyinde NO<sub>2</sub> konsantrasyonuna ait sonuçlar

NO<sub>2</sub> kirliliğinin ayrıntılı bir değerlendirmesi, kirlilik kaynaklarının hava kalitesi üzerindeki rolünün daha iyi anlaşılması açısından CORINE 3. düzey AÖ/AK verileri düzeyinde analizler gerçekleştirilmiştir. CORINE AÖ/AK sınıflamasında 3. Düzeyde toplam 44 sınıf yer alırken çalışmada alanda yer alan 15 tane sınıf değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar CORINE AÖ/AK sınıfları düzeyinde trafik yoğunluklarında ve sanayi faaliyetlerinde meydana gelen kısa süreli bir azalma ile karakterize edilen normalleşme sürecinden COVID-19 salgını ile alınan önemlerin NO<sub>2</sub> kirlilik dinamiklerini üzerindeki etkileri vurgulanarak troposferik durumu ortaya çıkarmaktadır. 06.06.2008 tarihli 26898 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanarak yürürlüğe giren Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği’ne göre insan sağlığının korunması için belirlenen NO<sub>2</sub> limit değerleri saatlik 200 µg/m<sup>3</sup> (~231 µmol/m<sup>2</sup>) iken yıllık 40 µg/m<sup>3</sup> (~46 µmol/m<sup>2</sup>)’tür. Saatlik alt değerlendirme eşiği 100 µg/m<sup>3</sup> (~115 µmol/m<sup>2</sup>) ve üst değerlendirme eşiği 140 µg/m<sup>3</sup> (~161 µmol/m<sup>2</sup>)’tür. Yıllık alt değerlendirme eşiği 26 µg/m<sup>3</sup> (~30 µmol/m<sup>2</sup>) ve üst değerlendirme eşiği 32 µg/m<sup>3</sup> (~37 µmol/m<sup>2</sup>)’tür.

CORINE AÖ/AK sınıflarına göre ilk olarak kentsel alanlar için troposferik NO<sub>2</sub> konsantrasyonu incelenmiştir. Buna göre Eylül ayından Ocak ayına kadar artışın gözlendiği ve Ocak ayından Haziran ayına kadar azaldığı görülmektedir. 2019 ve 2020 yılının Nisan ayına kadar NO<sub>2</sub> kirliliği seviyesinde önemli bir değişiklik bulunmamaktadır. Bu dönemler ekonomik faaliyetlerin normal durum olduğu ve karantina süreçlerinin bulunmadığı dönemdir. 2020 yılında karantinaların ilk başladığı Nisan ayında kentlerde, endüstriyel ve ticaret alanlarında ve karayollarında NO<sub>2</sub> konsantrasyonunun önemli derecede düştüğü açıkça görülmektedir. 2021 yılında da kısmi kapanma ve tam kapanma uygulamalarında önemli oranda düşüşler görülmektedir. 14 günlük ortalama NO<sub>2</sub> konsantrasyonu dağılımları CORINE 3. düzey ölçeğinde yerleşim alanları için minimum, ortalama ve maksimum değerleri verilmiştir (Şekil 4).

Kirletici kaynağının yüksek olduğu endüstriyel ve ticaret alanlarında ortalama NO<sub>2</sub> konsantrasyonu 64 µmol/m<sup>2</sup> ile en yüksek değerdedir. Bunu ortalama 62 µmol/m<sup>2</sup> ve 60 µmol/m<sup>2</sup> değerle sürekli şehir yapısı ve karayolları ve ilgili alanlar takip etmektedir. Şehir yapılarında en düşük NO<sub>2</sub> konsantrasyonu ise sırasıyla maden ocakları (42 µmol/m<sup>2</sup>), kesikli şehir yapısı (49 µmol/m<sup>2</sup>) ve havaalanlarıdır (53 µmol/m<sup>2</sup>). Bu alanlar yoğun kent dokusundan uzakta konumlandığı için kirletici etkilere daha az maruz kalmaktadır. Şehir yapılarının NO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının üç yıllık ortalaması genel olarak yönetmelikte belirtilen limit değer (46 µmol/m<sup>2</sup>) üzerindedir.



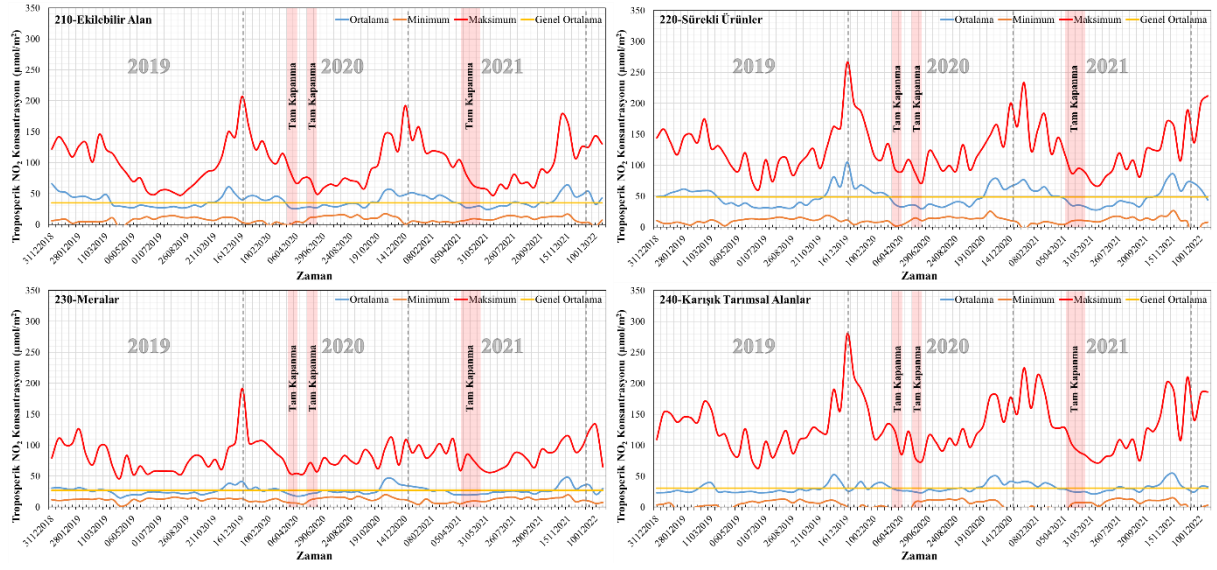
Şekil 4. CORINE AÖ/AK göre şehir yapıları için 2019, 2020 ve 2021 yılları 14 günlük troposferik NO<sub>2</sub> dağılımları.

İkinci olarak tarımsal alanlar için NO<sub>2</sub> konsantrasyonu değerlendirilmiştir. Ekilebilir alanlar, sürekli ürünler ve karışık tarımsal alanlarda NO<sub>2</sub> konsantrasyonu her üç yılda da Haziran ayının ortasında (14-16 Haziran) en düşük seviyede olurken, Aralık-Ocak aylarında ise en yüksek seviyededir. Meralarda ise en yüksek değer Aralık 2019 - Ocak 2020 aylarında meydana gelirken, 2020 ve 2021 yılında bu aylar daha düşük değere sahiptir. Tarımsal alanlarda ilk kapanma süreçlerinin başladığı 6 Nisan 2020 tarihinde NO<sub>2</sub> konsantrasyonunda düşüş gözlemlenmiştir. Bu değer 2019 ve 2021 yıllarına göre önemli farklılıklar göstermektedir (Şekil 5). Buna göre ortalama NO<sub>2</sub> konsantrasyon değerleri sırasıyla sürekli ürünler (49 µmol/m<sup>2</sup>), ekilebilir alanlar (35 µmol/m<sup>2</sup>), karışık tarımsal alanlar (31 µmol/m<sup>2</sup>) ve meralar (27 µmol/m<sup>2</sup>) gelmektedir. Tarımsal alanlar başlığı altındaki sınıfların NO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının üç yıllık ortalaması dikkate alındığında sürekli ürünler limit değerinin üzerinde yer alırken, diğer sınıflar yönetmelikte belirtilen limit değer (46 µmol/m<sup>2</sup>) altındadır.

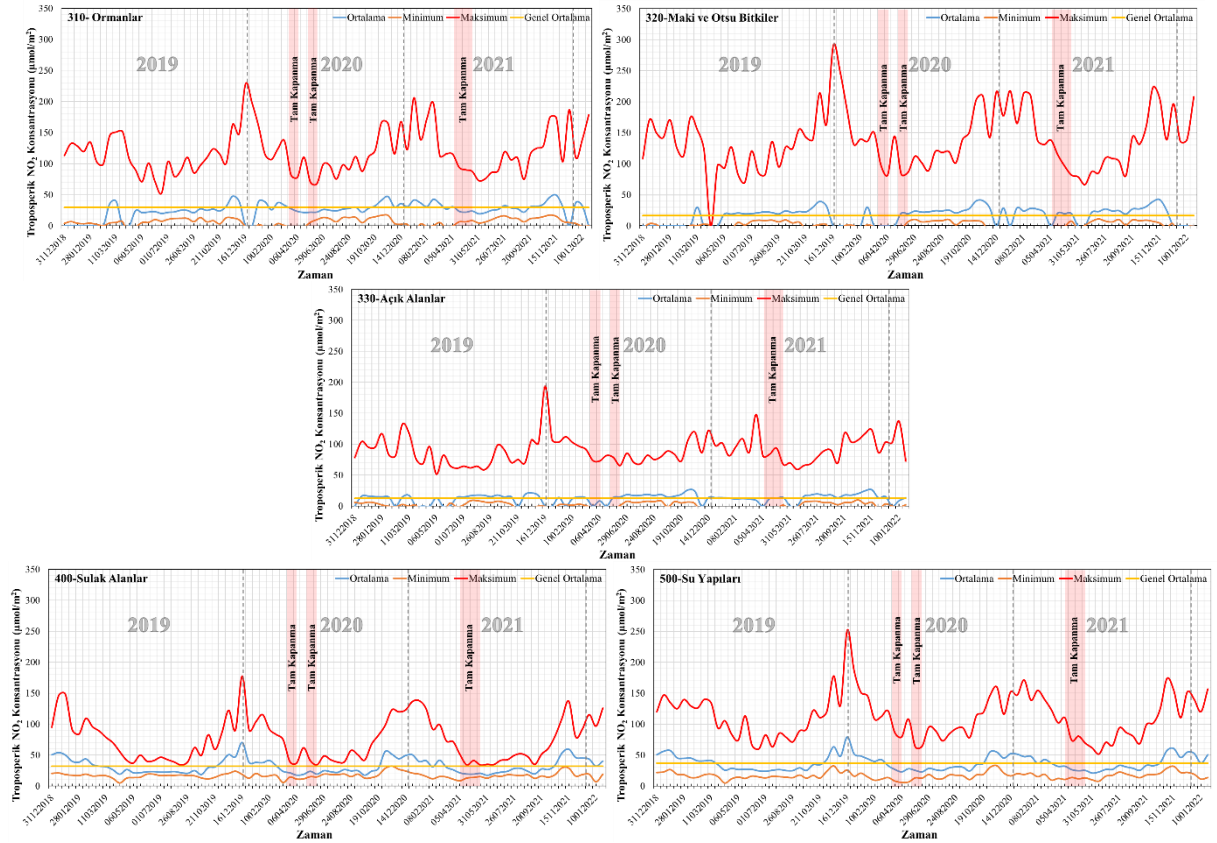
Son olarak Ormanlar ve yarı doğal alanlar, sulak alanlar ve su yapıları için CORINE AÖ/AK sınıflarına göre troposferik NO<sub>2</sub> konsantrasyonu incelenmiştir. Ortalama NO<sub>2</sub> konsantrasyon değerleri 0-25 µmol/m<sup>2</sup> arasında değişmektedir. Bu değer ormanlarda ortalama 30 µmol/m<sup>2</sup>, maki ve otsu bitkilerde 16 µmol/m<sup>2</sup>, açık alanlarda 12 µmol/m<sup>2</sup>'dir. Sulak alanlarda ve su yapılarında ise sırasıyla ortalama 32 µmol/m<sup>2</sup> ve 37 µmol/m<sup>2</sup>'dir. Bu değerler yönetmelikte belirtilen limit değerinin altındadır. Ortalama NO<sub>2</sub> değerleri doğal ve yarı doğal alanlarda kentsel alanlara göre daha düşük çıkmıştır (Şekil 6). NO<sub>2</sub> konsantrasyonu kentsel kullanımdan kaynaklı olarak yerleşim bölgelerinde yoğunlaşarak



yüksek değere sahip olurken, kırsal ve sulak alanların kirletici kaynağından uzak olmasından dolayı düşük NO<sub>2</sub> konsantrasyonu bulunmaktadır.



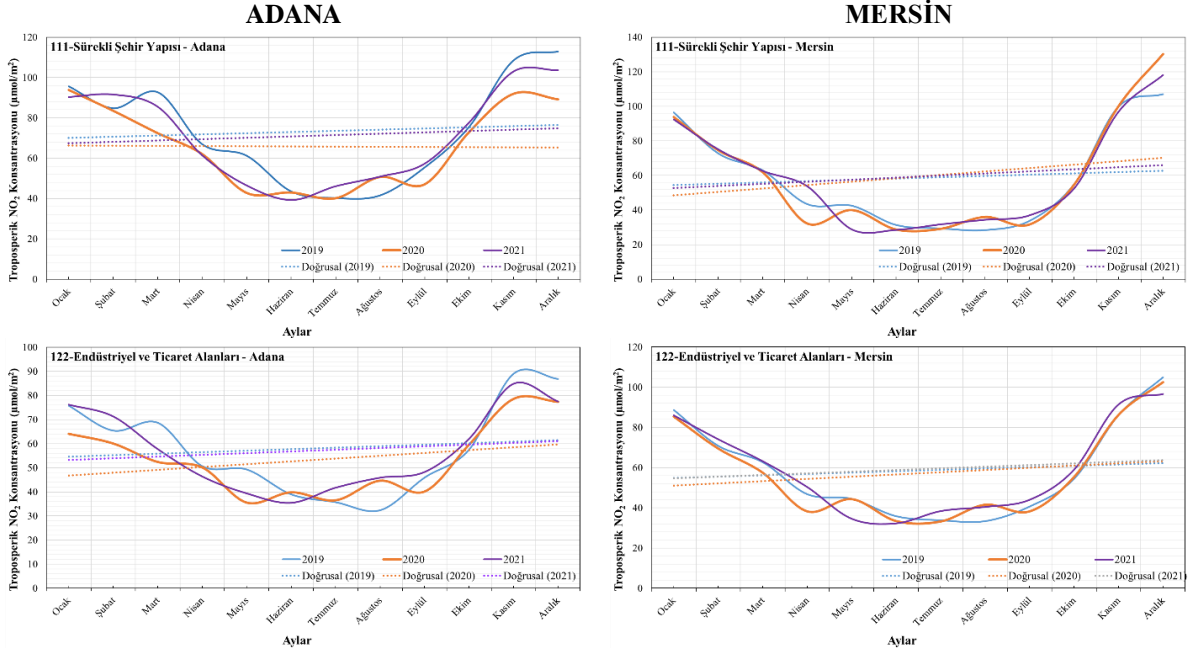
Şekil 5. CORINE AÖ/AK göre tarımsal alanlar için 2019, 2020 ve 2021 yılları 14 günlük troposferik NO<sub>2</sub> dağılımları.



Şekil 6. CORINE AÖ/AK'ya göre ormanlar ve yarı doğal alanlar, sulak alanlar ve su yapıları için 2019, 2020 ve 2021 yılları 14 günlük troposferik NO<sub>2</sub> dağılımları.

### 3.3 Adana ve Mersin iline ait NO<sub>2</sub> konsantrasyonu

CORINE AÖ/AK sınıfları sonuçlarına göre endüstriyel ve ticaret alanları ile sürekli şehir yapısını en yüksek NO<sub>2</sub> konsantrasyonuna sahiptir. Bu yüzden NO<sub>2</sub> konsantrasyonunun Adana ve Mersin ana yerleşim lekesindeki aylık değişimleri bu iki CORINE düzeyleri için değerlendirilmiştir (Şekil 7). Buna göre Adana kenti NO<sub>2</sub> konsantrasyon değeri trendleri genel olarak Mersin kentinden yüksektir. Adana kentinde üç yıllık NO<sub>2</sub> dağılımları sürekli şehir yapısında ortalama 72 µmol/m<sup>2</sup> ve endüstriyel ve ticaret alanlarında 60 µmol/m<sup>2</sup>'dir. Kentte sürekli şehir yapısı düzeyindeki ortalama NO<sub>2</sub> konsantrasyonu pandemi önlemlerinin en yoğun uygulandığı 2020 yılında en düşük değerlere (67 µmol/m<sup>2</sup>) sahip iken 2019 değerleri en yüksek değerlere (76 µmol/m<sup>2</sup>) sahiptir. Pandemi sonrası koşullarda 2021 yılı değerleri (71 µmol/m<sup>2</sup>) 2020 yılı değerlerinden yüksek olmakla birlikte pandemi öncesi değerlere (2019 yılı) ulaşmamıştır. Ocak ayında konsantrasyon değerleri arasındaki farklılıklar çok azdır. Aralık ayına doğru NO<sub>2</sub> konsantrasyonundaki trend 2019 ve 2021 yıllarında hızlı bir şekilde artarken, 2020 yılında daha düşük trende sahiptir. Aralık ayında pandemi dönemi NO<sub>2</sub> konsantrasyonu diğer yıllarla en yüksek farka sahiptir. Endüstriyel alanlarda ise bu durum tam tersidir. Ocak-2020 NO<sub>2</sub> konsantrasyonu değerleri ile Ocak 2019 ve 2021 yıllarındaki fark fazla iken bu fark Aralık ayına doğru azalmaktadır. Endüstriyel alanlardan kaynaklı NO<sub>2</sub> salınımı Aralık ayına doğru artış göstermektedir ve bu artış pandemi döneminde hız kazanarak 2019 ve 2021 yılları değeri ile az bir farklılık göstermektedir.



Şekil 7. 2019, 2020 ve 2021'deki Sentinel 5P TROPOMI verilerine göre Adana ve Mersin ili yerleşim alanı ile endüstriyel ve ticaret alanlarında aylık NO<sub>2</sub> değerlerinin karşılaştırılması.

Mersin kentinde ise NO<sub>2</sub> dağılımları sürekli şehir yapısında 61 µmol/m<sup>2</sup> ve endüstriyel ve ticaret alanlarında 62 µmol/m<sup>2</sup>'dir. Mersin kentinde sürekli şehir yapısı düzeyinde NO<sub>2</sub> konsantrasyon değerleri en düşük haziran ayında (28 µmol/m<sup>2</sup>) iken en yüksek Aralık ayındadır (130 µmol/m<sup>2</sup>). Haziran-Temmuz ayında ise 2019, 2020 ve 2021 değerleri yakın seviyelerdedir. Burada Adana'dan farklı olarak, NO<sub>2</sub> değerleri 2020 yılı Aralık ayında en yüksek NO<sub>2</sub> değerlerine, 2019 yılı Aralık ayında ise en düşük seviyeye sahiptir. Endüstriyel ve ticaret alanları düzeyinde de benzer trend eğilimi görülmektedir. 2020 yılı Nisan, Haziran ve Eylül ayları hem sürekli şehir yapısı hem de endüstriyel ve ticaret alanlarında NO<sub>2</sub> değerleri diğer yıllara göre düşük seviyededir. Bu dönemler yoğun pandemi tedbirlerinin alındığı kritik aylardır.

Çalışmada büyük hacimli bu veriler işlenerek Adana-Mersin bölgesi için NO<sub>2</sub> kirliliğinin COVID-19 karantinasında dinamikleri incelenmiştir. COVID-19 döneminde tam kapanma ve kısmi kapanmada hava kirleticilerinin azaldığı ve kontrol edildiği görülmektedir. Mart ayı ortasından itibaren

alınan kapanma tedbirleri emisyonların 2020 yılında % 6 oranında düşüşüne neden olmuştur. Yerleşim yapısında bulunan AÖ/AK sınıflarında süreksiz şehir yapısı hariç diğer sınıflarda 2020 yılı en düşük seviyededir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Çalışma alanı için yıllar bazında CORINE AÖ/AK düzeyinde ortalama troposferik NO<sub>2</sub> konsantrasyonu

CORINE AÖ/AK	Troposferik NO <sub>2</sub> konsantrasyonu (µmol/m <sup>2</sup> )		
	2019	2020	2021
111 – Sürekli Şehir Yapısı	63.2	59.3	60.7
112 – Süreksiz Şehir Yapısı	46.4	48.9	49.7
121 – Endüstriyel ve Ticari Birimler	64.7	61.5	62.9
122 – Karayolları ve İlgili Alanlar	58.4	57.8	60.1
124 – Havaalanları	54.4	49.9	52.3
130 – Maden Ocağı, Boşaltım ve İnşaat Sahaları	42.8	40.9	41.5
210 – Ekilebilir Alanlar	38.1	37.7	38.5
220 – Sürekli Ürünler	47.9	47.3	50.1
230 – Meralar	26.0	27.5	27.1
240 – Karışık Tarımsal Alanlar	30.0	33.5	32.5
310 – Ormanlar	27.7	30.0	31.0
320 – Maki ve Otsu Bitkiler	23.9	26.5	26.1
330 – Açık Alanlar	16.1	16.3	15.8
400 – Sulak Alanlar	32.6	30.8	31.2
500 – Su Yapıları	37.4	35.8	36.3

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Avrupa Komisyonu NO<sub>2</sub> kirliliğini azaltmak ve nüfusun sağlık durumunu artırmak için son yıllarda birçok adım atmaktadır. Bu kapsamda farklı kirleticiler için standart sınır değerleri ile yeni politikalar ve atmosferik kirliliğin etkilerinin azaltılmasına yönelik planlar oluşturulmuştur. NO<sub>2</sub> kirliliği AB 2008 direktifinin getirmiş olduğu standart limitlerde azaltılması gerekse de birçok alanda bu değerler limitleri aşmaktadır. Bu nedenle başta NO<sub>2</sub> kirliliği olmak üzere birçok hava kalitesi parametrelerinin sürekli izlenmesi önemlidir. Bu kapsamda ESA tarafından Sentinel-5P uydu sistemi geliştirilerek yerel, ulusal, kıtasal ve küresel ölçekte farklı analizlerle hava kalitesinin izlenmesine yardımcı olmak için yüksek zamansal ve yersel çözünürlükte ücretsiz ve açık veri ürünleri sunulmaktadır.

Sonuçta ülkelerde yasalar temiz havaya ulaşmanın temel bir hak olduğunu ve yaşam hakkı ile doğrudan bağlantılı olduğunu belirtmektedir. Gün geçtikçe bu konuda artan bilinç, teknoloji ve veriye ulaşım imkanı halka, yerel yöneticilere ve politikacılara hava kalitesi yönetiminin daha da önem kazandırdığını göstermektedir. Bu çalışmada hava kirliliğinin izlenmesinde Sentinel-5P uydu görüntülerinin geniş alanlar için kullanılabilir olduğunu ve benzer çalışmalarda yer istasyonu verisinin dahil edilmesi ile veri kalibrasyonunun ve ilişkinin daha iyi analiz edeceğini göstermektedir.

#### Teşekkür

Sentinel 5P TROPOMI uydu görüntülerini ve CORINE AÖ/AK ücretsiz olarak sağlayan Avrupa Uzay Ajansına ve Copernicus'a teşekkür ederim.

#### Kaynakça

Bauwens, M., Comperolle, S., Stavrakou, T., Müller, J., Van Gent, J., Eskes, H., Levelt, P. F., Van Der A, R., Veefkind, J. P., & Vlietinck, J. (2020). Impact of coronavirus outbreak on NO<sub>2</sub> pollution assessed using TROPOMI and OMI observations. *Geophysical Research Letter*, 47, 2020GL087978, 1-9. doi: 10.1029/2020GL087978

- Bechle, M. J., Millet, D. B., & Marshall, J. D. (2013). Remote sensing of exposure to NO<sub>2</sub>: Satellite versus ground-based measurement in a large urban area. *Atmospheric Environment*, 69, 345-353. doi: 10.1016/j.atmosenv.2012.11.046
- Beck, M. J., Hensher, D. A., & Wei, E. (2020). Slowly coming out of COVID-19 restrictions in Australia: Implications for working from home and commuting trips by car and public transport. *Journal of Transport Geography*, 88, 102846. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2020.102846
- Bonaccorsi, G., Pierri, F., Cinelli, M., Flori, A., Galeazzi, A., Porcelli, F., Schmidt, A. L., Valensise, C. M., Scala, A., & Quattrocioni, W. (2020). Economic and social consequences of human mobility restrictions under COVID-19. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(20), 15530-15535. doi: 10.1073/pnas.2007658117
- Brickell, K., Picchioni, F., Natarajan, N., Guermond, V., Parsons, L., Zanello, G., & Bateman, M. (2020). Compounding crises of social reproduction: Microfinance, over-indebtedness and the COVID-19 pandemic. *World Development*, 136, 105087. doi: 10.1016/j.worlddev.2021.105396
- Burrows, J. P., Weber, M., Buchwitz, M., Rozanov, V., Ladstätter-Weißmayer, A., Richter, A., DeBeek, R., Hoogen, R., Bramstedt, K., & Eichmann, K. (1999). The global ozone monitoring experiment (GOME): Mission concept and first scientific results. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 56(2), 151-175. doi: 10.1175/1520-0469(1999)056<0151:TGOMEG>2.0.CO;2
- Cameletti, M. (2020). The effect of Corona virus lockdown on air pollution: evidence from the city of Brescia in Lombardia region (Italy). *Atmospheric Environment*, 239, 117794. doi: 10.1016/j.atmosenv.2020.117794
- Chen, T. M., Kuschner, W. G., Gokhale, J., & Shofer, S. (2007). Outdoor air pollution: nitrogen dioxide, sulfur dioxide, and carbon monoxide health effects. *The American Journal of The Medical Sciences*, 333(4), 249-256. doi: 10.1097/MAJ.0b013e31803b900f
- Çukurova Kalkınma Ajansı. (2015). 2014-2023 Çukurova Bölge Planı Raporu. [https://www.cka.org.tr/uploads/pages\\_v/2014--2023-cukurova-bolge-plani.pdf](https://www.cka.org.tr/uploads/pages_v/2014--2023-cukurova-bolge-plani.pdf) Erişim tarihi:10.04.2022.
- Conticini, E., Frediani, B., & Caro, D. (2020). Can atmospheric pollution be considered a co-factor in extremely high level of SARS-CoV-2 lethality in Northern Italy? *Environmental Pollution*, 261, 114465. doi: 10.1016/j.envpol.2020.114465
- Copernicus. (2018). Sentinel-5P TROPOMI Level 2 Nitrogen dioxide total column products. Version 01. European Space Agency Sentinel 5P. doi:10.5270/S5P-s4ljg54
- Copernicus. (2022). Copernicus Open Access Hub. <https://scihub.copernicus.eu/> Erişim tarihi: 10.05.2022.
- Dutheil, F., Baker, J. S., & Navel, V. (2020). COVID-19 as a factor influencing air pollution? *Environmental Pollution*, 263, 114466. doi: 10.1016/j.envpol.2020.114466
- Avrupa Çevre Ajansı. (2018). *Air quality in Europe - 2018 report*. European Environment Agency Report No 12/2018. Luxembourg (Copenhagen, Denmark): Publications Office of the European Union, 2018. doi: 10.2800/777411
- ESA. (2020). COVID-19: nitrogen dioxide over China. [https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/COVID-19\\_nitrogen\\_dioxide\\_over\\_China](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/COVID-19_nitrogen_dioxide_over_China) Erişim tarihi: 18.05.2022.
- Filippini, T., Rothman, K. J., Goffi, A., Ferrari, F., Maffei, G., Orsini, N., & Vinceti, M. (2020). Satellite-detected tropospheric nitrogen dioxide and spread of SARS-CoV-2 infection in Northern Italy. *Science of the Total Environment*, 739, 140278. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140278
- Ghasempour, F., Sekertekin, A., & Kutoglu, S. H. (2021). Google Earth Engine based spatio-temporal analysis of air pollutants before and during the first wave COVID-19 outbreak over Turkey via remote sensing. *Journal of Cleaner Production*, 319, 128599. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.128599
- Guo, L., Luo, J., Yuan, M., Huang, Y., Shen, H., & Li, T. (2019). The influence of urban planning factors on PM<sub>2.5</sub> pollution exposure and implications: A case study in China based on remote sensing, LBS, and GIS data. *Science of the Total Environment*, 659, 1585-1596. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.12.448

- Hou, Y., Wang, L., Zhou, Y., Wang, S., Liu, W., & Zhu, J. (2019). Analysis of the tropospheric column nitrogen dioxide over China based on satellite observations during 2008–2017. *Atmospheric Pollution Research*, 10(2), 651–655. doi: 10.1016/j.apr.2018.11.003
- Inness, A., Ribas, R., & Engelen, R. (2019). The use of Sentinel-5P air quality data by CAMS. *Meteorology Section of ECMWF*, 159 (Spring 2019), 25–30. doi: 10.21957/ko66ais8yp
- Ji, J., & Chang, R. (2020). Air quality changes and Grey relational analysis of pollutants exceeding standards during the COVID-19 pandemic in Wuhan. *Research Square*, 1–30. doi: 10.21203/rs.3.rs-34041/v3
- Kampa, M., & Castanas, E. (2008). Human health effects of air pollution. *Environmental Pollution* 151(2), 362–367. doi: 10.1016/j.envpol.2007.06.012
- Kaplan, G., & Avdan, Z. Y. (2020). Space-borne air pollution observation from sentinel-5p TROPOMI: relationship between pollutants, geographical and demographic data. *International Journal of Engineering and Geosciences (IJEG)*, 5(3), 130–137. doi: 10.26833/ijeg.644089
- Khorrani, B., Gunduz, O., Patel, N., Ghouzlane, S., & Najjar, M. (2019). Land surface temperature anomalies in response to changes in forest cover. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 4 (3), 149–156. doi: 10.26833/ijeg.549944
- Le, T., Wang, Y., Liu, L., Yang, J., Yung, Y. L., Li, G., & Seinfeld, J. H. (2020). Unexpected air pollution with marked emission reductions during the COVID-19 outbreak in China. *Science*, 369, 702–706. doi: 10.1126/science.abb741
- Mayer, H. (1999). Air pollution in cities. *Atmospheric environment*, 33(24–25), 4029–4037. doi: 10.1016/S1352-2310(99)00144-2
- Mesas-Carrascosa, F., Porras, F. P., Triviño-Tarradas, P., García-Ferrer, A., & Meroño, J. (2020). Effect of lockdown measures on atmospheric nitrogen dioxide during SARS-CoV-2 in Spain. *Remote Sensing*, 12, 2210. doi: 10.3390/rs12142210
- Muhammad, S., Long, X., & Salman, M. (2020). COVID-19 pandemic and environmental pollution: A blessing in disguise? *Science of The Total Environment*, 728, 138820. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138820
- Nacef, L., Bachari, N. E. İ., Bouda, A., & Boubnia, R. (2016). Variability and decadal evolution of temperature and salinity in the Mediterranean sea surface. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 1(1), 20–29. doi: 10.26833/ijeg.285222
- Nicola, M., Alsafi, Z., Sohrabi, C., Kerwan, A., Al-Jabir, A., Iosifidis, C., Agha, M., & Agha, R. (2020). The socio-economic implications of the coronavirus pandemic (COVID-19): A review. *International Journal of Surgery*, 78, 185–193. doi: 10.1016/j.ijssu.2020.04.018
- Ogen, Y. (2020). Assessing nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) levels as a contributing factor to coronavirus (COVID-19) fatality. *Science of The Total Environment*, 726, 138605. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138605
- Paudel, J. (2021). Short-run environmental effects of COVID-19: Evidence from forest fires. *World Development*, 137, 105120. doi: 10.1016/j.worlddev.2020.105120
- Sekmoudi, I., Khomsi, K., Faieq, S., & Idrissi, L. (2022). COVID-19 lockdown improves air quality in Morocco. *Environmental Engineering Research*, 27(5), 210197. doi: 10.4491/eer.2021.197
- Shehzad, K., Sarfraz, M., & Shah, S. G. M. (2020). The impact of COVID-19 as a necessary evil on air pollution in India during the lockdown. *Environment Pollution*, 266, 115080. doi: 10.1016/j.envpol.2020.115080
- Siciliano, B., Carvalho, G., Da Silva, C. M., & Arbilla, G. (2020). The impact of COVID-19 partial lockdown on primary pollutant concentrations in the atmosphere of Rio de Janeiro and São Paulo megacities (Brazil). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 105, 2–8. doi: 10.1007/s00128-020-02907-9
- Stratoulis, 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. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141320
- Sünsüli, M., Kalkan, K., (2022). Sentinel-5P uydu görüntüleri ile azot dioksit (NO<sub>2</sub>) kirliliğinin izlenmesi. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 4(1), 01–06. doi: 10.51489/tuzal.1056261
- THEP. (2020). *Adana ili temiz hava eylem planı (THEP) 2020–2024*. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Adana Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/adana/icerikler/adana-thep-20202024-20200304123809.pdf> Erişim tarihi:10.04.2022

- Theys, N., Hedelt, P., De Smedt, I., Lerot, C., Yu, H., Vlietinck, J., Pedernana, M., Arellano, S., Galle, B., & Fernandez, D. (2019). Global monitoring of volcanic SO<sub>2</sub> degassing with unprecedented resolution from TROPOMI onboard Sentinel-5 Precursor. *Scientific reports* 9(1), 2643. doi: 10.1038/s41598-019-39279-y
- Türkçe Ansiklopedi. (2022). *Türkiye'de COVID-19 pandemisi*, [https://tr.wikipedia.org/wiki/Türkiye%27de\\_COVID-19\\_pandemisi](https://tr.wikipedia.org/wiki/Türkiye%27de_COVID-19_pandemisi) Erişim tarihi: 10.04.2022.
- Virghileanu, M., Săvulescu, I., Mihai, B. A., Nistor, C., & Dobre, R. (2020). Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>) pollution monitoring with Sentinel-5P satellite imagery over Europe during the coronavirus pandemic outbreak. *Remote Sensing*, 12(21), 3575. doi: 10.3390/rs12213575