



Turkish Journal of Remote Sensing

<https://dergipark.org.tr/en/pub/tuzal>

e-ISSN 2687-4997



Sentinel-5p Uydu Görüntüleri İle Azot Dioksit (NO₂) Kirliliğinin İzlenmesi

Mete SÜNSÜLİ *¹, Kaan KALKAN ¹

¹TÜBİTAK, Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü, Ankara, Türkiye

Anahtar Kelimeler:

Azot dioksit
Atmosferik Kirlilik
COVID-19
Hava kalitesi
Sentinel-5P
Troposfer

ÖZ

Hava kalitesi insan sağlığı, bitki ve hayvan yaşamı için kritik bir öneme sahiptir. Dünya nüfusunun artması ve buna bağlı olarak enerji ihtiyacının fosil yakıt kullanımı ile temin edilmesi dolayısıyla hava kalitesi, şimdiki ve gelecekteki yaşam kalitesi için önemli endişe kaynağı olmaya devam etmektedir. Havadaki kirletici gazlardan biri olan Azot dioksit (NO₂), 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. Uzaktan algılama teknolojisinin gelişmesi ile dünya üzerindeki bu tarz ölçümler daha pratik ve kolay bir hale gelmiştir. Bu çalışmada COVID-19 pandemisi acil önlemlerinin Türkiye'deki sürecini içeren 2019 sonu, 2020 ve 2021 yıllarında Marmara Bölgesindeki troposferik NO₂ değerlerinin Sentinel-5P uydu görüntülerine dayalı karşılaştırmalı analizi yapılmıştır. Çalışmanın sonuçlarının yer ölçüm istasyonlarından elde edilen verilerle kıyaslanması sonucunda fosil yakıt tüketiminin hava kalitesine olan olumsuz etkisi belirlenmiştir. Ayrıca, uydu verilerinin yersel veriler ile yüksek bir oranda korelasyonun sağlandığı ($r=0.85$) ve bu yolla hava kirliliğinin izlenmesinde Sentinel-5P uydu görüntülerinin etkin bir şekilde kullanılabilir olduğu ortaya konmuştur.

Monitoring Nitrogen Dioxide (NO₂) Pollution with Sentinel-5p Satellite Images

Keywords:

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

ABSTRACT

Air quality is critical for human health, plant and animal life. Due to the increase in the world population and the consequent supply of energy needs with fossil fuels, air quality continues to be an essential concern for the current and future quality of life. Nitrogen dioxide (NO₂), is one of the critical polluting gases in the troposphere and the stratosphere of the atmosphere. It enters the atmosphere, especially with fossil fuels and biomass combustion. In this respect, the measurement of this pollutant is crucial. With the development of remote sensing, such measures worldwide have become more practical and accessible. In this study, a comparative analysis of the tropospheric NO₂ values in the Marmara Region, based on Sentinel-5P satellite images, at the end of 2019, 2020 and 2021, which includes the COVID-19 pandemic emergency measures in Turkey, was made. As a result of comparing the study results with the data obtained from ground measurement stations, the negative effect of fossil fuel consumption on air quality was determined. In addition, it has been revealed that the satellite data is highly correlated with the ground measurement data ($r=0.85$) and Sentinel-5P satellite images can be used in monitoring air pollution effectively.

* Sorumlu Yazar

*(msunsuli@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-3748-1851
(kalkaan@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-2732-5425

Kaynak Göster(APA)

Sunsulı, M. Kalkan K., (2022). Sentinel-5p Uydu Görüntüleri İle Azot Dioksit (NO₂) Kirliliğinin İzlenmesi. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 4(1), 01-06.

1. GİRİŞ

Atmosfer birbirinden farklı kimyasal özelliklere ve değişik sıcaklık profiline sahip çeşitli tabakalardan oluşmaktadır. Atmosferi oluşturan gazların seviyesi ise deniz seviyesinden itibaren yaklaşık 1.000 km yukarıya kadar uzanmaktadır. Atmosferdeki toplam gaz konsantrasyonunun % 99'undan daha fazlası yer yüzeyinden itibaren ilk 40 km'lik tabakada bulunmaktadır (URL-1).

Dünya büyük şehirlerinde en kritik kirlenici gazların karbon monoksit (CO), ozon (O₃), sulfur dioksit (SO₂), Azot dioksit (NO₂) ve partikül (PM_{2.5} and PM₁₀) olduğu yapılan çalışmalarda belirlenmiştir (URL-2). Atmosferin hem troposfer hem de stratosfer tabakasında bulunan ve önemli kirlenici gazlardan biri olan NO₂'nin tespit edilmesi hava kalitesi ölçümü ve kirliliğin önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Artan dünya nüfusu ve dünya enerji bütçesinin %80'inin fosil yakıtların yakılmasından elde edilmesi ile, hava kalitesi canlıların şimdiki ve gelecekteki yaşam kalitesi için en önemli endişe kaynağı olmaya devam etmektedir. NO₂ kirliliğinin izlenmesi ve düzenlenmesi, karar verici otoritenin çevresel kalite ve nüfus sağlık durumunun iyileştirilmesi için sürdürülebilir bir çözüm aramasına yardımcı olmak için gereklidir.

Uydu teknolojileri ve görüntü işleme metodlarının gelişimi sayesinde atmosferik gözlemlerin yapılması zaman ve kapsam açısından daha da kolaylaşmıştır. Uzaktan algılama ile atmosferik ölçümlerin yapılabilirdiği uydulardan birisi de Sentinel-5P'dir. Yapılan çalışmalar kalabalık nüfus hareketliliği ile hava kirliliği arasındaki ilişkiyi ortaya koymuştur (Zhang, vd., 2020; Mesas-Carrascosa, vd. 2020; Ghahremanloo, vd., 2021; Kanniah, vd., 2020). Bu kapsamda yapılan çalışmalardan birisi ESA Copernicus Sentinel-5P ile Pandemi süresince Avrupa'daki Azot dioksit kirliliğinin izlenmesi çalışmasıdır (Virghileanu vd., 2020). Türkiye'nin pandemi sürecindeki spatio-temporal analizini içeren bir çalışma da ayrıca yapılmıştır (Ghasempour vd., 2021). Yapılan uydu görüntüsü tabanlı hava kirliliği belirteçlerinin tespiti çalışmaları dünyanın birçok şehrinde pandemi kapanmaları sırasında NO₂ konsantrasyonunun düştüğünü göstermiştir (Siciliano, vd., 2020; Filippini, vd. 2020; Shehzad, vd., 2020; Dutheil, vd., 2020; Le, vd., 2020).

Bu çalışmada ise, COVID-19 pandemisi acil önlemlerinin Türkiye'deki sürecini içeren 2019 yılı sonu, 2020 ve 2021 yıllarında Marmara Bölgesindeki troposferik NO₂ değerlerinin Sentinel-5P uydu görüntülerine dayalı karşılaştırmalı analizi yapılmıştır. Çalışmanın sonuçlarının yer ölçüm istasyonlarından elde edilen verilerle de kıyaslanması sonucunda fosil yakıt tüketiminin hava kalitesine olan etkisi belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE METODOLOJİ

2.1. Uydu Verisi

ESA Copernicus uzay görevi tarafından Ekim 2017 tarihinde fırlatılan Sentinel-5P, hava kalitesi, ozon izleme, UV radyasyonu ve iklim izleme ve tahmini için kullanılmak üzere atmosferik ölçümler sağlayan uydudur. Spektral bant görüntüleme aralığı Tablo 1'de belirtilmiştir.

Tablo 1. Sentinel-5P Uydu Özellikleri

Bantlar	Spektrum	Çözünürlük (Seviye 2)*	Çözünürlük (Seviye 3)
Ultraviolet	270-320 nm	7 km x 3.5 km	~ 1 km
Visible	320-500 nm	7 km x 3.5 km	~ 1 km
NIR	675-775 nm	7 km x 3.5 km	~ 1 km
SWIR	2305-2385 nm	7 km x 3.5 km	~ 1 km

* Uydu uçuş yönünde 7 km ve dikey yönde 3.5 km mekansal çözünürlüğü ifade eder.

Sentinel-5P (Precursor) uydusuna ait TROPOMI (The TROPospheric Monitoring Instrument) aygıtı ile 2018 yılından itibaren hava kalitesi ile ilgili uydu verisi alınabilmekte, Aerosol indeks, Metan (CH₄), Karbon monoksit (CO), Formaldehit (HCHO), Azot dioksit (NO₂), Ozon (O₃) ve Sülfür dioksit (SO₂) miktarı izlenebilmekte ve ölçülebilmektedir (Butz vd., 2012). Sentinel-5P Azot dioksit verileri NetCDF (Network Common Data Form) dosya biçimi ile "Nitrogen Dioxide tropospheric column" tablosunda tutulur (URL-3). Bu çalışmada, "Sentinel-5P Pre-Operations Data Hub" portalından günlük veriler alınmış ve ilgili ayların kendi içerisinde ortalama değerleri elde edilmiştir.

Çalışma alanı olarak, ekonomi, sanayi ve üretim açısından ülke içinde önemli bir yere sahip olan Marmara Bölgesi seçilmiştir. Türkiye'deki yedi coğrafi bölge arasında, Marmara Bölgesi en küçük ikinci alana, ancak en büyük nüfusa sahiptir; ülkenin en yoğun nüfuslu bölgesidir (URL-4). Sentinel-5P verileri büyük alanları kapladığından Türkiye ve Marmara Bölgeleri görüntü üzerinden kesilerek işlemler gerçekleştirilmiştir.

2.2. Türkiye Hava Kalitesi İzleme Merkezi (HKİ-SİM) Verileri

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığına ait hava kalitesi izleme portalı (URL-5) üzerinden elde edilen ölçümler ile çalışma alanı içerisinde kalan örnek istasyonlardan elde edilen verilerin ilgili tarih aralığındaki saatlik değerlerinden aylık ortalamalar hesaplanmıştır. Bu ortalamalar ile uydu verisi sonuçları arasında karşılaştırma yapılmıştır. Belirlenen 4 (dört) aya ait ortalaması alınan veriler kıymetlendirilerek görselleştirilmeye uygun hale getirilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Çalışmada kullanılan veri setlerinin listesi

Kategori	Değişken	Birim	Zamansal Çözünürlük	Kaynak
Sentinel-5P	Nitrogen Dioxide tropospheric column	mol/m ²	Gün	https://s5phub.copernicus.eu/
Hava Kalitesi İzleme Merkezi	NO ₂	µgr/cm ³	Saat	https://www.havaizleme.gov.tr/

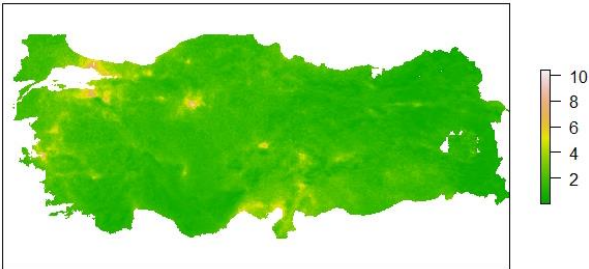
2.3. Metodoloji

Bu çalışmada Sentinel-5P çözünürlüğü (7 km x 3.5 km) Seviye 2 ürünü olan NetCDF formatlı görüntüler yeni örneklenerek (resample) coğrafi grid üzerinde görüntülenecek hâle getirilmiş, yeniden projeksiyonlandırılmış ve böylece Seviye 3 görüntüleri elde edilmiştir. Seviye 3'e dönüşüm ile uydu görüntüsü eşit piksel aralıklarına (~1 x 1 km) bölünmüştür.

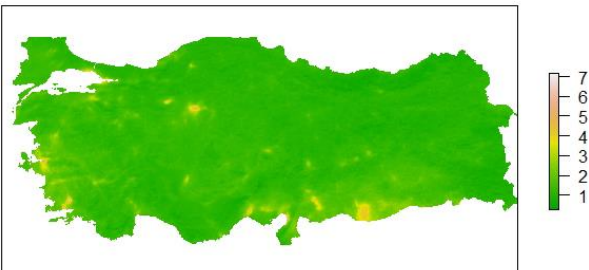
Günlük olarak elde edilen uydu görüntülerinden bulutluluk gibi ölçüm kalitesini etkileyen unsurlar (tropospheric_NO2_column_number_density_validity > 50) giderilerek aylık ortalama NO₂ değerleri ele alınmıştır.

İzleme aralığında COVID-19 pandemisi acil önlemlerinin Türkiye'deki başlangıç tarihi olan 2019 Aralık ayı, kısıtlamaların kaldırıldığı 2020 Temmuz ayı, devam eden süreçte 2021 Ocak ve 2021 Temmuz aylarına ait ölçümler izlenmiştir.

Türkiye ölçeğinde COVID-19 kapanma dönemine karşılık gelen 2019 Aralık ve 2020 Temmuz aylarında troposferdeki ortalama NO₂ konsantrasyonu genel olarak gösterilmiştir (Şekil 1.a, Şekil 1.b). Bu aralıkta NO₂ konsantrasyonunun azaldığı görülmektedir.



Şekil 1.a. 2019 Aralık için Türkiye Geneli NO₂ konsantrasyonu (mol/m²) (Sentinel-5P, TROPOMI)



Şekil 1.b. 2020 Temmuz için Türkiye Geneli NO₂ konsantrasyonu (mol/m²) (Sentinel-5P, TROPOMI)

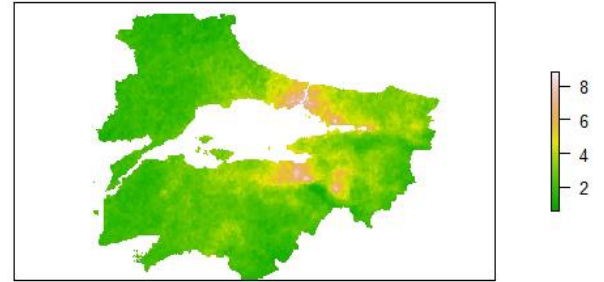
Bu çalışmada şehirleşme ve sanayi faaliyetleri bakımından en yoğun bölge olan Marmara bölgesine

odaklanılmış olduğundan, Marmara bölgesine ait veriler detaylı olarak incelenmiştir. Aylık ortalama Azotdioksitin coğrafi dağılımı, metrekaresine düşen mol cinsinden NO₂ miktarı ve hangi yoğunluk derecesinde bulunduğu-frekansı- çizelgelerde (Şekil 3-a,b,c,d) belirtilmiştir.

3. BULGULAR

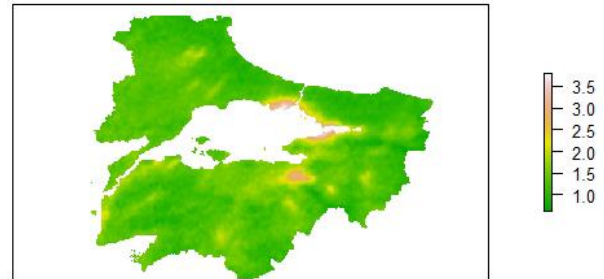
Verilerin dağılımı incelenmiş ve 2019 Aralık, 2020 Temmuz, 2021 Ocak, 2021 Temmuz aylarında Marmara Bölgesindeki NO₂ konsantrasyonu (mol/m²) ortalamasının aylara göre dağılımı gösterilmiştir.

Kapanma öncesinde NO₂ konsantrasyonunun yüksek olduğu bölgeler gösterilmiş olup değerler 8 mol/m² üzerine çıkmıştır (Şekil 2.a).



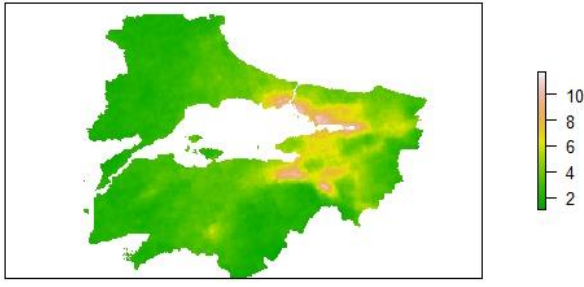
Şekil 2.a. 2019 Aralık

7 (yedi) aylık kapanma sonrasında, açılma ile birlikte NO₂ değerlerinin düştüğü görülmekte olup, değerler 3.5 mol/m² üzerine çıkmıştır. Bu süre zarfında hava kirliliğinin azaldığı görülmektedir (Şekil 2.b).



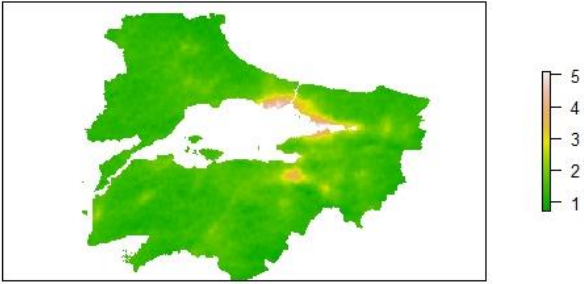
Şekil 2.b. 2020 Temmuz

Fosil yakıt tüketiminin artışının devam etmesi sonucunda NO₂ konsantrasyonunun yeniden arttığı ve 10 mol/m² seviyesi üzerine çıktığı görülmektedir. Bu değer kapanma öncesi değerden de yüksektir (Şekil 2.c).



Şekil 2.c. 2021 Ocak

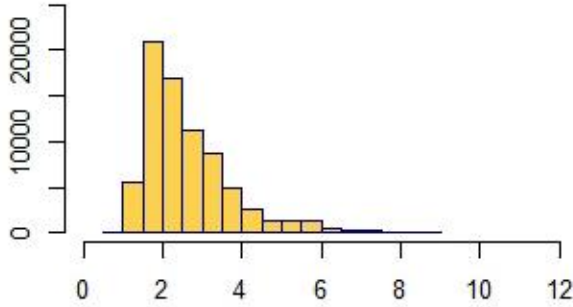
Ocak 2020’de erişilen NO₂ seviyesinin, devam eden süreçte dengelenerek 2021 Temmuz ayında 5 mol/m² seviyesine düştüğü görülmektedir (Şekil 2.d).



Şekil 2.d. 2021 Temmuz

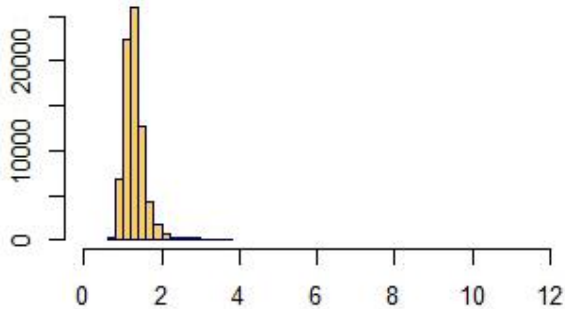
Bölgede ilgili aylardaki konsantrasyon dağılımı incelenmiş ve NO₂ konsantrasyonu ortalamasının aylara göre dağılımına ait histogramları gösterilmiştir (yatay eksen - mol/m²).

Kapanma öncesinde yüksek NO₂ konsantrasyonuna sahip değerlerin yayılım gösterdiği görülmektedir (Şekil 3.a).



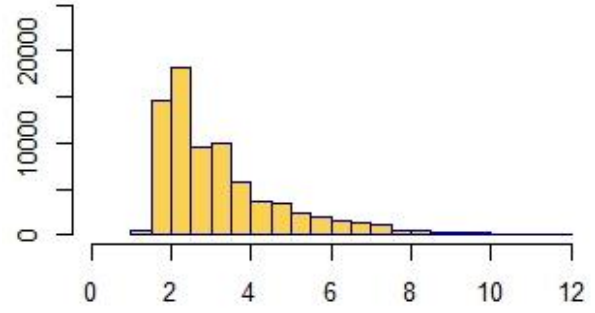
Şekil 3.a. 2019 Aralık

Kapanma sonrasında, karantinanın kalkması ile birlikte, bu süre içerisinde fosil yakıt tüketimi az seyrettiğinden, NO₂ değerlerinin düşmüş olduğu görülmektedir (Şekil 3.b).



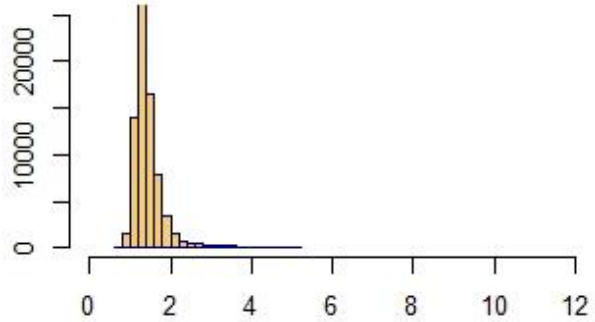
Şekil 3.b. 2020 Temmuz

Fosil yakıt tüketiminin yeniden artmasıyla 2021 yılı Ocak ayı ortalama NO₂ ölçümünde değerlerin yeniden arttığı görülmektedir (Şekil 3.c).



Şekil 3.c. 2021 Ocak

Devam eden süreçte NO₂ seviyesinin dengelenerek düştüğü görülmektedir (Şekil 3.d).



Şekil 3.d. 2021 Temmuz

Sürecin daha iyi anlaşılması açısından, ilgili tarih aralığındaki NO₂ konsantrasyon değişimi aşağıda verilmiştir (Tablo 3).

Tablodan anlaşıldığı üzere en düşük konsantrasyon 2020 Temmuz ayında, en yüksek konsantrasyon ise 2021 Ocak ayında gerçekleşmiştir.

Uydu verilerinin doğruluğunun kıyaslanması amacıyla Hava Kalitesi İzleme Merkezi Kocaeli - Gebze OSB - MTHM’den alınan günlük verilerin aylık ortalaması alınmış ve eğilimleri karşılaştırılmıştır (Şekil 4.a ve b).

Tablo 3. Marmara Bölgesinde 2019 Aralık - 2021 Temmuz ayları arasındaki, -Ortalama- NO₂ konsantrasyon değişimi değerleri

	Sentinel-5P (mol/m ²)		Kocaeli - Gebze OSB - MTHM (µg/m ³)		
	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Ort.
2019 Aralık	0.57	8.82	1.12	115.7	42.67
2020 Temmuz	0.62	3.79	3.56	163.13	26.95
2021 Ocak	1.07	11.70	5.32	112.65	38.66
2021 Temmuz	0.71	5.13	11.91	125.01	28.67

Çıkar çatışması beyanı

Makale ile ilgili olarak, herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile mali çıkar çatışması yoktur ve yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

KAYNAKÇA

- Butz, A., Galli, A., Hasekamp, O., Landgraf, J., Tol, P., & Aben, I. (2012). TROPOMI aboard Sentinel-5 Precursor: Prospective performance of CH₄ retrievals for aerosol and cirrus loaded atmospheres. *Remote sensing of environment*, 120, 267-276.
- Dutheil, F., Baker, J. S., & Navel, V. (2020). COVID-19 as a factor influencing air pollution?. *Environmental pollution*, 263, 114466.
- 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.
- Ghahremanloo, M., Lops, Y., Choi, Y. & Mousavinezhad, S. (2021). Impact of the COVID-19 outbreak on air pollution levels in East Asia. *Science of the Total Environment*, 754, 142226.
- Ghasempour F., Sekertekin A. & Kutoglu S., (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.
- Kannah, K. D., Zaman, N. A. F. K., Kaskaoutis, D. G., & Latif, M. T. (2020). COVID-19's impact on the atmospheric environment in the Southeast Asia region. *Science of the Total Environment*, 736, 139658.
- 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(6504), 702-706.
- Mesas-Carrascosa, F. J., Pérez Porras, F., Triviño-Tarradas, P., García-Ferrer, A. & Meroño-Larriva, J. E. (2020). Effect of lockdown measures on atmospheric nitrogen dioxide during SARS-CoV-2 in Spain. *Remote Sensing*, 12(14), 2210.
- 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. *Environmental Pollution*, 266, 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(1), 2-8.
- Vîrghileanu M., Săvulescu I., Bogdan-Andrei Mihai B., A., Nistor C., Dobre R., (2020) Nitrogen Dioxide (NO₂) Pollution Monitoring with Sentinel-5P Satellite Imagery over Europe during the Coronavirus Pandemic Outbreak. *Remote Sensing*, 12(21).
- Zhang, G., Xu, H., Wang, H., Xue, L., He, J., Xu, W. & Meng, X. (2020). Exploring the inconsistent variations in atmospheric primary and secondary pollutants during the 2016 G20 summit in Hangzhou, China: implications from observations and models. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20(9), 5391-5403.

URL-1:

<https://www.mgm.gov.tr/genel/ozonveuv.aspx?s=2>

[Erişim Tarihi: 04.02.2022]

URL-2:<https://scied.ucar.edu/learning-zone/air-quality>

[Erişim Tarihi: 04.02.2022]

URL-3:<http://www.tropomi.eu/data-products/nitrogen-dioxide>

[Erişim Tarihi: 04.02.2022]

URL-4:

https://en.wikipedia.org/wiki/Marmara_Region

[Erişim Tarihi: 04.02.2022]

URL-5: <https://www.havaizleme.gov.tr/>

[Erişim Tarihi: 04.02.2022]



© Author(s) 2021.

This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>