


## İstanbul İli Merkez İlçelerindeki NO<sub>2</sub> ve CO Emisyonlarının Uzaktan Algılama ve Yersel İstasyon Verileri Kullanılarak İncelenmesi

Hasan Bilgehan Makineci\*<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

CO  
Google Earth Engine  
Hava Kirleticileri  
NO<sub>2</sub>  
Sentinel-5p

### ÖZ

Bu çalışmada canlı yaşamının temel taşı olan havanın içeriğinde bulunan kirlenici gaz konsantrasyonlarının (NO<sub>2</sub> ve CO) zamansal değişimlerinin tespiti gerçekleştirilmiştir. Tutarlı verilerin olduğu toplam on yedi aylık bir dönem (Ocak 2020 – Mayıs 2021) için gerçekleştirilen analizler sonucunda atmosferdeki kirlenici gazlardan ikisinin artış ve azalış trendleri ortaya konulmuştur. Türkiye'nin en kalabalık şehri olan İstanbul'un Anadolu ve Avrupa yakalarından birer yersel istasyona (Üsküdar ve Mecidiyeköy) ait veriler ile yersel araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Avrupa Uzay Ajansı tarafından atmosferdeki gazların konsantrasyonunun tespiti ve izlenmesi amacıyla oluşturulan Sentinel-5 Precursor (S5p) algılayıcısı ile uydu bazlı araştırmalar da gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar hem yersel istasyon bazlı analizlerin hem de S5p uydu verilerine dayalı analizlerin hava kalitesinin zamansal değişimlerini tespit etmede ve izlemede kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

## Investigation of NO<sub>2</sub> and CO Emissions in Istanbul Province Central Districts using Remote Sensing and Terrestrial Station Data

### Keywords

CO  
Google Earth Engine  
Air Pollutants  
NO<sub>2</sub>  
Sentinel-5p

### ABSTRACT

This study focused on the temporal changes of pollutant gas concentrations (NO<sub>2</sub> and CO) in the air data from different resources, the cornerstone of living life. As a result of the analyzes carried out for a total of seventeen months (January 2020 – May 2021) with consistent data, the increase and decrease trends of two of the polluting gases in the atmosphere were revealed. Geographical studies were carried out with data from one terrestrial station (Üsküdar and Mecidiyeköy) from the Anatolian and European sides of Istanbul, the most populated city in Türkiye. Satellite-based research was also carried out with the Sentinel-5 Precursor (S5p), which the European Space Agency (ESA) created to detect and monitor the concentration of gases in the atmosphere. It has been determined that either terrestrial station-based or S5p satellite data based analyzes can detect and monitor temporal changes in air quality.

## 1. GİRİŞ

Hava kalitesinin canlı sağlığına doğrudan etkisi inkâr edilemez bir gerçektir. Normal ve kabul edilebilir hava içeriği %78,084 N<sub>2</sub> (azot), %20,946 O<sub>2</sub> (Oksijen), %0,934 Ar (Argon), %0,035 CO<sub>2</sub> (Karbon dioksit), % 0,001'i Ne (Neon), CH<sub>4</sub> (Metan), He (Helyum), H<sub>2</sub> (Hidrojen) ve Kr (Kripton) gazlarından ve yaklaşık %0,25'i su buharından oluşmaktadır. Hava kirleticileri olarak bilinen Karbon monoksit (CO) ve Azot dioksit (NO<sub>2</sub>) ise canlı yaşamına verdikleri zararlar dolayısıyla solunan havada olmaması istenen gazlardır (Kalıpcı & Başer, 2019; Nazarenko vd., 2021; Shams vd., 2021). Renksiz, kokusuz olan CO gazı yakıtlarda bulunan karbonun (C) tam olarak yakılmadığı durumlarda ortaya çıkan ve oksijeni (O<sub>2</sub>) bağlayarak canlılarda boğulmalara yol açan bir gazdır. İçten yanmalı motorlar, endüstriyel sanayi üretimleri, yoğun odun yakılması ve orman yangınları CO gazının başlıca oluşum kaynakları olarak söylenebilir (Taheri & Razban, 2021). Yüksek sıcaklıklarda oluşan ve suda erimeyen, renksiz, kokusuz bir gaz türü olan NO<sub>2</sub> ise üst solunum yollarında önemli olumsuzluklara yol açabilir. Atmosfere salınan azot oksitler (NO) yükseldikçe oksitlenerek NO<sub>2</sub> haline dönüşür. Bu gaz katı ve sıvı yakıtların yanmasıyla ortaya çıkar. Temel olarak motorlu taşıtlar, termik santral çevreleri, endüstriyel tesisler, ticari ve evsel ısınma amaçlı yakılan yakıtlar NO ve NO<sub>2</sub> oluşumunu hızlandırmaktadır (Shams vd., 2021; Kaplan & Yigit Avdan, 2020).

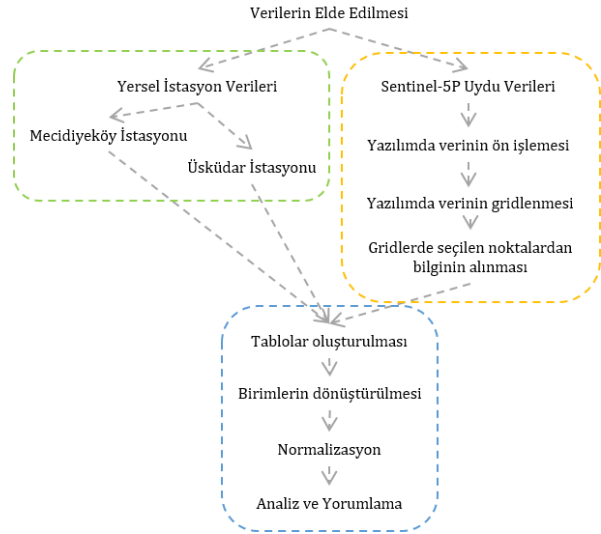
Sentinel-5 Precursor (S5p) Avrupa Uzay Ajansı (European Space Agency -ESA-) tarafından 2018 yılından itibaren atmosfer ile ilgili veriler sunan bir görev olarak tanımlanmaktadır. TROPospheric Monitoring Instrument (TROPOMI) cihazını taşıyan bir uydu olarak S5p Tropomi görevinin temel amacı hava kalitesi, ozon ve UV radyasyonu ve iklim izleme ve tahmin için kullanılmak üzere yüksek uzaysal-zamansal çözünürlükte atmosferik ölçümler yapmaktır (Sümsüli & Kalkan, 2022). Verilerine Sentinel Data Hub sisteminden erişilebildiği gibi Google Earth Engine (GEE) platformundan da ulaşılabilmektedir (Albarqouni vd., 2022; Ghasempour vd., 2021; Shami vd., 2022; Karaca vd., 2022).

Uzaktan algılama ve meteoroloji verileri gibi verilere daha kolay erişebilmek ve otomatik indekslerde işlemler yapabilmek için son zamanlarda sık kullanılan GEE platformu Dünya'nın yüzeyindeki değişiklikleri tespit etmek, eğilimleri haritalamak ve farklılıkları ölçmek için tercih edilmektedir. S5p verisi 840 km orbital yörüngede bulunan ve atmosferik bilgiler ile havadaki gazları değerlendiren bir uydu olarak CO ve NO<sub>2</sub> gazları için elde edilen verilerin birimleri mol/m<sup>2</sup> olarak sunulmuştur. Yersel hava kalitesi izleme istasyonlarında ise CO ve NO<sub>2</sub> gazları için elde edilen verilerin birimleri µg/m<sup>3</sup> cinsindedir (Kaplan & Yigit Avdan, 2020; Ghasempour vd., 2021).

Bu çalışmanın amacı İstanbul merkezde yer alan Üsküdar ve Şişli ilçelerinde hava birleşiminin içerisindeki CO ve NO<sub>2</sub> gaz oranlarının yersel istasyon verileri ve uydu gözlemleriyle tespit edilmesi ve zamansal analizlerinin yapılmasıdır. Seçilen ilçelerin ortak özelliği İstanbul gibi metropol şehrin insan yoğunluğu yüksek ve ana kullanım bölgeleri olmasıdır. Ocak 2020 ile Mayıs 2021 arasındaki toplam on yedi aylık dönemde aylık ortalamalar cinsinden veriler yorumlanarak analiz edilmiştir. Dönemsel olarak artış ve eksilmeler tablolarında her iki gaz için de sunulmuş ve yersel istasyonlar ile S5p uydu verileri arasında korelasyon ortaya konulmuştur.

## 2. YÖNTEM

Araştırmada kullanılan S5p uydusu ve uyduya ait 17 aylık CO ve NO<sub>2</sub> gazları verileri GEE online platformundan elde edilmiştir. Yersel istasyon verileri ise Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın Hava Kalitesi - İstasyon Veri İndirme platformundan elde edilmiştir (URL-1). Çalışmanın iş akışı Şekil 1'de görüldüğü gibidir.



Şekil 1. Çalışmaya ait iş akış şeması

### 2.1. Sentinel-5 Precursor Uydusu ve Verisi

S5p üzerinde bulunan spektrometre algılayıcısıyla (TROPOMI), Ağustos 2019'dan bu yana yakın kızılötesi bant ile nadir doğrultusunda 3,5×7,5 km<sup>2</sup> piksel boyutlarında küresel, sürekli konumsal çözünürlükte ve günlük tekrar ziyaret süresinde veri toplamaktadır. TROPOMI, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, formaldehit, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO ve aerosoller gibi çok sayıda eser gazı 0.01 arc derece konumsal çözünürlükte haritalama yeteneğine sahiptir (URL-2). Temelde üç farklı veri şekliyle çalışılmaktadır. Bu veriler, gerçek zamanlıya yakın (NRTI) veri, çevrimdışı veri (OFFL) ve tekrar işlemeli (RPRO) veri olarak sınıflandırılmaktadır. NRTI verileri, alımdan

sonra 3 saat içinde elde edilebilirken, OFFL ve RPRO verileri, alımdan sonraki birkaç gün içinde kullanılabilir hale getirilmektedir. Veri indirebilmek için seçilen her bir parametreye ait veriler günlük olarak ( $\text{mol}/\text{m}^2$  biriminde) belirlenen zaman aralığında toplam olacak şekilde elde edilmektedir.

Çalışma için Ocak 2020 ile Mayıs 2021 arasındaki toplam on yedi aylık periyotta CO ve NO<sub>2</sub> gazlarına ait elde edilen verilen GEE platformundan alınmıştır.

## 2.2. Yersel İstasyon Verileri

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Sürekli İzleme Merkezi (SİM) Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı (UHKİA) tarafından sunulan Hava Kalitesi İstasyon Veri İndirme platformu ile şehirlere ve ilçelere ait hava içeriği ve PM10, PM2.5, NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO maddelerinin yoğunluğunu günlük veya saatlik olarak toplamda aylık olarak elde edilen bir platformdur (Sümsüli & Kalkan, 2022). Veri indirebilmek için seçilen her bir parametreye ait veriler saatlik olarak ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$  biriminde) belirlenen zaman aralığında Min. Değer, Min. Tarih, Max. Değer, Max. Tarih, Ort. Değer, Veri Adeti, Olması Gereken Veri, Veri Yüzdesi, Standart Sapma ve Toplam Değer olarak elde edilmektedir.

Çalışma için Ocak 2020 ile Mayıs 2021 arasındaki toplam on yedi aylık periyotta CO ve NO<sub>2</sub> gazlarına ait emisyonları “Hava Kalitesi - İstasyon Veri İndirme” sisteminden elde edilmiştir.

## 2.3. Google Earth Engine

GEE platformu akademik kullanıcılar için coğrafi veri setlerini analiz edebilen ve raster olarak kullanıcılara sunabilen bir araçtır. Kod editörü ile kullanıcılar GEE aracının içerisinde bulunan çok büyük verileri kendi kullanım amaçları doğrultusundan sınırlandırarak otomatik analizler yapabilir (URL-2).

Bu çalışmada S5p verileri GEE platformunda belirlenen çalışma bölgesini ve istenilen zaman aralığını kapsayacak şekilde GEE kod editöründen üretilerek lokal kullanıcı bilgisayarına aktarılmıştır. Bu şekilde çalışmanın iyi yanı küçük kodlar kullanarak ve bilgisayar gücünü daha az tüketerek hazır üretilmiş verilere ulaşılabilmesidir (Ghasempour vd., 2021; Shami vd., 2022; Karaca vd., 2022).

Ek 1 ve Ek 2 kod editörü aracında GEE platformunda kullanılan örnek kodlar yer almaktadır. Bu kodlara spesifik bölgeler koordinatları ve zaman aralıkları yazılarak NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, formaldehit, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO ve aerosoller gibi tüm hava kirleticilerinin S5p TROPOMI sensöründe tespit edilen miktarlarına ulaşılabilir. Kod editöründen COPERNICUS\_S5P\_OFFL\_L3\_NO2 ve COPERNICUS\_S5P\_OFFL\_L3\_CO verileri çalışma için elde edilmiştir.

## 2.4. Çalışma Alanı

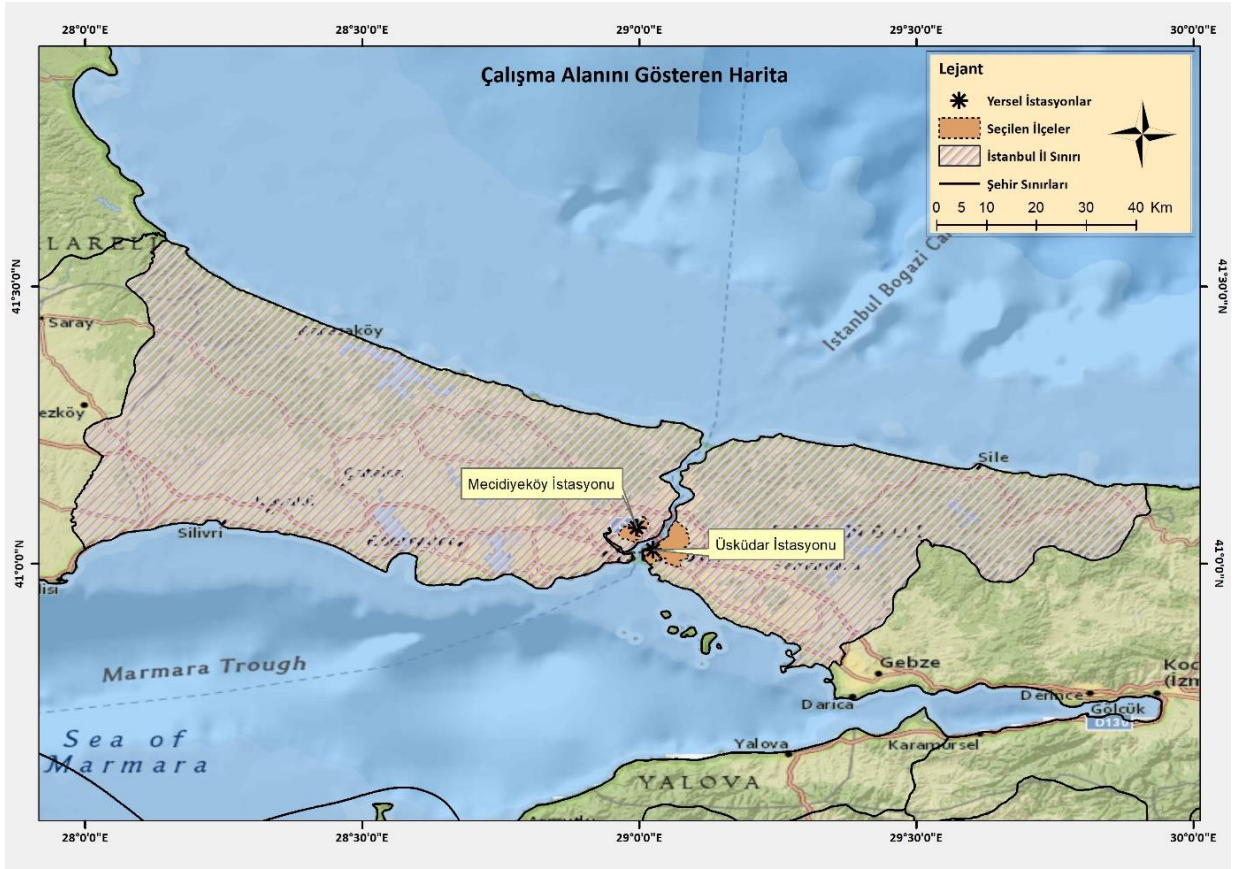
Türkiye'nin en kalabalık ve nüfus yoğunluğu en yüksek ili olan İstanbul Metropol Şehri 2021 yılı Aralık Ay sonu itibarıyla 15.840.900 kişiye ev sahipliği yapmaktadır. Nüfus yoğunluğu olarak ise İstanbul 3.050 kişi/km<sup>2</sup> ile ülke ortalamasının neredeyse 30 katında yoğunluğa sahiptir (Türkiye'nin nüfus yoğunluğu 110 kişi/km<sup>2</sup>) (URL-3).

Araştırmaya konu olan Şişli ve Üsküdar ilçeleri 2020 yılında sırasıyla 266.793 ve 520.771 nüfus değerlerine sahipti. Şişli ve Üsküdar ilçeleri 2021 yılında ise sırasıyla 284.294 ve 525.395 nüfus değerlerine ulaşmıştır. Çalışma alanı ve yersel istasyonlara ait konumlar Şekil 2'de sunulmaktadır (URL-3).

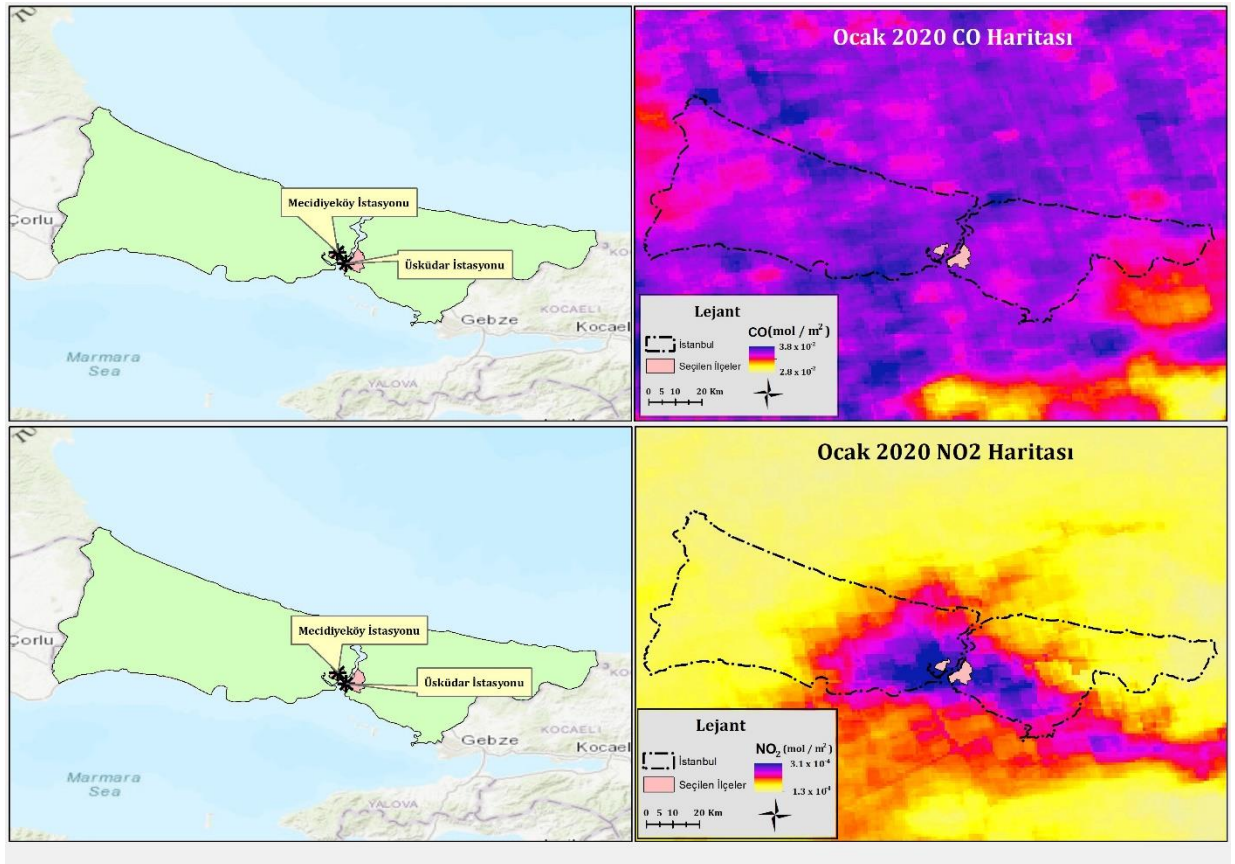
## 2.5. Verilerin Normalizasyonu

Çalışmada kullanılan CO ve NO<sub>2</sub> gazlarına ait S5p verilerinin birimleri  $\text{mol}/\text{m}^2$  ve yersel hava kalitesi izleme istasyonlarında ise CO ve NO<sub>2</sub> gazları için elde edilen verilerin birimleri  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  cinsindedir. Bu iki farklı verilerin birbirine dönüşümü gerçekleştirilemediği için oranlama yapılarak birimsiz hale getirilmiştir. Birimsiz olarak ise çok küçük veya çok büyük değerlerin analizi görsel olarak uygun olmadığı için min-maks normalizasyonu gerçekleştirilmiştir. Eşitlik 1'de belirtildiği üzere Normalize edilmiş değer ( $X'$ ), tüm örneklem kümesinin en küçük ( $X_{min}$ ) ve en büyük ( $X_{maks}$ ) değerleri kullanılarak 0 ile 1 aralığında değişen yeni değerler olarak tanımlanmasını sağlamaktadır (Jain vd., 2018; Kappal, 2019).

$$X' = \frac{X - X_{min}}{X_{maks} - X_{min}} \quad (1)$$



Şekil 2. Yersel istasyonların konumları ve çalışma bölgesi



Şekil 3. Yersel istasyonların konumları ve çalışma bölgesi

### 3. BULGULAR

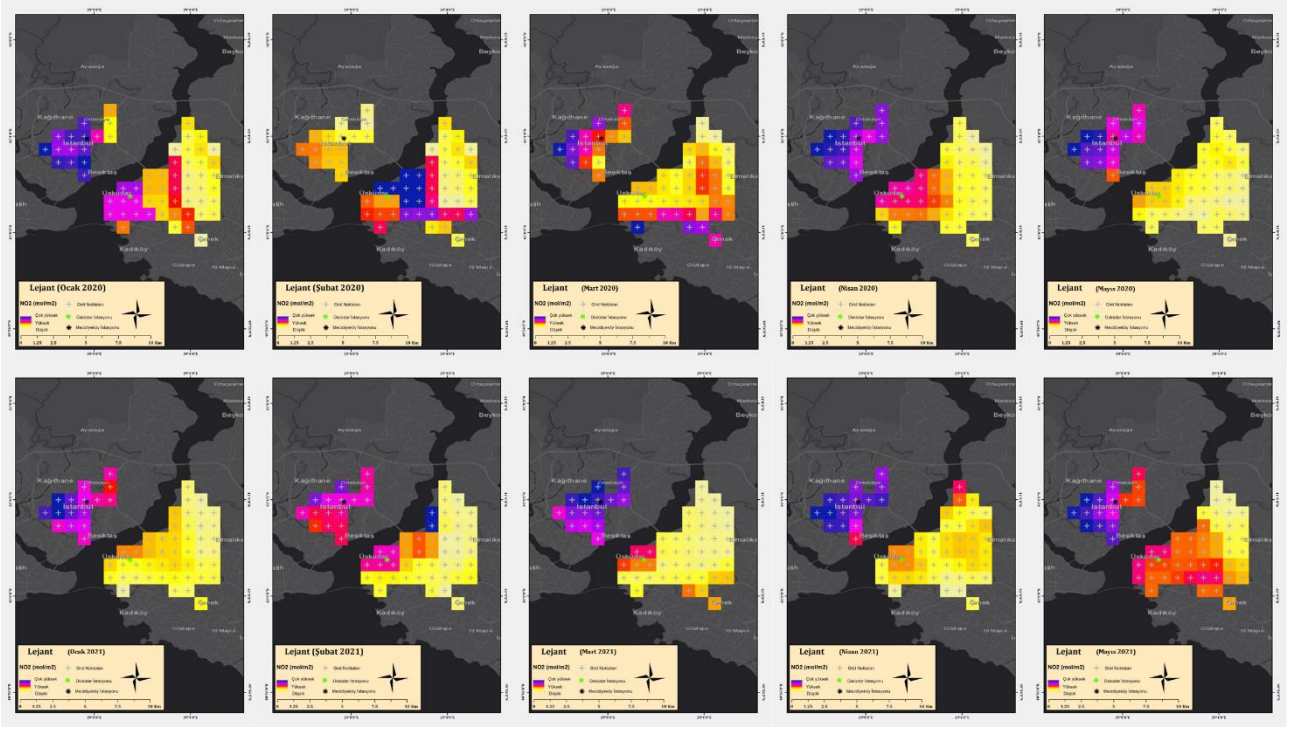
Araştırmada kullanılan iki tür CO ve NO<sub>2</sub> verisi (yersel istasyon ve uydu verileri) yorumlanabilir hale getirilmek için öncelikle verilerin işlenmesi gerekmektedir. Yersel istasyon verileri metrik değerler olarak elde edilmiştir. Fakat uydu verileri GEE platformundan raster olarak alınmaktadır. Ocak 2020 ile Mayıs 2021 arasında her aya ait (on yedi aylık süreç) veriler aynı işlemlere tabii tutularak analiz için hazırlanmıştır. Raster veri setleri öncelikle kullanılan CBS yazılımında çalışma alanı için uygun şekilde kesilmiştir. Kesilmeden önce ham raster verisi Şekil 3'te sunulmuştur.

S5p uydu verilerinde kırpma, gridleme ve üretilen noktalardan (grid ortalarına atılan noktalar) elde edilen bilgiler sayesinde İstanbul İli merkez ilçeleri Üsküdar ve Şişli (Mecidiyeköy) ile ilgili zamansal analiz gerçekleştirilmiştir. Kırpma işlemi sonucunda elde edilen ürünlerde kırpma öncesi piksel derinliği ile kırpma işlemi sonrası piksel derinliği aynıdır. Şekil 4 ve Şekil 5'te sunulduğu üzere CO ve NO<sub>2</sub> gazlarına ait zamansal değişim (şekillerde sadece 2020 ve 2021 yıllarının ilk beş ayları sunulmuştur) uydu verilerinden tespit edilebilmektedir. NO<sub>2</sub> gazı için kış aylarında (ocak ve şubat) düşük olan ortalama konsantrasyon baharla beraber artmakta iken CO gazı için kış aylarında yüksek baharın ilk döneminde azalan Mayıs'tan itibaren ise yeniden artan ortalama konsantrasyon söylenebilir (özellikle Üsküdar için). On yedi aylık ortalama ise CO konsantrasyonu için trendin ilkbahar ve yaz aylarında düşüş, sonbahar ve kış aylarında ise yükseliş yönünde olduğu görülmektedir (Tablo 1). On yedi aylık ortalama NO<sub>2</sub> gazı konsantrasyonu için trendin aralık ve şubat ayları arasında en üst seviyelere çıktığı kalan aylarda da düşüş trendine girdiği söylenebilmektedir (Tablo 2).

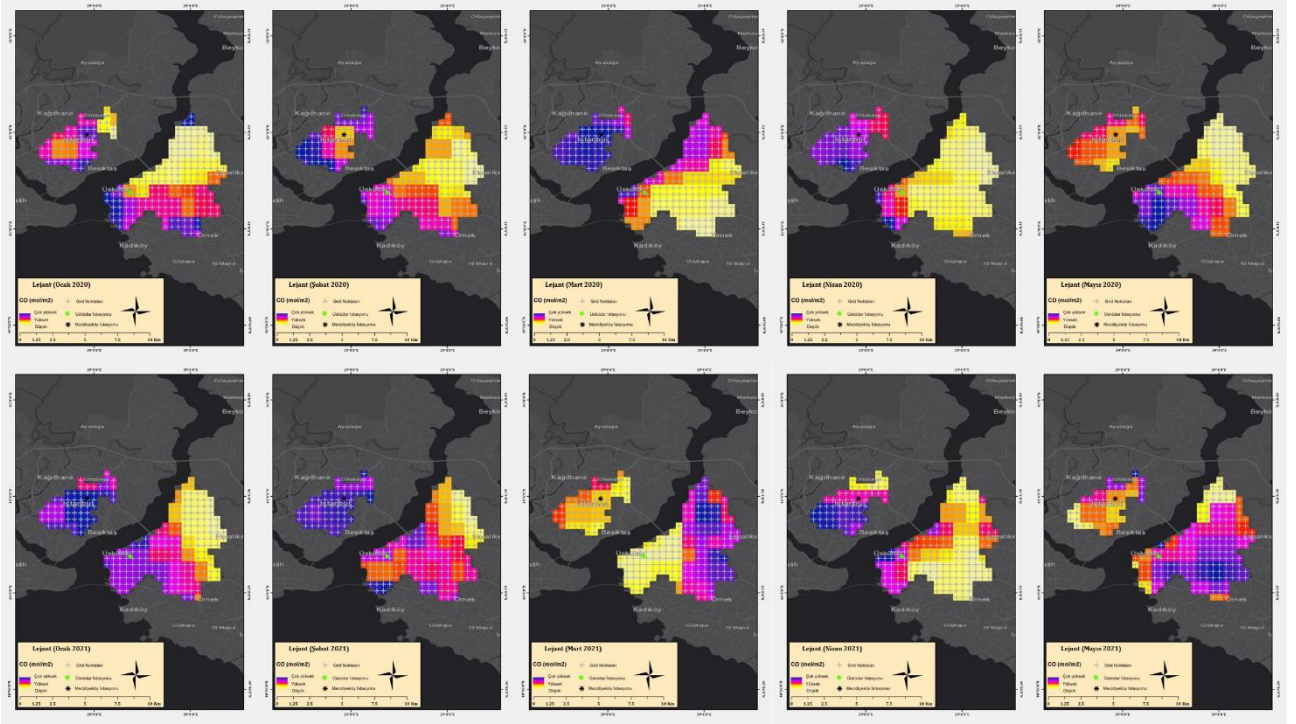
Yersel istasyonlar kısıtlı bir çevreyi temsil edebildikleri için S5p uydu verilerinden elde edilen

konsantrasyon değerlerini istasyon konumlarının civarında bulunan en yakın noktalara indirgeyerek tekrardan analizler yapılmıştır. Bu analizler sonucunda ise Üsküdar istasyonu civarında yer alan noktalardan elde edilen CO gazı konsantrasyonunun Tablo 3'te görüldüğü gibi Ocak-Nisan aylarında yükseldiği ve Mayıs'tan itibaren düşmeye başladığı tespit edilmiştir. CO gazı konsantrasyonunun yersel Mecidiyeköy istasyonunda benzer hareketi yaparak Ocak-Nisan aylarında yükseldiği ve Mayıs'tan itibaren düşmeye başladığı görülmektedir (Tablo 4). Üsküdar istasyonu civarında yer alan noktalardan elde edilen NO<sub>2</sub> gazı konsantrasyonunun Tablo 5'te görüldüğü gibi Ocak-Nisan aylarında düştüğü ve Kasım'dan itibaren yükselmeye başladığı tespit edilmiştir (Şekil 6, Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9). NO<sub>2</sub> gazı konsantrasyonunun yersel Mecidiyeköy istasyonunda benzer hareketi yaparak Ocak-Nisan aylarında düşüş trendine girdiği ve Kasım'dan itibaren Üsküdar'da olduğu gibi yükseliş trendine başladığı görülmektedir (Tablo 6)( Şekil 10 ve Şekil 11).

Sadece yersel istasyonlar kullanılarak yapılan hava kalitesi analizde CO ve NO<sub>2</sub> gazlarının konsantrasyonu ile ilgili birtakım problem olduğu düşünülmektedir. Özellikle pandemi önlemleri gereği sokağa çıkma yasağı olan aylarda (2020 yılı Ocak-Mayıs arasında) CO gazı için konutsal alanların yoğun olduğu Üsküdar istasyonu ve çevresinde trend sabit olarak devam etmektedir (Tablo 7 ve Tablo 8). İş alanları ve yol ağının yoğun olduğu Mecidiyeköy istasyonu ve çevresinde ise 2020 yılının Ocak-Kasım aylarında trend rutin olarak ilerlemektedir. 2020 yılının Ağustos ayından itibaren Üsküdar istasyonu için ve aynı yılın Aralık ayından itibaren Mecidiyeköy istasyonu için değişimler daha yorumlanabilir hale gelmektedir. NO<sub>2</sub> gazı için ise yersel istasyonların her ikisi için de tüm aylar incelendiğinde herhangi bir trend ortaya konulamamıştır (Tablo 9 ve Tablo 10) (Şekil 12, Şekil 13 ve Şekil 14).



Şekil 4. NO<sub>2</sub> gazı için S5p verileri



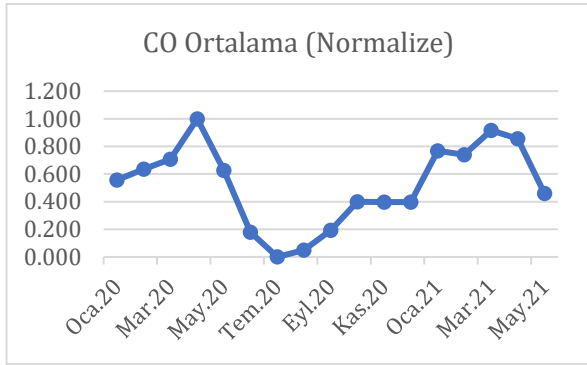
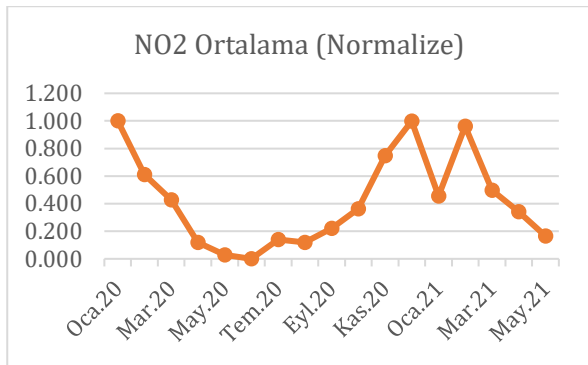
Şekil 5. CO gazı için S5p verileri

**Tablo 1.** CO gazı için S5p verileri

Tarih	CO Ortalama (mol/m <sup>2</sup> )	CO Normalize Ortalama
Oca.20	0.03518	0.556
Şub.20	0.03597	0.636
Mar.20	0.03669	0.708
Nis.20	0.03957	1.000
May.20	0.03587	0.626
Haz.20	0.03147	0.180
Tem.20	0.02969	0.000
Ağu.20	0.03018	0.050
Eyl.20	0.03159	0.192
Eki.20	0.03364	0.400
Kas.20	0.03360	0.396
Ara.20	0.03360	0.396
Oca.21	0.03727	0.767
Şub.21	0.03699	0.739
Mar.21	0.03874	0.916
Nis.21	0.03814	0.856
May.21	0.03424	0.460

**Tablo 2.** NO<sub>2</sub> gazı için S5p verileri

Tarih	NO <sub>2</sub> Ortalama (mol/m <sup>2</sup> )	NO <sub>2</sub> Normalize Ortalama
Oca.20	0.00023	1.000
Şub.20	0.00016	0.612
Mar.20	0.00012	0.427
Nis.20	0.00006	0.119
May.20	0.00004	0.029
Haz.20	0.00004	0.000
Tem.20	0.00007	0.140
Ağu.20	0.00006	0.118
Eyl.20	0.00008	0.221
Eki.20	0.00011	0.363
Kas.20	0.00018	0.748
Ara.20	0.00023	0.998
Oca.21	0.00013	0.455
Şub.21	0.00022	0.961
Mar.21	0.00014	0.498
Nis.21	0.00011	0.342
May.21	0.00007	0.166

**Şekil 6.** S5p uydu verisinden üretilen CO değerlerinin zamansal değişimini gösteren grafik**Şekil 7.** S5p uydu verisinden üretilen NO<sub>2</sub> değerlerinin zamansal değişimini gösteren grafik**Tablo 3.** CO gazı için S5p verileri (Üsküdar istasyonu bölgesi)

Tarih	CO Ortalama (mol/m <sup>2</sup> )	CO Normalize Ortalama
Oca.20	0.03524	0.548
Şub.20	0.03618	0.645
Mar.20	0.03662	0.690
Nis.20	0.03964	1.000
May.20	0.03679	0.707
Haz.20	0.03172	0.186
Tem.20	0.02991	0.000
Ağu.20	0.03024	0.034
Eyl.20	0.031803	0.195
Eki.20	0.03399	0.419
Kas.20	0.03346	0.365
Ara.20	0.03346	0.365
Oca.21	0.03776	0.807
Şub.21	0.03697	0.725
Mar.21	0.03804	0.836
Nis.21	0.03830	0.862
May.21	0.03426	0.447

**Tablo 4.** CO gazı için S5p verileri (Mecidiyeköy istasyonu bölgesi)

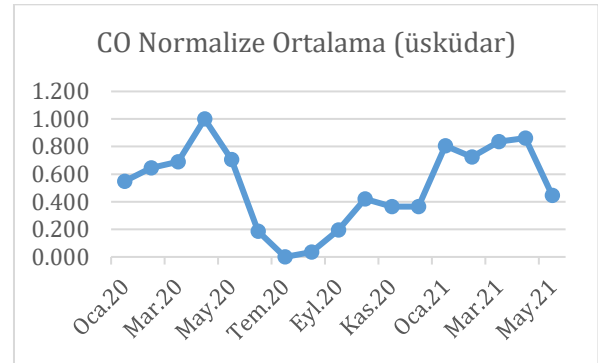
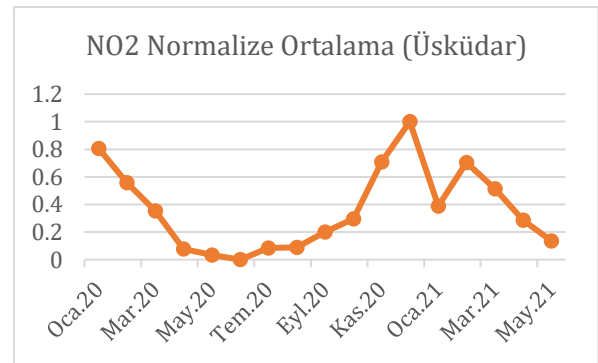
Tarih	CO Ortalama (mol/m <sup>2</sup> )	CO Normalize Ortalama
Oca.20	0.03536	0.523
Şub.20	0.03576	0.561
Mar.20	0.03768	0.743
Nis.20	0.04038	1.000
May.20	0.03575	0.560
Haz.20	0.03184	0.189
Tem.20	0.02986	0.000
Ağu.20	0.03030	0.042
Eyl.20	0.03169	0.174
Eki.20	0.03398	0.392
Kas.20	0.03343	0.340
Ara.20	0.03343	0.340
Oca.21	0.03826	0.799
Şub.21	0.03732	0.709
Mar.21	0.03847	0.818
Nis.21	0.03837	0.810
May.21	0.03406	0.400

**Tablo 5.** NO<sub>2</sub> gazı için S5p verileri (Üsküdar istasyonu bölgesi)

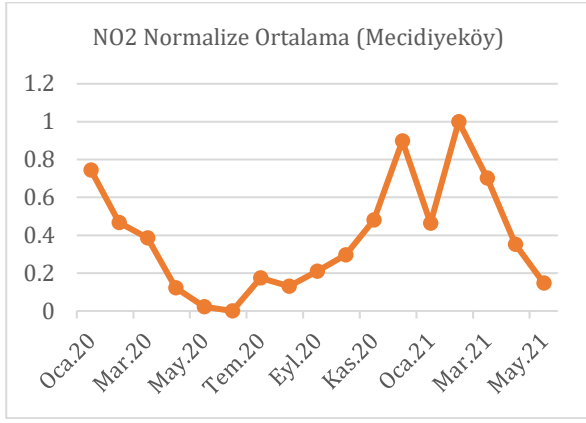
Tarih	NO <sub>2</sub> Ortalama (mol/m <sup>2</sup> )	NO <sub>2</sub> Normalize Ortalama
Oca.20	0.000215	0.807
Şub.20	0.000162	0.558
Mar.20	0.000118	0.353
Nis.20	0.000060	0.078
May.20	0.000050	0.033
Haz.20	0.000043	0.000
Tem.20	0.000061	0.085
Ağu.20	0.000062	0.089
Eyl.20	0.000086	0.200
Eki.20	0.000106	0.296
Kas.20	0.000194	0.709
Ara.20	0.000256	1.000
Oca.21	0.000126	0.388
Şub.21	0.000193	0.705
Mar.21	0.000152	0.513
Nis.21	0.000104	0.287
May.21	0.000072	0.136

**Tablo 6.** NO<sub>2</sub> gazı için S5p verileri (Mecidiyeköy istasyonu bölgesi)

Tarih	NO <sub>2</sub> Ortalama (mol/m <sup>2</sup> )	NO <sub>2</sub> Normalize Ortalama
Oca.20	0.000219	0.745
Şub.20	0.000152	0.468
Mar.20	0.000132	0.386
Nis.20	0.000069	0.123
May.20	0.000044	0.022
Haz.20	0.000039	0.000
Tem.20	0.000081	0.174
Ağu.20	0.000071	0.131
Eyl.20	0.000090	0.211
Eki.20	0.000111	0.297
Kas.20	0.000155	0.480
Ara.20	0.000256	0.898
Oca.21	0.000151	0.463
Şub.21	0.000280	1.000
Mar.21	0.000209	0.702
Nis.21	0.000124	0.352
May.21	0.000075	0.147

**Şekil 8.** S5p uydu verisinden üretilen Üsküdar istasyonu ve civarındaki CO değerlerinin zamansal değişimini gösteren grafik**Şekil 9.** S5p uydu verisinden üretilen Üsküdar istasyonu ve civarındaki NO<sub>2</sub> değerlerinin zamansal değişimini gösteren grafik





**Şekil 10.** S5p uydu verisinden üretilen Mecidiyeköy istasyonu ve civarındaki NO<sub>2</sub> değerlerinin zamansal değişimini gösteren grafik

**Tablo 7.** CO gazı için yersel Üsküdar istasyon verileri

Tarih	CO Ortalama (µg/m <sup>3</sup> )	CO Normalize Ortalama
Oca.20	965.060	0.008
Şub.20	1035.400	0.018
Mar.20	1204.020	0.043
Nis.20	1038.070	0.019
May.20	1028.040	0.017
Haz.20	1150.600	0.035
Tem.20	1035.020	0.018
Ağu.20	3268.980	0.345
Eyl.20	2718.310	0.265
Eki.20	5102.750	0.614
Kas.20	1215.940	0.045
Ara.20	6139.770	0.765
Oca.21	4162.540	0.476
Şub.21	5240.960	0.634
Mar.21	6780.590	0.859
Nis.21	7742.550	1.000
May.21	909.520	0.000

**Tablo 8.** CO gazı için yersel Mecidiyeköy istasyon verileri

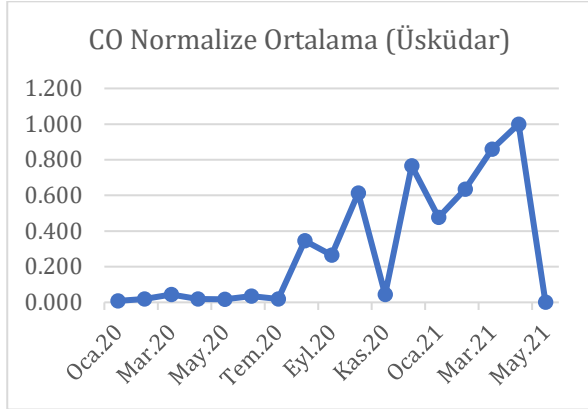
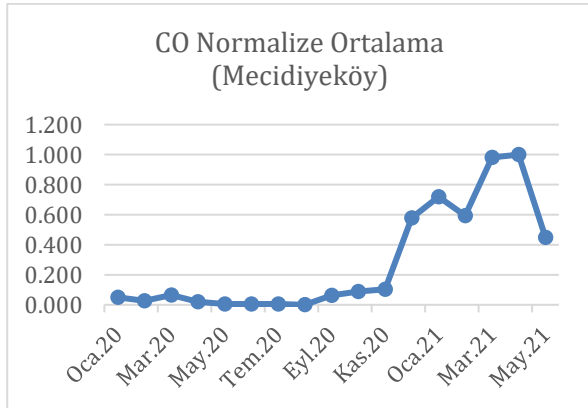
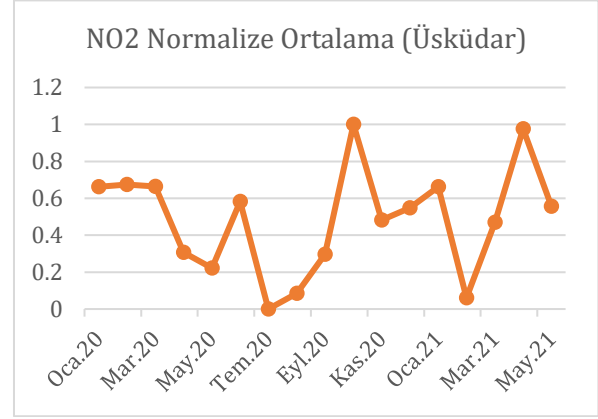
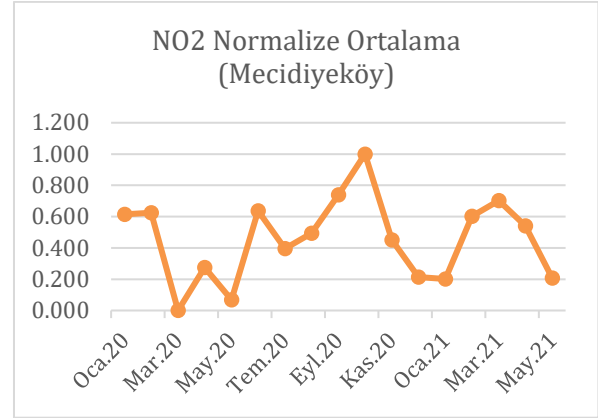
Tarih	CO Ortalama (µg/m <sup>3</sup> )	CO Normalize Ortalama
Oca.20	777.32	0.050
Şub.20	670.2	0.027
Mar.20	853.01	0.066
Nis.20	637.98	0.020
May.20	572.11	0.006
Haz.20	572.05	0.006
Tem.20	572.86	0.006
Ağu.20	544.19	0.000
Eyl.20	837.76	0.062
Eki.20	955.43	0.087
Kas.20	1025.78	0.102
Ara.20	3268.46	0.579
Oca.21	3925.24	0.718
Şub.21	3335.55	0.593
Mar.21	5162.14	0.981
Nis.21	5249.94	1.000
May.21	2653.59	0.448

**Tablo 9.** NO<sub>2</sub> gazı için yersel Üsküdar istasyon verileri

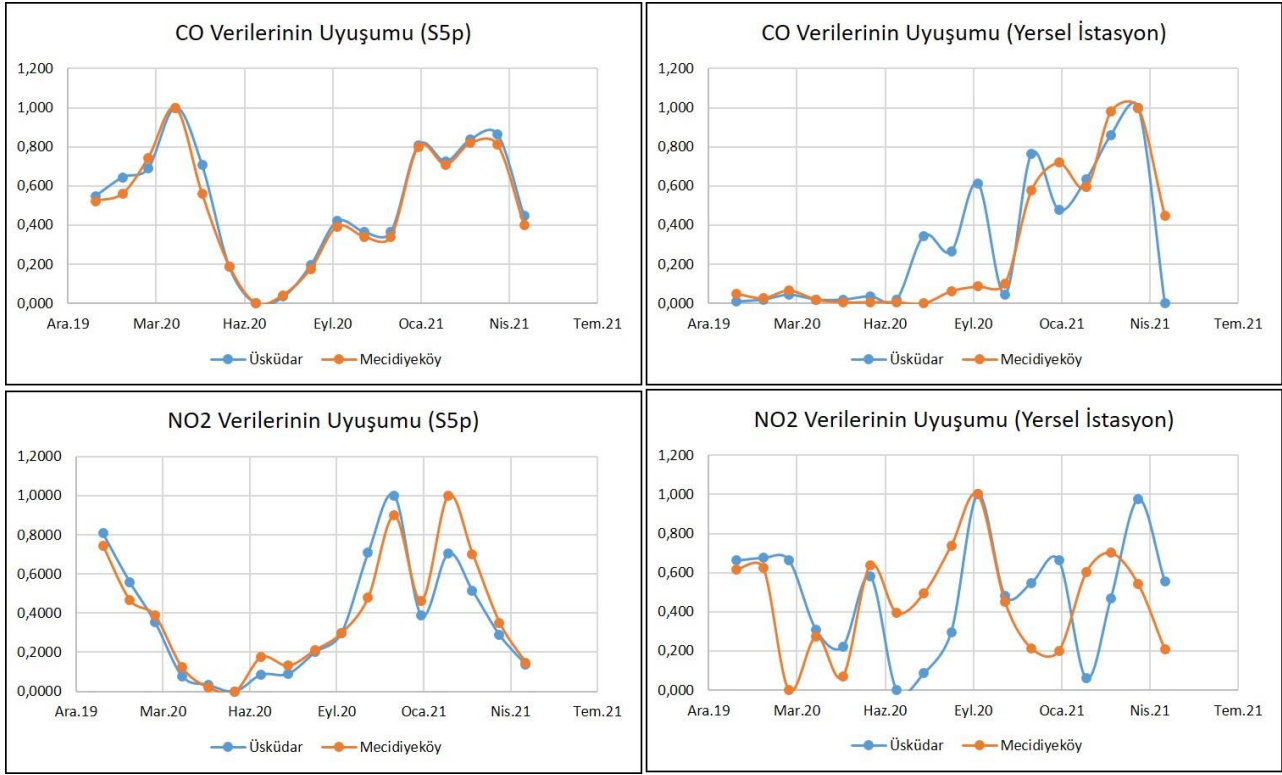
Tarih	NO <sub>2</sub> Ortalama (µg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> Normalize Ortalama
Oca.20	43.11	0.662
Şub.20	43.49	0.675
Mar.20	43.19	0.665
Nis.20	32.81	0.306
May.20	30.37	0.222
Haz.20	40.82	0.583
Tem.20	23.95	0.000
Ağu.20	26.42	0.085
Eyl.20	32.54	0.297
Eki.20	52.9	1.000
Kas.20	37.9	0.482
Ara.20	39.83	0.549
Oca.21	43.14	0.663
Şub.21	25.68	0.060
Mar.21	37.57	0.470
Nis.21	52.2	0.976
May.21	40.05	0.556

**Tablo 10.** NO<sub>2</sub> gazı için yersel Mecidiyeköy istasyon verileri

Tarih	NO <sub>2</sub> Ortalama (µg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> Normalize Ortalama
Oca.20	51.55	0.615
Şub.20	51.78	0.625
Mar.20	36.19	0.000
Nis.20	43.04	0.274
May.20	37.87	0.067
Haz.20	52.09	0.637
Tem.20	46.08	0.396
Ağu.20	48.53	0.494
Eyl.20	54.62	0.738
Eki.20	61.15	1.000
Kas.20	47.42	0.450
Ara.20	41.52	0.214
Oca.21	41.21	0.201
Şub.21	51.21	0.602
Mar.21	53.71	0.702
Nis.21	49.7	0.541
May.21	41.36	0.207

**Şekil 11.** Yersel istasyon verisinden üretilen Üsküdar istasyonu ve civarındaki CO değerlerinin zamansal değişimini gösteren grafik**Şekil 12.** Yersel istasyon verisinden üretilen Mecidiyeköy istasyonu ve civarındaki CO değerlerinin zamansal değişimini gösteren grafik**Şekil 13.** Yersel istasyon verisinden üretilen Üsküdar istasyonu ve civarındaki NO<sub>2</sub> değerlerinin zamansal değişimini gösteren grafik**Şekil 14.** Yersel istasyon verisinden üretilen Mecidiyeköy istasyonu ve civarındaki NO<sub>2</sub> değerlerinin zamansal değişimini gösteren grafik

Şekil 15'te görüldüğü gibi verilerin uyumlu olup olmadığının belirlenmesi için oluşturulan grafiklerde S5p verisinin kendi içinde daha kabul edilebilir sonuçlar ürettiği görülmektedir. Yersel istasyon verilerinde oluşan anlık farklar ise yersel istasyonların S5p verileri ile direkt olarak kıyaslanabilir olmadığını ortaya koymaktadır.



**Şekil 15.** Yersel istasyon verisinden üretilen Mecidiyeköy istasyonu ve civarındaki NO<sub>2</sub> değerlerinin zamansal değişimini gösteren grafik

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada belirlenen amaç İstanbul İli merkez ilçelerinde Üsküdar ve Şişli için havada bulunan CO ve NO<sub>2</sub> gaz konsantrasyonlarını S5p uydu verileri ve yersel hava kalitesi istasyonları kullanarak tespit edebilmektir. Bu amaç doğrultusunda GEE platformundan elde edilen S5p verileri ve Üsküdar-Mecidiyeköy istasyon verileri metrik olarak değerlendirilmiştir. Ortaya konulan bulgular ile insanlar için temel yaşam kaynağı olan temiz hava içindeki kirletici gazların konsantrasyon değerlerinin belirlenebildiği gösterilmiştir. Çalışma Ocak 2020 ile Mayıs 2021 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Farklı verilerin analizinde birim olarak birliktelik sağlanabilmesi için kullanılan normalizasyon yönteminin olumlu sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Atmosferik ölçümler yapan S5p uydusu havadaki gazların bir bölümünü farklı bir atmosferik seviyede tespit edebiliyorken, yersel hava kalitesi izleme istasyonları havadaki gazların bir bölümünü daha yeryüzüne yakın seviyede tespit edebilmektedir. Bu sebeple ortaya konulan sonuçlar bir alt model oluşturmadan birbirleriyle direkt olarak ilişkilendirilememiştir.

#### Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan S5p verileri için Avrupa Uzay Ajansı (ESA), verilerin elde edilmesi için Google Earth Engine platformu, yersel hava kalitesi verilerinin elde edilmesi için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve demografik bilgiler için Türkiye İstatistik Kurumu (TUIK) yetkililerine destekleri için teşekkür ederim.

#### Araştırmacıların katkı oranı beyan özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamıştır.

#### Çıkar çatışması beyanı

Makale ile ilgili olarak, herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile mali çıkar çatışması yoktur.

#### Araştırma ve yayın etiği beyanı

Yapılan çalışmada yazarlar, araştırma ve yayın etiğine aykırı bir durum olmadığını ve çalışmanın etik kurul izni gerektirmediğini beyan etmektedir.

#### EKLER

##### Ek 1:

```
import geometry.
var sentinel5p =
ee.ImageCollection('COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_C
O')
.select('CO_column_number_density')
.filterDate('2021-05-01', '2021-05-30')
```

```

.filterBounds(geometry);
var mean = sentinel5p.mean();
var output = mean.toFloat();
var native_resolution =
output.projection().nominalScale();
var band_viz = {
  min: 0,
  max: 0.05,
  palette: ['black', 'blue', 'purple', 'cyan', 'green',
'yellow', 'red']
};
Map.addLayer(sentinel5p.mean(), band_viz, 'S5P
CO');
Map.setCenter(32, 41, 8);
Export.image.toDrive(
{
  image: output,
  folder: 'CO_1',
  description: 'CO_21_05',
  scale: 500,
  region: geometry
}
);

```

#### Ek 2:

```

var geometry =
  /* color: #98ff00 */
  /* displayProperties: [
    {
      "type": "rectangle"
    }
  ] */
  geometry;
var sentinel5p =
ee.ImageCollection('COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_N
O2')
.select('tropospheric_NO2_column_number_density'
)
.filterDate('2021-05-01', '2021-05-30')
.filterBounds(geometry);
var mean = sentinel5p.mean();
var output = mean.toFloat();
var native_resolution =
output.projection().nominalScale();
var band_viz = {
  min: 0,
  max: 0.0002,
  palette: ['black', 'blue', 'purple', 'cyan', 'green',
'yellow', 'red']
};
Map.addLayer(sentinel5p.mean(), band_viz, 'S5P
NO2');
Map.setCenter(33, 41, 8);
Export.image.toDrive(
{
  image: output,
  folder: 'NO2_1',
  description: 'NO2_21_05',
  scale: 1000,
  region: geometry
}
);

```

#### KAYNAKÇA

- Albarqouni, M.M.Y., Yagmur, N., Bektas Balcik, F., Sekertekin A., (2022). A Assessment of Spatio-Temporal Changes in Water Surface Extents and Lake Surface Temperatures Using Google Earth Engine for Lakes Region, *Türkiye. ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2022, 11, 407. <https://doi.org/10.3390/ijgi11070407>
- 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.
- Jain, S., Shukla, S., & Wadhvani, R. (2018). Dynamic selection of normalization techniques using data complexity measures. *Expert Systems with Applications*, 106, 252-262.
- Kalıpcı, E. & Başer, V. (2019). Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ve Hava Kalitesi Verileri Kullanılarak Türkiye'nin Hava Kirliliğinin Değerlendirilmesi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 9 (2) , 377-389. <https://doi.org/10.31466/kfbd.645698>
- Kappal, S. (2019). Data normalization using median median absolute deviation MMAD based Z-score for robust predictions vs. min-max normalization. *London Journal of Research in Science: Natural and Formal*.
- Kaplan G. & Yigit Avdan Z. (2019). Space-borne air pollution observation from Sentinel-5p Tropomi: relationship between pollutants, geographical and demographic data. *International Journal of Engineering and Geosciences*. 2020; 5(3): 130-137.
- Karaca, M., Yağmur, N. & Balçık, F. (2022). İstanbul Terkos Gölü zamansal değişiminin Google Earth Engine kullanılarak belirlenmesi . *Geomatik* , 7 (3) , 235-242 . <https://doi.org/10.29128/geomatik.975714>
- Nazarenko, Y., Pal, D., & Ariya, P. A. (2021). Air quality standards for the concentration of particulate matter 2.5, global descriptive analysis. *Bulletin of the World Health Organization*, 99(2), 125-137D. <https://doi.org/10.2471/BLT.19.245704>
- Shami, S., Ranjgar, B., Bian, J., Khoshlahjeh Azar, M., Moghimi, A., Amani, M., & Naboureh, A. (2022). Trends of CO and NO2 Pollutants in Iran during COVID-19 Pandemic Using Timeseries Sentinel-5 Images in Google Earth Engine. *Pollutants*, 2(2), 156-171.

Shams, S.R., Jahani, A., Kalantary, S. et al. (2021). Artificial intelligence accuracy assessment in NO2 concentration forecasting of metropolises air. *Sci Rep* 11, 1805 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81455-6>

URL-1: <https://sim.csb.gov.tr/>  
[Erişim Tarihi: 01.08.2022]

URL-2: <https://code.earthengine.google.com/>  
[Erişim Tarihi: 01.08.2022]

Sünsüli M. & Kalkan K. (2022). Sentinel-5p Uydu Görüntüleri İle Azot Dioksit (NO2) Kirliliğinin İzlenmesi. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*. 2022; 4(1): 1-6.

URL-3: <https://data.tuik.gov.tr>  
[Erişim Tarihi: 01.08.2022]

Taheri, S., & Razban, A. (2021). Learning-based CO2 concentration prediction: Application to indoor air quality control using demand-controlled ventilation. *Building and Environment*, 205, 108164.



© Author(s) 2022.

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