

Analiza prostorno-vremenske raspodjele onečišćujućih plinova korištenjem podataka Sentinel-5P TROPOMI na Google Earth Engine platformi tijekom COVID-19 pandemije u Mramornoj regiji u Turskoj

Neslihan Cakmak

Tehničko sveučilište Yildiz, Odjel za geomatičko inženjerstvo, mr. sc.,
neslihan.cakmak@std.yildiz.edu.tr

Osman Salih Yilmaz

Sveučilište Manisa Celal Bayar, Stručna škola Demirci, dr.sc., osmansalih.yilmaz@cbu.edu.tr

Fusun Balik Sanli

Tehničko sveučilište Yildiz, Odjel za geomatičko inženjerstvo, dr. sc., fbalik@yildiz.edu.tr

Sažetak: U ovoj studiji su analizirane promjene u koncentraciji zagađujućih plinova dušikovog dioksida (NO₂), ugljen monoksida (CO) i sumpor dioksida (SO₂) između lipnja 2019. i lipnja 2021. godine, u vrijeme pandemije COVID-19. U tu svrhu, mjesečni i godišnji prosjeci vrijednosti Sentinel-5P TROPOspheric Monitoring Instrument (TROPOMI) su izračunati na Google Earth Engine (GEE) platformi. Prema rezultatima dobivenim korištenjem GEE platforme, prosječne vrijednosti gustoće stupaca NO₂, CO i SO₂ u Mramornoj regiji između odabranih datuma iznosile su 8,40E-05 mol/m², 3,23E-02 mol/m², odnosno 3,75E-04 mol/m². Tijekom lockdowna, ove vrijednosti su se smanjile na 7,84E-05 mol/m², 3,05E-02 mol/m², odnosno 2,75E-04 mol/m². Prema TROPOMI podacima, ove tri vrijednosti gustoće plina su pokazale trend smanjenja tijekom lockdowna uslijed COVID-19 pandemije. Međutim, tijekom 25-mjesečnog ispitivanja općenito, ove tri vrijednosti emisije plinova pokazale su trend rasta zbog rasta stanovništva, industrijalizacije i povećanja gustoće prometa.

Ključne riječi: Sentinel-5P, TROPOMI, NO₂, CO, SO₂, Google Earth Engine, COVID-19

Spatio-temporal Analysis of Pollutant Gases using Sentinel-5P TROPOMI Data on the Google Earth Engine during the COVID-19 Pandemic in the Marmara Region, Türkiye

Abstract: In this study, the changes in nitrogen dioxide (NO₂), carbon monoxide (CO) and sulfur dioxide (SO₂) pollutant gases were examined between June 2019 and June 2021 during the COVID-19 pandemic period. For this purpose, monthly and annual averages of Sentinel-5P TROPOspheric Monitoring Instrument (TROPOMI) values were calculated on the Google Earth Engine (GEE) platform. According to the results obtained using the GEE platform, the average column density values of NO₂, CO, and SO₂ in the Marmara Region between the selected dates were calculated as 8.40E-05 mol/m², 3.23E-02 mol/m², and 3.75E-04 mol/m², respectively. During the lockdown, these values decreased to 7.84E-05 mol/m², 3.05E-02 mol/m² and 2.75E-04 mol/m² respectively. According to TROPOMI data, these three gas column density values showed a decreasing trend during the COVID-19 pandemic lockdown period. However, in a 25-month examination in general, these three gas values showed an increasing trend due to population growth, industrialization, and increasing traffic density.

Key words: Sentinel-5P, TROPOMI, NO₂, CO, SO₂, Google Earth Engine, COVID-19

Çakmak, N., Yılmaz, O. S., Sanli, F. B.

Analiza prostorno-vremenske raspodjele onečišćujućih plinova korištenjem podataka Sentinel-5P TROPOMI na Google Earth Engine platformi tijekom COVID-19 pandemije u Mramornoj regiji u Turskoj

1. UVOD

Za zaštitu javnog zdravlja i okoliša, ključno je poduzeti mjere za smanjenje onečišćenja zraka. Također je važno pratiti kvalitetu zraka kako bi se pronašla područja s visokim razinama onečišćenja i poduzele potrebne mjere za smanjenje izloženosti. Napredak u tehnologiji daljinskog očitavanja učinio je praćenje kvalitete zraka jednostavnijim i pristupačnijim, a ove informacije se mogu koristiti za donošenje odluka o planiranju namjene zemljišta i drugim politikama. Općenito, za zdravlje i dobrobit sadašnjih i budućih generacija bitno je podići svijest o opasnostima onečišćenja zraka i poduzeti mjere na svim razinama, od pojedinca do vlade, kako bi se smanjile emisije i poboljšala kvaliteta zraka.

Koncentracija opasnih plinova u atmosferi brzo raste diljem svijeta zbog industrijalizacije, urbanizacije, porasta broja motornih vozila koja prate urbani razvoj, automatizacije, krčenja šuma i potrošnje fosilnih goriva (Singh i sur. 2023.). Ovo povećanje onečišćenja zraka uzrokuje smrt više od milijun ljudi diljem svijeta svake godine zbog štete koju nanosi plućima i dišnom sustavu, osobito u prenapučenim gradovima (Shah i sur. 2013.; Fu i sur. 2020.). Prema podacima Svjetske zdravstvene organizacije (SZO, 2016.), onečišćenje zraka uzrokuje jedan od devet smrtnih slučajeva. Najčešći zagađivači uključuju dušikov dioksid (NO_2), sumpor dioksid (SO_2), ugljični monoksid (CO), prizemni ozon (O_3) i lebdeće čestice ($\text{PM}_{2.5}$ i PM_{10}). Svi ovi zagađivači, osobito u osjetljivoj populaciji s plućnim bolestima ili astmom, povezani su s razvojem i/ili pogoršanjem respiratornih bolesti koje smanjuju funkciju pluća (Halonen i sur. 2009.). CO može izazvati blage kardiovaskularne i neurobihevioralne učinke, čak i pri niskim koncentracijama (Raub i sur. 2000.).

Izvori zagađivača zraka se mogu podijeliti u dvije kategorije: umjetni i prirodni. Prirodni izvori uključuju požare, vulkanske erupcije i pelud, dok umjetni izvori zagađivača zraka uključuju NO_2 , CO, SO_2 , lebdeće čestice i upotrebu industrijskog goriva (Sakti i sur. 2023.). Kvaliteta zraka može se mjeriti pomoću zemaljskih stanica ili putem satelita za promatranje Zemlje. Posljednjih godina, tehnike daljinskog očitavanja postale su raširene za praćenje plinova koji onečišćuju zrak na globalnoj razini (Yılmaz i sur. 2023.). Satelitska tehnologija Sentinel-5P (Precursor) je najnovija tehnologija koju je pokrenula Europska svemirska agencija (ESA) 2017. godine za promatranje kvalitete zraka i zagađivača zraka kao što su O_3 , metan (CH_4), formaldehid (HCHO), CO, NO_2 i SO_2 (Nugroho 2023.). Jedna od novijih tehnologija daljinskog očitavanja, platforma Google Earth Engine (GEE), sadrži razne satelitske slike kao što su Landsat, Sentinel i MODIS koje se mogu koristiti u mnoge istraživačke svrhe (Ateş 2022.; Ateş i sur. 2022.; Matci i sur. 2022.; Yılmaz i sur. 2022.). GEE, jedna od novih tehnologija posljednjih godina, također omogućuje lako izvođenje složenih analiza kao što su obrada slike, klasifikacija, otkrivanje promjena i analiza vremenskih nizova, uključujući ekstrakciju slikovnih statističkih podataka, čime se štedi vrijeme i brzina (Acar i sur. 2021.; Sannigrahi i sur. 2021.; Yılmaz i sur. 2023.).

Pandemija COVID-19, čiji se utjecaj 2019. godine brzo proširio svijetom, donijela je sa sobom razna znanstvena istraživanja. Pažnja znanstvenika je bila usmjerena na utjecaj sveobuhvatnog ograničenja kretanja provedenog tijekom procesa izolacije na onečišćenje zraka. Ghasempour i sur. (2021.) istraživali su prostorno-vremensku raspodjelu promjene NO_2 i SO_2 iz Sentinel-5P TROPospheric Monitoring Instrument (TROPOMI) i optičke dubine aerosola (AOD) izvedene iz MODIS-a u Turskoj tijekom razdoblja COVIDA-19 između siječnja 2019. i rujna 2020. godine. Prema rezultatima, plin NO_2 doseže minimalne vrijednosti u proljeće, zatim počinje rasti u ljetnim mjesecima i doseže maksimalne vrijednosti u zimskim mjesecima. Za razliku od NO_2 , SO_2 je ostao na minimalnim vrijednostima tijekom cijele proljetne i ljetne sezone. Ogen (2020.) je istraživao odnos između dugotrajne izloženosti NO_2 i stope smrtnosti od COVIDA-19. Studija je otkrila da je se 78% od 4443 smrtnih slučajeva od COVIDA-19 dogodilo u pet regija koje se nalaze u sjevernoj Italiji i središnjoj Španjolskoj,

Çakmak, N., Yilmaz, O. S., Sanli, F. B.

Analiza prostorno-vremenske raspodjele onečišćujućih plinova korištenjem podataka Sentinel-5P TROPOMI na Google Earth Engine platformi tijekom COVID-19 pandemije u Mramornoj regiji u Turskoj

koje su također imale najviše koncentracije NO₂ i slab protok zraka za učinkovito raspršenje. Zhang i sur. (2021.) su u svojoj studiji istraživali učinke izbijanja COVIDA-19 na globalnu kvalitetu zraka ispitivanjem globalne dinamike NO₂ dobivene satelitskim promatranjima između 1. siječnja i 30. travnja 2020. godine. Za istraživanje ovog odnosa korišten je nenadzirani algoritam strojnog učenja nazvan Apriori. U svojoj studiji otkrili su da je u zemljama u kojima je primijenjen lockdown došlo do smanjenja vrijednosti NO₂. Metya i sur. (2020.) koristili su CO i NO₂ dobivene iz atmosferskog infracrvenog sondera (ARIS) i SO₂ dobivene iz instrumenta za praćenje ozona (OMI) u Indiji i Kini u razdoblju od siječnja do travnja 2020. godine. Rezultati su pokazali da su se razine NO₂ u troposferi smanjile u prosjeku za 17% iznad Indije i 25% iznad Kine. Osim toga, uočeno je smanjenje od oko 17% u graničnom sloju SO₂ iznad istočnog sektora Indije, i utvrđeno je smanjenje CO od 6,5% iznad sjeverne središnje Kine.

Zagađenje zraka, koje je veliki problem u mnogim zemljama diljem svijeta i koje ozbiljno utječe na ljudsko zdravlje, je jedan od najvažnijih problema i u Turskoj. Mramorna regija, najvažnija regija Turske koja geopolitički povezuje Europu i Aziju, je regija koja je najviše pogođena onečišćenjem zraka kada se uzme u obzir urbanizacija, industrijalizacija i raznolikost trgovačkih puteva. Činjenica da su oblici reljefa manje neravni u usporedbi s drugim geografskim regijama Turske učinila je ovu regiju pogodnijom za život. Zbog toga je Mramorna regija postala regija koja prima više migracija. Glavni cilj ove studije je pratiti vrijednosti rasprostiranja zagađujućih plinova NO₂, CO i SO₂ dobivenih s uređaja Sentinel-5P TROPOMI na GEE platformi u Mramornoj regiji tijekom razdoblja COVIDA-19. Prvi slučaj COVIDA-19 u Turskoj zabilježen je 11. ožujka 2020. godine, a procesi ograničenja kretanja i strogog nadzora su započeli od tog datuma. Ove mjere su postupno smanjivane nakon lipnja 2020. godine. U ovoj studiji analizirana je raspodjela zagađujućih plinova u razdoblju između lipnja 2019. i lipnja 2021. godine, uključujući razdoblje prije lockdowna uslijed COVIDA-19 i razdoblje nakon lockdowna. Dobiveni rezultati mogu biti korisni za istraživanja kao što su sprečavanje onečišćenja zraka i smanjenje učinaka stakleničkih plinova i globalnih klimatskih promjena. Ova studija također pokazuje da je GEE platforma brz i prikladan alat za analizu problema na koje izravno utječe onečišćenje zraka, kao što su zagađenje okoliša, zdravlje ljudi i gradovi pogodni za život.

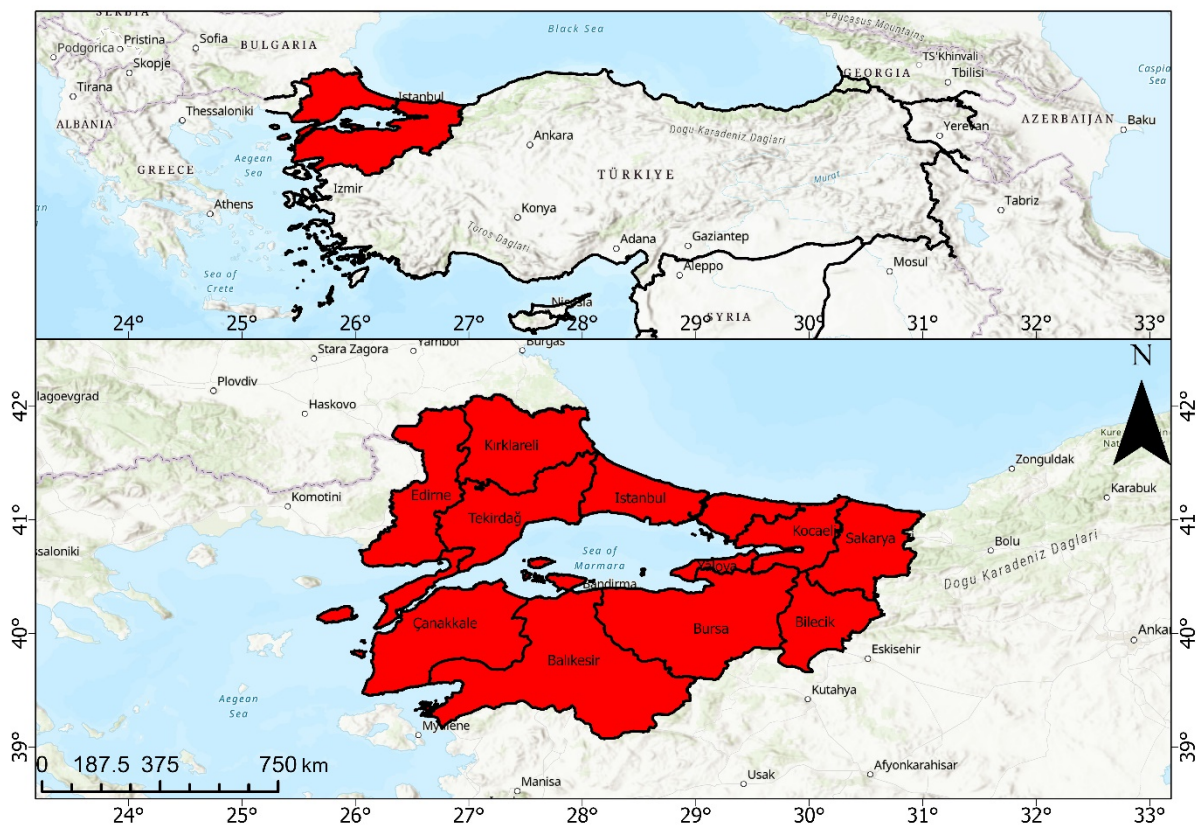
2. MATERIJAL I METODA

1.1 Područje istraživanja

U ovoj studiji kao područje istraživanja odabrana je Mramorna regija. Mramorna regija ima površinu od približno 67.000 km² i jedna je od sedam geografskih regija Turske. Mramorna regija, s približno 24.899.126 stanovnika, je najnaseljenija regija Turske. Regija je vrlo važna zbog svog geopolitičkog položaja, budući da je povezana s Crnim morem, Mramornim morem i Egejskim morem, a tu se nalaze i tjesnaci Dardaneli i Bospor. Regija služi kao most koji povezuje Aziju i Europu. Porast populacije ljudi doveo je do mnogih problema kao što su onečišćenje zraka, onečišćenje okoliša te pomorski i kopneni promet. U Mramornoj regiji nalaze se pokrajine Balikesir, Bilecik, Bursa, Canakkale, Edirne, Istanbul, Kirklareli, Kocaeli, Sakarya, Tekirdag i Yalova, a razine onečišćenja zraka u svakoj pokrajini variraju ovisno o nekoliko čimbenika kao što su stanovništvo, industrija i klima. Područje istraživanja prikazano je na slici 1.

Çakmak, N., Yılmaz, O. S., Sanli, F. B.

Analiza prostorno-vremenske raspodjele onečišćujućih plinova korištenjem podataka Sentinel-5P TROPOMI na Google Earth Engine platformi tijekom COVID-19 pandemije u Mramornoj regiji u Turskoj



Slika 1. Područje istraživanja

1.2 Korišteni podaci

Sentinel-5P je prva Copernicus misija posvećena praćenju atmosfere. Sastoji se od satelita koji nosi instrument TROPOMI, koji je svemirski spektrometar za zenitno promatranje koji pokriva pojaseve valnih duljina između ultraljubičastog i kratkovalnog infracrvenog. Instrument TROPOMI pruža mogućnosti snimanja različitih atmosferskih komponenti.

Sentinel 5P je uređaj za daljinsko istraživanje koji koristi tehnike pasivnog očitavanja. Instrument radi u linijskoj (push-broom) konfiguraciji sa širinom skeniranja od približno 2600 km na površini Zemlje. Za sve spektralne pojaseve, osim UV1 pojasa (7x28 km²) i SWIR pojaseva (7x7 km²) u blizini zenitnog kuta promatranja, tipična veličina piksela je 7x3,5 km² (Kaplan i Yigit Avdan 2020.). Primarni cilj misije Sentinel 5P je prikupljanje atmosferskih mjerenja kvalitete zraka, ozona, UV zračenja, praćenje klime i predviđanje, pružajući korisne podatke za procjenu kvalitete zraka (Grzybowski i sur. 2023.).

Instrument TROPOMI otkriva atmosferske koncentracije O₃, CH₄, HCHO, CO, NO₂ i SO₂ (Yılmaz i sur. 2023.). Dušikovi oksidi kao što su NO₂ i NO su važni plinovi u tragovima prisutni u troposferi i stratosferi, a ispuštaju se u atmosferu zbog ljudskih aktivnosti (osobito sagorijevanja fosilnih goriva i izgaranja biomase) i prirodnih procesa (šumski požari, munje i mikrobiološki procesi u tlu) (Hahn i Crutzen 1982.). CO plin je bezbojan, bez mirisa i otrovan plin u zraku. CO je nusprodukt sagorijevanja i može se osloboditi iz različitih izvora kao što su sagorijevanje fosilnih goriva, ispušni plinovi vozila, požari i pušenje (Dey i Dhal 2019.). Kratkotrajna izloženost CO može izazvati simptome kao što su glavobolja, vrtoglavica,

Çakmak, N., Yılmaz, O. S., Sanlı, F. B.

Analiza prostorno-vremenske raspodjele onečišćujućih plinova korištenjem podataka Sentinel-5P TROPOMI na Google Earth Engine platformi tijekom COVID-19 pandemije u Mramornoj regiji u Turskoj

slabost, mučnina i povraćanje. Dugotrajna izloženost može dovesti do oštećenja mozga, srčanih poremećaja i smrti (Prockop i Chichkova 2007.; Karalliedde i Keshishian 2012.; Ng i sur. 2018.). SO₂ je također važan zagađivač zraka koji se oslobađa iz izvora kao što su sagorijevanje fosilnih goriva i vulkanske erupcije (Sharma i sur. 2013.). SO₂ može uzrokovati respiratorne probleme, poput astme i bronhitisa, te može doprinijeti stvaranju kisele kiše (Nduka i sur. 2008.).

3. REZULTATI

Na GEE platformi, vrijednosti gustoće stupaca NO₂, CO i SO₂ koje daje instrument TROPOMI na satelitskoj platformi Sentinel-5P dane su zasebno za svaku pokrajinu. Za ova tri plina u jedanaest pokrajina tijekom 25 mjeseci izrađeno je ukupno 825 karata. Mjesečni prosjeci piksela ovih karata rasterskog formata pokazuju prosječnu koncentraciju plina u svakoj pokrajini. Kako bi se izračunala prosječna vrijednost emisije plinova za pokrajinu tijekom 25 mjeseci, prosjek ovih vrijednosti je izračunat za ukupno 25 mjeseci. Statističke vrijednosti za ova tri plina prikazane su u tablici 1.

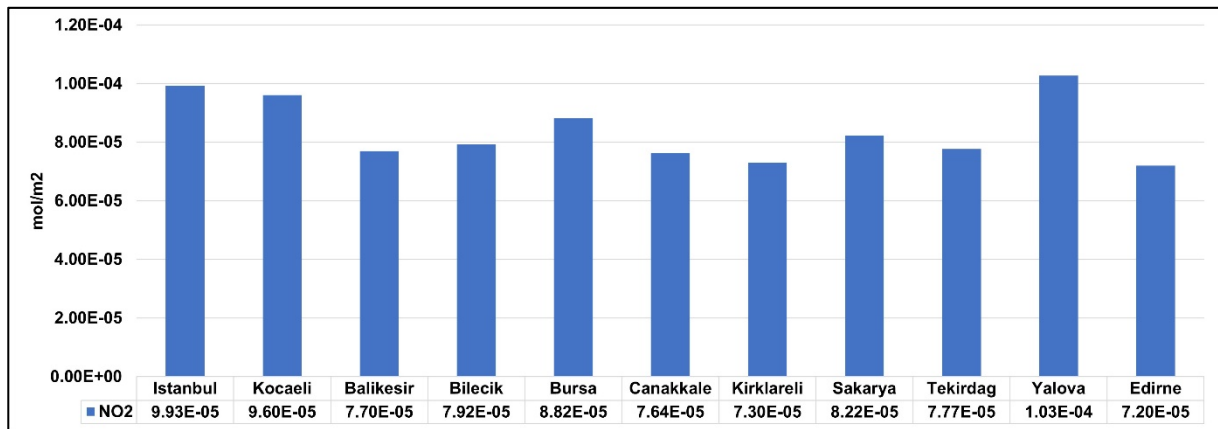
Tablica 1. Statistički podaci o gustoći stupaca NO₂, CO i SO₂

Pokrajina	NO ₂			CO			SO ₂		
	Min.	Max.	Pros.	Min.	Max.	Pros.	Min.	Max.	Pros.
Istanbul	7.82E-05	1.37E-04	9.93E-05	2.93E-02	3.94E-02	3.34E-02	4.67E-05	2.48E-03	3.76E-04
Kocaeli	7.67E-05	1.43E-04	9.60E-05	2.93E-02	3.85E-02	3.26E-02	5.46E-05	1.53E-03	3.71E-04
Balikesir	6.75E-05	9.08E-05	7.70E-05	2.83E-02	3.69E-02	3.15E-02	4.93E-05	1.22E-03	4.03E-04
Bilecik	7.13E-05	9.59E-05	7.92E-05	2.71E-02	3.56E-02	3.01E-02	2.61E-05	9.34E-04	3.46E-04
Bursa	7.59E-05	1.07E-04	8.82E-05	2.83E-02	3.71E-02	3.14E-02	3.91E-05	1.23E-03	4.07E-04
Canakkale	6.91E-05	8.77E-05	7.64E-05	2.91E-02	3.80E-02	3.24E-02	4.58E-05	1.23E-03	3.73E-04
Kirklareli	5.87E-05	8.64E-05	7.30E-05	2.84E-02	3.85E-02	3.25E-02	4.32E-05	3.24E-03	4.13E-04
Sakarya	7.30E-05	1.02E-04	8.22E-05	2.93E-02	3.83E-02	3.24E-02	2.53E-05	1.28E-03	3.49E-04
Tekirdag	6.54E-05	9.03E-05	7.77E-05	2.90E-02	3.90E-02	3.30E-02	3.98E-05	1.82E-03	3.50E-04
Yalova	8.36E-05	1.30E-04	1.03E-04	2.92E-02	3.87E-02	3.28E-02	3.80E-05	9.78E-04	3.72E-04
Edirne	5.97E-05	8.70E-05	7.20E-05	2.92E-02	3.92E-02	3.33E-02	5.18E-05	2.08E-03	3.76E-04

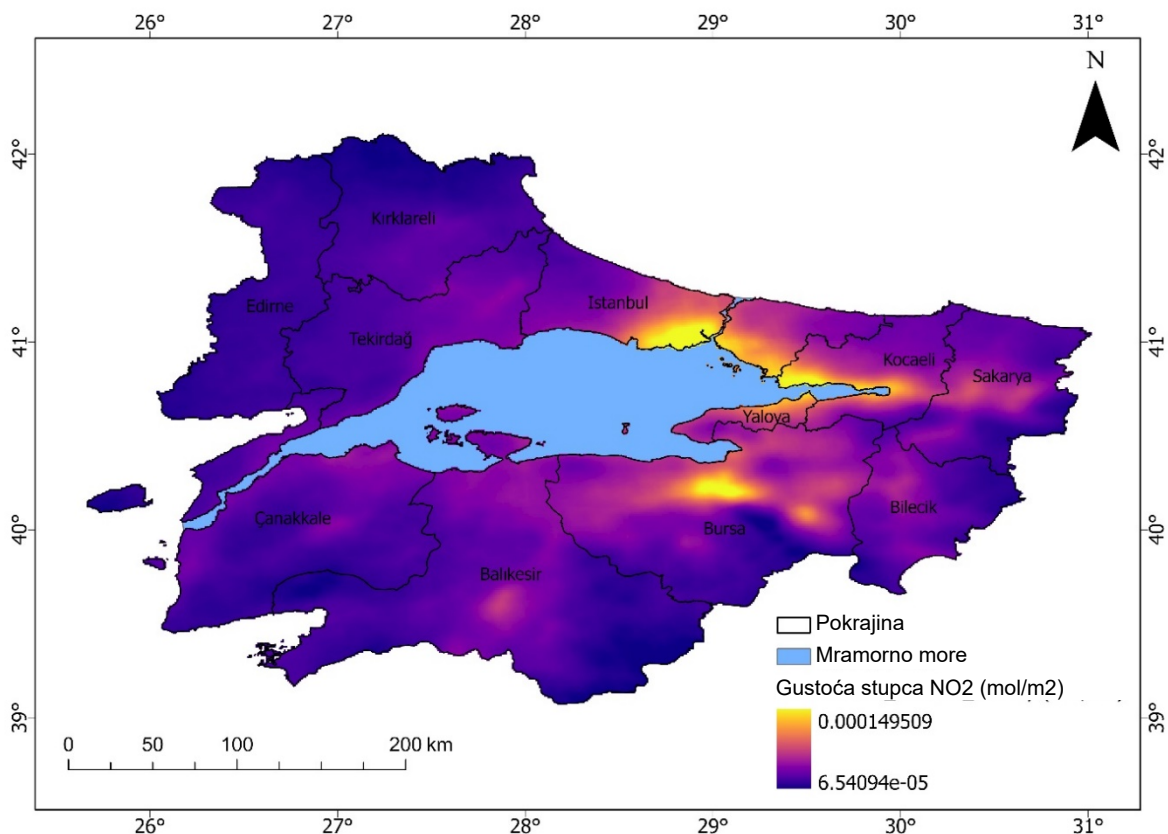
Na slici 2 prikazani su grafikon prosječne promjene NO₂ za sve pokrajine u Mramornoj regiji, a na slici 3 prikazana je karta prosječnog NO₂. Na temelju rezultata, minimalna gustoća stupca NO₂ u Mramornoj regiji iznosila je 7,20E-05 mol/m² u pokrajini Edirne, a maksimalna 1,03E-04 mol/m² u pokrajini Yalova. U Istanbulu, najvećem gradu regije, vrijednost gustoće stupca NO₂ iznosila je 9,93E-05 mol/m². Prosječna vrijednost gustoće stupca NO₂ izračunata za cijelu Mramornu regiju je 8,40E-05 mol/m². Na temelju ove prosječne vrijednosti, uočeno je da su pokrajine Istanbul, Kocaeli, Bursa i Yalova ostale iznad ove vrijednosti, dok su pokrajine Balikesir, Bilecik, Canakkale, Kirklareli, Sakarya, Tekirdag i Edirne ostale ispod prosjeka.

Çakmak, N., Yılmaz, O. S., Sanlı, F. B.

Analiza prostorno-vremenske raspodjele onečišćujućih plinova korištenjem podataka Sentinel-5P TROPOMI na Google Earth Engine platformi tijekom COVID-19 pandemije u Mramornoj regiji u Turskoj



Slika 2. Gustoća stupca NO₂ u pokrajinama u Mramornoj regiji između 2019. i 2022. godine



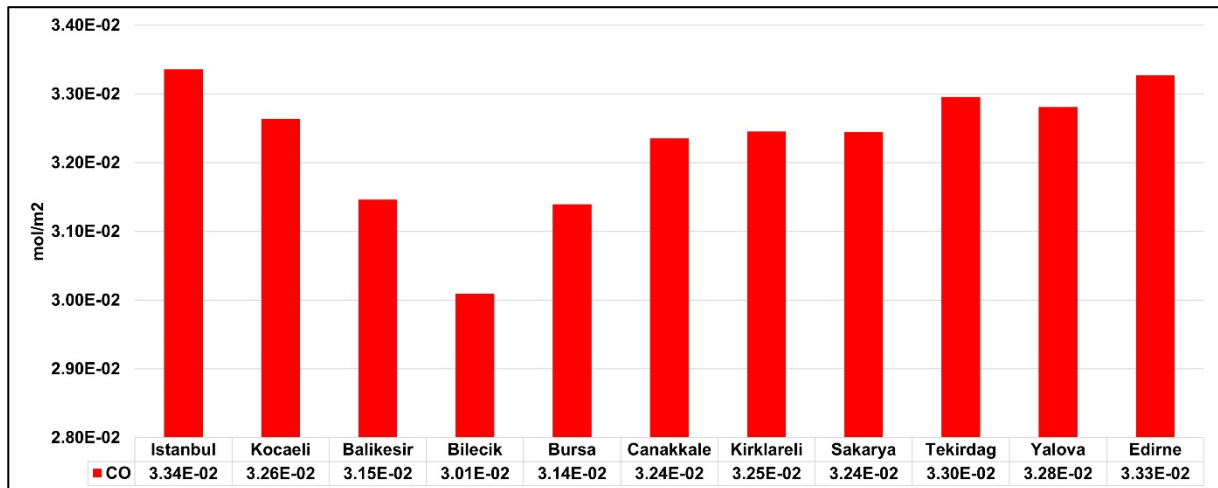
Slika 3. Karta prosječnog NO₂ za razdoblje 2019.-2022.

Na slici 4 prikazani su grafikoni promjene gustoće stupca CO za sve pokrajine u Mramornoj regiji, a na slici 5 prikazana je karta prosječnog CO. Prema rezultatima, minimalna gustoća stupca CO u Mramornoj regiji iznosila je 3,01E-02 mol/m² u pokrajini Bilecik, a maksimalna 3,34E-02 mol/m² u pokrajini Istanbul. Prosječna vrijednost gustoće stupca CO izračunata za cijelu Mramornu regiju je 3,23E-02 mol/m². S obzirom na prosječnu

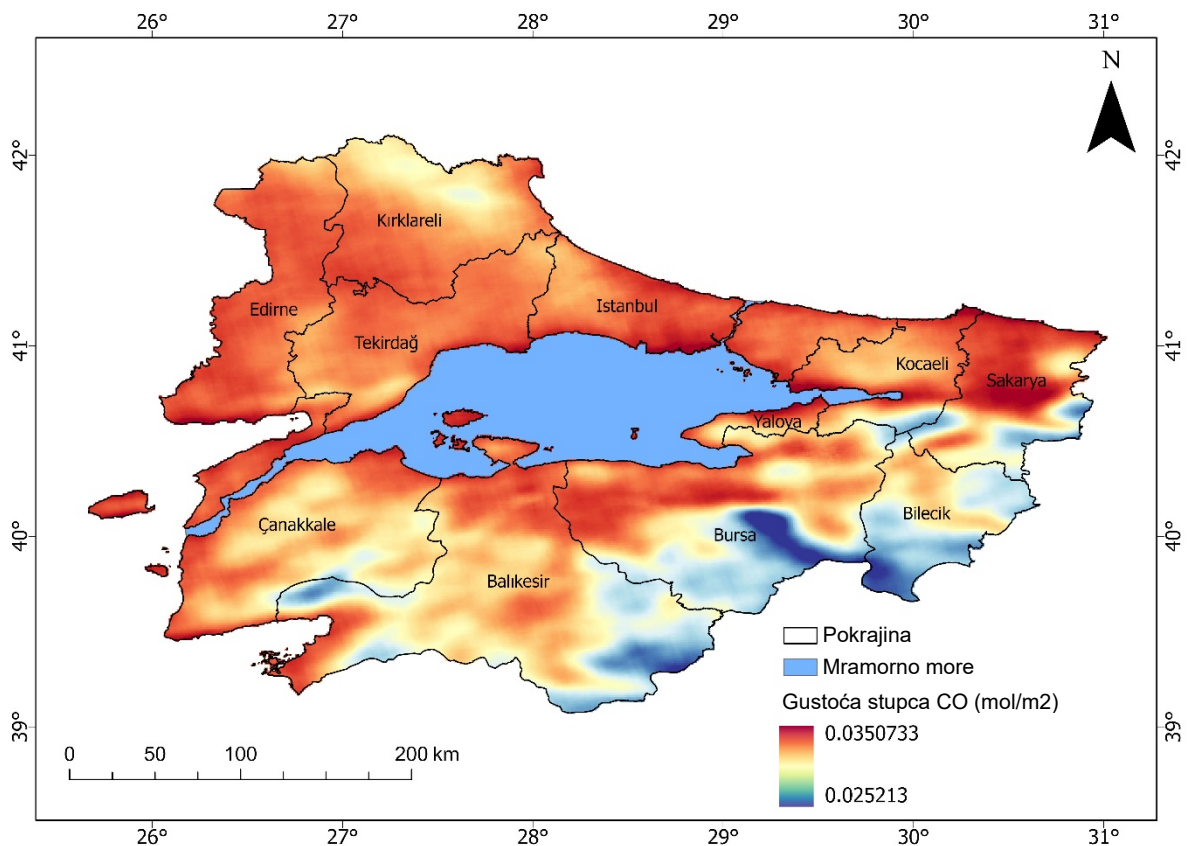
Çakmak, N., Yılmaz, O. S., Sanlı, F. B.

Analiza prostorno-vremenske raspodjele onečišćujućih plinova korištenjem podataka Sentinel-5P TROPOMI na Google Earth Engine platformi tijekom COVID-19 pandemije u Mramornoj regiji u Turskoj

vrijednost CO, pokrajine Istanbul, Kocaeli, Çanakkale, Kırklareli, Tekirdağ, Yalova i Edirne ostale su iznad prosjeka, dok su pokrajine Balıkesir, Bilecik i Bursa ostale ispod prosjeka.



Slika 4. Gustoća stupca CO u pokrajinama u Mramornoj regiji između 2019. i 2022. godine

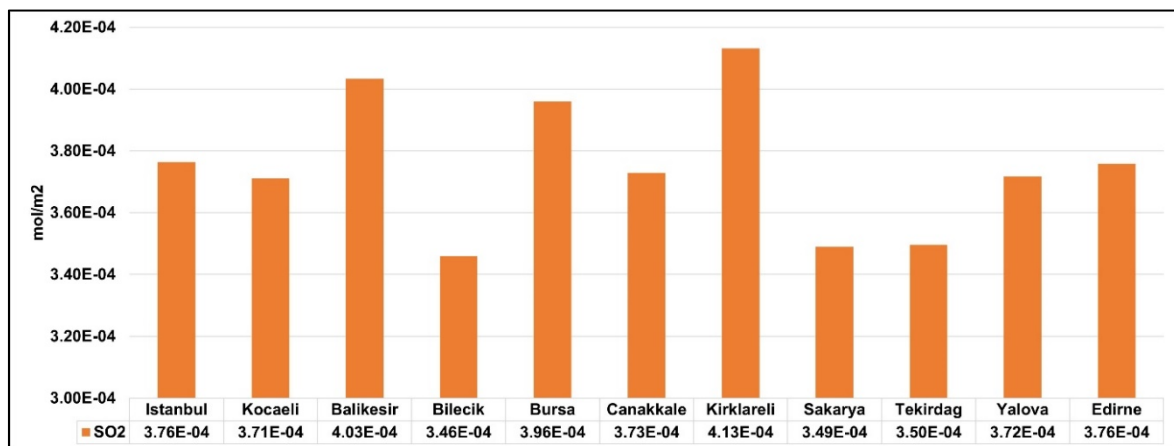


Slika 5. Karta prosječnog CO za razdoblje 2019.-2022.

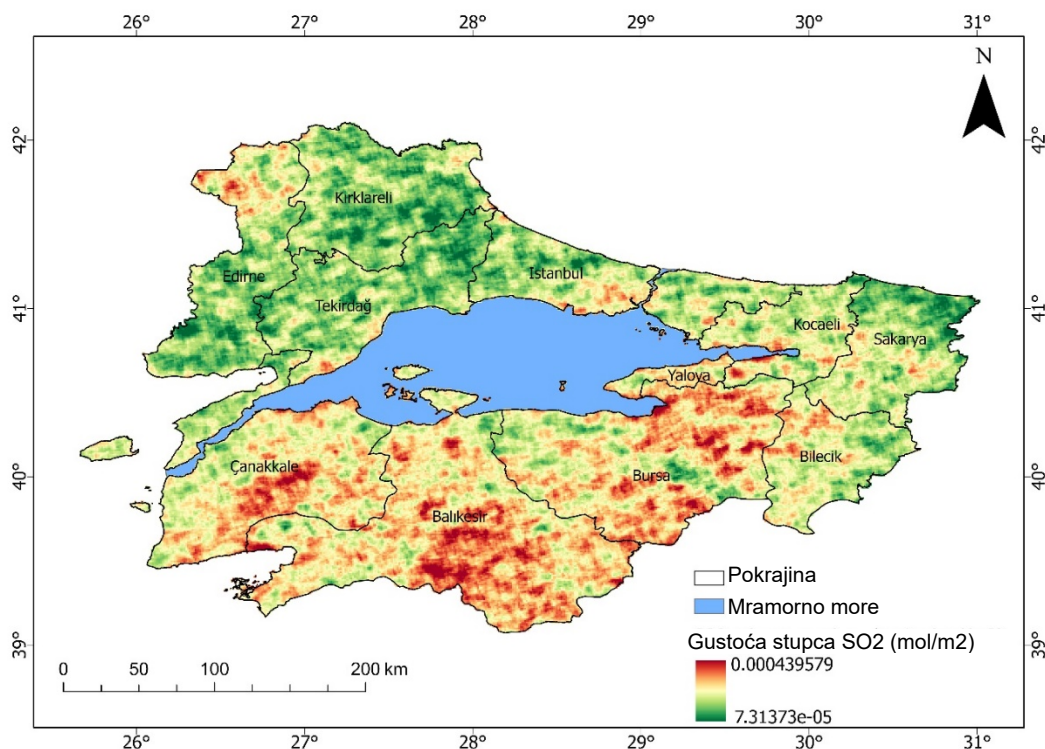
Çakmak, N., Yılmaz, O. S., Sanlı, F. B.

Analiza prostorno-vremenske raspodjele onečišćujućih plinova korištenjem podataka Sentinel-5P TROPOMI na Google Earth Engine platformi tijekom COVID-19 pandemije u Mramornoj regiji u Turskoj

Na slici 6 prikazani su grafikoni promjene SO_2 za sve pokrajine u Mramornoj regiji, a na slici 7 prikazana je karta prosječnog SO_2 . Prema rezultatima, minimalna gustoća stupca SO_2 u Mramornoj regiji iznosila je $3,46\text{E}-04$ mol/ m^2 u pokrajini Bilecik, a maksimalna $4,13\text{E}-04$ mol/ m^2 u pokrajini Kirklareli. U Istanbulu, jako velikom gradu regije, izračunata je vrijednost gustoće stupca SO_2 od $3,76\text{E}-04$ mol/ m^2 . Za cijelu Mramornu regiju izračunata je prosječna vrijednost gustoće stupca SO_2 od $3,75\text{E}-04$ mol/ m^2 . S obzirom na prosječnu vrijednost SO_2 , pokrajine Istanbul, Balıkesir, Bursa, Kirklareli i Edirne ostale su iznad prosjeka, dok su pokrajine Kocaeli, Bilecik, Çanakkale, Sakarya, Tekirdağ i Yalova ostale ispod prosjeka.



Slika 6. Gustoća stupca SO_2 u pokrajinama u Mramornoj regiji između 2019. i 2022. godine

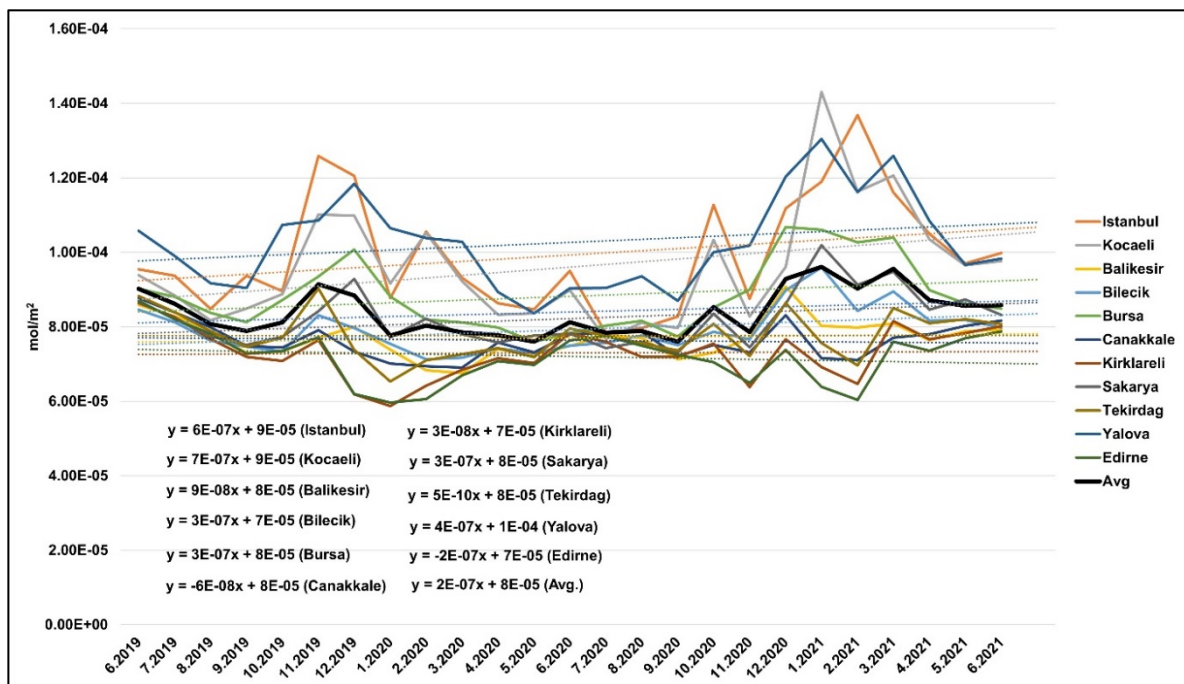


Slika 7. Karta prosječnog SO_2 za razdoblje 2019.-2022.

Çakmak, N., Yılmaz, O. S., Sanlı, F. B.

Analiza prostorno-vremenske raspodjele onečišćujućih plinova korištenjem podataka Sentinel-5P TROPOMI na Google Earth Engine platformi tijekom COVID-19 pandemije u Mramornoj regiji u Turskoj

U istraživanju koje je obuhvatilo sve pokrajine u Mramornoj regiji, grafikoni trendova izrađeni su za 25 mjeseci između lipnja 2019. i lipnja 2021. godine. Na slici 8 prikazana je raspodjela plina NO_2 po pokrajinama u regiji. Kada se pregleda grafikon, u svim pokrajinama osim Canakkale i Edirne uočava se trend povećanja vrijednosti gustoće stupca NO_2 . Prema grafikonu, u svim pokrajinama dolazi do pada vrijednosti NO_2 , osobito u prvim mjesecima 2020. i zadnjim mjesecima 2020. godine. Važno je napomenuti da se ta razdoblja podudaraju s razdobljem pandemije COVID-19. Smanjenja tijekom tog razdoblja se objašnjavaju mjerama izolacije primijenjenim u to vrijeme. Nakon završetka razdoblja izolacije, od listopada 2020. godine uočen je trend brzog porasta razina plina.

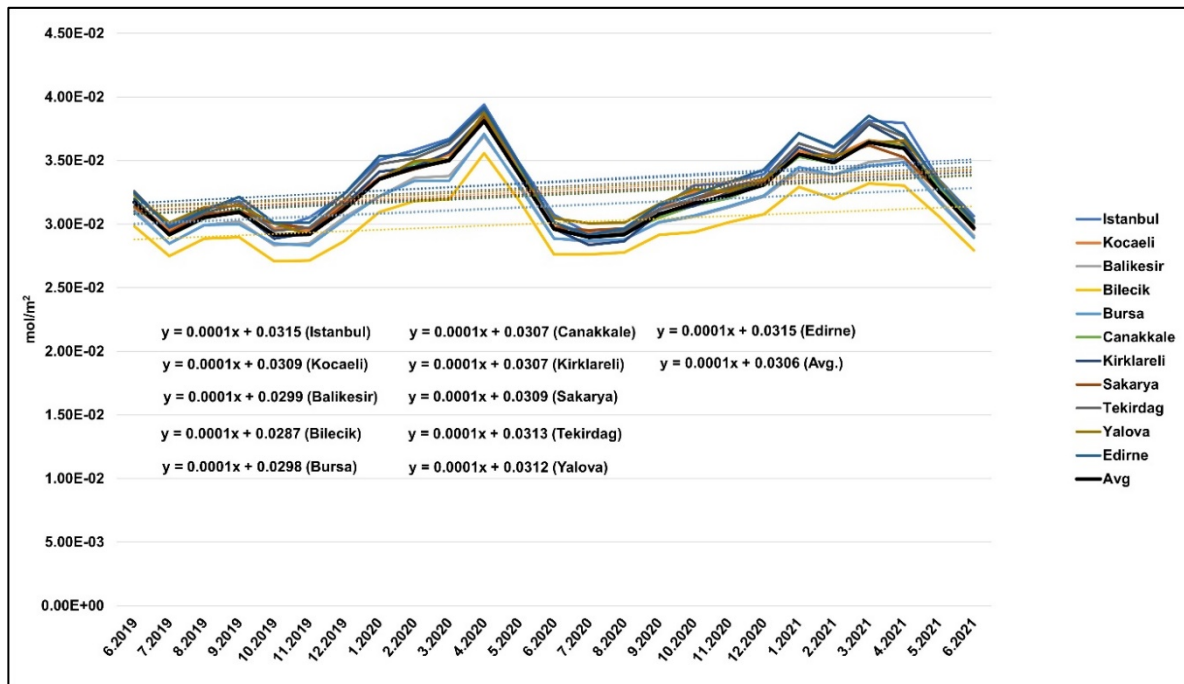


Slika 8. Grafikon trenda plina NO_2 po pokrajinama

Na slici 9 prikazana je raspodjela gustoće stupca CO u pokrajinama regije. Nakon pregleda grafikona, u svim pokrajinama Mramorne regije uočava se trend povećanja gustoće stupca CO. Slično plinu NO_2 , gustoća stupca CO smanjila se tijekom razdoblja lockdowna zbog COVIDA-19. Nakon razdoblja izolacije, gustoća stupca CO, koja se ponovno počela povećavati, smanjila se zbog procesa lockdowna uzrokovanih izbijanjem drugog vala COVIDA-19 od siječnja 2021.

Çakmak, N., Yılmaz, O. S., Sanlı, F. B.

Analiza prostorno-vremenske raspodjele onečišćujućih plinova korištenjem podataka Sentinel-5P TROPOMI na Google Earth Engine platformi tijekom COVID-19 pandemije u Mramornoj regiji u Turskoj

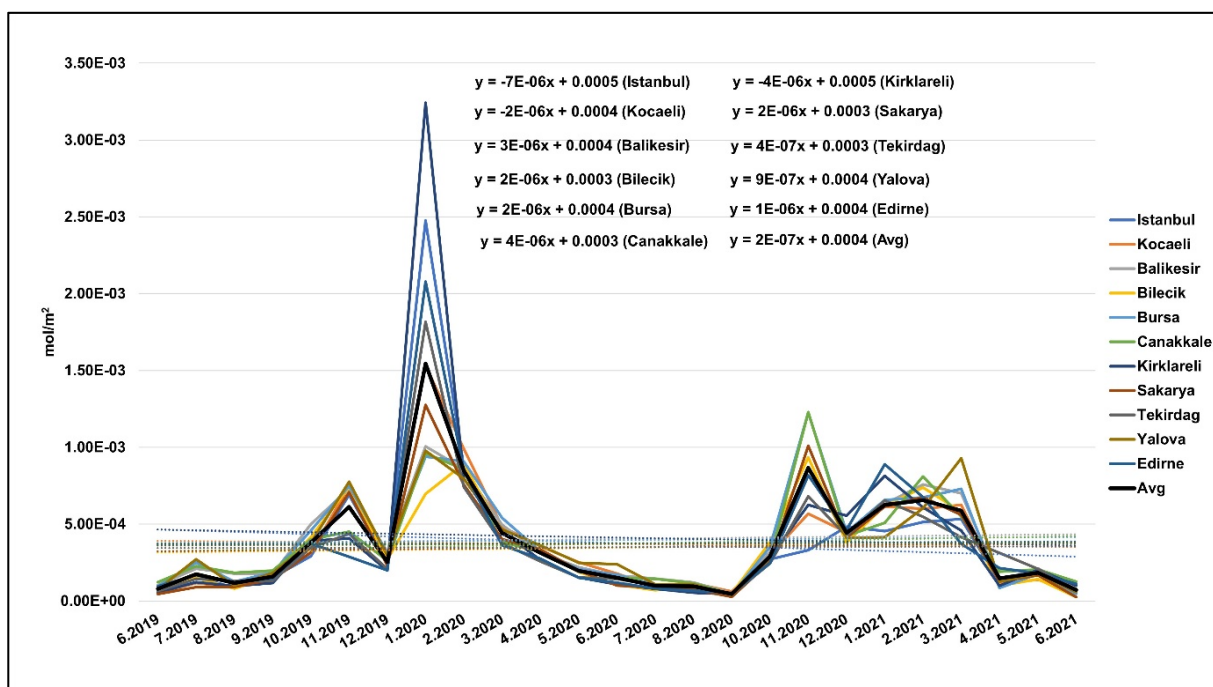


Slika 9. Grafikon trenda plina CO po pokrajinama

Na slici 10 prikazana je raspodjela gustoće stupca SO_2 po pokrajinama u regiji. Kada se pregleda grafikon, u svim pokrajinama osim u Istanbulu, Kocaeli i Kırklareli uočava se trend povećanja gustoće stupca SO_2 . Gustoća stupca SO_2 pretjerano se povećala do maksimalne razine u približno dva mjeseca, od siječnja 2019. do kraja veljače 2019. Nakon ovog vrhunca, procesi lockdowna zbog COVIDA-19 doveli su do pada razina SO_2 . Međutim, s krajem prvog razdoblja izolacije u Turskoj, došlo je do brzog porasta razine plina SO_2 , koja se ponovno smanjila na minimalne razine tijekom drugog razdoblja lockdowna. Slično drugim plinovima, razina plina SO_2 se također povećava u Mramornoj regiji.

Çakmak, N., Yılmaz, O. S., Sanlı, F. B.

Analiza prostorno-vremenske raspodjele onečišćujućih plinova korištenjem podataka Sentinel-5P TROPOMI na Google Earth Engine platformi tijekom COVID-19 pandemije u Mramornoj regiji u Turskoj



Slika 10. Grafikon trenda plina SO₂ po pokrajinama

4. RASPRAVA

Tijekom procesa izolacije zbog COVIDA-19 u Turskoj došlo je do smanjenja aktivnosti koje bi mogle uzrokovati zagađujuće plinove, osobito prometa i teške industrije. Ta smanjenja su dovela do promjena razina određenih plinova u atmosferi koji bi mogli pridonijeti zagađenju. U ovom istraživanju utvrđeno je da je u usporedbi s drugim plinovima plin NO₂ bio posebno nestabilan u Mramornoj regiji. Plin NO₂ dosegao je značajne razine, osobito u regijama u kojima su industrija i naseljenost gusti u Mramornoj regiji, a primijećeno je da je na najvišoj razini u pokrajini Yalova. Međutim, osobito tijekom razdoblja lockdowna, lako je primijetiti da je došlo do smanjenja razine ovog plina u svim pokrajinama. Prije razdoblja lockdowna, između lipnja 2019. i veljače 2020. godine, vrijednost gustoće stupca iznosila je 8,39E-05 mol/m², dok je tijekom razdoblja lockdowna, od ožujka 2020. do lipnja 2020., ta vrijednost pala na 7,84E-05 mol/m². Nakon završetka razdoblja izolacije i kada su se ograničenja počela postupno ublažavati, vrijednosti gustoće stupca NO₂ brzo su porasle na prosječnih 8,59E-05 mol/m². Kada su pregledana prethodna istraživanja, Ghasempour i sur. (2021.) istaknuli su značajno smanjenje vrijednosti NO₂ tijekom lockdowna koristeći podatke Sentinel-5P TROPOMI za Tursku. Studije provedene u različitim zemljama također potvrđuju rezultate ove studije (Fan i sur. 2020.; Mesas-Carrascosa i sur. 2020.; Metya i sur. 2020.). U Mramornoj regiji, koncentracija CO plina se povećala ili smanjila u istom omjeru u svim pokrajinama. Prije razdoblja lockdowna, vrijednost gustoće stupca bila je približno 3,21E-02 mol/m²; tijekom razdoblja lockdowna ta vrijednost se smanjila na približno 3,05E-02 mol/m². Nakon završetka razdoblja izolacije kada su se ograničenja počela postupno ublažavati, vrijednosti gustoće stupca CO dosegle su prosječno 3,36E-02 mol/m². U ovoj studiji, plin SO₂ postojano se mijenjao u svim pokrajina Mramorne regije. Ozbiljan porast je primjetan u zimskim mjesecima 2019. godine. Ovo povećanje je posljedica porasta izazvanog zatopljenjem, industrijom i prometom. Prije razdoblja lockdowna, vrijednost gustoće stupca

Çakmak, N., Yilmaz, O. S., Sanli, F. B.

Analiza prostorno-vremenske raspodjele onečišćujućih plinova korištenjem podataka Sentinel-5P TROPOMI na Google Earth Engine platformi tijekom COVID-19 pandemije u Mramornoj regiji u Turskoj

iznosila je $4,63E-04$ mol/m², dok se tijekom razdoblja lockdowna ta vrijednost smanjila na $2,75E-04$ mol/m². Nakon završetka razdoblja izolacije, vrijednosti gustoće stupca SO₂ brzo su porasle na prosječnih $3,42E-04$ mol/m². Rezultati ove studije su u skladu s prethodnim studijama, npr. Gautam i sur. (2021.) su ispitali osam najzagađenijih gradova u Indiji (Mumbai, Delhi, Bangalore, Hyderabad, Lucknow, Chandigarh, Kolkata i Ahmedabad). U svom istraživanju otkrili su smanjenje od oko 50%, 59%, odnosno 9% plinova NO₂, CO i SO₂ tijekom razdoblja pandemije na stadionu Major Dhyan Chand. Slično tome, u međunarodnoj zračnoj luci Chhatrapati Shivaji, tijekom prve faze lockdowna, otkrili su smanjenje od 36%, 41%, odnosno 16% plinova NO₂, CO i SO₂ unutar samo jednog tjedna. Na sličan način, Schiavo i sur. (2023.) su utvrdili da je došlo do smanjenja od 14,9%, 9,8%, odnosno 41,9% plinova NO₂, CO i SO₂ tijekom razdoblja izolacije. Sve studije su pokazale da je došlo do značajnog smanjenja različitih zagađujućih plinova tijekom razdoblja lockdowna, a naši rezultati su u skladu s onima (Vîrghileanu i sur. 2020.; Oo i sur. 2021.; Faisal i Jaelani 2023.; Sakti i sur. 2023.; Suhardono i sur. 2023.).

5. ZAKLJUČAK

U ovoj studiji, tijekom razdoblja pandemije COVIDA-19 pomoću podataka sa uređaja Sentinel 5P TROPOMI na GEE platformi izrađene su karte emisija zagađujućih plinova NO₂, CO i SO₂ za pokrajine u Mramornoj regiji u Turskoj, najrazvijenijoj regiji po industriji. Prvo su pomoću GEE platforme izračunate mjesečne stope gustoće plina između lipnja 2019. i lipnja 2021. godine koristeći Java Script kodove plinova NO₂, CO i SO₂, koji su zagađivači zraka. Prema rezultatima, vrijednost gustoće stupca NO₂ bila je minimalna u pokrajini Edirne, a maksimalna u pokrajini Yalova. Vrijednost gustoće stupca CO bila je najmanja u pokrajini Bilecik, a najveća u pokrajini Istanbul. Na sličan način, minimalna vrijednost SO₂ zabilježena je u pokrajini Bilecik, a maksimalna vrijednost u pokrajini Kirklareli. Za promatranih 25 mjeseci u Mramornoj regiji, prosječne vrijednosti gustoće stupca NO₂, CO i SO₂ su iznosile $8,40E-05$ mol/m², $3,23E-02$ mol/m², odnosno $3,75E-04$ mol/m². Iako je tijekom pandemije COVID-19 došlo do značajnog smanjenja svih pokazatelja plina, vrijednosti gustoće stupca nastavile su rasti s krajem razdoblja lockdowna. Općenito, kada se ispituje regija postoji trend povećanja svih plinova. Iako ova studija objašnjava razlog povećanja kvalitete zraka s procesom lockdowna, trebalo bi je koristiti za razvoj strategija za poboljšanje kvalitete zraka. Iako se ograničenja odnose na sprječavanje širenja virusa, značajno povećanje kvalitete zraka pokazalo je da se različitim mjerama može poboljšati kvaliteta atmosferskog zraka. U budućnosti bi se strategije i javne politike trebale više zalagati za zelenu prirodu i okoliš. U tom smislu, korištenje obnovljivih izvora energije će ne samo doprinijeti smanjenju fosilnih goriva, već će također značajno smanjiti ekološki prihvatljive i atmosferske emisije plinova. Osim toga, razine plinova ispuštenih u atmosferu mogu se smanjiti korištenjem sustava za filtriranje zagađujućih plinova koji se oslobađaju u tvornicama, korištenjem katalitičkih pretvarača i poboljšanjem kvalitete korištenih goriva. Nadalje, potrebno je promicanje javnog prijevoza i ekološki prihvatljive mikromobilnosti za prijevoz te osiguranje potrebnih infrastrukturnih projekata.

LITERATURA

1. Acar, U., Yilmaz O. S., Çelen, M., et al: Determination of Mucilage in The Sea of Marmara Using Remote Sensing Techniques with Google Earth Engine. *Int J Environ Geoinformatics* 8:423–434. <https://doi.org/10.30897/ijgeo>, 2021.
2. Ateş, A. M.: Unlocking the floating photovoltaic potential of Türkiye's hydroelectric power

Çakmak, N., Yılmaz, O. S., Sanlı, F. B.

Analiza prostorno-vremenske raspodjele onečišćujućih plinova korištenjem podataka Sentinel-5P TROPOMI na Google Earth Engine platformi tijekom COVID-19 pandemije u Mramornoj regiji u Turskoj

- plants. *Renew Energy* 199:1495–1509. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.09.096>, 2022.
3. Ateş, A. M., Yılmaz, O. S., Gülgen, F.: Investigating the Effect of Shading on the Capacity Factor of Floating Photovoltaic Systems. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilim Derg* 18:309–319. <https://doi.org/10.18466/cbayarfbe.1020070>, 2022.
4. Dey, S., Dhal, G. C.: Materials progress in the control of CO and CO₂ emission at ambient conditions: An overview. *Mater Sci Energy Technol* 2:607–623. <https://doi.org/10.1016/j.mset.2019.06.004>, 2019.
5. Faisal, M., Jaelani, L. M.: Spatio-temporal analysis of nitrogen dioxide (NO₂) from Sentinel-5P imageries using Google Earth Engine changes during the COVID-19 social restriction policy in Jakarta. *Nat Hazards Res.* <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2023.02.006>, 2023.
6. Fan, C., Li, Y., Guang, J., et al: The Impact of the Control Measures during the COVID-19 Outbreak on Air Pollution in China. *Remote Sens.* 12, 2020.
7. Fu, F., Purvis-Roberts, K. L., Williams, B.: Impact of the covid-19 pandemic lockdown on air pollution in 20 major cities around the world. *Atmosphere (Basel)* 11:. <https://doi.org/10.3390/atmos11111189>, 2020.
8. Ghasempour, F., Sekertekin, A., Kutoglu, S. H.: Google Earth Engine based spatio-temporal analysis of air pollutants before and during the first wave COVID-19 outbreak over Turkey via remote sensing. *J Clean Prod* 319:128599. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128599>, 2021.
9. Grzybowski, P. T., Markowicz, K. M., Musiał, J. P.: Estimations of the Ground-Level NO₂ Concentrations Based on the Sentinel-5P NO₂ Tropospheric Column Number Density Product. *Remote Sens* 15:. <https://doi.org/10.3390/rs15020378>, 2023.
10. Hahn, J., Crutzen, P. J.: The role of fixed nitrogen in atmospheric photochemistry. *Philos Trans R Soc London B, Biol Sci* 296:521–541. <https://doi.org/http://www.jstor.org/stable/2395702>, 1982.
11. Halonen, J. I., Lanki, T., Yli-Tuomi, T., et al: Particulate air pollution and acute cardiorespiratory hospital admissions and mortality among the elderly. *Epidemiology* 143–153, 2009.
12. Kaplan, G., Yigit Avdan, Z.: Space-Borne Air Pollution Observation From Sentinel-5P Tropomi: Relationship Between Pollutants, Geographical and Demographic Data. *Int J Eng Geosci* 130–137. <https://doi.org/10.26833/ijeg.644089>, 2020.
13. Karalliedde, L., Keshishian, C.: Carbon monoxide poisoning. Oxford University Press, 2012.
14. Matci, D. K., Kaplan, G., Avdan, U.: Changes in air quality over different land covers associated with COVID-19 in Turkey aided by GEE. *Environ Monit Assess* 194:. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10444-7>, 2022.
15. Mesas-Carrascosa, F.-J., Pérez Porras, F., Triviño-Tarradas, P., et al: Effect of Lockdown Measures on Atmospheric Nitrogen Dioxide during SARS-CoV-2 in Spain. *Remote Sens.* 12, 2020.
16. Metya, A., Dagupta, P., Halder, S., et al: COVID-19 lockdowns improve air quality in the South-East Asian regions, as seen by the remote sensing satellites. *Aerosol Air Qual Res* 20:1772–1782, 2020.
17. Nduka, J. K. C., Orisakwe, O. E., Ezenweke, L. O., et al: Acid rain phenomenon in Niger delta region of Nigeria: economic, biodiversity, and public health concern. *ScientificWorldJournal* 8:811–818. <https://doi.org/10.1100/tsw.2008.47>, 2008.
18. Ng, P. C. Y., Long, B., Koefman, A.: Clinical chameleons: an emergency medicine focused review of carbon monoxide poisoning. *Intern Emerg Med* 13:223–229. <https://doi.org/10.1007/s11739-018-1798-x>, 2018.
19. Nugroho, R. T.: Analysis of The Effect of Large Population on Nitrogen Dioxide and

Çakmak, N., Yılmaz, O. S., Sanli, F. B.

Analiza prostorno-vremenske raspodjele onečišćujućih plinova korištenjem podataka Sentinel-5P TROPOMI na Google Earth Engine platformi tijekom COVID-19 pandemije u Mramornoj regiji u Turskoj

- Carbon Monoxide Levels in Java Island Using Sentinel-5P. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci* 1127:012028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1127/1/012028>, 2023.
20. Ogen, Y.: Assessing nitrogen dioxide (NO₂) levels as a contributing factor to coronavirus (COVID-19) fatality. *Sci Total Environ* 726:138605. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138605>, 2020.
21. Oo, T. K., Arunrat, N., Kongsurakan, P., et al: Nitrogen dioxide (No₂) level changes during the control of covid-19 pandemic in Thailand. *Aerosol Air Qual Res* 21:1–27. <https://doi.org/10.4209/aaqr.200440>, 2021.
22. Prockop, L. D., Chichkova, R. I.: Carbon monoxide intoxication: an updated review. *J Neurol Sci* 262:122–130. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2007.06.037>, 2007.
23. Raub, J. A., Mathieu-Nolf, M., Hampson, N. B., Thom, S. R.: Carbon monoxide poisoning—a public health perspective. *Toxicology* 145:1–14, 2000.
24. Sakti, A. D., Anggraini, T. S., Ihsan, K. T. N., et al: Multi-air pollution risk assessment in Southeast Asia region using integrated remote sensing and socio-economic data products. *Sci Total Environ* 854:158825. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158825>, 2023.
25. Sannigrahi, S., Kumar, P., Molter, A., et al: Examining the status of improved air quality in world cities due to COVID-19 led temporary reduction in anthropogenic emissions. *Environ Res* 196:110927. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110927>, 2021.
26. Schiavo, B., Morton-Bermea, O., Arredondo-Palacios, T. E., et al: Analysis of COVID-19 Lockdown Effects on Urban Air Quality: A Case Study of Monterrey, Mexico. *Sustain* 15:1–21. <https://doi.org/10.3390/su15010642>, 2023.
27. Shah, A. S. V., Langrish, J. P., Nair, H., et al: Global association of air pollution and heart failure: A systematic review and meta-analysis. *Lancet* 382:1039–1048. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)60898-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)60898-3), 2013.
28. Sharma, S. B., Jain, S., Khirwadkar, P., Kulkarni, S.: The effects of air pollution on the environment and human health. *Indian J Res Pharm Biotechnol* 1:391–396, 2013.
29. Singh, T., Sharma, N., Satakshi, Kumar, M.: Analysis and forecasting of air quality index based on satellite data. *Inhal Toxicol* 35:24–39. <https://doi.org/10.1080/08958378.2022.2164388>, 2023.
30. Suhardono, S., Septiariva, I. Y., Rachmawati, S., et al: Changes in the Distribution of Air Pollutants (Carbon Monoxide) during the Control of the COVID-19 Pandemic in Jakarta, Surabaya, and Yogyakarta, Indonesia. *J Ecol Eng* 24:151–162. <https://doi.org/10.12911/22998993/159508>, 2023.
31. Vîrghileanu, M., Săvulescu, I., Mihai, B. A., et al: Nitrogen dioxide (NO₂) pollution monitoring with sentinel-5p satellite imagery over europe during the coronavirus pandemic outbreak. *Remote Sens* 12:1–29. <https://doi.org/10.3390/rs12213575>, 2020.
32. Yılmaz, O. S., Acar, U., Sanli, F. B., et al: Mapping burn severity and monitoring CO content in Türkiye's 2021 Wildfires, using Sentinel-2 and Sentinel-5P satellite data on the GEE platform. *Earth Sci Informatics* 16:221–240. <https://doi.org/10.1007/s12145-023-00933-9>, 2023.
33. Yılmaz, O. S., Gülgen, F., Ateş, A. M.: Determination of the appropriate zone on dam surface for Floating Photovoltaic System Installation using RS and GISc technologies. *Int J Eng Geosci* 8:63–75. <https://doi.org/10.26833/ijeg.1052556>, 2022.
34. Zhang, H., Lin, Y., Wei, S., et al: Global association between satellite-derived nitrogen dioxide (NO₂) and lockdown policies under the COVID-19 pandemic. *Sci Total Environ* 761. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144148>, 2021.