Journal of Natural Environment Hazards
University of Sistan and Baluchestan
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

Journal of Natural Environmental Hazards, Vol.12, Issue 38, December 2023

Monitoring of the Nitrogen Dioxide Concentration in the Period of Covid-19 Using Sentinel-5 Satellite Data (Case Study: Shiraz Metropolis)

Hadi Abdolazimi[1*], Hadi Farhadi[2], Hossein Roosta[3], Nasrin Mokhtari[4]

1. *Corresponding Author*, Assistant Professor, Department of Remote Sensing and GIS, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran.
2. Ph.D. Student in remote sensing, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K.N Toosi University of Technology, Tehran, Iran
3. Master Student in remote sensing and GIS, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran
4. Ph.D. Student in urbanism, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 06 April 2023
Revised: 09 June 2023
Accepted: 16 July 2023

Keywords:
Google Earth Engine, Environmental hazards, Urban Environment, Crisis Management, Mann-Kendall.

ABSTRACT

Nitrogen dioxide is considered one of the important indicators for evaluating the air quality of cities, therefore, identifying the areas contaminated with this pollutant is very important. One of the sciences and technologies that can help urban environmental experts to identify these areas in the shortest time and at a lower cost is satellite remote sensing. Currently, satellite remote sensing is a useful technology for measuring atmospheric pollutants at the global, regional, and urban levels. Therefore, the present research has identified and investigated the temporal-spatial distribution of nitrogen dioxide gas during the spread of Covid-19 using Sentinel-5P satellite data in the Shiraz metropolis for 24 months (2019 and 2020). Based on the results of this research, the highest monthly average values of nitrogen dioxide gas in 2019 and 2020 are related to the autumn season. In addition, district 2 of Shiraz was identified as the most polluted area in the two years studied. In addition, after analyzing the parameters of wind, precipitation, and temperature, it was found that the wind factor with a correlation coefficient of -0.638 at a significance level of 1% compared to other climate factors had the greatest impact on the change in nitrogen dioxide gas values. The Covid-19 crisis also played a role in changing the amount of nitrogen dioxide gas in 2020 compared to 2019 every month with its impact on the reduction of traffic and urban traffic. The pattern of changes in the average nitrogen dioxide gas related to satellite data in the studied years had a decreasing trend, which was consistent with the pattern of changes in the values obtained from the pollution monitoring station. The results of this research can be useful in urban livability and crisis management.

Cite this article: Abdolazimi, H., Farhadi, H., Roosta, H., & Mokhtari, N. (2023). Monitoring of the Nitrogen Dioxide Concentration in the Period of Covid-19 Using Sentinel-5 Satellite Data (Case Study: Shiraz Metropolis). Journal of Natural Environmental Hazards, 12(38), 113-130. DOI: 10.22111/jneh.2023.45267.1949

© Hadi Abdolazimi Publisher: University of Sistan and Baluchestan
DOI: 10.22111/jneh.2023.45267.1949

* Corresponding Author Email: Hadi.Abdolazimi@iau.ac.ir

مخاطرات محیط طبیعی
شاپا چاپی: ۴۳۷۷-۲۶۷۶ شاپا الکترونیکی: ۴۳۸۵-۲۶۷۶
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir
مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۲، شماره ۳۸، دی ۱۴۰۲

پایش غلظت دی‌اکسید نیتروژن در دوره‌ی کووید-۱۹ با استفاده از داده‌های ماهواره‌ی سنتینل-۵ (مطالعه‌ی موردی: کلان‌شهر شیراز)

هادی عبدالعظیمی[1*]، هادی فرهادی[2]، حسین روستا[3]، نسرین مختاری[4]

۱. استادیار، گروه سنجش از دور و GIS، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران (نویسنده مسئول)
۲. دانشجوی دکتری سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی، تهران
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران
۴. دانشجوی دکتری شهرسازی، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۱۷

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۹

تاریخ پذیرش : ۱۴۰۲/۰۴/۲۵

واژه‌های کلیدی:
گوگل‌ارث‌انجین، مخاطرات محیطی، محیط زیست شهری، مدیریت بحران، من-کندال.

چکیده

دی‌اکسید نیتروژن یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی کیفیت هوای شهرها تلقی می‌گردد، لذا شناسایی پهنه‌های آلوده به این آلاینده از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. یکی از علوم و فناوری‌هایی که می‌تواند در کوتاه‌ترین زمان و با صرف هزینه‌ی کمتر در رابطه با شناسایی این پهنه‌ها به متخصصین محیط‌زیست شهری کمک کند، علم سنجش‌ازدور ماهواره‌ای است. در حال حاضر، سنجش‌ازدور ماهواره‌ای یک فناوری مفید برای اندازه‌گیری آلاینده‌های جوی در سطح جهانی، منطقه‌ای و شهری می‌باشد. ازاین‌رو، پژوهش حاضر به شناسایی و بررسی توزیع زمانی- مکانی گاز دی‌اکسید نیتروژن در دوره‌ی انتشار کووید-۱۹ با استفاده از داده‌های ماهواره‌ی Sentinel-5P و تحلیل آن با متغیرهای محیطی در کلان‌شهر شیراز طی ۲۴ ماه (۲۰۱۹ و ۲۰۲۰) پرداخته است. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، بیشترین مقادیر میانگین ماهانه گاز دی‌اکسید نیتروژن در سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ مربوط به فصل پاییز بود. همچنین، منطقه‌ی ۲ شهر شیراز به‌عنوان آلوده‌ترین منطقه در دو سال مورد مطالعه شناسایی شد. علاوه بر این، پس از تحلیل پارامترهای باد، بارش و دما مشخص گردید که عامل باد با ضریب همبستگی ۰/۶۳۸- در سطح معناداری، یک درصد نسبت به دیگر عوامل اقلیمی، بیشترین تأثیر را در تغییر مقادیر گاز دی‌اکسید نیتروژن داشته است. بحران کووید-۱۹ نیز با اثر بر کاهش ترددها و ترافیک شهری، در تغییر مقادیر گاز دی‌اکسید نیتروژن در سال ۲۰۲۰ نسبت به سال ۲۰۱۹ به‌صورت ماهانه نقش داشت. الگوی تغییرات میانگین گاز دی‌اکسید نیتروژن مربوط به داده-های ماهواره‌ای در سال‌های مورد مطالعه روند کاهشی داشته که با الگوی تغییرات مقادیر اخذشده از ایستگاه پایش آلودگی همخوانی داشت. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند در زیست پذیری شهری و مدیریت بحران مفید واقع گردد.

استناد: عبدالعظیمی, هادی, فرهادی, هادی, روستا, حسین, مختاری, نسرین. (۱۴۰۲). پایش غلظت دی‌اکسید نیتروژن در دوره‌ی کووید-۱۹ با استفاده از داده‌های ماهواره‌ی سنتینل-۵ (مطالعه‌ی موردی: کلان‌شهر شیراز). مخاطرات محیط طبیعی, ۱۲(۳۸)، ۱۳۰-۱۱۳.

DOI: 10.22111/jneh.2023.45267.1949

CC BY NC

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

© هادی عبدالعظیمی*، هادی فرهادی، حسین روستا، نسرین مختاری.

*- هادی عبدالعظیمی (نویسنده مسئول)
Email: Hadi.Abdolazimi@iau.ac.ir

مقدمه

آلودگی هوا یکی از معضلات زیست‌محیطی است که در پی افزایش میزان ترکیبات فرعی (گازی و غیر گازی) اتمسفر به وجود می‌آید (ایراندوست و همکاران، ۱۳۹۴). در این رابطه، شهرها به دلیل تراکم جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی بالا، مهم‌ترین مراکز مصرف منابع و تولیدکننده مواد زائد و آلودگی به شمار می‌روند (حسینی و همکاران، ۱۳۹۹). در حالت کلی، منبع تولید آئروسل‌ها به دو دسته عوامل محیطی و عوامل انسانی تقسیم می‌شود. به این صورت که طوفان‌های گردوغبار، فوران آتش‌فشان‌ها و آتش‌سوزی جنگل‌ها منبع تولید برخی از آئروسل‌ها بوده و برخی دیگر نیز ناشی از فعالیت‌های انسانی مانند سوزاندن سوخت‌های فسیلی، زباله و پسماندهای صنعتی می‌باشد (هالووی[۱] و همکاران، ۲۰۲۱؛ عبدالله[۲] و همکاران، ۲۰۲۰).

وجود ذرات ریز معلق در هوا، باعث کاهش دید افراد شده و همچنین می‌تواند به ریه‌ها و قلب انسان آسیب برساند. یکی از مهم‌ترین آلاینده‌هایی که به‌شدت بر سلامت شهروندان یک شهر تأثیر می‌گذارد دی‌اکسید نیتروژن است (لیلی و همکاران، ۱۳۹۵). از مهم‌ترین منابع تولیدکننده این آلاینده می‌توان به احتراق اتومبیل‌ها، سوخت‌های - فسیلی، نیروگاه‌های برق، دیگ‌های بخار صنعتی، زباله‌سوزها، وسایل گرمایشی، رعدوبرق و آتش‌فشان‌ها اشاره نمود (نجف‌پور و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین دی‌اکسید نیتروژن با آمونیاک، رطوبت و ترکیبات دیگر به شکل ذرات کوچک واکنش داده و با نفوذ در ریه سبب ایجاد یا تشدید بیماری‌های تنفسی مانند آسم، برونشیت و افزایش سرفه نیز می‌شود. تغییرات بافت کلیه، کبد و قلب، کاهش وزن، حساسیت در برابر باکتری‌ها و عفونت‌های ویروسی از دیگر اثرات این آلاینده بر سلامتی است (شاه‌محمدی و همکاران، ۱۳۹۹). هر انسان به‌طور متوسط روزانه ۱۰ مترمکعب هوا استنشاق می‌کند، ازاین‌رو بررسی تأثیر دی‌اکسید نیتروژن بر سلامتی انسان‌ها دارای اهمیت فراوانی می‌باشد. طبق گزارش سازمان بهداشت جهانی، سالانه هفت میلیون نفر در سراسر جهان براثر آلودگی هوا جان خود را از دست می‌دهند. همچنین داده‌های این سازمان نشان می‌دهد که از هر ۹ نفر، هوایی را که استشمام می‌کنند حاوی سطح بالایی از آلاینده‌های جوی می‌باشد (سازمان بهداشت جهانی[۳]، ۲۰۱۹). بر اساس پژوهش زلقی و همکاران (۱۳۹۳) موارد مرگ ناشی از بیماری‌های قلبی- عروقی منتسب به تماس با دی‌اکسید نیتروژن در سال ۱۳۹۱ در سه شهر کرمانشاه، اهواز و بوشهر به ترتیب ۳۴، ۴۸ و ۴ نفر بوده است. نتایج مطالعه‌ی مذکور نشان داد که افزایش غلظت آلاینده دی‌اکسید نیتروژن تأثیر مستقیم و مؤثری در افزایش میزان موارد مرگ قلبی- عروقی و بیماری انسداد ریه دارد.

در تحقیق دیگری که توسط ژنگ[۴] و همکاران (۲۰۱۹) انجام شد تغییرات مکانی دی‌اکسید نیتروژن و عوامل مؤثر بر آن در کشور چین و در بازه زمانی فوریه ۲۰۱۸ تا ژانویه ۲۰۱۹ به‌صورت ماهانه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نقشه‌های منتج از این مطالعه نشان داد که بیشترین تجمع دی‌اکسید نیتروژن مربوط به شرق چین و مناطق یونگار[۵]، اورومچی[۶] و حوضه‌ی آبریز تورپان[۷] است. همچنین نتایج آن‌ها نشان داد که در سطح ملی، همبستگی منفی

[1] Holloway
[2] Abdullah
[3] World Health Organization (WHO)
[4] Zheng
[5] Younggar
[6] Orumchi
[7] Turpan

معناداری بین میانگین مقادیر گاز دی‌اکسید نیتروژن و میانگین مقادیر دما وجود دارد. بر اساس یافته‌های حاصل از تحقیق مذکور، پارامتر دما یک محرک اصلی برای تغییرات فصلی مقادیر گاز دی‌اکسید نیتروژن معرفی شد. شاه-محمدی و همکاران (۱۳۹۹) روند دی‌اکسید نیتروژن در شهر تبریز را با استفاده از سنجنده امی[1] در بازه‌ی زمانی اکتبر ۲۰۰۴ تا می ۲۰۱۶ مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه مذکور نشان داد که بیشترین مقدار آلودگی در فصل-های زمستان و پاییز رخ داده است. در این مطالعه، ضریب همبستگی دی‌اکسید نیتروژن با پارامترهای اقلیمی باد و دما به ترتیب ۰/۴- و ۰/۵۹- برآورد شد که دما تأثیر بیشتری بر تغییرات دی‌اکسید نیتروژن در سال داشته است. در پژوهشی دیگر شیکوامبانا[2] و همکاران (۲۰۲۰) روند تغییرات گاز دی‌اکسید گوگرد و دی‌اکسید نیتروژن را در دسامبر ۲۰۱۸ تا سپتامبر ۲۰۱۹ در آفریقای جنوبی با استفاده از داده‌های ماهواره سنتینل-۵ مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهشگران بیانگر آن بود که باد در پراکنش دی‌اکسید گوگرد و دی‌اکسید نیتروژن تاثیر داشته و منجر به کاهش مقادیر آلودگی در تابستان و افزایش آن در زمستان شده است. با توجه به مطالب مذکور، بررسی ارتباط بین آلاینده‌های جوی به‌ویژه گاز دی‌اکسید نیتروژن با میزان ابتلا به بسیاری از بیماری‌ها از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. اهمیت این مسئله در زمان وقوع و انتشار یک بیماری همه‌گیر می‌تواند دوچندان شود. بنابراین پژوهش حاضر با هدف پایش غلظت دی‌اکسید نیتروژن و بررسی ارتباط آن با پارامترهای اقلیمی باد، دما و بارش در دوره‌ی انتشار بیماری کرونا بین سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ در شهر شیراز انجام شده است. برای دست‌یابی به اهداف اصلی، موارد ذیل مدنظر است:

۱-توزیع مکانی و زمانی دی‌اکسید نیتروژن در سطح شهر چگونه است؟

۲-توزیع مکانی و زمانی آلاینده‌ی دی‌اکسید نیتروژن، متاثر از چه پارامترهای می‌تواند باشد؟

در راستای اهداف مطرح‌شده، بخش‌های ذیل در پژوهش حاضر دنبال خواهد شد:

در بخش دوم به تشریح و توضیح اطلاعاتی در رابطه با تعداد مناطق کلان‌شهر شیراز، وضعیت آب و هوا، توپوگرافی و جمعیت شهر شیراز پرداخته می‌شود. بخش سوم به روش انجام پژوهش و نحوه‌ی تحلیل داده‌های این مطالعه می-پردازد. در بخش چهارم، تحلیل مکانی و زمانی گاز دی‌اکسید نیتروژن و همچنین نقش عوامل تاثیرگذار بر آن مورد بحث قرار می‌گیرد. در پایان به جمع‌بندی کلی و پیشنهادات پرداخته خواهد شد.

داده ها و روش‌ها

داده‌ی مورد استفاده:

داده‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر شامل داده‌های چند طیفی مربوط به سنجنده تروپومی[3] از ماهواره سنتینل-۵ می‌باشد. داده‌های این سنجنده غلظت آلاینده‌های مختلف هوا از جمله دی‌اکسید نیتروژن را اندازه‌گیری می‌کند.

[1] Ozone Monitoring Instrument (OMI)
[2] Shikwambana
[3] Tropomi

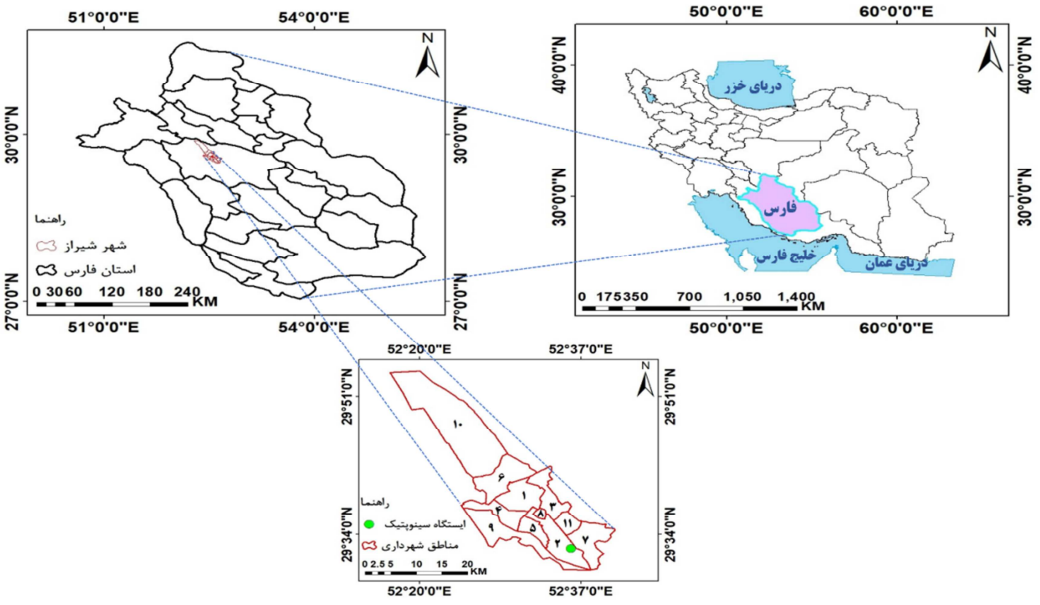
داده‌های مذکور دارای تفکیک مکانی ۰/۰۱ درجه هستند و چگالی ستونی میزان آلاینده‌ها برحسب (مول بر مترمربع[1]) تخمین زده شده است. باند مورد استفاده برای برآورد دی‌اکسید نیتروژن، باند NO2_column_number_density می‌باشد که کمترین میزان آن ۰/۰۰۵- و بیشترین میزان آن ۰/۰۱۹۲- مول بر متر مربع بوده و برای سلامتی انسان‌ها خطرآفرین است (شگرخدایی و همکاران، ۱۴۰۱، شامی و همکاران، ۱۳۹۹). سنتینل-۵ به عنوان یک ماهواره تخصصی در زمینه مطالعه اتمسفر و پایش آلاینده‌های جوی در تروپوسفر است و قابلیت شناسایی و پایش انواع آلاینده‌های جوی از جمله دی اکسیدگوگرد، دی‌اکسید نیتروژن، مونواکسیدکربن، فرمالدئید و متان را فراهم آورده است. این ماهواره در ارتفاع ۸۲۴ کیلومتری قرار دارد که از باندهای ماورابنفش، باندهای مرئی، مادون قرمز کوتاه و مادون قرمز طول موج کوتاه پشتیبانی می‌کند. داده‌های این ماهواره از تابستان سال ۲۰۱۸ میلادی بصورت روزانه و با توان تفکیک مکانی یک کیلومتری در دسترس است.

به‌منظور بررسی ارتباط بین مقادیر دی‌اکسید نیتروژن با داده‌های اقلیمی (باد، دما و بارش)، مقادیر این پارامترها از سازمان هواشناسی استان فارس اخذ گردید. همچنین از داده‌های ایستگاه پایش آلودگی هوا جهت ارزیابی مقادیر دی اکسید نیتروژن منتج از داده‌های ماهواره‌ای، استفاده شد.

منطقه‌ی مورد مطالعه:

شهر شیراز، مرکز استان فارس و در عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۲۵ دقیقه و در طول جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۹ دقیقه قرار گرفته است (شکل ۱). تغییرات ارتفاعی این کلان‌شهر بین ۱۴۵۶ تا ۲۲۹۴ متر متغیر می‌باشد. مساحت این شهر ۵۲۲ کیلومترمربع است و اطراف آن را کوه‌های نسبتاً بلندی فرا گرفته است. متوسط درجه حرارت سالانه ۱۷/۳ درجه‌ی سانتیگراد و حداکثر درجه حرارت به ۴۳/۲ درجه‌ی سانتیگراد در فصول گرم می‌رسد. میزان بارندگی سالانه بیش از ۳۰۷ میلی متر بوده است. به طور کلی شهر شیراز دارای آب و هوای گرم و نیمه خشک است. شیراز از یازده منطقه‌ی شهرداری تشکیل شده و جمعیت آن، ۱۵۶۲۵۷۲ نفر می‌باشد. در سال‌های اخیر به شکل روزافزونی افزایش جمعیت ناشی از مهاجرت در این کلان‌شهر مشاهده شده است. لذا افزایش سریع جمعیت باعث بروز معضلات زیست‌محیطی گسترده‌ای از در این کلان‌شهر گردیده است (کرمی[2] و همکاران، ۲۰۲۳).

[1] mol/m^2
[2] Karami



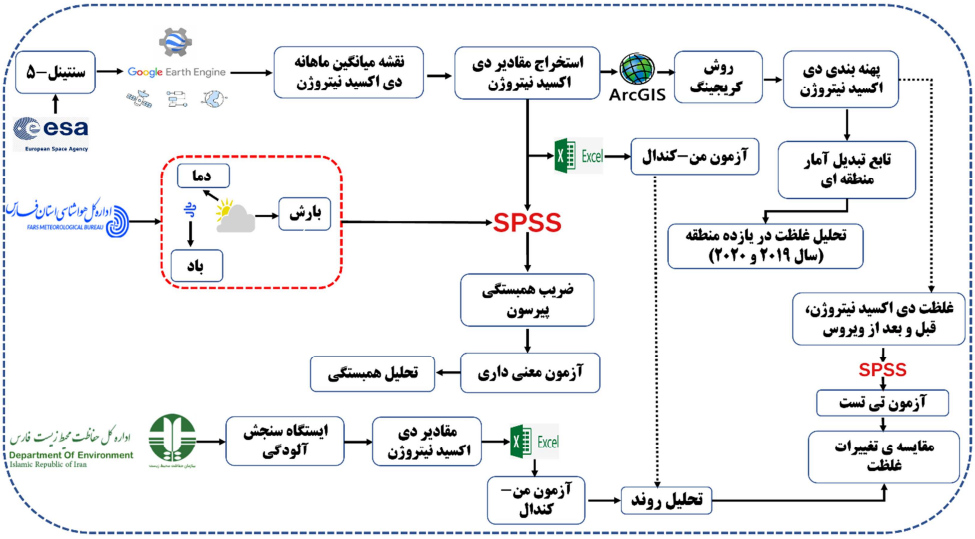
شکل ۱: موقعیت جغرافیایی کلان‌شهر شیراز و ایستگاه سینوپتیک بر روی نقشه. *منبع: نویسندگان*

روش تحقیق:

در تحقیق حاضر، داده‌های ماهواره‌ی سنتینل-۵ در سامانه‌ی گوگل ارث انجین (شکل ۲) مورد پردازش قرار گرفت و مقادیر دی اکسید نیتروژن برای کلان‌شهر شیراز محاسبه گردید (شکل ۳). گوگل ارث انجین[1] یا GEE یک سامانه تحت وب است که با تهیه‌ی بانک اطلاعاتی تصاویر ماهواره‌ای و فرامین ساده، امکان انواع پردازش‌های داده-های سنجش از دور را فراهم نموده است (فرهادی[2] و نجف‌زاده، ۲۰۲۱). متخصصین زیادی به منظور انجام پژوهش-های علمی و همچنین پیاده‌سازی پروژه‌های مختلف سنجش از دوری از این سامانه استفاده نموده‌اند (باهاتچارای[3] و همکاران، ۲۰۲۲؛ فرهادی و همکاران، ۲۰۲۲؛ پرز-کوتیلاس[4]، ۲۰۲۳؛ فرهادی و همکاران، ۱۴۰۱؛ جعفری و همکاران، ۱۴۰۰). پژوهش حاضر در بستر سامانه گوگل ارث انجین و مطابق با فلوچارت شکل ۲ صورت گرفت. در این رابطه و به منظور تعیین میزان تولید، انتشار و بررسی تغییرات مکانی آلاینده دی‌اکسید نیتروژن در قبل و بعد از شیوع ویروس کووید-۱۹، از تصاویر ماهواره سنتینل-۵ در بازه زمانی یازده دی‌ماه ۱۳۹۷ تا یازده دی‌ماه ۱۳۹۸ (برای دوره پیش از کووید-۱۹) و بازه یازده دی‌ماه ۱۳۹۸ تا یازده دی‌ماه ۱۳۹۹ برای دوران شیوع کووید-۱۹ استفاده شد. آنالیز و تهیه نقشه میانگین مقادیر ماهانه دی‌اکسید نیتروژن طی ۲۴ ماه با استفاده از گوگل ارث انجین صورت گرفت. به‌منظور میان‌یابی مقادیر دی‌اکسید نیتروژن، از روش کریجینگ در نرم‌افزار ArcGIS استفاده گردید. از تابع تبدیل آمار منطقه‌ای برای مشخص نمودن مقادیر دقیق این آلاینده در یازده منطقه‌ی کلان‌شهر شیراز استفاده شد. به‌منظور بررسی نقش پارامترهای اقلیمی (باد، دما و بارش) در تغییر مقادیر دی‌اکسید نیتروژن، داده‌های مربوط به این پارامترها از سازمان هواشناسی فارس اخذ (در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ به صورت روزانه و ماهانه) و تأثیر این سه

[1] Google Earth Engine (GEE)
[2] Farhadi
[3] Bhattacharya
[4] Pérez-Cutillas

عامل در کاهش و یا افزایش مقادیر گاز دی‌اکسید نیتروژن در مناطق مختلف شهر شیراز با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون در نرم‌افزار SPSS مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس برای مقایسه تفاوت بین غلظت آلاینده مورد مطالعه در قبل و بعد از شیوع ویروس کووید-۱۹ و بررسی تفاوت میانگین، از آزمون T-test (تی وابسته) استفاده شد. بر اساس این آزمون، مقادیری که p-value < ۰/۰۵ داشتند، معنادار در نظر گرفته شدند که این موضوع به‌منزله‌ی تغییر در غلظت آلاینده مورد مطالعه در قبل و بعد از ویروس کووید-۱۹ (کاهشی یا افزایشی) بود و مقادیری که p-value > ۰/۰۵ داشتند بدون تغییر یا با تغییرات کم تلقی شد. به‌منظور تحلیل روند تغییرات داده‌های دی‌اکسید نیتروژن اخذشده از ایستگاه پایش آلودگی و همچنین مقادیر دی‌اکسید نیتروژن مستخرج از گوگل ارث انجین، از آزمون من-کندال در نرم‌افزار اکسل استفاده گردید.



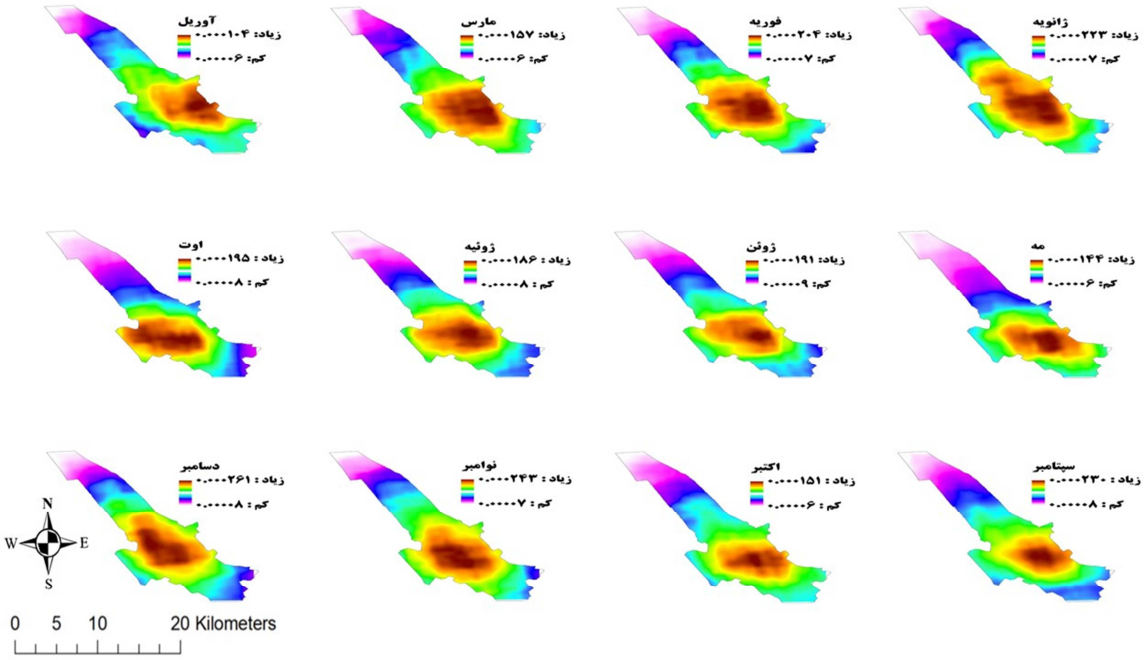
شکل۲: فلوچارت مربوط به روند انجام پژوهش. *منبع: نویسندگان*

نتایج و بحث

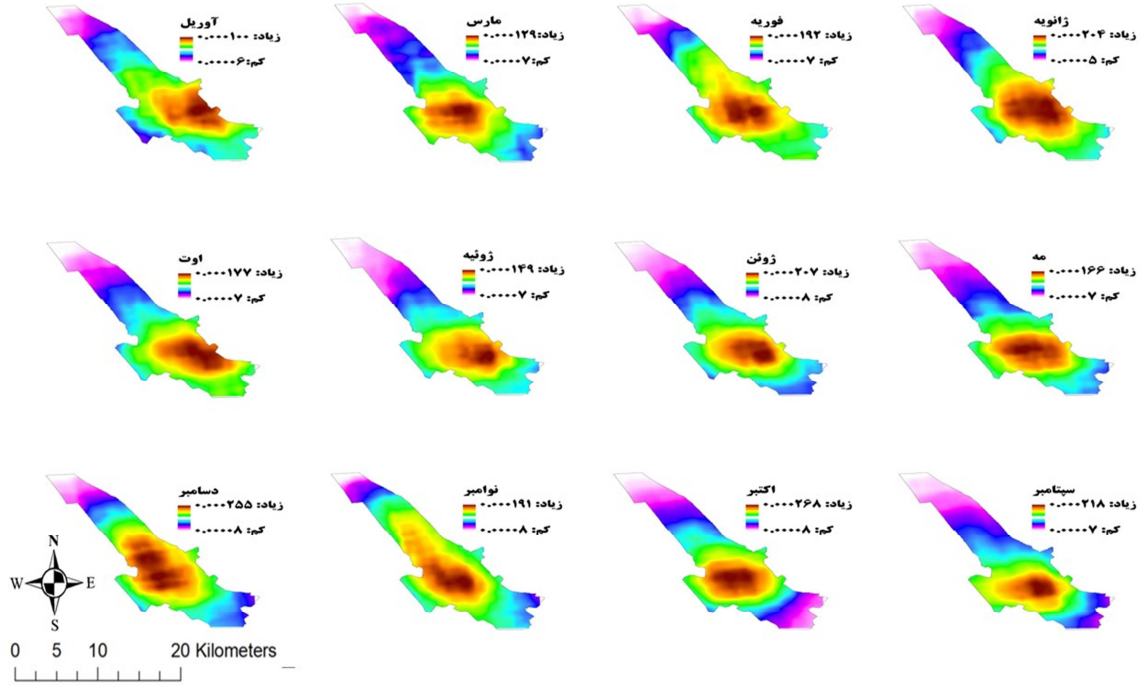
نتایج داده‌های ماهواره‌ای:

نقشه توزیع مکانی گاز دی‌اکسید نیتروژن از فوریه ۲۰۱۹ تا دسامبر ۲۰۲۰ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۵ در سامانه گوگل ارث انجین تهیه شد که به ترتیب در شکل ۳ و ۴ نشان داده شده است. همچنین، مقادیر میانگین دی‌اکسید نیتروژن برای هر منطقه از کلان‌شهر شیراز که با استفاده از تابع آمار منطقه‌ای[1] تهیه گردید، در جدول ۱ ارائه شده است.

[1] Zonal statistics



شکل ۳: نقشه پهنه‌بندی توزیع ماهانه‌ی آلاینده‌ی دی‌اکسید نیتروژن کلان‌شهر شیراز، سال ۲۰۱۹. *منبع: نویسندگان*



شکل ۴: نقشه پهنه‌بندی توزیع ماهانه‌ی آلاینده‌ی دی‌اکسید نیتروژن کلان‌شهر شیراز، سال ۲۰۲۰. *منبع: نویسندگان*

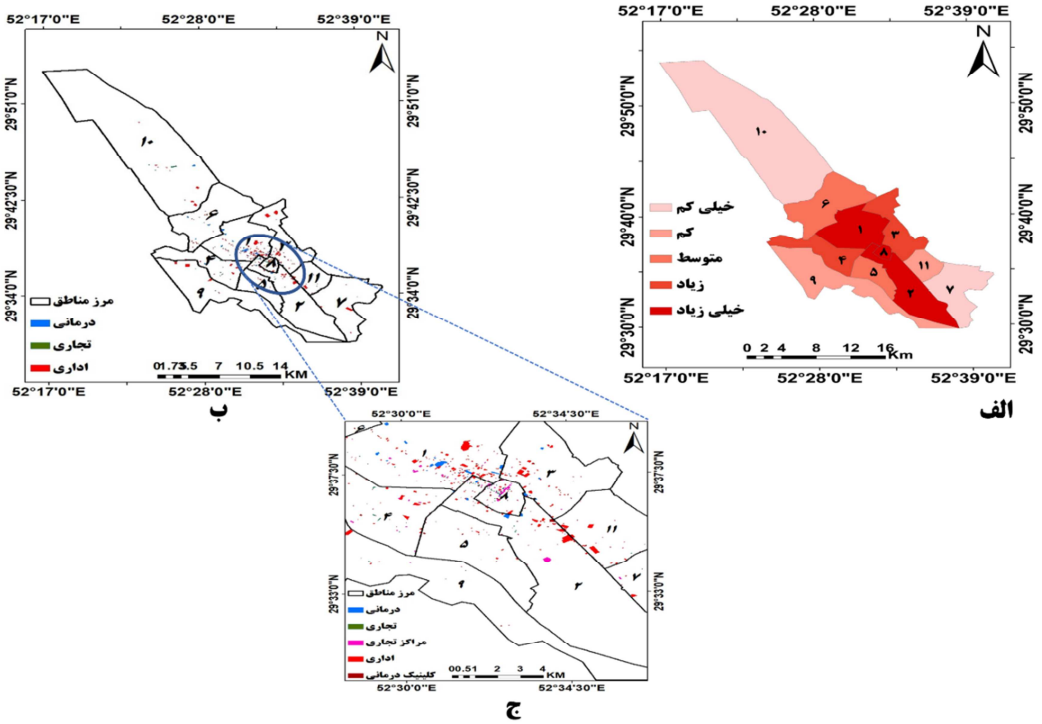
همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است، میانگین مقادیر سالانه دی‌اکسید نیتروژن در سال ۲۰۱۹ به میزان ۰/۰۰۰۱۸۶ و در سال ۲۰۲۰ به میزان ۰/۰۰۰۱۸۱ مول بر مترمربع است. ماه دسامبر در سال ۲۰۱۹ با ۰/۰۰۰۲۶۱ و

ماه اکتبر با میانگین ۰/۰۰۰۲۶۰ در سال ۲۰۲۰ به عنوان آلوده‌ترین ماه‌های سال بوده‌اند. به لحاظ پراکنش جغرافیایی و منطقه‌بندی آلودگی، نتایج شکل ۳ و ۴ حاکی از آن است که در سال ۲۰۱۹ منطقه‌ی ۲ با میانگین۰/۰۰۰۱۹۰ و در سال ۲۰۲۰ منطقه ۱ با میانگین ۰/۰۰۰۱۸۶ جزو آلوده‌ترین مناطق کلان‌شهر شیراز می‌باشد. همچنین، منطقه ۱۰ و منطقه ۷ با میانگین ۰/۰۰۰۱۵۱ در هر دو سال، به عنوان پاک‌ترین مناطق شهر شیراز بودند. همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، منطقه ۱۰ در قسمت شمالی شیراز قرار گرفته و بیشترین مساحت را در بین مناطق شهری به خود اختصاص داده است. به نظر می‌رسد دوری از مرکزیت شهری، پراکنده بودن کاربری‌های شهری و سطح زیاد زمین‌های بایر از علل کاهش مقادیر گاز دی‌اکسید نیتروژن در این منطقه باشد. با توجه به میانگین مقادیر دی‌اکسید نیتروژن در دو سال مورد مطالعه، آلوده‌ترین مناطق شهری، به ترتیب، مناطق دو، یک، چهار، سه، پنج، شش و هشت بودند و مناطق ده، هفت، نه و یازده به ترتیب جز پاک‌ترین مناطق شیراز بوده است. از ژانویه ۲۰۱۹ تا دسامبر ۲۰۲۰، منطقه دو با میانگین مقدار ۰/۰۰۰۱۸۸ جز آلوده‌ترین مناطق شهری این کلان‌شهر بود (شکل ۵ الف). منطقه یک، دو، هشت و سه که جز مناطق با تراکم بالای دی‌اکسید نیتروژن بوده‌اند در مرکزیت شهر شیراز و یا نزدیک به آن واقع شده‌اند.

جدول ۱: مقادیر میانگین گاز دی‌اکسید نیتروژن به‌صورت منطقه بندی در سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ برحسب مول بر مترمربع (کمترین میزان آن ۰/۰۰۵- و بیشترین میزان آن ۰/۰۱۹۲، مول بر مترمربع می‌باشد)

تاریخ	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ۴	منطقه ۵	منطقه ۶	منطقه ۷	منطقه ۸	منطقه ۹	منطقه ۱۰	منطقه ۱۱
۲۰۱۹/۰۱	۰/۰۰۰۲۲۳	۰/۰۰۰۲۲۳	۰/۰۰۰۲۲۲	۰/۰۰۰۲۱۳	۰/۰۰۰۲۱۶	۰/۰۰۰۲۱۱	۰/۰۰۰۱۸۵	۰/۰۰۰۲۲۱	۰/۰۰۰۱۹۳	۰/۰۰۰۲۰۹	۰/۰۰۰۲۱۹
۲۰۱۹/۰۲	۰/۰۰۰۲۰۴	۰/۰۰۰۲۰۴	۰/۰۰۰۲۰۳	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱۹۹	۰/۰۰۰۱۸۸	۰/۰۰۰۱۵۵	۰/۰۰۰۲۰۱	۰/۰۰۰۱۸	۰/۰۰۰۱۶۷	۰/۰۰۰۱۹۲
۲۰۱۹/۰۳	۰/۰۰۰۱۵۴	۰/۰۰۰۱۵۵	۰/۰۰۰۱۵۷	۰/۰۰۰۱۵۲	۰/۰۰۰۱۵۱	۰/۰۰۰۱۴۳	۰/۰۰۰۱۳۹	۰/۰۰۰۱۵۶	۰/۰۰۰۱۴۲	۰/۰۰۰۱۲۲	۰/۰۰۰۱۵۵
۲۰۱۹/۰۴	۰/۰۰۰۱۰۴	۰/۰۰۰۱۰۳	۰/۰۰۰۱۰۵	۰/۰۰۰۱۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۹۷	۰/۰۰۰۹۶	۰/۰۰۰۱۰۴	۰/۰۰۰۹۱	۰/۰۰۰۹۱	۰/۰۰۰۱۰۳
۲۰۱۹/۰۵	۰/۰۰۰۱۳۷	۰/۰۰۰۱۴۴	۰/۰۰۰۱۴۴	۰/۰۰۰۱۳۸	۰/۰۰۰۱۴	۰/۰۰۰۱۱۹	۰/۰۰۰۱۳۱	۰/۰۰۰۱۴۳	۰/۰۰۰۱۲۹	۰/۰۰۰۹۷	۰/۰۰۰۱۴۳
۲۰۱۹/۰۶	۰/۰۰۰۱۸۸	۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۰۱۸۴	۰/۰۰۰۱۸۱	۰/۰۰۰۱۷۵	۰/۰۰۰۱۵۲	۰/۰۰۰۱۹۲	۰/۰۰۰۱۶۹	۰/۰۰۰۱۴۶	۰/۰۰۰۱۸۱
۲۰۱۹/۰۷	۰/۰۰۰۱۸۶	۰/۰۰۰۱۸۷	۰/۰۰۰۱۸۵	۰/۰۰۰۱۸۳	۰/۰۰۰۱۸	۰/۰۰۰۱۶۷	۰/۰۰۰۱۴۴	۰/۰۰۰۱۸۶	۰/۰۰۰۱۷۱	۰/۰۰۰۱۴۴	۰/۰۰۰۱۷۶
۲۰۱۹/۰۸	۰/۰۰۰۱۸۹	۰/۰۰۰۱۹۶	۰/۰۰۰۱۸۹	۰/۰۰۰۱۹۴	۰/۰۰۰۱۹۵	۰/۰۰۰۱۸۸	۰/۰۰۰۱۴۶	۰/۰۰۰۱۹۵	۰/۰۰۰۱۹۲	۰/۰۰۰۱۵	۰/۰۰۰۱۷۷
۲۰۱۹/۰۹	۰/۰۰۰۲۲۸	۰/۰۰۰۲۲۹	۰/۰۰۰۲۲۹	۰/۰۰۰۲۲۶	۰/۰۰۰۲۱۷	۰/۰۰۰۱۸۶	۰/۰۰۰۱۷۶	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۱۸۴	۰/۰۰۰۱۷	۰/۰۰۰۲۱۲
۲۰۱۹/۱۰	۰/۰۰۰۱۴۹	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۱۴۵	۰/۰۰۰۱۴۷	۰/۰۰۰۱۴۵	۰/۰۰۰۱۲۸	۰/۰۰۰۱۲۷	۰/۰۰۰۱۵۱	۰/۰۰۰۱۲۹	۰/۰۰۰۱۱۱	۰/۰۰۰۱۴۳
۲۰۱۹/۱۱	۰/۰۰۰۲۴	۰/۰۰۰۲۴۳	۰/۰۰۰۲۳۲	۰/۰۰۰۲۴	۰/۰۰۰۲۴۳	۰/۰۰۰۲۲۱	۰/۰۰۰۱۸۲	۰/۰۰۰۲۴۱	۰/۰۰۰۲۱۸	۰/۰۰۰۱۹۴	۰/۰۰۰۲۲۶
۲۰۱۹/۱۲	۰/۰۰۰۲۶۱	۰/۰۰۰۲۵۶	۰/۰۰۰۲۴۳	۰/۰۰۰۲۵۳	۰/۰۰۰۲۵۲	۰/۰۰۰۲۶۱	۰/۰۰۰۱۸۳	۰/۰۰۰۲۴۵	۰/۰۰۰۲۲۸	۰/۰۰۰۲۴۱	۰/۰۰۰۲۱۶
۲۰۲۰/۰۱	۰/۰۰۰۲۰۲	۰/۰۰۰۲۰۲	۰/۰۰۰۲۰۴	۰/۰۰۰۱۹۹	۰/۰۰۰۱۹۱	۰/۰۰۰۱۸۷	۰/۰۰۰۱۶۵	۰/۰۰۰۲۰۴	۰/۰۰۰۱۷۵	۰/۰۰۰۱۵۷	۰/۰۰۰۱۹۵
۲۰۲۰/۰۲	۰/۰۰۰۱۹۲	۰/۰۰۰۱۹۲	۰/۰۰۰۱۸۷	۰/۰۰۰۱۸۷	۰/۰۰۰۱۸۳	۰/۰۰۰۱۷۶	۰/۰۰۰۱۴۶	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۰۱۶۹	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۰۱۶۶
۲۰۲۰/۰۳	۰/۰۰۰۱۲۹	۰/۰۰۰۱۲۷	۰/۰۰۰۱۲۳	۰/۰۰۰۱۲۷	۰/۰۰۰۱۲۵	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۰۱۰۳	۰/۰۰۰۱۲۵	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۱۰۷	۰/۰۰۰۱۱
۲۰۲۰/۰۴	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۹۹	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۹۳	۰/۰۰۰۹۳	۰/۰۰۰۹۳	۰/۰۰۰۸۴	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۸۱	۰/۰۰۰۸۲	۰/۰۰۰۹۴
۲۰۲۰/۰۵	۰/۰۰۰۱۶۶	۰/۰۰۰۱۶۳	۰/۰۰۰۱۵۹	۰/۰۰۰۱۶۶	۰/۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۱۴۵	۰/۰۰۰۱۳۳	۰/۰۰۰۱۶۲	۰/۰۰۰۱۵۱	۰/۰۰۱۲۳	۰/۰۰۰۱۵۵
۲۰۲۰/۰۶	۰/۰۰۰۲۰۱	۰/۰۰۰۲۰۸	۰/۰۰۰۲۰۷	۰/۰۰۰۱۹۷	۰/۰۰۰۱۹۹	۰/۰۰۰۱۷۴	۰/۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۲۰۷	۰/۰۰۰۱۷۶	۰/۰۰۰۱۵	۰/۰۰۰۲۰۲
۲۰۲۰/۰۷	۰/۰۰۰۱۳۹	۰/۰۰۰۱۴۸	۰/۰۰۰۱۴۹	۰/۰۰۰۱۳۹	۰/۰۰۰۱۴۲	۰/۰۰۰۱۲۵	۰/۰۰۰۱۲۸	۰/۰۰۰۱۴۳	۰/۰۰۰۱۳۴	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۱۵
۲۰۲۰/۰۸	۰/۰۰۰۲۲۳	۰/۰۰۰۱۷۶	۰/۰۰۰۱۷۷	۰/۰۰۰۱۶۹	۰/۰۰۰۱۶۵	۰/۰۰۰۱۴۶	۰/۰۰۰۱۶۵	۰/۰۰۰۱۷۸	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۰۱۲۷	۰/۰۰۰۱۷۵
۲۰۲۰/۰۹	۰/۰۰۰۲۰۴	۰/۰۰۰۲۱۸	۰/۰۰۰۲۱۲	۰/۰۰۰۲۱۴	۰/۰۰۰۲۱۸	۰/۰۰۰۱۷۳	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۰۲۱۸	۰/۰۰۰۱۹۱	۰/۰۰۰۱۴۳	۰/۰۰۰۱۹۸
۲۰۲۰/۱۰	۰/۰۰۰۱۵۴	۰/۰۰۰۲۶۴	۰/۰۰۰۲۴۷	۰/۰۰۰۲۶۲	۰/۰۰۰۲۵۲	۰/۰۰۰۲۵۱	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۰۲۵۴	۰/۰۰۰۲۴۳	۰/۰۰۰۲۰۴	۰/۰۰۰۲۱۱
۲۰۲۰/۱۱	۰/۰۰۰۱۰۴	۰/۰۰۰۱۹۱	۰/۰۰۰۱۷۸	۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۰۱۸۶	۰/۰۰۰۱۸۳	۰/۰۰۰۱۴۱	۰/۰۰۰۱۸۹	۰/۰۰۰۱۷۴	۰/۰۰۰۱۷۳	۰/۰۰۱۶
۲۰۲۰/۱۲	۰/۰۰۰۱۳۷	۰/۰۰۰۲۴۱	۰/۰۰۰۲۲۴	۰/۰۰۰۲۴۸	۰/۰۰۰۲۳۷	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۰۱۶۳	۰/۰۰۰۲۳۳	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۰۲۴۲	۰/۰۰۰۱۹۷

عوامل اصلی آلودگی در مناطق مذکور را می‌توان به مرکزیت شهری و یا نزدیک بودن به مرکز شهر، مراکز خرید، مراکز اداری، مراکز درمانی گسترده در این مناطق و تردد وسایل نقلیه نسبت داد. در شکل ۵ (ب و ج) نقشه پراکندگی کاربری درمانی، تجاری و اداری نشان داده شده است که به‌وضوح می‌توان تجمع و تمرکز این کاربری‌ها را در مرکز شهر مشاهده نمود. وجود این کاربری‌ها می‌تواند نقش مهمی در افزایش رفت‌وآمد، ترافیک سنگین و به موازات آن افزایش آلودگی حداکثری در این مناطق را داشته باشد. در پژوهشی که توسط تقوایی و همکاران (۱۳۹۱) با عنوان بررسی پراکنش کاربری‌های پزشکی و تأثیر آن بر روی ترافیک شهری در شهر کرمانشاه انجام گردید، این موضوع مطرح شد که مکان‌یابی و پراکنش کاربری درمانی در سطح شهر بر اساس اصول شهرسازی و برنامه‌ریزی شهری نبوده و تمرکز بیش‌ازحد این کاربری در بخش مرکزی شهر باعث بروز مشکلات ترافیکی و آلودگی در این محدوده شهر گشته است. موضوعی که کاملاً برای مناطق مرکزی شهر شیراز در مورد کاربری پزشکی صدق می‌کند، اما نمی‌توان از نقش کاربری‌های مراکز خرید و مراکز اداری در افزایش ترافیک و آلودگی نیز چشم‌پوشی کرد.



شکل ۵: میانگین حداکثر و حداقل مقادیر دی‌اکسید نیتروژن در سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ در مناطق یازده‌گانه شیراز (الف)، نقشه پراکندگی کاربری‌های مراکز خرید، اداری و مراکز درمانی در سطح شیراز (ب)، تمرکز کاربری‌ها در منطقه‌ی ۸ و پیرامون آن (ج). *منبع: نویسندگان*

ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای:

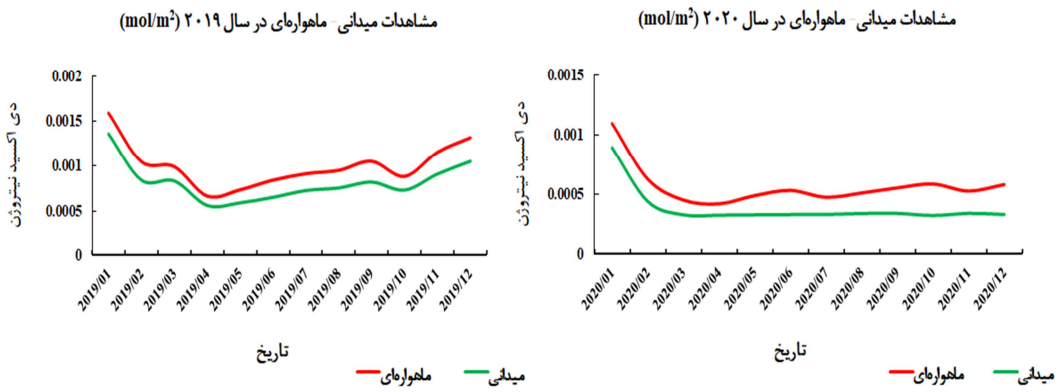
برای ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده از داده‌های ماهواره سنتینل-۵، از اطلاعات ایستگاه کنترل کیفیت هوای شهر شیراز استفاده شد. داده‌های موجود در جدول ۲ مربوط به ایستگاه پایش آلودگی دروازه کازرون شیراز و همچنین داده‌های

تصاویر ماهواره‌ای است. میانگین غلظت دی‌اکسید نیتروژن از ابتدای سال ۲۰۱۹ تا سال ۲۰۲۰ به‌صورت ماهانه محاسبه شده و سری زمانی آن ترسیم گردید (شکل ۶). شکل ۶ نمودار سری زمانی و رفتار به‌دست‌آمده کاهش غلظت این آلاینده را در سال ۲۰۲۰ نسبت به سال ۲۰۱۹ نشان می‌دهد. همان‌طور که از مقادیر جدول ۲ نیز مشخص است در سال ۲۰۱۹ بیشترین افزایش به ترتیب مربوط به فصول زمستان، پاییز، تابستان و بیشترین کاهش مربوط به فصل بهار است. در سال ۲۰۲۰ به‌جز ماه‌های ژانویه و فوریه، در بقیه سال میانگین مقادیر دستخوش تغییرات چشم‌گیری نیست. مقدار p-value محاسبه شده در آزمون من-کندال، ۰/۰۰۱ برای مقادیر ایستگاه زمینی، و ۰/۰۳۵ برای داده‌های ماهواره‌ای نتیجه گردید که این مقادیر کمتر از سطح آلفای معنی‌داری (۰/۰۵) بود. این موضوع، دلالت بر وجود روند در داده‌های میانگین دو سال داشت. مقدار آماره‌ی من-کندال نیز برای میانگین مقادیر ایستگاه زمینی، ۰/۳۶۸- و برای داده‌های ماهواره‌ای، ۰/۰۶۲- نتیجه شد که معرف وجود روند کاهشی در این داده‌ها می‌باشد. همان‌گونه که در شکل ۶ نیز قابل مشاهده است الگوی تغییرات میانگین گاز دی‌اکسید نیتروژن مربوط به داده‌های ماهواره‌ای در سال‌های مورد مطالعه روند کاهشی داشته که با الگوی تغییرات مقادیر اخذشده از ایستگاه پایش آلودگی همخوانی دارد. این همخوانی بین داده‌های منتج از سنتینل-۵ و داده‌های دی‌اکسید نیتروژن مربوط به ایستگاه زمینی، در پژوهش شامی[1] و همکاران (۲۰۲۲) نیز به چشم می‌خورد.

جدول ۲: میانگین مقادیر ماهانه اخذشده از ایستگاه زمینی و مقادیر منتج از تصاویر ماهواره‌ای برحسب مول بر مترمربع (mol/m^2)

تاریخ	سال ۲۰۱۹		سال ۲۰۲۰	
	(مقادیر ایستگاه زمینی)	(مقادیر ماهواره‌ای)	(مقادیر ایستگاه زمینی)	(مقادیر ماهواره‌ای)
ژانویه	۰/۰۰۱۳۶۵۴	۰/۰۰۰۲۲۳	۰/۰۰۰۸۹۶۷	۰/۰۰۰۲۰۴
فوریه	۰/۰۰۰۸۴۳۶	۰/۰۰۰۲۰۴	۰/۰۰۰۴۴۴۳	۰/۰۰۰۱۹۲
مارس	۰/۰۰۰۸۳۴۵	۰/۰۰۰۱۵۷	۰/۰۰۰۳۳۱۵	۰/۰۰۰۱۲۹
آوریل	۰/۰۰۰۵۵۷۸	۰/۰۰۰۱۰۴	۰/۰۰۰۳۲۸۹	۰/۰۰۰۱۰۰
مه	۰/۰۰۰۵۸۷۸	۰/۰۰۰۱۴۴	۰/۰۰۰۳۳۱۷	۰/۰۰۰۱۶۶
ژوئن	۰/۰۰۰۶۴۹۳	۰/۰۰۰۱۹۱	۰/۰۰۰۳۳۹۳	۰/۰۰۰۲۰۷
ژوئیه	۰/۰۰۰۷۲۶۰	۰/۰۰۰۱۸۶	۰/۰۰۰۳۳۴۷	۰/۰۰۰۱۴۹
اوت	۰/۰۰۰۷۵۵۵	۰/۰۰۰۱۹۵	۰/۰۰۰۳۴۲۸	۰/۰۰۰۱۷۷
سپتامبر	۰/۰۰۰۸۲۱۰	۰/۰۰۰۲۳۰	۰/۰۰۰۳۴۳۹	۰/۰۰۰۲۱۸
اکتبر	۰/۰۰۰۷۳۱۰	۰/۰۰۰۱۵۱	۰/۰۰۰۳۲۶۵	۰/۰۰۰۲۶۴
نوامبر	۰/۰۰۰۹۱۲۳	۰/۰۰۰۲۴۳	۰/۰۰۰۳۴۴۳	۰/۰۰۰۱۹۱
دسامبر	۰/۰۰۱۰۵۵۸	۰/۰۰۰۲۶۱	۰/۰۰۰۳۳۴۵	۰/۰۰۰۲۵۵

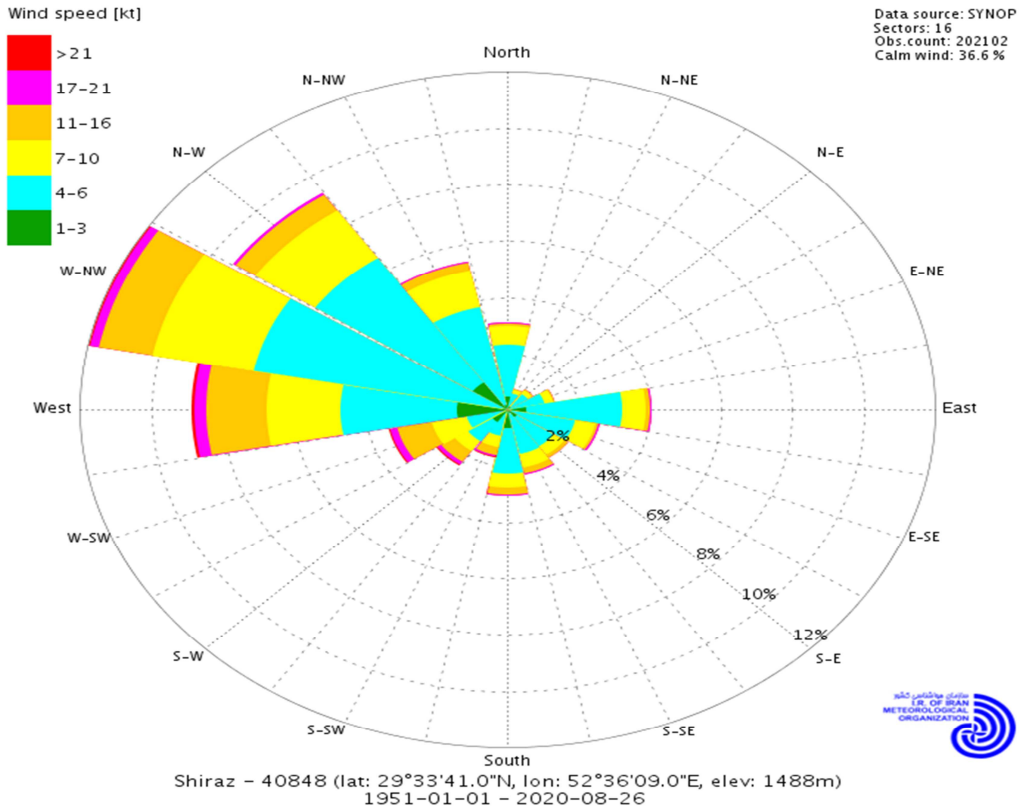
[1] Shami



شکل ۶: نمودار تغییرات مقادیر گاز دی‌اکسید نیتروژن مربوط به داده‌های ایستگاه پایش آلودگی (میدانی) و مقادیر مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰. *منبع: نویسندگان*

داده‌های آب و هوایی:

میانگین مقادیر پارامترهای اقلیمی مورد بررسی در این پژوهش در جدول ۳ ارائه شده است. در این بخش تأثیر عوامل باد و دما و بارش در پراکنش گاز دی‌اکسید نیتروژن مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس با استفاده از آزمون پیرسون، مقدار ضریب همبستگی بین میانگین داده‌های دی‌اکسید نیتروژن و عوامل اقلیمی مذکور در سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ محاسبه گردید (جدول ۴). همچنین برای مشخص‌شدن جهت و شدت وزش بادهای سالانه از نقشه گلبادهای شهر شیراز استفاده شد. همان‌طور که در شکل ۷ قابل مشاهده است بیشترین وزش باد در شهر شیراز مربوط به جهت غرب و شمال غرب با بیشینه شدت ۲۱ گره (یا ۳۸/۸۹ کیلومتر بر ساعت) می‌باشد که نقش مؤثری در پراکنش آلودگی از غرب به سمت شرق شیراز داشته است (شکل ۷).



شکل ۷: نقشه گلبادهای شهر شیراز در سال. *منبع: سازمان هواشناسی استان فارس*

جدول ۳: مقادیر میانگین داده‌های اقلیمی باد، دما و بارش در سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ (مقادیر درج‌شده در جدول مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک شهر شیراز می‌باشد)

تاریخ	دما (℃)	سرعت بادm/s	بارش	تاریخ	دما (℃)	سرعت بادm/s	بارش
۲۰۱۹/۰۱	۹	۷	۱۳/۷	۲۰۲۰/۰۱	۶	۴	۱۱۷/۸
۲۰۱۹/۰۲	۸	۶/۱	۵۸/۵	۲۰۲۰/۰۲	۱۰	۵/۱	۵/۸
۲۰۱۹/۰۳	۱۱	۶	۹۳/۶	۲۰۲۰/۰۳	۱۱	۵/۵	۷۶/۷
۲۰۱۹/۰۴	۱۶	۵/۹	۵۰/۳	۲۰۲۰/۰۴	۱۶	۷/۶	۷۴/۹
۲۰۱۹/۰۵	۲۲	۵/۴	۰	۲۰۲۰/۰۵	۲۲	۵/۴	۰
۲۰۱۹/۰۶	۲۸	۵/۴	۰	۲۰۲۰/۰۶	۲۸	۶/۳	۰
۲۰۱۹/۰۷	۳۱	۵/۷	۰	۲۰۲۰/۰۷	۳۰	۶/۵	۰
۲۰۱۹/۰۸	۲۹	۵/۶	۰	۲۰۲۰/۰۸	۲۹	۶/۵	۰
۲۰۱۹/۰۹	۲۷	۵/۳	۰	۲۰۲۰/۰۹	۲۴	۵/۳	۰
۲۰۱۹/۱۰	۲۱	۵/۱	۱/۵	۲۰۲۰/۱۰	۱۸	۳/۴	۰
۲۰۱۹/۱۱	۱۱	۳/۸	۵۹/۳	۲۰۲۰/۱۱	۱۳	۳/۸	۶۵/۱
۲۰۱۹/۱۲	۸	۳/۳	۸۴	۲۰۲۰/۱۲	۸	۳/۳	۷۷

جدول ۴: میانگین باد (m/s)، دما (C^0)، دی‌اکسید نیتروژن (مول بر مترمربع) و ضریب همبستگی بین دی‌اکسید نیتروژن با باد، دما و بارش برای سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰

پارامترها	ضریب همبستگی	سطح معناداری P-Value
میانگین مقادیر دما ۲۰۱۹	-۰/۲۳۴	۰/۴۶۵
میانگین مقادیر دما ۲۰۲۰	-۰/۱۳۸	۰/۶۶۹
میانگین مقادیر باد ۲۰۱۹	-۰/۴۵۴	۰/۱۳۸
میانگین مقادیر باد ۲۰۲۰	-۰/۷۹۹**	۰/۰۰۳
میانگین مقادیر باد در سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰	-۰/۶۳۸**	۰/۰۰۱
میانگین مقادیر دما در سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰	-۰/۱۸۴	۰/۳۸۹
مقادیر بارش در سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰	-۰/۰۶۳	۰/۷۷۰

- علامت ** یعنی در سطح کمتر از آلفای ۰/۰۵ معنادار است.

با توجه به نتایج جدول ۴، بین میانگین مقادیر دی‌اکسید نیتروژن و باد، همبستگی معکوس و قوی به میزان ۰/۶۳۸- در سطح معناداری ۰/۰۰۱ دیده می‌شود. همچنین ضریب همبستگی معکوس و ضعیفی به میزان ۰/۱۸۴- در سطح معناداری ۰/۳۸۹ بین میانگین دی‌اکسید نیتروژن و دما در هر دو سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ نتیجه شده که در جدول ۴ قابل مشاهده است. این نتایج نشان می‌دهد که متغیر باد نقش پررنگ‌تری در تغییرات دی‌اکسید نیتروژن داشته است. به این صورت که با کاهش سرعت باد، مقادیر آن افزایش یافته و بالعکس. با توجه به مقادیر شکل ۳ و ۴ به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای در فصل پاییز[۱]، زمستان[۲]، تابستان[۳] و بهار[۴]، ترتیب میزان آلودگی در هر دو سال برای فصول مذکور با میانگین ۰/۰۰۰۲۵۵، ۰/۰۰۰۱۸۴، ۰/۰۰۰۱۸۷ و ۰/۰۰۰۱۵۱ مول بر مترمربع نتیجه شد. از طرف دیگر، سرعت باد ۳/۸ متر بر ثانیه در فصل پاییز و ۶ متر بر ثانیه (جدول ۳) در فصل بهار نیز نقش مؤثری در کاهش و افزایش مقادیر گاز دی‌اکسید نیتروژن در شهر شیراز داشته است. همچنین همبستگی مثبتی هم بین مقادیر بارش با مقادیر گاز دی‌اکسید نیتروژن در دو سال دیده نشد، بنابراین به نظر می‌رسد در بین عوامل اقلیمی بررسی شده فقط باد در تغییرات و جابه‌جایی گاز دی‌اکسید نیتروژن نقش داشته است (جدول ۴). نتایج این بخش با نتایج مطالعات شیکوامبانا (۲۰۲۰)، رنجبر و باهک (۱۳۹۸) و کفایت مطلق (۱۳۹۹) مطابقت دارد.

نقش ویروس کرونا:

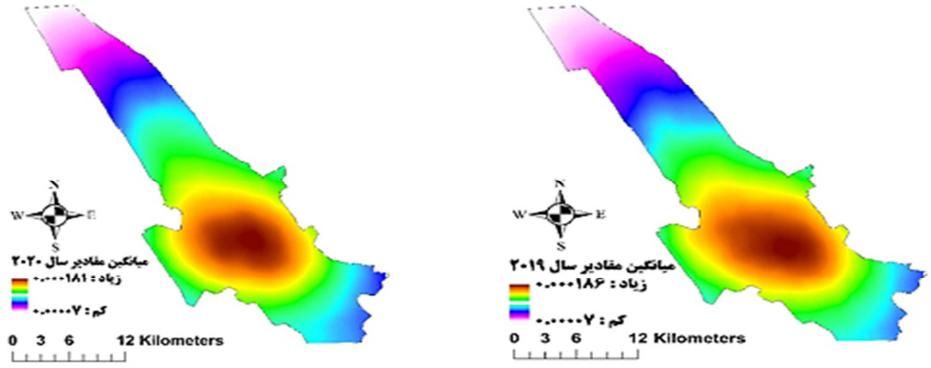
در این پژوهش علاوه بر پارامترهای اقلیمی که در کاهش، افزایش و تغییرات گاز دی‌اکسید نیتروژن نقش مؤثری دارند تأثیر کووید-۱۹ نیز به‌صورت غیرمستقیم مورد بررسی قرار گرفت. انتشار ویروس کووید-۱۹ در کشور ایران از بهمن‌ماه سال ۱۳۹۸، مسئولین کشور را بر آن داشت تا بسیار از مشاغل را تعطیل کرده و کاهش رفت و آمد افراد

۱ (ماه‌های اکتبر، نوامبر، دسامبر، ۲۰۱۹، ۲۰۲۰)
۲ (ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، ۲۰۱۹،۲۰۲۰)
۳ (ماه‌های ژوئیه، آگوست، سپتامبر، ۲۰۱۹،۲۰۲۰)
۴ (ماه‌های آوریل، مه، ژوئن، ۲۰۱۹،۲۰۲۰)

جامعه به‌منظور کاهش بیماری را اعمال نمایند. به این ترتیب با اعمال محدودیت‌ها در سطح کلان، فعالیت کارخانه‌ها کاهش یافت و همچنین رفت‌وآمد عمومی به کمترین میزان خود در سال‌های اخیر رسید. ازآنجایی‌که آلاینده‌های هوا تحت تأثیر دود ناشی از سوخت‌وساز کارخانه‌ها و وسایل حمل‌ونقل است، به نظر می‌رسد آلاینده‌ها و از جمله دی اکسید نیتروژن در ایام انتشار کووید-۱۹ کاهش یافته باشند (شامی و همکاران، ۱۳۹۹). نتایج این پژوهش در رابطه با مقادیر ماهانه گاز دی‌اکسید نیتروژن در سال ۲۰۱۹ که قبل از همه‌گیری ویروس بوده و همچنین مقادیر آن در سال ۲۰۲۰ بیانگر آن بود که آلاینده دی‌اکسید نیتروژن به‌صورت ماهانه در بیشتر میانگین‌ها به‌صورت کاهشی بوده، همان‌گونه که در شکل ۶ نیز قابل مشاهده است. در پژوهشی که توسط شامی و همکاران (۱۳۹۹) صورت گرفت، تغییرات زمانی و مکانی میزان هواویزها، دی‌اکسید نیتروژن، مونوکسید کربن و ازن، با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل-۵ در طی زمان مورد مقایسه قرار گرفت. این ارزیابی در فروردین‌ماه ۱۳۹۹ هم‌زمان با انتشار ویروس کووید-۱۹ برای کشور ایران با مقادیر دوره مشابه در فروردین‌ماه سال ۱۳۹۸ انجام شد. نتایج این پژوهشگران نشان داد میزان غلظت دی‌اکسید نیتروژن کل ستون جو و دی‌اکسید نیتروژن موجود در وردسپهر که ارتباط مستقیمی با حمل‌ونقل و فعالیت‌های انسانی دارد کاهش یافته است. این موضوع بیانگر آن بود که بهبود کیفیت هوا در فروردین ۱۳۹۹ نسبت به ماه مشابه در سال ۱۳۹۸ رخ داده است، این نتایج با نتایج اکثر مقادیر ماهانه‌ی به‌دست آمده در پژوهش حاضر نیز همخوانی داشت. به‌طور مثال مقادیر گاز دی‌اکسید نیتروژن در ماه‌های مارس، ژوئیه و نوامبر به ترتیب ۱۷/۸، ۱۹/۸ و ۲۱/۳ درصد در سال ۲۰۲۰ نسبت به مقادیر سال ۲۰۱۹ کاهش داشته است. نتایج پژوهشگران در شهرهای مختلف دنیا نیز بیانگر کاهش این آلاینده در دوره‌ی محدودیت تردد بوده است (وانگ و سو[1]، ۲۰۲۰؛ برومندی[2] و همکاران، ۲۰۲۰، توبیاس[3] و همکاران، ۲۰۲۰؛ اوگن[4]، ۲۰۲۰؛ شارما[5] و همکاران، ۲۰۲۰؛ داسگوپتا و سریکانت[6]، ۲۰۲۰؛ ساکسنا و راج[7]، ۲۰۲۰؛ بالداسانا[8]، ۲۰۲۰؛ گاما[9] و همکاران؛ لولت[10] و همکاران، ۲۰۲۲؛ گانبات[11] و همکاران، ۲۰۲۲). در این پژوهش علاوه بر داده‌های ماهانه، نقشه‌ی میانگین گاز دی‌اکسید نیتروژن در سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ قبل و بعد از ویروس کووید-۱۹ نیز تهیه گردید که به نظر می‌رسد اختلاف فاحشی در مقادیر حداکثری گاز دی‌اکسید نیتروژن دیده نمی‌شود (شکل ۸). برای بررسی بیشتر و مقایسه تفاوت بین میانگین غلظت آلاینده دی-اکسید نیتروژن در ماه‌های مورد مطالعه از آزمون T-test (تی وابسته) استفاده شد. بر اساس این آزمون مقادیری که p-value < ۰/۰۵ داشتند، معنادار بودند که این به منزله تغییر در غلظت آلاینده مورد مطالعه در قبل و بعد از ویروس کووید-۱۹ (کاهشی یا افزایشی) بوده است و مقادیری که p-value > ۰/۰۵ داشتند بدون تغییر یا با تغییرات کم همراه بودند. نتایج این آزمون نشان داد اختلاف معناداری بین میانگین غلظت آلاینده دی‌اکسید نیتروژن در قبل (۰/۰۰۰۱۹۰۸) و بعد (۰/۰۰۰۱۸۸۰) برای این آلاینده مشاهده نشده است (p-value > ۰/۰۵)، اما اختلاف میانگین

[1] Wang & Su
[2] Broomandi
[3] Tobias
[4] Ogen
[5] Sharma
[6] Dasgupta & Srikanth
[7] Saxena & Raj
[8] Baldasano
[9] Gama
[10] Levelt
[11] Ganbat

(۰/۰۰۰۰۰۲۷۵-) هر دو سال نشان‌دهنده کاهشی بودن محدود این آلاینده در دوران کووید-۱۹ بوده است. این نتیجه با پژوهش شگرخدایی و همکاران (۱۴۰۱) همخوانی دارد. در این پژوهش به این موضوع اشاره شده است که با توجه به محدودیت‌هایی که از طرف ستاد مقابله با کووید-۱۹ در ایران اعمال گردیده با وجود کاهش در برخی فعالیت‌ها، همچنان بخش‌های مهمی حتی در طی محدودیت‌ها شدید به فعالیت خود ادامه داده‌اند. از این جهت غلظت آلاینده‌ها دست‌خوش تغییرات قابل توجهی در میانگین سالانه نبوده است. همچنین باید به این نکته توجه داشت که نوع سیاست‌هایی که در هر کشور برای کنترل شیوع ویروس کووید-۱۹ مورد استفاده قرار گرفت، متفاوت با سایر کشورها بود. میانگین مقادیر سرعت باد در سال ۲۰۱۹، ۴/۹۳ متر بر ثانیه و در سال ۲۰۲۰، ۵/۲۲ متر بر ثانیه بوده است که این مسئله حاکی از آن است که علاوه بر انتشار ویروس کووید-۱۹ باد نیز نقش پررنگی در کاهش آلودگی در سال ۲۰۲۰ داشته است (جدول ۳). در جدول ۵ جزئیات این آزمون ارائه شده است.



شکل ۸: نقشه میانگین گاز دی‌اکسید نیتروژن در سال ۲۰۱۹ (قبل ویروس کرونا)، و در سال ۲۰۲۰ (بعد از ویروس کرونا). *منبع: نویسندگان*

جدول ۵: خلاصه آزمون T-test برای مقادیر گاز دی‌اکسید نیتروژن در سال ۲۰۱۹ (قبل از ویروس کرونا) و سال ۲۰۲۰ (بعد از ویروس کرونا)

متغیر	مرحله	میانگین	انحراف استاندارد	انحراف استاندارد از میانگین	اختلاف میانگین	مقدار آماره T	P-value
دی‌اکسید نیتروژن	قبل	۰/۰۰۰۱۹۰۸	۰/۰۰۰۰۴۵۶۲	۰/۰۰۰۰۱۳۱۷	-۰/۰۰۰۰۰۲۷۵	-۰/۲۲۲	۰/۸۲۸
	بعد	۰/۰۰۰۱۸۸۰	۰/۰۰۰۰۴۸۴۱	۰/۰۰۰۰۱۳۹۸			

نتیجه‌گیری

یکی از مهم‌ترین آلاینده‌هایی که امروزه منجر به آلودگی‌های زیست‌محیطی شده و همواره بر سلامت انسان‌ها تأثیر می‌گذارد، دی‌اکسید نیتروژن است. امروزه استفاده از علم سنجش از دور ماهواره‌ای در پایش و مدیریت آلودگی شهرها نقش مؤثری داشته و به‌عنوان یک راه حلی کلیدی در مدیریت و برنامه‌ریزی شهری مورد استفاده قرار می گیرد. قدرت تفکیک زمانی و مکانی مناسب، در دسترس بودن تصاویر رایگان، پوشش وسیع و اندازه‌گیری هم‌زمان

چندین نوع از گازهای آلاینده هوا می‌تواند نقش مؤثری در مدیریت و شناسایی مناطق با آلودگی بالا و همچنین تلاش برای کاهش گازهای سمی داشته باشد. لذا هدف از انجام این پژوهش، برآورد آلاینده‌ی دی‌اکسید نیتروژن در کلان‌شهر شیراز با بکارگیری داده‌های ماهواره‌ای سنتینل-۵ بود. در این مطالعه ابتدا مقادیر آلاینده دی‌اکسید نیتروژن در سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ با استفاده از داده‌های ماهواره سنتینل-۵ در سامانه گوگل ارث انجین محاسبه شد. سپس از روش کریجینگ به‌منظور نمایش مکانی پیوسته‌ی آلاینده دی‌اکسید نیتروژن، استفاده گردید. بر اساس محاسبات صورت‌گرفته، میانگین مقادیر سالانه دی‌اکسید نیتروژن در سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ به ترتیب برابر با ۰/۰۰۰۱۸۶ و ۰/۰۰۰۱۸۱ نتیجه شد. همچنین ماه دسامبر در سال ۲۰۱۹ با میانگین ۰/۰۰۰۲۶۱ و ماه اکتبر با میانگین ۰/۰۰۰۲۶۰ در سال ۲۰۲۰ جزو آلوده‌ترین ماه‌های سال بودند. نتایج منطقه‌بندی آلودگی نشان داد که منطقه ۲ شیراز در سال ۲۰۱۹ با میانگین ۰/۰۰۰۱۹۰ و منطقه یک آن در سال ۲۰۲۰ با میانگین ۰/۰۰۰۱۸۶ به‌عنوان آلوده‌ترین مناطق شهر شیراز بودند. همچنین، منطقه ۱۰ و منطقه ۷ با میانگین ۰/۰۰۰۱۵۱ در هر دو سال، جزو پاک‌ترین مناطق شهر شیراز قرار گرفتند. علاوه براین، فصل بهار با میانگین ۰/۰۰۰۱۵۱ و فصل پائیز با میانگین ۰/۰۰۰۲۲۵ به ترتیب جزو پاک‌ترین و آلوده‌ترین فصل سال بود. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بیشترین میزان دی‌اکسید نیتروژن در هسته‌ی مرکزی شهر شیراز بوده که معمولاً دارای بیشترین میزان تردد وسایل نقلیه و ترافیک می‌باشد. مرکزیت شهری، وجود بازارچه‌ها و مراکز خرید، تجمع بیشترین مراکز اداری شهر، مراکز درمانی و بیمارستان‌ها در این محدوده از شهر باعث گردیده مقادیر آلودگی در این منطقه افزایش یابد. با توجه به شرایط موجود به نظر می‌رسد اعمال محدودیت‌های ترافیکی و استفاده از راهکارهای جدید حمل و نقل عمومی برای کاهش آلودگی در کلان‌شهر شیراز ضروری باشد. نتایج این پژوهش نشان داد در اکثر ماه‌های سال ۲۰۲۰ مقادیر گاز دی-اکسید نیتروژن نسبت به زمان مشابه در سال ۲۰۱۹ کاهش یافته است. با این وجود، در حالتی که به‌صورت سری زمانی مقادیر سال ۲۰۱۹ با مقادیر سال ۲۰۲۰ مقایسه گردید، نتایج، دلالت بر آن داشت که اختلاف میانگین قبل و بعد از انتشار ویروس کووید-۱۹ بسیار ناچیز و دارای روند کاهشی بوده است. به‌عبارت‌دیگر، ممکن است پس از کاهش محدودیت‌ها فعالیت در اکثر بخش‌های مهم با روند افزایشی همراه باشد. عوامل اقلیمی مانند باد و دما نیز نقش مؤثری در کاهشی یا افزایشی بودن مقادیر گاز دی‌اکسید نیتروژن داشتند. در مطالعه حاضر، مقادیر میانگین ماهیانه دی‌اکسید نیتروژن با عوامل اقلیمی باد و دما با استفاده از آزمون پیرسون مورد تحلیل قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل صورت گرفته، عامل اقلیمی باد در سطح معناداری ۰/۰۰۱ درصد دارای همبستگی بالایی با میانگین مقادیر دی‌اکسید نیتروژن بوده و سهم بیشتری در کاهشی و افزایشی بودن مقادیر داشته است. مطابق با تحلیل‌های انجام شده، سرعت باد نسبت به متغیر دما نقش موثرتری در کاهش آلودگی هوا داشت. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند در راستای بهبود زیست‌پذیری شهری، مورد استفاده‌ی سازمان‌های مسئول قرار گیرد. همچنین ترویج محدودیت‌های تردد وسایل نقلیه در کلان‌شهرها مبتنی بر یک برنامه‌ریزی مدون نه‌تنها در زمان ویروس کووید-۱۹ بلکه در آینده و به‌صورت یک روز در هفته و چند روز در ماه می‌تواند نقش پررنگی در کاهش آلودگی هوای شهرها و ارتقاء کیفیت هوا داشته باشد.

منابع

ایراندوست، کیومرث؛ عیسی‌لو، علی اصغر؛ شاه‌مرادی، بهزاد (۱۳۹۴). شاخص زیست‌پذیری در محیط‌های شهری (مطالعه موردی: بخش مرکزی شهر مقدس قم). *فصلنامه علمی - پژوهشی اقتصاد و مدیریت شهری*، ۴ (۱۳)۱۰۲-۱۲۰.

تقوایی، مسعود؛ وارثی، حمیدرضا؛ مظفربهمن، اورامان (۱۳۹۱). بررسی پراکنش کاربری‌های پزشکی و تاثیر آن بر روی ترافیک شهری با استفاده از مدل AHP (مطالعه موردی: مرکز شهر کرمانشاه). *فصلنامه علمی ترویجی راهور*، ۹ (۱۷)۳۵-۷.

جعفری، شاهین؛ حمزه، سعید؛ عبدالعظیمی، هادی؛ عطارچی، سارا (۱۴۰۰). دو دهه پایش تالاب مهارلو با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در گوگل ارث انجین. *فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، ۳۰(۱۱۸)۱۵۳-۱۶۸.*

حسینی، سید سلام؛ مهردانش، گونا؛ فرشاد، لقمان (۱۳۹۹). تاثیر ویروس کرونا COVID-19 بر اقلیم و آب و هوای شهر و سلامتی شهروندان در برنامه ریزی شهری. *جغرافیا و برنامه ریزی انسانی*، ۳(۲)۹۱-۱۱۹.

رنجبر، محسن؛ باهک، بتول (۱۳۹۸). تغییرات زمانی و مکانی آلاینده های هوا با استفاده از GIS (مورد مطالعه: نیمه شمالی شهر تهران. *جغرافیا، ۱۷* (۶۰)، ۷۲-۸۵.

زلقی، الهه؛ گراوندی، سحر؛ نورزاده حداد، مهدی؛ گودرزی، غلامرضا؛ شیربیگی، عصمت؛ علوی، سیده شقایق؛ محمدی، محمدجواد (۱۳۹۳). مقایسه شاخص های خطر مواجهه با آلاینده دی اکسید نیتروژن بر سلامت شهروندان در جنوب غربی ایران. *مجله دانشگاه علوم پزشکی تربت حیدریه*، ۲(۳)، ۲۲-۲۹.

شامی، س؛ خوش‌لهجه، مهدی؛ قربانی، زهرا؛ مقیمی، آرمین؛ محمدزاده، علی؛ ثابت‌قدم، سیده سمانه (۱۳۹۹). بررسی میزان تغییرات آلاینده‌های هوا در دوره انتشار ویروس کووید-۱۹ در ایران با استفاده از اطلاعات ماهواره سنتینل-۵، *نشریه علوم و فنون نقشه برداری*، ۱۰ (۳)۱۳۵-۱۴۶.

شاه‌محمدی، عاطفه؛ بیات، علی؛ مشهدی‌زاده ملکی، سعید (۱۳۹۹). بررسی آلودگی هوای شهر تبریز با استفاده از برآوردهای دی‌اکسید نیتروژن سنجنده اُمی، *نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۴ (۷۱)۲۰۱-۲۱۹.

شگرخدایی، زینب؛ فتح نیا، امان‌اله؛ سید وحید، رضوی ترمه (۱۴۰۱). ارتباط بین کووید-۱۹ و تغییرات آلاینده‌های هوا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مطالعه موردی: کلان‌شهرهای تهران، اصفهان و مشهد؛ *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۹ (۱)۴۰-۲۱.

فرهادی، هادی؛ مناقبی، طیبه؛ عبادی، حمید (۱۴۰۰). استخراج ساختمان ها در نواحی شهری مبتنی بر داده های سری زمانی راداری و اپتیکی با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین. *فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، ۳۰(۱۲۰)۴۳-۶۳.*

کفایت‌مطلق، امیدرضا (۱۳۹۹). واکاوی نمایه‌های وارونگی دمای لایه مرزی هوای شهر شیراز. *دگرگونی‌ها و مخاطرات آب و هوایی*. ۱(۲).۵۴-۴۰

لیلی، مصطفی؛ بهرامی اصل، فرشاد؛ حسام، موسی؛ ملامحمودی، محمد؛ سلحشورآرین، سهیلا (۱۳۹۵). برآورد تعداد بیمار و مرگ منتسب به آلاینده‌های NO_2 و SO_2 با استفاده از مدل Air Q در شهر همدان. *مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی همدان*، ۲۳ ۳۲۲-۳۱۴(۴)

نجف پور، علی اصغر؛ جنیدی جعفری، احمد؛ دوستی، سینا (۱۳۹۴). تحلیل روند تغییرات غلظت پنج آلاینده شاخص کیفیت هوا (PM_{10} (SO_2, NO_2, CO, O_3) در کلانشهر تهران و ارتباط آن با داده‌های هواشناسی، ۲۰۰۹-۲۰۰۱. *فصلنامه بهداشت در عرصه*، ۳(۲)۱۷-۲۶.

Abdullah, S., Mansor, A. A., Napi, N. N. L. M., Mansor, W. N. W., Ahmed, A. N., Ismail, M., & Ramly, Z. T. A. (2020). Air quality status during 2020 Malaysia Movement Control Order (MCO) due to 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) pandemic, *Science of the Total Environment*, 729, 139022, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139022.

Baldasano, J. M. (2020). COVID-19 lockdown effects on air quality by NO2 in the cities of Barcelona and Madrid (Spain), *Science of the Total Environment*, 741, 140353, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140353.

Bhattacharya, S., Ghosh, S., & Bhattacharyya, S. (2022). Analytical hierarchy process tool in Google Earth Engine platform: a case study of a tropical landfill site suitability. *Environmental Monitoring and Assessment*, *194*(4), 276. https://doi.org/10.1007/s10661-022-09878-w

Broomandi, P., Karaca, F., Nikfal, A., Jahanbakhshi, A., Tamjidi, M., & Kim, J. R. (2020). Impact of COVID-19 event on the air quality in Iran. *Aerosol and Air Quality Research*, *20*(8), 1793-1804. https://doi.org/10.4209/aaqr.2020.05.0205

Dasgupta, P., & Srikanth, K. (2020). Reduced air pollution during COVID-19: Learnings for sustainability from Indian Cities. *Global Transitions*, *2*, 271-282. https://doi.org/10.1016/j.glt.2020.10.002

Farhadi, H., Mokhtarzade, M., Ebadi, H., & Beirami, B. A. (2022). Rapid and automatic burned area detection using sentinel-2 time-series images in google earth engine cloud platform: a case study over the Andika and Behbahan Regions, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, *194*(5), 369. https://doi.org/10.1007/s10661-022-10045-4.

Farhadi H, Najafzadeh M. Flood Risk Mapping by Remote Sensing Data and Random Forest Technique. *Water*. 2021; 13(21):3115. https://doi.org/10.3390/w13213115

Gama, C., Relvas, H., Lopes, M., & Monteiro, A. (2021). The impact of COVID-19 on air quality levels in Portugal: A way to assess traffic contribution. *Environmental Research*, *193*, 110515. https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110515

Ganbat, G., Lee, H., Jo, H. W., Jadamba, B., & Karthe, D. (2022). Assessment of COVID-19 Impacts on Air Quality in Ulaanbaatar, Mongolia, Based on Terrestrial and Sentinel-5P TROPOMI Data. *Aerosol and Air Quality Research*, *22*, 220196. https://doi.org/10.4209/aaqr.220196

Holloway, T., Miller, D., Anenberg, S., Diao, M., Duncan, B., Fiore, A. M., & Zondlo, M. A. (2021). Satellite monitoring for air quality and health. *Annual Review of Biomedical Data Science*, *4*, 417-447. https://doi.org/10.1146/annurev-biodatasci-110920-093120.

Karami, E., Alizadeh, N., Farhadi, H., Abdolazimi, H., & Maghsoudi, Y. (2023). Monitoring of Land Surface Displacement Based on Sbas-Insar Time-Series and GIS Techniques: a Case Study Over the Shiraz Metropolis, Iran. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, *10*, 371-378. https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-4-W1-2022-371-2023, 2023.

Levelt, P. F., Stein Zweers, D. C., Aben, I., Bauwens, M., Borsdorff, T., De Smedt, I.& Verhoelst, T. (2022). Air quality impacts of COVID-19 lockdown measures detected from space using high spatial resolution observations of multiple trace gases from Sentinel-5P/TROPOMI. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *22*(15), 10319-10351. https://doi.org/10.5194/acp-22-10319-2022

Ogen, Y. (2020). Response to the commentary by Alexandra A. Chudnovsky on 'Assessing nitrogen dioxide (NO2) levels as a contributing factor to coronavirus (COVID-19) fatality'. *The Science of the total environment*, *740*, 139239. https://doi.org/10.1016%2Fj.scitotenv.2020.139239

Pérez-Cutillas, P., Pérez-Navarro, A., Conesa-García, C., Zema, D. A., & Amado-Álvarez, J. P. (2023). What is going on within the google earth engine? A systematic review and meta-analysis. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, *29*, 100907. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100907

Saxena, A., & Raj, S. (2021). Impact of lockdown during COVID-19 pandemic on the air quality of North Indian cities. *Urban Climate*, *35*, 100754. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100754

Sharma, S., Zhang, M., Gao, J., Zhang, H., & Kota, S. H. (2020). Effect of restricted emissions during COVID-19 on air quality in India. Science of the total environment, 728, 138878. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138878.

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. https://doi.org/10.3390/pollutants2020012

Shikwambana, L., Mhangara, P., & Mbatha, N. (2020). Trend analysis and first-time observations of sulfur dioxide and nitrogen dioxide in South Africa using TROPOMI/Sentinel-5 P data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *91*, 102130. https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102130.

Tobías, A., Carnerero, C., Reche, C., Massagué, J., Via, M., Minguillón, M. C., & Querol, X. (2020). Changes in air quality during the lockdown in Barcelona (Spain) one month into the SARS-CoV-2 epidemic. *Science of the total environment*, *726*, 138540. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138540

Wang, Q., & Su, M. (2020). A preliminary assessment of the impact of COVID-19 on the environment–A case study of China. *Science of the total environment*, *728*, 138915. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138915

World Health Organization. (2019). WHO commends Can Tho's commitment to tackling air pollution. https://www.who.int/vietnam/news/detail/12-12-2019-who-commends-can-tho-s-commitment-to-tackle-air-pollution

Zheng, Z., Yang, Z., Wu, Z., & Marinello, F. (2019). Spatial variation of NO2 and its impact factors in China: An application of sentinel-5P products. *Remote Sensing*, *11*(16), 1939. https://doi.org/10.3390/rs11161939.

University of Sistan and Baluchestan
Journal of Natural Environment Hazards
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

References

References (in Persian)

Farhadi, H., Managhebi, T., & Ebadi, H. (2022). Buildings extraction in urban areas based on the radar and optical time series data using Google Earth Engine. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, *30*(120), 43-63. 10.22131/sepehr.2022.251053. [In Persian]

Hosseini, S.S., Mehrdanesh, G., & Farshad, L. (2020). The effect of COVID-19 virus on urban climate and citizens' health in urban Planning. *Geography and Human Relationships*, *3*(2), 91-119. https://dorl.net/dor/20.1001.1.26453851.1399.3.2.9.6. [In Persian]

Irandoost, K., Isaloo, A. A., & Shahmoradi, B. (2016). Viability index in urban environments (case study: the central part of the holy city of Qom). *Journal of Urban Economics and Management*, *4*(13), 101-118. 20.1001.1.23452870.1394.4.13.7.4. [In Persian]

Jafari, S., Hamzeh, S., Abdolazimi, H., & Attarchi, S. (2021). Two decades of monitoring Maharloo Wetland using satellite data provided by Google Earth Engine. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, *30*(118), 153-168. 10.22131/sepehr.2021.246147. [In Persian]

Kefayate Motlagh, O. R. (2020). Analysis of Inversion Indicators of Boundary Layer in Shiraz. *Climate Change and Climate Disasters*, *1*(2), 40-54. [In Persian]

Leili, M., Bahrami Asl, F., Hesam, M., Molamahmoudi, M., & Salahshour Arian, S. (2017). Estimation of Diseases and Mortality Attributed to Atmospheric NO2 and SO2 Using AirQ Model in Hamadan City, Iran. *Avicenna Journal of Clinical Medicine*, *23*(4), 314-322. http://dx.doi.org/10.21859/hums-230412 . [In Persian]

Najafpoor, A., Joneidi Jafari, A., & Dousti, S. (2015). Trend analysis of Air Quality Index criteria pollutants (CO, NO2, SO2, PM10, and O3) concentration changes in Tehran metropolis and its relationship with meteorological data, 2001-2009. *J Health Field*, *3*(2), 17-26. [In Persian]

Ranjbar, M., & Bahak, B. (2019). Time and Space Changes of Air Pollutants Using GIS (Case Study: North Semnan Tehran. *Geography*, *17*(60), 72-85. [In Persian]

Shahmohammadi, A., Bayat, A., & Mashhadizadeh Maleki, S. (2020). Study of air pollution in Tabriz City by the use of Nitrogen Dioxide OMI sensor. *Geography and Planning*, *24*(71), 201-219. 10.22034/GP.2020.10537. [In Persian]

Shogrkhodaei, Z., Fathnia, A., & Razavi Termeh, V. (2022). Relationship between Covid-19 and changes in air pollutants using satellite imagery (Case study: Tehran, Isfahan, and Mashhad metropolises. J*ournal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, *9*(1), 21-40. http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-3234-en.html. [In Persian]

Shami, S., Khoshlahjeh, M., Ghorbani, Z., Moghimi, A., Mohammadzadeh, A., & Sabet Ghadam, S. S. (2021). Evaluation of air pollution contributes to the COVID-19 pandemic in Iran using Sentinel 5 Satellite Data. *Journal of Geomatics Science and Technology*, *10*(3), 135-146. http://jgst.issge.ir/article-1-962-en.html. [In Persian]

Tagvaee, M., Varesi, H.R., Bahman-Oraman, M. (2018). Survey of the distribution of medical land uses and its impact on urban traffic (case study: Kermanshah city center), Rahvar Promotional Scientific Quarterly, 9(17), 7-35. [In Persian]

Zalghi, E., Gravandi, S., Noorzadeh Hadad, M., Gudarzi, G.R., Shirbeigi, E., Alavi, S.S., Mohamadi, M.J (2013). Comparison of risk indicators of exposure to nitrogen dioxide pollutant on the health of citizens in southwest Iran. Journal of Torbat Heydarieh University of Medical Sciences, 2(3) 22-29. [In Persian]

References (in English)

Abdullah, S., Mansor, A. A., Napi, N. N. L. M., Mansor, W. N. W., Ahmed, A. N., Ismail, M., & Ramly, Z. T. A. (2020). Air quality status during 2020 Malaysia Movement Control Order (MCO) due to 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) pandemic, *Science of the Total Environment*, 729, 139022, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139022.

Baldasano, J. M. (2020). COVID-19 lockdown effects on air quality by NO2 in the cities of Barcelona and Madrid (Spain), *Science of the Total Environment*, 741, 140353, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140353.

Bhattacharya, S., Ghosh, S., & Bhattacharyya, S. (2022). Analytical hierarchy process tool in Google Earth Engine platform: a case study of a tropical landfill site suitability. *Environmental Monitoring and Assessment*, *194*(4), 276. https://doi.org/10.1007/s10661-022-09878-w

Broomandi, P., Karaca, F., Nikfal, A., Jahanbakhshi, A., Tamjidi, M., & Kim, J. R. (2020). Impact of COVID-19 event on the air quality in Iran. *Aerosol and Air Quality Research*, *20*(8), 1793-1804. https://doi.org/10.4209/aaqr.2020.05.0205

Dasgupta, P., & Srikanth, K. (2020). Reduced air pollution during COVID-19: Learnings for sustainability from Indian Cities. *Global Transitions*, *2*, 271-282. https://doi.org/10.1016/j.glt.2020.10.002

Farhadi, H., Mokhtarzade, M., Ebadi, H., & Beirami, B. A. (2022). Rapid and automatic burned area detection using sentinel-2 time-series images in google earth engine cloud platform: a case study over the Andika and Behbahan Regions, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, *194*(5), 369. https://doi.org/10.1007/s10661-022-10045-4.

Gama, C., Relvas, H., Lopes, M., & Monteiro, A. (2021). The impact of COVID-19 on air quality levels in Portugal: A way to assess traffic contribution. *Environmental Research*, *193*, 110515. https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110515

Ganbat, G., Lee, H., Jo, H. W., Jadamba, B., & Karthe, D. (2022). Assessment of COVID-19 Impacts on Air Quality in Ulaanbaatar, Mongolia, Based on Terrestrial and Sentinel-5P TROPOMI Data. *Aerosol and Air Quality Research*, *22*, 220196. https://doi.org/10.4209/aaqr.220196

Holloway, T., Miller, D., Anenberg, S., Diao, M., Duncan, B., Fiore, A. M., & Zondlo, M. A. (2021). Satellite monitoring for air quality and health. *Annual Review of Biomedical Data Science*, *4*, 417-447. https://doi.org/10.1146/annurev-biodatasci-110920-093120.

Karami, E., Alizadeh, N., Farhadi, H., Abdolazimi, H., & Maghsoudi, Y. (2023). Monitoring of Land Surface Displacement Based on Sbas-Insar Time-Series and GIS Techniques: a Case Study Over the Shiraz Metropolis, Iran. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, *10*, 371-378. https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-4-W1-2022-371-2023, 2023.

Levelt, P. F., Stein Zweers, D. C., Aben, I., Bauwens, M., Borsdorff, T., De Smedt, I.& Verhoelst, T. (2022). Air quality impacts of COVID-19 lockdown measures detected from space using high spatial resolution observations of multiple trace gases from Sentinel-5P/TROPOMI. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *22*(15), 10319-10351. https://doi.org/10.5194/acp-22-10319-2022

Ogen, Y. (2020). Response to the commentary by Alexandra A. Chudnovsky on 'Assessing nitrogen dioxide (NO2) levels as a contributing factor to coronavirus (COVID-19) fatality'. *The Science of the total environment*, *740*, 139239. https://doi.org/10.1016%2Fj.scitotenv.2020.139239

Pérez-Cutillas, P., Pérez-Navarro, A., Conesa-García, C., Zema, D. A., & Amado-Álvarez, J. P. (2023). What is going on within the google earth engine? A systematic review and meta-analysis. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, *29*, 100907. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100907

Saxena, A., & Raj, S. (2021). Impact of lockdown during COVID-19 pandemic on the air quality of North Indian cities. *Urban Climate*, *35*, 100754. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100754

Sharma, S., Zhang, M., Gao, J., Zhang, H., & Kota, S. H. (2020). Effect of restricted emissions during COVID-19 on air quality in India. Science of the total environment, 728, 138878. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138878.

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. https://doi.org/10.3390/pollutants2020012

Shikwambana, L., Mhangara, P., & Mbatha, N. (2020). Trend analysis and first-time observations of sulfur dioxide and nitrogen dioxide in South Africa using TROPOMI/Sentinel-5 P data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *91*, 102130. https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102130.

Tobías, A., Carnerero, C., Reche, C., Massagué, J., Via, M., Minguillón, M. C., & Querol, X. (2020). Changes in air quality during the lockdown in Barcelona (Spain) one month into the SARS-CoV-2 epidemic. *Science of the total environment*, *726*, 138540. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138540

Wang, Q., & Su, M. (2020). A preliminary assessment of the impact of COVID-19 on the environment–A case study of China. *Science of the total environment*, *728*, 138915. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138915

World Health Organization. (2019). WHO commends Can Tho's commitment to tackling air pollution. https://www.who.int/vietnam/news/detail/12-12-2019-who-commends-can-tho-s-commitment-to-tackle-air-pollution

Zheng, Z., Yang, Z., Wu, Z., & Marinello, F. (2019). Spatial variation of NO2 and its impact factors in China: An application of sentinel-5P products. *Remote Sensing*, *11*(16), 1939. https://doi.org/10.3390/rs11161939.