نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال نهم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱

صفحات ۲۱-۴۰

ارتباط بین کووید-۱۹ و تغییرات آلاینده‌های هوا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مطالعه موردی: کلان‌شهرهای تهران، اصفهان و مشهد

سیده زینب شگرخدایی؛ دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

امان اله فتح نیا[۱]؛ استادیار اقلیم شناسی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، گروه جغرافیا، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

سید وحیدرضوی ترمه؛ دانشجوی دکتری سامانه اطلاعات مکانی (GIS)، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی، تهران، ایران.

دریافت مقاله : ۱۴۰۰/۰۳/۱۸ پذیرش نهایی:۱۴۰۰/۱۱/۲۷

چکیده

با مشاهده اولین مورد تائید شده کووید-۱۹ در شهر قم در ۳۰ بهمن ۱۳۹۸ محدودیت‌هایی توسط دولت و دستگاه‌های اجرایی جهت جلوگیری از شیوع ویروس کووید-۱۹ در تمام شهرهای ایران اعمال شد. بنابراین این مطالعه با هدف بررسی تغیر در تولید و انتشار آلاینده‌های دی‌اکسید گوگرد، دی‌اکسید نیتروژن، مونوکسید کربن و ازن در قبل و بعد از شیوع ویروس کووید-۱۹ در سه کلان‌شهر تهران، اصفهان و مشهد با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای سنتینل-۵ انجام گرفت. برای این منظور با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین مقادیر غلظت این آلاینده‌ها به‌صورت میانگین ماهانه در دو بازه ۱ اسفند ۱۳۹۷ تا ۱ اسفند ۱۳۹۸ برای دوره پیش از شیوع کووید-۱۹ و بازه ۱ اسفند ۱۳۹۸ تا ۱ اسفند ۱۳۹۹ برای دوران شیوع کووید-۱۹ در نظر گرفته شد. سپس برای ارزیابی معنی‌دار بودن تغیر در غلظت این آلاینده‌ها در قبل و بعد شیوع ویروس کووید-۱۹ از آماره T-test (t وابسته) در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ >p-value استفاده شد. نتایج آزمون T-test نشان داد که برای آلاینده‌های دی‌اکسید گوگرد، دی‌اکسید نیتروژن، مونوکسید کربن در هر سه شهر هیچ تغیر معناداری در میانگین غلظت داده‌ها رخ نداده است؛ اما ازن برای هر سه شهر تهران، اصفهان و مشهد دارای روند کاهشی و سطح معنی‌داری ۰/۰۵ >p-value بوده است. بیشترین مقدار تغیر در کاهش غلظت ازن برای کلانشهر تهران در خرداد ماه و آبان تا بهمن، برای اصفهان بین مهرماه تا اواسط دی و برای مشهد در اردیبهشت تا خرداد ماه و آبان تا بهمن مشاهده شد. همچنین، تغییرات مکانی ازن در شهر تهران در قبل و بعد شیوع اپیدمی قابل توجه بوده است. نتایج این مطالعه نشان داد که اعمال محدودیت‌ها نتیجه‌ای در کاهش انتشار آلاینده‌های اولیه از منابع انسانی نداشته است و فقط ممکن است در طی یک بازه کوتاه غلظت آلاینده‌ها کاهش یابد اما بعد از رفع محدودیت‌ها مجدد روند افزایشی داشته باشند.

واژه های کلیدی: آلودگی هوا، محدودیت رفت و آمد، سیستم اطلاعات جغرافیایی، تغییرات مکانی.

[۱] . نویسنده مسئول Email: a_fathnia@razi.ac.ir

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.2.8]

مقدمه

کووید-۱۹ یکی از چالش‌هایی است که در حال حاضر جامعه جهانی با آن دست‌وپنجه نرم می‌کند. در روزهای اولیه دسامبر ۲۰۱۹، در شهر ووهان چین مواردی از بروز ذات‌الریه توسط یک ویروس جدید کووید-۱۹ ظاهر گردید که توسط ICTV[۱] رسماً به‌عنوان ویروس SARS COV-۲[۲] نام‌گذاری شد. کووید-۱۹ پنجمین بیماری همه‌گیر است که پس از آنفولانزای اسپانیایی در سال ۱۹۱۸ رخ‌داده است (Ali et al.,۲۰۲۱). در ۱۱ مارس ۲۰۲۰، سازمان جهانی بهداشت، کووید-۱۹را به‌عنوان یک بیماری همه‌گیر جهانی اعلام کرد (Azuma et al., ۲۰۲۰). این پاندمیک باعث به وجود آمدن تغییر رفتار جامع در تضاد با روال معمول شده است که این می‌تواند منجر به تغییر در سبک زندگی افراد شود (Briz-Redón et al.,۲۰۲۱). در سراسر کشورها به دلیل جلوگیری از شیوع کووید-۱۹، محدودیت‌هایی را برای حمل‌ونقل، تجارت و فعالیت‌های فرهنگی و آموزشی در نظر گرفتند و فاصله اجتماعی اعمال گردید (Hashim et al.,۲۰۲۱). شیوع بیماری ویروس کووید-۱۹ پیامدهایی را بر اقتصاد، سلامت و محیط‌زیست به دنبال داشت (Sohrabi et al.,۲۰۲۰). از جمله تأثیرات کووید-۱۹بر محیط‌زیست می‌توان به تأثیر بر سواحل، سروصدا، آب‌های سطحی و زیرزمینی، پسماندهای جامد شهری و کیفیت هوا اشاره کرد (Zambrano-Monserrate et al.,۲۰۲۰). محدودیت‌های به‌کاربرده شده در دوران کووید-۱۹با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط حمل‌ونقل و صنایع همراه بود که کیفیت هوا را تحت تأثیر قرارداد (Rybarczyk and Zalakeviciute,۲۰۲۰). منابع اصلی انتشار آلاینده‌های هوا فعالیت‌های انسانی است ازاین‌رو انتظار می‌رود که در دوران کووید-۱۹غلظت آن‌ها کاهش یابد (Ghahremanloo et al.,۲۰۲۱). توسعه اقتصادی، مصرف انرژی، شهرنشینی، افزایش سریع جمعیت و حمل‌ونقل موتوری از جمله دلایل اصلی آلودگی هوا مرتبط با فعالیت‌های انسانی است (Kaplan et al.,۲۰۱۹). هوا یک عنصر حیاتی برای بقای همه‌ی موجودات زنده است، اما فعالیت‌های انسانی باعث انتشار بسیاری از آلاینده‌های مضر به جو شده و سلامت انسان را در معرض خطر قرارداده است (Ghorani-Azam et al.,۲۰۱۶). سازمان جهانی بهداشت اذعان داشته است که حدود ۹۱ درصد مردم جهان در مکان‌های آلوده زندگی می‌کنند و سالانه حدود ۷ میلیون مرگ به دلیل دودهای ناشی از سوخت‌های فسیلی و قرار گرفتن در معرض آلاینده‌های هوا رخ می‌دهد (Vîrghileanu et al.,۲۰۲۰). از بین علل مرگ‌ومیر، آلودگی هوا چهارمین علت مرگ‌ومیر در دنیا بعد از توتون و تنباکو است (WHO,۲۰۲۰). دی‌اکسید گوگرد، اکسید نیتروژن، مونوکسید کربن و ازن از جمله آلاینده‌هایی هستند که قرارگیری در معرض آن‌ها به‌صورت کوتاه‌مدت یا بلندمدت باعث بروز بیماری‌های قلبی و ریوی می‌شود (Briz-Redón et al.,۲۰۲۱). پایین آمدن سطح غلظت آلاینده‌ها به دلیل محدودیت فعالیت‌های انسانی امری کاملاً واضح است (Hashim et al.,۲۰۲۱). مطالعات مختلفی نشان داده‌اند که سطح غلظت آلاینده‌های هوا در دوران کووید-۱۹ نسبت به دوران قبل آن تفاوت‌های قابل‌توجه ای داشته است. برای مثال در ایالات‌متحده سطح آلاینده دی‌اکسید نیتروژن در دوران کووید-۱۹ نسبت به دوره قبل کووید-۱۹، ۲۵ درصد کاهش‌یافته است (Berman et al.,۲۰۲۰). در کشور مصر در دو شهر اسکندریه و قاهره AAI[۳] نسبت به دوران قبل کووید-۱۹، ۳۰ درصد، دی‌اکسید نیتروژن بیش از ۱۵ درصد برای قاهره و ۳۳ درصد برای اسکندریه و مقدار کربن مونواکسید حدود ۵ درصد در هر دو استان کاهش‌یافته است. علاوه براین،

۱. International Committee on Taxonomy of Viruses

۲. Severe Acute Respiratory Syndrome Corona virus-۲

۳. Absorbing Aerosol Index

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.2.8]

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در مصر حداقل ۴ درصد در دوران دی‌اکسید نیتروژن کاهش‌یافته است؛ اما سطح ازن حدود ۲ درصد افزایش‌یافته است (Mostafa et al.,۲۰۲۱).

استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در مطالعه آلودگی هوا، دیدی جهانی نسبت به آلودگی هوای کره زمین در اختیار قرار می دهد. در طی سال‌های اخیر پیشرفت‌های زیادی در توسعه کاربردهای سنجش‌ازدور برای ارزیابی، پیش‌بینی و مدیریت کیفیت هوا رخ‌داده است. توزیع جهانی آلاینده‌ها، تغییرات زمانی آن‌ها در جو و جابه‌جایی آن‌ها توسط ابزارهای سنجش‌ازدور ماهواره‌ای ارائه می‌شود (Ghahremanloo et al.,۲۰۲۱). ماهواره سنتنیل-۵[1] در ۱۳ اکتبر ۲۰۱۷، توسط آژانس فضایی اروپا ESA برای نظارت بر آلودگی هوا پرتاب‌شده است و از حس‌گر آنبرد اغلب به‌عنوان Tropomi[2]یاد می‌شود. هدف اصلی این حس‌گر، اطمینان از تداوم داده‌های بین مأموریت‌های قبلی سنجده ها و فراهم کردن داده‌هایی با پوشش روزانه جهانی مربوط به آئروسل‌ها، توزیع ابرها با تأثیر بر کیفیت هوا و اقلیم و گازهای کمیاب است (Borsdorff et al., ۲۰۱۸؛ de Vries et al., ۲۰۱۶). علاوه بر این یک مکمل جدید برای بایگانی تصاویر جهت پایش و اعتبار سنجی و استفاده در مسائل زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی است (Vîrghileanu et al., ۲۰۲۰). استفاده از داده‌های سنتینل-۵ برای مقایسه آلاینده‌های هوا در قبل و بعد کووید-۱۹ در ایران مورداستفاده قرارگرفته است (شامی و همکاران، ۱۳۹۹). کاربرد داده‌های سنتنیل-۵ در کشورهای دیگر از جمله هند (Siddiqui et al.,۲۰۲۰؛ Vadrevu et al.,۲۰۲۰)، ایتالیا، اسپانیا، فرانسه و آلمان (Ogen, ۲۰۲۰)، آمریکای جنوبی (Rojas et al.,۲۰۲۱) تایلند (Stratoulias and Nuthammachot,۲۰۲۰) و چین (Fan et al.,۲۰۲۰) نشان‌دهنده کاربردی بودن تصاویر سنتنیل-۵ برای نمایش تغییرات آلاینده‌های هوا در قبل و در دوران شیوع ویروس کووید-۱۹ بوده است. با توجه به بالا بودن غلظت آلاینده‌ها حتی بعد از شیوع ویروس کرونا در سطح کلانشهرهای ایران، همچنان این مناطق با مشکل آلودگی هوا روبرو بوده‌اند. اما تاکنون هیچ مطالعه‌ای به بررسی ارتباط بین غلطت آلاینده‌های هوا در قبل و بعد از شیوع اپیدمی ویروس کرونا در سه کلانشهر تهران، اصفهان و مشهد و مقایسه تغییرات آلاینده‌های هوا در این سه کلانشهر نپرداخته است. با وجود تفاوت‌های مکانی و ویژگی‌های مختلف مورفولوژی شهری، انتظار می‌رود الگوهای متفاوتی از پراکندگی آلودگی هوا در این سه کلانشهر شاهد باشیم. بنابراین هدف از این مطالعه بررسی تولید و انتشار و مقایسه تغییرات مکانی غلظت آلاینده‌های دی‌اکسید گوگرد، دی‌اکسید نیتروژن، مونوکسید کربن و ازن در قبل و بعد از شیوع ویروس کووید-۱۹ در سه کلان‌شهر تهران، اصفهان و مشهد با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای سنتینل-۵ است. شناسایی مناطق مستعد آلودگی هوا می‌تواند به اطلاع رسانی برای اقدامات بهداشتی و استراتژی‌هایی در مدیریت بیماری مفید باشد.

داده ها و روش کار

- **قلمرو جغرافیایی موردمطالعه**

شهر تهران به‌عنوان پایتخت ایران در شمال کشور بین ۳۴ تا ۳۶/۵ درجه عرض شمالی و ۵۰ تا ۵۳ درجه طول شرقی واقع‌شده است. جمعیت آن در حدود ۷/ ۸ میلیون نفر است که ممکن است در طول روز به دلیل رفت و آمد از شهرهای اطراف برای کار یا تحصیل به بیش از ۱۲/۵ میلیون نفر نیز برسد (Shahbazi,۲۰۱۶). تهران در ارتفاع ۱۰۵۰تا ۱۸۰۰ متر از

۱. Sentinel-۵p
۲. Tropospheric Monitoring Instrument

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.2.8]

سطح دریا قرارگرفته است که با احاطه شدن توسط رشته‌کوه‌های البرز و وارونگی دمایی به دلیل سیکلون های جوی باعث محبوس شدن آلاینده‌ها و پایین آمدن کیفیت هوای شهر می‌شود (Bayat et al.,۲۰۱۹). تهران نوزدهمین شهر آلوده جهان است. کیفیت هوای سالانه آن بیش از استانداردهای کیفیت هوا است که این شرایط باعث بروز انواع بیماری‌ها و مرگ‌ومیر و در خطر انداخته شدن سلامت شهروندان شده است (Naddafi et al.,۲۰۱۲).

شهر اصفهان در ۳۲ درجه و ۳۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی در فلات مرکزی ایران در دشتی وسیع در کنار زاینده‌رود قرار دارد (عطایی و هاشمی نسب، ۱۳۹۰). ارتفاع متوسط شهر اصفهان از سطح دریا ۱۵۷۰ متر است. جمعیت شهر اصفهان، حدود ۵/۱۲ میلیون نفر است. در دهه‌های اخیر افزایش در رشد جمعیت شهرنشینی، باعث بروز مشکلات فراوانی از جمله آلودگی هوا در این شهر شده است. از مجموعه کل آلاینده‌های روزانه واردشده به اصفهان به‌طورکلی، ۷۶ درصد مربوط به ترافیک، ۱۳ درصد مربوط به صنایع و ۱۱ درصد متعلق به صنایع شهری است (ضرابی و همکاران، ۱۳۸۹: جمشیدی و همکاران، ۱۳۹۶).

شهر مشهد مرکز استان خراسان رضوی در طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی تا ۵۹ درجه و ۷۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۴ دقیقه شمالی تا ۳۶ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی در شمال شرق ایران واقع‌شده است. جمعیت آن معادل ۲/۷۶ میلیون نفر و مساحتی حدود ۳۲۸ کیلومترمربع دارد که در ارتفاع ۹۵۰ تا ۱۱۵۰ متری قرارگرفته است (میر ی و همکاران، ۱۳۹۴). شهر مشهد به دلیل کاربری تفریحی-فرهنگی با ترددهای بسیاری از گردشگران روبرو می‌شود که این شرایط با بروز مشکل آلودگی هوا بخصوص در فصل سرد همراه است. منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.2.8]

شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

- **روش کار**
  - **داده‌های مورداستفاده**

داده‌های سنتنیل-۵ در دو سطح L۱B به‌عنوان تصاویر رادیانس و رادیو متریکی و L۲ که به‌عنوان لایه‌های چندگانه شامل: محصولات تابش خورشید، رادیانس، ابرها، آئروسل و آلاینده‌های مختلف در دسترس قرار دارد. داده‌های سطح L۲ بر حساب زمان جمع‌آوری‌شده‌اند. برای استفاده از این داده‌ها در سامانه گوگل ارث انجین، هر محصول L۲ به L۳ تبدیل می‌شود. همچنین این محصولات در دو سرویس تحت عنوان NRTI[۱] در سه ساعت پس از سنجش و آفلاین با تأخیر دوازده‌ساعته برای سطح L۱B و تأخیر ۵ روزه برای سطح L۲ برای تمام آلاینده‌ها به‌جز گاز متان، در دسترس قرار دارد[۲]. بنابراین در این مطالعه میانگین غلظت ماهانه چهار آلاینده دی‌اکسید گوگرد، دی‌اکسید نیتروژن، مونوکسید کربن و ازن برای سه شهر تهران، اصفهان و مشهد در زمان قبل و در دوران شیوع ویروس کووید-۱۹ برای بازه ۱ اسفند ۱۳۹۷ تا ۱ اسفند ۱۳۹۸ (پیش از

۱. Near Real-Time
۲. http://www.tropomi.eu/

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.2.8]

شیوع) و ۱ اسفند ۱۳۹۸ تا ۱ اسفند ۱۳۹۹ (دوران محدودیت‌ها) از داده‌های میانگین ماهانه S-۵P/ TROPOMI با تفکیک مکانی ۰.۰۱ ×۰.۰۱ درجه تهیه شد.

- **روش کار**

برای تعیین میزان تولید و انتشار و بررسی تغیرات مکانی آلاینده‌های دی‌اکسید گوگرد، دی‌اکسید نیتروژن، مونوکسید کربن و ازن در قبل و بعد شیوع ویروس کووید-۱۹ از تصاویر ماهواره سنتیل-۵ در دو بازه زمانی ۱ اسفند ۱۳۹۷ تا ۱ اسفند ۱۳۹۸ برای دوره پیش از شیوع کووید-۱۹ و بازه ۱ اسفند ۱۳۹۸ تا ۱ اسفند ۱۳۹۹ برای دوران شیوع کووید-۱۹ تهیه شد. آنالیزهای انجام شده با استفاده از گوگل ارث انجین[۱] انجام گرفت. باندهای مورد استفاده در جدول ۱ نمایش داده شده است. برای این مطالعه از میانگین ماهانه غلظت آلاینده‌ها استفاده شد. خروجی نهایی تصاویر برای هر آلاینده به منظور نمایش و بارزسازی بهتر در نرم افزار GIS با استفاده از روش کریجینگ درونیابی شد. سپس برای مقایسه تفاوت بین غلظت آلاینده‌ها در قبل و بعد شیوع ویروس کووید-۱۹ و بررسی همقوارگی میانگین از آزمون T-test (تی وابسته[۲]) استفاده شد. براساس این آزمون مقادیری که p-value < ۰/۰۵ بودند، معنادار در نظر گرفته شدند که این به منزله تغیر در غلظت آلاینده در قبل و بعد ویروس کووید-۱۹ (کاهشی یا افزایشی) در نظر گرفته شد. آن دسته از آلاینده‌هایی که p-value > ۰/۰۵ داشتند بدون تغیر در نظرگرفته شدند.

جدول ۱. باندهای مورد استفاده برای استخراج آلاینده‌ها با استفاده از Sentinel-۵P

آلاینده	واحد	شماره باند	باند
دی‌اکسید کربن	mol/m^۲	۱	CO_column_number_density
دی‌اکسید گوگرد	mol/m^۲	۱	SO۲_column_number_density
دی‌اکسید نیتروژن	mol/m^۲	۱	NO۲_column_number_density
ازن	mol/m^۲	۱	O۳_column_number_density

شرح و تفسیر نتایج

- **تغییرات مکانی آلاینده‌ها در تهران**

تجزیه‌وتحلیل حاصل از آزمون T-test با توجه به جدول ۲ نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین میانگین غلظت آلاینده‌های مونوکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن و دی‌اکسید گوگرد در قبل (به ترتیب: ۰/۰۰۰۴۰۱۱ و۰/۰۰۰۶۲۴۳، ۰/۰۳۷۹۵) و بعد (به ترتیب: ۰/۰۰۰۳۲۹۴و ۰/۰۰۰۸۳۱۸، ۰/۰۳۷۸۹) شیوع ویروس کووید-۱۹ برای این آلاینده‌ها مشاهده نشده است (مقدار p-value >۰/۰۵). برای ازن، اختلاف معنی‌داری بین قبل (۰/۱۳۸۸) و بعد (۰/۱۳۲۳) شیوع کووید-۱۹ در میانگین غلظت آن مشاهده شد (p-value <۰/۰۱). اختلاف میانگین (-۰/۰۰۶۵۰۳) برای غلطت ازن، نشان‌دهنده کاهشی بودن غلظت ازن در دوران کووید-۱۹ است. شکل ۲ تغییرات تراکم ستون آلاینده‌ها تروپوسفریک را در قبل و حین شیوع

۱. Google Earth Engine
۲. Paired samples t-test

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.2.8]

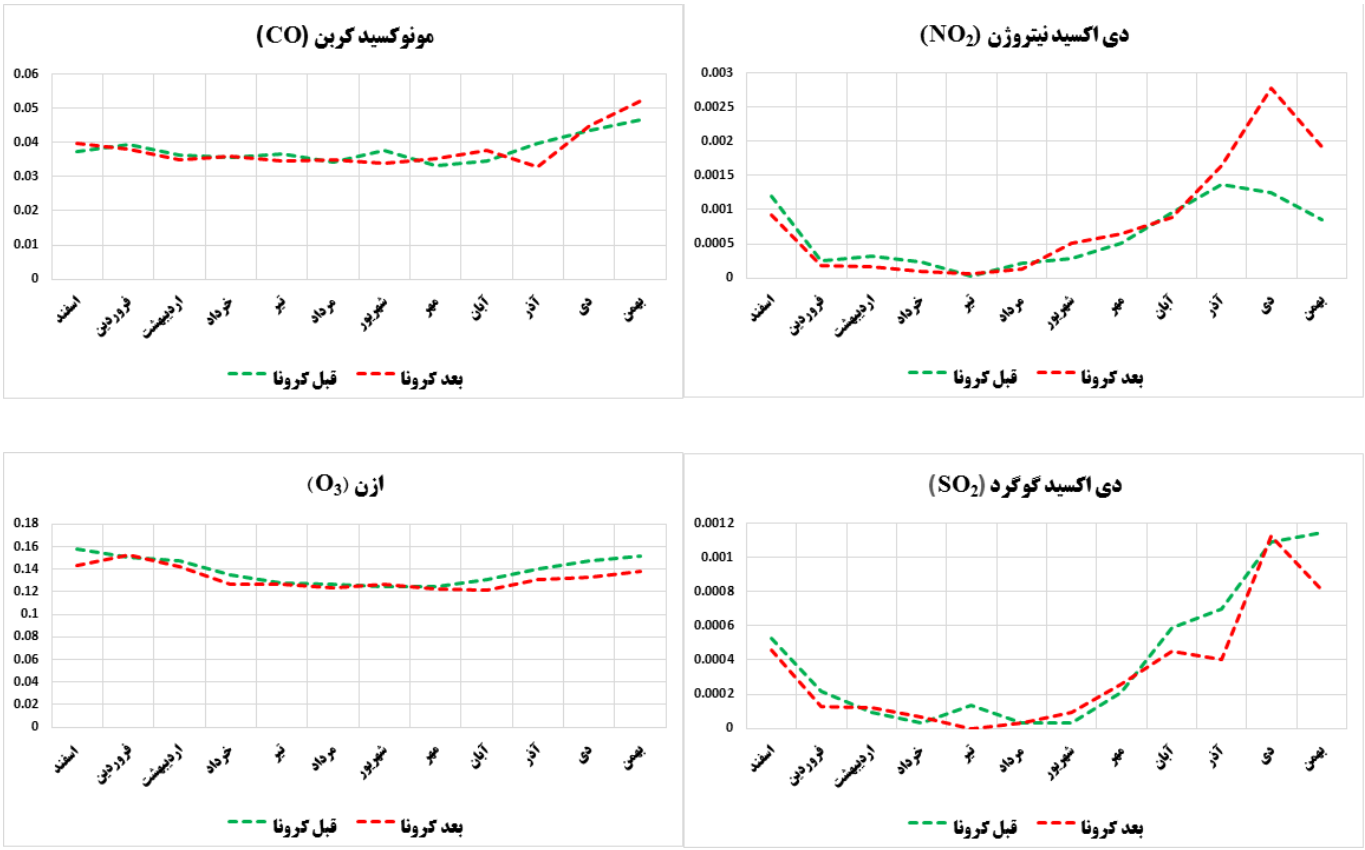
ویروس کووید-۱۹ برای آلاینده‌های مونوکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن، ازن و دی‌اکسید گوگرد نشان می‌دهد. برای مونوکسید کربن یک کاهش قابل‌توجه در آذرماه رخ‌داده است. در مورد دی‌اکسید نیتروژن بین شهریور تا مهر و آذر تا بهمن، شاهد افزایش در غلظت هستیم و مقدار اوج آن در دی‌ماه قرار دارد. برای ازن بیشترین مقدار کاهش غلظت در خردادماه و آبان تا بهمن مشاهده‌شده است. برای دی‌اکسید گوگرد از تیر تا اواسط مردادماه و آبان تا بهمن‌ماه، کاهش قابل‌توجه در غلظت این آلاینده رخ‌داده است. نقشه‌های غلظت آلاینده در قبل و بعد از شیوع کووید-۱۹ در شکل ۳ نشان داده‌شده است. باتوجه به شکل ۳، تغیرات مکانی قابل توجه‌ای در غلظت آلاینده‌های دی‌اکسید گوگرد، دی اکسید نیتروژن و منوکسید کربن در سطح شهر تهران به وجود نیامده است. با این حال برای آلاینده ازن تغییرات مکانی قابل توجه بوده است به گونه‌ای که در دوران قبل کرونا حداکثر غلظت آن در نواحی شمال شرقی، شمال و شمال غربی رخ داده است. اما در بعد از شیوع اپیدمی مناطق مرکزی، جنوبی، جنوب شرقی و جنوب غربی بیشترین مقدار غلظت ازن را داشته است و مناطق شمالی کمترین مقدار غلظت ازن را داشته است.

جدول۲. خلاصه آزمون T-test (آزمون t وابسته) برای شهر تهران

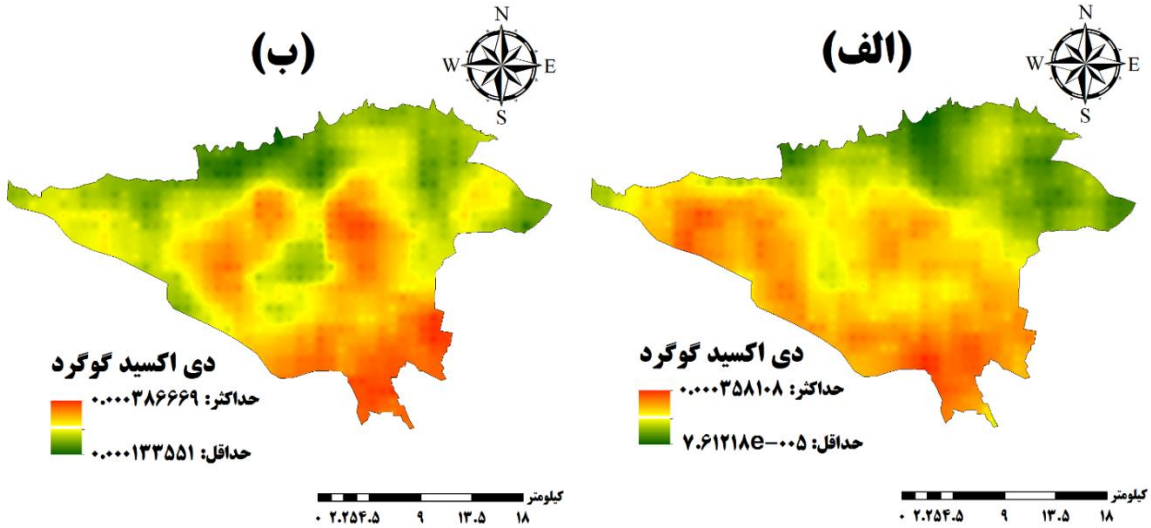
متغیر	مرحله	میانگین	انحراف استاندارد	انحراف استاندارد از میانگین	اختلاف میانگین	مقدار آماره T	p-value
دی‌اکسید نیتروژن	قبل	۰/۰۰۰۶۲۴۳	۰/۰۰۰۴۷۰۵	۰/۰۰۰۱۳۵۸	۰/۰۰۰۲۰۷۵	۱/۳۲۴	۰/۲۱۲۲
	بعد	۰/۰۰۰۸۳۱۸	۰/۰۰۰۸۶۳۵	۰/۰۰۰۲۴۹۳			
مونوکسید کربن	قبل	۰/۰۳۷۹۵	۰/۰۰۳۸۹۶	۰/۰۰۱۱۲۵	-۰/۰۰۰۰۵۹۷۱	-۰/۰۶۲۰	۰/۹۵۱۷
	بعد	۰/۰۳۷۸۹	۰/۰۰۵۵۱۲	۰/۰۰۱۵۹۲			
ازن	قبل	۰/۱۳۸۸	۰/۰۱۱۹۸	۰/۰۰۳۴۵۹	-۰/۰۰۶۵۰۳	-۳/۷۰۸	۰/۰۰۳۵
	بعد	۰/۱۳۲۳	۰/۰۰۹۹۱۰	۰/۰۰۲۸۶۱			
دی‌اکسید گوگرد	قبل	۰/۰۰۰۴۰۱۱	۰/۰۰۰۴۰۴۹	۰/۰۰۰۱۱۶۹	-۰/۰۰۰۰۰۷۱۷۲	-۱/۸۴۰	۰/۰۹۲۹
	بعد	۰/۰۰۰۳۲۹۴	۰/۰۰۰۳۴۴۲	۰/۰۰۰۰۹۹۳۷			

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.2.8]

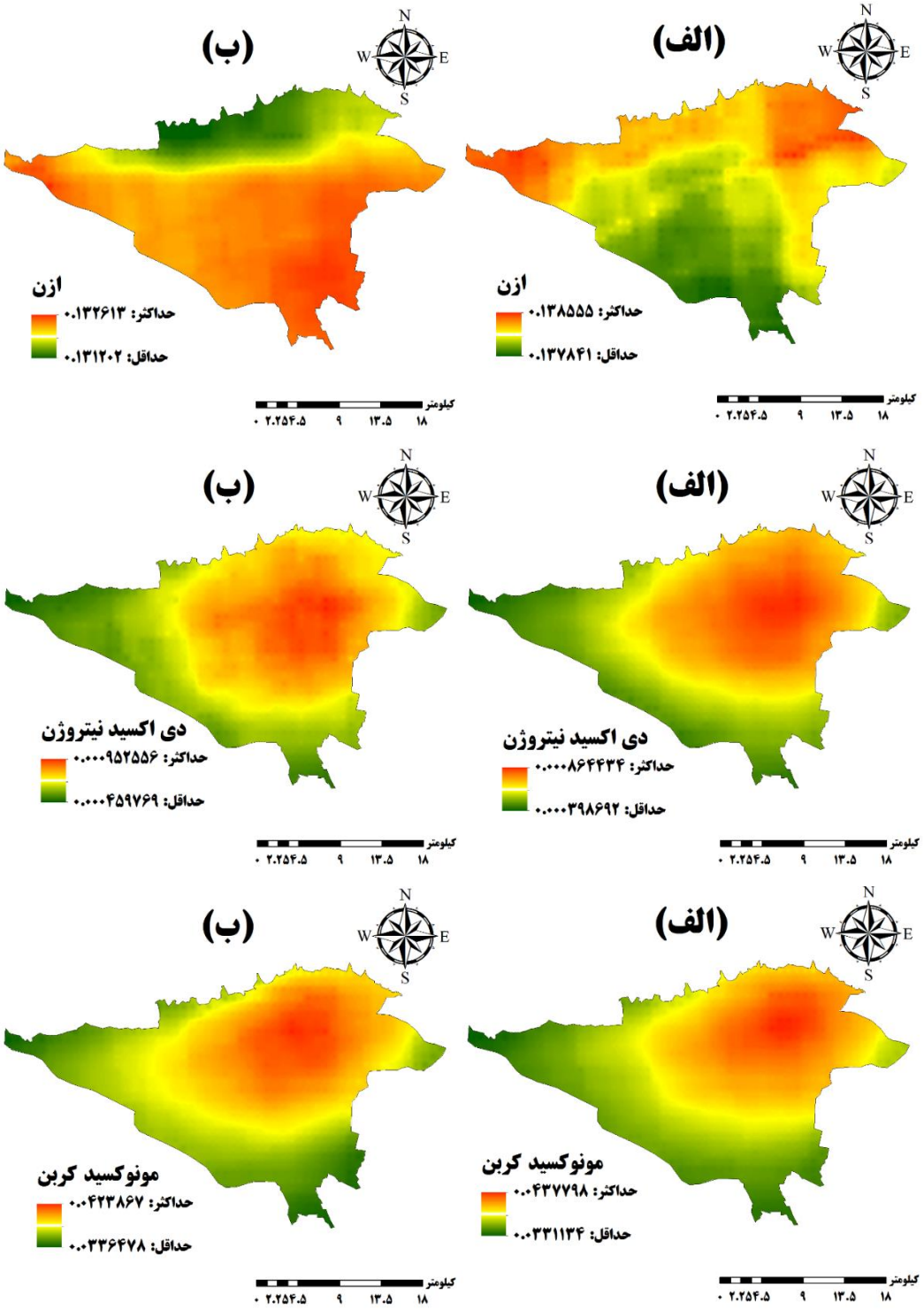


شکل ۲. سری زمانی آلاینده‌ها در قبل و بعد از شیوع کووید-۱۹ در شهر تهران



[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.2.8]



شکل ۳. نقشه آلاینده‌های هوا در الف) قبل از شیوع کووید-۱۹ ب) بعد از شیوع کووید-۱۹ در شهر تهران

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.2.8]

- **تغییرات مکانی آلاینده‌ها در اصفهان**

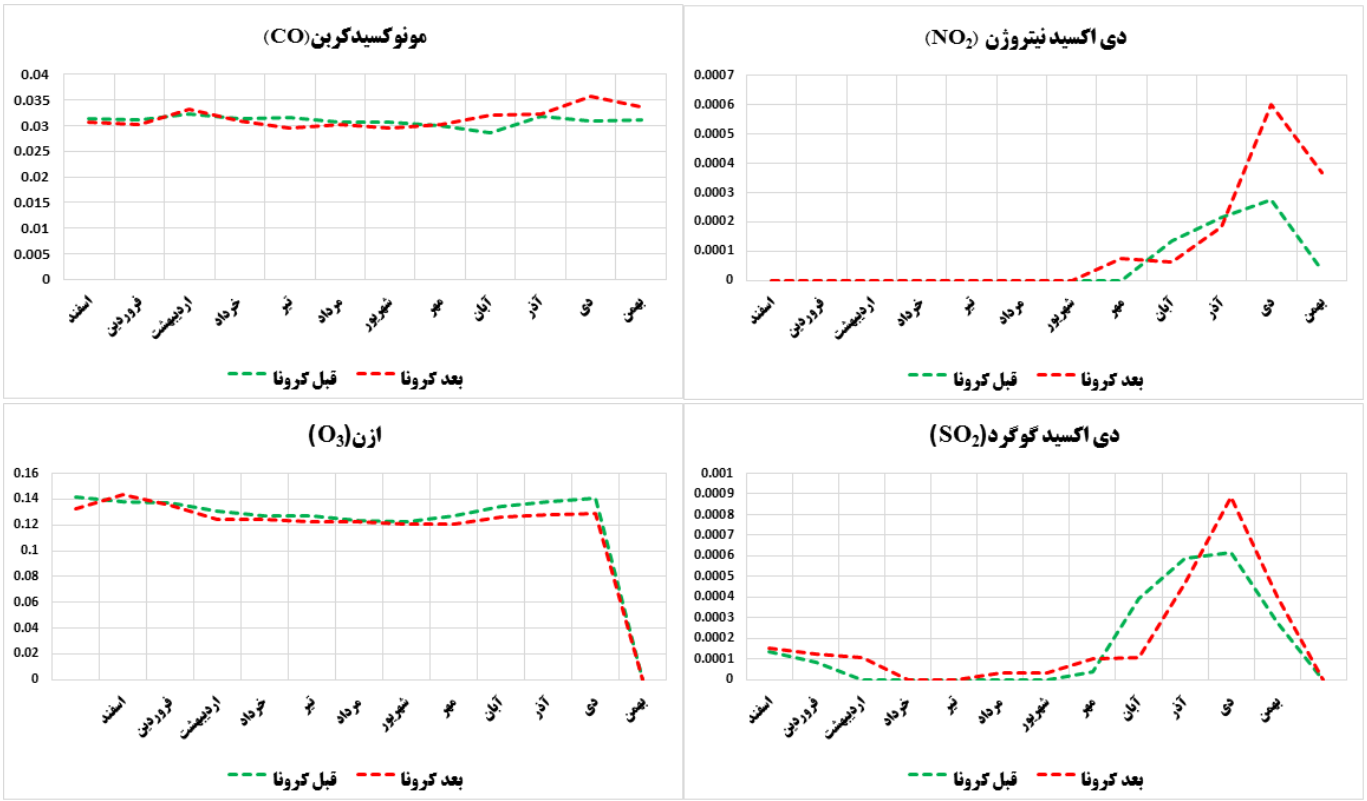
با توجه به جدول ۳ و نتایج حاصل از آزمون T-test (تی وابسته) اختلاف معنی‌داری بین میانگین غلظت آلاینده‌های مونوکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن و دی‌اکسید گوگرد در قبل (به ترتیب: ۰/۰۰۰۱۷۷۸و ۰/۰۰۰۰۵۴۸۳، ۰/۰۳۰۹۸) و بعد (به ترتیب: ۰/۰۰۰۲۰۱۷ و۰/۰۰۰۱۰۷۴، ۰/۰۳۱۵۸) شیوع ویروس کووید-۱۹ برای این آلاینده‌ها مشاهده نشده است (مقدار p-value >۰/۰۵). برای ازن اختلاف معنی‌داری بین قبل (۰/۱۳۲۳) و بعد (۰/۱۲۷۵) شیوع کووید-۱۹ در میانگین غلظت آن مشاهده شد (p-value <۰/۰۱). علاوه براین اختلاف میانگین (۰/۰۰۴۷۷۷-) برای غلطت ازن نشان‌دهنده کاهشی بودن غلظت ازن در دوران کووید-۱۹ است. نتایج مربوط به سری زمانی آلاینده‌های مونوکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن، ازن و دی‌اکسید گوگرد در قبل و بعد شیوع ویروس کووید-۱۹ در شکل ۴ نمایش داده‌شده است. آلاینده مونوکسید کربن طی اسفند و فروردین و اواسط خرداد تا شهریور به‌صورت کاهشی عمل کرده است؛ اما از اواسط مهر تا بهمن به‌صورت نوسانی با افزایش غلظت روبرو بوده است. برای دی‌اکسید نیتروژن یک نقطه اوج (پیک) در دی مشاهده شد. برای آلاینده ازن، با توجه به نمودار بیشترین کاهش در غلظت در بازه مهرماه تا اواسط دی رخداده است. بااین‌حال یک افزایش غلظت در اسفند نیز مشاهده می‌شود. دی‌اکسید گوگرد نیز از اسفند تا مهر و اواخر آذر تا بهمن با افزایش غلظت و یک نقطه اوج در دی‌ماه روبرو بوده است. بااین‌حال از اواخر مهر تا آذر شاهد کاهش در غلظت دی‌اکسید گوگرد بوده‌ایم. نقشه‌های غلظت آلاینده در قبل و بعد از شیوع کووید-۱۹ در شکل ۵ نشان داده‌شده است. مطابق شکل ۵ تغیرات مکانی برای مونوکسید کربن و دی‌اکسید نیتروژن بسیار خفیف بوده است. برای آلاینده دی‌اکسید گوگرد در قبل از شیوع اپیدمی مناطق غربی و شمال غربی جز مناطقی با میزان پایین غلظت دی اکسید گوگرد بوده است؛ اما پس از شیوع اپیدمی در برخی مناطق مرکزی و مناطق غربی و شمال غربی غلظت آلاینده افزایش یافته است. مناطق جنوبی نیز از میزان غلظت آلاینده کاسته شده است. برای ازن مناطق غربی در بعد از شیوع اپیدمی دارای گستردگی بیشتری برای افزایش در غلظت ازن روبرو شده است.

جدول ۳. خلاصه آزمون T-test (آزمون t وابسته) برای شهر اصفهان

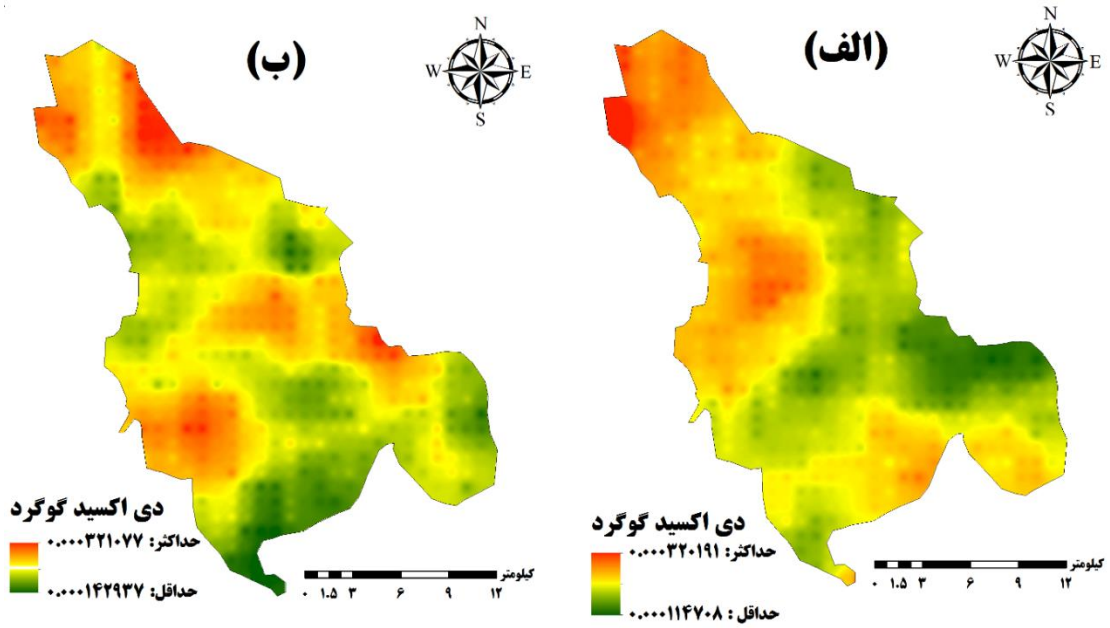
آلاینده	مرحله	میانگین	انحراف استاندارد	انحراف استاندارد از میانگین	اختلاف میانگین	مقدار آماره T	p-value
دی‌اکسید نیتروژن	قبل	۰/۰۰۰۰۵۴۸۳	۰/۰۰۰۰۹۷۶۶	۰/۰۰۰۰۲۸۱۹	۰/۰۰۰۰۵۲۵۴	۱/۳۷۲	۰/۱۹۷۵
	بعد	۰/۰۰۰۱۰۷۴	۰/۰۰۰۱۹۰۶	۰/۰۰۰۰۵۵۰۳			
مونوکسید کربن	قبل	۰/۰۳۰۹۸	۰/۰۰۰۹۴۵۶	۰/۰۰۰۲۷۳۰	۰/۰۰۵۹۴۹	۱/۰۱۶	۰/۳۳۱۳
	بعد	۰/۰۳۱۵۸	۰/۰۰۱۸۸۵	۰/۰۰۰۵۴۴۱			
ازن	قبل	۰/۱۳۲۳	۰/۰۰۶۹۱۷	۰/۰۰۱۹۹۷	-۰/۰۰۴۷۷۷	-۳/۳۳۷	۰/۰۰۶۶
	بعد	۰/۱۲۷۵	۰/۰۰۲۰۳۰	۰/۰۰۲۰۳۰			
دی‌اکسید گوگرد	قبل	۰/۰۰۰۱۷۷۸	۰/۰۰۰۲۳۴۴	۰/۰۰۰۰۶۷۶۵	۰/۰۰۰۰۲۳۸۲	۰/۶۱۶	۰/۵۵۰۳
	بعد	۰/۰۰۰۲۰۱۷	۰/۰۰۰۲۶۱۷	۰/۰۰۰۰۷۵۵۵			

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.2.8]

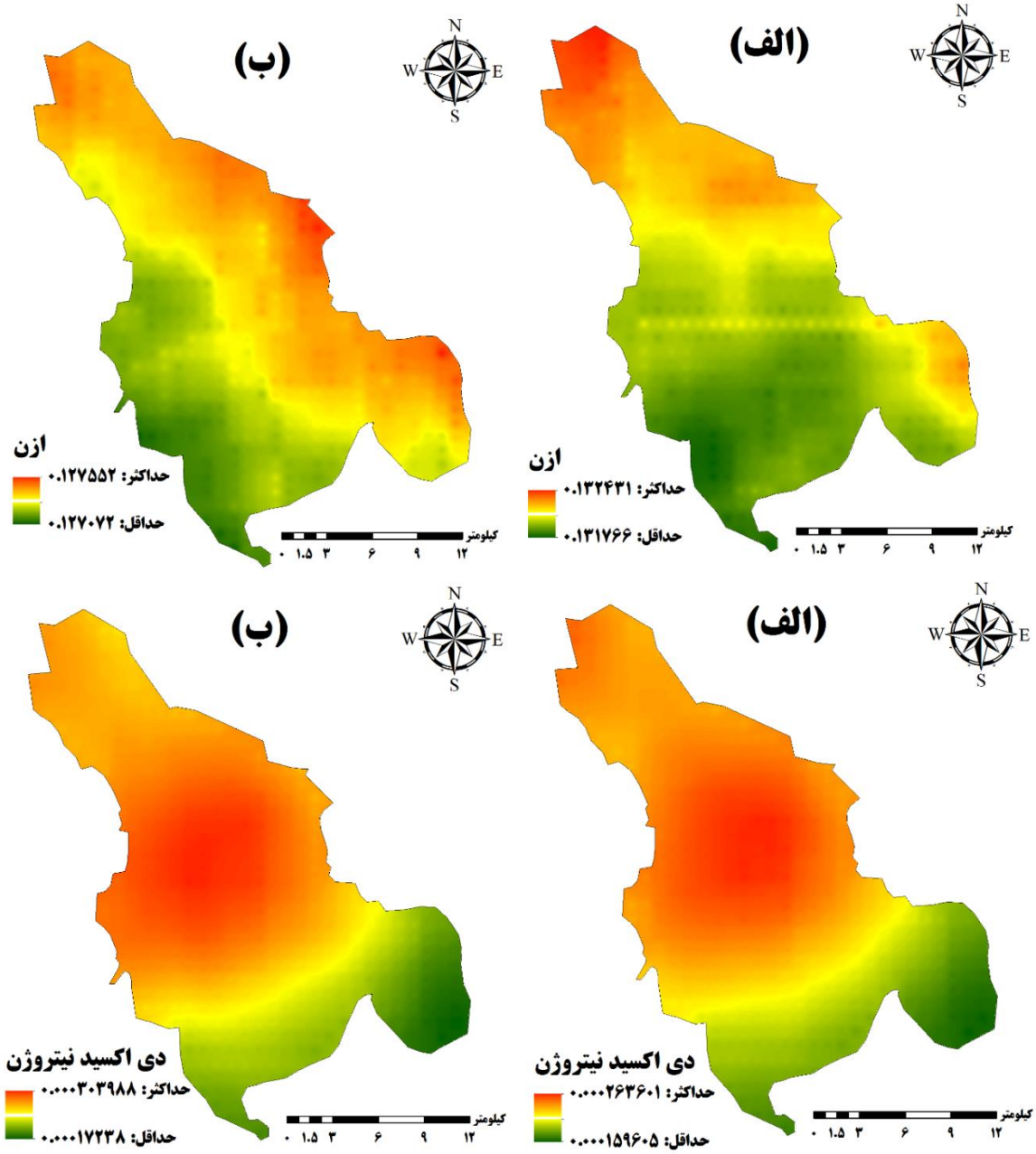


شکل ۴. سری زمانی آلاینده‌ها در قبل و بعد از شیوع کووید-۱۹ در شهر اصفهان



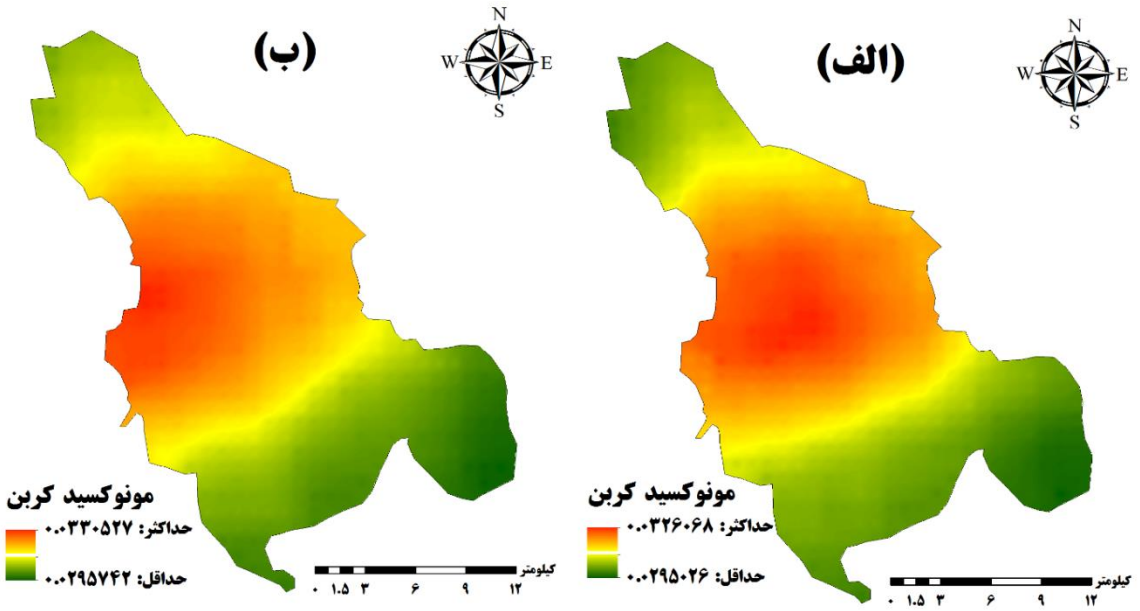
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.2.8]



[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.2.8]



شکل ۵. نقشه آلاینده‌های هوا در الف) قبل از شیوع کووید-۱۹ ب) بعد از شیوع کووید-۱۹ در شهر اصفهان

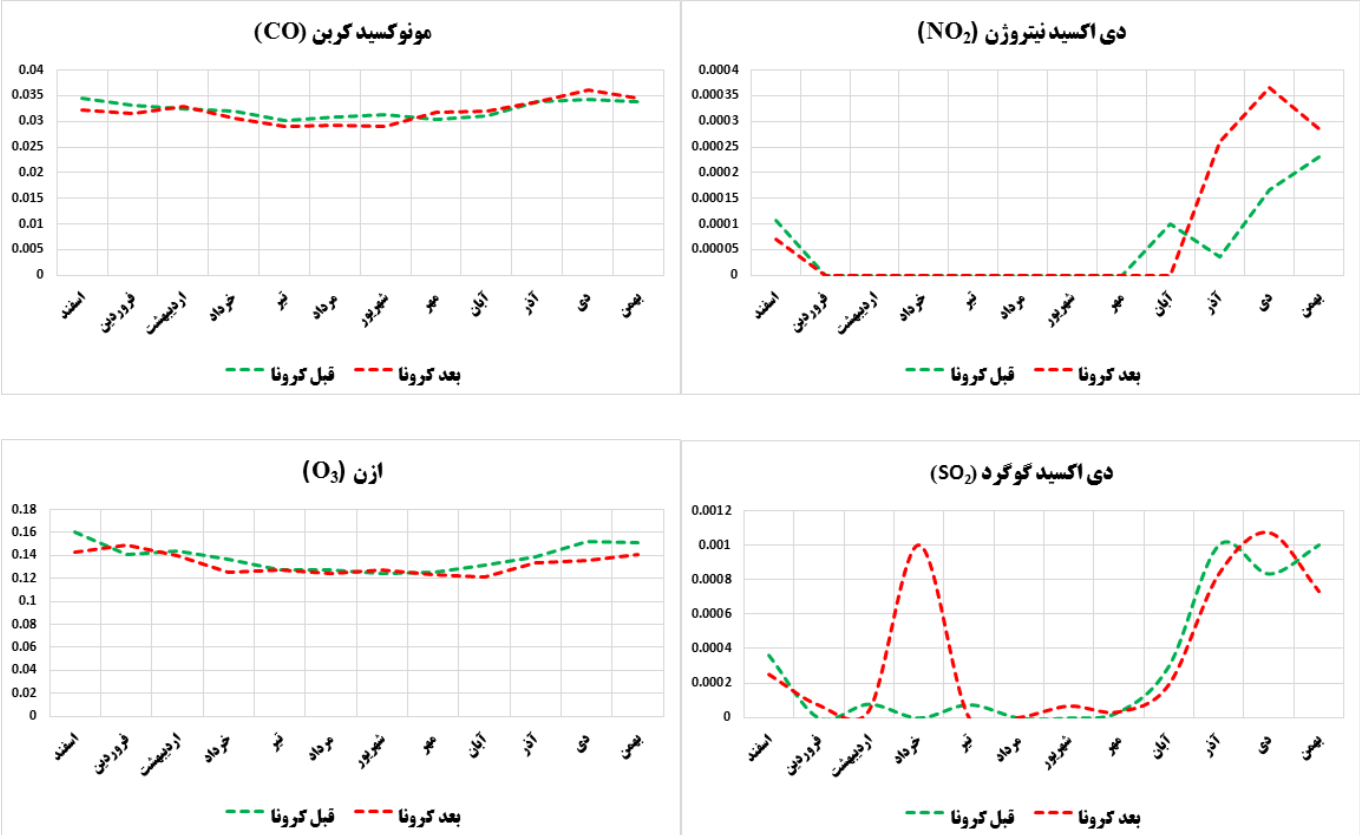
- **تغییرات مکانی آلاینده‌ها در مشهد**

با توجه به جدول ۴ و براساس آزمون T-test (تی وابسته) مشابه دو شهر تهران و اصفهان، اختلاف معنی‌داری بین میانگین غلظت آلاینده‌های مونوکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن و دی‌اکسید گوگرد در قبل (به ترتیب: ۰/۰۰۰۳۰۷۳و ۰/۰۰۰۰۵۳۳۶، ۰/۰۳۲۲۸) و بعد (به ترتیب: ۰/۰۰۰۳۵۷۴و۰/۰۰۰۰۸۱۹۲، ۰/۰۳۱۹۱) شیوع ویروس کووید-۱۹ برای این آلاینده‌ها مشاهده نشده است (مقدار ۰/۰۵< p-value)؛ اما برای ازن اختلاف معنی‌داری بین قبل (۰/۱۳۸۴) و بعد (۰/۱۳۲۶) شیوع کووید-۱۹ در میانگین غلظت آن مشاهده شد (۰/۰۱> p-value). علاوه براین روند کاهشی بودن غلظت ازن با توجه به اختلاف میانگین بین قبل و بعد شیوع کووید-۱۹ (۰/۰۰۵۷۷۴-) مشاهده شد. نمودارهای مربوط به سری زمانی آلاینده‌های مونوکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن، ازن و دی‌اکسید گوگرد در قبل و بعد شیوع ویروس کووید-۱۹ در شکل ۶ نشان داده‌شده است. مونوکسید کربن در فاصله بین مهر تا بهمن، با افزایش غلظت و خرداد تا شهریور با کاهش غلظت به‌صورت جزئی روبرو بوده است. برای دی‌اکسید نیتروژن، بیشترین تغیر که به‌صورت افزایشی بوده در فاصله آبان تا بهمن رخداده است. در مورد دی‌اکسید گوگرد شاهد یک نقطه اوج در خرداد و یک نقطه اوج دیگر در دی‌ماه هستیم. در مورد آلاینده ازن بیشترین مقدار در کاهش غلظت در اردیبهشت تا خرداد و آبان تا بهمن مشاهده شد. نقشه‌های غلظت آلاینده در قبل و بعد از شیوع کووید-۱۹ در شکل ۷ نشان داده‌شده است. مطابق شکل ۷ تغییرات مکانی غلظت دی‌اکسید نیتروژن و مونو کسید کربن قابل توجه نبوده است. برای آلاینده دی‌اکسید گوگرد قبل از شیوع اپیدمی مناطق غربی غلظت دی‌اکسید گوگرد کمترین میزان را داشته است. اما بعد از شیوع اپیدمی مناطق شرقی و جنوبی غلظت دی‌اکسید گوگرد کاهش یافته و در مناطق غربی افزایش یافته است. برای آلاینده از تغییرات مکانی قابل توجه بوده است. به گونه‌ای که در قبل از شیوع اپیدمی مناطق جنوبی غلظت ازن پایین بوده است اما بعد شیوع اپیدمی مناطق غربی کمترین مقدار غلظت ازن را دارد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.2.8]

جدول ۴. خلاصه آزمون T-test (آزمون t وابسته) برای شهر مشهد

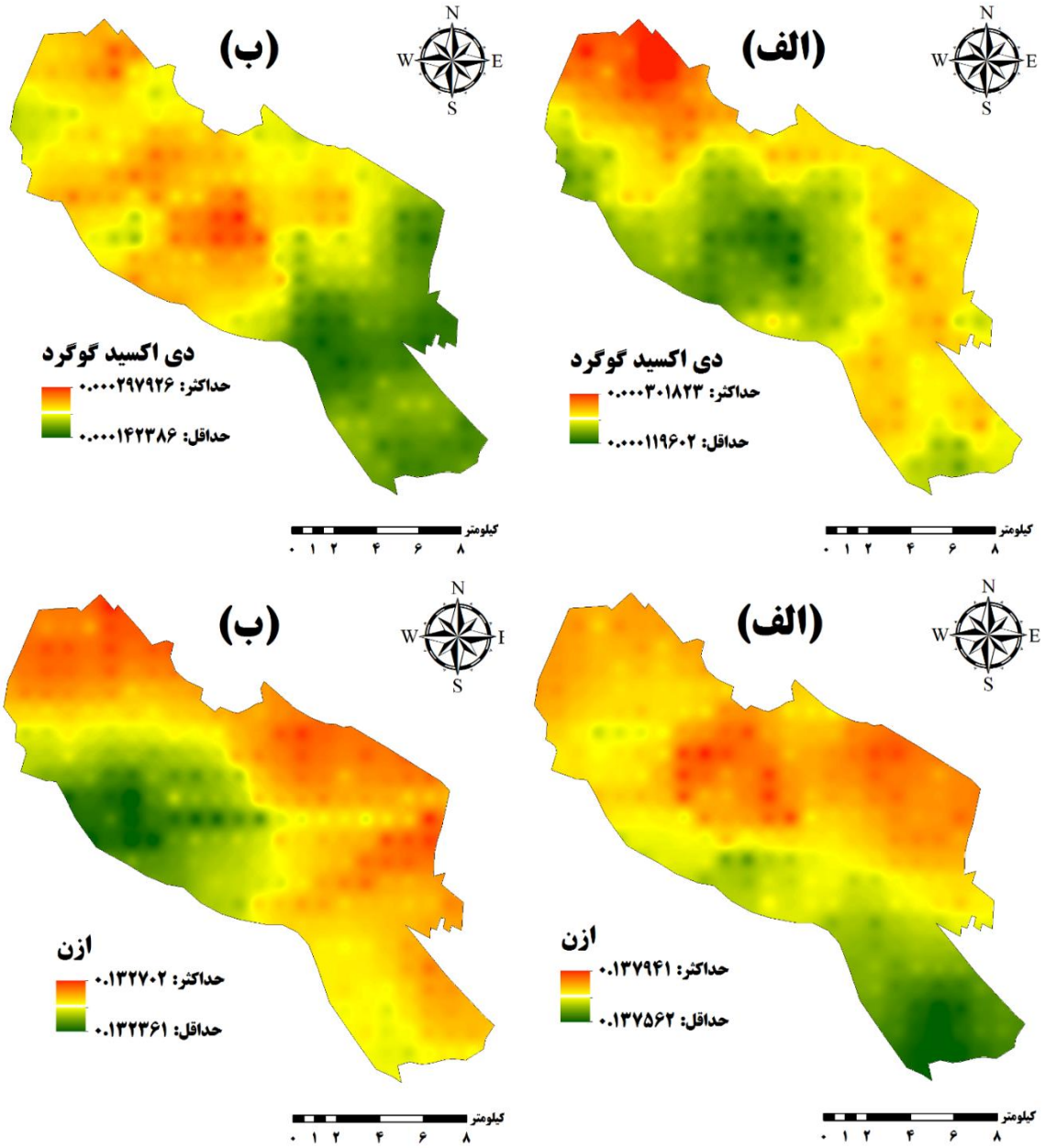
متغیر	مرحله	میانگین	انحراف استاندارد	انحراف استاندارد از میانگین	اختلاف میانگین	مقدار آماره T	p-value
دی‌اکسید نیتروژن	قبل	۰/۰۰۰۰۵۳۳۶	۰/۰۰۰۰۷۹۵۶	۰/۰۰۰۰۲۲۹۷	۰/۰۰۰۰۲۸۵۶	۱/۰۶۸	۰/۳۰۸۶
	بعد	۰/۰۰۰۰۸۱۹۲	۰/۰۰۰۱۳۷۵	۰/۰۰۰۰۳۹۶۸			
مونوکسید کربن	قبل	۰/۰۳۲۲۸	۰/۰۰۱۵۷۶	۰/۰۰۰۴۵۵۱	-۰/۰۰۰۳۷۳۴	-۰/۹۲۶	۰/۳۷۴۳
	بعد	۰/۰۳۱۹۱	۰/۰۰۲۱۸۵	۰/۰۰۰۶۳۰۹			
ازن	قبل	۰/۱۳۸۴	۰/۰۱۱۷۵	۰/۰۰۳۳۹۱	-۰/۰۰۵۷۷۴	-۲/۵۹۰	۰/۰۲۵۱
	بعد	۰/۱۳۲۶	۰/۰۰۹۰۴۶	۰/۰۰۲۶۱۱			
دی‌اکسید گوگرد	قبل	۰/۰۰۰۳۰۷۳	۰/۰۰۰۴۰۴۱	۰/۰۰۰۱۶۷	۰/۰۰۰۰۵۰۱۴	۰/۵۳۳	۰/۶۰۴۶
	بعد	۰/۰۰۰۳۵۷۴	۰/۰۰۰۴۲۱۶	۰/۰۰۰۱۲۱۷			



شکل ۶. سری زمانی آلاینده‌ها در قبل و بعد از شیوع کووید-۱۹ در شهر مشهد

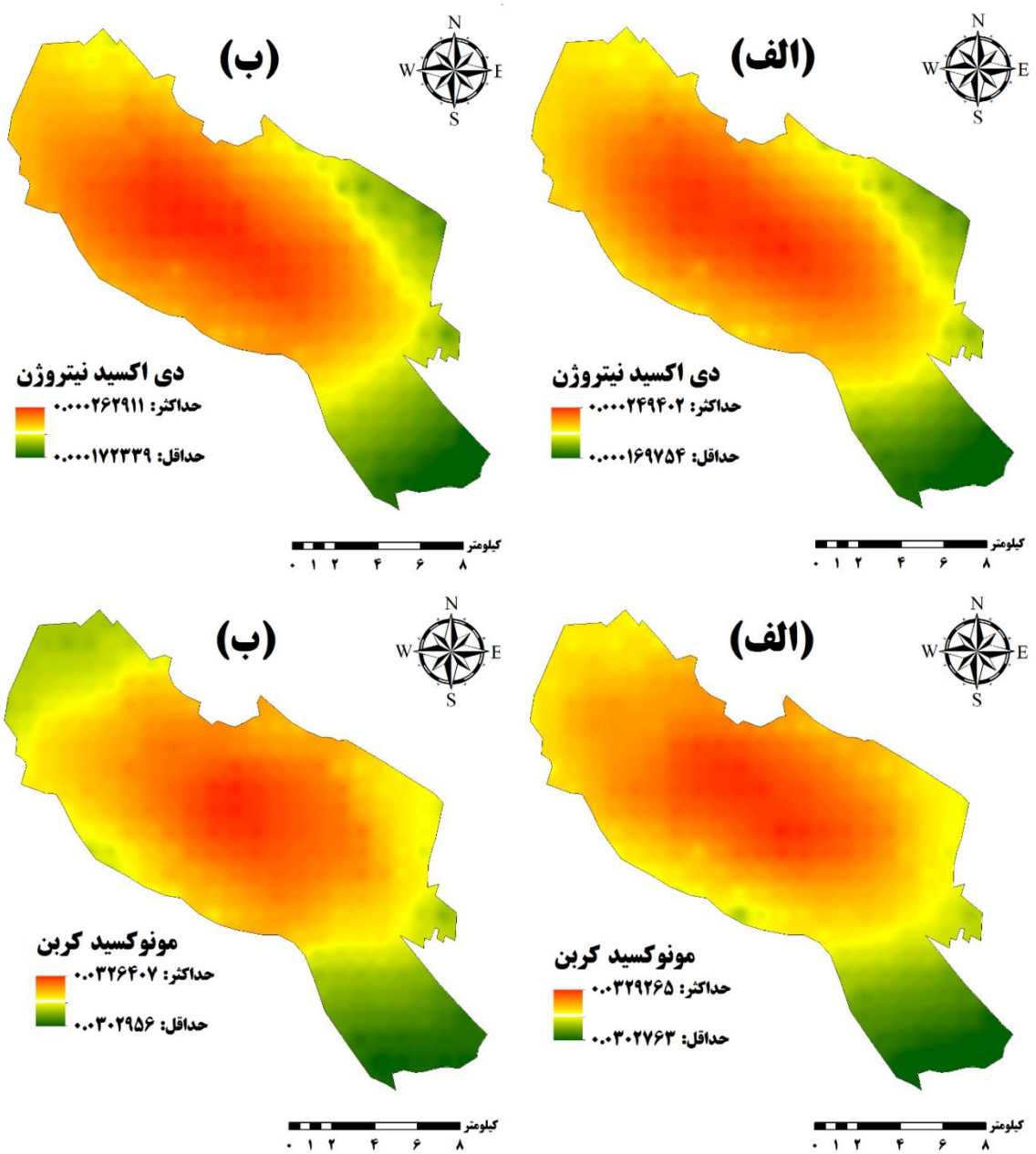
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.2.8]



[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.2.8]



شکل ۷. نقشه آلاینده‌های هوا در الف) قبل از شیوع کووید-۱۹ ب) بعد از شیوع کووید-۱۹ در شهر مشهد

براساس نتایج به‌دست‌آمده از آزمون تی تست وابسته برای آلاینده‌های مونوکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن، ازن و دی‌اکسید گوگرد که توسط ماهواره سنتینل-۵ در زمان قبل و بعد کووید-۱۹ حاصل کردید، مشخص شد که در هر سه شهر تهران، اصفهان و مشهد فقط برای آلاینده ازن تغییرات معنی‌داری در میانگین مشاهده‌شده است. جهت این تغییرات نیز به‌صورت کاهشی بوده است. این نتیجه برخلاف نتایج مطالعه انجام‌شده در ایران (شامی و همکاران، ۱۳۹۹) و چندین مطالعه در دیگر نقاط جهان است (Berman et al., ۲۰۲۰؛ Otmani ey al., ۲۰۲۰؛ Peralta et al., ۲۰۲۰؛ Chu et al.,۲۰۲۰). این مطالعات بیان

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.2.8]

کرده‌اند که بعد از ایجاد محدودیت‌هایی که در صنایع و حمل‌ونقل به وجود آمده است، از میزان انتشار آلاینده‌ها کاسته شده است. بااین‌حال باید دقت کرد که نوع سیاست‌هایی که در هر کشور برای کنترل شیوع ویروس کووید-۱۹ مورداستفاده قرارگرفته است، متفاوت با سایر کشورها است. از طرفی ممکن است شرایط هواشناسی یا انتشار از سایر منابع بر غلظت آلاینده‌ها نیز مؤثر باشد (Ju et al.,۲۰۲۰). منابع اصلی انتشار آلاینده‌های دی‌اکسید نیتروژن، مونوکسید کربن، دی‌اکسید گوگرد و ازن مربوط به فعالیت‌های انسانی از جمله بخش حمل‌ونقل و صنایع است (Cárcel-Carras et al., ۲۰۲۱؛ Ghahremanloo et al.,۲۰۲۱). با توجه به جدول‌های ۱، ۲ و ۳ اختلاف میانگین بین غلظت دی‌اکسید نیتروژن در قبل و بعد شیوع کووید-۱۹ مثبت بوده است. هرچند این اختلاف در میانگین جزئی است. با این‌حال غلظت دی‌اکسید نیتروژن به‌صورت جزئی بخصوص در فصل‌های سرد افزایش‌یافته است؛ بنابراین می‌توان گفت که غلظت ازن روند کاهشی پیدا کرده است. مطابق مطالعاتی که توسط شامی و همکاران (۱۳۹۹) و کاویانی راد (۲۰۲۰) در سطح ایران انجام‌گرفته است، غلظت آلاینده‌ها در طی یک ماه یا ۴۰ روز با کاهش روبرو بوده است. نکته حائز اهمیت بازه زمانی کوتاه است که در طی دوره قرنطینه و محدودیت‌های شدید رخ‌داده است. اما در این مطالعه بازه زمانی موردنظر در طی یک دوره یک‌ساله قبل از شیوع ویروس کووید-۱۹ و یک دوره یک‌ساله بعد از شیوع این ویروس در نظر گرفته‌شده است. علاوه براین، این مطالعه براساس میانگین غلظت ماهانه به تحلیل و بررسی روند تغییرات آلاینده‌های موردنظر پرداخته است؛ بنابراین ممکن است که در طی یک بازه کوتاه غلظت آلاینده‌ها کاهش یابد؛ اما بعد از رفع محدودیت‌ها مجدد روند افزایشی را در پیش بگیرند.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه به بررسی تغییرات در تولید و انتشار آلاینده‌های مونوکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن، ازن و دی‌اکسید گوگرد در سه کلانشهر تهران، اصفهان و مشهد پرداخته شده است. نتایج حاصل نشان داد که سطح غلظت آلاینده‌ها بدون تغییر مانده (تغیر جزئی) و فقط برای ازن روند کاهشی مشاهده شده است. مطابق نتایج، باتوجه به محدودیت‌هایی که از طرف ستاد مقابله با کووید-۱۹ در ایران تعیین‌شده است، باوجود کاهش در برخی فعالیت‌ها همچنان بخش‌های مهمی از جمله کارخانه‌های تولیدی، مراکز صنعتی و معدنی، کشاورزی، شیلات و خدمات، حمل‌ونقل عمومی کالا و مسافر برون‌شهری، حمل‌ونقل عمومی درون‌شهری، کارگاه‌های صنعتی مشمول این محدودیت‌ها نبوده و همچنان حتی در طی محدودیت‌های شدید به فعالیت خود ادامه داده‌اند. از این جهت غلظت آلاینده‌ها دست خوش تغییرات قابل توجه‌ای نبوده است.

با توجه به اینکه عواملی همچون شرایط محیط، رفتارهای انسانی، وضعیت جوی عواملی هستند که می‌توانند آلاینده‌های هوا را در سطح شهرها تحت تاثیر قرار دهند. از این رو، برای مطالعات آینده پیشنهاد می‌شود که این موارد در نظر گرفته شده و در فرایند تحقیق مورد ارزیابی قرار گیرند.

منابع

عطایی، هوشمند و سادات هاشمی نسب. ۱۳۹۰. شناسایی و تجزیه و تحلیل الگوهای تراز میانی جو موثر در آلودگی هوا. *مجله پژوهش و برنامه ریزی شهری*، **۲(۴)**: ۹۷-۱۱۲.

ضرابی، اصغر؛ جمال محمدی و علی اصغر عبدالهی. ۱۳۸۹. بررسی و ارزیابی منابع ثابت و متحرک در آلودگی هوای شهر اصفهان. *فصلنامه علمی پژوهشی انجمن جغرافیای ایران*، **۸(۲۶)**: ۱۵۱-۱۶۴.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.2.8]

میری، محمد؛ محمد تقی قانعیان، عبدالمجید قلیزاده، محسن یزدانی اول و علی نیکو نهاد. ۱۳۹۴. تحلیل و پهنه بندی آلودگی هوا شهر مشهد با استفاده از مدل‌های مختلف تحلیل فضایی. *فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی بهداشت محیط*، **۳ (۲)**: ۱۴۳-۱۵۴.

شامی، سیاوش؛ مهدی خوش لهجه آذر، زهرا قربانی، آرمین مقیمی، علی محمد زاده و سیده سمانه ثابت قدم. ۱۳۹۹. بررسی میزان تغییرات آلاینده‌های هوا در دوره انتشار ویروس کووید-۱۹ در ایران با استفاده از اطلاعات ماهواره سنتینل۵. *نشریه علمی علوم و فنون نقشه برداری*، **۲ (۳)**: ۱۳۵-۱۴۶.

Ali, S. M.; F. Malik, M. Anjum, S. Siddiqui, G. F. Anwar, M. N. Lam, S. S., ... and M. F. Khokhar. ۲۰۲۱. Exploring the linkage between PM۲. ۵ levels and COVID-۱۹ spread and its implications for socio-economic circles. *Environmental Research*, **۱۹۳**: ۱۱۰٤۲۱.

Azuma, K.; N. Kagi, H. Kim, and M. Hayashi.۲۰۲۰. Impact of climate and ambient air pollution on the epidemic growth during COVID-۱۹ outbreak in Japan. *Environmental research*, **۱۹۰**:۱۱۰۰٤۲.

Bayat, R., K. Ashrafi, M. Motlagh, S. Hassanvand, M. S. Daroudi, R. Fink, and N. Künzli. ۲۰۱۹. Health impact and related cost of ambient air pollution in Tehran. *Environmental research*, **۱۷٦**: ۱۰۸٥٤۷.

Berman, J. D. and K. Ebisu. ۲۰۲۰. Changes in US air pollution during the COVID-۱۹ pandemic. *Science of the Total Environment*, **۷۳۹**: ۱۳۹۸٦٤.

Borsdorff, T.; H. Hu, O. Hasekamp, R. Sussmann, M. Rettinger, F. Hase, ... and J. Landgraf. ۲۰۱۸. Mapping carbon monoxide pollution from space down to city scales with daily global coverage. *Atmospheric Measurement Techniques*, **۱۱ (۱۰)**: ٥٥۰۷-٥٥۱۸.

Briz-Redón, Á.; C. Belenguer-Sapiña, and Á. Serrano-Aroca. ۲۰۲۱. Changes in air pollution during COVID-۱۹ lockdown in Spain: a multi-city study. *journal of environmental sciences*, **۱۰۱**: ۱٦-۲٦.

Cárcel-Carrasco, J.; M. Pascual-Guillamón, and J. Langa-Sanchis.۲۰۲۱. Analysis of the effect of COVID-۱۹ on air pollution: perspective of the Spanish case. *Environmental Science and Pollution Research*, ۱-۱٤.

Chu, B.; S. Zhang, J. Liu, Q. Ma, and H. He. ۲۰۲۱. Significant concurrent decrease in PM۲. ۵ and NO۲ concentrations in China during COVID-۱۹ epidemic. *Journal of Environmental Sciences*, **۹۹**: ۳٤٦-۳٥۳.

De Vries, J.; R. Voors, B. Ording, J. Dingjan, P. Veefkind, A. Ludewig, ..., and I. Aben. ۲۰۱٦. TROPOMI on ESA's Sentinel ٥p ready for launch and use. *In Fourth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment* (RSCy۲۰۱٦) (Vol. ۹٦۸۸, p. ۹٦۸۸۰B). International Society for Optics and Photonics.

Fan, C.; Y. Li, J. Guang, Z. L. Elnashar, M. Allam, and G. de Leeuw. ۲۰۲۰. The impact of the control measures during the COVID-۱۹ outbreak on air pollution in China. *Remote Sensing*, **۱۲(۱۰)**: ۱٦۱۳.

Ghahremanloo, M.; Y. Lops, Y. Choi, and S. Mousavinezhad. ۲۰۲۱. Impact of the COVID-۱۹ outbreak on air pollution levels in East Asia. *Science of The Total Environment*, **۷٥٤**: ۱٤۲۲۲٦.

Ghorani-Azam, A.; B. Riahi-Zanjani, and M. Balali-Mood. ۲۰۱٦. Effects of air pollution on human health and practical measures for prevention in Iran. *Journal of research in medical sciences*: the official journal of Isfahan University of Medical Sciences,۲۱.

Hashim, B. M.; S. K. Al-Naseri, A. Al-Maliki, and N. Al-Ansari. ۲۰۲۱. Impact of COVID-۱۹ lockdown on NO۲, O۳, PM۲. ۵ and PM۱۰ concentrations and assessing air quality changes in Baghdad, Iraq. *Science of the Total Environment*, **۷٥٤** :۱٤۱۹۷۸.

Ju, M. J.; J. Oh, and Y. H. Choi. ۲۰۲۱. Changes in air pollution levels after COVID-۱۹ outbreak in Korea. *Science of the Total Environment*, **۷٥۰**:۱٤۱٥۲۱.

Kaplan, G.; Z. Y. Avdan, and U. Avdan. ۲۰۱۹. Spaceborne Nitrogen Dioxide Observations from the Sentinel-٥P TROPOMI over Turkey. *In Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings* **۱۸(۱)**:٤.

Mostafa, M. K.; G. Gamal, and A. Wafiq. ۲۰۲۱. The impact of COVID-۱۹ on air pollution levels and other environmental indicators-A case study of Egypt. *Journal of environmental management*, **۲۷۷**:۱۱۱٤۹٦.

Naddafi, K.; M. S. Hassanvand, M. Yunesian, F. Momeniha, R. Nabizadeh, S. Faridi, and A. Gholampour. ۲۰۱۲. Health impact assessment of air pollution in megacity of Tehran, Iran. Iranian *journal of environmental health science & engineering*, **۹(۱)**: ۱-۷.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.2.8]

Ogen, Y. ۲۰۲۰. Assessing nitrogen dioxide (NO۲) levels as a contributing factor to coronavirus (COVID-۱۹) fatality. *Science of the Total Environment*, ۷۲۶: ۱۳۸٦۰٥.

Otmani, A.; A. Benchrif, M. Tahri, M. Bounakhla, M. El Bouch, and M. H. Krombi. ۲۰۲۰. Impact of Covid-۱۹ lockdown on PM۱۰, SO۲ and NO۲ concentrations in Salé City (Morocco). *Science of the total environment*, **۷۳٥**: ۱۳۹٥٤۱.

Peralta, O.; A. Ortínez-Alvarez, R. Torres-Jardón, M. Suárez-Lastra, T. Castro, and L. G. Ruíz-Suárez. ۲۰۲۱. Ozone over Mexico City during the COVID-۱۹ pandemic. *Science of The Total Environment*, **۷٦۱**:۱٤۳۱۸۳.

Rad, A. K.; M. Shariati, and M. Zarei. ۲۰۲۰. The impact of COVID-۱۹ on air pollution in Iran in the first and second waves with emphasis on the city of Tehran. *Journal of Air Pollution and Health*.

Rojas, J. P.; F. R. Urdanivia, R. A. Garay, A. J.García, C. Enciso, E. A. Medina, ... and M. A. Leiva-Guzmán. ۲۰۲۱. Effects of COVID-۱۹ pandemic control measures on air pollution in Lima metropolitan area, Peru in South America. Air Quality, *Atmosphere & Health*, ۱-۹.

Rybarczyk. Y, and R. Zalakeviciute. ۲۰۲۱. Assessing the COVID-۱۹ impact on air quality: A machine learning approach. *Geophysical Research Letters*, **٤۸(٤)**: e۲۰۲۰GL۰۹۱۲۰۲.

Shahbazi, H.; M. Reyhanian, V. Hosseini, and H. Afshin. ۲۰۱٦. The relative contributions of mobile sources to air pollutant emissions in Tehran, Iran: an emission inventory approach. *Emission control science and technology*, **۲(۱)**: ٤٤-٥٦.

Siddiqui, A.; S. Halder, P. Chauhan, and P. Kumar.۲۰۲۰. COVID-۱۹ Pandemic and City-Level Nitrogen Dioxide (NO۲) Reduction for Urban Centres of India. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, **٤۸(۷)**: ۹۹۹-۱۰۰٦.

Sohrabi, C.; Z. Alsafi, N. O'Neill, M. Khan, A. Kerwan, A. Al-Jabir and R. Agha. ۲۰۲۰. World Health Organization declares global emergency: A review of the ۲۰۱۹ novel coronavirus (COVID-۱۹). *International journal of surgery*, ۷٦:۷۱-۷٦.

Stratoulias, D, and N. Nuthammachot. ۲۰۲۰. Air quality development during the COVID-۱۹ pandemic over a medium-sized urban area in Thailand. *Science of The Total Environment*, ۷٤٦: ۱٤۱۳۲۰.

Vadrevu, K. P.; A. Eaturu, S. Biswas, K. Lasko, S. Sahu, J. K. Garg, and C. Justice. ۲۰۲۰. Spatial and temporal variations of air pollution over ٤۱ cities of India during the COVID-۱۹ lockdown period. *Scientific reports*, **۱۰(۱)**: ۱-۱٥.

Vîrghileanu, M.; I. Săvulescu, B. A. Mihai, C. Nistor, and R. Dobre. ۲۰۲۰. Nitrogen Dioxide (NO۲) Pollution Monitoring with Sentinel-٥P Satellite Imagery over Europe during the Coronavirus Pandemic Outbreak. *Remote Sensing*, **۱۲(۲۱)**: ۳٥۷٥.

Zambrano-Monserrate, M. A.; M. A. Ruano, and L. Sanchez-Alcalde. ۲۰۲۰. Indirect effects of COVID-۱۹ on the environment. *Science of the Total Environment*, ۷۲۸: ۱۳۸۸۱۳.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.2.8]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.2.8]