



## بررسی تأثیر کاهش فعالیت‌ها و تردها در زمان شیوع کرونا بر تغییرات زمانی-مکانی دی‌اکسید نیتروژن با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل ۵ در آذربایجان شرقی

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۷

سارا بهشتی فر\*

امیرحسین قورخانه‌چی زیرک

دکترای تخصصی، استادیار دانشگاه تبریز

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز

### چکیده

آلودگی هوا یکی از چالش‌های مهم دنیای امروز، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، به شمار می‌آید. لذا پایش و کنترل میزان آلاینده‌هایی که سلامت انسان‌ها را به‌مخاطره انداخته‌اند، امری ضروری می‌باشد. در سال‌های اخیر، داده‌های سنجش از دوری مربوط به سنجنده تروپومی ماهواره سنتینل ۵، به‌عنوان یک منبع غنی و بروز اطلاعات، جهت پایش و بررسی تغییرات زمانی-مکانی آلاینده‌های هوا مورد توجه قرار گرفته است. در این مطالعه از سامانه گوگل ارث انجین برای دستیابی به محصولات سنجنده تروپومی جهت بررسی میزان آلاینده دی‌اکسید نیتروژن در استان آذربایجان شرقی استفاده شد. ابتدا برای بررسی روند کلی تغییرات، نقشه‌های پراکندگی مکانی آلاینده مذکور در چهار سال متوالی (۱۴۰۰-۱۳۹۷) تولید گردید. در ادامه، تأثیر کاهش فعالیت‌ها و تردد خودروها بر میزان غلظت این آلاینده، در زمان شیوع ویروس کووید-۱۹، مورد بررسی قرار گرفت و نقشه‌های پراکندگی مکانی آلاینده مذکور در بازه‌های زمانی مختلف تهیه و مقایسه شدند. همچنین جهت بررسی تأثیر بازگشایی مدارس و دانشگاه‌ها بعد از کنترل کرونا، نقشه‌های پراکندگی مکانی آلاینده برای نیمه دوم فروردین ماه سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج پژوهش نشان داد

که میزان  $\text{NO}_2$  در مرکز استان، در کلیه بازه‌های زمانی بیشتر از دیگر شهرها بوده و تعطیلی دو هفته‌ای در آذرماه ۱۳۹۹ بیشترین تأثیر را در کاهش این آلاینده داشته؛ بطوریکه میزان آن در تبریز بیش از ۵۰ درصد کمتر شده است. همچنین براساس نتایج مربوط به بررسی سالانه، میانگین آلاینده مذکور هم در کل استان و هم در تبریز در سال ۱۳۹۹ از سایر سال‌ها کمتر بوده و بازگشایی مراکز آموزشی نیز باعث افزایش  $\text{NO}_2$  گردیده است.

**واژه‌های کلیدی:** آلودگی هوا، دی‌اکسید نیتروژن، کوئید-۱۹، سنتینل ۵، آذربایجان شرقی، تردد خودروها.

#### مقدمه

امروزه، آلودگی هوا به یکی از مهم‌ترین چالش‌های محیطی در بسیاری از کلان شهرهای جهان و ایران تبدیل شده و سلامت انسان‌ها را به مخاطره انداخته است (Cheraghi, Abbasmofrad et al., 2022). بیماری‌های قلبی و تنفسی نیز بیشتر شده است (Cheraghi, 2019; Rangzan et al., 2021). اساس گزارش‌های سازمان جهانی بهداشت، سالانه بیش از شش میلیون نفر جان خود را در اثر بیماری‌های مربوط به آلودگی هوا از دست می‌دهند (World Health Organization, 2015). آلاینده‌ها در کنار آثار سوءشان بر سلامت انسان‌ها (به عنوان مهم‌ترین اثر)، محیط‌زیست را در حالت کلی نیز تحت تأثیر قرار داده‌اند؛ به‌طوری‌که با افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، جهان با خطر گرم شدن کره زمین و همچنین تغییرات عمده در اکوسیستم‌های طبیعی روبه‌رو شده است. علاوه بر آن، این معضل به لحاظ اقتصادی نیز تبعاتی داشته است؛ به‌گونه‌ای که هزینه‌های درمانی مربوط به بیماری‌های ناشی از آلودگی هوا و همچنین کاهش بهره‌وری در محل کار، سالیانه میلیاردها دلار هزینه بر جامعه تحمیل می‌کنند (Javaheri, Bayat, 2013). آلاینده‌های هوا شامل مونوکسید کربن، ازن، اکسیدهای نیتروژن، اکسیدهای گوگرد و ذرات معلق می‌باشند (Saxena, Naik, 2018). دی‌اکسید نیتروژن ( $\text{NO}_2$ ) است که تجمع آن، به عنوان یک گاز مهم تروپوسفری و پیش‌ساز مه دود فتوشیمیایی، باعث آلودگی هوا می‌شود و سلامت انسان‌ها را تهدید می‌کند (Dickerson et al., 2019; Zheng et al., 2019; Park et al., 2020). سیستم‌های گرمایشی، وسایل نقلیه موتوری، نیروگاه‌ها و یا به دلیل آتش‌سوزی جنگل‌ها تولید شود.

با توجه به تأثیرات منفی آلاینده‌ها بر سلامت انسان‌ها و محیط زیست، کنترل آلودگی هوا یک وظیفه مهم جهت حفظ سلامت عمومی است. یکی از ملزومات این امر، دسترسی سریع و آسان به داده‌های مورد نیاز جهت پایش آلاینده‌ها می‌باشد. در همین راستا، در سال‌های اخیر، داده‌های سنجش از دور ماهواره‌ای نظیر تصاویر مودیس و سنتینل ۵ برای پایش انواع آلاینده‌ها از جمله  $\text{NO}_2$  مورد استفاده قرار گرفته‌اند؛ زیرا این داده‌ها، رایگان، قابل دسترس و دارای پوشش وسیع می‌باشند و می‌توانند برای پیش‌بینی و اعلام هشدار در

زمینه کیفیت هوا مورد استفاده قرار گیرند. (Xian, 2015) در واقع، ماهواره‌ها با گردش به دور زمین و پایش یک منطقه بخصوص در زمان‌های مختلف، امکان پایش زمانی-مکانی آلاینده را فراهم می‌کنند. ماهواره سنتینل ۵ از مجموعه ماهواره‌های برنامه فضایی کوپرنیکوس سازمان فضایی اروپا است که از زمان پرتاب در سال ۲۰۱۷، داده‌های قابل اعتماد و کارایی را برای مطالعه هواویزهای جو، دی‌اکسید نیتروژن، مونوکسید کربن و ازن فراهم کرده است. از اینرو با پردازش داده‌های حاصل از این ماهواره می‌توان اطلاعات بسیار ارزشمندی از آلاینده‌های هوا به دست آورد. (Theys et al., 2017)

تاکنون در مطالعات مختلفی از داده‌های ماهواره سنتینل ۵ برای پایش آلاینده‌های هوا استفاده شده است. به عنوان نمونه، Zheng و همکاران (۲۰۱۹)، با بررسی تغییرات مکانی دی‌اکسید نیتروژن از روی تصاویر این ماهواره در کشور چین، به این نتیجه رسیدند که مصرف برق و استفاده از وسایل نقلیه شخصی نقش مهمی در افزایش آلاینده مذکور در دشت چین شمالی داشته است. (Zheng et al., 2019) در تحقیقی دیگری Shikwambana و همکاران (۲۰۲۰)، با به کارگیری اطلاعات ماهواره سنتینل ۵ نشان دادند که به دلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از فعالیت نیروگاه‌های زغال‌سنگ، میزان آلاینده‌های دی‌اکسید نیتروژن و دی‌اکسید گوگرد در استان‌های Gauteng, Mpumalanga و Limpopo واقع در آفریقای جنوبی روند افزایشی داشته است (Shikwambana et al., 2020). Omrani و همکاران (۲۰۲۰)، یک مجموعه داده مکانی-زمانی آلاینده دی‌اکسید نیتروژن در فرانسه را ارائه کردند که از سنجنده سنجش از دوری سنتینل ۵ جمع‌آوری و پردازش شده است و می‌تواند در انواع مطالعات محیطی مورد استفاده قرار گیرد. (Omrani et al., 2020) در مطالعه‌ی دیگری Kaplan و همکارانش (۲۰۱۹)، رابطه‌ی بین دی‌اکسید نیتروژن تروپوسفری ثبت شده توسط سنجنده ماهواره سنتینل ۵ و تراکم جمعیت در کشور ترکیه را بررسی کردند؛ نتایج تحقیق نشان داد که بین تراکم جمعیت و حداکثر مقدار آلاینده مورد نظر همبستگی بالاتر از ۰/۷۲ وجود دارد. (Kaplan et al., 2019) در پژوهش صورت گرفته توسط Virghileanu و همکارانش (۲۰۲۰)، آلودگی تروپوسفر ناشی از دی‌اکسید نیتروژن در اروپا بین سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ بر اساس محصولات سنتینل ۵ بررسی شد. بر اساس نتایج حاصل، به علت انتقال ناگهانی از وضعیت عادی به شیوع ویروس کووید-۱۹ که سبب کاهش ترافیک و فعالیت‌های صنعتی شده بود، از تراکم دی‌اکسید نیتروژن تروپوسفر در برخی از شهرهای بزرگ اروپا تا ۸۵ درصد کاسته شده بود (Virghileanu et al., 2020). Behera و همکارانش (۲۰۲۰) هفت شاخص مرتبط با کیفیت هوا شامل دی‌اکسید نیتروژن، دی‌اکسید گوگرد، فرمالدئید، متان، مونوکسید کربن، آتروسل و ازن را در کشور هند در سال‌های ۲۰۱۹، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۱ به صورت ماهیانه و با استفاده از داده‌های سنتینل ۵ مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاصل نشان‌دهنده‌ی کاهش میزان آلاینده‌های دی‌اکسید نیتروژن، دی‌اکسید گوگرد، فرمالدئید و آتروسل در ماه‌های مارس-می سال ۲۰۲۰ نسبت به همان بازه در سال ۲۰۱۹ می‌باشد؛ در حالی که در سال ۲۰۲۱ نسبت به مارس-می ۲۰۲۰ میزان آلودگی به‌طور قابل توجهی افزایش یافته

بود Ghanbari (2021), (Behera et al., 2021) و (Isa-Zadeh, 2021) پراکنندگی آلاینده‌های ازن و اکسیدهای نیتروژن را در کلان‌شهر تهران مدل‌سازی کردند. آنها با مقایسه نتایج حاصل از روش‌های درونیایی وزن‌دهی معکوس و پردازش محصولات سنتینل ۵، نشان دادند که با مدل‌سازی مکانی آلاینده‌های مذکور با اطلاعات سنتینل ۵ در محیط گوگل ارث انجین، نتایج مطلوبی به دست می‌آید (Gharibi and Isa-Zadeh, 2021) و (Shayesteh, 2021) با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین، نقشه میانگین غلظت آلاینده‌های CO، SO<sub>2</sub>، NO<sub>2</sub>، O<sub>3</sub> و AI را در مقیاس ایران و بازه زمانی سال ۲۰۱۹ مدل‌سازی کردند؛ براساس نتایج آنها، پتروشیمی و پالایشگاه‌هایی که در محدوده‌های شهرهای آبادان، بندر امام خمینی، بندر ماهشهر و اهواز و بندر عسلویه قرار دارند بیشترین کانون‌های آلاینده‌گی بوده و آلاینده‌های CO، SO<sub>2</sub>، NO<sub>x</sub> و ذرات معلق و آئروسول در این مراکز بیشتر هستند. همچنین، پاکدشت استان تهران به دلیل بالا بودن جمعیت و ترافیک شهری در تولید بالای CO و NO<sub>2</sub> به عنوان کانون آلاینده‌گی شناسایی شده است (Ghanadi, 2021). (Gharibi and Shayesteh, 2021) و همکاران (۲۰۲۰) نیز با استفاده از تصاویر سنتینل ۵ نقشه‌های آلاینده‌های مهم هوا از جمله دی‌اکسید نیتروژن، دی‌اکسید گوگرد، مونوکسیدکربن و ذرات معلق برای ۲۰ شهر بزرگ و صنعتی ایران را در سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ تولید کردند و صحت پایش صورت گرفته را با استفاده از ایستگاه‌های ثبت آلاینده‌های زمینی مورد ارزیابی قرار دادند. آنها همبستگی حداقل ۷۸ درصد بین مقادیر پایش شده با تصاویر ماهواره سنتینل ۵ و مقادیر پایش شده توسط ایستگاه‌های زمینی را مشاهده کردند. همچنین آنها نشان دادند که در سال ۲۰۱۹ تهران بیشترین و زنجان کمترین آلودگی را در مقایسه با سایر شهرها داشته‌اند. در سال ۲۰۲۰ تهران باز هم آلوده‌ترین شهر باقی مانده و زنجان هم در قیاس با سایر شهرستان‌ها وضعیت بهتری داشته است (Shami et al., 2020). (Ghanadi et al., 2020) و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از تصاویر سنتینل ۵ برای بررسی تغییرات آلاینده‌های هوای ایران در دوره‌ی انتشار ویروس کووید ۱۹ نقشه تهیه کردند. آنها میزان آلاینده‌های جوی در فروردین ماه ۱۳۹۹ را با دوره‌ی مشابه در سال ۱۳۹۸ مقایسه کردند. در دوره‌ی انتشار ویروس کووید ۱۹ که فعالیت کارخانه‌ها و همچنین تردد وسایل نقلیه کاهش یافته بود، بهبود کیفیت هوا در فروردین ۱۳۹۹ نسبت به فروردین ۱۳۹۸ مشهود بوده است. (Shami et al., 2021)

به دلیل اینکه NO<sub>2</sub> در شهرها اغلب از احتراق سوخت‌های فسیلی، به‌ویژه گازهای حاصل از تردد خودروهای دودزا ایجاد می‌شود (Kaplan et al., 2019)، تغییر در میزان تردد خودروها بر میزان غلظت آن در هوا تأثیر می‌گذارد. از سوی دیگر، در سال‌های اخیر، بحران کووید-۱۹ باعث تعطیلی در ۱۸۸ کشور شد (Pokhrel, Chhetri, 2021) و تردهای شهری و بین شهری محدود گردید. در کشور ایران و استان آذربایجان شرقی نیز محدودیت‌هایی در خصوص فعالیت مراکز مختلف نظیر مراکز آموزشی، فرهنگی و تفریحی و همچنین نحوه

تردها در نظر گرفته شدند. بعد از کنترل و کاهش همه‌گیری بیماری کرونا و اقدام به بازگشایی مراکز مختلف به‌ویژه مدارس و دانشگاه‌ها، رفت و آمدها افزایش یافتند. در این تحقیق، برای بررسی تأثیر محدودیت تردها و همچنین تعطیلی و یا کاهش فعالیت برخی از مراکز بر میزان  $\text{NO}_2$ ، مقدار این آلاینده، در شرایط و بازه‌های زمانی مختلف در استان آذربایجان شرقی، با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره سنتینل ۵ و در محیط گوگل ارث انجین مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲- مواد و روش تحقیق (B. Nazanin, با قلم ۱۲ پررنگ)

در این پژوهش به تحلیل تغییرات زمانی-مکانی آلاینده‌ی دی‌اکسید نیتروژن، در استان آذربایجان شرقی، در چهار بازه زمانی با شرایط متفاوت پرداخته شده است. منبع داده‌ها، تصاویر سنجش از دوری ماهواره‌ی سنتینل ۵ می‌باشند که از طریق سامانه‌ی گوگل ارث انجین تهیه و بررسی شده‌اند.

ابزار پایش تروپوسفر (TROPOMI) ماهواره سنتینل ۵، امکان تهیه اطلاعات در محدوده‌های طیفی ماورای بنفش، مرئی، مادون قرمز نزدیک و موج کوتاه را فراهم آورده است. با توجه به وضوح بالا و زمان بازبینی کوتاه سنجنده مذکور، می‌توان الگوهای غلظت دی‌اکسید نیتروژن را به صورت منطقه‌ای و فصلی مورد بررسی قرار داد (Kawka et al., 2021). در پژوهش حاضر، برای اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌ی دی‌اکسید نیتروژن، محصول  $\text{Time Sentinel-5P NRTI NO}_2: \text{Near Real-Time}$  به کار گرفته شد که دارای یک سری از باندها و ویژگی‌ها برای رصد غلظت آن هستند. در جدول شماره ۱ مهم‌ترین باندهای مذکور نشان داده شده‌اند. علاوه بر آن، برای اندازه‌گیری تغییرات آلاینده مذکور، باند  $\text{NO}_2\_column\_number\_density$  که میزان چگالی‌های آلاینده را به صورت ستونی در داخل اتمسفر اندازه‌گیری می‌کند، مورد استفاده قرار گرفت که واحد اندازه‌گیری در آن  $\text{mol/m}^2$  می‌باشد.

جدول ۱ اطلاعات باندهای مختلف پروداکت NO<sub>2</sub>

شرح	حداکثر	حداقل	واحد	باند
میانگین ستون عمودی NO <sub>2</sub>	0.0096	-0.0006	mol/m <sup>2</sup>	NO2_column_number_density
ستون عمودی تروپوسفر NO <sub>2</sub>	0.0096	-0.00064	mol/m <sup>2</sup>	tropospheric_NO2_column_number_density
ستون عمودی استراتوسفر NO <sub>2</sub>	0.0001	0.0000087	mol/m <sup>2</sup>	stratospheric_NO2_column_number_density
چگالی ستون شیب NO <sub>2</sub>	0.003908	0.000014	mol/m <sup>2</sup>	NO2_slant_column_number_density
فشار تروپوپوز	0.009614	-0.000644	Pa	tropopause_pressure
اندکس آئروسول	10.67	-14.43	Dimensionless	absorbing_aerosol_index
کسر موثر ابر	1	0	fraction	cloud_fraction
ارتفاع ماهواره با توجه به نقطه زیرماهواره ژئودتیک	۸۵۶۰۷۸	۸۲۸۵۴۳	m	sensor_altitude
زاویه آزیموت ماهواره در محل پیکسل زمین	180	-180	degrees	sensor_azimuth_angle

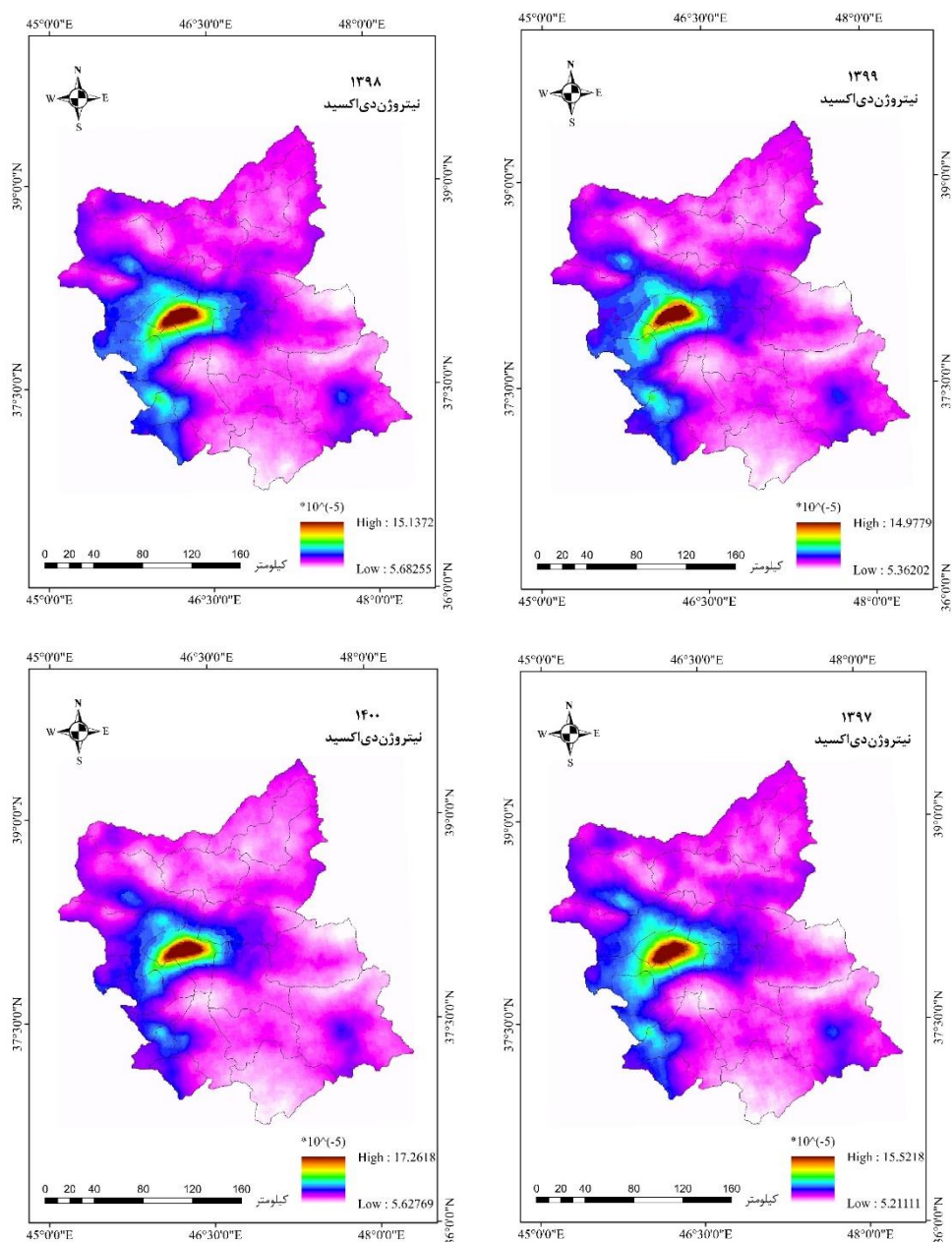
برای فراخوانی محصولات مربوط به تصاویر آلاینده‌های NO<sub>2</sub>، از زبان برنامه‌نویسی جاوا اسکریپت و پایتون در محیط سامانه گوگل ارث انجین (GEE) استفاده شد. سامانه گوگل ارث انجین یک ابزار قدرتمند برای استخراج اطلاعات کاربردی از تصاویر ماهواره‌ای است. این سامانه کاربران را قادر می‌سازد تا بر روی حجم بالایی از داده‌ها بدون نیاز به سیستم‌های پر قدرت، تحلیل‌ها و محاسبات خود را انجام دهند. در GEE امکان پردازش‌هایی با توان تفکیک مکانی متفاوت (از ۱۰ متر تا چند کیلومتر) روی سطح زمین محیا شده است. سایر تحلیل‌ها و تولید نقشه‌های نهایی در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.5 صورت گرفت. در این پژوهش، به پایش و بررسی آلاینده NO<sub>2</sub>، در حالت‌های زیر در استان آذربایجان شرقی پرداخته شد:

- بررسی میانگین سالانه آلاینده از ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۰
- بررسی اثر تعطیلی به دلیل شیوع کرونا به مدت دو هفته از اول آذرماه ۱۳۹۹
- بررسی تأثیر منع تردد مربوط به ۲۵ مرداد تا ۵ شهریور ۱۴۰۰

- تعیین وضعیت آلاینده در نیمه دوم فروردین ماه در سال ۱۴۰۰ و مقایسه آن با تاریخ مشابه در سال ۱۴۰۱ که مدارس و دانشگاه‌ها بعد از کنترل انتشار ویروس کووید-۱۹ بازگشایی شدند.

### یافته‌های پژوهش

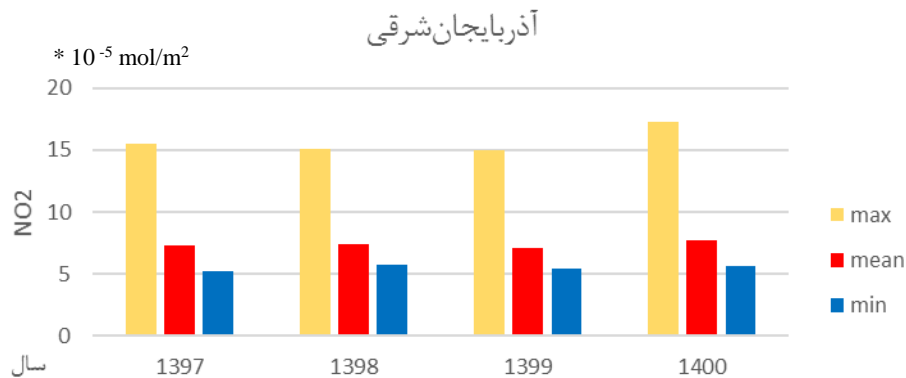
میزان تغییرات زمانی-مکانی آلاینده NO<sub>2</sub> در استان آذربایجان شرقی در سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۰ که از پردازش داده‌های سنجنده تروپومی بر حسب مول بر متر مربع  $\times 10^{-5}$  به دست آمده، در شکل ۲ ارائه شده‌اند. برای این منظور، با استفاده از ابزار گوگل ارث انجین، نقشه مقادیر غلظت نیتروژن دی‌اکسید در استان آذربایجان شرقی دانلود و با نرم‌افزار ArcMap پردازش شدند. اطلاعات آماری نظیر حداقل، حداکثر و میانگین آلاینده نیتروژن دی‌اکسید برای تمام ۲۱ شهرستان استان آذربایجان شرقی استخراج و بررسی شدند. در شکل ۲، در مناطقی که به رنگ قرمز پررنگ نمایش داده شده‌اند، میزان آلاینده بیشتر و در مناطقی که به رنگ سفید نمایش داده شده‌اند میزان آلاینده کمتر بوده است.



شکل ۲ پراکندگی آلاینده NO<sub>2</sub> در استان آذربایجان شرقی از سال ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۰

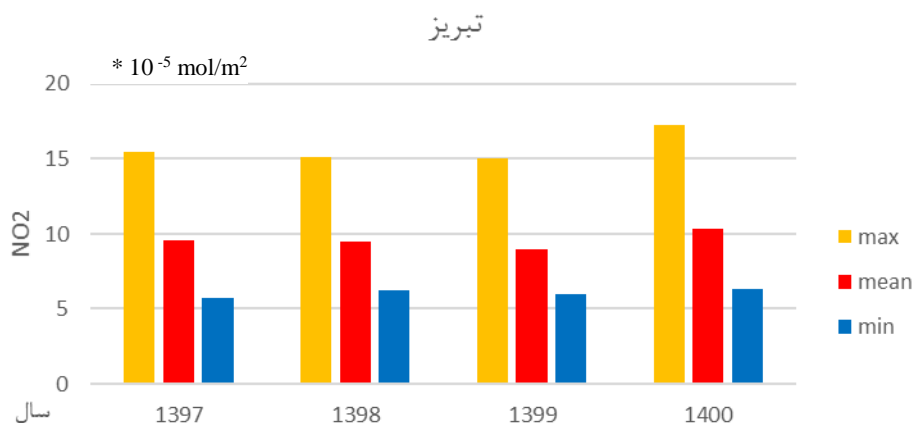


چنانچه در شکل ۲ نیز مشاهده می‌شود، مطابق نقشه‌های تغییرات آلاینده‌ی دی‌نیتروژن اکسید، متوسط چگالی آلاینده در تمامی سال‌های مورد بررسی، در شهرستان تبریز یعنی مرکز استان آذربایجان شرقی، بیشتر از سایر شهرستان‌های استان بوده است. همانطور که پیشتر نیز اشاره شد یکی از منابع تولید آلاینده دی‌اکسیدنیتروژن، وسایل نقلیه موتوری با سوخت فسیلی هستند؛ به همین دلیل با افزایش سالانه آنها، میزان  $\text{NO}_2$  نیز افزایش می‌یافته است؛ به طوری که براساس مشاهدات ماهواره سنتینل ۵، میزان متوسط این آلاینده در منطقه مورد مطالعه از سال ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۸، ۱/۳۷ درصد بیشتر شده بود. اما از سوی دیگر، با شیوع ویروس کوید-۱۹ و محدود شدن فعالیت‌ها که کاهش میزان تردد خودروها را نیز در پی داشت، میزان آلاینده  $\text{NO}_2$  تحت تأثیر قرار گرفت؛ به طوری که مقدار متوسط آلاینده مورد نظر در این استان در سال ۱۳۹۹ نسبت به سال ۱۳۹۸ حدود ۴/۰۵ درصد کمتر بوده است. پس از کنترل همه‌گیری بیماری کرونا و افزایش نسبی تردها در سال ۱۴۰۰، مقدار متوسط  $\text{NO}_2$  در مقایسه با سال ۱۳۹۹، حدود ۸/۴۵ درصد افزایش یافت و حتی از سال ۱۳۹۷ هم بیشتر شد (شکل ۳). میزان افزایش دی‌اکسید نیتروژن در شهرستان تبریز در این بازه زمانی بیشتر از سایر شهرستان‌ها بود و به ۱۴/۴۴ درصد در سال ۱۴۰۰ رسید (شکل ۴). به این ترتیب، کمترین مقدار آلاینده دی‌اکسیدنیتروژن، در این بازه زمانی، در استان آذربایجان شرقی، مربوط به سال ۱۳۹۹ بوده است.



شکل ۳ پیشینه، میانگین و کمینه میزان دی‌اکسید نیتروژن در آذربایجان شرقی

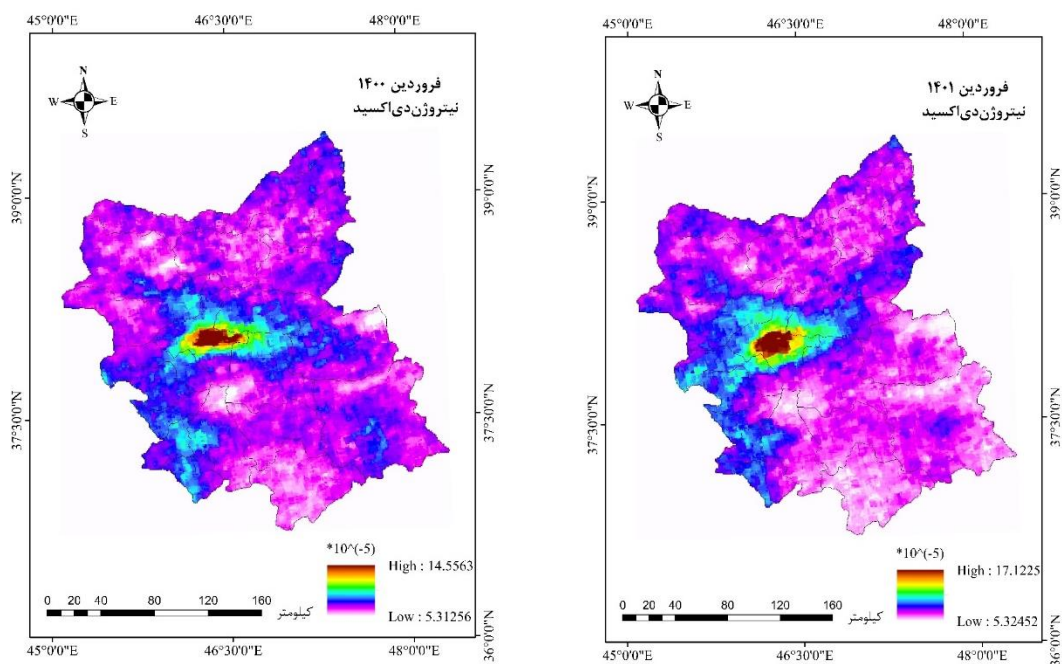
در سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۰ براساس مشاهدات سنجنده تروپومی (بر حسب مول بر متر مربع)



شکل ۴ بیشینه، میانگین و کمینه میزان دی‌اکسید نیتروژن در شهرستان تبریز

در سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۰ براساس مشاهدات سنجنده تروپومی (بر حسب مول بر متر مربع)

با توجه به اینکه پس از کنترل نسبی انتشار ویروس کووید-۱۹، دانشگاه‌ها و مدارس در فروردین سال ۱۴۰۱ بازگشایی شدند و آموزش حضوری از سر گرفته شد، به این ترتیب میزان تردها نیز افزایش یافت. برای بررسی تأثیر این تصمیم بر روی میزان دی‌اکسیدنیتروژن، نقشه‌های پراکندگی آلاینده مورد نظر در تاریخ‌های مشابه با شرایط متفاوت، یعنی نیمه دوم فروردین ماه سال ۱۴۰۰ (زمان تعطیلی مراکز آموزشی) و نیمه دوم فروردین ماه سال ۱۴۰۱ (بعد از بازگشایی مراکز آموزشی)، تهیه و مقایسه شدند (شکل ۵).



شکل ۵ نقشه پراکندگی  $NO_2$  در نیمه دوم فروردین ماه سال ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱

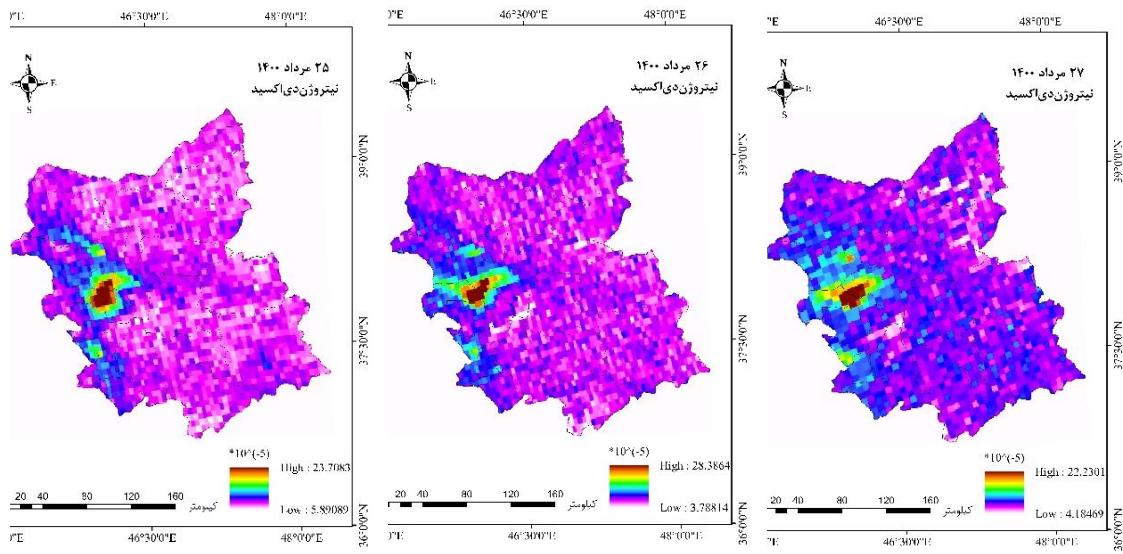
بر اساس نتایج مقدار متوسط دی‌اکسید نیتروژن در نیمه فروردین ۱۴۰۱ در استان ۱/۴ درصد بیشتر از زمان مشابهش در سال ۱۴۰۰ بوده است. بیشترین میزان افزایش آلاینده مربوط به شهرستان تبریز و حدود ۹/۱ درصد می‌باشد.

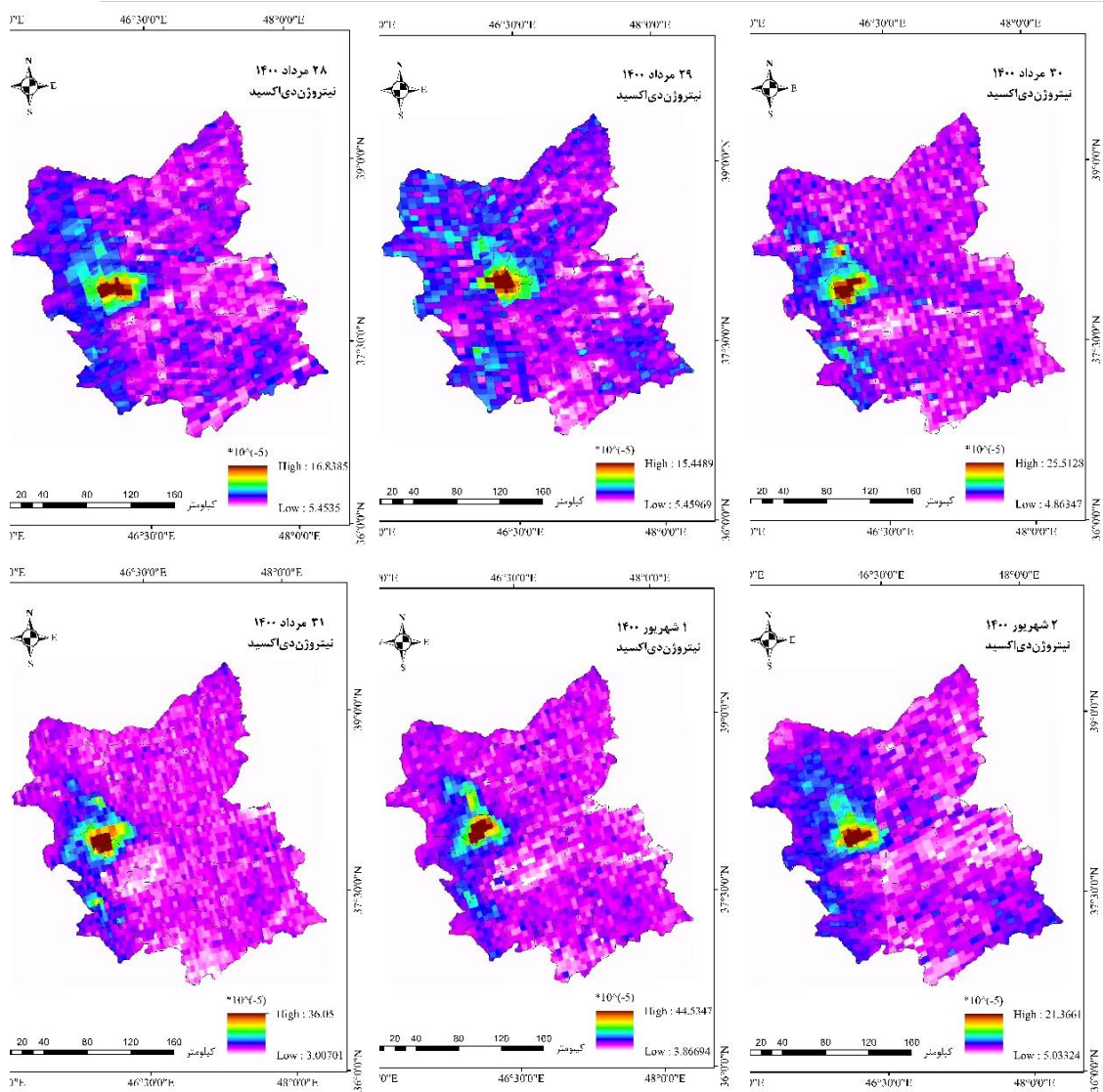
در دوره شیوع بیماری کرونا، علاوه بر غیرحضور بودن مراکز آموزشی، مراکز دیگر نیز در بازه‌های زمانی کوتاهی تعطیل می‌شدند و یا محدودیت تردها افزایش می‌یافت. برای بررسی تأثیر آنها بر میزان  $NO_2$  نیز اطلاعات ماهواره سنتینل ۵ در محیط گوگل ارث انجین پردازش شدند. به‌عنوان نمونه، از ۲۵ مرداد تا ۵ شهریور ۱۴۰۰ (جدول ۲) در استان آذربایجان شرقی منع تردد اعلام گردید. در این پژوهش، تأثیر این تصمیم بر میزان تغییرات آلاینده مورد نظر به‌صورت کمی بررسی شد و نقشه‌های پراکندگی روزانه در این بازه تولید گردید (شکل ۶).

جدول ۲ روزهای هفته برای بازه زمانی ۲۵ مرداد تا ۵ شهریور ۱۴۰۰

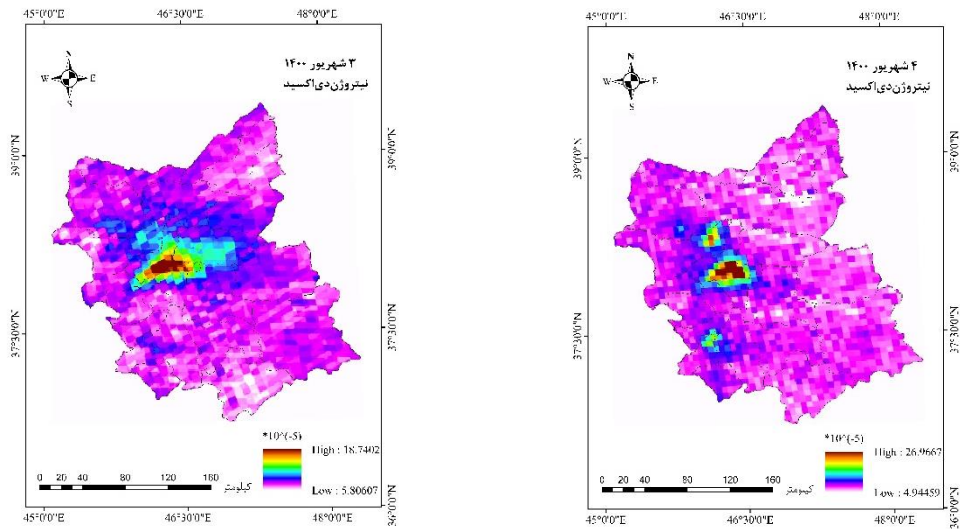
روز هفته	تاریخ	توضیح (مناسبت)	روز هفته	تاریخ	توضیح (مناسبت)
دوشنبه	۲۵ مرداد	آغاز منع تردد در استان	یکشنبه	۳۱ مرداد	
سه شنبه	۲۶ مرداد		دوشنبه	۱ شهریور	
چهارشنبه	۲۷ مرداد	تعطیل رسمی-تاسوعای حسینی	سه شنبه	۲ شهریور	

	۳ شهریور	چهارشنبه	تعطیل رسمی-عاشوای حسینی	۲۸ مرداد	پنج شنبه
	۴ شهریور	پنج شنبه		۲۹ مرداد	جمعه
	۵ شهریور	جمعه		۳۰ مرداد	شنبه



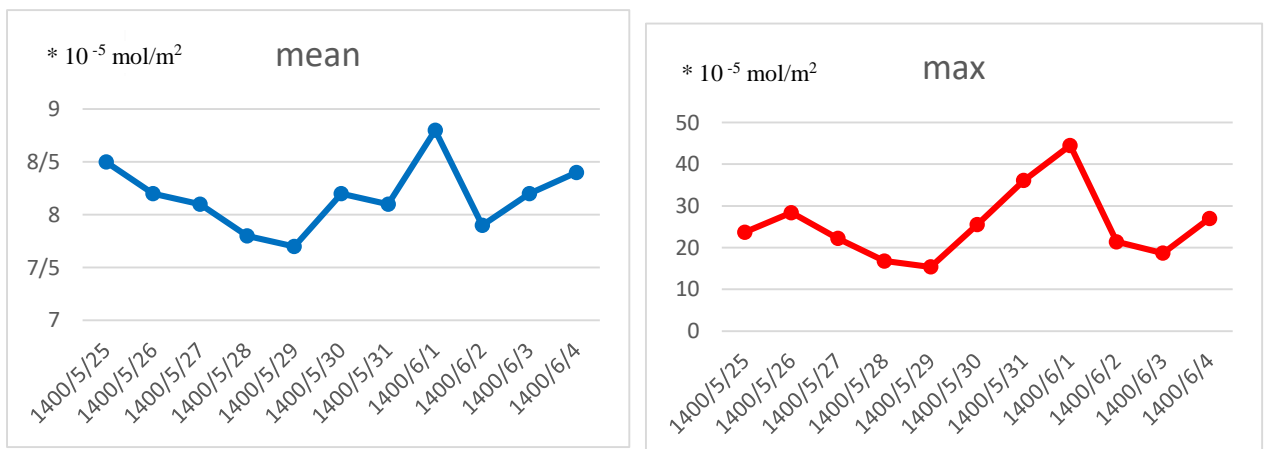


شکل ۶ نقشه‌های پراکنده‌گی NO<sub>2</sub> از ۲۵ مرداد تا ۴ شهریور ۱۴۰۰



ادامه شکل ۶ نقشه های پراکندهی  $\text{NO}_2$  از ۲۵ مرداد تا ۴ شهریور ۱۴۰۰

بررسی نقشه‌ها (شکل ۶) و نمودار (شکل ۷) مربوط به این بازه نشان می‌دهد که میانگین مقدار دی‌اکسید نیتروژن از روز دوشنبه (۲۵ مرداد و آغاز منع تردد) تا روز جمعه ۲۹ مرداد روند کاهشی داشته و در این مدت حدود ۹/۴ درصد کاهش یافته‌است. البته دو مناسبت مهم یعنی تاسوعا و عاشورای حسینی نیز در این بازه بوده و در کاهش تردها و تولید آلاینده از سایر منابع تأثیر داشته است. اما میزان  $\text{NO}_2$  از روز شنبه ۳۰ مرداد افزایش یافته و در روز دوشنبه ۱ شهریور به بیشترین مقدار خود در این بازه رسیده؛ به طوری که مقدار آن در این روز حتی از روز دوشنبه هفته قبلی که روز آغاز منع تردد بوده نیز به اندازه ۳/۵ درصد بیشتر شده است. به این ترتیب به نظر می‌رسد منع تردد در هفته دوم تأثیر چندانی در کاهش تردها و به تبع آن کاهش  $\text{NO}_2$  نداشته است. حتی در هفته اول هم، تعطیلات مناسبی بیشتر مؤثر بوده است.



شکل ۷ نمودار تغییرات  $\text{NO}_2$  در ایام منع تردد اواخر مرداد و اوایل شهریور ۱۴۰۰

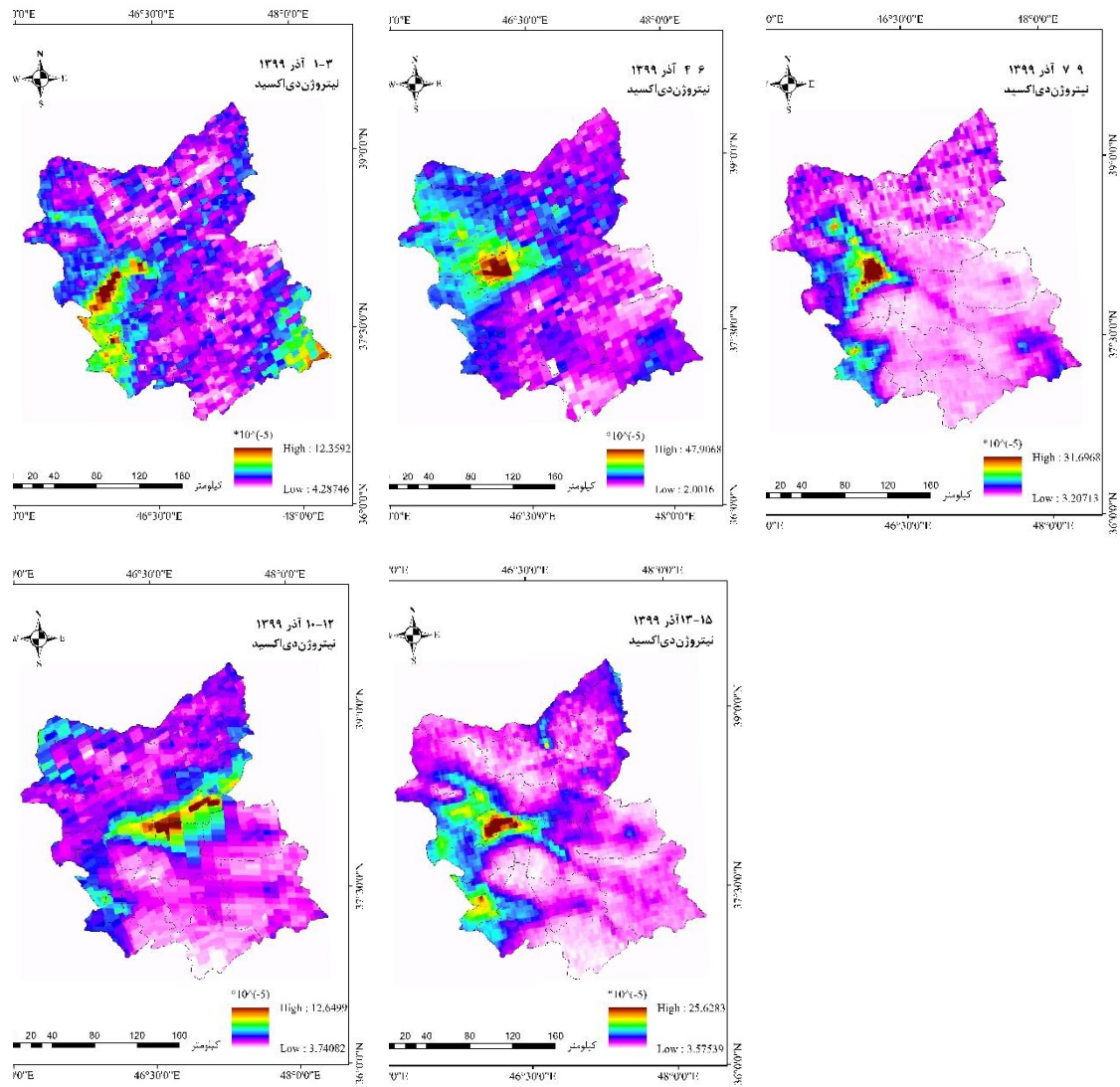
در ایام شیوع بیماری کرونا، علاوه بر منع تردد، به منظور کاهش و کنترل انتشار این بیماری، محدودیت‌های دیگری نیز اعمال می‌شد. به عنوان نمونه، از اول آذر ۱۳۹۹، کلان‌شهر تبریز همچون برخی دیگر از کلان‌شهرها به مدت دوهفته تعطیل اعلام گردید و در داخل شهر محدودیت‌هایی در نظر گرفته شدند که شامل محدودیت تردد شبانه (ممنوعیت از ساعت ۹ شب تا ۴)، ممنوعیت ورود خودروها با پلاک غیربومی به تبریز، تعطیلی بوستان‌ها و پارک‌ها، تعطیلی گروه‌های شغلی مختلف به جز گروه شغلی شماره یک (مشاغلی که مایحتاج ضروری مردم را تهیه می‌کنند؛ مثل سوپر مارکت، بیمارستان، مطب، داروخانه و امثالهم) می‌شدند. با توجه به اهمیت روزهای هفته در میزان تردها و در نتیجه انتشار NO<sub>2</sub>، روزهای هفته مربوط به این بازه زمانی در جدول ۴ ارائه شده است. در بازه مذکور، تعطیلی مناسبی وجود نداشته است. در این پژوهش، برای بررسی میزان تغییرات آلاینده NO<sub>2</sub> در این بازه (جدول ۳)، نقشه‌های روزانه محصولات مربوط به آن در GEE فراخوانی شدند؛ اما به دلیل ناقص بودن این اطلاعات در برخی از پیکسل‌های منطقه مورد مطالعه در تعدادی از روزها، مقادیر میانگین آلاینده به صورت سه روزه در هر پیکسل در محیط ARCGIS محاسبه گردید و سپس مقدار آن برای کل استان به دست آمد (شکل‌های ۸ و ۹).

جدول ۳- روزهای هفته از ۱ تا ۱۴ آذر ۱۳۹۹

روز هفته	شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه شنبه	چهارشنبه	پنج شنبه	جمعه
تاریخ	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
( آذر ۹۹ )	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴

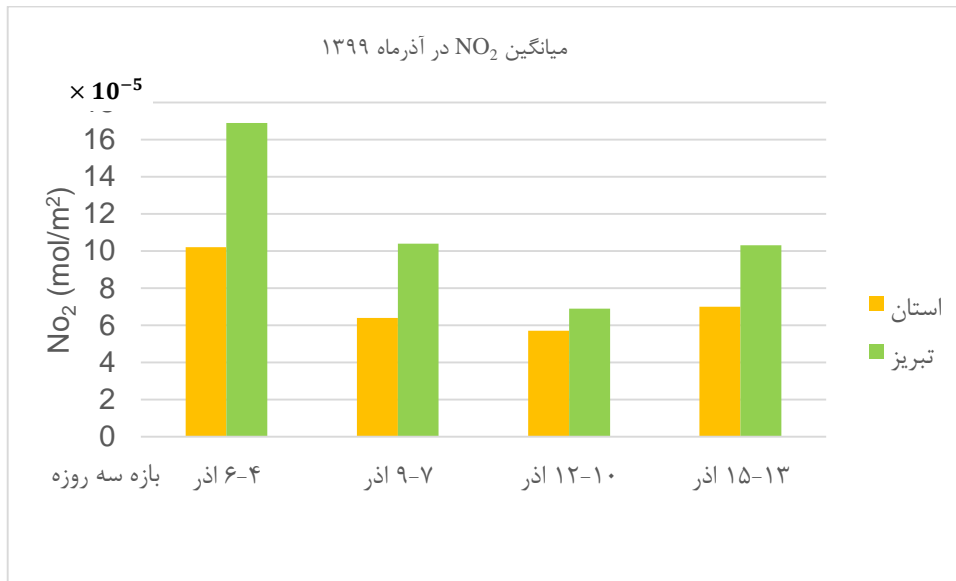
شکل ۹ نشان می‌دهد که نمودار تغییرات مقدار میانگین آلاینده دی‌اکسید نیتروژن هم در کل استان آذربایجان شرقی و هم در تبریز از ۴ تا ۱۲ آذرماه ۱۳۹۹ روند نزولی داشته و در این مدت حدود ۴۴ درصد در کل استان و حدود ۵۹ درصد در تبریز کمتر شده است. اما از ۱۲ تا ۱۵ آذر مقدار آن رو به افزایش بوده؛ به طوری که در کل استان حدود ۲۲ درصد و در تبریز ۳۳ درصد بیشتر شده است. در سه روز اول بازه (۱ تا ۳ آذر) آلاینده مورد نظر روند کاهشی نداشته است.





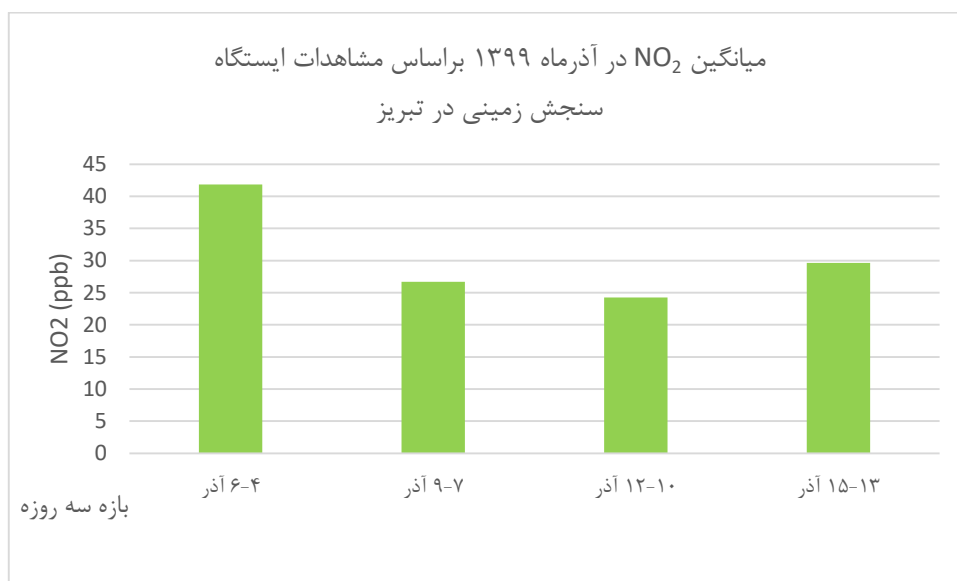
شکل ۸ نقشه های پراکندگی NO<sub>2</sub> در نیمه اول آذرماه ۱۳۹۹ (سه روزه)





شکل ۹ نمودار تغییرات میانگین آلاینده  $\text{NO}_2$  در آذرماه ۱۳۹۹

به منظور اعتبارسنجی نتایج حاصل از پردازش داده‌های ماهواره سنتینل ۵، اطلاعات مربوط به  $\text{NO}_2$  اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های زمینی تبریز در آذرماه ۱۳۹۹، از اداره کل حفاظت محیط زیست استان آذربایجان شرقی، دریافت گردید. جهت تطبیق اطلاعات ایستگاه‌های زمینی با اطلاعات ماهواره سنتینل ۵، میانگین هر سه روز از اول تا ۱۵ آذر محاسبه شد (شکل ۱۰). ضریب همبستگی پیرسون برای دو مجموعه داده برابر ۰/۹ به دست آمد که نشان‌دهنده رابطه قوی بین آنهاست (شکل ۹ و شکل ۱۰).



شکل ۱۰ نمودار تغییرات میانگین آلاینده NO<sub>2</sub> در آذرماه ۱۳۹۹ براساس داده‌های اداره حفاظت محیط زیست

علاوه بر آن مقدار متوسط دی‌اکسید نیتروژن در نیمه دوم فروردین ماه سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ در تبریز بر اساس مشاهدات ایستگاه‌های زمینی نیز مورد مقایسه قرار گرفتند. این مقایسه نشان داد که میزان افزایش آلاینده مورد نظر حدود ۹/۶ درصد می‌باشد که تقریباً مشابه مقدار به دست آمده از داده‌های سنتینل ۵ (۹/۱ درصد) می‌باشد. شایان ذکر است که واحد اندازه‌گیری مقدار NO<sub>2</sub> در مشاهدات زمینی ppb بوده و دامنه تغییرات اعداد نیز با داده‌های ماهواره‌ای متفاوت می‌باشد. لکن روند تغییرات و میزان کاهش یا افزایش بر حسب درصد تقریباً مشابه است. به دلیل در دسترس نبودن مقدار NO<sub>2</sub> مربوط به ایستگاه‌های زمینی در شهرستان‌های دیگر استان، مقایسه نتایج مربوط به مشاهدات زمینی و داده‌های ماهواره سنتینل ۵ در سطح استان میسر نشد.

چنانکه پیشتر بیان شد، بررسی تغییرات سالانه از ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۰ در این پژوهش نشان می‌دهد که میزان متوسط دی‌اکسید نیتروژن در سال ۱۳۹۹ کمتر از سایر سال‌ها بوده که دلیل آن محدودیت شدن فعالیت‌ها و تردها به دلیل شیوع کرونا بوده است. Ghanadi و همکاران (۲۰۲۰) نیز با پایش آلودگی هوا بیست شهر صنعتی ایران (از جمله تبریز) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۵ در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ به این نتیجه رسیدند که میزان دی‌اکسید نیتروژن در سال ۲۰۲۰ (۱۱ دی ماه ۱۳۹۸ الی ۱۱ دی ۱۳۹۹) نسبت به سال قبل یعنی سال ۲۰۱۹ (۱۱ دی ماه ۱۳۹۷ الی ۱۱ دی ۱۳۹۸) در شهر تبریز کاهش یافته است که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. همچنین بر اساس نتایج پژوهش صورت گرفته توسط Shami و همکاران (2021)، میزان NO<sub>2</sub> در کشور در فروردین ماه ۱۳۹۹ کمتر از در فروردین ماه ۱۳۹۸ بوده است.

### نتیجه گیری

آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین عواملی است که بر روی محیط‌زیست و به‌ویژه انسان اثرات منفی می‌گذارد. به همین دلیل پایش انواع آلاینده‌ها از جمله دی‌اکسید نیتروژن، با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا و اطلاع دقیق از نحوه توزیع و تغییرات آن‌ها در شرایط مختلف، جهت اتخاذ تصمیم‌های صحیح در راستای حفظ سلامت عمومی و همچنین محافظت از محیط‌زیست امری ضروری است. سنجنده تروپومی ماهواره سنتینل ۵ به دلیل قابلیت اخذ اطلاعات پیوسته زمانی و مکانی در مورد  $\text{NO}_2$  ابزار مناسبی برای این منظور به حساب می‌آید.

با توجه به نقش احتراق سوخت فسیلی در موتورهای وسایل نقلیه در تولید این آلاینده از یک سو و محدود شدن فعالیت‌ها و تردها در دوران شیوع بیماری کرونا از سوی دیگر، در این تحقیق به بررسی میزان تغییرات این آلاینده در استان آذربایجان شرقی، به عنوان یکی از استان‌های پرجمعیت کشور، در بازه‌های زمانی مختلف پرداخته شد تا تأثیر کاهش تردها و فعالیت‌ها بر روی میزان  $\text{NO}_2$  مشخص شود. برای این منظور، داده‌های ماهواره‌ی سنجش از دوری سنتینل ۵ در محیط سامانه GEE پردازش شدند.

نقشه‌های پراکندگی آلاینده در استان آذربایجان شرقی در تمامی بازه‌ها نشان می‌دهند که غلظت آلاینده مورد بررسی در مرکز استان، یعنی کلان‌شهر تبریز، به علت تعداد بالای وسایل نقلیه و ترافیک بیشتر در مقایسه با سایر شهرهای استان، بیشتر است.

بررسی تغییرات سالانه از ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۰ نشان داد که میزان متوسط  $\text{NO}_2$  در سال ۱۳۹۹ به دلیل محدود شدن فعالیت‌ها و تردها برای کاهش شیوع کرونا، کمتر از سایر سال‌ها بوده است. بر اساس نتایج به دست آمده تعطیلی اکثر فعالیت‌ها در پاییز ۱۳۹۹ بیشترین تأثیر را در کاهش میزان آلاینده داشته است. بررسی داده‌های مربوط به سنجش  $\text{NO}_2$  از ایستگاه‌های زمینی نیز مؤید همین مطلب بوده است. نتایج مربوط به بررسی تأثیر اعمال محدودیت در تابستان ۱۴۰۰ نشان داد که بیشترین کاهش در این بازه در پنج‌مین روز اتفاق افتاده و پس از آن مجدداً میزان آلاینده بیشتر شده است. همچنین بازگشایی مدارس و دانشگاه‌ها در فروردین ۱۴۰۱ نیز منجر به افزایش  $\text{NO}_2$  شده است که با داده‌های اعتبارسنجی شده توسط اداره حفاظت محیط زیست نیز مطابقت دارد.

یکی از محدودیت‌های استفاده از داده‌های سنجنده تروپومی برای سنجش آلاینده‌ها، کامل نبودن آنها در تمامی روزها برای منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در پژوهش حاضر، در یکی از بازه‌های زمانی برای مواجهه با این مشکل میانگین سه روزه به جای میانگین روزانه به کار گرفته شد. در حالت کلی، محصولات ماهواره‌ی سنجش از دوری سنتینل ۵ و پردازش آنها در محیط GEE قابلیت بالایی در تشخیص تغییرات آلاینده در بازه‌های زمانی مختلف دارند. با توجه به اینکه در برخی از روزها تعطیل کردن فعالیت‌ها به عنوان یک راهکار مقطعی برای کاهش آلودگی هوا مطرح می‌شود، با بررسی نتایج این تحقیق می‌توان تأثیر چنین تصمیم‌هایی را در روزها و فصول مختلف تا حدودی پیش‌بینی کرد.

## References

Abbasmofrad a, Hamzeh F, moradi o, bahari n.2022. Designing a model to reduce air pollution in order to increase the security of metropolitan areas with the approach of nanotechnology (Case study: Tehran). *Regional Planning*, 12(45):

229-244. (In Persian)

Behera MD, Mudi S, Shome P, Das KP, Kumar S, Joshi A, Rathore A, Deep A, Kumar A, Sanwariya C, Kumar N, Chandrakar R, Seshadri S, Mukherjee S, K.Bhattaram S, Sirivella Z. 2022. COVID-19 slowdown induced improvement in air quality in India: rapid assessment using Sentinel-5P TROPOMI data, *Geocarto International*, 37:25, 8127-8147, DOI: [10.1080/10106049.2021.1993351](https://doi.org/10.1080/10106049.2021.1993351).

Cheraghi m. 2019. Evaluation of causes and factors of anthracosis and its prevalence in Tehran with emphasis on air pollution. *Geography and Human Relationships*, 2(3): 157-167. (In Persian)

Dickerson RR, Anderson DC, Ren X. 2019. On the use of data from commercial NOx analyzers for air pollution studies. *Atmospheric Environment*.

Ghannadi M, Shahri M, Moradi A. 2022. Air pollution monitoring using Sentinel-5 (Case study: big industrial cities of Iran). *The Shahid Beheshti Environmental Sciences Quarterly Journal*. 2, 20. <https://doi.org/10.52547/envs.2022.1026>. (In Persian)

Ghanbari A, Isazadeh V. 2021. Modeling the concentration of ozone and nitrogen oxides in GIS environment and comparing their concentrations with Sentinel-5 product in Google Earth Engine - Study area: Tehran. Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR), 30(118): 247-261. doi:10.22131/sepehr.2021.246154 (In Persian)

Gharibi S, Shayesteh K. 2021. Application of Sentinel 5 satellite imagery in identifying air pollutants Hotspots in Iran. jsaeh 8(3): 123-138. (In Persian)

Javaheri H, Bayat MM. 2013. Air pollution, its effects, consequences and new control methods. The First National Conference on Environmental Pollution and its Control Method, Sanandaj. (In Persian)

Kaplan G, Yigit Avdan Z, Avdan U. 2019. Spaceborne Nitrogen Dioxide Observations from the Sentinel-5P TROPOMI over Turkey. Proceedings 18, no. 1: 4. <https://doi.org/10.3390/ECRS-3-06181>.

Kawka M, Struzewska J, W. Kaminski J. 2021. Spatial and Temporal Variation of NO<sub>2</sub> Vertical Column Densities (VCDs) over Poland: Comparison of the Sentinel-5P TROPOMI Observations and the GEM-AQ Model Simulations. Atmosphere 12, no. 7: 896. <https://doi.org/10.3390/atmos12070896>.

Lavaine E. 2014. An Econometric Analysis of Atmospheric Pollution, Environmental Disparities and Mortality Rates. Environ. Resour. Econ. 2014, 60, 215–242.

Omrani H, Omrani B, Parmentier B, Helbich M. 2020. Spatio-temporal data on the air pollutant nitrogen dioxide derived from Sentinel satellite for France. Data in Brief 28: 105089.

Park J, Shin M, Lee J, Lee J. ۲۰۲۱. Estimating the effectiveness of vehicle emission regulations for reducing NOx from light-duty vehicles in Korea using on-road measurements. *Science of The Total Environment*, ۷۶۷, .۱۴۴۲۵۰

Pokhrel S, Chhetri R. 2021. A literature review on impact of COVID-19 pandemic on teaching and learning. *Higher education for the future* 8(1): 133-141.

Rangzan K, Kabolizadeh M, Mohammadi S. 2021. Assessment of Spatiotemporal Changes of NO2 Using TROPOMI Sensor in Khuzestan Province, Iran. *Health System Research*, 17(2): 87-96. (In Persian)

Saxena P, Naik V. 2018 *Air pollution: sources, impacts and controls. Methods for the measurement of air pollutions.* CABI, Nosworthy, Wallingford, Oxfordshire, UK, ۵۵-۷۸

Shami S, Khoshlahjeh M, Ghorbani Z, Moghimi A, Mohammadzadeh A, Sabet Ghadam S S. 2021. Evaluation of Air Pollution Contributes for the COVID-19 pandemic in Iran using Sentinel 5 Satellite Data. *ISSGE* 10(3): 135-146. (In Persian)

Shikwambana L, Mhangara P, Mbatha N. 2020. Trend analysis and first time observations of sulphur dioxide and nitrogen dioxide in South Africa using TROPOMI/Sentinel-5 P data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 91: 102130.

Sojoodi S, Aghazadeh F, Fahimeh N, Akhavan L. 2018. Evaluation and Analysis of Tourism Climate Comfort Index of East Azarbaijan Province Using the Tourism Climate Index (TCI), Physiological Equivalent Temperature (PET) By Applying GIS. *Geographical Journal of Tourism Space*, 7(27): 51-68. (In Persian)

Shariepour Z, Aliakbari Bidokhti A. 2014. An Investigation on the Status of Troposphere NO2 Over Iran During 2004 to 2012. *Journal of Environmental Studies*, 40(1): 65-78. doi: 10.22059/jes.2014.50157 (In Persian)

Theys N, De Smedt I, Yu H, Danckaert T, van Gent J, Hörmann C, Wagner T, Hedelt P, Bauer H, Romahn F, Pedernana M. 2017. Sulfur dioxide retrievals from TROPOMI onboard Sentinel-5 Precursor: algorithm theoretical basis. *Atmospheric Measurement Techniques*, 10(1): 119-153.

Vîrghileanu M, Săvulescu I, Mihai B, Nistor C, Dobre R. 2020. Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>) Pollution Monitoring with Sentinel-5P Satellite Imagery over Europe during the Coronavirus Pandemic Outbreak. *Remote Sensing* 12, no. 21: 3575. <https://doi.org/10.3390/rs12213575>.

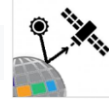
World Health Organization. 2015. Health aspects of air pollution with particulate matter, ozone and nitrogen dioxide: Report on a WHO working group.

Xian GZ. *Remote sensing applications for the urban environment*. Vol. 12. CRC Press, 2015

Zheng Z, Yang Z, Wu Z, Marinello F. 2019. Spatial Variation of NO<sub>2</sub> and Its Impact Factors in China: An Application of Sentinel-5P Products. *Remote Sensing* 11, no. 16: 1939. <https://doi.org/10.3390/rs11161939>.







## **Investigating the impact of reducing activities and traffic during the outbreak of Corona on changes Time-space of nitrogen dioxide using Sentinel 5 satellite images in East Azerbaijan**

### **Abstract**

Air pollution is one of the most important challenges in today's world, especially in developing countries. Therefore, it is necessary to monitor and control the amount of pollutants that endanger human health. In recent years, the remote sensing data related to the Sentinel 5 tropomy sensor has been considered as a rich and up-to-date source of information for monitoring and investigating the temporal-spatial changes of air pollutants. In this study, the Google Earth Engine system was used to obtain tropomi sensor products to check the amount of nitrogen dioxide pollutant in East Azerbaijan province. First, to investigate the general trend of changes, spatial distribution maps of the mentioned pollutant were produced in four consecutive years (1397-1400). In the following, the effect of reduced activities and car traffic on the concentration of this pollutant during the outbreak of the Covid-19 virus was investigated, and nitrogen dioxide dispersion maps were prepared and compared in different time periods. Also, in order to investigate the effect of the reopening of schools and universities after the control of Corona, the pollutant spatial distribution maps for the second half of April of 1400 and 1401 were compared. The results of the research showed that the amount of NO<sub>2</sub> in the center of the province was higher than other cities in all time periods and the two-week holiday in December 2019 had the greatest effect in reducing this pollutant. So that its amount has decreased by more than 50% in Tabriz. Also, based on the results of the annual survey, the average of the said pollutant both in the whole province and in Tabriz in 2019 was lower than other years, and the reopening of educational centers has also increased NO<sub>2</sub>.

**Keywords:** air pollution, nitrogen dioxide, Covid-19, Sentinel 5, East Azerbaijan, vehicle traffic.