پژوهش و فناوری محیط زیست،۱۴۰۰ ۶(۹)، ۱۲۹-۱۴۲

پژوهش و فناوری محیط زیست

وبگاه نشریه:www.journal.eri.acecr.ir

پژوهشکده محیط زیست

شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۳۰۶۰

بررسی روند تغییرات NO_2 تروپوسفری شهر کرمانشاه با استفاده از سنجنده OMI و ارتباط آن با پارامترهای هواشناسی

رسول باقرآبادی[*1]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه تهران

چکیده

دی اکسید نیتروژن نه تنها یک آلاینده بالقوه هوا در محیط‌های شهری و صنعتی است بلکه پیش ماده مه دود فتوشیمیایی و آلاینده ازن است. محیط‌های شهری دارای غلظت تروپوسفری بالا و نزدیک به سطح هستند دی اکسید نیتروژن تأثیر زیادی بر سلامتی انسان دارد و افزایش آن در هوا باعث بیماری‌های بسیاری می‌شود. از این رو پایش میزان آلاینده دی اکسید نیتروژن و تغیرات آن از جمله موارد مهم در مدیریت کلان شهرها است. از این رو با توجه به اهمیت دی اکسید نیتروژن در آلودگی هوا، در این پژوهش به بررسی غلظت دی اکسید نیتروژن تروپوسفری با پارامترهای هواشناسی و بررسی با استفاده سنجنده OMI در بازه زمانی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۸ پرداخته‌ایم. در این مقاله از تصاویر سنجنده OMI که بر روی ماهواره Aura قرار دارد، برای بررسی دی اکسید نیتروژن در لایه تروپوسفر استفاده شده است. نتایج نشان داد بیشترین مقدار دی اکسید نیتروژن در ماه‌های سرد سال و کمترین مقدار در ماه‌های گرم سال اتفاق می‌افتد. شرایط هواشناسی می‌تواند شدت آلودگی دی اکسید نیتروژن تروپوسفری و گستردگی آن را بیشتر کند. نتایج غلظت دی اکسید نیتروژن تروپوسفری با پارامترهای هواشناسی نشان دادند ضریب همبستگی پیرسون دی اکسید نیتروژن با سرعت باد، دید افقی و دمای سطحی به ترتیب رابطه معکوسی دارد همچنین همبستگی پیرسون دی اکسید نیتروژن با رطوبت نسبی رابطه مستقیمی دارد.

کلید واژه‌ها: آلودگی هوا، کرمانشاه، دی اکسید نیتروژن، پارامترهای هواشناسی، **OMI**

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: rasul.bagherabad@ut.ac.ir

Journal of Environmental Research and Technology, 6(9)2021. 129-142

Journal of Environmental Research and Technology

journal homepage: www.journal.eri.acecr.ir

Environmental Research institute

Online ISSN: 3060-2676

Investigation of tropospheric NO2 changing procedure in Kermanshah city using the OMI sensor and its relationship with meteorological parameters

Rasoul Bagherabadi [1*]

1- **MSc in Environmental Science and Engineering, Tehran University, Tehran, Iran**

Abstract

Nitrogen dioxide is not only a potential air pollutant in urban and industrial area but it is a photochemical smog precursor and pollutant ozone. Urban area has high tropospheric concentrations and close to the earth surface. Nitrogen dioxide has a great impact on human health and its increase in the air causes many diseases. Therefore, monitoring the amount of nitrogen dioxide and its changes is one of the important issues in metropolitan management. Considering the importance of nitrogen dioxide in air pollution, tropospheric nitrogen dioxide concentration with meteorological parameters the trend of changing the tropospheric nitrogen dioxide using OMI sensor in the period 2006 to 2019 has been investigated in this research. OMI sensor images placed on the Aura satellite are used to study nitrogen dioxide in the troposphere layer. The results showed that the highest amount of nitrogen dioxide occurred in the cold months of the year and the lowest amount occurred in the warm months of the year. Meteorological conditions can increase the severity of tropospheric nitrogen dioxide pollution and spread it further. The results of tropospheric nitrogen dioxide concentration with meteorological parameters showed that the correlation coefficient of Pearson nitrogen dioxide is inversely related to wind speed, horizontal visibility and surface temperature respectively. Also, Pearson correlation of nitrogen dioxide is directly related to relative humidity.

Keywords: Air pollution, Kermanshah, NO2, Meteorological parameters, OMI

* Corresponding author E-mail address: rasul.bagherabad@ut.ac.ir

مقدمه

آلاینده‌های شیمیایی خطرناک توسط تعدادی از فعالیت‌های طبیعی و مصنوعی تولید شده و وارد محیط‌زیست می‌شوند و درنهایت موجب بروز اثرات نامطلوب بر سلامتی انسان و محیط‌زیست می‌شوند. امروزه بسیاری از شهرهای مهم دنیا با مشکلات محیط‌زیستی مواجه هستند، که در راس آنها وضعیت کیفیت هوا است، از این رو در شهرهای بزرگ شهروندان در معرض هوای آلوده قرار می‌گیرند (Piraino et al., 2006). آلودگی هوای شهرها یکی از این معضلات بوده که همواره تهدیدی دائم و جدی برای سلامت و بهداشت جامعه و همچنین محیط‌زیست است. هوای پاک یک ضرورت برای رفاه و سلامتی انسان است. آلودگی هوا برای انسان و سایر موجودات یک خطر اصلی محسوب می‌شود و به عنوان یکی از چالش‌های محیط‌زیستی به شمار می‌رود (Abdul Aziz & Mohd Ali, 2019)، (محمدی و همکاران، ۱۳۹۵). از طرفی آلودگی هوا جزء ده عامل مهم افزایش مرگ‌ومیر در دنیا شناخته شده است (غیاث الدین، ۱۳۹۴)، (Wong, Vichit-Vadakan, Kan, & Qian, 2008)، (Larsen, 2011). شاخص آلودگی که عمدتاً مورد استفاده قرار گرفته شامل ذرات محیطی، آلاینده‌های گازی مانند دی اکسید نیتروژن (NO2)، دی‌اکسیدگوگرد (SO2)، ازن (O3) و مونواکسید کربن (CO) است هر کدام از این آلاینده‌ها دارای اثرات متعددی بر سلامت انسان و محیط‌زیست می‌باشند (Schwartz, 2005)، (Katsouyanni et al., 1997)، (Cao et al., 2009).

دی اکسید نیتروژن (NO2) یکی از مهمترین آلاینده‌های هوا است و به شدت با تراکم جمعیت ارتباط دارد از این رو در بسیاری از شهری بزرگ و صنعتی یک مسئله محیط‌زیست قابل توجه است که عمدتاً توسط حمل و نقل شهری منتشر می‌شود (Schneider, Lahoz, & van der A, 2015). دی اکسید نیتروژن گازی قرمز متمایل به نارنجی نزدیک به قهوه‌ای، و احتمالاً غلظت یک ppm آن با چشم قابل تشخیص است. سمی و دارای نقطه جوش ۲۱/۲ درجه سانتیگراد و فشار جزئی کم آن را در حالت گازی نگه می‌دارد این گاز خورنده، اکسیدان قوی است (دبیری، ۱۳۹۴)، (یزدانی و همکاران، ۱۳۹۸)، (Tiwary & Williams, 2018). دی اکسید نیتروژن جزء گازهای گلخانه‌ای محسوب می‌شود و افزایش آن سبب گرم شدن زمین خواهد شد (Solomon et al., 2007). دی اکسید نیتروژن در هوا عمدتاً براثر احتراق سوخت نیروگاه‌ها و وسایل نقلیه منتشر می‌شود (Chen et al., 2012). NOX ابتدا به‌صورت اکسید نیتروژن در جریان احتراق از ترکیب ازت و اکسیژن هوا در درجه حرارات و بخصوص در موتورهای احتراق داخلی تشکیل می‌شود و پس از ورود به هوا به سرعت تبدیل به دی اکسید نیتروژن می‌شود (زلقی و همکاران، ۱۳۹۳). دی اکسید نیتروژن از نظر فیزولوژیکی محرک مجاری تنفسی تحتانی است و میزان سمیت آن چندین برابر سمیت NO است و باعث بروز اثراتی بر سلامتی انسان مانند ایجاد تغییراتی در بافت کلیه و کبد، کاهش ایمنی در برابر بیماری‌های عفونی، حساسیت در برابر باکتری‌ها و افزایش احتمال عفونت‌های ویروسی شود (مصطفی و همکاران، ۱۳۹۵). همچنین افزایش غلظت دی اکسید نیتروژن می‌تواند تاثیر مستقیم و موثری در افزایش میزان موارد مرگ قلبی-عروقی و بیماری انسداد ریوی داشته باشد (زلقی و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین دی اکسید نیتروژن در واکنش با بخار آب در هوا تولید اسید نیتریک می‌کند که باعث پوسیدگی فلزات می‌شود. در شرایط جوی ساکن غلظت دی اکسید نیتروژن در جو افزایش قابل توجهی پیدا می‌کند که برخی موارد ایجاد مه-دود کرده و افق دید را کاهش می‌دهد. دی اکسید نیتروژن می‌تواند اثرات منفی زیادی بر رشد گیاهان بگذارد (Challen, Hickish, & Bedford, 1958).

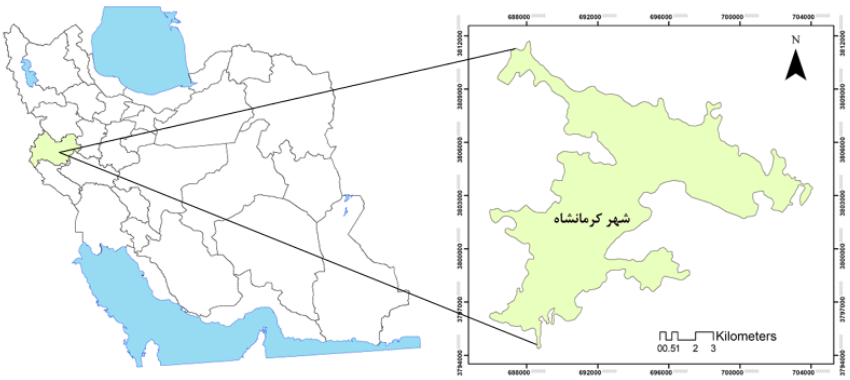
در خصوص روند تغییرات غلظت دی اکسید نیتروژن تروپوسفری پژوهش‌های متعددی در چند دهه گذشته منتشر شده است که در این مقاله به برخی از آنها اشاره می‌شود. ژانگ و همکاران (۲۰۰۳) چشمه‌های اکسیدهای نیتروزن در آمریکا را بررسی کردند و به نتیجه رسیدند که برق حاصل از رعد و برق تابستانی در آمریکا نقش مهمی در غلظت اکسیدهای نیتروژن دارد (Zhang, Tie, & Bond, 2003). دیوید و نایر (۲۰۱۳) ، تغییرات فصلی و مکانی دی اکسید نیتروژن را در هند با استفاده از سنجنده OMI مورد بررسی قرار دادند. که مقدار دی اکسید نیتروژن تروپوسفری در شمال بیشتر و در جنوب هند این مقدار کمتر است و دی اکسید نیتروژن تروپوسفری در مناطق اقیانوس هند روندی افزایشی دارد (David & Nair, 2013). لامسل و همکارن (۲۰۱۵) روند دی اکسید نیتروزن اندازه‌گیری شده توسط سنجنده OMI و داده‌های دی اکسید نیتروژن سازمان کیفیت هوا در ایلات متحده آمریکا را برای بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۳ مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که در هر دو اندازه‌گیری زمینی و ماهواره‌ای، روند دی اکسید نیتروژن در بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۳ روبه کاهش است (Lamsal et al., 2015). شرعی پور و علی اکبری (۱۳۹۱) شاخص آلودگی هوا از نظر آلاینده دی اکسید نیتروژن را در تهران بررسی کردند. و به این نتیجه رسیدند که طی ماه‌های دسامبر و آگوست، روند بلند مدت آلاینده دی اکسید نیتروژن برای بازه‌ی زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۱ افزایشی بوده است. ملکی و بیات (۱۳۹۵) در مطالعه‌ی که به بررسی دی اکسید نیتروژن شهر تهران با استفاده از سنجنده OMI داشتند به این نتیجه رسیدند که بیشترین مقدار دی اکسید نیتروژن در فصل سرد سال و کمترین مقدار آن در فصل گرم سال اتفاق می‌افتد. مراد حاصلی (۱۳۹۶) در بررسی که به تغییرات دی اکسید نیتروژن تروپوسفری با استفاده از سنجنده OMI

در بازه ۱۴ ساله در ایران داشت به این نتیجه رسید که بیشترین آلودگی دی اکسید نیتروژن غالب برای ۲۴ مرکز استان در فصل تابستان اتفاق می‌افتد. شاه محمدی و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه‌ی به بررسی آلودگی هوای شهر تبریز با استفاده از برآوردهای دی اکسید نیتروژن سنجنده OMI پرداختند و به این نتیجه رسیدند که بیشترین مقدار انحراف معیار دی‌اکسید نیتروژن در فصل زمستان و کمترین مقدار آن در فصل تابستان رخ داده است و اهمیت باد را در تغییرات دی اکسید نیتروژن بیشتر است.

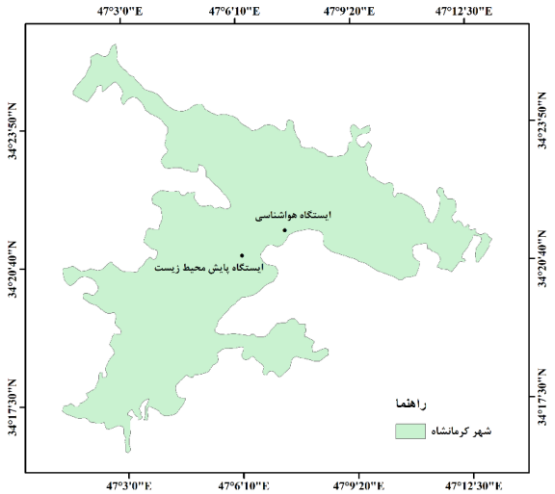
با توجه به اینکه آلودگی هوا تاثیر مستقیمی بر سلامت انسان دارد. از این رو پایش میزان آلاینده‌های هوا و تغیرات آن مانند دی اکسید نیتروژن از جمله موارد مهم در مدیریت کلان شهرها است. از این رو با توجه به اهمیت دی اکسید نیتروژن در آلودگی هوا، در این پژوهش به بررسی غلظت دی اکسید نیتروژن تروپوسفری با پارامترهای هواشناسی و بررسی با استفاده سنجنده OMI در بازه زمانی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۸ پرداخته‌ایم. در این پژوهش، تغییرات فصلی دی اکسید نیتروژن تروپوسفری در شهر کرمانشاه بررسی شده است. سپس روند بلند مدت غلظت دی اکسید نیتروژن تروپوسفری و مقایسه دی اکسید نیتروژن تروپوسفری برای شهر کرمانشاه انجام و تأثیر پارامترهای هواشناسی در تغییرات غلظت دی اکسید نیتروژن بررسی شده است. همچنین در این پژوهش برای تعیین دی اکسید نیتروژن در سطح شهر کرمانشاه از سنجنده OMI، تصاویر آلودگی دی اکسید نیتروژن برای سال ۲۰۱۹ برای شهر کرمانشاه استخراج گردید.

معرفی منطقه مورد مطالعه

شهر کرمانشاه، مرکز شهرستان کرمانشاه و مهمترین شهر در منطقه مرکزی غرب ایران است. مساحت شهر کرمانشاه ۱۰۰۰۰ هکتار است. شهر کرمانشاه در مختصات جغرافیایی ۳۴ درجه، ۱۹ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه، ۷ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. ارتفاع شهر کرمانشاه ۱۳۲۲ متر از سطح دریا است. آب‌وهوای نیمه خشک با میانگین بارش سالانه ۴۴۴/۷ میلی‌متر و میانگین دمای ۱۴/۳ درجه سلسیوس است (باقرآبادی و بیدل، ۱۳۹۹)، (Zallaghi et al., 2014). شکل (۱) مختصات جغرافیایی شهر کرمانشاه را نشان داده شده است.



شکل ۱: مختصات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



شکل ۲: مختصات جغرافیایی ایستگاه هواشناسی و ایستگاه پایش محیط‌زیست شهر کرمانشاه

مواد روش‌ها

در این مطالعه، داده‌های دی اکسید نیتروژن ایستگاه زیبا پارک شهر کرمانشاه از ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۸ به صورت ۲۴ ساعته از اداره کل محیط-زیست استان کرمانشاه دریافت گردید میانگین روزانه، ماهیانه و فصلی دی اکسید نیتروژن از مقادیر ساعتی آن با نرم افزار EXCEL محاسبه گردید. و به صورت نمودار ترسیم گردید. از طرفی یکی از اهداف این مقاله بررسی رابطه دی اکسید نیتروژن با پارامترهای هواشناسی (دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد) است. به منظور تعیین ارتباط بیین متغیرها مورد بررسی از تحلیل رگرسیون و همبستگی استفاده شد.

در این مقاله، به منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون شاپیرو-ویلک (Shapiro-Wilk) و کولموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) استفاده شد و با توجه به نرمال بودن داده جهت تعیین میزان همبستگی بین غلظت دی اکسید نیتروژن و پارامترهای هواشناسی از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. سپس از روش رگرسیون خطی جهت بررسی روابط بین متغیرهای اقلیمی و غلظت دی اکسید نیتروژن استفاده شد. در تحلیل آماری بین غلظت آلاینده دی اکسید نیتروژن و پارامترهای هواشناسی از نرم افزار آماری $SPSS_{22}$، استفاده شد. پارامترهای هواشناسی مورد استفاده دراین تحقیق شامل: دما، رطوبت نسبی و سرعت باد بودند. غلظت دی اکسید نیتروژن در تحلیل آماری به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد، و پارامترهای هواشناسی به‌عنوان متغیر مستقل انتخاب شدند.

داده‌ها ماهواره Aura در تاریخ ۱۵ جولای ۲۰۰۴ در مداری حول قطبی قرار داده شد. ویژگی این نوع مدارها این است که اجرام مستقر در آنها می‌توانند هماهنگ با خورشید در طول جغرافیایی جابه‌جا شوند و همزمان در راستای جنوب به شمال یا شمال به جنوب هم حرکت کنند. در این حالت ماهواره همواره خط استوا را در ساعت محلی مشخصی قطع می‌کند. Aura در مدار خود با هر بار چرخش حول کره زمین در حرکتی رو به شمال استوا را در ساعت ۱۳ :۴۵ محلی قطع می‌کند. سنجنده OMI عمود بر مدار حرکت Aura منطقه‌ای به عرض ۳۶۰۰ کیلومتر را جاروب می‌کند. هدف از این جاروب این است که هر روز کل سطح زمین پوشش داده شود. همچنین داده‌برداری OMIشامل طول موج‌های فرابنفش تا مرئی(۲۷۰ تا ۵۰۰ نانومتر) است (مراد حاصلی، ۱۳۹۶).

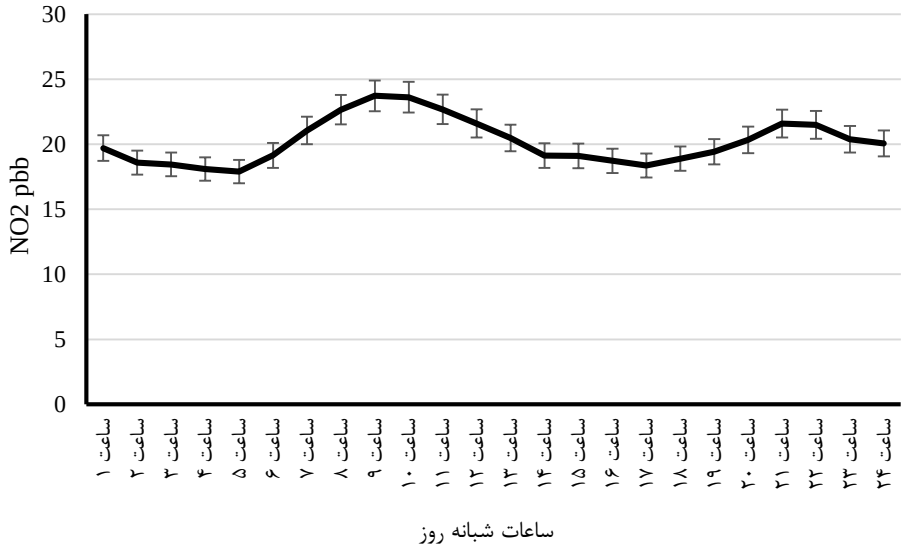
از آنجا که واحد هر شبکه داده‌ای ماهواره‌ای ستون دی اکسید نیتروژن تروپوسفری حدود ۱۰ کیلومتر است و دی اکسید نیتروژن نزدیک سطح زمین به صورت نقطه‌ای اندازه‌گیری شده است، تغییرات محلی آن به علت چشمه‌های مختلف می‌توانند بسیار زیاد است. این داده‌ها معمولاً با یکدیگر مقایسه می‌شوند و تبدیل دو واحد $molec/cm^2$ و ppb آلاینده دی اکسید نیتروژن در تحقیقات متداول نیست، اما تقریباً یک واحد ppb معادل $2/5\times10^{15}$ $molec/cm^2$ است (شرعی پور و بیدختی، ۱۳۹۳).

در این مطالعه از داده‌های متوسط ماهانه OMI برای دو تاریخ ژوئن و دسامبر ۲۰۱۹ به عنوان نمونه ماه‌های گرم و سرد سال از سایت https://www.temis.nl/airpollution/no2col/no2regioomimonth_qa.php استفاده کرده ایم.

در این مطالعه برای مطالعه رژیم بادی (گلباد) در یک بازه زمانی ۱۲ ساله (۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷) که به صورت ماهانه، فصلی، سالانه و کل در نظر گرفته شده است به این منظور ابتدا، داده‌های ساعتی ایستگاه کرمانشاه سینوپتیک در دوره آماری ذکر شده از اداره کل هواشناسی کشور دریافت شد. از میان این داده‌ها تاریخ و ساعت دیده‌بانی، سرعت و جهت باد گردآوری شد و به شکل قابل استفاده برای نرم افزار تبدیل شد. پس از آن به منظور تجزیه وتحلیل داده‌ها از نرم افزار WRPLOT View Freeware 8.0.2 که برای انجام محاسبه آماری باد و رسم گلباد برای ایستگاه کرمانشاه در ۱۶ جهت و نه طبقه سرعت طراحی شده، استفاده شد (امیدوار و نکونام، ۱۳۹۰).

یافته‌های پژوهش

با توجه به شکل (۳) روند تغییر دی اکسید نیتروژن ساعتی را در طول شبانه روز قابل مشاهده است. بر اساس جدول (۱) تغییر دی اکسید نیتروژن در شبانه روز به ۴ دسته تقسیم‌بندی می‌شود. الف) دسته اول که دارای کمترین مقدار دی اکسید نیتروژن است از ساعت ۱ بامداد تا ساعت ۶ صبح شامل می‌شود. ب) دسته دوم شامل روند افزایشی دی اکسید نیتروژن که با آغاز فعالیت‌های انسانی از ساعت ۶ صبح تا ۱۱ ظهر است. ج) دسته سوم روند کاهشی دی اکسید نیتروژن در طول شبانه روز است از ساعت ۱۱ ظهر تا ۸ عصر به دلیل مصرف دی اکسید نیتروژن است. د) دسته چهارم روند افزایشی دی اکسید نیتروژن از ساعت ۸ عصر تا ۱۲ بامداد است.

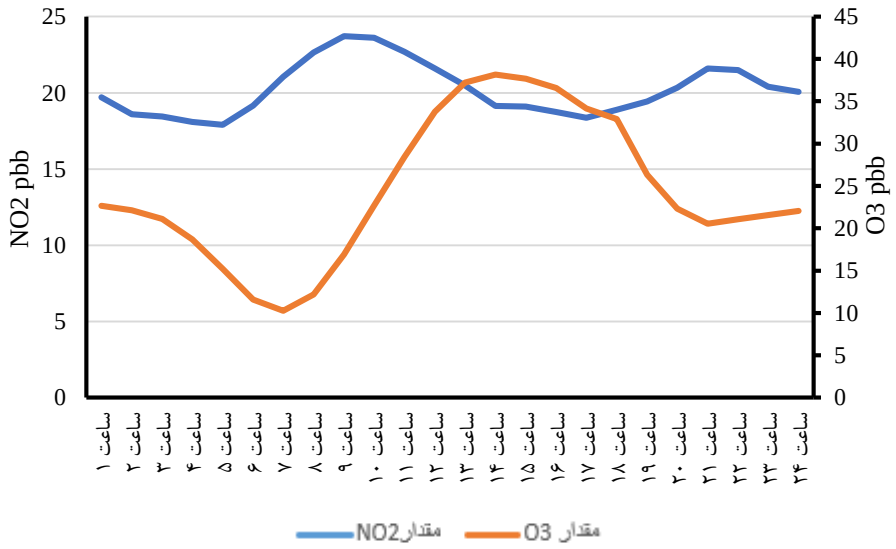


شکل ۳ مقدار دی اکسید نیتروژن ساعتی

جدول ۱: تقسیم بندی روند تغییرات دی اکسید نیتروژن شبانه روزی

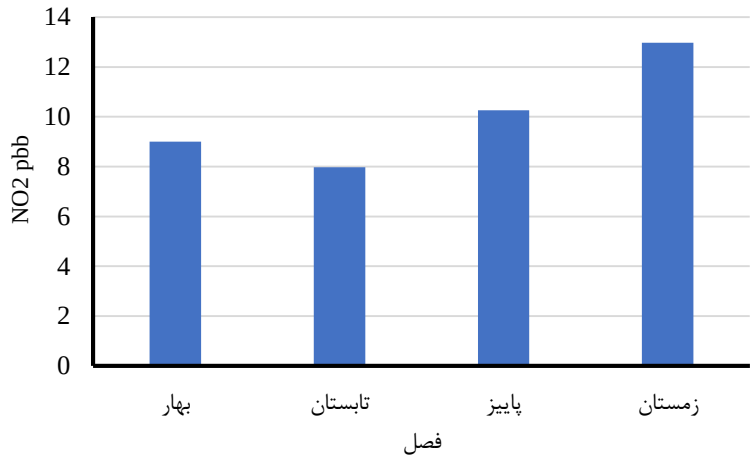
مقدار دی اکسید نیتروژن	کمترین مقدار شبانه	روند افزایشی روزانه	روند کاهشی شبانه	روند افزایشی شبانه
ساعات شبانه روزی	از ساعت ۱ بامداد تا ۶ صبح	از ساعت ۶ صبح تا ۱۱ ظهر	از ساعت ۱۱ ظهر تا ۸ عصر	از ساعت ۸ عصرتا ۱۲ بامداد

در شکل (۴) مقدار دی اکسید نیتروژن و ازون نشان داده شده است. بیشترین مقدار غلظت آلاینده‌های دی اکسید نیتروژن با غلظت ازون از رابطه عکس برخوردار بوده و بیشترین مقدار غلظت ازون چند ساعت بعد از بیشترین مقدار دی اکسید نیتروژن و با مصرف دی اکسید نیتروژن رخ می‌دهد. بدین صورت که غلظت‌های بالای دی اکسید نیتروژن، باعث حذف رادیکال‌های OH در واکنش بین OH و NO_2 می-شود. از این رو غلظت دی اکسید نیتروژن با افزایش فعالیت‌های انسانی و منابع متحرک (خودردوها) به بیشترین مقدار غلظت خود می-رسد. و به عنوان پیش ماده تولید ازون به مصرف می‌رسد. همانطور که در شکل (۴) قابل مشاهده است بیشترین غلظت ازون همراه با کاهش غلظت دی اکسید نیتروژن در هوا است که به دلیل مصرف دی اکسید نیتروژن است.

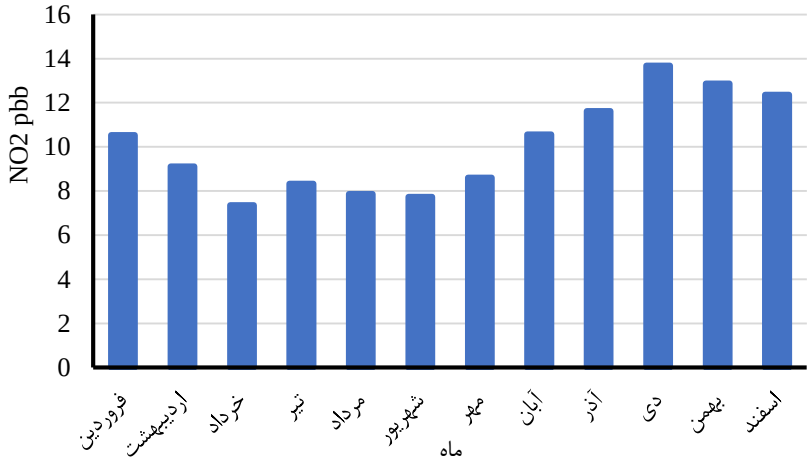


شکل ۴: مقدار غلظت ازون ساعتی و دی اکسید نیتروژن

بررسی تغییرات فصلی آلاینده دی اکسید نیتروژن تروپوسفری در شکل (۵) نشان می‌دهد که بیشینه غلظت در فصل زمستان و کمینه در فصل تابستان رخ می‌دهد که با نتایج پورزمانی و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت دارد. همانطور که مشاهد می‌شود به ترتیب فصل‌های زمستان، پاییز، بهار و تابستان بیشترین مقدار غلظت دی اکسید نیتروژن را درا هستند. از دلایل مهم افزایش دی اکسید نیتروژن در فصل زمستان می‌توان به ماندگاری بیشتر و گیر افتادن آلودگی در مناطق شهری در اثر پدیده‌های جوی اشاره کرد. همچنین میانگین ماهانه غلظت دی اکسید نیتروژن تروپوسفری در شهر کرمانشاه نشان می‌دهد که بیشترین مقدار غلظت دی اکسید نیتروژن در ماه دی اتفاق می‌افتد.



شکل ۵ دی اکسید نیتروژن فصلی



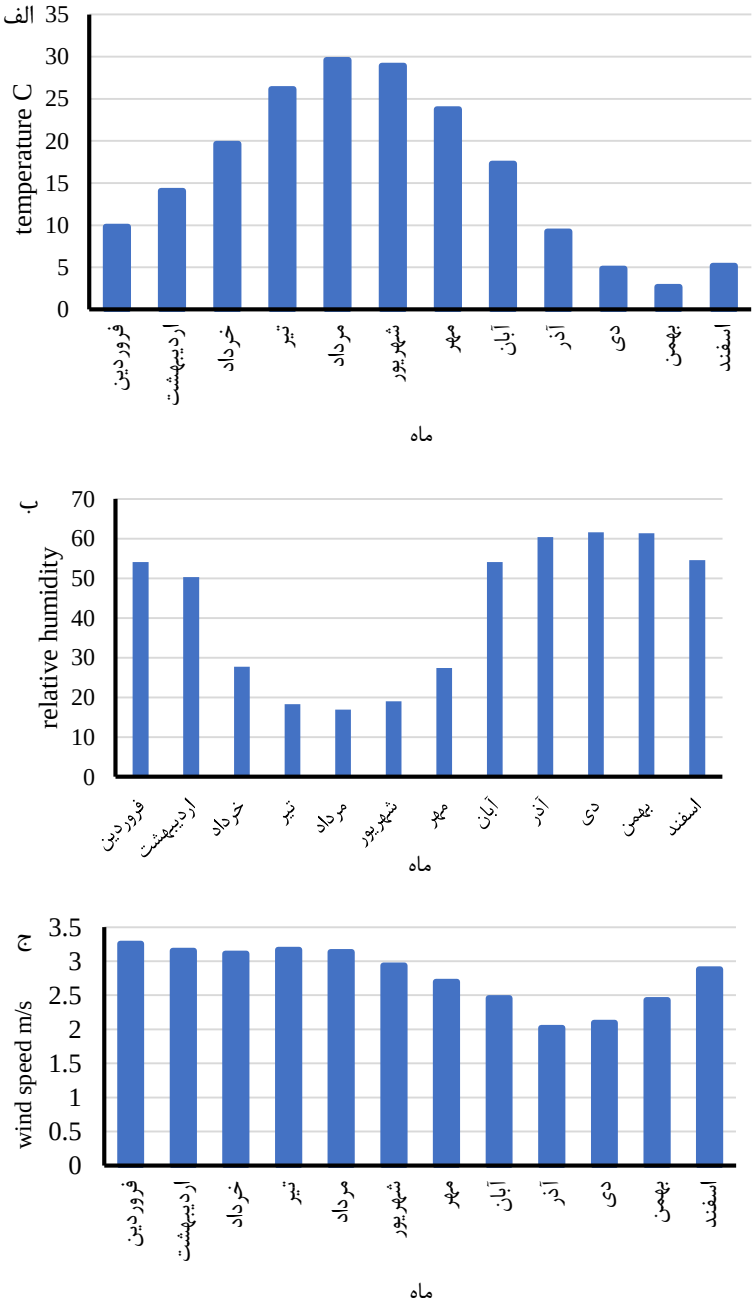
شکل ۶ دی اکسید نیتروژن ماهانه

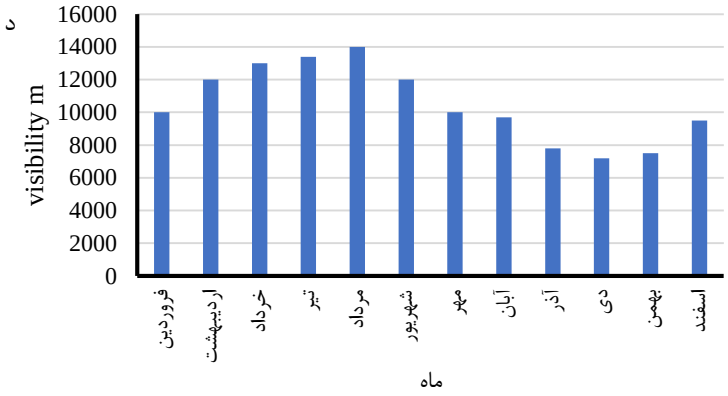
نتایج شکل (۷ الف) میانگین دمای سطحی نیز نشان می‌دهند که در فصل‌های پاییز و زمستان کمترین مقدار دمای سطحی را دارا می‌باشند. در زمستان دمای هوا کمتر بوده و هوا پایدارتر است و سبب می‌شود هوا در زمستان آلوده‌تر باشد. سرمای زمستان موجب مصرف انرژی بیشتر و در نتیجه تولید آلاینده‌های بیشتری از جمله دی اکسید نیتروژن می‌شود (Roberts–Semple, Song, & Gao, 2012). که با نتایج شرعی پور و بیدختی (۱۳۹۳) و شاه محمدی و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت دارد. اما در تابستان به علت گرمای زیاد برخی فرآیندهای شیمیایی در هوا موجب تولید ازون تروپوسفری شده و مانده‌گاری دی اکسید نیتروژن در هوا را کاهش می‌دهند (Van Der A et al., 2006).

نتایج در شکل (۷ ب) نشان می‌دهند که کمترین مقدار رطوبت نسبی در فصل تابستان است. در برخی از روزها رطوبت نسبی باران یا برف موجب تمیز شدن جو می‌شوند. اما تغییرات جوی در زمستان از لحاظ آلودگی هوا زیاد است که موجب بالا بودن میانگین دی اکسید نیتروژن در این فصل می‌شوند. به عبارت دیگر رطوبت نسبی با عمل شستشوی می‌تواند باعث کاهش آلاینده‌های هوا از جمله دی اکسید نیتروژن شود اما این عمل به طور موقت بوده و آلودگی بعد رطوبت نسبی روند افزایشی خود را طی می‌کند.

نتایج شکل (۷ ج) میانگین ماهانه سرعت باد را نشان می‌دهند که بیشترین سرعت باد در ماه‌های گرم سال و کمترین سرعت باد در ماه‌های سرد اتفاق می‌افتد. نتایج تغییرات میانگین غلظت آلاینده دی اکسید نیتروژن با تغییرات میانگین سرعت باد در شهر کرمانشاه نشان می‌دهد که سرعت باد با غلظت دی اکسید نیتروژن ارتباط عکس دارد که با نتایج عرب و میرکریمی (۱۳۹۴) مطابقت دارد. کاهش سرعت باد و سکون هوا سبب وقوع وارونگی دما در فصل زمستان می‌شوند تا آلودگی به تله افتاده و قادر به خروج از مناطق شهری کرمانشاه نباشد و غلظت دی اکسید نیتروژن در فصل و ماه‌های سرد سال افزایش پیدا کند که با نتایج بیات و عصارعنایتی (۱۳۹۶) مطابقت دارد.

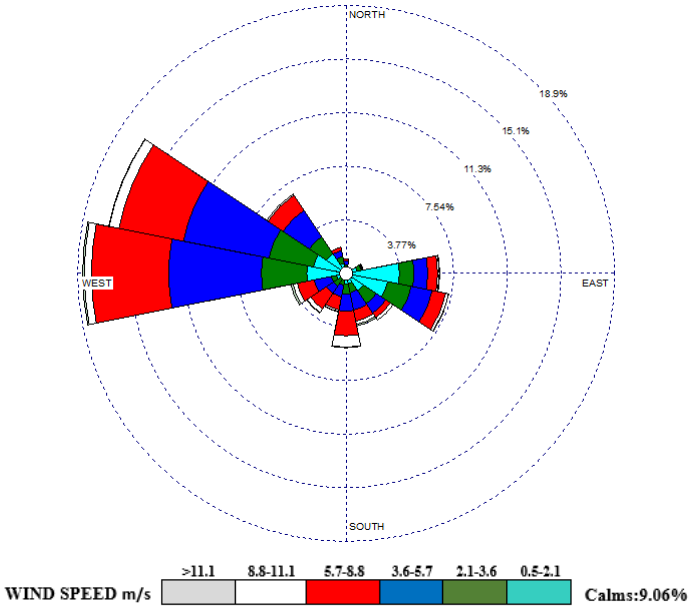
نتایج (شکل ۷ د) میانگین ماهانه دید افقی شهر کرمانشاه نشان می‌دهد که بیشترین دید افقی در بهار و تایستان و کمترین دید افقی در فصل پاییز و زمستان اتفاق می‌افتند که با نتایج (شاهمحمدی و همکاران، ۱۳۹۹) مطابقت دارد.





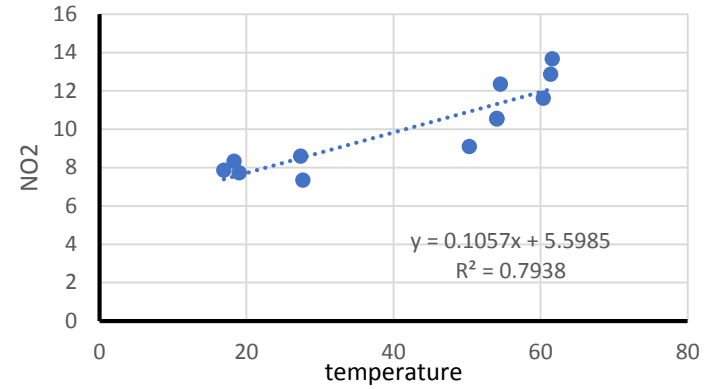
شکل ۷ (الف)، میانگین دمای هوا (ب)، میانگین رطوبت نسبی (ج)، میانگین سرعت باد (د) دید افقی

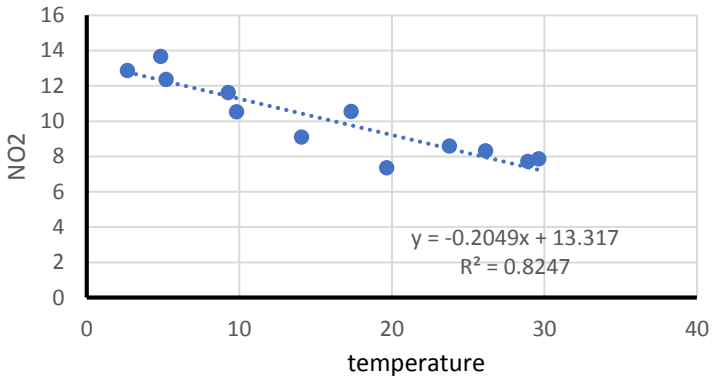
نتایج گلبادهای برای بازه زمانی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۸ بررسی شد. با توجه به رسم گلباد در دوره آماری (شکل ۸) مشخص شد که جهت باد غالب از غرب، شمال غرب غربی است. بادهای با سرعت ۰/۵-۲/۱۰، ۳/۵-۶۰/۷۰، ۲/۳-۱۰/۶۰ و ۵/۷۰-۸/۸۰ بیشترین مقدار را دارند و پس از آن بادهای با سرعت ۸/۸۰-۱۱/۱۰ و ۱۱/۱۰=< کمترین مقدار را دارا هستند.

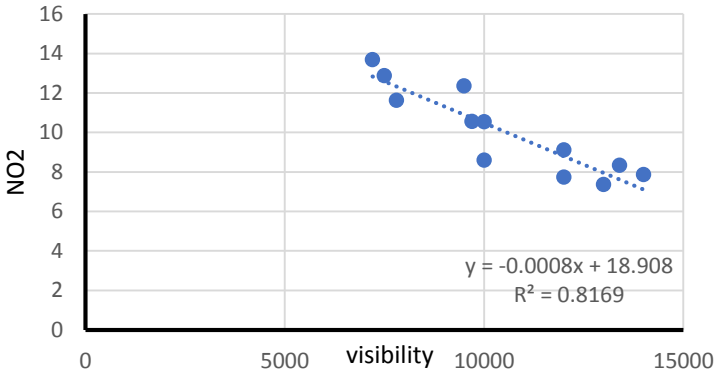


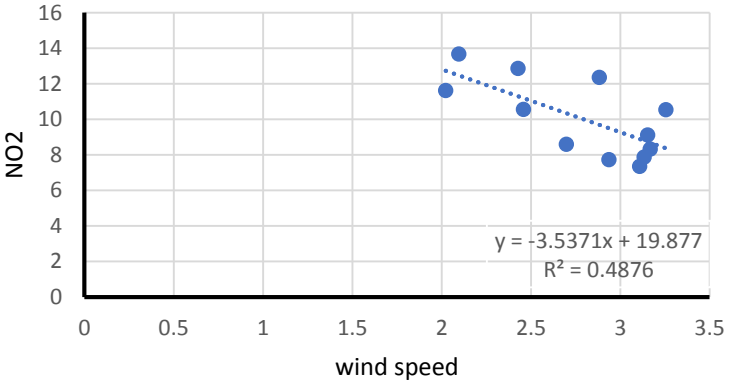
شکل ۸: گلباد بازه زمانی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۸

جهت بررسی ارتباط بین دی اکسید نیتروژن و پارامترهای هواشناسی (سرعت باد، دما هوا، رطوبت نسبی) از همبستگی پیرسون استفاده شد اما شرط لازم برای استفاده از همبستگی پیرسون نرمال بودن داده‌ها است. که نرمال بودن داده‌های مورد استفاده در این مقاله اثبات گردید. نتایج رابطه رگرسیونی و پیرسون بین پارامترها هواشناسی با غلظت دی اکسید نیتروژن در شکل (۹) و جدول (۲) نشان داده شده است. رگرسیون خطی و آزمون همبستگی پیرسیون رابطه مستقیمی با رطوبت نسبی و رابطه معکوسی با دمای هوا، دید افقی و سرعت باد دارد. جدول (۲) مقدار احتمال، سطح معنی‌داری بین متغیرها را نشان می‌دهد، به طوریکه دما و دید افقی حداکثر سطح معنی‌داری را با دی اکسید نیتروژن دارند و پس از آن سرعت باد و رطوبت نسبی دارای سطح معنی‌داری با دی اکسید نیتروژن دارد. تک ستاره نشان دهنده معنی‌داری در سطح ۵ درصد و دو ستاره نشان دهنده معنی‌داری در سطح ۱ درصد (بالاترین سطح معنی‌داری) است.







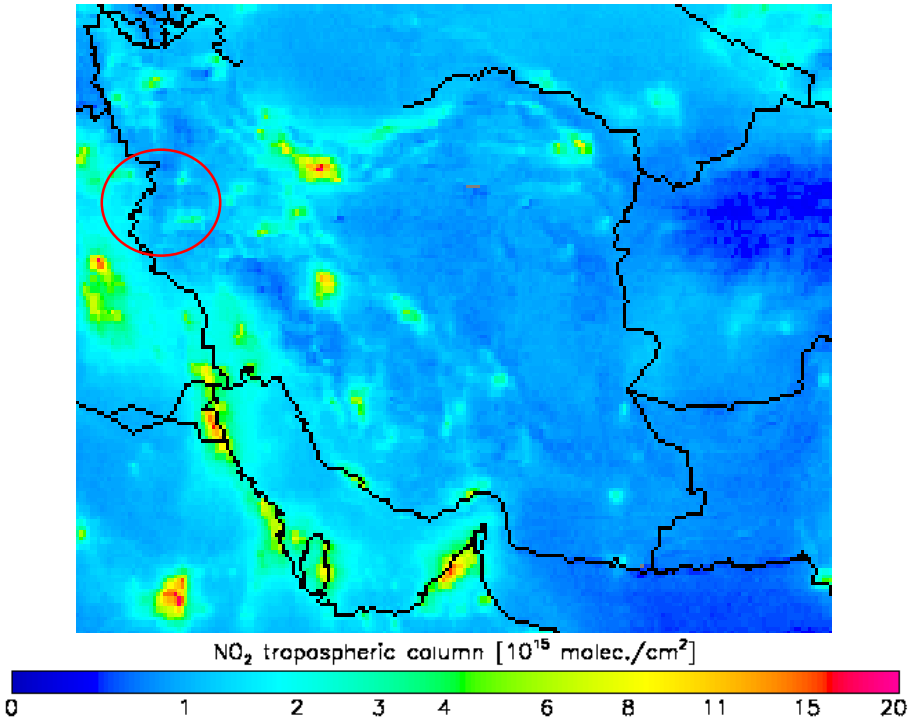


شکل ۹ رابطه رگرسیونی بین دی اکسید نیتروژن و پارامترهای هواشناسی

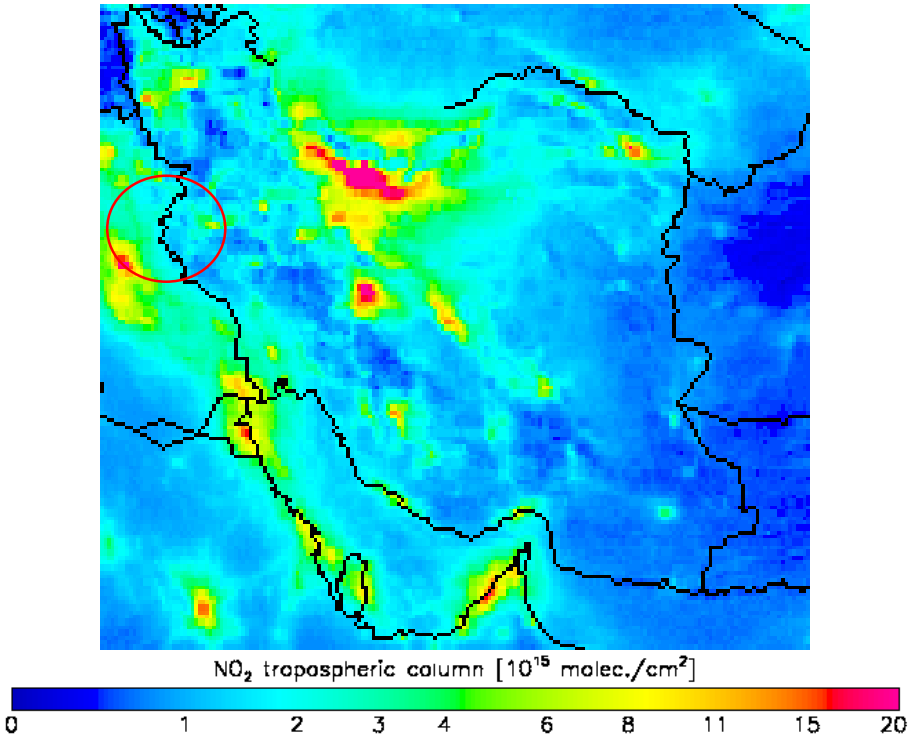
جدول ۲ همبستگی پیرسون بین دی اکسید نیتروژن و پارامترهای هواشناسی

پارمترهای هواشناسی	ضریب همبستگی پیرسون	مقدار احتمال	تعداد مشاهده‌ها
سرعت باد	-۰,۶۹۸*	۰,۰۱۲	۱۲
دمای هوا	-۰,۹۰۸**	۰,۰۰	۱۲
رطوبت نسبی	۰,۸۹۱**	۰,۰۰	۱۲
دید افقی	-۰,۹۰۴**	۰,۰۰	۱۲

به‌منظور بررسی آلودگی هوای شهر کرمانشاه شاخص دی اکسید نیتروژن اندازه‌گیری شده سنجنده OMI در دو تاریخ و برای شهر کرمانشاه استخراج شده است. که در شکل‌های (۱۰ و ۱۱) آورده شده است. همانطورکه در شکل نشان می‌دهد در ماه‌های ژوئن و دسامبر ۲۰۱۹ مقدار دی اکسید نیتروژن با مقدار اندازه‌گیری شده توسط ایستگاه کیفیت هوا شهر کرمانشاه مطابقت دارد. غلظت این شاخص آلودگی در زمستان بیشتر از سایر فصل‌ها برابر با ماه دسامبر است. و کمترین مقدار در فصل تابستان برابر با ماه ژوئن مشاهده می‌شود. همچنین بررسی روند آلودگی هوا در سال‌های قبل نشان می‌دهد که بیشترین سطح آلودگی دی اکسید نیتروژن در فصل‌های پاییز و زمستان و درماه‌های آبان تا اسفند اتفاق می‌افتد. که آن را می‌توان به پدیده وارونگی هوا و افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی در پاییز و زمستان نسبت داد. همانطورکه در پیکسل‌های مربوط به شهر کرمانشاه مشاهده می‌شود در ماه دسامبر روند معنادار قابل مشاهده است. که با نتایج مرادحاصلی (۱۳۹۶) مطابقت دارد. در ماه ژوئن در شکل (۱۰) همانطور که قابل مشاهده است مقدار غلظت دی اکسید نیتروژن کاهشی است که با داده‌های ایستگاه پایش محیط‌زیست مطابقت دارد. در فصل تابستان به‌علت گرمای زیاد تابستان برخی فرآیندهای شیمیایی در هوا موجب تولید ازون تروپوسفری شده و ماندگاری اکسیدهای نیتروژن را کاهش می‌دهند افزایش غلظت به علت افزایش سوخت‌های فسیلی و افزایش ماندگاری دی اکسید نیتروژن مربوط است. اما در ماه دسامبر در شکل (۱۱) مقدار دی اکسید نیتروژن افزایشی است که به علت وارونگی هوا و ماندگاری دی اکسید نیتروژن این مقدار افزایش است و با نتایج پایش محیط‌زیست برابری می‌کند.



شکل ۱۰: نقشه میانگین ماهانه دی اکسید نیتروژن تروپسفری در ماه ژوئن سال ۲۰۱۹



شکل ۱۱ نقشه میانگین ماهانه دی اکسید نیتروژن تروپسفری در ماه دسامبر سال ۲۰۱۹

بحث و نتیجه‌گیری

تعیین آلودگی هوا در سطح شهر با توجه به تأثیر آن بر سلامتی انسان از اهمیت بالایی برخوردار است. در این مقاله از داده‌های دی اکسید نیتروژن ایستگاه پایش محیطزیست، سنجنده OMI و پارامترهای هواشناسی مانند سرعت باد، دما هوا و رطوبت نسبی به‌منظور بررسی آلودگی هوا ناشی از دی اکسید نیتروژن شهر کرمانشاه مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار دی اکسید نیتروژن در فصل پاییز و زمستان و در ماه‌های سرد سال اتفاق می‌افتد. دلیل وجود غلظت‌های بیشینه در فصل زمستان را می‌توان مصرف بیشتر سوخت‌های شهری مانند گاز شهری و وسایل نقلیه در کنار شرایط هواشناسی از قبیل سرما، پایداری هوا و وارونگی دما دانست (Mamtimin & Meixner, 2011). بررسی پارامترهای هواشناسی نشان داد دی اکسید نیتروژن با دما، سرعت باد و دید افقی رابطه معکوسی دارد. سرعت باد، دمای هوا و رطوبت نسبی عوامل مهمی برای از بین بردن آلودگی هوا هستند. نتایج نشان می‌دهد که آلودگی دی اکسید نیتروژن در زمستان با وجود رطوبت نسبی نبست با تابستان بیشتر است. از طرفی وسایل نقلیه موتوری عامل مهمتری نسبت به فعالیت‌های صنعتی در تولید دی اکسید نیتروژن تروپوسفری است و افزایش طول عمر دی اکسید نیتروژن در زمستان نسبت به سایر فصول بیشتر است که تصاویر سنجنده OMI نیز این واقعیت را نشان می‌دهد. پارامترهای هواشناسی مانند سرعت باد، رطوبت نسبی و وقوع وارونگی دما در فصل زمستان موجب می‌شوند تا آلودگی به تله افتاده و قادر به خروج از شهر کرمانشاه نباشد.

منابع

امیدوار، کمال ، نکونام، زری. (۱۳۹۰). کاربرد گلباد و گل غبار در تحلیل توفانی گردوخاک و تعیین رژیم فصلی بادهای همراه با این توفان(مطالعه موردی: شهرسبزوار). مطالعه¬های جغرافیایی طبیعی، شماره ۷۶. ص ۸۵-۱۰۴.

بیات، علی، عصار عنایتی، احمد (۱۳۹۶). بررسی همبستگی دیاکسید نیتروژن با باد، دما و دید افقی در شهر تهران با استفاده از اندازهگیریهای مرکز کنترل کیفیت هوای تهران و سنجندهOMI ، اولین همایش اندیشه‌ها وفناوری‌های نوین در علوم جغرافیایی، دانشگاه زنجان، گروه جغرافیای دانشگاه زنجان.

پورزمانی، حمیدرضا، کریمی، حسین، فدایی، سعید، تندرو، الهه (۱۳۹۷). بررسی غلظت آلاینده‌های شاخص منواکسید کربن، دی اکسید نیتروژن و دی اکسید گوگرد در هوای شهر شهرکرد در سال ۱۳۹۵، هشتمین کنفرانس بین المللی توسعه پایدار،عمران و بازآفرینی شهری، قم - موسسه آموزش عالی دانش پژوهان ,موسسه آموزش عالی دانش پژوهان پیشرو.

دبیری، مینو و بشیری بد، سهاره (۱۳۹۴). آلودگی محیط زیست (هوا- آب- خاک – صوت). تهران: انتشارات اتحاد.
زلقی، الهه، گراوندی، سحر، نورزاده، مهدی، گودرزی، غلامرضا، شیر بیگی، عصمت، علوی، سیده شقایق، محمدی، محمد جواد (۱۳۹۳). مقایسه شاخص‌های خطر مواجهه با آلاینده دی اکسید نیتروژن بر سلامت شهروندان در جنوب غربی ایران. مجله دانشگاه علوم پزشکی تربت حیدریه. ۱۳۹۳; ۲ (۳) :۲۲-۲۹.
شاه محمدی، عاطفه، بیات، علی، مشهدی زاده ملکی، سعید (۱۳۹۹). بررسی آلودگی هوای شهر تبریز با استفاده از برآوردهای دی اکسید نیتروژن سنجنده اُمی. فصلنامه جغرافیا و برنامه ریزی. ۱۳۹۳; ۲۴ (۷۱).
شرعی پور، زهرا، علی اکبری بیدختی، عباسعلی (۱۳۹۳). بررسی وضعیت NO2 تروپوسفری ایران طی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۲. محیط شناسی. ۴۰ (۱) :۶۵-۷۸.
عرب، نرگس، میرکریمی، سید حامد (۱۳۹۴). بررسی تغییرات آلاینده‌های ازن، مونواکسید کربن و دی اکسید نیتروژن در ایستگاه اقدسیه در طول سال ۱۳۹۱ در شهر تهران، فصلنامه انسان و محیط زیست، سال سیزدهم، شماره ۲ : ۳۵-۴۳.
غیاث الدین، منصور. (۱۳۹۴). آلودگی هوا. تهران: انتشارات دانشگاه علوم پزشکی تهران.
محسن یزدانی، محسن، گودرزی، غلامرضا، طهماسبی بیرگانی، یاسر، کریمی، افسانه، حیدری، سیده صبا (۱۳۹۸). برآورد اثرات بهداشتی آلاینده دی اکسید نیتروژن در هوای شهر اهواز ۹۶-۱۳۹۰، هشتمین همایش ملی مدیریت آلودگی هوا و صدا، تهران، دانشگاه تهران.
محمدی، ناهید، ظروفچی بنیس، خالد، شکری، مسعود، شاکر خطیبی، محمد، فاتحی فر، اسماعیل، محمودیان، امیر (۱۳۹۶). تحلیل ارتباط بین ازون سطحی و اکسیدهای نیتروژن در هوای شهر تبریز، نشریه مهندسی و محیط‌زیست، ۴۷، ۱، ۱۰۷-۱۱۴.
مرادحاصلی، روح الله (۱۳۹۶). بررس روند و تغییرات فصل دی اکسید نیتروژن تروپوسفری در ایران با استفاده از ۱۴ سال داده برداری سنجنده OMI ، مجله نجوم و اخترفیزیک ایران دوره۴ ، شماره ۲ ، پاییز ۱۳۹۶.
مصطفی، لیلی، بهرامی اصل، فرشاد، حسام، موسی، ملامحمودی، محمد، سلحشور آرین، سهیلا (۱۳۹۵). برآورد تعداد بیماری و مرگ منتسب به آلاینده‌های SO2 و NO2 با استفاده از مدل AirQ در شهر همدان. مجله پزشکی بالینی ابن سینا. ۱۳۹۵; ۲۳ (۴) :۳۱۴-۳۲۲.
ملکی، سعید، بیات، علی (۱۳۹۵). آنالیز طیفی سری زمانی دی اکسید نیتروژن شهر تهران با اندازه گیری‌های سنجنده OMI. دومین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی. دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی نقشه برداری.
Abdul Aziz, F. A. B., & Mohd Ali, J. (2019). Tropospheric Ozone Formation Estimation in Urban City, Bangi, Using Artificial Neural Network (ANN). *Computational intelligence and neuroscience, 2019*.
Cao, J., Li, W., Tan, J., Song, W., Xu, X., Jiang, C . . . ,Chen, B. (2009). Association of ambient air pollution with hospital outpatient and emergency room visits in Shanghai, China. *Science of the Total Environment, 407*(21), 5531-5536.
Challen, P., Hickish, D., & Bedford, J. (1958). An Investigation of Some Health Hazards in an Inert-gas Tungsten-arc Welding-shop. *British journal of industrial medicine, 15*(4), 276.
Chen, R., Huang, W., Wong, C.-M., Wang, Z., Thach, T. Q., Chen, B., . . . Group, C. C. (2012). Short-term exposure to sulfur dioxide and daily mortality in 17 Chinese cities: the China air pollution and health effects study (CAPES). *Environmental research, 118*, 101-106.
David, L. M., & Nair, P. R. (2013). Tropospheric column O3 and NO2 over the Indian region observed by Ozone Monitoring Instrument (OMI): Seasonal changes and long-term trends. *Atmospheric Environment, 65*, 25-39.
Katsouyanni, K., Touloumi, G., Spix, C., Schwartz, J., Balducci, F., Medina, S., . . . Bacharova, L. (1997). Short term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: results from time series data from the APHEA project. *Bmj, 314*(7095), 1658.
Lamsal, L. N., Duncan, B. N., Yoshida, Y., Krotkov, N. A., Pickering, K. E., Streets, D. G., & Lu, Z. (2015). US NO2 trends (2005–2013):EPA Air Quality System (AQS) data versus improved observations from the Ozone Monitoring Instrument (OMI). *Atmospheric Environment, 110*, 130-143.
Larsen, B. (2011). *Cost assessment of environmental degradation in the Middle East and north Africa region: selected issues*. Paper presented at the Economic Research Forum, working paper.
Mamtimin, B., & Meixner, F. X. (2011). Air pollution and meteorological processes in the growing dryland city of Urumqi (Xinjiang, China). *Science of the Total Environment, 409*(7), 1277-1290.
Piraino, F., Aina, R., Palin, L., Prato, N., Sgorbati, S., Santagostino, A., & Citterio, S. (2006). Air quality biomonitoring: Assessment of air pollution genotoxicity in the Province of Novara (North Italy) by using Trifolium repens L. and molecular markers. *Science of the Total Environment, 372*(1), 350-359.

Roberts–Semple, D., Song, F., & Gao, Y. (2012). Seasonal characteristics of ambient nitrogen oxides and ground–level ozone in metropolitan northeastern New Jersey. *Atmospheric Pollution Research, 3*(2), 247-257 .

Schneider, P., Lahoz, W. A., & van der A, R. (2015). Recent satellite-based trends of tropospheric nitrogen dioxide over large urban agglomerations worldwide. *Atmospheric Chemistry and Physics, 15*(3), 1205-1220 .

Schwartz, J. (2005). How sensitive is the association between ozone and daily deaths to control for temperature? *American journal of respiratory and critical care medicine, 171*(6), 627-631.

Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K . . . ,Miller, H. (2007). Summary for policymakers. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 1-18.

Tiwary, A., & Williams, I. (2018 .(*Air pollution: measurement, modelling and mitigation*: CRC Press.

Van Der A, R., Peters, D., Eskes, H., Boersma, K., Van Roozendael, M., De Smedt, I., & Kelder, H. (2006). Detection of the trend and seasonal variation in tropospheric NO2 over China. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 111*(D12).

Wong, C.-M., Vichit-Vadakan, N., Kan, H., & Qian, Z. (2008). Public Health and Air Pollution in Asia (PAPA): a multicity study of short-term effects of air pollution on mortality. *Environmental health perspectives, 116*(9), 1195-1202.

Zallaghi, E., Shirmardi, M., Soleimani, Z., Goudarzi, G., Heidari-Farsani, M., Al-Khamis, G., & Sameri, A. (2014). Assessment of health impacts attributed to PM10 exposure during 2011 in Kermanshah City, Iran. *Journal of advances in environmental health research, 2*(4), 242-250 .

Zhang, R., Tie, X., & Bond, D. W. (2003). Impacts of anthropogenic and natural NOx sources over the US on tropospheric chemistry. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 100*(4), 1505-1509 .