

بررسی آلودگی هوای شهر تبریز با استفاده از برآوردهای دی‌اکسید نیتروژن سنجنده اُمی

عاطفه شاه‌محمدی^۱

علی بیات^۲

سعید مشهدی‌زاده ملکی^۳

چکیده

آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین مشکلات شهرهای بزرگ است که می‌تواند برای سلامت انسان-ها و محیط زیست زیان‌آور باشد. دی‌اکسید نیتروژن، یکی از آلاینده‌های مهم آلودگی هوا است که با استفاده از ایستگاه‌های زمینی و برآوردهای ماهواره‌ای پایش می‌شود. در این مطالعه، داده‌های دی‌اکسید نیتروژن برآورد شده توسط سنجنده اُمی و داده‌های باد، دمای سطحی و دید افقی اندازه‌گیری شده توسط ایستگاه سینوپتیک شهر تبریز طی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۶ جهت بررسی آلودگی هوای شهر تبریز مورد بررسی قرار گرفته است. مقدار میانگین دی‌اکسید نیتروژن در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب برابر 2.13×10^{15} ، 1.90×10^{15} ، 3.88×10^{15} و 5.36×10^{15} و مقدار میانگین آن برابر 2.84×10^{15} مولکول بر سانتی‌متر مربع در بازه اندازه‌گیری است. همچنین بیشترین مقدار انحراف معیار دی‌اکسید نیتروژن در فصل زمستان، 4.10×10^{15} و کمترین مقدار آن در فصل تابستان، 0.97×10^{15} رخ داده است. ضریب همبستگی دی‌اکسید نیتروژن با باد و دما به ترتیب -0.49 و -0.32 بدست آمد.

۱- فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲- فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران (نویسنده مسئول)

Email: abayat@znu.ac.ir-Tel:09127420019

۳- نقشه‌برداری، دانشکده عمران، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

که اهمیت بیشتر باد را در تغییرات این آلاینده نشان می‌دهد. با استفاده از آنالیز طیفی کمترین مربعات دوره‌های تناوب چهار، شش و دوازده ماهه مشاهده شد که از نظر آماری نیز معنی‌دار شناخته شدند. پس از حذف مولفه‌های معنی‌دار از سری زمانی میانگین ماهانه دی‌اکسید نیتروژن، مقدار روند دی‌اکسید نیتروژن در هر سال برای شهر تبریز 1.05×10^{14} مولکول بر سانتی‌متر مربع بدست آمد.

واژگان کلیدی: دی‌اکسید نیتروژن، آنالیز طیفی کمترین مربعات، سنجنده اُمی، پارامترهای هواشناسی، تبریز.

مقدمه

امروزه وضعیت نامطلوب هوا از مهم‌ترین مشکلات شهرهای بزرگ دنیا می‌باشد که آسیب‌های زیادی برای انسان و محیط زیست دارد. از نظر سازمان حفاظت محیط زیست جمهوری اسلامی ایران، آلودگی هوا عبارت است از «وجود و پخش یک یا چند آلوده کننده اعم از جامد، مایع، گاز، تشعشع پرتوزا و غیر پرتوزا در هوای آزاد به مقدار و مدتی که کیفیت آن را به طوری که زیان‌آور برای انسان و سایر موجودات زنده یا گیاهان یا آثار و ابنیه باشد تغییر دهد» (جمعی از پژوهشگران، ۱۳۹۴:۱۳). آلودگی هوا باعث بیماری‌های قلبی-عروقی، برونشیت، اختلالات تنفسی، سرطان و مرگ زودرس می‌شود. براساس گزارش سازمان جهانی بهداشت^۱، سالانه ۸۰۰,۰۰۰ نفر به علت بیماری‌های قلبی-عروقی و تنفسی در سراسر جهان جان خود را از دست می‌دهند. طبق ارزیابی‌ها ۱۵۰,۰۰۰ نفر از این مقدار در جنوب آسیا اتفاق می‌افتد (Motalleby and et al., 2015:77).

آلاینده‌های هوا به دو دسته آلاینده‌های اولیه و ثانویه تقسیم‌بندی می‌شوند. آلاینده‌های اولیه آلاینده‌هایی هستند که به طور مستقیم از منابع تولید کننده آلودگی منتشر می‌شوند و آلاینده‌های ثانویه در اثر واکنش شیمیایی روی آلاینده‌های اولیه تولید شده و وارد جو می‌شوند. از جمله آلاینده‌های اولیه منواکسید کربن، هیدروکربن‌ها، دی‌اکسید گوگرد،

1 WHO: World Health Organization

اکسیدهای نیتروژن^۱ و گرد و غبار را می‌توان نام برد (افتخار اردبیلی، ۱۳۸۹:۱۵). از بین هفت اکسید نیتروژن، آنچه در آلودگی هوا اهمیت دارد منواکسید نیتروژن و دی‌اکسید نیتروژن می‌باشد. دی‌اکسید نیتروژن^۲ گازی قرمز متمایل به قهوه‌ای و دارای بویی تند است (حسین آبادی، ۱۳۹۳:۷). از مهم‌ترین منابع انسانی تولید کننده این آلاینده می‌توان آگزوز اتومبیل‌ها و منابع ثابت مانند سوخت‌های فسیلی، نیروگاه‌های برق، سوزاندن زباله‌ها و وسایل گرمایشی منازل را نام برد. علاوه بر منابع انسان‌ساز، اکسیدهای نیتروژن توسط باکتری‌ها، آتشفشان‌ها و رعد و برق نیز تولید می‌شوند (شرعی‌پور و بیدختی، ۱۳۹۳:۷۸). دی‌اکسید نیتروژن به عنوان شاخص آلودگی هوا به صورت مستمر با استفاده از ابزارهای سنجش در محل و سنجنده‌های نصب شده بر روی ماهواره‌ها به صورت مستمر در جو زمین پایش می‌شود. در این مقاله آلودگی هوای شهر تبریز با استفاده از برآوردهای روزانه دی‌اکسید نیتروژن توسط سنجنده اُمی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

واندر^۳ و همکارانش با استفاده از داده‌های ماهواره اسکیموچی^۴ و گومی^۵ روند دی‌اکسید نیتروژن در چین را مورد بررسی قرار دادند و نتایج آن‌ها نشان داد که گازهای گلخانه‌ای و دی‌اکسید نیتروژن در چین در حال افزایش است (Van Der et al., 2006:12317). لامسال^۶ و همکارانش روند دی‌اکسید نیتروژن برآورد شده توسط سنجنده اُمی^۷ و داده‌های سازمان کیفیت هوا در ایالات متحده را برای بازه ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۳ مورد بررسی قرار دادند. نتایج هر دو برآورد ماهواره‌ای و اندازه‌گیری زمینی، روند رو به کاهش دی‌اکسید نیتروژن را بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۳ نشان دادند (Lamsal, 2015:130). قوده و همکارانش نیز با استفاده از داده‌های سنجنده اسکیموچی و گومی نشان دادند که مقدار دی‌اکسید نیتروژن در کشورهای در حال توسعه در حال افزایش است و عامل مهم در روند افزایش دی‌اکسید

¹ - $\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$

² - NO_2

³ - Van Der

⁴ - SCIAMACHY: SCanning Imaging Absorption SpectroMeter for Atmospheric CHartography

⁵ - GOME: Global Ozone Monitoring Experiment

⁶ - Lamsal

⁷ - OMI: Ozone Monitoring Instrument

نیتروژن در کشورهای خاورمیانه مصرف سوخت فسیلی بوده است (Ghude and et al., 2009:1837). نایر^۱ و دیوید^۲ توزیع مکانی، تغییرات فصلی و روند بلند مدت دی‌اکسید نیتروژن و ازن را در هند با استفاده از داده‌های سنجنده اُمی بررسی کرده‌اند. طبق نتایج بدست آمده مقادیر بالای دی‌اکسید نیتروژن در شمال و مقادیر کم آن در جنوب هند وجود داشته و دی‌اکسید نیتروژن در مناطق اقیانوسی هند، روند افزایشی داشته است (David and Nair, 2013:25). ژو^۳ و همکارانش روند بلند مدت تغییرات دی‌اکسید نیتروژن در اروپا را بررسی کرده‌اند. نتایج آن‌ها نشان داده که دی‌اکسید نیتروژن در غرب اروپا به ویژه، آلمان دارای روند کاهشی بوده و بالاترین روندهای کاهشی مربوط به اسپانیا و انگلستان است (Zhou, 2012:482). در مقالات ذکر شده بالا، روند دی‌اکسید نیتروژن به وسیله برازش یک مدل خطی با در نظر گرفتن اجزای فصلی مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله نیز از روش استاندارد مقالات بررسی شده در فوق استفاده شده است.

شهر تبریز یکی از کلان شهرهای ایران است و افزایش جمعیت شهر، وسایل نقلیه موتوری، مصرف سوخت‌های فسیلی، فعالیت صنایع و استفاده نادرست از وسایل گرم کننده و وجود کارخانه‌های صنعتی سبب افزایش مصرف انرژی در این شهر شده است و مشکلات متعدد زیست محیطی برای ساکنان این شهر ایجاد کرده است (طالبی‌پور و همکاران، ۱۳۹۰، ۱۰۱). آلودگی هوا در شهر تبریز هم توسط محیط زیست و پژوهشگران مورد مطالعه قرار گرفته است. اداره کل محیط زیست شهر تبریز با بررسی منابع آلاینده‌های محیط زیست، به بررسی انتشار مواد آلوده کننده در هوای شهر تبریز پرداخته است (احمدی‌پور، ۱۳۷۴). گزارش نهایی طرح جامع کاهش آلودگی هوای شهر تبریز منابع آلاینده هوا را معرفی و میزان آلودگی ناشی از آن‌ها را بررسی کرده است و بیشترین سهم آلودگی را مربوط به وسایل نقلیه و صنایع دانسته است (دانشگاه تبریز، ۱۳۸۰). خازینی و همکارانش در سال ۱۳۹۸ نشان دادند که آلاینده‌های CO، CH₄، NO_x و VOCs بیشترین میزان انتشار توسط خودروهای شهری، تاکسی و اتوبوس شهری در سطح شهر تبریز دارند (خازینی، ۱۳۹۸).

1- Nadir

2- David

3 -Zhou

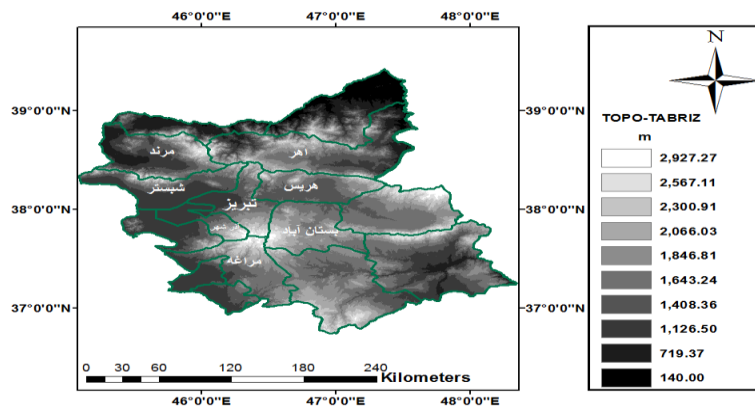
محمدی و همکارانش در سال ۱۳۹۶ با استفاده از داده‌های سه ایستگاه سنجش آلودگی واقع در تبریز نشان دادند که غلظت NOx با افزایش فعالیت‌های انسانی و حجم ترافیک به بیشترین مقدار خود می‌رسد (محمدی، ۱۳۹۶:۱۰۷). محمد خورشیددوست و همکارانش در سال ۱۳۹۷ با استفاده از تحلیل آماری-توصیفی نشان دادند که ارتباط معناداری بین پارامترهای جوی و آلودگی هوا در شهر تبریز وجود دارد (خورشیددوست، ۱۳۹۷:۲۱۷). قربانی و همکارانش در سال ۱۳۹۱ با بررسی وضعیت آلودگی هوای شهر تبریز بر اساس تحلیل مولفه‌های اصلی نشان دادند که عوامل اقلیمی (مانند سرعت و جهت باد و دما) و عوامل انسانی (مانند ازدحام جمعیت، کمبود فضای سبز، ترافیک سنگین، معابر نامناسب و ...) تاثیر زیادی در آلودگی هوای شهر تبریز دارند (قربانی، ۱۳۹۱:۸۹).

در این مقاله با استفاده از داده‌های دی‌اکسید نیتروژن سنجنده آمی در بازه زمانی بین اکتبر ۲۰۰۴ تا می ۲۰۱۶ و داده‌های ایستگاه سینوپتیک شهر تبریز آلودگی هوای شهر تبریز بررسی شده است. به همین منظور، تاثیر مولفه‌های اقلیمی مانند جهت و سرعت باد و نیز دما بر روی آلودگی هوا و نیز رفتار فصلی آلودگی هوا بررسی شده است. روند دی‌اکسید نیتروژن به عنوان شاخص آلودگی هوا از داده‌های سنجنده آمی با استفاده از برازش خطی پس از حذف دوره‌های تناوب معنادار بر روی سری زمانی میانگین ماهانه دی‌اکسید نیتروژن برای شهر تبریز مورد بررسی قرار گرفته است.

منطقه مورد مطالعه

شهر تبریز با جمعیتی حدود یک میلیون و پانصد هزار نفر در ۴۶.۷ درجه شرقی و ۳۸.۵ درجه شمالی واقع شده است (دین‌پژوه و همکاران، ۱۳۹۴:۱۴۵). همان‌طور که در تصویر گوگل ارث و نقشه توپوگرافی در شکل ۱ نشان داده شده است، این شهر از سمت شمال به کوه‌های پکه‌چین و عون بن علی، از سمت شمال شرق به کوه‌های گوزنی و باباباغی، از سمت شرق به کوه‌های ساریداغ و بیلانکوه، از سمت جنوب به دامنه کوه سهند و از سمت غرب به دشت تبریز (کمربند صنایع) محدود شده است و به شکل یک گودال یا یک جلگه بین کوهی درآمده است. این شهر دارای مراکز صنعتی مانند نیروگاه‌ها، پالایشگاه‌ها، مجتمع

پتروشیمی، کوره آجرپزی و ماشین‌سازی می‌باشد. آب و هوای تبریز نیز خشک با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد است (اسمعیل‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۸۶). همان‌طور که قربانی و همکارانش نیز اشاره کردند، توپوگرافی خاص تبریز و نحوه قرارگیری کوه‌ها از عواملی هستند که سبب افزایش آلودگی هوا در این شهر می‌شوند. به طوری که در فصول سرد سال از عوامل اصلی در ایجاد وارونگی دمایی به شمار می‌آیند (قربانی و همکاران، ۱۳۹۱: ۸۹).



شکل (۱): تصویر گوگل ارث شهر تبریز و توپوگرافی استان آذربایجان شرقی و شهرستان تبریز. نوار رنگ ارتفاع برحسب متر از سطح آب‌های آزاد و رنگ سبز محدوده شهرستان‌ها را نشان می‌دهد.

مبانی نظری

به مجموعه‌ای از مشاهدات که براساس زمان یا هر کمیت دیگر مرتب می‌شوند، سری زمانی می‌گویند. دو هدف اصلی در مطالعه سری زمانی وجود دارد: شناخت و شناسایی ماهیت پدیده و پیش‌بینی پدیده که در زمان‌های آینده احتمال وقوع دارد. آنالیز سری زمانی به طور کلی به دو بخش تقسیم می‌شود: روش‌هایی که سری زمانی را در قلمرو زمان بررسی و تحلیل می‌کنند و روش‌هایی که سری زمانی را در قلمرو فرکانس تحلیل می‌کنند. از جمله روش‌های معمول که سری زمانی را در حوزه فرکانس مورد بررسی قرار می‌دهد، فوریه می‌باشد. آنالیز طیفی فوریه دارای محدودیت‌هایی مانند لزوم هم فاصله بودن سری زمانی و نبود روشی برای بررسی معنی‌دار بودن مولفه‌های هارمونیک از نظر آماری است (اکبری، ۱۳۹۰). ونیچک^۱ در سال ۱۹۷۱ روش تحلیل طیفی کمترین مربعات^۲ را ارائه کرد که محدودیت‌های موجود در روش فوریه را ندارد (Vanicek, 1971:10). با استفاده از این روش می‌توان سری‌های زمانی غیر هم فاصله را مورد بررسی قرار داد. پاگیا تاگیس^۳ تست آماری به منظور تشخیص مولفه‌های هارمونیک معنی‌دار بدست آمده از طیف کمترین مربعات ارائه داد (Pagiatakis, 1999:67). اعتبارسنجی آماری مولفه‌های طیف بدست آمده از روش کمترین مربعات یکی دیگر از مزایای این روش می‌باشد (مشهدی‌زاده، ۱۳۹۳:۱۹۰). برای مطالعه بیشتر در رابطه با روابط محاسبه طیف به منابع ذکر شده مراجعه شود ولی به اختصار روند محاسبه طیف بدین گونه می‌باشد که اگر سری زمانی $f = [f_1, f_2, f_3, \dots, f_n]$ را در نظر بگیریم، برای محاسبه طیف کمترین مربعات بایستی از رابطه ۱ استفاده شود.

$$S(w_j) = \frac{f^T p(w_j)}{f^T f} \quad (1)$$

از رابطه زیر بدست می‌آید،

$$p(w_j) = \hat{c}_1 \sin(w_j t) + \hat{c}_2 \cos(w_j t) \quad (2)$$

1 Vanicek

2 least squares spectral analysis

3 Pagiatakis

که در آن c بردار مجهولات می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این مقاله از داده‌های سنجنده اُمی که بر روی ماهواره ائورا نصب شده است، استفاده شده است. ائورا، ماهواره علمی-پژوهشی است که در مدار زمین قرار گرفته و به بررسی لایه ازن، آلودگی هوا و تغییرات اقلیم می‌پردازد. ماهواره ائورا در ارتفاع 705 کیلومتری در مدار خورشید آهنگ^۱ قرار دارد و لحظه گذر آن ساعت 13:45 به وقت محلی می‌باشد. در تاریخ 9 آگوست 2004 سنجنده اُمی با حمایت موسسه هلندی و سازمان هواشناسی فنلاند روی ماهواره ائورا به منظور داده‌برداری از چند گاز مهم از جمله دی‌اکسید نیتروژن، ازن، دی‌اکسید کلر، فرمالدئید و هواویزها قرار گرفته است. میدان دید سنجنده اُمی، 115 درجه است. از 14 تا 26 کیلومتر مربع در سمت‌القدم^۲ قرار دارد و به صورت روزانه از کل زمین داده‌برداری می‌کند. در این مقاله از داده‌های روزانه دی‌اکسید نیتروژن سنجنده اُمی در بازه زمانی بین اکتبر 2004 تا می 2016 برای بررسی آلودگی هوای شهر تبریز استفاده شده است. این داده‌ها از سایت <https://aura.gsfc.nasa.gov/omi.htm> گرفته شده است. برای بررسی ارتباط آلودگی هوا با پارامترهای هواشناسی از داده‌های باد، دمای سطحی و دید افقی اندازه‌گیری شده با ایستگاه سینوپتیک شهر تبریز به شماره ۴۰۷۰۶ با عرض جغرافیایی ۳۸/۱ و طول جغرافیایی ۴۶/۲ استفاده شده است (www.irimo.ir).

تجزیه و تحلیل داده‌ها:

بررسی دی‌اکسید نیتروژن با پارامترهای هواشناسی و همبستگی بین آن‌ها:

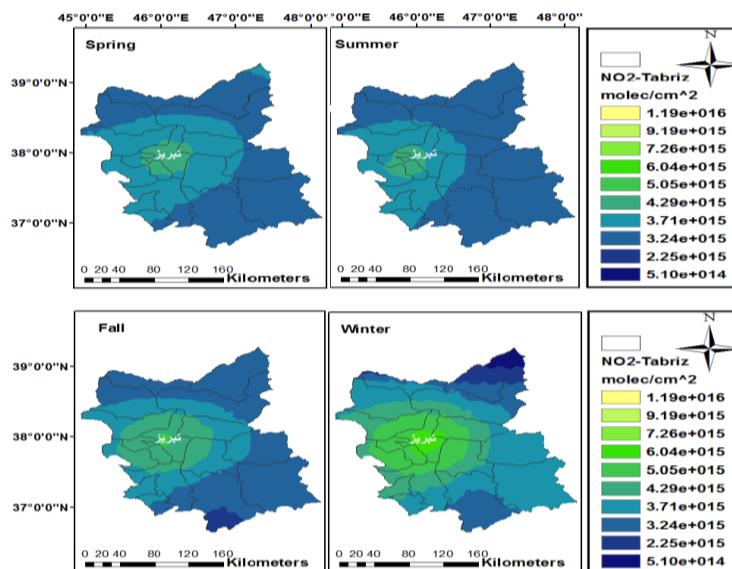
برای بررسی آلودگی هوای ناشی از دی‌اکسید نیتروژن در شهر تبریز از داده‌های سنجنده اُمی استفاده شده است. در شکل 2 نقشه میانگین دی‌اکسید نیتروژن برای چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان برای بازه زمانی 2004 تا 2016 با نرم افزار آرک جی ای اس برای منطقه مورد مطالعه ترسیم شده است. نوار رنگ برای همه شکل‌ها مقدار

^۱ - Sun Synchronous Orbit

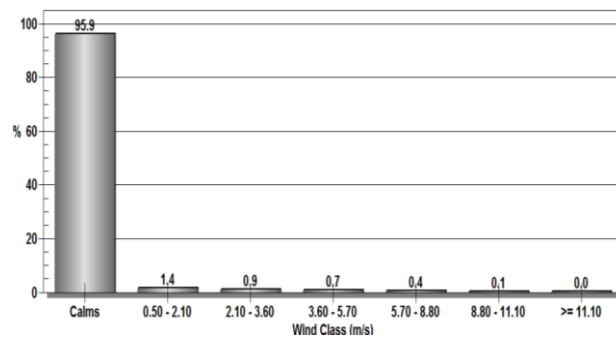
^۲ - Nadir

کمینه و بیشینه یکسانی دارد. بیشترین مقدار دی‌اکسید نیتروژن در فصل زمستان و کمترین مقدار آن در فصل تابستان مشاهده می‌شود.

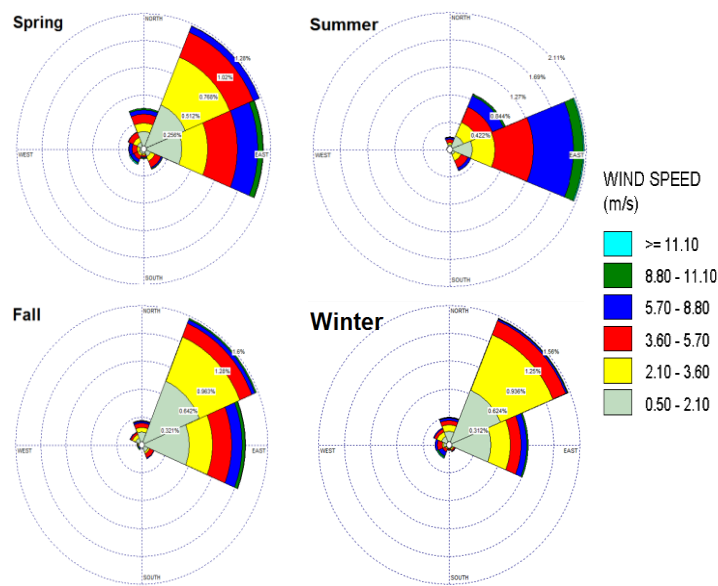
عوامل جغرافیایی مانند تغییرات آب و هوایی و تغییر الگوی جوی، وارونگی دمایی و توپوگرافی از عوامل موثر در افزایش آلودگی هوای شهرها می‌باشند. دما، باد، رطوبت نسبی، بارش باران، برف و دید افقی پارامترهای مهم برای سنجش میزان آلودگی هوا هستند. برای مطالعه بیشتر رفتار آلودگی هوای ناشی از دی‌اکسید نیتروژن برای شهر تبریز، از داده‌های باد، دمای سطحی و دید افقی استفاده شده است که این داده‌ها از سایت سازمان هواشناسی کشور گرفته شده است. طبق قوانین سازمان جهانی هواشناسی هر 3 ساعت بر اساس زمان جهانی پارامترهای هواشناسی اندازه‌گیری می‌شوند. از آنجایی که لحظه گذر سنجنده اُمی ساعت 13:45 به وقت محلی می‌باشد، از نزدیک‌ترین داده‌های باد، دمای سطحی و دید افقی یعنی ساعت ۹:۰۰ به وقت گرینویچ و ۱۲:۳۰ به وقت محلی استفاده شده است.



شکل (۲) میانگین دی‌اکسید نیتروژن به ترتیب برای چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان برای بازه زمانی اکتبر 2004 تا می 2016. نوار رنگ برای تمامی شکل‌ها یکسان است.

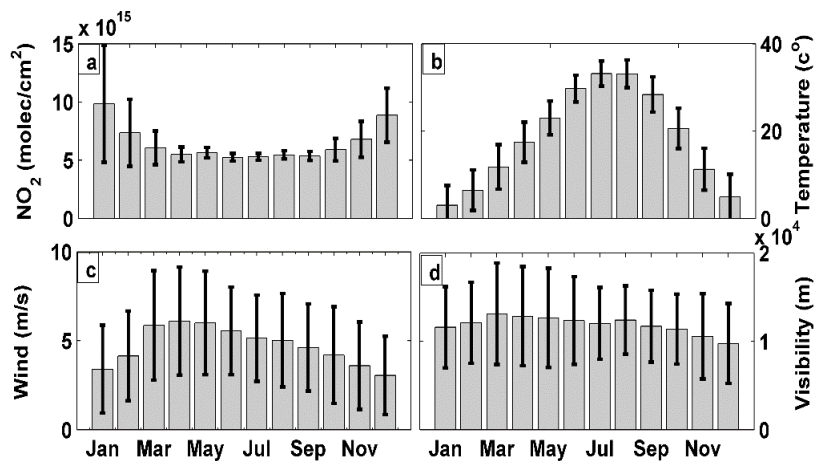


شکل (۳) توزیع فراوانی سرعت باد شهر تبریز در بازه ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۶ با استفاده از داده‌های ایستگاه سینوپتیک.



شکل (۴) جهت وزش باد برای ایستگاه سینوپتیک شهر تبریز به ترتیب برای چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان در بازه اندازه‌گیری بین ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۶. نوار رنگ برای تمام شکل‌ها یکسان است.

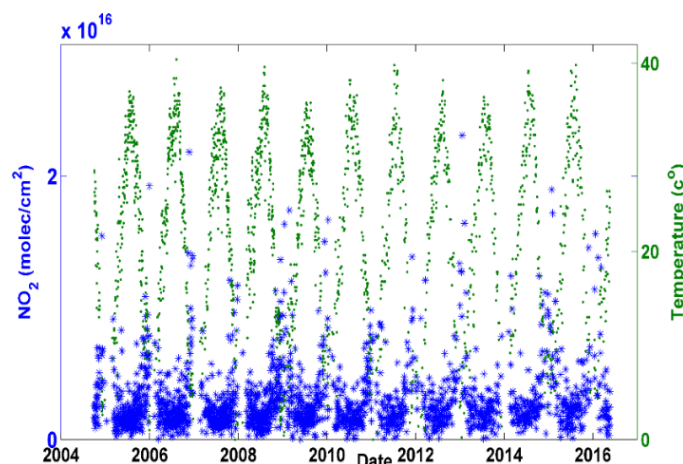
در شکل 5 میانگین ماهانه مشترک (a) دی‌اکسید نیتروژن، (b) دمای سطحی، (c) باد و (d) دید افقی شهر تبریز برای بازه اندازه‌گیری 2004 تا 2016 آورده شده است. بیشترین مقدار دی‌اکسید نیتروژن در ماه ژانویه برابر 9.85×10^{15} مولکول بر سانتی‌متر مربع و کمترین مقدار آن در ماه ژوئن برابر 5.25×10^{15} مولکول بر سانتی‌متر مربع می‌دهد. بیشترین مقدار انحراف معیار دی‌اکسید نیتروژن نیز در ماه ژانویه برابر 5.02×10^{15} و کمترین مقدار آن در جولای برابر 0.29×10^{15} می‌باشد. در شکل 5b میانگین ماهانه مشترک دمای سطحی شهر تبریز آورده شده است. بیشترین مقدار دما در فصل‌های بهار و تابستان و کمترین مقدار آن در فصل‌های پاییز و زمستان رخ می‌دهد. در شکل 5c میانگین ماهانه مشترک باد ترسیم شده است که نشان می‌دهد بیشترین مقدار باد در فصل‌های گرم سال اتفاق می‌افتد و وزش باد در فصل‌های پاییز و زمستان کمتر است که ناشی از پایداری و سکون هوا در فصول سرد سال می‌باشد. بیشترین انحراف معیار اندازه‌گیری شده باد در ماه می (3.06) و کمترین مقدار آن در ماه دسامبر (2.19) اتفاق می‌افتد. میانگین ماهانه مشترک دید افقی در شکل 5d نشان می‌دهد که تغییرات چندانی در طول سال وجود نداشته است.



شکل (5) میانگین ماهانه مشترک (a) دی‌اکسید نیتروژن، (b) دمای سطحی، (c) باد و (d) دید افقی شهر تبریز برای بازه اندازه‌گیری 2004 تا 2016.

شکل 6 سری زمانی دی‌اکسید نیتروژن و دما را به صورت روزانه برای شهر تبریز در بازه زمانی اکتبر 2004 تا می 2016 نشان می‌دهد. روزهای ابتدایی و انتهایی هر سال میلادی که هوا سردتر است دی‌اکسید نیتروژن بیشترین و دما کمترین مقدار را دارد و در روزهای میانی سال میلادی بالعکس می‌باشد. بنابراین بین دما و دی‌اکسید نیتروژن رابطه معکوس برقرار است.

در جدول 1 میانگین باد، دمای سطحی، دید افقی و دی‌اکسید نیتروژن و ضریب همبستگی بین دی‌اکسید نیتروژن با باد، دمای سطحی و دید افقی برای تمامی فصل‌ها و کل بازه اندازه‌گیری بین اکتبر 2004 تا می 2016 آورده شده است. کمترین مقدار میانگین دی‌اکسید



شکل (۶) سری زمانی دی‌اکسید نیتروژن و دما در بازه زمانی بین اکتبر 2004 تا می 2016 برای شهر تبریز.

نیتروژن در فصل‌های بهار و تابستان و بیشترین مقدار آن در فصل‌های پاییز و زمستان اتفاق می‌افتد و میانگین کل دی‌اکسید نیتروژن برای بازه مورد مطالعه 2.84×10^{15} مولکول بر سانتی‌متر مربع می‌باشد. بیشترین مقدار میانگین سرعت باد در فصل بهار و کمترین مقدار آن در فصل پاییز اتفاق می‌افتد. بیشترین (کمترین) مقدار میانگین دما در

فصل تابستان (زمستان) رخ می‌دهد. ضریب همبستگی باد و دما با دی‌اکسید نیتروژن در طول بازه زمانی مورد مطالعه به ترتیب -0.49 و -0.32 بدست آمد که اهمیت بیشتر باد را نشان می‌دهد به طوری که با افزایش باد از آلودگی هوا کاسته می‌شود. ضریب همبستگی دید افقی با دی‌اکسید نیتروژن -0.09 است که مقدار آن در طول سال تفاوت چندانی نداشته است.

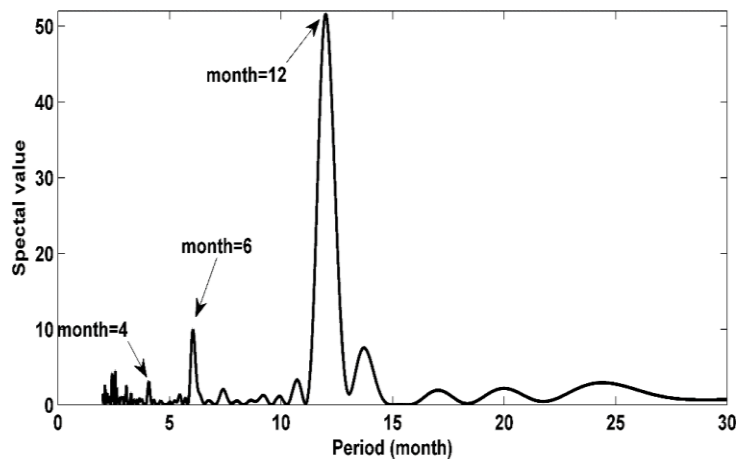
جدول (۱): میانگین باد (m/s)، دما ($^{\circ}C$)، دید افقی ($m10^4$)، دی‌اکسید نیتروژن ($10^{15} \frac{molec}{cm^2}$) و ضریب همبستگی بین دی‌اکسید نیتروژن با باد، دما و دید افقی برای چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان و کل بازه اندازه‌گیری بین اکتبر ۲۰۰۴ تا می ۲۰۱۶ برای شهر تبریز.

کل	زمستان	پاییز	تابستان	بهار	
۴,۹۴	۴,۱۹	۳,۹۰	۵,۰۰	6.06	میانگین باد (m/s)
۲۳,۲۵	۹,۱۲	۱۷,۲۲	۳۲,۲۱	۲۳,۰۰	میانگین دما ($^{\circ}C$)
۱,۱۹	۱,۱۸	۱,۰۸	۱,۲۲	۱,۲۵	میانگین دید افقی ($10^4 m$)
۲,۸۴	۲,۳۶	۳,۸۸	۱,۹۰	۲,۱۳	میانگین دی‌اکسید نیتروژن ($10^{15} \frac{molec}{cm^2}$)
-۰,۳۲	-۰,۲۴	-۰,۴۸	۰,۰۴	-۰,۱۲	ضریب همبستگی دی‌اکسید نیتروژن با دما
-۰,۴۹	-۰,۳۱	-۰,۳۵	-۰,۱۶	-۰,۲۹	ضریب همبستگی دی‌اکسید نیتروژن با باد
-۰,۰۹	-۰,۱۰	-۰,۱۲	-۰,۰۹	۰,۱۱	ضریب همبستگی دی‌اکسید نیتروژن با دید افقی

استخراج روند دی‌اکسید نیتروژن

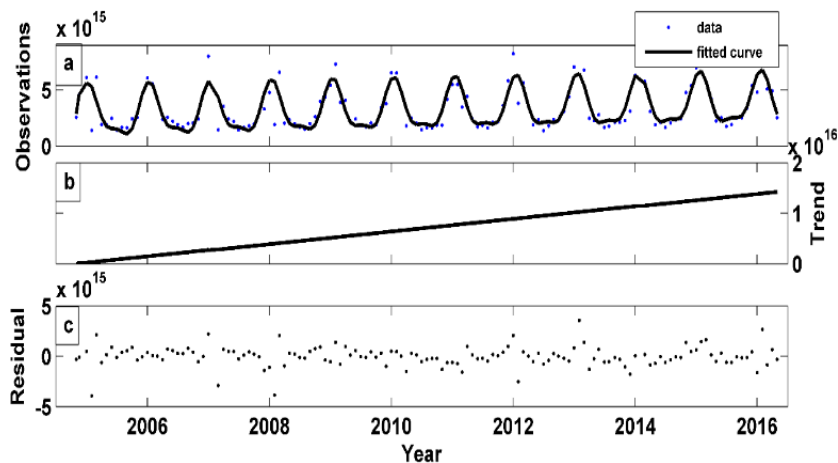
همانطور که گفته شد آنالیز طیفی کمترین مربعات ابزار ریاضی است برای اینکه سری‌های زمانی در حوزه فرکانس بررسی شود. در اینجا پس از تشکیل سری زمانی میانگین ماهانه دی‌اکسید نیتروژن بین بازه اندازه‌گیری ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۶، با استفاده از آنالیز طیفی کمترین مربعات دوره‌های تناوب چهار، شش و دوازده ماهه مشاهده شد. شکل 7 طیف سری زمانی دی‌اکسید نیتروژن سنجنده آمی برای پیکسل شهر تبریز را نشان می‌دهد.

محور افقی دوره تناوب برحسب ماه و محور عمودی مقدار طیف بدست آمده از روش آنالیز طیفی کمترین مربعات را نشان می‌دهد.



شکل (۷) طیف دی‌اکسید نیتروژن سنجنده امی برای پیکسل شهر تبریز.

برای محاسبه روند دی‌اکسید نیتروژن مولفه‌های معنی‌دار از سری زمانی حذف می‌شوند. پس از حذف مولفه‌های معنی‌دار چهار، شش و دوازده ماهه از سری زمانی دی‌اکسید نیتروژن، با استفاده از برازش خطی بر روی سری زمانی باقیمانده روند محاسبه می‌شود. شکل ۸، (a) سری زمانی ماهانه دی‌اکسید نیتروژن برآورد شده توسط سنجنده امی برای پیکسل شهر تبریز و سری زمانی مدل شده آن، (b) روند و (c) سری زمانی باقیمانده برای بازه اکتبر ۲۰۰۴ تا می ۲۰۱۶ را نشان می‌دهد. مقدار روند دی‌اکسید نیتروژن برای شهر تبریز در هر سال 1.05×10^{14} مولکول بر سانتی‌متر مربع می‌باشد.



شکل (۸) (a) سری زمانی ماهانه دی‌اکسید نیتروژن برآورد شده برای پیکسل متناظر شهر تبریز و سری زمانی مدل شده آن، (b) روند و (c) سری زمانی باقیمانده.

نتیجه‌گیری

توجه به کیفیت زندگی و مسائل زیست محیطی در شهر تبریز به علت رشد جمعیت و افزایش زندگی شهری اهمیت بسیاری دارد. به این منظور، در این مقاله از داده‌های دی-اکسید نیتروژن سنجنده آمی به عنوان شاخص آلودگی هوا و داده‌های هواشناسی (باد، باد و دید افقی) بین بازه زمانی اکتبر ۲۰۰۴ تا می ۲۰۱۶ برای بررسی آلودگی هوای شهر تبریز استفاده شده است. میانگین مقدار دی‌اکسید نیتروژن در کل بازه مورد مطالعه برابر 2.84×10^{15} مولکول بر سانتی‌متر مربع بدست آمد. میانگین فصلی دی‌اکسید نیتروژن نشان می‌دهد که شهر تبریز در فصل‌های گرم سال کمترین و در فصل‌های سرد سال بیشترین مقدار را دارد. بیشترین مقدار دی‌اکسید نیتروژن در ماه ژانویه برابر 9.85×10^{15} مولکول بر سانتی‌متر مربع و کمترین مقدار آن در ماه ژوئن برابر 5.25×10^{15} مولکول بر سانتی‌متر مربع است. نتایج فوق با یافته‌های دیگر تحقیقات در توافق است (اسمعیل‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۴:۱۸۶؛ قربانی و همکاران، ۱۳۹۱: ۸۹). اسمعیل‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۴ نیز در کار خود به اهمیت موقعیت جغرافیایی و توپوگرافی اشاره کرده و باد و دما را از عوامل موثر در

آلودگی شهر تبریز دانسته‌اند. در این کار ما تاثیر عوامل اقلیمی را به صورت آماری مورد بررسی قرار داده‌ایم. باد غالب در شهر تبریز در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان شرقی و شمال شرقی هستند. همچنین سرعت باد در فصل‌های پاییز و زمستان کمتر از فصل‌های بهار و تابستان است که ناشی از پایداری و سکون هوا در فصول سرد سال است. ضریب همبستگی باد و دمای سطحی در شهر تبریز به ترتیب برابر -0.49 و -0.32 می‌باشد که نشان‌دهنده اهمیت بیشتر باد در کاهش آلودگی هوا ناشی از دی‌اکسید نیتروژن است. در ادامه مقاله با استفاده از آنالیز طیفی کمترین مربعات نشان داده شد که دوره‌های تناوب چهار، شش و دوازده ماهه در سری زمانی دی‌اکسید نیتروژن وجود دارد. پس از حذف این مولفه‌ها از سری زمانی، مقدار روند دی‌اکسید نیتروژن برای شهر تبریز در هر سال برابر 1.05×10^{14} مولکول بر سانتی‌متر مربع بدست آمد. روند مثبت شهر تبریز نشان می‌دهد که آلودگی این شهر در هر سال نسبت به سال پیش افزایش پیدا می‌کند. این نتیجه نیز در توافق با کارهایی است که با داده‌های ایستگاه‌های آلوده‌سنجی انجام شده است. در نتیجه آنچه که در آلودگی هوای این شهر نقش اساسی دارد افزایش شهر نشینی، توسعه کارخانه‌ها و استفاده بی‌رویه از سوخت‌های فسیلی، نیروگاه‌ها و وسایل نقلیه موتوری است. بنابراین برای کاهش آلودگی هوا به منظور حفظ سلامت شهروندان و محیط زیست باید اقداماتی موثر در این شهر صورت گیرد.

منابع:

- احمدی پور، علی، (۱۳۷۴)، مطالعه و بررسی منابع آلوده کننده هوای تبریز، *اداره کل محیط زیست استان آذربایجان شرقی*.
- اسمعیل نژاد، مرتضی، اسکندری ثانی، محمد، بارزمان، سپیده، (۱۳۹۴)، ارزیابی و پهنه‌بندی آلودگی هوای کلانشهر تبریز، *فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای*، ۱۸۶-۱۷۳.
- افتخار اردبیلی، احد، (۱۳۸۹)، توصیف، شناسایی منابع و بررسی تحول و تکامل آلاینده‌های گازی و ذرات معلق در کلان شهر تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه هرمزگان.
- اکبری، معصومه، (۱۳۹۰)، بررسی تغییرات سطح دریای خزر با استفاده از داده‌های ماهواره‌های ارتفاع‌سنجی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان.
- حسین آبادی، محمد، (۱۳۹۳)، اثرات فراستح‌های آب و هوایی و آلاینده‌های هوا بر ازون سطحی و تابش فرابنفش در اصفهان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- جمعی از پژوهشگران، (۱۳۹۴)، آلودگی هوا و سلامت انسان: مروری بر مطالعات و تحقیقات جهانی درباره اثرات آلودگی هوا بر سلامت انسان، به سفارش شرکت کنترل کیفیت هوا.
- جهانبخش اصل، سعید، روشنی، رقیه، (۱۳۹۳)، بررسی شرایط الگوی سینوپتیکی حاکم بر وضعیت‌های وارونگی دمای بسیار شدید شهر تبریز، *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۱۸(۴۸)، ۸۱-۹۶.
- خازینی، لیلا، جمشیدی، مینا، Nadege Blond، (۱۳۹۸)، تخمین میزان انتشار و پراکندگی آلاینده‌های منتشره از ترافیک (مطالعه موردی: کلانشهر تبریز، ایران)، *نشریه مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تبریز*. انتشار آنلاین ۴ اردیبهشت ۱۳۹۸.
- و خورشیددوست، علی محمد، محمدی، غلام حسن، عقلمند، فریبا، حسینی صدر، عاطفه، (۱۳۹۷)، تحلیل آماری- توصیفی ارتباط پارامترهای جوی با آلودگی هوای شهر تبریز، مدیریت مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق)، ۵(۲)، ۲۳۰-۲۱۷.
- دانشگاه تبریز، (۱۳۸۰)، فاز صفر طرح جامع کاهش آلودگی هوای شهر تبریز.
- دین‌پژوه، یعقوب، نیازی، فائقه، مفید، حامد، (۱۳۹۴)، تحلیل روند تغییرات پارامترهای هواشناسی در تبریز، *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۱۴۵-۱۶۹.
- شرعی پور، زهرا، علی‌اکبری بیدختی، عباسعلی، (۱۳۹۳)، بررسی وضعیت NO_2 تروپوسفری ایران طی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۲، *محیط‌شناسی*، ۷۸-۶۵.

- طالبی‌پور، پیمان، جنیدی جعفری، احمد و عتابی، فریده، (۱۳۹۳)، کمی‌سازی بیماری و مرگ‌های قلبی-عروقی و تنفسی منتسب به آلاینده SO_2 هوای شهر تبریز با استفاده از مدل AIRQ در سال ۱۳۹۰، *علوم محیطی*، ۱۲، ۱۰۱-۱۰۴.
- قربانی، رسول، حسین‌زاده دلیر، کریم و شکری فیروزجاه، پری، (۱۳۹۱)، بررسی وضعیت آلودگی هوای شهر تبریز بر اساس تحلیل مولفه‌های اصلی. *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۱۶(۳۹)، ۸۹-۱۰۸.
- محمدی، ناهید، ظروفچی بنیس، خالد، شاکری، مسعود، شاکر خطیبی، محمد، فاتحی فر اسماعیل، محمودیان، امیر، (۱۳۹۶)، تحلیل ارتباط بین ازن سطحی و اکسیدهای نیتروژن در هوای شهر تبریز، *نشریه مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تبریز*، ۱(۴۷)، ۱۱۴-۱۰۷.
- مشهدی‌زاده ملکی، سعید، (۱۳۹۳)، تحلیل فرکانسی سری‌های زمانی درجه حرارت اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.
- David, L. M. and Nair, P. R, (2013). Tropospheric column O_3 and NO_2 over the Indian region observed by Ozone Monitoring Instrument (OMI): Seasonal changes and long term trends, *Atmospheric Environment*, 25-39.
- Ghude, S. D., Beig, G., Fadnavis, S., & Polade, S. D. (2009). Satellite derived trends in NO_2 over the major global hotspot regions during the past decade and their inter-comparison. *Environmental Pollution*, 157(6), 1873-1878.
- <https://aura.gsfc.nasa.gov/omi.htm>.
- Lamsal, L. N., Duncan, B. N., Yoshida, Y., Krotkov, N. A., Pickering, k. E., Streets, D. G., Lu, Z. (2015). US NO_2 trends (2005-2013): EPA Air Quality System (AQS) data versus improved observations from the Ozone Monitoring Instrument (OMI). *Atmospheric Environment*, 110, 130-143.
- Motalleby M, Mazaheri A, Mosayebi M, Takhtfrouzeh SM (2015). Assessing Health Impacts of Air Pollution in Kashan 2011. *Arak Medical University Journal (AMUJ)*.18(98):77-87.
- Pagiatakis, S. D. (1999). Stochastic significance of peaks in the least-squares spectrum. *Journal of Geodesy*, 73(2), 67-78.
- Van Der A, R. J., Peters, D. H. M. U., Eskes, H., Boersma, K. F., Van Roozendaal, M., De Smedt, I., kelder, H. M. (2006). Detection of the



- trend and seasonal variation in tropospheric NO_2 over China. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 111, 12317.
- Vanicek, P. (1971). Further development and properties of the spectral analysis by leastsquares. Astrophysics and Space Science, 12(1), 10-33.
- www.irimo.ir.
- Zhou, Y., Brunner, D., Hueglin, C., Henne, S. and Staehelin, J. (2012). Changes in OMI tropospheric NO_2 columns over Europe from 2004 to 2009 and the influence of meteorological variability, Atmospheric Environment. 46, 482-495.