

نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۲۴، شماره ۷۱، بهار ۱۳۹۹، صفحات ۲۱۹-۲۰۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۱۷

تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۰۳/۲۵

بررسی آلودگی هوای شهر تبریز با استفاده از برآوردهای دیاکسید نیتروژن سنجدنه امی

عاطفه شاه محمدی^۱

علی بیات^۲

سعید مشهدیزاده ملکی^۳

چکیده

آلودگی هوای یکی از مهم‌ترین مشکلات شهرهای بزرگ است که می‌تواند برای سلامت انسان-ها و محیط زیست زیان آور باشد. دیاکسید نیتروژن، یکی از آلاینده‌های مهم آلودگی هوای است که با استفاده از ایستگاه‌های زمینی و برآوردهای ماهواره‌ای پایش می‌شود. در این مطالعه، داده‌های دیاکسید نیتروژن برآورد شده توسط سنجدنه امی 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 1.90×10^{15} ، 2.13×10^{15} ، 3.88×10^{15} و 5.36×10^{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 آلینده 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 $10^{14} \times 1.05$ 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 ابنيه 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).

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

۱ WHO: World Health Organization

اکسیدهای نیتروژن^۱ و گرد و غبار را می‌توان نام برد (افتخار اردبیلی، ۱۵:۱۳۸۹). از بین هفت اکسید نیتروژن، آنچه در آلودگی هوا اهمیت دارد منواکسید نیتروژن و دی اکسید نیتروژن می‌باشد. دی اکسید نیتروژن^۲ گازی قرمز متمایل به قهوه‌ای و دارای بویی تند است (حسین آبادی، ۷:۱۳۹۳). از مهم‌ترین منابع انسانی تولید کننده این آلاینده می‌توان اگزوز 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، آتشفشن‌ها و رعد و برق نیز تولید می‌شوند (شرعی‌بور و بیدختی، ۷۸:۱۳۹۳). دی اکسید 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 دی اکسید نیتروژن توسط سنجنده امی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

واندر^۳ و همکارانش با استفاده از داده‌های ماهواره اسکیوماچی^۴ و گومی^۵ روند دی اکسید نیتروژن در چین را مورد بررسی قرار دادند و نتایج آن‌ها نشان داد که گازهای گلخانه‌ای و دی اکسید نیتروژن در چین در حال افزایش است (Van Der et al., 2006:12317). لامسال^۶ و همکارانش روند دی اکسید نیتروژن برآورد شده توسط سنجنده امی^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 دی اکسید نیتروژن را بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۳ نشان دادند (Lamsal, 2015:130). قوده و همکارانش نیز با استفاده از داده‌های سنجنده اسکیوماچی و گومی نشان دادند که مقدار دی اکسید نیتروژن در کشورهای در حال توسعه در حال افزایش است و عامل مهم در روند افزایش دی اکسید

^۱ - $\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$

^۲ - NO_2

^۳ - Van Der

^۴ - SCIAMACHY: SCanning Imaging Absorption SpectroMeter for Atmospheric CHartographY

^۵ - GOME: Global Ozone Monitoring Experiment

^۶ - Lamsal

^۷- OMI: Ozone Monitoring Instrument

Nitrogen 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 Nitrogen و ازن را در هند با استفاده از داده‌های سنجنده امی بررسی کرده‌اند. طبق نتایج بدست آمده مقادیر بالای دیاکسید NitrogeN در شمال و مقادیر کم آن در جنوب هند وجود داشته و دیاکسید NitrogeN در مناطق اقیانوسی هند، روند افزایشی داشته است (David and Nair, 2013:25) (Zhou, 2012:482). ژو^۳ و همکارانش روند بلند مدت تغییرات دیاکسید NitrogeN در اروپا را بررسی کرده‌اند. نتایج آن‌ها نشان داده که دیاکسید NitrogeN 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 NitrogeN به وسیله برآش 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، وسائل نقلیه موتوری، مصرف سوخت‌های فسیلی، فعالیت صنایع و استفاده نادرست از وسائل گرم کننده 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 وسائل 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

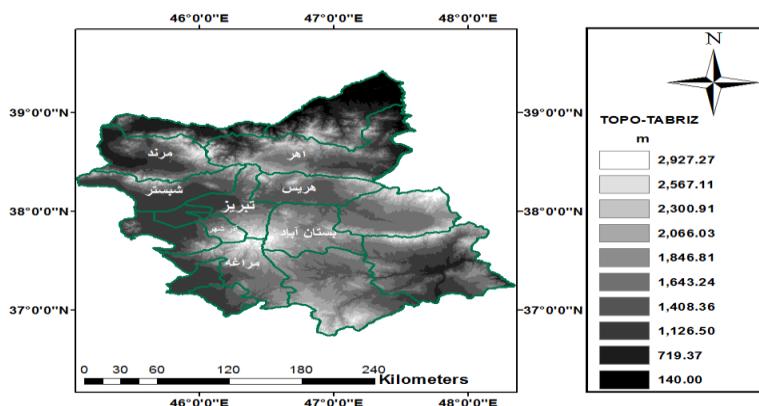
محمدی و همکارانش در سال ۱۳۹۶ با استفاده از داده‌های سه ایستگاه سنجش آلودگی واقع در تبریز نشان دادند که غلظت NO_x با افزایش فعالیت‌های انسانی و حجم ترافیک به بیشترین مقدار خود می‌رسد (محمدی، ۱۳۹۶:۱۰۷). محمد خورشیددوست و همکارانش در سال ۱۳۹۷ با استفاده از تحلیل آماری-توصیفی نشان دادند که ارتباط معناداری 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 سنجنده‌امی 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 سنجنده‌امی با استفاده از برآورش 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 بن‌علی، از سمت شمال شرق به کوه‌های گوزنی و باباگانی، از سمت شرق به کوه‌های ساریداغ و بیلانکوه، از سمت جنوب به دامنه کوه سهند و از سمت غرب به دشت تبریز (کمریند 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 بر حسب 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. پاگیاتاگیس^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، ۱۳۹۳:۱۹). 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.

$$S(\mathbf{w}_j) = \frac{\mathbf{f}^T \mathbf{p}(\mathbf{w}_j)}{\mathbf{f}^T \mathbf{f}} \quad (1)$$

$\mathbf{p}(\mathbf{w}_j)$ از رابطه زیر بدست می‌آید،

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

1 Vanicek

2 least squares spectral analysis

3 Pagiatakis

که در آن ۶ بردار مجھولات می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این مقاله از داده‌های سنجنده اُمی که بر روی ماهواره آئورا نصب شده است، استفاده شده است. آئورا، ماهواره علمی-پژوهشی است که در مدار زمین قرار گرفته و به بررسی لایه ازن، آلودگی هوا و تغییرات اقلیم می‌پردازد. ماهواره آئورا در ارتفاع 705 کیلومتری در مدار خورشید آهنگ^۱ قرار دارد و لحظه گذر آن ساعت ۱۳:۴۵ به وقت محلی می‌باشد. در تاریخ ۹ آگوست ۲۰۰۴ سنجنده اُمی با حمایت موسسه هلندی و سازمان هواشناسی فنلاند روی ماهواره آئورا به منظور داده‌برداری از چند گاز مهم از جمله دی‌اکسید نیتروژن، ازن، دی‌اکسید کلر، فرمالدئید و هوایبزها قرار گرفته است. میدان دید سنجنده اُمی، ۱۱۵ درجه است. از ۱۴ تا ۲۶ 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 ۲۰۰۴ تا می ۲۰۱۶ برای بررسی آلودگی هوای شهر تبریز استفاده شده است. این داده‌ها از سایت aura.gsfc.nasa.gov/omihtm دیده 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:

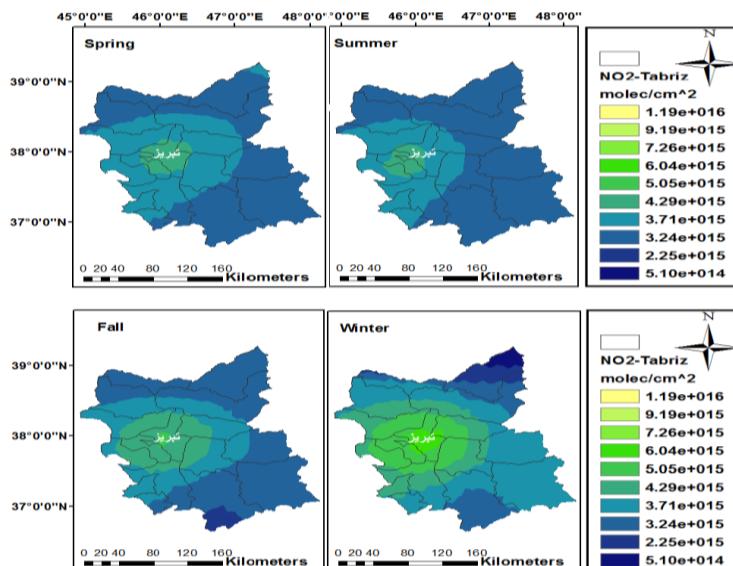
برای بررسی آلودگی هوا ناشی از دی‌اکسید نیتروژن در شهر تبریز از داده‌های سنجنده اُمی استفاده شده است. در شکل ۲ نقشه میانگین دی‌اکسید نیتروژن برای چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان برای بازه زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۶ با نرم افزار آرک جی ای اس برای منطقه مورد مطالعه ترسیم شده است. نوار رنگ برای همه شکل‌ها مقدار

^۱- Sun Synchronous Orbit

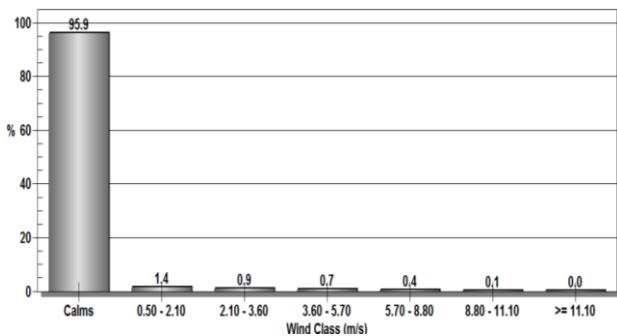
۲- Nadir

کمینه و بیشینه یکسانی دارد. بیشترین مقدار دی اکسید نیتروژن در فصل زمستان و کمترین مقدار آن در فصل تابستان مشاهده می شود.

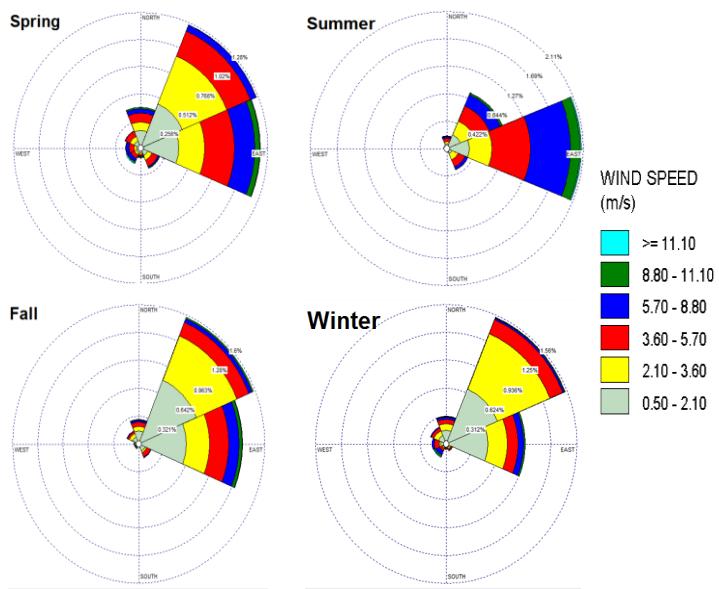
عوامل جغرافیایی مانند تغییرات آب و هوایی و تغییر الگوی جوی، وارونگی دمایی و توپوگرافی از عوامل موثر در افزایش آلودگی هوای شهرها می باشند. دما، باد، رطوبت نسبی، بارش باران، برف و دید افقی پارامترهای مهم برای سنجش میزان آلودگی هوا هستند. برای مطالعه بیشتر رفتار آلودگی هوای ناشی از دی اکسید نیتروژن برای شهر تبریز، از داده های باد، دمای سطحی و دید افقی استفاده شده است که این داده ها از سایت سازمان هوواشناسی کشور گرفته شده است. طبق قوانین سازمان جهانی هوواشناسی هر 3 ساعت بر اساس زمان جهانی پارامترهای هوواشناسی اندازه گیری می شوند. از آنجایی که لحظه گذر سنجنده امی ساعت ۱۳:۴۵ به وقت محلی می باشد، از نزدیک ترین داده های 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 دی اکسید نیتروژن به ترتیب برای چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان برای بازه زمانی اکتبر ۲۰۰۴ تا می ۲۰۱۶. نوار رنگ برای تمامی شکل ها یکسان است.

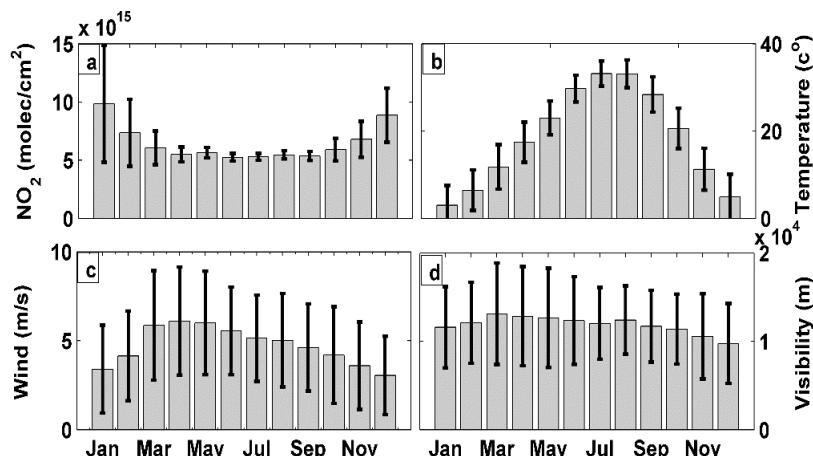


شکل (۳) توزیع فراوانی سرعت باد شهر تبریز در بازه ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۶ با استفاده از داده‌های ایستگاه سینوپتیک.



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.

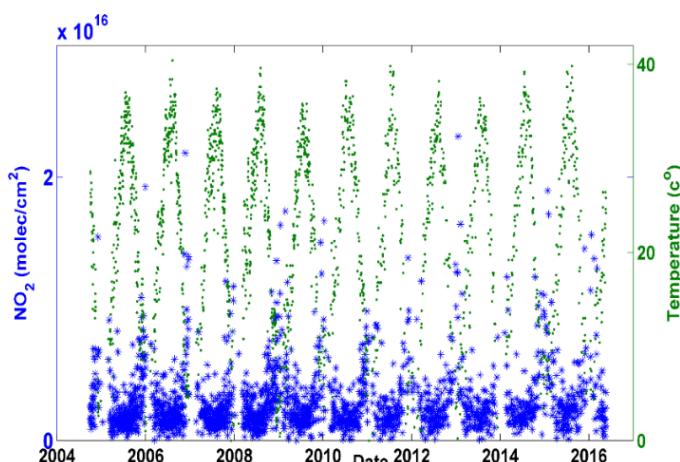
در شکل ۵ میانگین ماهانه مشترک (a) دی اکسید نیتروژن، (b) دمای سطحی، (c) باد و (d) دید افقی شهر تبریز برای بازه اندازه‌گیری 2004 تا 2016 آورده شده است. بیشترین مقدار دی اکسید نیتروژن در ماه ژانویه برابر 9.85×10^{15} مولکول بر سانتی‌متر مربع و کمترین مقدار آن در ماه ژوئن برابر 5.25×10^{15} مولکول بر سانتی‌متر مربع رخ می‌دهد. بیشترین مقدار انحراف معیار دی اکسید نیتروژن نیز در ماه ژانویه برابر 5.02×10^{15} و کمترین مقدار آن در جولای برابر 0.29×10^{15} می‌باشد. در شکل ۵b 5 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 ۵c 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 ۵d نشان می‌دهد که تغییرات چندانی در طول سال وجود نداشته است.



شکل (۵) میانگین ماهانه مشترک (a) دی اکسید نیتروژن، (b) دمای سطحی، (c) باد و (d) دید افقی شهر تبریز برای بازه اندازه‌گیری 2004 تا 2016

شکل ۶ سری زمانی دی اکسید 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 دی اکسید نیتروژن بیشترین و دما کمترین مقدار را دارد و در روزهای میانی سال میلادی بالعکس می‌باشد. بنابراین بین دما و دی اکسید نیتروژن رابطه معکوس برقرار است.

در جدول ۱ میانگین باد، دمای سطحی، دید افقی و دی اکسید نیتروژن و ضربی همبستگی بین دی اکسید 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 دی اکسید



شکل(۶) سری زمانی دی اکسید 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 دی اکسید 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 دی اکسید 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 دی اکسید نیتروژن 0.09 – است که مقدار آن در طول سال تفاوت چندانی نداشته است.

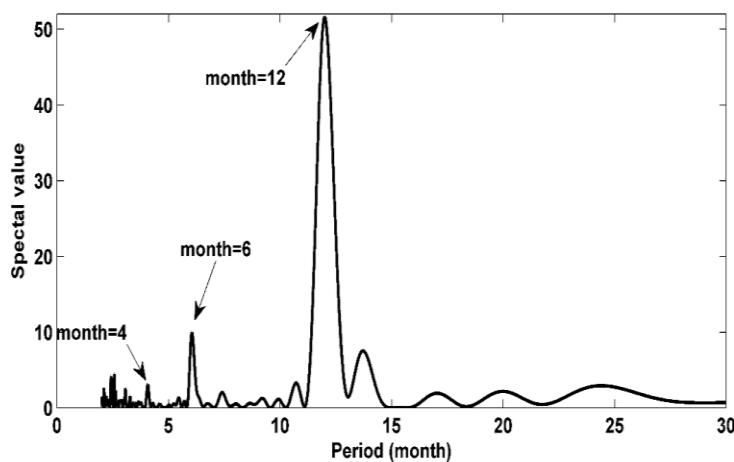
جدول (۱): میانگین باد (m/s)، دما (c^0)، دید افقی (m) 10^4 و ضریب همبستگی بین دی اکسید نیتروژن با باد، دما و دید افقی برای چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان و کل بازه اندازه‌گیری بین اکتبر 2004 تا می 2016 برای شهر تبریز.

| کل | زمستان | پاییز | تابستان | بهار | |
|-------|--------|-------|---------|-------|---|
| ۴,۹۴ | ۴,۱۶ | ۳,۹۰ | ۵,۰۰ | 6.06 | میانگین باد (m/s) |
| ۲۳,۲۵ | ۹,۱۲ | ۱۷,۲۲ | ۳۲,۲۱ | ۲۳,۰۰ | میانگین دما (c^0) |
| 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 دی اکسید نیتروژن ($10^{15} \frac{\text{molec}}{\text{cm}^2}$) |
| -۰,۳۲ | -۰,۲۴ | -۰,۴۸ | ۰,۰۴ | -۰,۱۲ | ضریب همبستگی دی اکسید نیتروژن با دما |
| -۰,۴۹ | -۰,۳۱ | -۰,۳۵ | -۰,۱۶ | -۰,۲۹ | ضریب همبستگی دی اکسید نیتروژن با باد |
| -۰,۰۹ | -۰,۱۰ | -۰,۱۲ | -۰,۰۹ | ۰,۱۱ | ضریب همبستگی دی اکسید نیتروژن با دید افقی |

استخراج روند دی اکسید نیتروژن

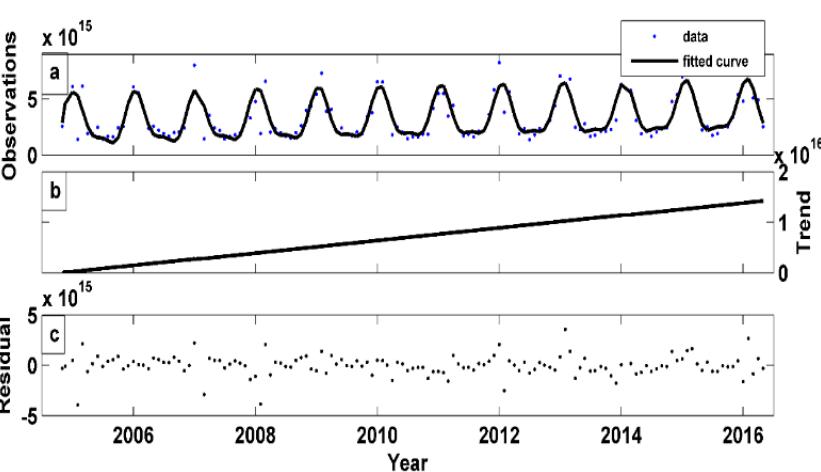
همانطور که گفته شد آنالیز طیفی کمترین مربعات ابزاری ریاضی است برای اینکه سری‌های زمانی در حوزه فرکانس بررسی شود. در اینجا پس از تشکیل سری زمانی میانگین ماهانه دی اکسید نیتروژن بین بازه اندازه‌گیری 2004 تا 2016 ، با استفاده از آنالیز طیفی کمترین مربعات دوره‌های تناوب چهار، شش و دوازده ماهه مشاهده شد. شکل ۷ طیف سری زمانی دی اکسید نیتروژن سنجنده امی برای پیکسل شهر تبریز را نشان می‌دهد.

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



شکل(۷) طیف دی اکسیدنیتروژن سنجنده امی برای پیکسل شهر تبریز.

برای محاسبه روند دی اکسید نیتروژن مولفه‌های معنی‌دار از سری زمانی حذف می‌شوند. پس از حذف مولفه‌های معنی‌دار چهار، شش و دوازده ماهه از سری زمانی دی اکسید نیتروژن، با استفاده از برازش خطی بر روی سری زمانی باقیمانده روند محاسبه می‌شود. شکل ۸، (a) سری زمانی ماهانه دی اکسید 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 دی اکسید نیتروژن برای شهر تبریز در هر سال 1.05×10^{14} مولکول بر سانتی‌متر مربع می‌باشد.



شکل (۸) (a) سری زمانی ماهانه دی اکسید 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 سنجنده‌امی به عنوان شاخص آلودگی هوا و داده‌های هواشناسی (باد، باد و دید افقی) بین بازه زمانی اکتبر 2004 تا می 2016 برای بررسی آلودگی هوای شهر تبریز استفاده شده است. میانگین مقدار دی اکسید نیتروژن در کل بازه مورد مطالعه برابر 2.84×10^{15} مولکول بر سانتی‌متر مربع بدست آمد. میانگین فصلی دی اکسید نیتروژن نشان می‌دهد که شهر تبریز در فصل‌های گرم سال کمترین و در فصل‌های سرد سال بیشترین مقدار را دارد. بیشترین مقدار دی اکسید 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 (اسمیل‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۴؛ قربانی و همکاران، ۱۳۹۱؛ ۸۹:). اسمیل‌نژاد 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 اکسید نیتروژن است. در ادامه مقاله با استفاده از آنالیز طیفی کمترین مربعات نشان داده شد که دوره‌های تنابوب چهار، شش و دوازده ماهه در سری زمانی دی‌اکسیدنیتروژن وجود دارد. پس از حذف این مولفه‌ها از سری زمانی، مقدار روند دی‌اکسید نیتروژن برای 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 آلوده‌سنجدی انجام شده است. در نتیجه آنچه که در آلودگی هوا این شهر نقش اساسی دارد افزایش شهر نشینی، توسعه کارخانه‌ها و استفاده بی‌رویه از سوخت‌های فسیلی، نیروگاه‌ها و وسائل 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*.
- اسماعیل نژاد، مرتضی، اسکندری ثانی، محمد، بارزان، سپیده، (۱۳۹۴)، ارزیابی و پنهانی آلودگی هوای کلانشهر تبریز، *فصلنامه برنامه ریزی منطقه‌ای*، ۱۸۶-۱۷۳.
- افتخار اردبیلی، احمد، (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 ارتفاع‌سنگی*، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان.
- حسین آبدی، محمد، (۱۳۹۳)، *اثرات فراسنچه‌ای آب و هوایی و آلاینده‌های هوای بر ازون سطحی و تابش فرابنفش در اصفهان*، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- جمعی از پژوهشگران، (۱۳۹۴)، آلودگی هوای سلامت انسان: مروی بر مطالعات و تحقیقات جهانی درباره اثرات آلودگی هوای بر سلامت انسان، به سفارش شرکت کنترل کیفیت هوای جهانی.
- 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).
- . ۹۶-۸۱
- 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 محیط‌زیست دانشگاه تبریز. انتشار آنلاین* ۴ اردیبهشت ۱۳۹۸.
- خورشیددوست، علی محمد، محمدی، غلام حسن، عقلمند، فربیا، 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 NO₂ 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 متناسب 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 برنامه ریزی*، ۳۹(۱۶)، ۸۹-۱۰۸.
- محمدی، ناهید، ظروفچی بنیس، خالد، شاکری، مسعود، شاکر خطیبی، محمد، فاتحی‌فر 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, Takhtfroozeh 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 Roozendael, 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.