نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیستم، شماره ۵۸، پاییز ۹۹

بررسی رفتار دی‌اکسید نیتروژن در شهرستان مشهد و ارتباط آن با پارامترهای هواشناسی

دریافت مقاله: ۹۷/۴/۱۷ **پذیرش نهایی:** ۹۷/۹/۱۱

صفحات: ۸۵-۷۱

عاطفه شاهمحمدی: دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران[۱].
Email: atefeh.sh.m@znu.ac.ir
علی بیات: استادیار گروه فیزیک، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
Email: abayat@znu.ac.ir
سعید مشهدی‌زاده ملکی: دانشجوی دکتری نقشه برداری، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران..
Email: saeed.mashhadizadeh@gmail.com

چکیده

توسعه شهرنشینی و آلودگی هوای شهری از مهم‌ترین موضوعاتی است که امروزه در ارتباط با اقلیم مطرح است. گسترش شهرنشینی و توسعه شهرها، افزایش جمعیت، توسعه فعالیت‌های صنعتی و مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی به شدت آلودگی هوا را افزایش داده و میزان آن را بیش از ظرفیت محیط کرده است. در کشور ما، انتشار آلاینده‌های هوا در برخی از کلان شهرها به میزان خطرناکی رسیده است، مشهد در برخی روزهای سال از آلوده ترین شهرهای کشور به شمار می‌رود. دی‌اکسید نیتروژن یکی از شاخص‌های آلودگی هوا است. در این مطالعه از داده‌های دی‌اکسید نیتروژن سنجنده OMI و پارامترهای هواشناسی مانند باد، دمای سطحی و دید افقی برای بازه زمانی ۲۰۰۴ تا می ۲۰۱۶ جهت بررسی آلودگی هوای ناشی از دی‌اکسید نیتروژن شهر مشهد استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهند بیشترین مقدار دی‌اکسید نیتروژن در دوره سرد سال اتفاق می‌افتد. به طوری که بیشترین مقدار دی‌اکسید نیتروژن در ماه ژانویه برابر $5.56 \times 10^{15}\ \frac{molec}{cm^2}$ و کمترین مقدار آن در ماه سپتامبر برابر $4.18 \times 10^{15}\ \frac{molec}{cm^2}$ می‌باشد. انحراف معیار دی‌اکسید نیتروژن نیز نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات در دوره سرد سال رخ می‌دهد. همچنین نتایج نشان دادند باد غالب در شهر مشهد از سمت جنوب می‌باشد و اغلب بادهای این شهر سرعت کم دارند. ضریب همبستگی دی‌اکسید نیتروژن با باد و دمای سطحی به ترتیب برابر -0.36 و -0.57 است که اهمیت بیشتر دما در تغییرات دی‌اکسید نیتروژن شهر مشهد را نشان می‌دهد. همچنین ضریب همبستگی دی‌اکسید نیتروژن با دید افقی برابر -0.15 است که نشان می‌دهد با افزایش آلودگی هوای ناشی از دی‌اکسید نیتروژن دید افقی کاهش می‌یابد. با استفاده از آنالیز طیفی کمترین مربعات دوره‌های تناوب 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، روند محاسبه شد. مقدار روند دی-اکسید نیتروژن در هر سال برای شهر مشهد $2.41 \times 10^{13}\ \frac{molec}{cm^2}$ بدست آمد.

کلید واژگان: دی‌اکسید نیتروژن، آنالیز طیفی کمترین مربعات، سنجنده OMI، پارامترهای هواشناسی، مشهد.

---

۱. **نویسنده مسئول:** دانشگاه زنجان، دانشکده علوم، گروه فیزیک ۰۹۱۰۴۸۳۹۵۴۳

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.58.4.9]
[DOI: 10.29252/jgs.20.58.71]

مقدمه

آلودگی هوا از مهم‌ترین موضوعاتی است که همواره در ارتباط با اقلیم مطرح بوده و جنبه‌های مختلفی از آن مورد توجه قرار گرفته است. سازمان بهداشت، رفاه و آموزش آمریکا آلودگی هوا را چنین تعریف کرده است: « اگر یک یا چند ماده آلوده کننده، مدتی در هوا باشند که به انسان‌ها، گیاهان و حیوانات زیان رسانند یا سبب کاهش راحتی، آرامش و لذایذ زندگی گردند، آن هوا آلوده است» (احدی،۱۳۹۴). منابع تولید آلاینده‌های هوا به دو دسته منابع طبیعی مانند انفجار آتشفشان‌ها، رعد و برق، گسیل ناشی از خاک و منابع انسانی یا مصنوعی مثل منابع صنعتی، شهری، خانگی و کشاورزی تقسیم‌بندی می‌شوند. همچنین آلاینده‌های هوا را می‌توان به دو دسته آلاینده‌های اولیه و ثانویه نیز تقسیم‌بندی نمود. آلاینده‌های اولیه آلاینده‌هایی هستند که به طور مستقیم از منابع تولید کننده منتشر می‌شوند و آلاینده‌های ثانویه در اثر برهم کنش عواملی مانند نورخورشید و رطوبت و واکنش شیمیایی روی آلاینده‌های اولیه تولید شده و وارد جو می‌شوند. آلاینده‌های ثانویه شامل اسید نیتریک، اسید سولفوریک و ازن هستند که از آلاینده‌های اولیه مانند دی‌اکسید گوگرد، اکسیدهای نیتروژن ($NO_X=NO_2+NO$) و ترکیبات هیدروکربنی تولید می‌شوند (بوتکین و کلر،۱۳۸۲). دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) گازی قرمز متمایل به نارنجی نزدیک به قهوه‌ای، دارای نقطه جوش ۲۱,۲ درجه سلسیوس و فشار جزئی که آن را در حالت گازی نگه داشته است (غیاث‌الدین،۱۳۸۵). از مهمترین منابع تولید کننده دی‌اکسید نیتروژن اگزوز اتومبیل‌ها، سوخت‌های فسیلی، نیروگاه‌های برق، دیگ‌های بخار صنعتی، زباله‌سوزها، وسایل گرمایشی، رعد و برق و آتشفشان‌ها را می‌توان نام برد (Samet,2000:5). دی‌اکسید نیتروژن در ترکیب با هیدروکسید رادیکالی، اسید نیتریک تولید می‌کند که در نهایت به صورت باران اسیدی بر سطح زمین می‌بارد (حسین آبادی،۱۳۹۳). همچنین دی‌اکسید نیتروژن با آمونیاک، رطوبت و ترکیبات دیگر به شکل ذرات کوچک واکنش داده و با نفوذ در عمق ریه سبب ایجاد یا تشدید بیماری‌های تنفسی مانند آسم، برونشیت و افزایش سرفه می‌شود. تغییرات بافت کلیه، کبد و قلب، کاهش وزن، حساسیت در برابر باکتری‌ها و عفونت‌های ویروسی از دیگر اثرات این آلاینده بر سلامتی می‌باشد (حاتمی،۱۳۸۳).

شرایط جوی و اقلیمی اثر قابل ملاحظه‌ای در تداوم و تشدید آلودگی هوا دارند. پارامترهای هواشناسی تاثیر گذار بر آلودگی هوا عبارتند از : جهت و سرعت باد، دما، بارش، رطوبت، تابش خورشیدی و دید افقی. طبق گزارش آکادمی ملی ایالات متحده آمریکا دمای جهانی سطح زمین ۰,۴ تا ۰,۸ درجه سانتیگراد افزایش یافته است. از آنجایی‌که گرمایش جهانی هوا تاثیر بسیار زیادی بر حیات در کره زمین دارد، پژوهشگران و محققان نیز به بررسی تغییرات دما در مقیاس‌های زمانی و مکانی پرداخته‌اند (Sheppard,2004:12). باد به دلیل تاثیری که بر دمای هوا می‌گذارد، مهم است و حرکات باد موجب می‌شوند تا اختلالات مربوط به دما، رطوبت و فشار که در جهات مختلف افقی جو وجود دارد، از بین رفته و هوا به حالت تعادل درآید. هنگامی‌که در یک‌جا تعادل برقرار شد، اختلالات جدیدی در جای دیگر به وجود می‌آید بنابراین هیچ وقت تعادل حاصل نمی‌شود و باد یک تعدیل کننده مهم در طبیعت می‌باشد (بنتلی،۱۳۸۲).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.58.4.9]
[DOI: 10.29252/jgs.20.58.71]

وارونگی دمایی[۲] به پدیده‌ای گفته می‌شود که برخلاف حالت طبیعی با افزایش ارتفاع، دما نیز زیاد شود و از عواقب وارونگی دمایی تیرگی هوا است (عباسپور،۱۳۸۹). دید افقی از دیگر کمیت‌های هواشناسی است که در ایستگاه‌های سینوپتیک اندازه‌گیری می‌شود. بنابراین دید افقی نشانه‌ای ساده برای بررسی کیفیت هوا است (ثابت قدم،۱۳۹۲). نتایج مطالعه علیجانی و همکارانش نشان می‌دهد که شدت و فراوانی وقوع وارونگی دمایی در ایام سرد سال به بیشینه مقدار خود می‌رسد و در این دوره ازسال وارونگی دمایی از تداوم و پایداری بیشتری در مقایسه با سایر فصول سال برخوردار است (علیجانی،۱۳۸۸).

در ایران میزان انتشار آلاینده‌های هوا در بسیاری از شهرها از جمله تهران، اصفهان، تبریز، مشهد، شیراز، کرج، اراک و اهواز به سطح خطرناکی رسیده است. در میان شهرهای مختلف کشور، شهر مشهد به دلیل وجود آثار تاریخی و فرهنگی به ویژه مرقد مطهر امام رضا (ع) و وجود ییلاقات خوش آب و هوا یکی از شهرهای پرجاذبه زیارتی سیاحتی و مهاجر پذیر کشور است و این موضوع مشکلات زیادی را در تمام جنبه‌های زندگی شهری به وجود آورده است. به طور میانگین روزی ۱۰ نفر بر اثر بیماری‌های مرتبط با آلودگی هوا در مشهد فوت می‌کنند و این آمار رو به افزایش می‌باشد (عجمی تربقان، ۱۳۹۴). بنابراین این موضوع به یک مشکل حاد در این شهر تبدیل شده است. برای کنترل و کاهش میزان آلودگی و تاثیر سو آن بر سلامتی افراد باید در ابتدا عوامل آلوده کننده هوا و عوامل اقلیمی را شناسایی کرد. به همین منظور در این مقاله به بررسی رفتار و روند دی‌اکسید نیتروژن و برخی پارامترهای هواشناسی در شهر مشهد پرداخته شده است.

ماهواره Aura در مدار خورشید آهنگ[۳] قرار دارد و لحظه گذر آن ساعت ۱۳:۱۵ به وقت محلی است. سنجنده OMI[۴] با حمایت موسسه هلندی و سازمان هواشناسی فنلاند در آگوست ۲۰۰۴ بر روی ماهواره Aura به منظور داده‌برداری از چند گاز مهم از جمله دی‌اکسید نیتروژن، ازن، دی‌اکسید کلر، فرمالدئید و هواویزها قرار گرفته است. از داده‌های روزانه دی‌اکسید نیتروژن سنجنده OMI در بازه زمانی بین اکتبر ۲۰۰۴ تا می ۲۰۱۶ برای بررسی آلودگی هوای شهر مشهد استفاده شده است که مربوط به سایت https://aura.gsfc.nasa.gov/omi.htm می‌باشد. علاوه بر نیتروژن داده‌های باد، دمای سطحی و دید افقی نیز به کار گرفته شد(www.irimo.ir).

لامسال[۵] و همکارانش روند دی‌اکسید نیتروژن اندازه‌گیری شده توسط سنجنده OMI و داده‌های سازمان کیفیت هوا در ایالات متحده را برای بازه ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۳ مورد بررسی قرار دادند. نتایج هر دو اندازه‌گیری ماهواره‌ای و زمینی، روند رو به کاهش دی‌اکسید نیتروژن را بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۳ نشان داد (Lamsal,2015:130). قوده[۶] و همکارانش نیز با استفاده از داده‌های سنجنده SCIAMACHY[۷] و GOME[۸] نشان دادند که مقدار دی‌اکسید نیتروژن در کشورهای در حال توسعه در حال افزایش است و عامل مهم در

[2] Inversion
[3] Sun Synchronous Orbit
[4] Ozone Monitoring Instrument
[5] Lamsal
[6] Ghude
[7] Scanning Imaging Absorption SpectroMeter for Atmospheric CHartographY
[8] Global Ozone Monitoring Experiment

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.58.4.9]
[DOI: 10.29252/jgs.20.58.71]

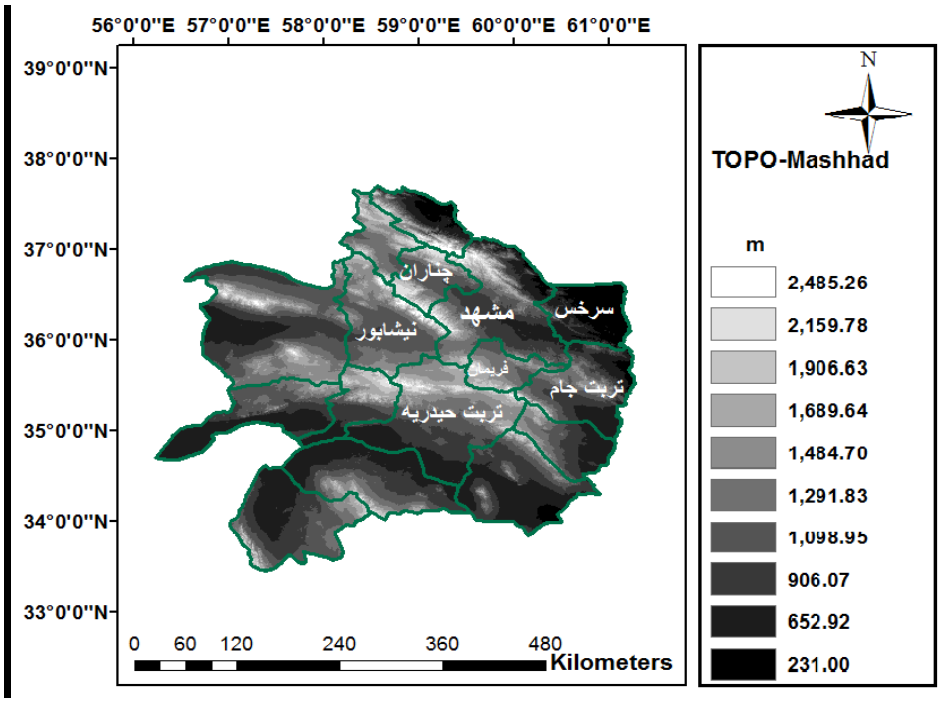
روند افزایش دی‌اکسید نیتروژن در کشورهای خاورمیانه مصرف سوخت فسیلی بوده است (Ghude and et al., 2009). ژو [9]و همکارانش روند بلند مدت تغییرات دی‌اکسید نیتروژن در اروپا را بررسی کرده‌اند، نتایج آن‌ها نشان داده که دی‌اکسید نیتروژن در غرب اروپا کاهش یافته است (Zhou and et al., 2012, 482). اشنایدر و همکارانش با استفاده از داده‌های SCIAMACHY روند دی‌اکسید نیتروژن را برای شهرهای بزرگ جهان در بازه آگوست ۲۰۰۲ تا مارس ۲۰۱۲ مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که در اروپا، آمریکای شمالی و برخی نقاط در شرق آسیا دی‌اکسید نیتروژن کاهش می‌یابد در حالیکه در آسیا، آفریقا و آمریکای جنوبی افزایش یافته است (Schneider and et al, 2015). واندر و همکارانش با استفاده از داده‌های SCIAMACHY و GOME به بررسی روند دی‌اکسید نیتروژن در چین پرداختند و نشان دادند که گازهای گلخانه‌ای و دی‌اکسید نیتروژن در چین در حال افزایش است (Van Der and et al, 2006). روند دی‌اکسید نیتروژن به وسیله برازش یک مدل خطی با در نظر گرفتن اجزا فصلی مورد بررسی قرار گرفته است. ژانگ[10] و همکارانش چشمه‌های اکسیدهای نیتروژن ناشی از فعالیت‌های انسانی و طبیعی در آمریکا را بررسی کرده‌اند و نتایج آن‌ها نشان داده است که برق حاصل از رعد و برق تابستانی در آمریکا نقش مهمی در غلظت اکسیدهای نیتروژن و ازن دارد (Zhang,2003:67). نتایج تحقیق موسوی و معروف نشان داد، دی‌اکسید نیتروژن و تشعشع خورشید در تشکیل مه- دود فتوشیمیایی دخالت دارند که تاثیر صنایع بیشتر از خودروهای داخل شهر بوده است و مه- دود در حومه شهر بیشتر از نقاط داخلی می‌باشد (موسوی،۱۳۸۱:۴۴).

منطقه مورد مطالعه

شهر مشهد با دو میلیون و هشتصد و هفت هزار و چهارصد و شصت و چهار نفر دومین کلان شهر ایران می- باشد (حاتمی،۱۳۹۳،۴۴). وسعت شهر حدود ۳۰۰ کیلومتر مربع است (جهانشیری،۱۳۸۹،۲۵) و در ۱۵.۵۹ تا ۶۰,۳۶ درجه طول جغرافیایی و ۳۵,۴۳ تا ۳۷,۸ درجه عرض جغرافیایی در دشت مشهد واقع شده است (حاتمی،۱۳۹۳،۴۴). این شهر یکی از شهرهای صنعتی، مذهبی و اقتصادی و همچنین جز پر ترددترین شهرهای ایران می‌باشد. رشته کوه هزار مسجد در شمال شرقی، بینالود در غرب و جنوب غربی، شهرستان سرخس در شرق و نیشابور و چناران از غرب این شهر را محاصره کرده‌اند (صادقی،۱۳۹۳:۱). حداقل ارتفاع این منطقه از سطح دریا ۷۵۰ و حداکثر آن ۱۸۰۰ و ارتفاع متوسط آن ۹۴۳ متر است. قسمت اعظم دشت مشهد دارای اقلیمی سرد و خشک می‌باشد. متوسط دمای هوا در ایستگاه هواشناسی مشهد ۱۳,۵ درجه سانتیگراد گزارش شده است. تعداد روزهای یخبندان در طول سال به طور متوسط ۱۰۰ روز است. همچنین شهر مشهد به عنوان پایتخت معنوی ایران سالانه به طور میانگین میزبان حدود بیست میلیون زائر و مسافر می‌باشد؛ که نتیجه آن شلوغی شهر و آلودگی هوا است. بر پایه آمار رسمی موجود، حدود ۴۳۰ هزار دستگاه خودرو در این شهر وجود دارد که بیشتر خودروها از سوخت فسیلی استفاده می‌کنند و در شهرک صنعتی نیز بیشتر از سوخت‌های فسیلی است(شم‌آبادی،۱۳۸۶:۵۴). شکل(۱).

[9] Zhou
[10] Zhang

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.58.4.9]
[DOI: 10.29252/jgs.20.58.71]



شکل(۱). توپوگرافی استان خراسان رضوی و شهرستان مشهد. رنگ سبز محدوده شهرستان‌ها و نوار رنگ ارتفاع برحسب متر از سطح آب‌های آزاد را نشان می‌دهد (منبع: نگارندگان)

روش تحقیق

به مجموعه‌ای از مشاهدات که براساس زمان یا هر کمیت دیگر مرتب شوند سری زمانی می‌گویند. سری زمانی از اجزای تغییرات فصلی، روند و باقی‌مانده تشکیل می‌شود (مشهدی‌زاده،۱۳۹۳:۱۹). مطالعه روند یک پدیده ما را از سیر تاریخی آن مطلع می سازد و سبب توسعه فعالیت‌ها و برنامه‌های مدیریتی مناسب برای آینده می‌شود. با مطالعه روند می‌توان میزان تاثیر عوامل موثر بر آن را شناسایی کرد و اثرات آن در سری زمانی را مشخص نمود. آنالیز سری زمانی به طور کلی به دو بخش تقسیم می‌شود: روش‌هایی که سری زمانی را در قلمرو زمان بررسی می‌کنند و روش‌هایی که سری زمانی را در قلمرو فرکانس تحلیل می‌کنند، روش‌های سری دوم براساس آنالیز طیفی انجام می‌شوند. اغلب روش‌های آنالیز طیفی از الگوریتم FFT[۱۱] استفاده می‌کنند. روش FFT در آنالیز طیفی روش کاملی نیست و دارای محدودیت‌هایی می‌باشد (اکبری، ۱۳۹۰). ونیچک در سال ۱۹۷۱ روش آنالیز طیفی کمترین مربعات را ارائه داد که محدودیت‌های موجود در روش FFT را ندارد (Vanicek,1971:10). از مزیت‌های روش آنالیز طیفی کمترین مربعات اعتبارسنجی آماری می‌باشد که در سال ۱۹۹۹ توسط پاگیاتاکیس ارائه شد و به کمک آن مولفه‌های هارمونیک معنی‌دار شناخته می‌شوند (Pagiatakis,1999:67). برای مطالعه بیشتر به منابع ذکر شده مراجعه شود و برخی از روابط به اختصار در اینجا آورده شده است.

[11] Fast Fourier transform

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.58.4.9]
[DOI: 10.29252/jgs.20.58.71]

$f=[f_1,f_2,f_3,\ldots,f_n]$ به عنوان سری زمانی در نظر گرفته شده است. از رابطه(۱) برای محاسبه طیف کمترین مربعات استفاده شده است و $p(w_j)$ از رابطه(۲) بدست می‌آید که در آن C بردار مجهولات می‌باشد.

$$S(w_j)=\frac{f^T\, p(w_j)}{f^T f} \qquad \text{رابطه(۱)}$$

$$p(w_j)=\hat{c}_1 \sin(w_j t) + \hat{c}_2 \cos(w_j t) \qquad \text{رابطه (۲)}$$

نتایج

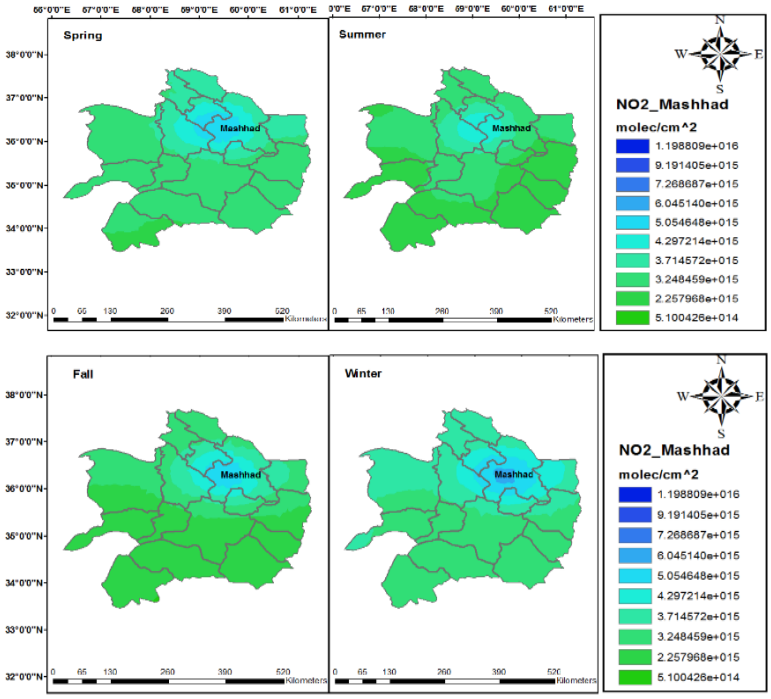
از جمله ماهواره‌هایی که آلاینده‌های هوا را مورد بررسی قرار می‌دهند TOMS[۱۲]، GOME، SCIAMACHY و OMI هستند و قدرت تفکیک مکانی و طیفی OMI در مقایسه با بقیه سنجنده‌ها بهبود یافته است.

AURA ماهواره علمی- پژوهشی است و برای بررسی لایه ازن، آلودگی هوا و تغییرات اقلیم در مدار زمین قرار گرفته است. این ماهواره در ارتفاع ۷۰۵ کیلومتری در مدار خورشید آهنگ [۱۳] قرار دارد و لحظه گذر آن ساعت ۱۳:۴۵ به وقت محلی می‌باشد. سنجنده OMI برای بررسی آلاینده‌هایی مانند دی‌اکسید نیتروژن، ازن، هواویزها و دی‌اکسید کلر در آگوست ۲۰۰۴ بر روی ماهواره AURA قرار گرفت. تصویربرداری آن به گونه‌ای است که از ۱۴ تا ۲۶ کیلومتر مربع در نادیر[۱۴] و ۲۸ تا ۱۶۰ کیلومتر مربع در اطراف قرار دارد و این چنین روزانه با تفکیک مکانی ۰,۲۵ درجه از کل زمین داده‌برداری می‌کنند. برای بررسی آلودگی هوای ناشی از دی-اکسید نیتروژن در شهر مشهد از داده‌های این سنجنده در بازه زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۶ می‌باشد. بررسی غلظت دی‌اکسید نیتروژن سنجنده OMI در شهر مشهد نرم‌افزار ARCGIG بوده است و داده‌ها به صورت فصلی مورد بررسی قرار گرفته است. شکل(۲) میانگین دی‌اکسید نیتروژن به ترتیب برای چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان برای استان خراسان رضوی را در بازه زمانی اکتبر ۲۰۰۴ تا می ۲۰۱۶ نشان می‌دهد و نوار رنگ برای تمامی شکل‌ها یکسان است. همانطور که مشاهده می‌کنیم در استان خراسان رضوی بیشترین غلظت دی‌اکسید نیتروژن شهرستان مشهد بوده است. به طوری که در فصل تابستان بیشینه مقدار آن در غرب شهرستان مشهد بوده است و مقایسه شکل در فصل بهار و پاییز نشان می‌دهد که در برخی مکان‌ها مقدار دی‌اکسید نیتروژن در فصل بهار بیشتر از پاییز بوده است و در این فصل‌ها نیز غرب شهرستان آلوده‌تر می‌باشد. غلظت این شاخص آلودگی در زمستان بیشتر از بقیه فصل‌ها می‌باشد و در این فصل به سمت مرکز شهر کشیده شده است. بنابراین می‌توان گفت که در استان خراسان رضوی، شهرستان مشهد نسبت به شاخص دی‌اکسید نیتروژن آلوده‌تر از بقیه شهرستان‌ها بوده است و بیشینه مقدار آن در غرب و مرکز این شهرستان می‌باشد. بیشینه مقدار دی‌اکسید نیتروژن در فصل زمستان و کمینه مقدار آن در فصل تابستان مشاهده می‌شود. همچنین بررسی روند آلودکی هوا در طی سال‌های قبل نشان داده که بیشترین سطح آلودگی در فصل‌های پاییز و زمستان و ماه‌های آذر تا بهمن رخ داده است؛ که آن را می‌توان به پدیده وارونگی هوا و افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی در طی فصل‌های پاییز و زمستان نسبت داد. گلریز ضیایی با توجه به نقشه‌های آلودگی نشان داده است که

[12] Total Ozone Mapping Spectrometer
[13] Sun Synchronous Orbit
[14] Nadir

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.58.4.9]
[DOI: 10.29252/jgs.20.58.71]

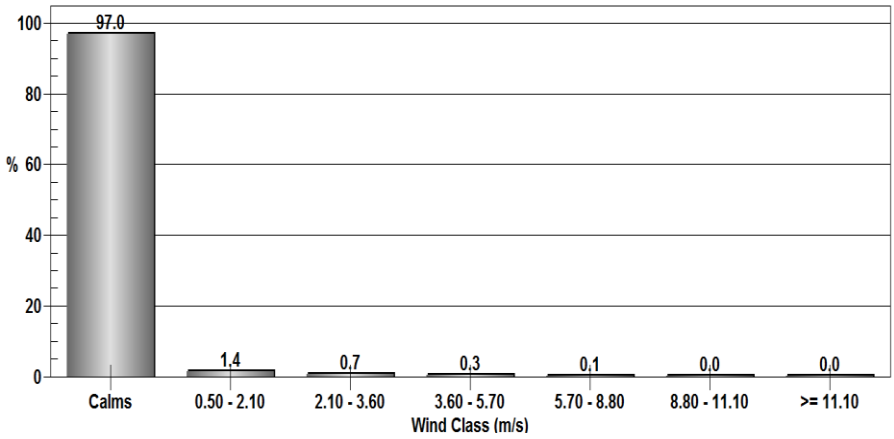
بیشترین تراکم آلودگی در مناطق مرکزی شهر بوده و با حرکت به سمت حومه از شدت آن کاسته شده است(گلریز ضیایی،۱۳۸۹:۱).



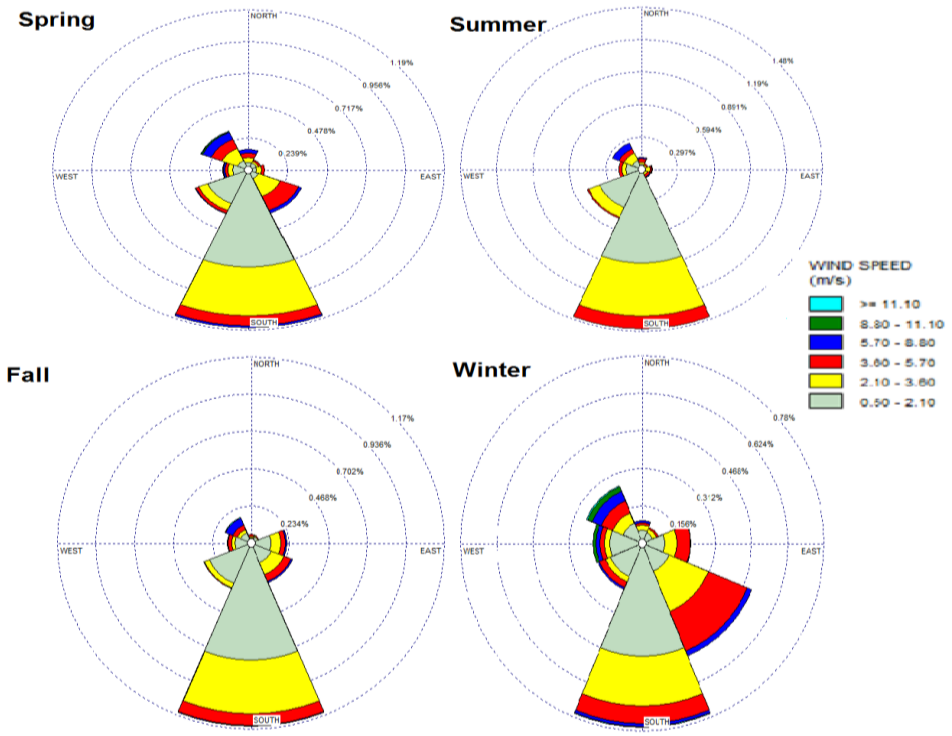
شکل(۲). میانگین دی‌اکسید نیتروژن به ترتیب برای چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان برای بازه زمانی اکتبر ۲۰۰۴ تا می ۲۰۱۶. نوار رنگ برای تمامی شکل‌ها یکسان است (منبع: نگارندگان).

برای بررسی دقیق‌تر از داده‌های باد، دمای سطحی و دید افقی ایستگاه سینوپتیک مشهد که هر ۳ ساعت یکبار براساس زمان جهانی گزارش شده است، برای بررسی ارتباط بین آلودگی هوای ناشی از دی‌اکسید نیتروژن برای بازه زمانی ۲۰۰۴ تا می ۲۰۱۶ استفاده شده است. از نرم افزار WRPLOT veiw جهت ترسیم گلباد بوده است. شکل(۳) نمودار توزیع فراوانی باد را نشان می‌دهد که محور افقی کلاس‌های باد بر حسب متر برثانیه و محور عمودی درصد را نشان می‌دهند. تقریبا 97 درصد بادهای شهر مشهد سرعتی کمتر از ۰٫۵ متر بر ثانیه دارند که به آن‌ها بادهای آرام می‌گویند. شکل(۴) جهت وزش باد به ترتیب برای چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان را نشان می‌دهد. مشاهده می‌کنیم باد غالب در شهر مشهد از سمت جنوب می‌وزد و در فصل زمستان علاوه بر باد جنوبی باد جنوب شرقی نیز دیده می‌شود.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.58.4.9]
[DOI: 10.29252/jgs.20.58.71]

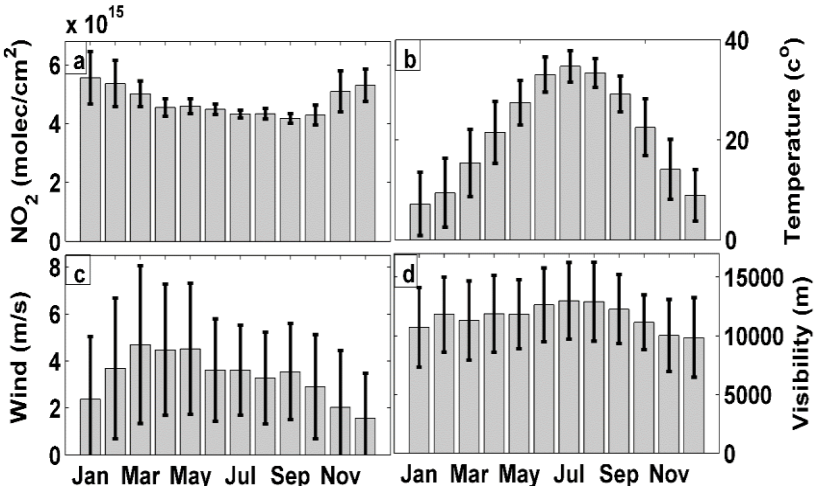


شکل(۳). توزیع فراوانی سرعت باد شهر مشهد در بازه ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۶ با استفاده از داده‌های ایستگاه سینوپتیک (منبع: نگارندگان).



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

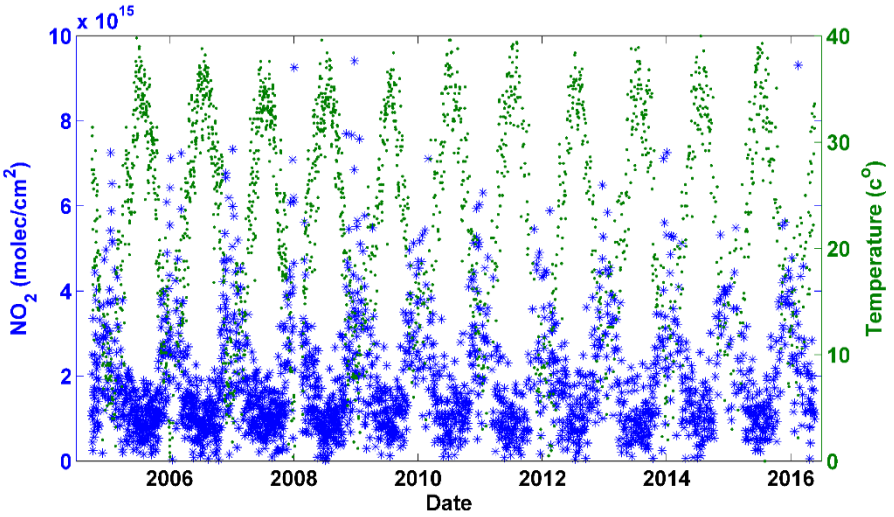
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.58.4.9]
[DOI: 10.29252/jgs.20.58.71]



شکل(۵). میانگین ماهانه مشترک (a) دی‌اکسید نیتروژن، (b) دمای سطحی، (c) باد و (d) دید افقی شهر مشهد برای بازه اندازه‌گیری ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۶ (منبع: نگارندگان)

میانگین ماهانه مشترک (a) دی‌اکسید نیتروژن، (b) دمای سطحی، (c) باد و (d) دید افقی شهر مشهد برای بازه اندازه‌گیری ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۶ در شکل(۵) آورده شده است. بیشترین مقدار دی‌اکسید نیتروژن در ماه ژانویه برابر $5.56 \times 10^{15}\ \frac{molec}{cm^2}$ و کمترین مقدار آن در ماه سپتامبر برابر $4.18 \times 10^{15}\ \frac{molec}{cm^2}$ می‌باشد. انحراف معیار دی‌اکسید نیتروژن در زمستان بیشترین مقدار و در تابستان کمترین مقدار را دارد. میانگین ماهانه مشترک دمای سطحی برای شهر مشهد در شکل 5b نشان می‌دهد که در ماه‌های میانی سال میلادی دما بیشترین مقدار را دارد و انحراف معیار دما در فصل‌های سرد سال بیشتر می‌باشد. شکل 5c میانگین ماهانه مشترک باد نشان می‌دهد، بیشترین مقدار در ماه‌های ژوئن و جولای و کمترین مقدار آن در ماه دسامبر اتفاق می‌افتد. انحراف معیار باد در ماه‌های مارس و آوریل بیشترین و در ماه جولای کمترین مقدار را دارد. در شکل 5d میانگین ماهانه مشترک دید افقی آورده شده است که نشان می‌دهد دید افقی در تمام ماه‌ها تقریبا مقدار یکسانی دارد و انحراف معیار نیز تغییرات قابل ملاحظه‌ای را نشان نمی‌دهد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.58.4.9]
[DOI: 10.29252/jgs.20.58.71]



شکل(۶). سری زمانی دی‌اکسید نیتروژن و دما در بازه زمانی بین اکتبر ۲۰۰۴ تا می ۲۰۱۶ برای شهر مشهد (منبع: نگارندگان).

سری زمانی دی‌اکسید نیتروژن و دما در بازه زمانی بین اکتبر ۲۰۰۴ تا می ۲۰۱۶ برای شهر مشهد در شکل(۶)، رابطه معکوس بین دما و تغییرات دی‌اکسید نیتروژن را نشان می‌دهد. به طوری که در روزهای سرد سال یعنی در روزهای ابتدایی و انتهایی هر سال میلادی دی‌اکسید نیتروژن بیشترین و دما کمترین مقدار را دارد و در روزهای گرم سال یعنی در روزهای میانی هر سال میلادی بالعکس می‌باشد.

جدول(۱). میانگین و انحراف معیار باد ($\frac{m}{s}$)، دما (c^o)، دید افقی (m)، دی‌اکسید نیتروژن ($\frac{mole\,c}{cm^2}$)، 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 مشهد (منبع: نگارندگان)

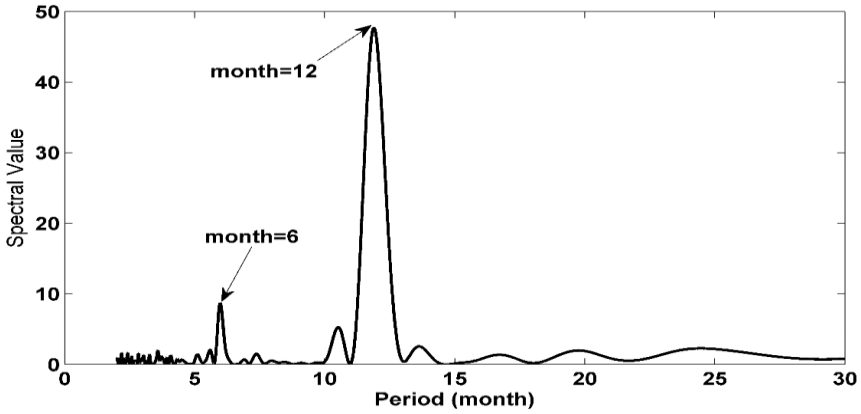
مشهد	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	کل
میانگین باد	۴,۵۹	۵,۷۸	۲,۷۷	۲,۶۳	۴,۱۷
میانگین دما	۲۶,۷۰	۳۲,۹۷	۱۹,۰۶	۱۲,۱۵	۲۴,۱۲
میانگین دید افقی(10^4)	۱,۲۰	۱,۲۷	۱,۰۵	۱,۰۹	۱,۱۷
میانگین دی‌اکسید نیتروژن(10^{15})	۱,۳۲	۰,۹۷	۲,۱۶	۲,۹۳	۱,۷۱
انحراف معیار باد	۲,۲۱	۲,۲۸	۱,۹۶	۲,۱۵	۲,۵۳
انحراف معیار دما	۶,۰۸	۳,۶۲	۷,۱۹	۵,۸۴	۹,۴۹
انحراف معیار دید افقی(10^3)	۳,۲۷	۳,۲۸	۲,۹۶	۳,۳۳	۳,۳۴
انحراف معیار دی‌اکسید نیتروژن(10^{15})	۰,۷۰	۰,۴۸	۱,۳۵	۱,۵۷	۱,۲۶
ضریب همبستگی دی‌اکسید نیتروژن با دما	-۰,۳۰	-۰,۱۰	-۰,۴۲	-۰,۰۵	-۰,۵۷
ضریب همبستگی دی‌اکسید نیتروژن با باد	-۰,۲۰	-۰,۰۴	-۰,۲۵	-۰,۰۴	-۰,۳۶
ضریب همبستگی دی‌اکسید نیتروژن با دید افقی	۰,۰۰	۰,۰۹	-۰,۰۷	-۰,۰۳	-۰,۱۵

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.58.4.9]
[DOI: 10.29252/jgs.20.58.71]

در جدول(۱) میانگین و انحراف معیار 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 ۲۰۰۴ تا می ۲۰۱۶ آورده شده است. کمترین مقدار باد در فصل زمستان و بیشترین مقدار آن در فصل تابستان مشاهده می‌شود. انحراف معیار باد در فصل تابستان بیشترین و در پاییز کمترین مقدار را دارد. برای میانگین دمای سطحی مشاهده می‌کنیم که بیشترین مقدار در تابستان و کمترین مقدار آن در فصل زمستان رخ می‌دهد به طوری که انحراف معیار آن در پاییز بیشترین و در تابستان کمترین مقدار را دارد. میانگین دید افقی برای شهر مشهد برای بازه مورد مطالعه در تابستان بیشترین و در پاییز کمترین مقدار مشاهده می‌شود. تقریبا انحراف معیار دید افقی در تمامی فصل‌ها مقدار نزدیک بهم دارند و تغییرات چندانی را نشان نمی‌دهند. بیشترین مقدار میانگین دی‌اکسید نیتروژن در فصل‌های زمستان و پاییز و کمترین مقدار آن در فصل‌های بهار و تابستان رخ می‌دهد. انحراف معیار آن نیز در فصل‌های سرد بیشتر از فصل‌های گرم می‌باشد؛ در زمستان دمای هوا کمتر بوده و جو پایدارتر می‌باشد و اغلب در زمستان هوا آلوده‌تر است و در برخی از روزها بارش باران یا برف موجب تمیز شدن جو می‌شوند. بنابراین تغییرات جو در زمستان از لحاظ آلودگی هوا زیاد است که موجب بالا بودن انحراف معیار دی‌اکسید نیتروژن در این فصل می‌شوند. ضریب همبستگی دی‌اکسید نیتروژن با باد و دمای سطحی به ترتیب ۰٫۳۶- و ۰٫۵۷- بدست آمد که اهمیت بیشتر دما را برای شهر مشهد نشان می‌دهد. همچنین ضریب همبستگی دید افقی برای این شهر ۰٫۱۵- می‌باشد که نشان می‌دهد با افزایش آلودگی هوای ناشی از دی‌اکسید نیتروژن دید افقی کاهش می‌یابد.

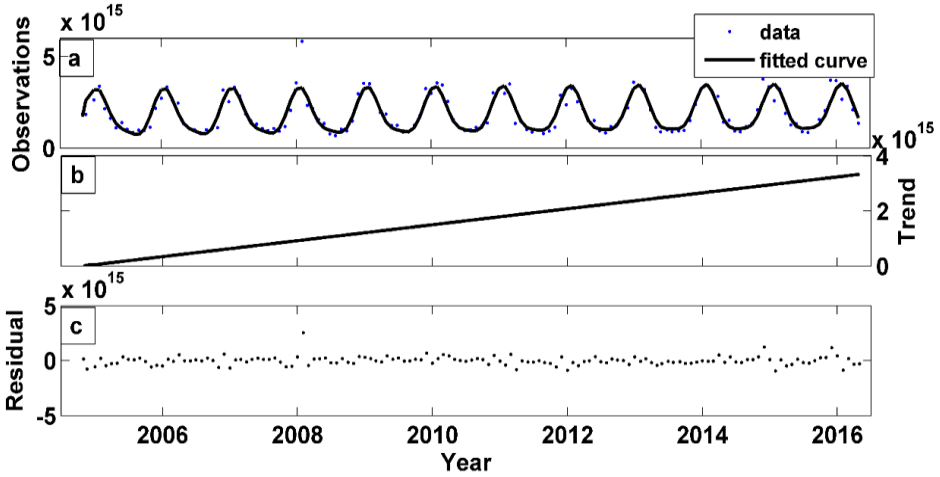
استخراج روند دی‌اکسید نیتروژن

برای شناخت خصوصیات و رفتار توابع، می‌توان آن‌ها را در فضای فرکانس بررسی کرد. 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 شش و دوازده ماهه مشاهده شد. طیف سری زمانی دی‌اکسید نیتروژن برای پیکسل بالاسر شهر مشهد در شکل(۷) آورده شده است. محور عمودی مقدار طیف بدست آمده از روش آنالیز طیفی کمترین مربعات و محور افقی دوره تناوب بر حسب ماه را نشان می‌دهد. با کمک تست آماری پاگیاتاکیس دوره‌های تناوب شش و دوازده ماهه در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار شناخته شدند.



[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.58.4.9]
[DOI: 10.29252/jgs.20.58.71]

شکل(۷). طیف پیکسل بالاسر شهر مشهد (منبع: نگارندگان)



شکل(۸). (a) سری زمانی ماهانه دی‌اکسید نیتروژن اندازه‌گیری شده برای پیکسل متناظر شهر مشهد و سری زمانی مدل شده آن، (b) روند و (c) سری زمانی باقیمانده (منبع: نگارندگان)

برای محاسبه روند دی‌اکسید نیتروژن مولفه‌های معنی‌دار از سری زمانی حذف می‌شوند. پس از حذف مولفه‌های معنی‌دار شش و دوازده ماهه از سری زمانی دی‌اکسید نیتروژن، با استفاده از برازش خطی بر روی سری زمانی باقیمانده روند محاسبه می‌شود. در شکل(۸)، (a) سری زمانی میانگین ماهانه دی‌اکسید نیتروژن اندازه‌گیری شده برای پیکسل بالاسر شهر مشهد و سری زمانی مدل شده آن، (b) روند و (c) سری زمانی باقیمانده برای بازه اکتبر ۲۰۰۴ تا می ۲۰۱۶ ترسیم شده است. مقدار روند دی‌اکسید نیتروژن برای شهر مشهد در هر سال $2.41 \times 10^{13}\ \frac{molec}{cm^2}$ می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله از داده‌های دی‌اکسید نیتروژن سنجنده OMI و پارامترهای هواشناسی مانند باد، دمای سطحی و دید افقی به منظور بررسی آلودگی هوای ناشی از دی‌اکسید نیتروژن شهر مشهد در بازه زمانی اکتبر ۲۰۰۴ تا می ۲۰۱۶ استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهند بیشترین مقدار دی‌اکسید نیتروژن در ماه ژانویه برابر $5.56 \times 10^{15}\ \frac{molec}{cm^2}$ و کمترین مقدار آن در ماه سپتامبر برابر $4.18 \times 10^{15}\ \frac{molec}{cm^2}$ رخ می‌دهد. بررسی پارامترهای هواشناسی نشان می‌دهند که دی‌اکسید نیتروژن با دما رابطه معکوس دارد به طوری که در ماه‌های سرد (گرم) سال دما کاهش (افزایش) می‌یابد و دی‌اکسید نیتروژن بیشتر (کمتر) می‌شود. در شهر مشهد در فصل تابستان باد بیشترین مقدار خود را دارد و در فصل زمستان کمترین مقدار است و اغلب بادهای مشهد آرام هستند و باد غالب این شهر از سمت جنوب می‌باشد. ضریب همبستگی دی‌اکسید نیتروژن با باد و دمای سطحی به ترتیب برابر -0.36 و -0.57 است که نشان می‌دهد دما در افزایش آلودگی ناشی از دی-اکسید نیتروژن نقش مهم‌تری نسبت به باد دارد. همانطور که گفته شد از دیگر عواملی که در آلودگی هوا موثر هستند توپوگرافی می‌باشد. شهر مشهد از شمال، جنوب و جنوب غربی توسط کوه‌ها محاصره شده است و

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.58.4.9]
[DOI: 10.29252/jgs.20.58.71]

همچنین دارای آب و هوایی سرد و خشک نیز می‌باشد؛ همه این عوامل سبب وارونگی دمایی در این شهر می‌شود. هنگامی که وارونگی دمایی رخ می‌دهد آلاینده‌های هوا نمی‌توانند از محیط خارج شوند و در این صورت تهویه طبیعی به خوبی انجام نمی‌شوند به عبارتی آلاینده‌ها در بالای هوای شهر باقی می‌مانند که سبب تیرگی هوا می‌شوند. یکی از راه‌های ساده برای تشخیص آلودگی هوا دید افقی می‌باشد و ضریب همبستگی دی‌اکسید نیتروژن با دید افقی برابر ۰٫۱۵- است. از طرفی مشهد به عنوان اولین کلان شهر مذهبی سالانه میلیون‌ها زائر از سراسر ایران و جهان دارد و این باعث می‌شود در ایامی از سال خودروها در شهر افزایش قابل توجهی داشته باشند و آلودگی هوا ناشی از اگزوز خودروها که بیشترین سوخت آن‌ها، سوخت فسیلی است افزایش یابد. اکثر مناطق صنعتی نیز در شهر مشهد از سوخت فسیلی استفاده می‌کنند. در نتیجه همه این عوامل در افزایش آلودگی هوا در شهر مشهد موثر هستند و جهت کاهش بیماری‌های ناشی از آلودگی هوا و حفظ سلامت محیط زیست باید اقدامات قابل توجهی صورت گیرد. از اقداماتی که جهت کاهش آلودگی هوا می‌توان انجام داد درختکاری می‌باشد. به طوری که جوشنی و همکارانش به ارزیابی و پیش‌بینی وضعیت فضای سبز مشهد پرداختند و نتایج آن‌ها نشان داد که شهر مشهد برای ایجاد تعادل در مرکز شهر و سایر مناطق نیازمند نگهداری فضاهای سبز و توسعه آن است (جوشنی، ۱۳۹۱). با استفاده از آنالیز طیفی کمترین مربعات نیز دوره‌های تناوب شش و دوازده ماهه بدست آمدند. پس از حذف این مولفه‌ها از سری زمانی میانگین ماهانه دی‌اکسید نیتروژن و برازش خطی روی سری زمانی باقیمانده روند محاسبه شد. مقدار روند دی‌اکسید نیتروژن برای شهر مشهد در هر سال برابر $2.41 \times 10^{13}\ \frac{molec}{cm^2}$ است. شکوهیان و همکارانش نیز تغییرات غلظت آلاینده‌های شاخص هوا طی ۳۶ ماه منتهی به سال ۱۳۹۶ را برای شهر مشهد مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد غلظت آلاینده دی‌اکسید نیتروژن در شهر مشهد برای بازه مورد مطالعه با گذشت زمان افزایش یافته است (شکوهیان و همکاران، ۱۳۹۶). مطالعه میری و همکارانش تحت عنوان بررسی روند تغییرات شاخص کیفیت بهداشتی هوا (AQI) در شهر مشهد با سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) نشان دادند که منشا اصلی آلودگی هوا در این شهر تردد وسایل نقلیه می‌باشد و در اوایل بهار نیز منشا تولید آلاینده‌ها، سوخت مورد نیاز برای گرمایش منازل و اماکن عمومی می‌باشد و بیشترین آلاینده ذرات معلق و دی‌اکسید نیتروژن بوده است (میری و همکاران، ۱۳۹۵).

منابع

احدی، لیلا. (۱۳۹۴). **مطالعه آلاینده‌های جو-آستانه سلامتی در شهر تبریز طی دوره آماری ۲۰۰۴- ۲۰۱۳**. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان.

اکبری، معصومه. (۱۳۹۰). **بررسی تغییرات سطح دریای خزر با استفاده از داده‌های ماهواره‌های ارتفاع‌سنجی**، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان، ۱۳۹۰.

بنتلی، ای ین. (۱۳۸۲). **محیط‌های پاسخده**، انتشارات دانشگاه علم و صنعت، ترجمه مصطفی بهزادپور.

بوتکین، دانیل؛ کلر، ادوارد، ترجمه وهاب زاده. (۱۳۸۲). **شناخت محیط زیست (زمین سیاره‌ی زنده)**، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.58.4.9]

[DOI: 10.29252/jgs.20.58.71]

ثابت قدم، سمانه؛ احمدی گیوی، فرهنگ؛ گلستانی، یحیی؛ علی‌اکبری بیدختی، عباسعلی. (۱۳۹۲). **ارتباط آلاینده‌های شهری با دید افقی منطقه تهران در سال** ۲۰۰۸، مجله فیزیک زمین و فضا.

جوشنی، زینب.(۱۳۹۱). **ارزیابی و پیش‌بینی وضعیت فضای سبز شهری با استفاده از مفاهیم بوم شناسی سیمای سرزمین (مطالعه موردی: مشهد – سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۴۰)**، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

جهانشیری، مهین. (۱۳۸۹). **بررسی آماری و سینوپتیکی آلودگی هوای مشهد**، دانشگاه تربیت معلم سبزوار.

حاتمی، حسین. (۱۳۸۳). **کتاب جامع بهداشت عمومی**، انتشارات ارجمند.

حاتمی، مریم. (۱۳۹۳). **ارزیابی تاثیر ترکیب و توزیع فضایی لکه‌های سبز شهری بر آلودگی هوا (مطالعه موردی شهر مشهد)، پایان نامه کارشناسی ارشد**، دانشگاه یزد، ۱۳۹۳.

حسین آبادی، محمد. (۱۳۹۳). **اثرات فراسنج‌های آب و هوایی و آلاینده‌های هوا بر ازن سطحی و تابش فرابنفش در اصفهان**. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان.

شکوهیان، محمد؛ صدیق، وحیده؛ عمرانی، نیما.(۱۳۹۶). **آنالیز روند منحنی تغییرات غلظت آلاینده‌های شاخص هوا طی ۳۶ ماه منتهی به سال ۱۳۹۶ و بررسی اقلیم بر شاخص‌های PSI و AQI؛ مطالعه موردی: شهر مشهد،ایران**. سومین همایش ملی و سومین همایش بین‌المللی معماری، عمران و شهرسازی.

شم‌آبادی، احمد. (۱۳۸۶). **حاشیه نشینی در کلان شهر مشهد با تاکید بر مدیریت شهری**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

صادقی، سلیمان؛ مفیدی، عباس؛ جهانشیری، مهین؛ دوستان، رضا. (۱۳۹۳). **نقش الگوهای گردش مقیاس منطقه‌ای جو بر وقوع روزهای بسیار آلوده در شهر مشهد**، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، **۱**:۱۰-۳۵.

عباسپور، مجید. (۱۳۸۹). **مدل‌سازی آلودگی هوا**، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف.

عجمی تربقان، نرگس. (۱۳۹۴). **تاثیر عناصر اقلیمی و آلودگی هوا بر میزان مرگ و میر ناشی از سکته قلبی در شهر مشهد**. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد.

علیجانی، بهلول؛ نجفی نیک، زهرا (۱۳۸۸). **بررسی الگوهای سینوپتیکی اینورژن در مشهد با استفاده از تحلیل عاملی**، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای.

غیاث‌الدین، منصور. (۱۳۸۵). **آلودگی هوا- منابع اثرات و کنترل**، انتشارات دانشگاه تهران.

گلریز ضیایی، زهرا؛ صادقی حصار، حمید؛ معتمدی، محمد؛ ژاله رجبی، میترا. (۱۳۸۹). **پیش‌بینی، ارزش‌گذاری و ترسیم نقشه آلودگی هوای شهر مشهد: مطالعه موردی گاز منوکسید کربن**، صص ۱-۱۱.

مشهدی‌زاده ملکی، سعید. (۱۳۹۳). **تحلیل فرکانسی سری‌های زمانی درجه حرارت اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی ایران**، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، ۱۳۹۳.

موسوی، محمد؛ معروف، محمد صادق؛ نائینی، امین. (۱۳۸۱). **بررسی پتانسیل تشکیل مه دود فتوشیمیایی ناشی از صنایع در مشهد**، نشریه نیوار. **۲۰**: ۴۴- ۴۵.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.58.4.9]

[DOI: 10.29252/jgs.20.58.71]

میری، محمد؛ محمدی، امیر؛ نعمتی، سپیده؛ عبدالله نژاد، علی؛ نیکونهاد؛ علی. (۱۳۹۵). **بررسی روند تغییرات شاخص کیفیت بهداشتی هوا (AQI) در شهر مشهد با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مجله تحقیقات سلامت در جامعه**، ۱۳۹۵.

Ghude, S. D., Van der A, R. J., Beig, G., Fadnavis, S. (2009). **Trends in *NO*2 over the major global hotspot**.
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 NO2 trends (2005-2013): EPA Air Quality System (AQS) data versus improved observations from the Ozone Monitoring Instrument (OMI)**. Atmospheric Environment, **110**, 130-143.

Pagiatakis, S. D. (1999). **Stochastic significance of peaks in the least- squares spectrum. Journal of Geodesy**, **73**(2), 67-78.

Samet JM and et al. **The National Morbidity, Mortality and Air Pollution Study**. Health Effects Institute.

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.

Shepard, Ch.(2004). **Sea surface temperature 1871-2099 in 14 cells around the United Kingdom**. Marine Pollution Bulletin.

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 NO2 over China**. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 111(D12).

Vanicek, P. (1971). **Further development and properties of the spectral analysis by leastsquares**. Astrophysics and Space Science, **12**(1), 10-33.
www.irimo.ir.

Zhang, R., Tie, X., and Bond, D. W. (2003). **Impacts of anthropogenic and natural NOx sources over the U.S. on tropospheric chemistry, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS), 100, 1505-1509.Pagiatakis, S. D. (1999). Stochastic significance of peaks in the least- squares spectrum**. Journal of Geodesy, **73**(2), 67-78.

Zhou, Y., Brunner, D., Hueglin, C., Henne, S. and Staehelin, J.(2012). **Changes in OMI tropospheric NO2 columns over Europe from 2004 to 2009 and the influence of meteorological variability**, Atmospheric Environment, **46**, 482-495.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.58.4.9]
[DOI: 10.29252/jgs.20.58.71]