نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و دوم، شماره ۶۷، زمستان ۱۴۰۱

بررسی آلودگی هوای شهر اصفهان براساس آلاینده دی‌اکسید نیتروژن اندازه‌گیری شده با سنجنده اُمی

دریافت مقاله: ۹۷/۱۱/۱۰ **پذیرش نهایی:** ۹۸/۶/۲۱

صفحات: ۵۵-۴۱

عاطفه شاه‌محمدی: کارشناس ارشد فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
Email: atefeh.sh.m@znu.ac.ir
علی بیات: استادیار گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران[1].
Email: abayat@znu.ac.ir
سعید مشهدی‌زاده ملکی: دانشجوی دکتری نقشه برداری، دانشکده عمران، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.
Email: Saeed.mashhadizadeh@trn.ui.ac.ir

چکیده

یکی از مهم‌ترین مشکلات شهرهای بزرگ آلودگی هوا است که می‌تواند برای سلامت انسان‌ها و محیط زیست زیان‌آور باشد. اصفهان نیز یکی از شهرهای آلوده ایران است. موقعیت جغرافیایی آن، سرعت کم باد، فعالیت-های صنعتی، حمل و نقل، کشاورزی و دیگر فعالیت‌های انسانی شرایط بحرانی آلودگی هوا را برای این شهر ایجاد کرده است. دی‌اکسید نیتروژن، یکی از آلاینده‌های مهم آلودگی هوا است که با استفاده از ایستگاه‌های زمینی و اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای پایش می‌شود. در این مقاله از داده‌های روزانه دی‌اکسید نیتروژن سنجنده اُمی، باد و دمای سطحی ایستگاه هواشناسی اصفهان بین بازه زمانی اکتبر ۲۰۰۴ تا می ۲۰۱۶ استفاده شده است. مقدار میانگین دی‌اکسید نیتروژن در بازه اندازه‌گیری شده $۱۰^{۱۵}\times$ ۶/۴۳ مولکول بر سانتی‌متر مربع می‌باشد. بیشترین مقدار دی‌اکسید نیتروژن $۱۰^{۱۵}\times$ ۱۴/۷۸ مولکول بر سانتی‌متر مربع در دسامبر و کمترین مقدار آن $۱۰^{۱۵}\times$ ۶/۹۳ مولکول بر سانتی‌متر مربع در جولای مشاهده شد. انحراف معیار فصل زمستان، $۱۰^{۱۵}\times$ ۵/۹۷ مولکول بر سانتی‌متر مربع، بیشتر از فصل تابستان، $۱۰^{۱۵}\times$ ۱/۶۶ مولکول بر سانتی‌متر مربع است. ضریب همبستگی دی‌اکسید نیتروژن با باد و دما به ترتیب برابر۰/۴۱- و۰/۵۴- به دست آمد که نشان دهنده اهمیت بیشتر دما در تغییرات دی‌اکسید نیتروژن می‌باشد. پس از تشکیل سری زمانی میانگین ماهانه دی‌اکسید نیتروژن با استفاده از آنالیز طیفی کمترین مربعات دوره‌های تناوب معنی‌دار شناخته شدند. این دوره‌های تناوب معنی‌دار از سری زمانی حذف شده و با برازش خطی بر روی سری زمانی باقیمانده، روند محاسبه شده است. روند دی‌اکسید نیتروژن برای اصفهان برابر $۱۰^{۱۴}\times$ ۱/۶۲ مولکول بر سانتی‌متر مربع در هر سال به دست آمد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار است.

کلید واژگان: آلودگی هوا، دی‌اکسید نیتروژن، آنالیز طیفی کمترین مربعات، سنجنده اُمی، اصفهان

---

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

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.67.6.3]
[DOI: 10.52547/jgs.22.67.41]

مقدمه

از مسائل مهم در بررسی آب و هوا که تاثیر زیادی در سلامتی موجودات زنده در یک منطقه دارد، مسئله آلودگی هوا است (یاوری و همکاران، ۱۳۹۰). وجود هر نوع آلاینده که برای زندگی انسان، گیاهان، جانوران و اموال مضر باشد و کیفیت زندگی را به خطر اندازد آلودگی هوا می‌گویند که می‌تواند منابع طبیعی یا مصنوعی داشته باشد(آلودگی هوا و سلامت انسان، ۱۳۹۴). مشکلات مربوط به آلودگی هوا به میزانی بوده که مدت‌ها است زنگ خطر برای شهرهای بزرگ به صدا در آمده است. اصفهان نیز شاهد مسائل متعدد جوی در رابطه با کیفیت محیط زیست طبیعی خود می‌باشد (کاظمی بومه، ۱۳۸۸). قرار گرفتن در معرض آلاینده‌ها و ذرات معلق در هوا منجر به تشدید بیماری‌های قلبی- عروقی و تنفسی، کاهش ایمنی بدن، ابتلا به سرطان و مرگ زودرس می‌شود (آلودگی هوا و سلامت انسان، ۱۳۹۴). طبق گزارشات سازمان جهانی بهداشت، سالیانه حدود ۵۰۰ هزار نفر در اثر آلودگی هوا دچار مرگ زودرس می‌شوند (Cohen et al, 2005). از مهم‌ترین عوامل تشدید کننده آلودگی هوا در دهه‌های اخیر به‌خصوص در شهرهای بزرگ افزایش جمعیت، گسترش شهرنشینی، افزایش مراکز صنعتی، استفاده از سوخت‌های فسیلی می‌باشد (http://air.tehran.ir). متاسفانه موقعیت جغرافیایی اصفهان، سرعت کم بادهای آن، فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی، حمل و نقل و دیگر فعالیت‌های انسانی مرتبط در برخی ایام سال شرایط بحرانی آلودگی هوا را برای این شهر ایجاد کرده است (نوربخش، ۱۳۹۱).

آلاینده‌های هوا را می‌توان به دو دسته آلاینده‌های اولیه و ثانویه طبقه‌بندی کرد. آلاینده‌های اولیه آلاینده‌هایی هستند که به طور مستقیم از منابع تولید کننده منتشر می‌شوند و آلاینده‌های ثانویه در اثر برهم کنش عواملی مانند نور خورشید 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، دی‌اکسید نیتروژن ($NO_X=NO+NO_2$) و ترکیبات هیدروکربنی تولید می‌شوند (شاهمحمدی، ۱۳۹۴). دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) گازی به رنگ قهوه‌ای سرخ فام است و بویی بسیار زننده دارد و از گازهای گلخانه‌ای به شمار می‌آید (آلودگی هوا و سلامت انسان، ۱۳۹۴). چشمه‌های اصلی دی‌اکسید نیتروژن فعالیت‌های انسانی مانند صنعت، ترافیک وسایل نقلیه موتوری و سوزاندن گیاهان می‌باشد. چشمه‌های طبیعی مثل برق ناشی از تخلیه الکتریکی رعد و برق ابرها، آتش‌سوزی جنگل، گسیل ناشی از خاک است (شرعی پور و همکاران، ۱۳۹۳:۷۸). غلظت دی‌اکسید نیتروژن شامل گسیل‌های اولیه از وسایل نقلیه و تشکیل ثانویه در اثر واکنش شیمیایی منوکسید نیتروژن با ازن است (Shon et al, 2011). دی‌اکسید نیتروژن در واکنش با بخار آب موجود در هوا اسید نیتریک تولید می‌کند که باعث پوسیدگی فلزات می‌شود. در شرایط جوی ساکن غلظت دی‌اکسید نیتروژن در جو افزایش قابل توجهی پیدا می‌کند که در برخی موارد ایجاد مه- دود کرده و میدان دید را کاهش می‌دهد و موجب گرم شدن زمین می‌شود (Challen et al, 1958).

پارامترهای جوی و هواشناسی از جمله عوامل مهم و اساسی در شناخت آلودگی هوا به حساب می‌آیند که به کمک آن‌ها می‌توان ارزیابی و بررسی دقیق‌تری از وضعیت آلودگی هوا به دست آورد (کاظمی بومه، ۱۳۸۸). در حالت طبیعی با افزایش ارتفاع از سطح زمین، دما کاهش می‌یابد و هوای مجاور سطح زمین گرم‌تر و سبک‌تر از بخش‌های بالایی می‌شود. گاهی برخلاف حالت طبیعی، در مجاور سطح زمین با افزایش ارتفاع، دما نیز افزایش

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.67.6.3]
[DOI: 10.52547/jgs.22.67.41]

می‌یابد. در چنین مواقعی، به علت سردتر و سنگین‌تر بودن هوای پایین، حرکت صعودی و جابه‌جایی هوا به سمت بالا وجود ندارد و هوا به حالت ساکن در می‌آید که به این وضعیت وارونگی دمایی[1] گفته می‌شود. این وضعیت معمولا در شب‌های آرام و بدون ابر زمستان اتفاق می‌افتد. با طلوع آفتاب و گرم شدن دوباره زمین بخش‌های سرد هوا نیز گرم شده و موجب رفع حالت وارونگی می‌شود. سمت و سرعت باد، وجود رشته کوه‌ها و جهت آن‌ها نسبت به باد غالب از عوامل موثر در وارونگی دما هستند. پدیده وارونگی دمایی در کلان شهرهایی مانند اصفهان و تهران اهمیت بسیاری دارد زیرا در این حالت هوا ساکن است و آلاینده‌های هوا نمی‌توانند پراکنده شوند (زمین شناسی،۱۳۹۰). آلودگی هوا یک مسئله در مقیاس ملی و فراملی است و از رویدادهایی است که توجه بسیاری از اندیشمندان را به خود جلب کرده است و پژوهش‌های علمی در رابطه با آلودگی هوا رو به افزایش است. برخی از پژوهش‌های علمی در زمینه‌ی آلودگی هوا در جهان به شرح زیر است:

روآ[2] و همکاران(۱۹۹۸) به بررسی روند و تغییرات فصلی آلاینده‌های دی‌اکسید نیتروژن و دی‌اکسید گوگرد در هوای اسپانیا پرداختند. هدف از مطالعه آن‌ها برازش مدل مناسب برای روند این پارامترها بود. نتایج نشان دادند که مدل مناسب برای این دو پارامتر مدل خطی درجه یک می‌باشد. آلاینده دی‌اکسید گوگرد روند کاهشی داشته و فاقد الگوی فصلی مشخص بوده است. در حالی که روند آلاینده‌ی دی‌اکسید نیتروژن افزایشی بوده و دارای الگوی فصلی مشخص می باشد. ژانگ[3] و همکاران(۲۰۰۳) نیز آثار چشمه‌های اکسیدهای نیتروژن ناشی از فعالیت‌های انسانی و طبیعی در آمریکا را بررسی کرده‌اند و نتایج آن‌ها نشان داده است که برق حاصل از تندر و آذرخش تابستانی در آمریکا نقش مهمی در غلظت اکسیدهای نیتروژن و ازن دارد. نتایج پژوهش‌های قوده[4]و همکاران(۲۰۰۹) نشان داد که غلظت دی‌اکسید نیتروژن در کشورهای در حال توسعه مانند چین، جنوب آسیا، خاورمیانه و جنوب آفریقا افزایش و در شرق آمریکا و اروپا کاهش یافته است. مهم‌ترین علت افزایش دی‌اکسید نیتروژن در کشورهای خاورمیانه مانند ایران، عراق، عربستان صعودی، کویت و ترکیه مصرف سوخت فسیلی بوده است. والاس[5] و همکاران(۲۰۰۹) حساسیت داده‌های دی‌اکسید نیتروژن سنجنده OMI نسبت به تغییرات مقدار دی‌اکسید نیتروژن طی وارونگی دمایی را بررسی کرده‌اند و به این نتیجه رسیدند که افزایش مقدار دی‌اکسید نیتروژن به دست آمده از طریق سنجنده OMI کمتر از افزایش دی‌اکسید نیتروژن سطح زمین بوده است. کلینک[6](۲۰۱۲) روند سرعت باد طی دوره ۹۰_۱۹۶۱در آمریکای شمالی را مورد بررسی قرار داد. نتایج او به کاهش سرعت باد در غرب و جنوب شرقی ایالات متحده آمریکا اشاره داشته است. تغییرات دما، افزایش شهرنشینی به عنوان دلایل کاهش سرعت باد در منطقه بیان شده است. ژو[7] و همکاران(۲۰۱۲) 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. لامسال[8]

1 Inversion
2 Rua
3 Zhang
4 Ghude
5 Wallace
6 Klink
7 Zhou
8 Lamsal

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.67.6.3]
[DOI: 10.52547/jgs.22.67.41]

و همکاران(۲۰۱۵) 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. اشنایدر[1] و همکاران(۲۰۱۵) 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. بارکلی[2] و همکاران(۲۰۱۷) کیفیت هوا در خاورمیانه را با استفاده از داده‌های سنجنده OMI در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ مورد مطالعه قرار دادند. این مطالعه در ابتدا قابلیت سنجنده OMI را برای نظارت بلند مدت هوا در سطح محلی نشان داد. همچنین نتایج آن‌ها نشان داد که مقدار NO2 در مکان‌های شهری بیشترین مقدار است و بیشترین مقدار در شهرهای بحرین، کویت و امارات متحده عربی دیده شده است.

در ایران کریمی و همکاران(۱۳۸۴) دریافتند که طی دوره مورد پژوهش در شهر اصفهان وارونگی دمایی در تمام فصول سال برقرار بوده است و به دلیل مساعد بودن شرایط وارونگی دمایی پایداری جوی در سطح زمین ایجاد می‌شود. در ۸۰ درصد از روزهای ۳ سال مورد بررسی شرایط وارونگی دمایی حاکم بوده است. اما ارتفاع لایه وارونگی با تغییر فصل تغییراتی داشته است. بیشترین ارتفاع لایه وارونگی در ماه نوامبر بوده است. همچنین بررسی‌های گندم‌کار(۱۳۹۱) نشان داد که شهر اصفهان در زمستان بیشترین آلاینده را دارد و در بیشتر روزهای زمستان در سطح زمین در این شهر یک مرکز پرفشار حاکم است که ناشی از تقویت مرکز پرفشار سیبری می‌باشد.

سنجنده اُمی[3] در جولای ۲۰۰۴ به منظور داده برداری از لایه ازن و گازهای آلاینده مانند دی‌اکسید نیتروژن و دی‌اکسید گوگرد بر روی ماهواره آئورا[4] ناسا قرار گرفته است و به طور روزانه با تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه از کل زمین داده برداری می‌کند (شاهمحمدی، ۱۳۹۷). در این مقاله از داده‌های دی‌اکسید نیتروژن سنجنده اُمی برای بررسی آلودگی هوای اصفهان استفاده شده است. همچنین ارتباط آلودگی هوا ناشی از دی‌اکسید نیتروژن با دمای سطح زمین و باد اندازه‌گیری شده در ایستگاه هواشناسی اصفهان محاسبه شده است.

روش تحقیق

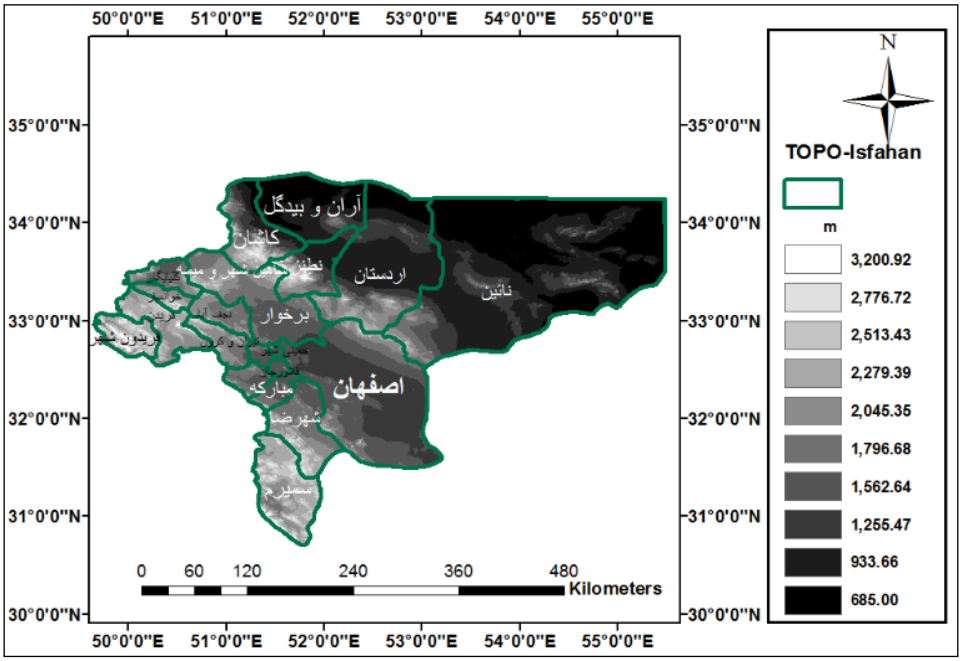
معرفی محدوده مورد مطالعه

استان تاریخی اصفهان در موقعیت جغرافیایی ۳۰/۴۳ تا ۳۴/۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۹/۳۶ تا ۵۵/۳۱ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است که حدود ۶/۵ درصد از مساحت کل کشور را به خود اختصاص داده است (فخرایی، ۱۳۹۰). شهر اصفهان در ۳۲/۳۸ دقیقه عرض شمالی ۵۱/۳۹ دقیقه طول شرقی در مرکز ایران (ضرایی و همکاران، ۱۳۸۸) با مساحت ۳۰۰ کیلومتر مربع واقع شده است (حسین آبادی، ۱۳۹۳). این استان در چهار راه شمالی- جنوبی و شرقی- غربی کشور قرار دارد. اصفهان از شمال و شرق به کویر محدود می‌شود و قسمت غربی و جنوبی آن به ارتفاعات زاگرس منتهی می‌شود (کاظمی بومه، ۱۳۸۸). توپوگرافی شهر اصفهان در شکل(۱) آورده شده

1 Schneider
2 Barkley
3 OMI: Ozone Monitoring Instrument
4 Aura

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.67.6.3]
[DOI: 10.52547/jgs.22.67.41]

است و نوار رنگ ارتفاع برحسب متر از سطح آب‌های آزاد را نشان می‌دهد. با توجه به توپوگرافی ایران قسمت اعظم استان اصفهان در بخش خشک و نیمه خشک قرار دارد. به دلیل قرار گرفتن در عرض جغرافیایی پایین دارای آب و هوای گرم می‌باشد و به علت وجود سامانه‌های پرفشار حاره‌ای در فصول گرم سال امکان بارندگی ندارد. اصفهان بیش از ۵ ماه از سال با مشکل آلودگی هوا ناشی از تجمع گازهای آلاینده در زیر لایه وارونگی دما روبه رو است (آمار نامه اصفهان، ۱۳۹۱). از طرفی وجود رشته کوه‌های زاگرس در قسمت غرب استان مانع نفوذ رطوبت به نواحی مرکزی و شرق استان شده و از طرفی وجود نواحی این شهر به دلیل نزدیکی به صنایع مختلف مشکلات زیست محیطی زیادی دارد که از مهم‌ترین آن‌ها آلودگی هوا است. آلودگی هوا در این شهر ناشی از صنایع، خودروها و ریزگردها می‌باشد (اسد،۱۳۹۴). بنابراین اصفهان یکی از شهرهای بزرگ و صنعتی ایران است. به طوری که موقعیت جغرافیایی این شهر و قرارگیری آن در یک گودال و تجمع مواد آلاینده در هوای سطحی، افزایش روز افزون جمعیت و وجود مراکز بزرگ صنعتی سبب افزایش روز افزون آلاینده‌ها در هوای این شهر شده است و این شهر را به یکی از آلوده‌ترین شهرهای کشور تبدیل کرده است (حسین آبادی، ۱۳۹۳).



شکل(۱). توپوگرافی استان اصفهان و شهرستان اصفهان. رنگ سبز محدوده شهرستان‌ها و نوار رنگ ارتفاع بر حسب متر از سطح آب‌های آزاد را نشان می‌دهد (منبع: نگارندگان).

داده و روش کار

سنجنده اُمی بر روی ماهواره آئورا ناسا قرار دارد که به منظور مطالعه جو طراحی شده است. ماهواره آئورا در یک مدار خورشید آهنگ[1] در ارتفاع ۷۰۵ کیلومتری از سطح زمین قرار دارد و لحظه گذر آن ساعت ۱۳:۴۵ به وقت محلی می‌باشد. سنجنده اُمی یک سیستم تصویربرداری طیفی است که پراکنش نور اتمسفر و سطح زمین را در

1Sun-synchronous orbit

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.67.6.3]
[DOI: 10.52547/jgs.22.67.41]

دو محدوده طیفی شامل ۳۸۰-۲۷۰ نانومتر و۵۰۰-۳۵۰ نانومتر با رزولوشن ۰/۴۲ و ۰/۶۳ نانومتر اندازه‌گیری می‌کند(ابازری، ۱۳۹۵). میدان دید این سنجنده ۱۱۵ درجه و عرض آن ۲۶۰۰ کیلومتر می‌باشد. تصاویر اُمی به صورت روزانه با تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه از کل زمین داده برداری می‌کند به طوری که با قدرت تفکیک مکانی ۲۴×۱۳ کیلومتر در سمت‌القدم[1] گرفته می‌شوند(ابازری،۱۳۹۵). این تصاویر برای پایش چندین گاز مهم موجود در جو از جمله دی‌اکسید نیتروژن، ازن، فرمالدئید، دی‌اکسید کلر و منوکسید برم استفاده می‌شوند(ابازری، ۱۳۹۵). در این پژوهش از داده‌های روزانه دی‌اکسید نیتروژن سنجنده اُمی در بازه زمانی اکتبر ۲۰۰۴ تا می ۲۰۱۶ برای مطالعه آلودگی هوای شهر اصفهان استفاده شده است. این داده‌ها از سایت https://disc.sci.gsfc.nasa.gov/SSW تهیه شده‌اند.

برای بررسی دقیق‌تر تغییرات دی‌اکسید نیتروژن، داده‌های روزانه دمای سطحی و باد برای بازه زمانی اکتبر ۲۰۰۴ تا می ۲۰۱۶ از سایت سازمان هواشناسی برای شهر اصفهان گرفته شده است مورد بررسی قرار گرفته شده است (http://www.irimo.ir). طبق پروتکل سازمان جهانی هواشناسی هر ۳ ساعت یکبار براساس زمان جهانی دما، باد، فشار، رطوبت و تابش خورشیدی توسط سایت‌های هواشناسی اندازه‌گیری می‌شود. از آنجایی که لحظه گذر سنجنده اُمی ساعت ۱۳:۴۵ به وقت محلی می‌باشد به همین دلیل ما از نزدیک‌ترین داده‌های باد و دمای سطحی ثبت شده استفاده کرده‌ایم.

نتایج

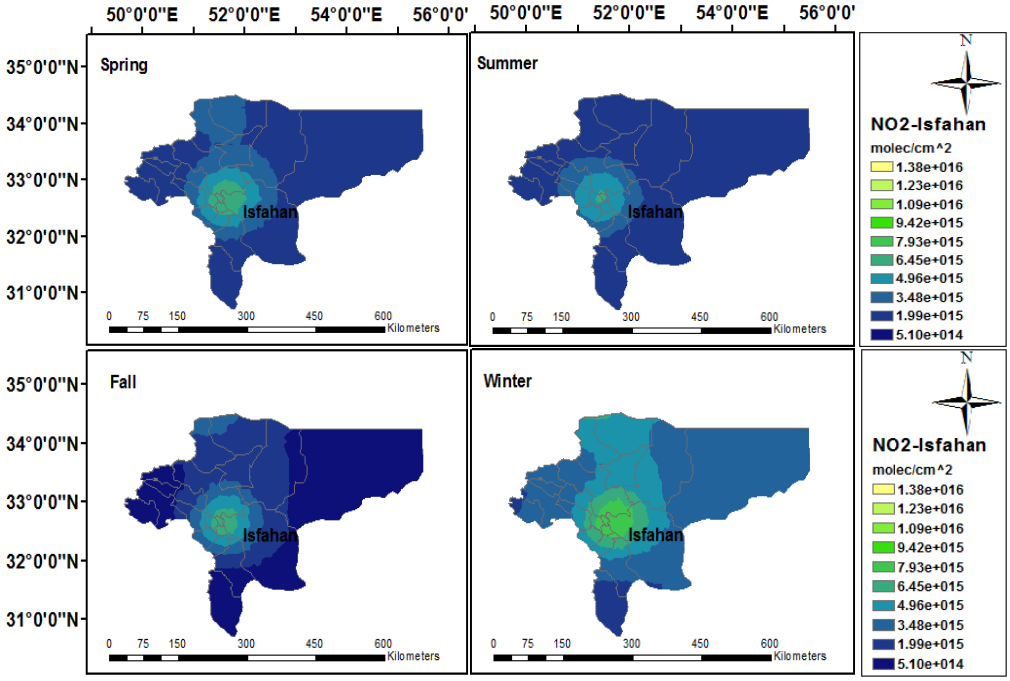
دی‌اکسید نیتروژن، باد و دما و همبستگی بین آن‌ها

پیشرفت تکنولوژی و افزایش روز افزون جمعیت و همچنین تمایل مردم به زندگی شهری، از جمله عوامل مهم افزایش آلاینده‌ها به حساب می‌آیند. آلودگی هوا همواره به عنوان یکی از معضلات شهرهای صنعتی و بزرگ جهان مطرح بوده است. به همین منظور در این مطالعه از داده‌های روزانه دی‌اکسید نیتروژن سنجنده اُمی بین بازه اکتبر ۲۰۰۴ تا می ۲۰۱۶ برای پیکسل بالاسر شهر اصفهان استفاده شده است.

1 Nadir

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.67.6.3]
[DOI: 10.52547/jgs.22.67.41]

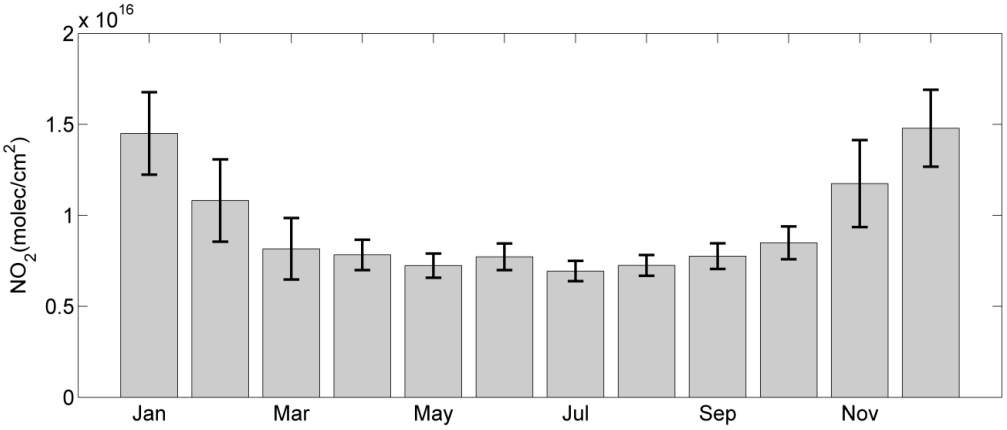
در شکل(۲) نقشه میانگین دی‌اکسید نیتروژن برای چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان برای بازه اندازه‌گیری اکتبر ۲۰۱۴ تا می ۲۰۱۶ برای استان اصفهان ترسیم شده است. نوار رنگ برای همه شکل‌ها مقدار کمینه و بیشینه یکسانی دارد. مشاهده می‌شود که بیشترین(کمترین) مقدار دی‌اکسید نیتروژن در فصل زمستان(تابستان) اتفاق می‌افتد.



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

دی‌اکسید نیتروژن ماهانه شهر اصفهان برای بازه اندازه‌گیری شده در شکل(۳) آمده است. بیشینه مقدار دی‌اکسید نیتروژن در ماه دسامبر $۱۴/۷۸\times۱۰^{۱۵}$ مولکول بر سانتی‌متر مربع و کمینه آن در ماه جولای $۶/۹۳\times۱۰^{۱۵}$ مولکول بر سانتی‌متر مربع رخ می‌دهد. دمای سطح زمین در زمستان پایین‌تر از تابستان است و این شرایط را برای وارونگی‌دما فراهم می‌کند به همین دلیل بیشترین (کمترین) مقدار آلودگی در فصل زمستان (تابستان) رخ می‌دهد. انحراف معیار فصل زمستان ($۵/۹۷\times۱۰^{۱۵}$) بیشتر از فصل تابستان ($۱/۶۶\times۱۰^{۱۵}$) است که به دلیل تغییرات زیاد جو در زمستان می‌باشد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.67.6.3]
[DOI: 10.52547/jgs.22.67.41]



شکل(۳). دی‌اکسید نیتروژن ماهانه شهر اصفهان برای بازه زمانی بین اکتبر ۲۰۰۴ تا می ۲۰۱۶ اندازه‌گیری شده توسط سنجنده اُمی (منبع: نگارندگان).

همان‌طور که گفته شد، پارامترهای جوی و هواشناسی از جمله عوامل مهم و اساسی در شناخت آلودگی هوا به حساب می‌آیند که به کمک آن‌ها می‌توان ارزیابی و بررسی دقیق‌تری از وضعیت آلودگی هوا به دست آورد (کاظمی بومه، ۱۳۸۸). به همین منظور، برای بررسی بیشتر، داده‌های دمای سطحی و باد که از سایت سازمان هواشناسی برای استان اصفهان گرفته شده است مورد بررسی قرار می‌گیرد.

جریان باد در طول سال اهمیت بسیار زیادی در انتشار آلودگی هاو دارد. جریان هوا علاوه بر نقش انتقال، پراکنش و تغییرات آلودگی‌ها یکی از فاکتورهای عمده در برنامه‌ریزی‌های شهری و منطقه‌ای است. زیرا جریان باد غالب این امکان را در اختیار ما قرار می‌دهد تا مسیر آلودگی را شناسایی کرده و در احداث مناطق مسکونی و صنعتی مورد مطالعه و مد نظر قرار دهیم (کاظمی بومه، ۱۳۸۸).

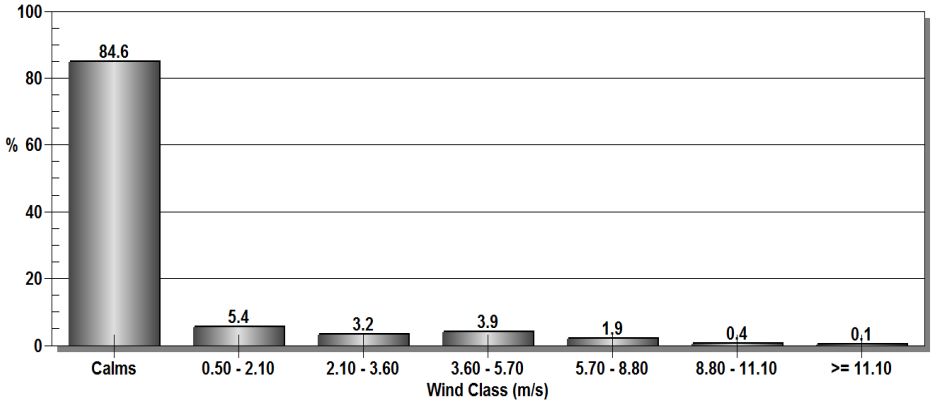
در شکل(۴)، توزیع تندی باد شهر اصفهان در بازه زمانی اکتبر۲۰۰۴ تا می۲۰۱۶ آورده شده است. محور افقی کلاس‌های باد بر حسب متر بر ثانیه و محور عمودی درصد را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که تقریبا ۸۵ درصد بادهای استان اصفهان آرام (کوچک‌تر از ۰/۵متر بر ثانیه) هستند.

در شکل(۵) جهت وزش باد غالب در شهر اصفهان نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌کنیم در فصل بهار باد غالب به ترتیب غربی و جنوب‌غربی می‌باشد. در فصل تابستان به ترتیب بادهای شمال شرقی، شرقی و غربی دارای بیشترین مقدار هستند. غالب بادها در فصل پاییز به ترتیب غربی، شمال‌شرقی، شرقی و جنوب‌غربی است. در فصل زمستان نیز مشاهده می‌کنیم باد غالب غربی و جنوب‌غربی می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت باد غالب در شهر اصفهان غربی و جنوب‌غربی می‌باشد. با توجه به توپوگرافی شهر اصفهان و قرارگیری ارتفاعات در غرب و جنوب آن، وزش بادهای غربی و جنوب غربی جهت مناسبی دارند زیرا می‌توانند آلودگی هوای ناشی از صنایع که مهم‌ترین مشکل شهر می‌باشد را از بالای سطح شهر خارج کند. ولی از آن جایی که گفته شد اغلب بادهای شهر اصفهان آرام هستند و توانایی جا به جایی هوا را ندارند. به خصوص در فصل‌های سرد سال که هوای سطح زمین سنگین‌تر است و وارونگی دمایی نیز اغلب در این فصول اتفاق می‌افتد و سبب می‌شوند آلاینده‌ها در

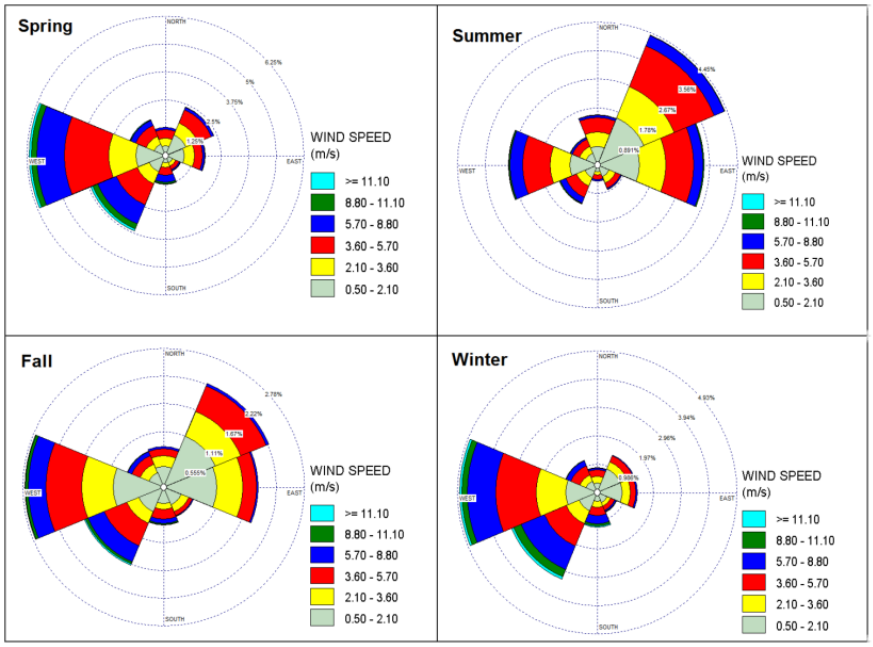
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.67.6.3]
[DOI: 10.52547/jgs.22.67.41]

بالای سطح زمین باقی بمانند. بنابراین هوای شهر آلوده می‌شود و مشکلات زیست محیطی برای افراد ایجاد می‌کند.

بررسی‌های انجام شده در شهر اصفهان نشان دادند، نزدیک به ۶۰ درصد روزها هوا پایدار و باد آرام است. که این امر بررسی آلودگی هوای شهر را ضروری می‌کند. از طرفی سامانه‌های همدیدی غالب، ارتفاع سازه‌های شهری و توپوگرافی نیز بر کیفیت هوای شهر اثر دارند لذا با برنامه‌ریزی مناسب شهری، زیست محیطی و اقلیمی می‌توان تا حدودی از آثار سو آلودگی هوا بر انسان و محیط زیست کاست (کاظمی بومه، ۱۳۸۸).



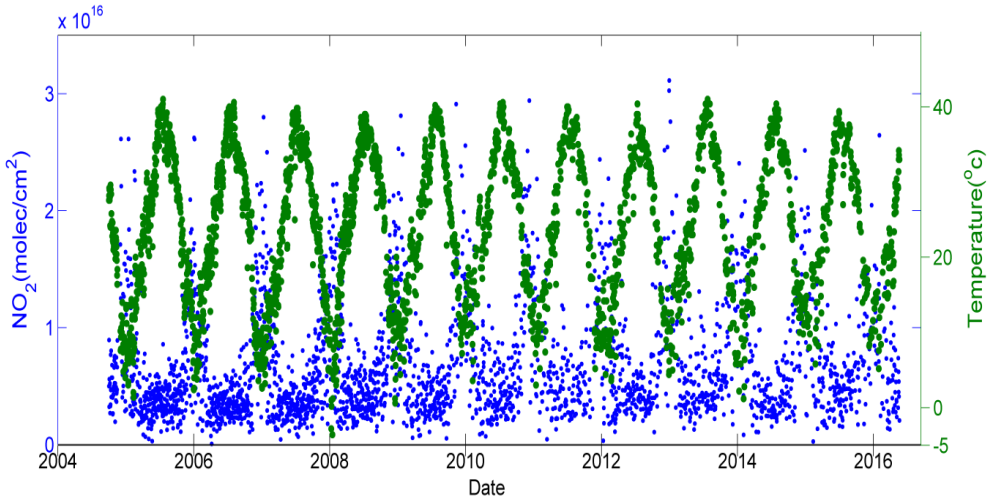
شکل(۴). توزیع تندی باد استان اصفهان در بازه زمانی بین ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۶ (منبع: نگارندگان).



شکل(۵). جهت وزش باد برای ایستگاه هواشناسی اصفهان در بازه بین ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۶. باد غالب غربی و جنوب‌غربی است

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.67.6.3]
[DOI: 10.52547/jgs.22.67.41]

شکل(۶) سری‌های زمانی دی‌اکسید نیتروژن و دما را به صورت روزانه برای شهر اصفهان در بازه اندازه‌گیری مد نظر را نشان می‌دهد. محور افقی سال و محور عمودی سمت چپ مقدار دی‌اکسید نیتروژن برحسب مولکول بر سانتی‌متر مربع و محور عمودی سمت راست دما را برحسب درجه نشان می‌دهد. مشاهده می‌کنیم که در روزهای ابتدایی و انتهایی هرسال میلادی که هوا سردتر است دی‌اکسید نیتروژن بیشترین و دما کمترین مقدار را دارد و در روزهای میانی سال میلادی بالعکس می‌باشد. در نتیجه بین دما و دی‌اکسید نیتروژن رابطه معکوس برقرار است.



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

جدول(۱). میانگین و انحراف معیار تندی باد (m/s)، دما (c^o)و دی‌اکسید نیتروژن ($molec/cm^2$ ۱۰^۱۵) و ضریب همبستگی بین دی‌اکسید نیتروژن با باد و دما برای چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان و کل بازه اندازه‌گیری بین سال‌های اکتبر ۲۰۰۴ تا می ۲۰۱۶ برای شهر اصفهان (منبع: نگارندگان).

	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	کل
میانگین باد	۴/۱۰	۳/۵۴	۳/۲۹	۳/۲۲	۳/۳۲
میانگین دما	۲۷/۱۳	۳۵/۴۲	۲۰/۵۸	۱۲/۵۶	۲۴/۵۴
میانگین دی‌اکسید نیتروژن	۴/۳۷	۴/۲۰	۸/۳۰	۹/۵۴	۶/۴۳
انحراف معیار باد	۲/۶۲	۱/۹۸	۲/۲۴	۳/۱۰	۲/۵۸
انحراف معیار دما	۵/۸۱	۲/۸۸	۷/۱۷	۵/۱۳	۱۰/۰۰
انحراف معیار دی‌اکسید نیتروژن	۲/۲۹	۱/۶۶	۵/۰۵	۵/۹۷	۴/۶۷
ضریب همبستگی دی‌اکسید نیتروژن بادما	-۰/۰۳	-۰/۰۳	-۰/۴۹	-۰/۳۵	-۰/۵۴
ضریب همبستگی دی‌اکسید نیتروژن با باد	-۰/۲۶	-۰/۲۱	-۰/۳۵	-۰/۵۵	-۰/۴۱

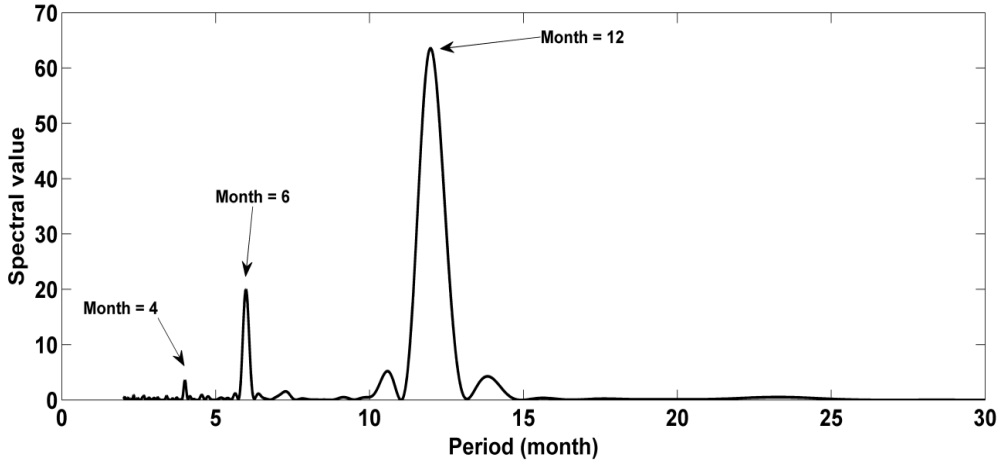
میانگین و انحراف معیار باد، دما و دی‌اکسید نیتروژن و همچنین ضریب همبستگی بین دی‌اکسید نیتروژن با باد و دما برای چهار فصل بهار و تابستان، پاییز، زمستان و نیز کل بازه اندازه‌گیری بین اکتبر ۲۰۰۴ تا می ۲۰۱۶ در جدول(۱) آورده شده است. ضریب همبستگی دما و دی‌اکسید نیتروژن برای کل بازه اندازه‌گیری برابر۰/۵۴-

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.67.6.3]
[DOI: 10.52547/jgs.22.67.41]

به دست آمد. مشاهده می‌شود که در بهار و تابستان میانگین دما بیشتر از پاییز و زمستان است و انحراف معیار دما در تابستان کمترین و در پاییز بیشترین مقدار را دارد. بنابراین در پاییز و زمستان هوا پایداری بیشتری نسبت به بهار و تابستان دارد. در نتیجه میانگین و انحراف معیار دی‌اکسید نیتروژن در دو فصل پاییز و زمستان بیشتر از دو فصل دیگر است. همچنین، ضریب همبستگی دی‌اکسید نیتروژن و دما در فصل پاییز و زمستان بیشتر از دو فصل دیگر است، زیرا تغییرات دما در این دو فصل بیشتر می‌باشد. بررسی سری‌های زمانی روزانه دی‌اکسید نیتروژن با باد نیز نشان می‌دهد که رابطه معکوسی بین آن‌ها برقرار است. زمانی که باد افزایش می‌یابد، دی‌اکسید نیتروژن کمتر شده و بالعکس. ضریب همبستگی باد و دی‌اکسید نیتروژن برای بازه ذکر شده ۰/۴۱- به دست آمد. بیشترین (کمترین) مقدار همبستگی در فصل زمستان (بهار و تابستان) است.

نتایج تحلیل طیفی دی‌اکسید نیتروژن برای شهر اصفهان

همان‌طور که گفته شد آنالیز طیفی کمترین مربعات ابزاری ریاضی است برای این‌که سری‌های زمانی در حوزه فرکانس بررسی شود. در اینجا با کمک آنالیز طیفی کمترین مربعات روند سری زمانی دی‌اکسید نیتروژن در بازه اندازه‌گیری ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۶ توسط سنجنده اُمی بررسی می‌شود. پس از تشکیل سری زمانی میانگین ماهانه دی‌اکسید نیتروژن بین بازه اندازه‌گیری ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۶ با استفاده از آنالیز طیفی کمترین مربعات دوره‌های تناوب دوازده، شش و چهار ماهه مشاهده شد.



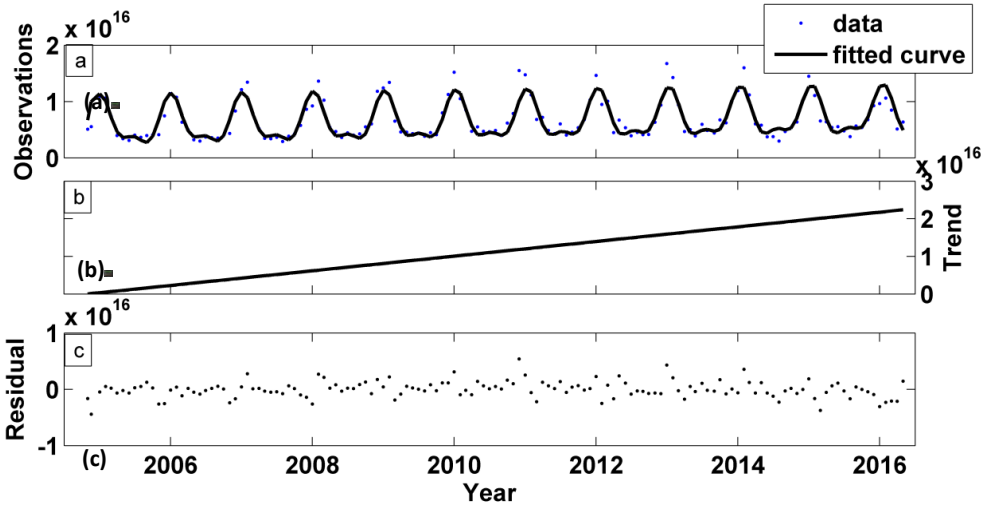
شکل(۷). طیف پیکسل بالاسر شهر اصفهان (منبع: نگارندگان).

در شکل(۷) طیف سری‌های زمانی دی‌اکسید نیتروژن برای پیکسل بالاسر شهر اصفهان نشان داده شده است. محور افقی شکل(۷) نشان‌دهنده دوره تناوب و محور عمودی آن مقدار (قدرت) طیف به دست آمده از روش آنالیز طیفی کمترین مربعات است. پس از محاسبه طیف، تست آماری ارائه شده توسط پاگیاتاکیس[۱۶] در سال ۱۹۹۹ روی طیف اعمال شد (Pagiatakis, 1999) و مولفه‌های دوازده، شش و چهار ماهه از نظر آماری نیز معنی‌دار شناخته شدند. این مولفه‌ها در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد مولفه‌های معنی‌دار هستند. بایستی برای محاسبه

16 Pagiatakis

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.67.6.3]
[DOI: 10.52547/jgs.22.67.41]

روند، این مولفه‌ها از سری زمانی برداشته شوند و پس از آن روند محاسبه شود. پس از حدف مولفه‌های معنی‌دار از سری زمانی میانگین ماهانه دی‌اکسید نیتروژن، روند با استفاده از برازش خطی بر روی سری زمانی باقیمانده حساب شده است.



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

در شکل(۸) سری‌های زمانی میانگین ماهانه دی‌اکسید نیتروژن اندازه‌گیری شده برای پیکسل بالا سر شهر اصفهان و سری زمانی مدل شده آن (a)، روند (b) و سری‌زمانی باقیمانده (c) ترسیم شده است. پس از حذف دوره‌های تناوب معنی‌دار از سری زمانی، سری زمانی باقیمانده حاصل می‌شود. مشاهده می‌کنیم که سری زمانی باقیمانده دارای روند افزایشی در طول دوره داده‌برداری است. همچنین روند مشابهی برای سری زمانی مدل شده با مشاهدات دیده می‌شود. نرخ افزایش دی‌اکسید نیتروژن در سال $۱/۶۲\times۱۰^{۱۴}$ مولکول بر سانتی‌متر مربع به دست آمد و با استفاده از آزمون ودرهد اعتبارسنجی شد (Weatherhead et al, 1998) که در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد معتبر است. اشنایدر و همکارانش نشان دادند، روند دی‌اکسید نیتروژن در بازه زمانی آگوست ۲۰۰۲ تا مارس ۲۰۱۲ برای شهر تهران برابر $۶/۳۴\times۱۰^{۱۴}$ مولکول بر سانتی‌متر مربع می‌باشد (Schneider et al, 2015). همچنین شاهمحمدی و همکاران نیز روند دی‌اکسید نیتروژن برای شهرتهران را $۶/۵۷\times۱۰^{۱۴}$ مولکول بر سانتی‌متر مربع در سال گزارش کرده‌اند (شاهمحمدی، ۱۳۹۷).

نتیجه‌گیری

دراین مقاله از داده‌های روزانه سنجنده اُمی، داده‌های باد و دمای سطحی سازمان هواشناسی کشور برای بررسی آلودگی شهر اصفهان و محاسبه روند تغییرات دی‌اکسید نیتروژن در بازه اندازه‌گیری اکتبر ۲۰۰۴ تا می۲۰۱۶ استفاده شده است. مقدار میانگین دی‌اکسید نیتروژن در بازه اندازه‌گیری شده برای پیکسل بالا سر شهر اصفهان $۶/۴۳\times۱۰^{۱۵}$ مولکول بر سانتی‌متر مربع می‌باشد. طبق نتایج به دست آمده، مقدار دی‌اکسید نیتروژن برای این

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.67.6.3]
[DOI: 10.52547/jgs.22.67.41]

شهر در ماه‌های گرم سال کمترین و در ماه‌های سرد سال بیشترین مقدار را دارد. به طوری‌که بیشترین مقدار دی‌اکسید نیتروژن$۱۴/۷۸\times۱۰^{۱۵}$ مولکول برسانتی‌متر مربع در دسامبر و کمترین مقدار آن $۶/۹۳\times۱۰^{۱۵}$ مولکول بر سانتی‌متر مربع در جولای مشاهده شد. همچنین مقدار آلاینده دی‌اکسید نیتروژن با پارامترهای باد و دما رابطه عکس دارد. با افزایش(کاهش) باد و دما، مقدار دی‌اکسید نیتروژن کاهش(افزایش) می‌یابد. ضریب همبستگی باد و دما با دی‌اکسید نیتروژن به ترتیب ۰/۴۱- و۰/۵۴- برآورد گردید. پس از تشکیل سری‌زمانی میانگین ماهانه دی‌اکسید نیتروژن بین بازه اندازه‌گیری اکتبر ۲۰۰۴ تا می ۲۰۱۶ با استفاده از آنالیز طیفی کمترین مربعات دوره‌های تناوب دوازده، شش و چهار ماهه معنی‌دار شناخته شدند. برای محاسبه روند این دوره‌های تناوب معنی‌دار از سری زمانی حذف شده و با برازش خطی بر روی سری زمانی باقیمانده مقدار روند محاسبه شد که برابر $۱/۶۲\times۱۰^{۱۵}$ مولکول بر سانتی‌متر مربع در هر سال به دست آمد که در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد دارای اعتبار است.

بنابراین روند افزایش دی‌اکسید نیتروژن برای کلان شهرها از جمله اصفهان می‌تواند به دلیل افزایش شهرنشینی، گسترش جمعیت، استفاده بی‌رویه از سوخت‌های فسیلی و وسایل نقلیه باشد. توپوگرافی و وارونگی دمایی و سرعت کم باد در افزایش این آلاینده بی‌تأثیر نیستند. نتایج بررسی‌های کاظمی بومه نیز نشان داد، در آلوده‌ترین روزها در شهر اصفهان در اکثر این روزها پدیده وارونگی دما رخ داده است. بنابراین می‌توان گفت که به دلیل رخداد پدیده وارونگی دما در آلوده‌ترین روزها این عامل را می‌توان یکی از عوامل موثر در ایجاد آلودگی هوای شهر اصفهان دانست (کاظمی بومه، ۱۳۸۸).

شاخص کیفیت هوا در شهر اصفهان در بیشتر روزهای سال وضعیت نامطلوبی را نشان می‌دهند. براساس گزارش انجام شده در طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۹ به طور متوسط ۲۲ روز در سال شهر اصفهان از هوای پاک برخوردار بوده است. با توجه به این آمار کاملا روشن است که وضعیت هوای اصفهان بسیار نامناسب است. همچنین بیان کردند که آشفتگی شهری و وضعیت حاد آن در شهر اصفهان، موجب افزایش استفاده از اتومبیل و در نتیجه آن اثرگزاری مستقیم بر آلودگی هوا و افزایش آلاینده‌ها گردیده است. با توجه به وخامت وضعیت آلودگی هوا طی سال‌های اخیر، اهمیت درک این مسئله و لزوم چاره اندیشی چندین برابر می‌گردد (فخرایی، ۱۳۹۰). صالحی نیز نشان داد، میزان آلاینده‌های مختلف در شهر اصفهان در ماه‌ها و فصول سرد سال نسبت به ماه‌ها و فصول گرم بیشتر بود. این امر می‌تواند ناشی از وابستگی میزان آلاینده‌ها با شرایط جوی باشد که در میزان واکنش‌های جوی و ماندگاری آلاینده‌ها در هوا موثر می‌باشد. از طرفی استفاده از وسایل گرمایشی در هوای سرد در مقایسه با هوای گرم بیشتر است (صالحی، ۱۳۹۰).

بنابراین وضعیت هوای این کلان شهر از نظر حفظ سلامت افراد جامعه به خصوص افراد حساس کیفیت مطلوبی ندارد و نیازمند توجه بیشتر و برنامه‌ریزی‌های مدیریتی مناسب جهت کاهش غلظت آلاینده‌های هوا می‌باشد. طبق بررسی‌های انجام شده از اقدامات موثر در جهت کاهش آلودگی هوا افزایش فضای سبز و درختکاری می‌باشد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.67.6.3]
[DOI: 10.52547/jgs.22.67.41]

منابع

ابازری، مرتضی. (۱۳۹۵). **آشکارسازی مناطق متاثر از گرد و غبار با استفاده از تغییرات بازتابندگی سطح و خصوصیات طیفی گرد و غبار**، پایان نامه کارشناسی ارشد، موسسه آموزش عالی خاوران، رشته عمران، گرایش سنجش از دور.

اسد، مریم. (۱۳۹۴). **تحلیل اثرات عناصر اقلیمی و آلودگی هوا بر بیماری آسم کودکان در شهر اصفهان**، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه یزد.

آمار نامه شهر اصفهان (۱۳۹۱). شهرداری اصفهان.

جمعی از پژوهشگران، آلودگی هوا و سلامت انسان، ارائه شده در چهارمین همایش ملی مدیریت آلودگی هوا و صدا، دی ۱۳۹۴.

حسین آبادی (۱۳۹۳). **اثرات فراسنج‌های آب و هوایی و آلاینده‌های هوا بر ازون سطحی و تابش فرابنفش در اصفهان**، پایان نامه کارشناسی ارشد-آلودگی محیط زیست، دانشگاه صنعتی اصفهان.

دفتر برنامه‌ریزی و تالیف کتب درسی ایران (۱۳۹۰). **زمین شناسی**، انتشارات شرکت چاپ کتاب‌های درسی ایران.

شاهمحمدی، عاطفه. **بررسی روند دی‌اکسید نیتروژن به عنوان شاخص آلودگی هوا با استفاده از داده‌های سنجنده OMI برای چهار کلان شهر تهران، اصفهان، مشهد و تبریز**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان، ۱۳۹۷.

شرعی‌پور، زهرا و علی‌اکبری بیدختی، عباسعلی (۱۳۹۳). **بررسی وضعیت NO_2 تروپوسفری ایران طی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۲. محیط شناسی**، ۴۰(۱): ۶۵-۷۸.

صالحی، بنفشه. (۱۳۹۰). **پهنه‌بندی آلودگی هوای شهر اصفهان**، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان.

ضرایی، اصغر، محمدی، جمال، عبداللهی، اصغر. (۱۳۸۸). **بررسی و ارزیابی کاربری اراضی مناطق چهارده‌گانه شهر اصفهان با استفاده از روش مقایسه‌ای و مدل LQi با استفاده از نرم افزار GIS**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۰(۱۳): ۱۷۳-۲۰۲.

فخرایی، شراره (۱۳۹۰). **تاثیر آشفتگی شهری بر آلودگی هوا (نمونه موردی: شهر اصفهان)**، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری.

کاظمی بومه (۱۳۸۸)، سمیه. **تحلیل عناصر اقلیمی موثر بر روی آلودگی هوای شهر اصفهان**. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد، دانشکده علوم انسانی، گروه جغرافیا.

کریمی، محسن و درخشان، حسین (۱۳۸۴)، **بررسی وارونگی دمایی در شهر اصفهان**، دوازدهمین کنفرانس ژئوفیزیک، تهران، سازمان زمین شناسی.

گندم‌کار، امیر (۱۳۹۱). **مدیریت بحران وقوع سیل در شهر اصفهان با استفاده از سامانه‌های جوی**. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. ۲۷(۲): ۱۱۵-۱۲۷.

نوربخش، سیده اعظم (۱۳۹۱). **بررسی آماری –همدیدی پدیده آلودگی هوا در شهر اصفهان**. همایش ملی آب وهوا، دانشگاه تهران.

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

[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.67.6.3]

[DOI: 10.52547/jgs.22.67.41]

یاوری، حسین، سلیقه، محمد. (۱۳۹). **سطوح وارونگی در آلودگی‌های شهر تهران**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۷(۲۰): ۸۹-۱۰۵.

Barkley, M. P., González Abad, G., Kurosu, T. P., Spurr, R., Torbatian, S., Lerot, C. **OMI air-quality monitoring over the Middle East**. Atmospheric Chemistry and Physics, 2017, 17(7),4687-4709.

Challen, P. J. R., Hickish, D. E., & 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.

Cohen, A. J., Ross Anderson, H., Ostro, B., Pandey, K. D., Krzyzanowski, M., Künzli, N., ...& Smith, K. (2005). **The global burden of disease due to outdoor air pollution**. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A, 68(13-14), 1301-1307.

Ghude, S. D., Van der A, R. J., Beig, G., Fadnavis, S. and Polade, S. D. **Satellite derived 2009, trends in NO2 over the major global hotspot regions during the past decade and their inter-comparison**, Environmental Pollution, 157, 1873-1878.

http:// air.tehran.ir.

http://www.irimo.ir.

Klink, K., (1999). **Trends in mean monthly maximum and minimum surface wind speeds in the coterminous United States 1961 to 1990**. Climate Research. 13:193–205.

Lamsal, L. N., Duncan, B. N., Yoshida, Y., Krotkov, N. A., Pickering, k. E., Streets, D. G., Lu, Z.US NO2 trends (2005-2013): **EPA Air Quality System (AQS) data versus improved observations from the Ozone Monitoring Instrument (OMI)**. Atmospheric Environment,2015, 110, 130-143.

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

Rua, A., Gimeno, L. and Hernoandez, E**. Trends and seasonal variation of SO2, NOX, SO42- and NO32 concentration in the air of the Spanish Emep station**, 1998.

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

Shon, Z. H., Kim, K. H., & Song, S. K. (2011). **Long-term trend in NO 2 and NOx levels and their emission ratio in relation to road traffic activities in East Asia**. Atmospheric environment, 45(18), 3120-3131.

Wallace, J. and Kanaroglou, P. **The sensitivity of OMI-derived nitrogen dioxide to boundary layer temperature inversions**, Atmospheric Environment, 2009. 43, 3596–3604.

Weatherhead, E. C., Reinsel, G. C., Tiao, G. C., Meng, X. L., Choi, D., Cheang, W. K., ... , Miller, A. J (1998). **Factors affecting the detection of trends: Statistical considerations and applications to environmental data**. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 103(D14), 17149-17161.

Zhang, R., Tie, X., and Bond, D. W. **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), 2003. 100, 1505-1509.

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

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

[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.67.6.3]

[DOI: 10.52547/jgs.22.67.41]