نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال هشتم، شماره ٤، زمستان ١٤٠٠

صفحات ١ – ١٦

بررسی روند ازون تروپوسفری شهر کرمانشاه در بازه ۱۰ ساله با استفاده از پارامترهای هواشناسی، پیش سازهای ازون و تصاویر سنجنده OMI

رسول باقرآبادی؛ دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

مظاهر معین الدینی[1]؛ استادیار گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

دریافت مقاله : ۱۴۰۰/۱/۲۸ پذیرش نهایی:۱۴۰۰/۰۵/۲۲

چکیده

امروزه با افزایش میزان آلودگی هوا، ضرورت شناخت بیشتر علل وقوع آن را مطرح ساخته است. در این میان ازون تروپوسفری می‌تواند بر سلامتی انسان و محیط‌زیست اثر گذار باشد. ازاین‌رو هدف این پژوهش بررسی روند تغییرات غلظت ازون تروپوسفری با پارامترهای هواشناسی، پیش سازهای ازون (دی اکسید نیتروژن و اکسیدهای نیتروژن) است. در این پژوهش از داده‌های ایستگاه هواشناسی کرمانشاه و ایستگاه کیفیت هوای ادراه کل حفاظت محیط‌زیست کرمانشاه (ایستگاه زیبا پارک) در بازه ۱۰ ساله (۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵) استفاده شده است. در این پژوهش تغییرات غلظت ازون تروپوسفری و ارتباط آن با تغییرات NO_X، NO_2 و پارامترهای هواشناسی شهر کرمانشاه انجام شده است. براساس نتایج، بیش‌ترین غلظت ازون تروپوسفری در ساعت‌های ۱۴ تا ۱۶، ماه‌های خرداد، تیر و مرداد رخ داده است، بالاترین مقدار غلظت ازون تروپوسفری فصلی نیز در فصل تابستان و بهار ثبت شده است. مطالعه پارامترهای هواشناسی مانند دمای هوا و سرعت باد نشان داد که ارتباط مستقیمی با میزان غلظت ازون تروپوسفری دارد. از طرفی با افزایش میزان بارندگی غلظت ازون تروپوسفری کاهش پیدا می‌کند. نتایج بررسی رابطه بین ازون تروپوسفری، اکسیدهای نیتروژن و دی اکسید نیتروژن نشان داد که بیشترین مقدار ازون تروپوسفری در کمترین مقدار اکسیدهای نیتروژن و دی اکسید نیتروژن رخ می‌دهد و تغییرات غلظت ازون تروپوسفری در طول روز برعکس تغییرات اکسیدهای نیتروژن و دی اکسید نیتروژن است.

واژه های کلیدی: آلودگی هوا، ازون تروپوسفری، پارامترهای هواشناسی، دی اکسید نیتروژن، اکسیدهای نیتروژن .

[1] : نویسنده مسئول: Email: moeinaddini@ut.ac.ir

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.4.1]

مقدمه

هوای پاک یک ضرورت برای رفاه و سلامتی انسان است. آلودگی هوا برای انسان و سایر موجودات یک خطر اصلی محسوب می‌شود و به عنوان یکی از چالش‌های محیط‌زیستی به شمار می‌رود (Abdul Aziz and Mohd Ali, ۲۰۱۹)؛ (محمدی و همکاران، ۱۳۹۵). شاخص آلودگی که عمدتاً مورد استفاده قرار گرفته شامل ذرات معلق، آلاینده‌های گازی مانند دی اکسید نیتروژن (NO_2)، دی‌اکسیدگوگرد (SO_2)، ازون (O_3) و مونواکسید کربن (CO) است (Schwartz, ۲۰۰۵)؛(Katsouyanni et al, ۱۹۹۷). ازون در تروپوسفر به عنوان یک آلاینده مهم و در استراتسفر به عنوان سپر حیات شناخته می‌شود. بنابراین، می‌توان ازون را به دو دسته ازون تروپوسفری و ازون استراتسفری تقسیم بندی کرد و هر یک را جداگانه مورد بررسی قرار داد (Demuzere and van Lipzig, ۲۰۱۰). ازون تروپوسفری یکی از آلاینده‌های معیار است. این آلاینده تهدید جدی برای سلامت انسان است برخی از خصوصیات ازون عبارتنداز: بی رنگ، بوی نامطبوع، شکل سه اتمی مولکولی اکسیژن و مؤلفه اصلی مه دود فتوشیمیایی است (Masoudi, Behzadi, and Sakhaei, ۲۰۱٤). با واکنش پیش سازهای ازون شامل NOx و VOCها (ترکیبات آلی فرار یا هیدروکربن‌ها) ناشی از خودروها، صنعت، بخارات گازی، حلال‌های شیمیایی، احتراق سوخت در حضور نور خورشید باعث افزایش تولید ازون می‌شوند (Masoudi, Behzadi, and Sakhaei, ۲۰۱٤).

این نوع آلودگی هوا که در مناطق مهم شهری و صنعتی رخ می‌دهد برای اولین بار در دهه ۱۹۵۰ در لس آنجلس شناخته شد. تحقیقات گسترده شیمیایی و هواشناسی ازون تروپوسفری در اوایل دهه ۱۹۸۰ به طور جامع و کامل در ایالات متحده مورد بررسی قرار گرفته است. اما تحقیقات سیستماتیک کمی و نظارتی ازون در اواسط دهه ۲۰۰۰ در چین انجام شد (Wang et al, ۲۰۱۷). از این‌رو، ازون تروپوسفری به‌عنوان یک آلاینده هوا در جهان شناخته می‌شود، که می‌تواند بر سلامتی انسان، و محیط‌زیست تأثیر بگذارد خصوصاً سبب مشکلات تنفسی و اختلال در عملکرد ریه و حملات آسمی شود (Abdul Aziz and Mohd Ali, ۲۰۱۹). از اثرات دیگر ازون تروپوسفری می‌توان به کاهش ظرفیت ریه، سرفه، درد قفسه سینه، سوزش گلو، حالت تهوع، آسیب بر گیاهان (اختلال در رشد و تأثیر بر جوانه زنی) و کاهش عمر لاستیک اشاره کرد (Abdul Aziz and Mohd Ali, ۲۰۱۹)؛(اصغری جعفر آبادی، ۱۳۹۴).

درخصوص روند تغییرات غلظت ازون تروپوسفری در ایران و جهان گزارش‌های متعددی در چند دهه گذشته منتشر شده است که نتایج نشان از روند افزایشی غلظت ازون تروپوسفری در نقاط شهری مورد مطالعه بوده است که در این مقاله به برخی از آنها اشاره می‌شود. جیانگ و همکاران (۲۰۰۵) در پژوهشی که بر تأثیرات عوامل هواشناسی را در فصل زمستان بر غلظت اکسیدهای نیتروژن که به عنوان عامل اولیه تشکیل ازون در اوکلند داشتند به این نتیجه رسیدند که شرایط هواشناسی بر غلظت ازون تأثیرگذار است (Jiang, Hay, and Fisher, ۲۰۰۵). ردی و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی که در منطقه‌ای در جنوب هند داشتند، به این نتیجه رسیدند که افزایش غلظت ازون تروپوسفری در آخر هفته نسبت به اواسط هفته در اثر کاهش پیش سازهای ازن مانند اکسیدهای نیتروژن در اواخر هفته است (Reddy et al, ۲۰۱۰). سوسایا و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی که در هفت شهر بزرگ کره جنوبی بین سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۰ انجام شد، افزایش غلظت میانگین سالانه ازون در طول ۲۲ سال گزارش شده و یکی از دلایل مهم آن، افزایش غلظت اکسیدهای نیتروژن در هوای شهرهای مورد مطالعه عنوان شده است (Susaya et al, ۲۰۱۳). استروزیوزکا و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی در هشت منطقه لهستان در سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۱ انجام دادند به این نتیجه رسیدند که مقدار غلظت ازون با افزایش دمای هوا در ارتباط است و بیشترین مقدار غلظت ازون

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.4.1]

در دمای بالای ۲۴ درجه سانتیگراد اتفاق می‌افتد (Struzewska and Jefimow, ۲۰۱٦). گوو و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی که بر روی ازون تروپوسفری شانگهای چین در بازه زمانی ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۷ داشتند به این نتیجه رسیدند که با افزایش دمای هوا غلظت ازون سطحی نیز افزایش پیدا می‌کند و این مقدار در فصل تابستان به بیشترین مقدار می‌رسد (Gu et al, ۲۰۲۰).

غیاث الدین و صورتی (۱۳۸۸) در پژوهشی که بر روی تغییرات غلظت ازون تروپوسفری و پارامترهای هواشناسی داشتند به این نتیجه رسیدند که تابش خورشید با غلظت ازون ارتباط مستقیمی دارند که در نتیجه فعالیت‌های فتوشیمیایی افزایش و به سبب آن افزایش غلظت ازون را به همراه داشته است (غیاث الدین و صورتی، ۱۳۸۸). مسعودی و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی که بر تجزیه و تحلیل ازون در شهر شیراز در ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۲ در دو مکان مختلف شهر شیراز داشتند به این نتیجه رسیدند که بیشترین غلظت ازون معمولاً در بعدازظهر اتفاق می‌افتد در حالیکه کمترین غلظت ازون در صبح و نیمه شب مشاهده می‌شود و کمترین غلظت فصلی ازون در پاییز است (Masoudi et al, ۲۰۱٦). شرعی‌پور (۱۳۹۶) در پژوهشی که به بررسی غلظت ازون در ایستگاه پونک شهر تهران داشت به این نتیجه رسید که غلظت ازون در تابستان و ساعت ۱۵ بعدازظهر بیشینه است و ارتباط مستقیمی بین مقدار ساعتی ازون تروپوسفری و پارامترهای روزانه وجود دارد (شرعی‌پور، ۱۳۹۶).

ازون تروپوسفری به‌عنوان یک آلاینده مهم برای سلامتی انسان و محیط‌زیست خطرناک است به همین دلیل در دهه‌های گذشته اهمیت آن بر کیفیت هوا، از طرف جوامع علمی و نظارتی مورد توجه قرار گرفته است. شهر کرمانشاه یکی از کلان شهرهای ایران است که منابع انتشار آلاینده‌های هوای آن شامل منابع صنعتی و شهری است. ازون تروپوسفری در شهر کرمانشاه به‌عنوان یک آلاینده شناخته شده است از این رو تاکنون مطالعاتی سیستماتیکی که در زمینه شناخت ازون تروپسفری و ارتباط ازون تروپوسفری با پارامترهای هواشناسی در بازه زمانی طولانی در شهر کرمانشاه انجام نشده است. ازاین‌رو با توجه به اهمیت این موضوع، در این پژوهش رابطه بین غلظت ازون تروپوسفری با پارامترهای هواشناسی، دی اکسید نیتروژن و اکسیدهای نیتروژن در شهر کرمانشاه در بازه زمانی ۱۰ ساله (۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵) مطالعه شده است.

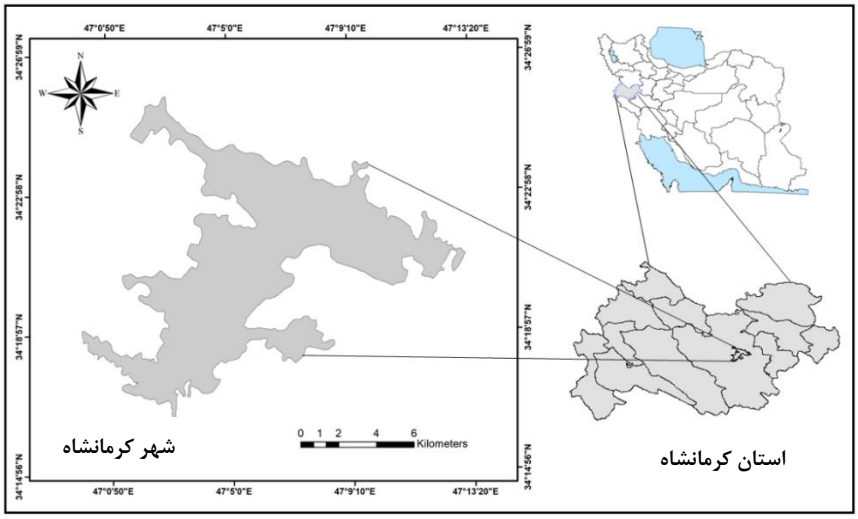
داده و روش کار

الف) منطقه مورد مطالعه

شهر کرمانشاه با موقعیت ۳۴ درجه و ۱۹ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۷ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ در شرق استان و تقریباً در مرکز شهرستان قرار گرفته است. شهر کرمانشاه دومین شهر بزرگ و پر جمعیت منطقه‌ی غرب و شمال‌غربی کشور و بزرگ‌ترین شهر استان کرمانشاه است. مساحت شهر کرمانشاه بالغ بر ۹۵۶۸/۶ هکتار و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۱۳۲۲متر است. بر اساس طبقه بندی دومارتن که براساس میانگین بارش و متوسط دما است، در رده سرد قرار دارد دارای آب‌وهوای نیمه خشک با میانگین بارش سالانه ۴۴۴/۷ میلیمتر و میانگین دمای ۱۴/۳ درجه سلسیوس است (Zallaghi, ۲۰۱٤). شکل (۱)موقعیت جغرافیایی شهر کرمانشاه را نشان می‌دهد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.4.1]



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهر کرمانشاه

ب) روش‌کار

در این پژوهش از داده‌های ایستگاه کنترل کیفیت هوا ایستگاه زیبا پارک شهر کرمانشاه با موقعیت جغرافیایی ۳۴ درجه ۱۹ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه ۵ دقیقه طول شرقی واقع شده است. همچنین این ایستگاه یکی از مناطق پرتردد و آلوده در سطح شهر کرمانشاه است. داده‌های ایستگاه ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه با کد ۴۰۷۶۶ از پارامترهای هواشناسی دمای روزانه و سرعت باد در بازه زمانی ۱۰ ساله (سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵) استفاده شده است.

همچنین از تصاویر سنجنده OMI ماهواره Aura، استفاده شده است. میدان دید سنجنده OMI، ۱۱۵ درجه است. به صورت روزانه از کل زمین داده برداری می کند. در این مقاله از داده‌های روزانه دی اکسید نیتروژن سنجنده OMI در برای بررسی آلودگی ناشی از دی اکسید نیتروژن و ارتباط آن با ازون تروپوسفری شهر کرمانشاه استفاده شده است. این داده ها از سایت https://aura.gsfc.nasa.gov/omi.htm گرفته شده است.

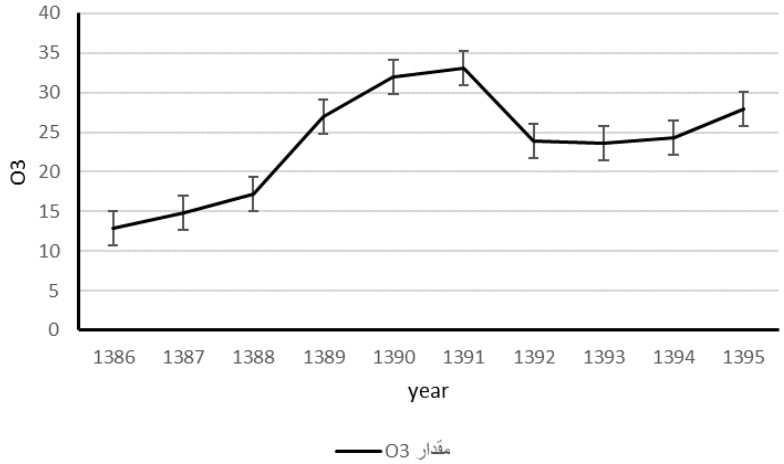
با استفاده از آزمون پیرسون همبستگی بین غلظت ازون تروپوسفری و پارامترهای هواشناسی و از رگرسیون خطی رابطه بین آنها مورد مطالعه قرار گرفت.

شرح و تفسیر نتایج

شکل (۲) تغییرات سالانه ازون برای شهر کرمانشاه در مدت ۱۰ سال نشان می‌دهد. درسال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵ دارد تغییرات غلظت ازن را نشان می‌دهد. از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۹ روندی افزایشی را داشته است از سال ۱۳۸۹ تا سال ۱۳۹۱ میزان ازون با افزایش چشمگیری قابل مشاهده است. از سال ۱۳۹۱ تا سال ۱۳۹۲ مقدار ازون نسبتاً کاهشی بوده و از سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵ افزایشی بوده است. در کل روند تغییرات ازون در بازه زمانی۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵ روندی افزایشی دارد. بنابراین تصور می‌شود که علاوه بر اثرات جوی در توزیع ازون، پارامترهای صنعتی و منابع متحرک (خودروها) می‌توانند بر میزان ازون تأثیر گذار باشند. سال‌های میانی مورد مطالعه، بیشترین فراوانی را به خود اختصاص داده‌اند این توزیع، نشان دهنده وجود یک روند پولینومیال در تغییرات فروانی ازون‌های تروپوسفری شهر کرمانشاه است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-14]

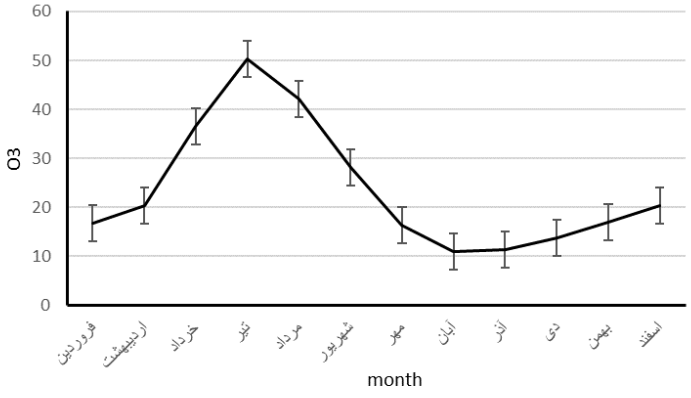
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.4.1]



شکل ۲. مقدار ازون سالانه

شکل (۳) مقایسه میانگین ماهانه آلاینده ازون تروپوسفری نشان می‌دهد که در شهر کرمانشاه، مقادیر بالای آلاینده ازون در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد رخ می‌دهد. بررسی‌های ماهانه نشان داد که بالاترین فراوانی ازون، مربوط به گرمترین ماه‌های سال بوده است دلیل آن، حاکمیت الگوهای کم فشار گرم سطحی در این ماه‌هاست که شرایط اقلیمی با درجه حرارت بالا و کم‌رطوبت به همراه تابش بالا را برای منطقه به همراه دارند. کمترین فراوانی نیز مربوط به ماه‌های مرطوب سال که همراه با بارش است. به دلیل پایداری و صاف بودن هوا در این شرایط، نور خورشید به راحتی وارد تروپوسفر شده و سبب افزایش فعالیت‌های شیمیایی و در نتیجه موجب افزایش غلظت ازون در سطح زمین می‌شود.

این وضعیت نشان می‌دهد که شرایط اقلیمی و جوی مناسب برای افزایش غلظت‌های ازون تروپوسفری در هر فصلی از سال، شامل رطوبت نسبی پایین، دما و تابش نسبتاً بالاست. اما شدت غلظت‌های ازون تروپوسفری، با توجه به تأثیر جمعی همه عوامل مرتبط با آن، متفاوت است. نکته دیگر آنکه بیشتر فراوانی ازون تروپوسفری در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد در ساعات ۱۴ تا ۱۶ ثبت شده است.



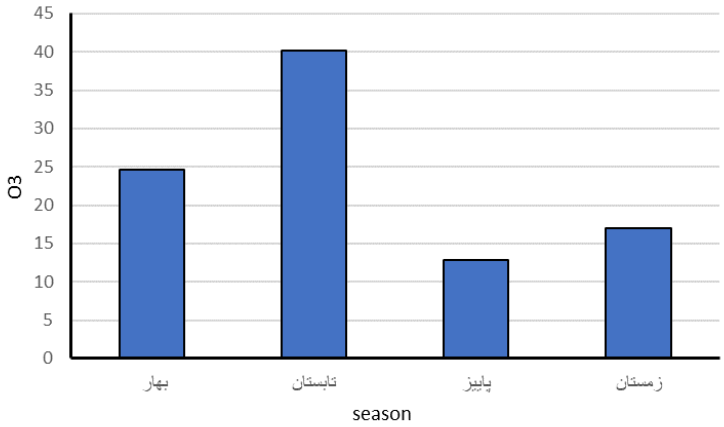
شکل ۳. مقدار ازون ماهانه

شکل (۴) تغییرات فصلی ازون کلی را برای شهر کرمانشاه نشان می‌دهد. تغییرات در فصل تابستان و بهار روندی افزایشی است که همزمان با افزایش دمای هوا است همانطور که در بررسی‌های ماهانه نتایج نشان داد که بیشترین مقدار ازون تروپوسفری در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد یعنی در بهار و تابستان رخ می‌دهد. بنابراین افزایش دمای در

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.4.1]

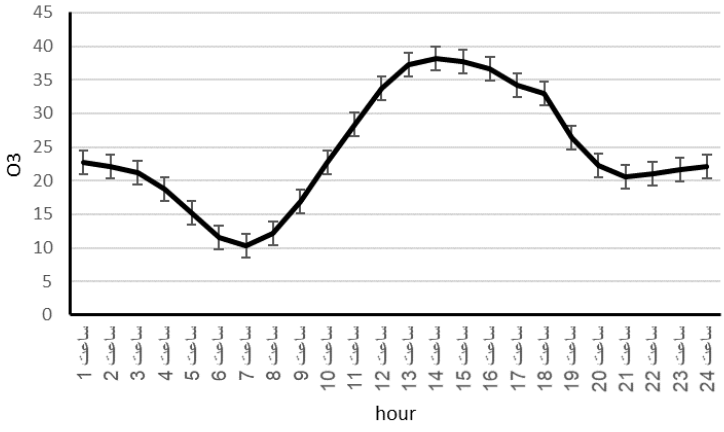
بهار و تابستان ارتباط مستقیمی با افزایش ازون تروپوسفری دارد که با نتایج (Gu et al, ۲۰۲۰)؛(عزی مند و کاکرودی، ۱۳۹۶)؛(Wang et al, ۲۰۱۲) یکسان بود.

در فصل تابستان، عوامل مختلفی از جمله دمای بالای هوا، تابش خورشید و طولانی بودن روز باعث افزایش فعالیت‌های فتوشیمیایی و درنتیجه افزایش غلظت ازون می‌شود. این موضوع برای فصل پاییز و زمستان روندی کاهشی را به دنبال داشته است. که همراه با کاهش دمای هوا، کاهش تابش خورشید، کاهش طول روز و کاهش فعالیت‌های فتوشیمیایی و در نتیجه کاهش غلظت ازون را به همراه دارد.



شکل ۴. مقدار ازون فصلی

با توجه به شکل (۵) روند تغییرات ازون ساعتی نشان داده شده است. بر اساس جدول شماره ۱ تغییر ازون در شبانه روز به چهار دوره زمانی تقسیم بندی می‌شود. الف) دوره زمانی اول که دارای کمترین مقدار ازون است از ساعت ۱ بامداد تا ساعت ۶ صبح شامل می شود که به دلیل نبود فعالیت های فتوشیمیایی در شب است. ب) دوره زمانی دوم شامل روند افزایشی ازون که همزمان با طلوع خورشید و آغاز فعالیت های انسانی از ساعت ۷ صبح تا ۱۲ ظهر است. ج) دوره زمانی سوم حداکثر مقدار ازون در طول شبانه روز است و همزمان با بیشترین مقدار دمای روزانه و فعالیت های انسانی است و از ساعت ۱۲ ظهر تا ۴ بعدازظهر شامل می گردد. د) دوره زمانی چهارم روند کاهشی ازون از ساعت ۴ بعدازظهر تا ۱۲ بامداد همزمان با کاهش دما و نور خوشید است.



شکل ۵ .مقدار ازون ساعتی

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-14]

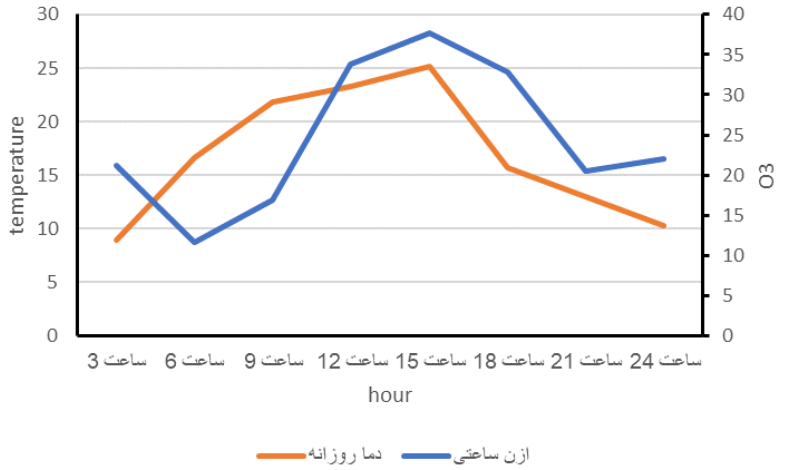
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.4.1]

جدول ۱. تقسیم بندی روند تغییرات ازون شبانه روزی

مقدار ازون	کمترین مقدار شبانه	روند افزایشی روزانه	بیشترین مقدار روزانه	روند کاهشی شبانه
ساعات شبانه روزی	از ساعت ۱ بامداد تا ۶ صبح	از ساعت ۷ صبح تا ۱۲ ظهر	از ساعت ۱۲ ظهر تا ۴ بعدازظهر	از ساعت ۴ بعدازظهر تا ۱۲ بامداد

شکل(۶-۷)تغییرات ازون ساعتی با دمای روزانه را نشان می‌دهد. از آنجا که ازون در طول شبانه‌روز در حال تغییر است و همانطورکه در شکل (۶-۷)قابل مشاهده است با دمای شبانه روز در ارتباط است ازون با افزایش دمای روزانه روندی افزایشی را داشته است و این افزایش ازون از ساعت ۶ صبح همراه با افزایش دما همراه است. و در ساعت ۱۵ به حداکثر می‌رسد سپس از ساعت ۱۸ روند کاهشی است. بنابراین تحلیل آماری ازون شهر کرمانشاه در طول شبانه‌روز نشان داد که بیشترین میزان فراوانی ازون در ساعت ۱۵ رخ می‌دهد یعنی کمی پس از اوج تابش خورشید و مطابق با بیشینه انرژی دریافتی از خورشید که ارتباط مستقیمی با میزان غلظت ازون دارد هم مقدار رطوبت هوا به حداقل است که با نتایج (غیاث‌الدین و صورتی، ۱۳۸۸)؛(Struzewska and Jefimow, ۲۰۱۶) سازگاری دارد.

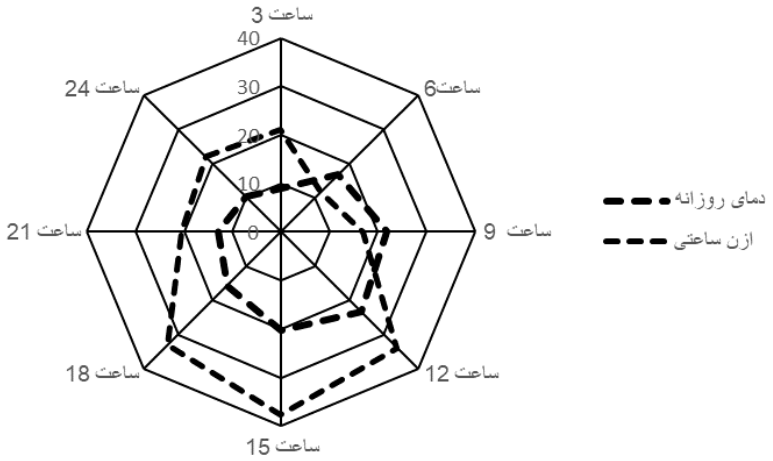
شکل (۸) و جدول (۲) نمودار رگرسیون خطی و آزمون همبستگی پیرسون بین غلظت ازون تروپوسفری و دمای روزانه در ایستگاه زیبا پارک شهر کرمانشاه نمایش می‌دهد. r=۰/۳۴۳ نشان از وجود ارتباط بین ازون ساعتی و دمای روزانه را نشان می‌دهد.



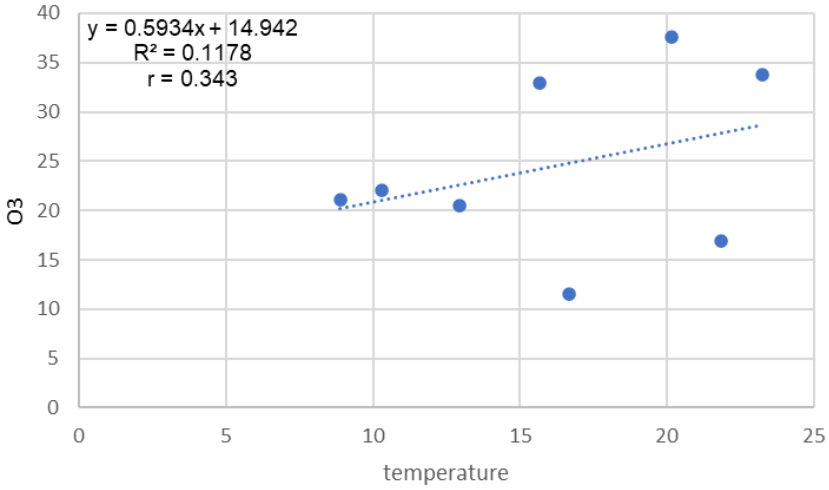
شکل ۶. ازون ساعتی و دمای روزانه

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.4.1]



شکل ۷. نمودار تغییرات ازون ساعتی و دمای روزانه



شکل ۸. همبستگی خطی بین ازون ساعتی و دمای روزانه

جدول ۲. آزمون پیرسون بین ازون ساعتی و دمای روزانه

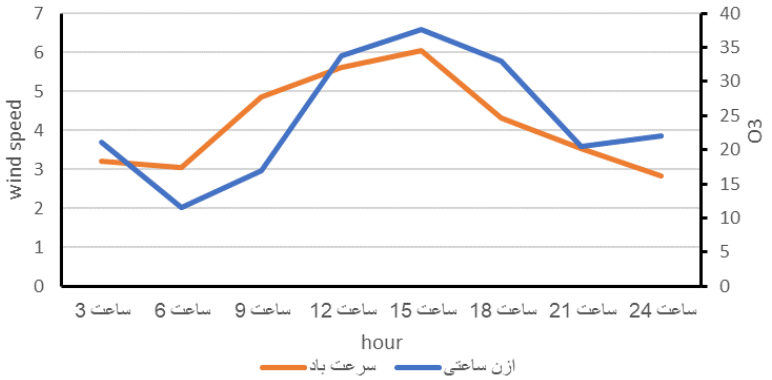
		ازون	دمای روزانه
ازون	Pearson Correlation	۱	۰/۳۴۳
	Sig. (۲-tailed)		۰/۴۰۵
	N	۸	۸
دمای روزانه	Pearson Correlation	۰/۳۴۳	۱
	Sig. (۲-tailed)	۰/۴۰۵	
	N	۸	۸

شکل (۹) تغییرات ازون ساعتی با تغییرات سرعت باد را نشان می دهد. که نشان می‌دهد سرعت باد با غلظت ازون ارتباط مستقیمی دارد. افزایش سرعت باد باعث اختلاط سریع‌تر و در نتیجه افزایش غلظت ازون می‌شود. همانطورکه در شکل (۹)قابل مشاهده است تغییرات غلظت ازون و سرعت باد با یکدیگر منطبق هستند که در ساعت ۱۵ سرعت باد و غلظت ازون در بیشترین مقدار خود است. نتیجه سرعت باد نیز این موضوع را نشان داده که همراه با افزایش

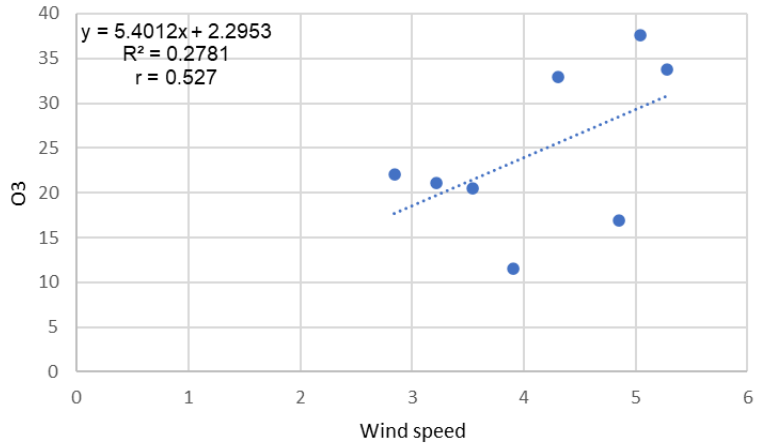
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.4.1]

سرعت باد غلظت ازون افزایشی و با کاهش سرعت باد غلظت ازون نیز روندی کاهشی است که با نتایج (شرعی‌پور و همکاران، ۱۳۹۸) ارتباط نزدیکی دارد.

شکل (۱۱) و جدول (۳) نمودار رگرسیون خطی و آزمون همبستگی پیرسون بین غلظت ازون ساعتی و سرعت با را نشان می‌دهد. این ضریب همبستگی r=۰/۵۲۷ نشان از ارتباط و همبستگی بین غلظت ازون ساعتی و سرعت باد است که سرعت باد سبب اختلاط سریع‌تر ازون و افزایش غلظت آن می‌شود.



شکل ۹. ازون ساعتی و سرعت باد



شکل ۱۰. همبستگی خطی بین ازون ساعتی و سرعت باد

جدول ۳. آزمون پیرسون بین ازون ساعتی و سرعت باد

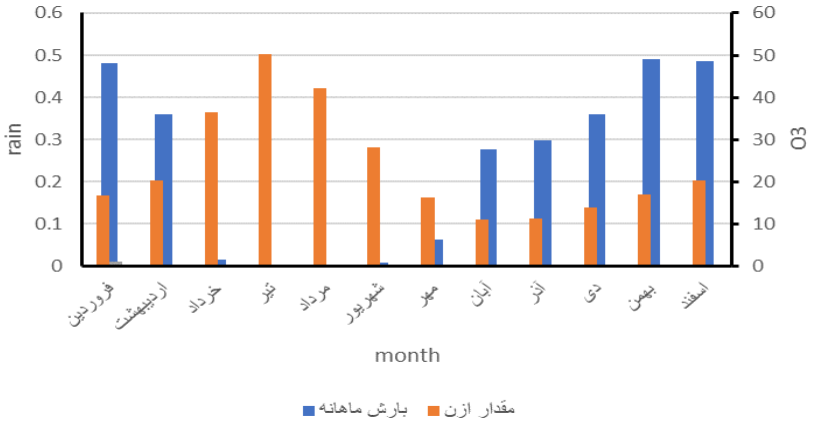
		ازون	سرعت باد
ازون	Pearson Correlation	۱	۰/۵۲۷
	Sig. (۲-tailed)		۰/۱۷۹
	N	۸	۸
سرعت باد	Pearson Correlation	۰/۵۲۷	۱
	Sig. (۲-tailed)	۰/۱۷۹	
	N	۸	۸

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-14]

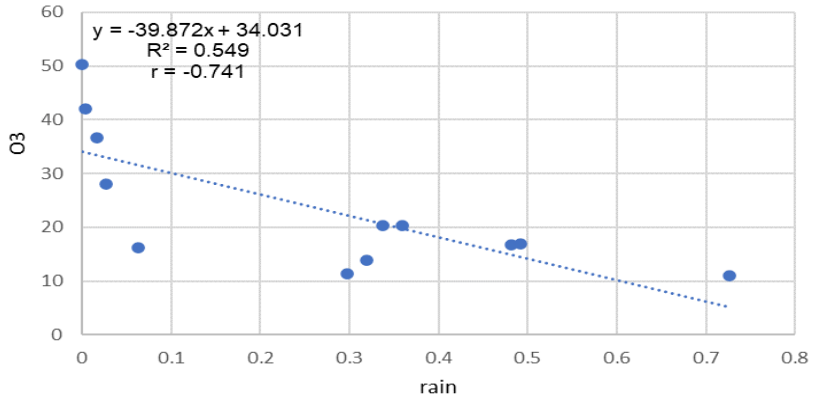
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.4.1]

شکل (۱۱) مقایسه تغییرات غلظت ازون با بارش را ماهانه نشان می‌دهد. همزمان با بارش نزولات جوی غظت ازون کاهش می‌یابد ماه‌های خرداد تا مهر که ماه‌های بدون بارندگی سال هستند و با کاهش نزولات جوی مقدار غلظت ازون روندی افزایشی است و از ماه آبان به بعد که همزمان با آغاز بارندگی‌ها است مقدار غلظت ازون روندی کاهشی دارد.

شکل (۱۲) و جدول (۴) نمودار رگرسیون خطی و آزمون همبستگی پیرسون بین ازون ماهانه و بارش ماهانه را نشان می‌دهد. این ضریب همبستگی r= -۰/۷۴۱ نشان از همبستگی همبستگی معکوس بین ازون و بارش است که با آغاز بارش، ازون روندی کاهشی دارد و در نبود بارش غلظت ازون روندی افزایشی است.



شکل ۱۱ .مقدار ازون و باراش ماهانه



شکل ۱۲. همبستگی خطی بین ازون ماهانه و بارش ماهانه

جدول ۴. آزمون پیرسون بین ازون و بارش ماهانه

		بارش ماهانه	ازون
بارش ماهانه	Pearson Correlation	۱	-۰/۷۴۱**
	Sig. (۲-tailed)		۰/۰۰۶
	N	۱۲	۱۲
ازون	Pearson Correlation	-۰/۷۴۱**	۱
	Sig. (۲-tailed)	۰/۰۰۶	
	N	۱۲	۱۲

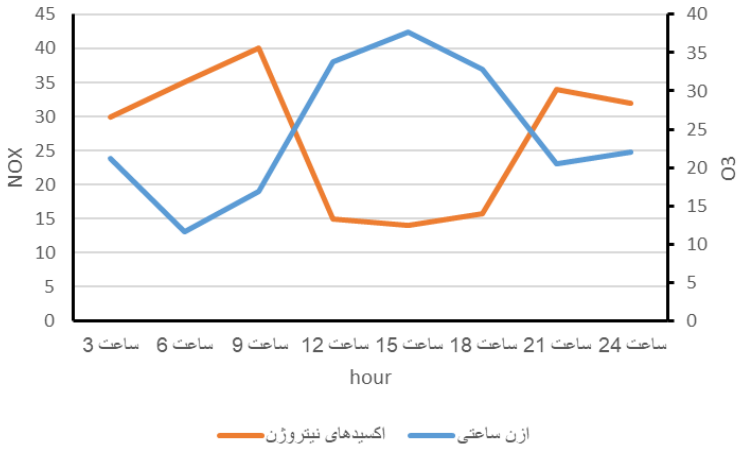
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.4.1]

تغییرات غلظت ازون تروپوسفری و اکسیدهای نیتروژن در طول ساعات شبانه‌روز و ماه‌های سال با استفاده از داده-های سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵ در شکل(۱۳-۱۴) نشان داده شده است. همانگونه که نتایج نشان می‌دهد، در ایستگاه زیبا پارک شهر کرمانشاه روند تغییرات این دو آلاینده مشابه بوده به طوریکه در حضور نور خورشید با کاهش اکسیدهای نیتروژن غلظت ازون به حداکثر رسیده است.

الگوهای روزانه ازون نشان می‌دهد که غلظت ازون تروپوسفری بعد از ساعت ۶ صبح افزایش می‌یابد و به مقدار پیک خود در ساعت ۱۵ رسیده و سپس به آرامی کاهش می‌یابد تشکیل فتوشیمیایی آلاینده ازون تحت تأثیر غلظت اکسیدهای نیتروژن باعث ایجاد الگوی روزانه‌ای می‌شود بیشترین مقدار غلظت آلاینده‌های اکسیدهای نیتروژن با غلظت ازون همزمان بوده و در ساعت اولیه صبح و شب روی می‌دهد بیشترین مقدار غلظت ازون چند ساعت بعد از بیشترین مقدار نیتروژن اکسید رخ می‌دهد. بدین صورت که غلظت‌های بالای اکسیدهای نیتروژن، باعث حذف رادیکال‌های OH در واکنش بین OH و NO_2 می‌شود. بنابراین غلظت اکسیدهای نیتروژن با افزایش فعالیت‌های انسانی و منابع متحرک (خودردوها) به بیشترین مقدار غلظت خود می‌رسد.

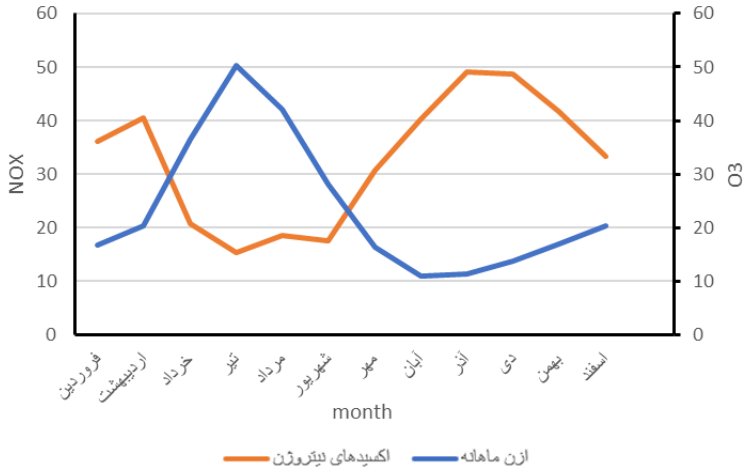
شکل (۱۵) و جدول (۵) نمودار رگرسیون خطی و آزمون همبستگی پیرسون بین غلظت ازون و اکسیدهای نیتروژن را نمایش می‌دهد. این ضریب همبستگی r= -۰/۵۸۸ نشان از رابطه معکوس بین غلظت ازون و اکسیدهای نیتروژن است که با افزایش غلظت ازون مقدار اکسیدهای نیتروژن روندی کاهشی پیدا می‌کند که نشان از مصرف اکسیدهای نیتروژن به‌عنوان واکنش‌گرها است که با نتایج (محمدی و همکاران، ۱۳۹۶)؛(Susaya et al, ۲۰۱۳)؛ (Nishanth, Kumar, and Valsaraj, ۲۰۱۲) سازگاری دارد.



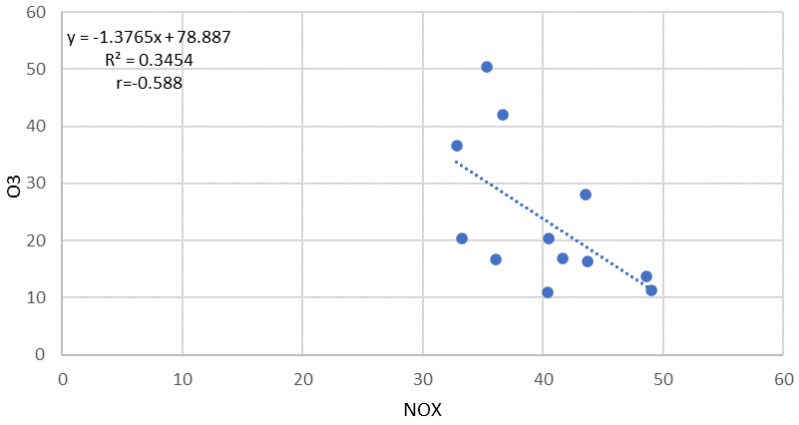
شکل ۱۳. مقدار غلظت ازون ساعتی و اکسیدهای نیتروژن

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.4.1]



شکل ۱۴ .مقدار غلظت ازون ماهانه و اکسیدهای نیتروژن



شکل ۱۵ . همبستگی خطی بین ازون و اکسیدهای نیتروژن

جدول ۵ .آزمون پیرسون بین ازون و اکسیدهای نیتروژن

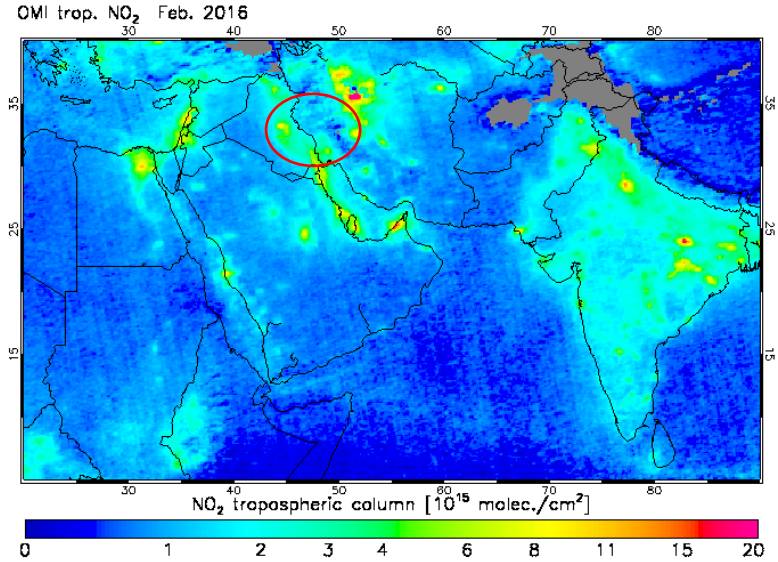
		اکسیدهای نیتروژن	ازون
اکسیدهای نیتروژن	Pearson Correlation	۱	-۰/۵۸۸*
	Sig. (۲-tailed)		۰/۰۴۴
	N	۱۲	۱۲
ازون	Pearson Correlation	-۰/۵۸۸*	۱
	Sig. (۲-tailed)	۰/۰۴۴	
	N	۱۲	۱۲

برای بررسی آلودگی هوای ناشی از دی اکسید نیتروژن و ارتباط آن با ازون تروپوسفری در شهر کرمانشاه از داده‌های سنجنده OMI استفاده شده است. در شکل (۱۶-۱۷) نقشه میانگین دی اکسید نیتروژن در ۲ ماه از سال در زمستان و تابستان به عنوان نمونه ماه از ماه های سال انتخاب و با نرم افزار Arc Map۱۰،۲ برای منطقه مورد مطالعه ترسیم شده است. در شکل ۵ مقدار ازون و دی اکسید نیتروژن نشان داده شده است. بیشترین مقدار غلظت آلاینده‌های دی اکسید نیتروژن با غلظت ازون همزمان بوده و در ساعت اولیه صبح و شب روی می‌دهد بیشترین

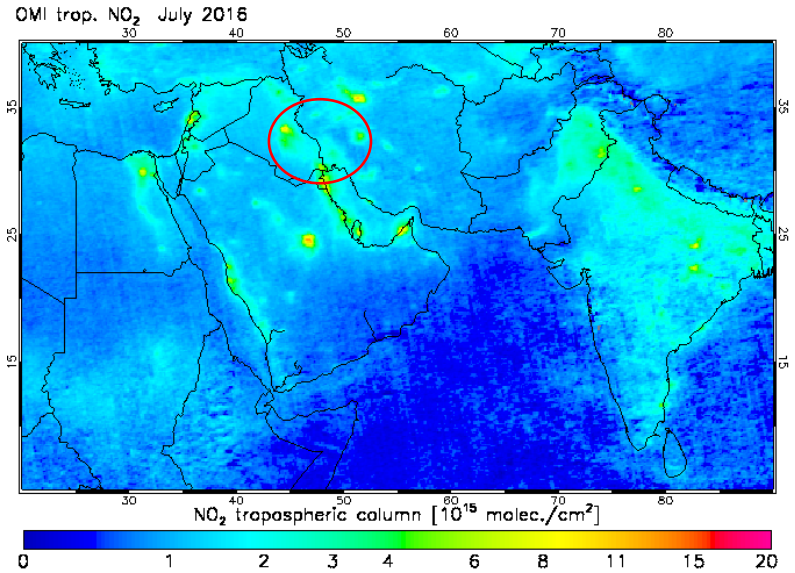
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.4.1]

مقدار غلظت ازون چند ساعت بعد از بیشترین مقدار دی اکسید نیتروژن رخ می‌دهد. بدین صورت که غلظت‌های بالای اکسیدهای نیتروژن، باعث حذف رادیکال‌های OH در واکنش بین OH و NO_2 می‌شود. از این رو غلظت دی اکسید نیتروژن با افزایش فعالیت‌های انسانی و منابع متحرک (خودردوها) به بیشترین مقدار غلظت خود می‌رسد. همانطور که در شکل (۱۸) مشاهده می شود. بیشترین مقدار دی اکسید نیتروژن در فصل زمستان (ماه فوریه) و کمترین مقدار آن در فصل تابستان (ماه جولای) مشاهده می‌شود.



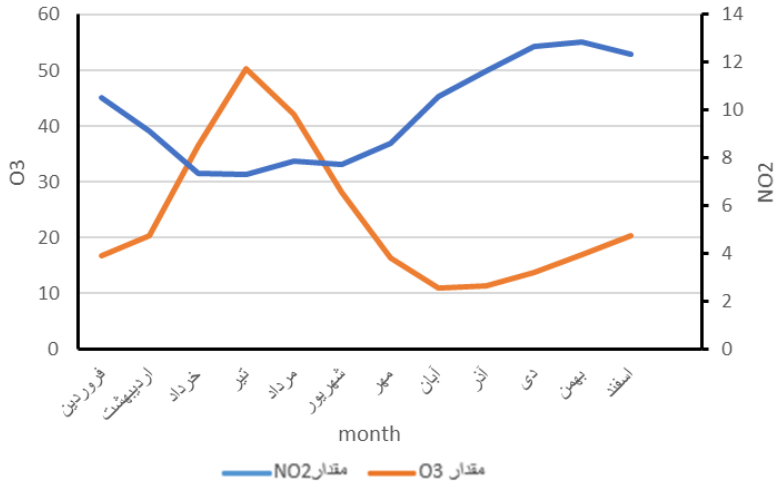
شکل ۱۶ . نقشه میانگین ماهانه NO_2 تروپوسفری در ماه فوریه سال ۲۰۱۶



شکل ۱۷ .نقشه میانگین ماهانه NO_2 تروپوسفری در ماه جولای سال ۲۰۱۶

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.4.1]



شکل ۱۸ .مقدار غلظت ازون ساعتی و دی اکسید نیتروژن

نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر آلاینده‌های هوا سبب خطرات جدی بر سلامت انسان‌ها و محیط زیست شده است یکی از این آلاینده‌ها ازون تروپوسفری است که باعث ایجاد مشکلاتی در بخش بهداشت، محیطزیست و ... شده از این رو شناخت و مطالعه ازون تروپوسفری در سطح شهرهای بزرگ و صنعتی امری ضروری است.

در روند تغییرات غلظت ازون تروپوسفری، پارمترهای هواشناسی و اکسیدهای نیتروژن در ایستگاه زیبا شهر کرمانشاه در سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵ بررسی شده است. نتایج به دست آمده نشان داد که بیشینه غلظت ازون در ساعات بعدازظهر بین ساعات ۱۴ تا ۱۷ و مقادیر بیشینه اکسیدهای نیتروژن در شب و ابتدای صبح در سال رخ می‌دهد. همچنین، بررسی تغییرات فصلی غلظت ازون نشان داد که در فصول گرم سال به دلیل فراهم بودن شرایط تشکیل ازون تروپوسفری از جمله شدت تابش نور خورشید، دما و زمان مناسب تابش و وجود آلاینده‌ها شامل اکسیدهای نیتروژن، غلظت ازون تروپوسفری به مراتب بالاتر بوده است و در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد و فصل‌های بهار و تابستان غلظت ازون در بیشترین مقدار ممکن است.

همچنین نتایج نشان داد که ارتباط مستقیمی بین تشعشع خورشید با غلظت ازون وجود دارد، همزمان با افزایش تشعشع خورشید سبب افزایش درجه حرارت هوا می‌شود که باعث افزایش فعالیت فتوشیمیایی و در نتیجه افزایش غلظت ازون می‌شود. این امر در ماه‌های گرم سال (خرداد، تیر و مرداد) قابل مشاهده است. سرعت باد نیز ارتباط مستقیمی با غلظت ازون تروپوسفری دارد، با افزایش سرعت باد اختلاط واکنش‌گرها سریع‌تر و غلظت ازون تروپوسفری افزایش می‌یابد. اما بارش ارتباط معکوسی با غلظت ازون تروپوسفری دارد که با وقوع بارندگی در ماه‌های که با آغاز بارش‌ها همراه است میزان غلظت ازون کاهش پیدا کرده و در ماه‌های خشک سال میزان غلظت روندی افزایشی است. بنابراین عوامل و پارامترهای هواشناسی نقش مهم و بسزایی در تغییرات ازون تروپوسفری دارند. که با رگرسیون خطی و آزمون پیرسون قابل مشاهده است.

نتایج بررسی دی اکسید نیتروژن و اکسیدهای نیتروژن نشان داد که بیشترین مقدار غلظت دی اکسید نیتروژن و اکسیدهای نیتروژن در طول روز برعکس غلظت ازون تروپوسفری است و کمترین غلظت ازون در فصل تابستان رخ می‌دهد که ناشی از افزایش شدت تابش خورشید، افزایش اکسیداسیون دی اکسید نیتروژن و اکسیدهای نیتروژن و در نتیجه سبب افزایش غلظت ازون تروپوسفری می‌شوند در فصل پاییز و زمستان این مقدار روندی افزایشی دارد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.4.1]

بنابراین روند تغییرات غلظت ازون تروپوسفری برعکس غلظت دی اکسید نیتروژن و نیتروژن اکسیدها است که در بخش روزانه، ماهانه و فصلی قابل مشاهده است که رگرسیون خطی و آزمون پیرسون نیز این مهم را نشان می‌دهند و تصاویر سنجنده OMI نیز این واقعیت را تصدیق می‌کند.

منابع

شرعی‌پور، زهرا. ۱۳۹۱. بررسی غلظت آلاینده ازون وارتباط آن با پارامترهای NOX و دمای هوا. *ششمین همایش ملی مدیریت آلودگی هوا و صدا_تهران.*

شرعی‌پور، زهرا؛ عباسعلی علی اکبری بیدختی. ۱۳۹۸. بررسی عوامل هواشناسی مؤثر بر تغییرات آلاینده ازون سطح زمین طی فصل گرم در شهر تهران. *هشتمین همایش ملی مدیریت آلودگی هوا و صدا تهران _ دانشگاه تهران.*

عزی مند، کیوان؛ عبدالهی کاکرودی، عطاءاله. ۱۳۹۶. تخمین غلظت ازون در سطح زمین با استفاده از روش رگرسیون خطی چند متغییر و تعیین پارامترهای موثر. مجله سلامت و محیط‌زیست. *فصلنامه‌ی علمی و پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران.* **۴**: ۵۳۵-۵۴۶.

غیاث‌الدین، منصور؛ لیلا صورتی. ۱۳۹۳. بررسی تغییرات آلاینده ازون در ایستگاه اقدسیه شرکت کنترل کیفیت هوا و پارمترهای هواشناسی طی مدت هفت ماه (مهر ۸۶ تا پایان فروردین ۸۷) در تهران. *علوم و تکنولوژی محیط‌زیست.* **۴**: ۷۷-۸۳.

محمدی، ناهیده؛ خالد ظروفچی بنیس، مسعود شکری، محمد شاکر خطیبی، اسماعیل فاتحی فر، امیر محمودیان. ۱۳۹۶. تحلیل ارتباط بین ازون سطحی و اکسیدهای نیتروژن در هوای شهر تبریز. *نشریه مهندسی و محیط‌زیست.* **۴۷**: ۱۰۷-۱۱۴.

اصغری جعفرآبادی، محمد؛ محمد شاکر خطیبی، رضیه ازک، مسعود شاکری. ۱۳۹۴. تأثیرآلودگی هوا بر پذیرش بیمارستانی با علائم تنفسی با استفاده از مدل شبکه عصبی. *مجله دانشکده بهداشتی.* **۱**: ۸۷-۹۸.

محمدی، ناهیده؛ خالد ظروفچی، محمد شاکرخطیبی، اسماعیل چفاتحی‌فر، علیرضا بهروزسرند، امیر محمودیان، فرید شیخ الاسلامی. ۱۳۹۵. پیش بینی غلظت آلاینده های گازی در هوای شهر تبریز با استفاده از شبکه عصبی. *نشریه مهندسی عمران و محیط زیست (دانشکده فنی).* **۲**: ۹۷-۱۰۴.

Abdul Aziz, F. A. B., and Mohd Ali, J. ۲۰۱۹. Tropospheric ozone formation estimation in urban city, bangi, using artificial neural network (ANN). *Computational intelligence and neuroscience*. DOI:۱۰,۱۱۵۵/۲۰۱۹/۶۲۵۲۹۸۳.

Demuzere, M., and van Lipzig, N. P. ۲۰۱۰. A new method to estimate air-quality levels using a synoptic-regression approach. Part I: Present-day O۳ and PM۱۰ analysis. *Atmospheric Environment*, **٤٤(١٠)**:۱۳٤۱-۱۳٥٥. DOI:۱۰,۱۰۱٦/j.atmosenv.۲۰۰۹,۰٦,۰۲۹.

Gu, Y., Li, K., Xu, J., Liao, H., and Zhou, G. ۲۰۲۰. Observed dependence of surface ozone on increasing temperature in Shanghai, China. *Atmospheric Environment*, ۲۲۱: ۱۱۷۱۰۸. DOI:۱۰,۱۰۱٦/j.atmosenv.۲۰۱۹,۱۱۷۱۰۸.

Jiang, N., Hay, J. E., and Fisher, G. W. ۲۰۰٥. Effects of meteorological conditions on concentrations of nitrogen oxides in Auckland. *Weather and Climate*, ۲٤: ۱٥-۳٤. DOI:۱۰,۲۳۰۷/۲٦۱٦۹٦۷۲.

Katsouyanni, K., Touloumi, G., Spix, C., Schwartz, J., Balducci, F., Medina, S., ... and Anderson, H. R. ۱۹۹۷. Short term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in ۱۲ European cities: results from time series data from the APHEA project. *Bmj*. ۳۱٤:(۷۰۹٥), ۱٦٥۸. DOI:۱۰,۱۱۳٦/bmj.۳۱٤,۷۰۹٥,۱٦٥۸.

Masoudi, M., Behzadi, F., and Sakhaei, M. ۲۰۱٤. Status and prediction of Ozone as an air pollutant in Tehran, Iran. *Ecology Environment and Conservation*, **۲۰(۲)**, ۷۷٥-۷۸۰.

Masoudi, M., Ordibeheshti, F., Rajaipoor, N., and Sakhaei, M. ۲۰۱٦. Status and preparation of prediction models for ozone as an air pollutant in Shiraz, Iran. *Pollution*, **۲(٤)**: ۳۸۷-۳۹۷. DOI:۱۰,۷٥۰۸/PJ.۲۰۱٦,۰٤,۰۰۲.

Nishanth, T., Kumar, M. S., and Valsaraj, K. T. ۲۰۱۲. Variations in surface ozone and NO x at Kannur: a tropical, coastal site in India. *Journal of Atmospheric Chemistry*, **٦۹(۲)**: ۱۰۱-۱۲٦. DOI:۱۰,۱۰۰۷/s۱۰۸۷٤-۰۱۲-۹۲۳٤-٥.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.4.1]

Reddy, B. S. K., Kumar, K. R., Balakrishnaiah, G., Gopal, K. R., Reddy, R. R., Ahammed, Y. N., ... and Lal, S. ۲۰۱۰. Observational studies on the variations in surface ozone concentration at Anantapur in southern India. *Atmospheric Research*, **۹۸(۱)**:۱۲۵-۱۳۹. DOI:۱۰,۱۰۱٦/j.atmosres.۲۰۱۰,۰٦,۰۰۸.

Schwartz, J. ۲۰۰۵. How sensitive is the association between ozone and daily deaths to control for temperature?. *American journal of respiratory and critical care medicine*, **۱۷۱(٦)**: ٦۲۷-٦۳۱. DOI:۱۰,۱۱٦٤/rccm.۲۰۰٤۰۷-۹۳۳OC.

Struzewska, J., and Jefimow, M. ۲۰۱٦. A ۱۵-year analysis of surface ozone pollution in the context of hot spells episodes over Poland. *Acta Geophysica*, **٦٤(۵)**:۱۸۷۵-۱۹۰۲. DOI:۱۰,۱۵۱۵/acgeo-۲۰۱٦-۰۰٦۷.

Susaya, J., Kim, K. H., Shon, Z. H., and Brown, R. J. ۲۰۱۳. Demonstration of long-term increases in tropospheric O۳ levels: Causes and potential impacts. *Chemosphere*, **۹۲(۱۱)**: ۱۵۲۰-۱۵۲۸. DOI:۱۰,۱۰۱٦/j.chemosphere.۲۰۱۳,۰٤,۰۱۷.

Wang, T., Xue, L., Brimblecombe, P., Lam, Y. F., Li, L., and Zhang, L. ۲۰۱۷. Ozone pollution in China: A review of concentrations, meteorological influences, chemical precursors, and effects. *Science of the Total Environment*, **۵۷۵**: ۱۵۸۲-۱۵۹٦. DOI:۱۰,۱۰۱٦/j.scitotenv.۲۰۱٦,۱۰,۰۸۱.

Wang, X., Shen, Z., Cao, J., Zhang, L., Liu, L., Li, J., ... and Sun, Y. ۲۰۱۲. Characteristics of surface ozone at an urban site of Xi'an in Northwest China. *Journal of Environmental Monitoring*, **۱٤(۱)**: ۱۱٦-۱۲٦. DOI: ۱۰,۱۰۳۹/C۱EM۱۰۵٤۱H.

Zallaghi, E., Shirmardi, M., Soleimani, Z., Goudarzi, G., Heidari-Farsani, M., Al-Khamis, G., and Sameri, A. ۲۰۱٤. Assessment of health impacts attributed to PM۱۰ exposure during ۲۰۱۱ in Kermanshah City, Iran. *Journal of advances in environmental health research*, **۲(٤)**: ۲٤۲-۲۵۰. DOI: ۱۰,۲۲۱۰۲/JAEHR.۲۰۱٤,٤۰۱۷۵.

https://aura.gsfc.nasa.gov/omi.htm.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.4.1]