

تحلیل آماری از اثر عناصر جوی بر آزون سطحی شهر اصفهان

Statistical Analysis of Atmosphere Parameters Effect on Surface Ozone in Isfahan city

Abbasali Arvin (spanani)¹

Accepted: 11/Jan/2011

Received: 3/Jun/2010

عباسعلی آروین (اسپانانی)^۱

پذیرش: ۸۹/۱۰/۲۱

دریافت: ۸۹/۴/۱۲

چکیده:

Ozone gas is one of the seven pollutants that is surveyed in Isfahan gauge pollution stations. A part of production and diffusion of ozone is related to atmosphere parameters directly and indirectly. This research aim is study the effect of atmosphere parameters on surface ozone variations in the city of Isfahan. The correlation and multiple regression have been used for analyze. The results show that increasing of temperature and sunny hours in three time period namely monthly, seasonal and annually have been directly correlated to increasing of ozone but relative humidity and highest wind flow have inverse correlate with increasing of ozone. For example, the correlation coefficient between average of ozone with daily maximum of humidity, daily mean of temperature and number of sunny hours is $R=-0.569$, $R=+0.533$ and $R=+0.52$, respectively. In the best conditions in Farvardin, 80.6 percent of variations have been explained by atmosphere parameters. More than 50% of variations of ozone in Lale station have been explicated by atmosphere parameters in 30.6% of total year; whereas this occurs in Bozorgmehr station only in 16.7 percent of total year. Thus the values of ozone in Lale station is more affected from the atmosphere parameters compared with Bozorgmehr station.

Keywords: Correlation Coefficient, Surface Ozone, Multiple Regression Analysis, Isfahan.

یکی از هفت آلاینده‌ای که در ایستگاه‌های آلوده‌سنجی شهر اصفهان مورد پایش قرار می‌گیرد گاز آزون است. بخشی از تولید و انتشار این گاز بطور مستقیم و غیرمستقیم به پارامترهای جوی نسبت داده می‌شود. هدف این تحقیق مطالعه اثر عوامل جوی بر تغییرات آزون سطحی در شهر اصفهان است که برای این منظور از روش‌های آماری همبستگی و رگرسیون خطی چند متغیره برای تحلیل استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد افزایش دما و ساعات آفتابی در سه بازه زمانی ماهانه، فصلی و سالانه ارتباط مستقیم با افزایش آزون دارد، ولی رطوبت نسبی و وزش سریع‌ترین باد، رابطه معکوس با افزایش مقدار آزون دارد. برای مثال ضریب همبستگی بین میانگین آزون با حداکثر روزانه رطوبت نسبی، متوسط روزانه دما و تعداد ساعات آفتابی به ترتیب برابر $R=-0.569$ ، $R=+0.533$ و $R=+0.520$ است. در بهترین حالت در فروردین ماه، ۸۰/۶ درصد تغییرات آزون در ایستگاه لاله توسط عناصر جوی تبیین می‌شود. همچنین بیش از ۵۰ درصد تغییرات آزون در ایستگاه لاله در ۳۰/۶٪ اوقات سال توسط پارامترهای جوی تبیین می‌شود. در صورتی این درصد تبیین فقط در ۱۶/۷٪ اوقات در ایستگاه بزرگمهر اتفاق می‌افتد. این نشان می‌دهد که مقدار آزون در ایستگاه لاله نسبت به ایستگاه بزرگمهر از عوامل جوی تأثیر بیشتری می‌پذیرد.

کلید واژگان: ضریب همبستگی، آزون سطحی، رگرسیون چند متغیره، اصفهان.

1. Assistant Professor, Department of Geography, Payame Noor University. Email: aspanany@yahoo.com

۱. استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور. Email: aspanany@yahoo.com

مقدمه

آلودگی هوا یکی از مهمترین معضلاتی است که جوامع بشری در شهرها و به خصوص شهرهای بزرگ صنعتی با آن مواجه هستند و شهر اصفهان نیز از این قاعده مستثنی نیست. اگر چه تأسیس ایستگاه‌های آلوده‌سنجی در شهرهای بزرگ صنعتی مقدمه هر گونه آگاهی به منظور اتخاذ تصمیم برای مقابله با آلودگی و یا کاهش اثر آن بر روی سلامتی انسان است (که البته سازمان حفاظت محیط زیست اصفهان نیز از سال ۱۳۸۴ اقدام به تأسیس ایستگاه سنجش و پایش آلودگی در میدان لاله و بزرگمهر نمود و تاکنون تعداد آنها را به ۷ ایستگاه در شهر اصفهان افزایش داده است)، لیکن تا زمانی که این داده‌ها مورد بررسی و تحلیل قرار نگرفته و قوانین حاکم بر آنها کشف نگردد، اتخاذ هر گونه تصمیم برای مقابله با آلودگی توأم با اشتباه و صرف هزینه اضافی خواهد بود. بررسی‌ها نشان می‌دهد انتشار گازهای آلاینده در مناطق شهری در درجه اول تحت تأثیر منابع انتشار آلودگی است. بعد از انتشار، گازهای آلاینده تحت تأثیر عناصر جوی قرار می‌گیرند و عناصر مختلف جوی بر روی انواع گازهای آلاینده اثر متفاوت دارند. این اثر متفاوت می‌تواند افزایش و یا کاهش میزان آلودگی را در پی داشته باشد. یکی از گازهای آلاینده‌ای که به شدت تحت تأثیر عوامل جوی قرار دارد گاز آزون است.

بررسی‌ها نشان می‌دهد تجمع گاز آزون در سطح زمین و به خصوص نواحی شهری به علت فعالیت‌های صنعتی و حمل و نقل شهری در حال افزایش است (اسپانلی، ۱۳۷۸: ۱۰۷). بخشی از تولید و انتشار آزون به طور مستقیم و غیرمستقیم به پارامترهای جوی نسبت داده می‌شود. برای مثال بر اثر واکنش‌های شیمیایی و فتوشیمیایی پرتوهای خورشیدی با گاز NO_x ، آزون تولید می‌شود لذا در زمان حداکثر فعالیت خورشیدی از نظر طول مدت و شدت درخشندگی، مقدار آزون افزایش می‌یابد که این فرایند غالباً در روزهای گرم فصل تابستان اتفاق می‌افتد.

از دیگر عوامل مؤثر در تغییرات آزون دمای هوا است. درجه حرارت‌های بالاتر انتشار هیدروکربن بیوژنی را افزایش می‌دهد و فراوانی NO_x ($\text{NO} + \text{NO}_2$) با تجزیه حرارتی،

ذخیره هیدرواکسید نیتريت را افزایش می‌دهد که منجر به تولید و انتشار آزون در فضای زیستی می‌گردد. همچنین افزایش دما به واسطه افزایش شدت واکنش‌های شیمیایی در افزایش تولید آزون مؤثر است. ارتباط نزدیک بین آزون و درجه حرارت هوا با ضریب همبستگی قابل توجه ۰/۵ تا ۰/۶ به ترتیب برای متوسط و حداکثر روزانه درجه حرارت در هنگ کنگ تأیید شده است (بی سی لی^۱ و دیگران، ۲۰۰۹: ۱۱۵).

افزایش میزان رطوبت نیز از طریق ته نشست یا رسوب گاز آزون به کاهش آن منجر می‌گردد. نتایج مطالعه‌ای در هند نیز نشان داده است که رابطه‌ی منفی رطوبت نسبی با تمرکز آزون از طریق اعمال فرایند رسوب‌گذاری آزون توسط رطوبت اتفاق می‌افتد (ردی^۲ و دیگران، ۲۰۰۸: ۵۷).

در مورد باد باید دقت بیشتری مبذول داشت. اگر چه با افزایش سرعت وزش باد به واسطه زدودن گازها و غبار از جو و اختلاط آن از مقدار آزون نیز کاسته می‌شود اما سرعت‌های پایین باد با افزایش آزون رابطه مثبت دارد. دیگر تحقیقات نیز شکل‌گیری آزون را در سرعت‌های پایین باد (۲/۵ متر بر ثانیه) نشان داده‌اند (هاتزیاناستاسیو^۳ و دیگران، ۲۰۰۶: ۶۳). به طوری که بعضاً در سرعت کم باد، آزون از دیگر نقاط متراکم از آزون به سمت ایستگاه وارد شده و ایستگاه مقدار آزون بیشتری نشان می‌دهد، همچنین تخلیه بار الکتریکی شدید بر اثر رعد و برق می‌تواند موجب تشکیل آزون سطحی شود.

کوکس^۴ و شائو هنگ‌چو^۵ (۲۰۰۳: ۴۳۳)، اثرات تعدیلی همزمان درجه حرارت و باد را بر روی تغییرات سالانه میزان آزون در سطح زمین ارزیابی کردند. نتایج نشان داد تعدیل هواشناختی درصد بالایی از توزیع حداکثر آزون یک ساعته را در اغلب نواحی شهری در دوره زمانی ۱۹۸۱ تا ۱۹۹۱ کاهش داده است.

1. Y. C. Lee
2. R. R. Reddy
3. Nikolaos Hatzianastassiou
4. William M. Cox
5. Shao-Hang chu

کیفیت هوای دو شهر پامپلونا^۶ و آلساسوا^۷ از استان ناواره در اسپانیای شمالی را در دوره آماری از جولای ۲۰۰۱ تا ژوئن ۲۰۰۴ مطالعه کردند.

نالی و دیگران^۸ (۲۰۰۱: ۱۶۴-۱۶۶)، در مقاله‌ای با عنوان "آگاهی‌دهنده و زیست آگاهی‌دهنده آزون سطحی در فلورانس ایتالیا" اطلاعات سه ایستگاه سنجنده که دو تا در ناحیه شهری و یکی در تپه‌های اطراف ستیگنانو بوده و یک سنجنده زیستی که در دشت مزرعه تنباکو بوده را مطالعه کردند. هدف ساخت مدل برای پیش‌بینی تمرکزهای حداکثر آزون در سطح زمین بوده است. متغیرهای استفاده شده در این مدل پیش‌بینی؛ متوسط و حداکثر درجه حرارت، متوسط تشعشع خورشیدی، طول مدت تابش (ساعات آفتابی)، فشار بارومتر، رطوبت نسبی و سرعت و جهت باد بوده است. (ونپو شان و دیگران^۹، ۲۰۰۸: ۲۵۲) در مقاله با عنوان "مطالعه مشاهده‌ای آزون سطحی در یک سایت شهری در شرق چین" بیان داشتند که در ۶۵ ساعت در ۲۳ روز، مقدار آزون از حد استاندارد برای سلامتی انسان در چین (۱۰۰ ppb) عبور کرده است. در این تحقیق ضریب همبستگی سالانه بین مقدار آزون و دما ۰/۶۶ و بین آزون و رطوبت نسبی در فصل تابستان ۰/۷۷- بوده است.

ستورگس^{۱۰} (۱۹۹۹: ۵۱۴۷)، در مقاله‌ای با عنوان "رویکرد جدید، آیا آلودگی آزون تروپوسفری در بهار یا تابستان افزایش یا کاهش داشته است؟" به این نکته اشاره دارد که مقدار آزون در طول روز افزایش و در شب کاهش دارد و این به اثر فتوشیمیایی خورشید در تبدیل NO₂ حاصل از دودکش وسایل نقلیه و کارخانجات تولید الکتریسته به آزون مربوط است. در زمستان به خاطر دمای پایین هوا، زاویه زیاد خورشید و طول کم روز، درهمکنش با NO₂ اندک و تولید آزون نیز بسیار کمتر است.

ساگر و دیگران^{۱۱} (۲۰۰۵: ۴۱۹)، در مقاله‌ای با عنوان «فولوزی برگ افرای شیرین (ساختارین افرا) به عنوان

براستجی و امانوئل ماداریاگا^۱، (۲۰۰۳: ۳۶۱) در مقاله‌ای تحت عنوان "تراکم ترافیک و انتشار اولیه آزون در بیلپائو اسپانیا" عوامل شهری مؤثر در انتشار و تولید آزون را مطالعه کرده و به این نکته اشاره دارد که آزون اندازه‌گیری شده در شهرها نتیجه‌ای از درهمکنش بین انتشار اولیه (عمدتاً VOC_s و NO_x) ناشی از ترافیک و اثرات هواشناختی هستند.

راپن انکلاک دیگران^۲ (۱۹۹۳: ۲۹۳)، در تحقیقی با عنوان "اندازه‌گیری آزون و اکسید نیترات در مونیخ" قوانین حاکم بر آزون و ارتباط آن با تغییرات اکسید نیترات را بررسی کرده و نشان داده مقادیر حداکثر مخلوط تا ۷۵ ppb (قسمت در میلیارد) برای آزون و ۵/۶ ppb برای اکسید نیترات ثبت شده است. در این تحقیق با تحلیل همبستگی خطی، ارتباط تغییرات آزون با عوامل هواشناسی اثبات شده است.

ردی^۳ و دیگران (۲۰۰۸: ۵۷-۴۸)، در مقاله‌ای با عنوان "اندازه‌گیری آزون سطحی در منطقه نیمه خشک آنانپور هند" فرایندهای فتوشیمیایی تشکیل آزون در مکان‌های روستایی را مطالعه کردند. در نتیجه این تحقیق متوسط تغییرات فصلی نسبت مخلوط آزون با حداکثر (حدود ۶۰ ppb) در تابستان و حداقل (حدود ۲۲ ppb) در دوره مونسون مشاهده شد. بالاترین متوسط ماهانه آزون ۴۸/۹+۷/۷ ppb در ماه مارس و پایین‌ترین متوسط ماهانه ۲۶/۳+۳/۵ ppb در ماه آگست مشاهده شد که احتمالاً افزایش تمرکز اولیه گاز به واسطه فعالیت آنتروپوژنیک (تولید آزون ناشی از فعالیتهای صنعتی انسان) و اثر پارامترهای هواشناختی ایجاد می‌شود. به دیگر سخن رطوبت نسبی که در زمان فصل بارش بالاتر است ارتباط منفی با درجه حرارت و نسبت مخلوط آزون نشان می‌دهد. از میان دو پارامتر باد و رطوبت نسبی همبستگی آزون سطحی با سرعت باد ($R^2=0/84$) در مقایسه با رطوبت نسبی ($R^2=0/66$) بهتر است.

زابلز^۴ و دیگران (۲۰۰۷: ۱۳۷) در مقاله‌ای با عنوان "مطالعه آلودگی اتمسفر شهری در ناواره^۵ (شمال اسپانیا)" کاهش

6. Pamplona
7. Alsasua
8. Cristina Nali
9. Wenpo Shan
10. W. T. Sturges
11. E. P. S. Sager

1. Gabriel Ibarra-Berastegi and Imanole Madariaga
2. B. Rappenengluck
3. R. R. Reddy
4. J. Zabalza at all
5. Navarre

و دیگران^۱، ۱۹۹۲: ۲۹۱) آلودگی آزون در اتمسفر دهلی را مطالعه کرده‌اند.

در ایران نیز محامد (۱۳۷۷) در کتاب "لایه آزون (سپر حفاظتی حیات)" وضعیت عمومی آزون و به خصوص آزون استراتوسفری و اسپنانی، (۱۳۸۷: ۱۲۷-۱۰۶) در مقاله با عنوان «آزون و نقش آن بر حیات کره زمین» شرایط کلی شکل‌گیری آزون در سطح زمین و اثر آن را بر موجودات زنده بررسی کرده‌اند.

این پژوهش به منظور تأمین دو هدف اصلی انجام شد:

۱. بررسی روابط بین تغییرات (افزایش یا کاهش) مقدار آزون و عوامل هواشناختی، ۲. میزان اثر هر یک از عناصر اقلیمی در افزایش و یا کاهش میزان آزون. بر همین اساس دو فرضیه بر آن مترتب است؛ الف) بین میزان آلودگی و عناصر جوی ارتباط مستقیم وجود دارد، و ب) میزان اثر عوامل جوی بر افزایش و یا کاهش میزان آلودگی متفاوت است.

داده‌ها و روش‌ها

در این پژوهش از آمار آلوده‌سنجی دو ایستگاه خودکار بزرگمهر و میدان لاله اصفهان استفاده شد. در مجموع آمار آزون ۲۰ ماه، (۸ ماه از سال ۱۳۸۶ و ۱۲ ماه از سال ۱۳۸۷) از ابتدای مرداد ۱۳۸۶ تا پایان اسفند ۱۳۸۷ به طور جداگانه در دو ایستگاه میدان لاله و بزرگمهر مورد استفاده قرار گرفت. نقص‌های موجود در آمار ساعتی با استفاده از روش‌های رگرسیون و روش نسبت‌ها و تفاضل‌ها در موارد مقتضی برطرف گردید و روزهایی که کاملاً آمار نداشت و بازسازی به روند اصلی داده‌ها لطمه وارد می‌کرد، از آمار حذف شد که البته تعداد آنها (در کل ۱۲۱۶ روز)، از ده روز کمتر بود.

همچنین، از آمار روزانه ایستگاه هواشناسی و آزون سنجی اصفهان جهت اطلاع بر شرایط جوی بهره‌گیری شد. با عنایت به اینکه آمار آزون به صورت ساعتی بود، برای ایجاد هماهنگی بین داده‌های جوی و آزون، مقادیر میانگین، حداکثر و حداقل روزانه عناصر جوی و مقدار آزون محاسبه شد و تحلیل‌های بعدی بر روی آنها انجام شد. بررسی‌های اولیه بر

شاخص بالقوه آلودگی آزون تروپوسفری» نشان دادند فنولوژی برگ افرای شیرین می‌تواند شاخص بیوشیمیایی خوبی برای نمایان ساختن آزون تروپوسفری باشد.

کوروکاو و دیگران^۱ (۱۹۹۶: ۴۳۶)، در مقاله‌ای با عنوان "اکسید شدن آزون با خلوص بالا با سیلیکون سطحی هیدروژن غیرفعال" نشان دادند وقتی سطح زمین به تدریج با هیدروژن پوشیده می‌شود، اکسید آزون افزایش می‌یابد و زمانی که سطح زمین کاملاً از هیدروژن پر شد، اکسید آزون کم می‌شود تا به یک دهم کاهش می‌یابد. این نرخ کاهش در مقایسه با نرخ کاهش اکسیژن که ۱۰^{۱۲} گزارش شده خیلی کمتر است. کومار و دیگران^۲، (۲۰۰۰: ۹۱) در مقاله‌ای با عنوان "توسعه یک مدل پیش‌بینی آزون برای نواحی غیرقابل دسترسی در ایالات اوهایو" نشان دادند، تمرکز بالای آزون در خلال ماه‌های تابستان رخ می‌دهد. مدل ارائه شده در این مقاله بر اساس تحلیل‌های آماری، تابعی از حداکثر درجه‌ی حرارت روزانه برای نواحی غیرقابل دسترسی است. مدل حداکثر رخداد آزون را بیش از ۱۰۰ ppb پیش‌بینی می‌کند.

همچنین، (کومری و دیگران^۳ ۱۹۹۲: ۳۰۱)، ارتباط بین تغییرات جوی در مقیاس سینوپتیک و تمرکز آزون در متروپولیتن پیتزبورگ (مک‌کندری^۴ ۱۹۹۳: ۹۳)، آزون سطح زمین در مونترال کانادا، کورسونگ و دیگران^۵، (۱۹۹۱: ۴۷) آزمون روندهای شهری آزون در شمال شرقی ایالات متحده، (روبسون و دیگران^۶، ۱۹۹۰: ۳۰۳)، ارزیابی و مقایسه مدل‌های پیش‌بینی آماری حداکثر روزانه تمرکز آزون (شیولی^۷ ۱۹۹۰: ۲۹۳)، تحلیل روند بلندمدت در آمار آزون از دو سایت مشاهده هوستون و تگزاس (کومالا و دیگران^۸، ۱۹۹۵: ۱۸۵۱)، رفتار آزون تروپوسفری مشاهده شده در اندونزی (پی‌آر نایرا و دیگران^۹، ۲۰۰۲: ۶۰۳) تغییرات زمانی در آزون سطحی در تومبا یک سایت حاره‌ای ساحلی در هند و (سی. کی ورشنی

1. A. Kurokawa
2. Ashok Kumar
3. Andrew C. Comrie
4. Ian G. McKendry
5. Patricia E. Korsong
6. S.M. Robeson
7. Thomas S. Shively
8. Ninong Komala
9. P.R. Naira

ضریب همبستگی بین حداکثر دما با حداکثر آزون در مهرماه در ایستگاه بزرگمهر ($R=+0/51$) بوده است. همچنین ضرایب همبستگی بین مقادیر آزون و پارامترهای جوی در مقیاس فصلی اختلاف زیادی با هم داشت. در ایستگاه لاله در فصل بهار مقدار آزون با عوامل جوی همبستگی بهتری دارد. تحلیل همبستگی بر روی داده‌های فصلی، ارتباط بیشتری بین مقادیر دما، ساعات آفتابی و وزش سریعترین باد را بر تغییرات آزون نسبت به دیگر عوامل جوی مؤثر تأیید می‌کند. ارتباط بین رطوبت نسبی و وزش سریعترین باد با مقادیر آزون همبستگی منفی و دما و ساعات آفتابی با مقدار آزون همبستگی مثبت دارند. تمام این ضرایب در ایستگاه لاله در فصل بهار از دیگر فصل‌های سال معنادارتر هستند.

تقریباً همگی ضرایب همبستگی بین میانگین، حداکثر و حداقل مقدار آزون با عناصر جوی در ایستگاه لاله زیر سطح $0/01$ معنادار هستند اما ضرایب مشابه در ایستگاه بزرگمهر معنادار نیستند (جدول ۱).

آنچه قابل ذکر است اینکه ضرایب به دست آمده در دو ایستگاه نیز در هر سه مقیاس زمانی اختلاف قابل توجهی با همدیگر داشت به طوری که این ضرایب در ایستگاه لاله ارقام بیشتری را نسبت به ایستگاه بزرگمهر نشان می‌داد. این موضوع گویای این مطلب است که شرایط و مقدار آزون در ایستگاه لاله با شرایط اقلیمی پیوند بهتری می‌خورد ولی در ایستگاه بزرگمهر عوامل غیر جوی در تولید آزون بیشتر دخیل هستند که ناشی از قرارگیری ایستگاه در محل غیراستاندارد و اثر کاذب دود متصاعد شده از خودروهای دیزلی آتش‌نشانی است که هر شب حداقل سه بار برای شارژ شبانه روشن می‌شوند.

اثر جمعی عوامل جوی بر تغییرات آزون

به منظور سنجش تأثیر جمعی عوامل جوی بر روی تغییرات آزون از تحلیل رگرسیون خطی چندگانه در بازه‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه استفاده شد. به این ترتیب بین هر یک از مقادیر میانگین، حداکثر و حداقل آزون در دو ایستگاه به صورت جداگانه به عنوان متغیر وابسته و مجموعه ۸ پارامتر میانگین، حداکثر و حداقل رطوبت نسبی و میانگین، حداکثر و

روی ۱۵ متغیر جوی، ارتباط بین ۸ متغیر رطوبت نسبی، درجه حرارت، وزش سریع ترین باد و تعداد ساعت های آفتابی را با مقدار آزون سطحی بیش از بقیه عناصر تأیید کرد، لذا تنها رابطه این عناصر با تغییرات آزون سنجیده شد.

با توجه به اینکه هدف این تحقیق کشف ارتباط بین مقادیر آزون با عناصر جوی است، از دو روش تحلیل همبستگی و رگرسیون خطی چند متغیره برای این منظور بهره گیری شد. این کار بر روی داده‌ها در سه بازه زمانی ماهانه، فصلی و سالانه انجام و نتایج در قالب جداول ماتریس همبستگی ارائه شده است. بدین ترتیب از ضریب همبستگی پیرسون برای محاسبه نوع و شدت ارتباط عناصر جوی با افزایش آزون سطحی استفاده شد و معنی داری ارتباط در دو سطح $0/05$ و $0/01$ مورد آزمون قرار گرفت. همچنین از روش رگرسیون خطی چند متغیره برای مطالعه اثر جمعی عوامل مختلف جوی بر روی تغییرات آزون سطحی استفاده شد. روش ورود داده‌ها به مدل رگرسیون Enter بوده است تا اثر عوامل مختلف، صرف نظر از شدت و ضعف دیگر عوامل بر تغییرات آزون روشن شود. میزان اثر مجموع عوامل بر تغییرات آزون سطحی توسط ضریب رگرسیون R و درصد از تغییرات کل توسط هر یک از عوامل بر تغییرات آزون، توسط ضریب تبیین R^2 سنجیده شد.

یافته‌های تحقیق:

اثر عوامل جوی بر تغییرات آزون برای بررسی اثر تک تک عوامل جوی بر تغییرات آزون از روش تحلیل همبستگی استفاده شد. بررسی ۲۴ ماتریس همبستگی در دو ایستگاه نشان داد، ضرایب همبستگی به دست آمده در ماه‌های مختلف اختلاف قابل توجهی با همدیگر دارند که به علت تأثیرپذیری آزون سطحی از عوامل متعددی (بعضاً غیر از عوامل جوی) است. نتایج تحلیل نشان داد در بیشتر ماه‌ها مقدار آزون با رطوبت نسبی و سرعت وزش باد، رابطه‌ی معکوس و با دمای هوا و با ساعات آفتابی رابطه‌ی مستقیم دارد. برای مثال ضریب همبستگی بین حداکثر رطوبت نسبی و میانگین آزون در تیرماه ۱۳۸۷ در ایستگاه لاله ($R=-0/557$) بوده و یا

جدول ۱. ضرایب همبستگی بین مقادیر میانگین، حداکثر و حداقل روزانه آزون با عناصر جوی سال ۱۳۸۷

شرح	مقادیر آزون در ایستگاه لاله			مقادیر آزون ایستگاه بزرگمهر		
	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل
۱) روزانه	متوسط	-۰.۴۶۱**	-۰.۲۹۰**	۲۷	-۰.۰۶۳	۸
	حداکثر	-۰.۵۲۶**	-۰.۳۰۲**	-۰.۰۱۷	-۰.۰۷۱	-۰.۰۳۲
	حداقل	-۰.۴۶۷**	-۰.۲۷۲**	۳	-۰.۰۷۱	-۰.۰۲۴
۲) ماهانه	حداکثر	-۰.۵۶۱**	-۰.۳۷۷**	۷	۳۹	۱۹
	حداقل	-۰.۵۶۰**	-۰.۳۵۵**	۱۸	۳۰	۳۵
	متوسط	۰.۵۶۸**	۰.۳۷۱**	۱۲	۳۵	۲۷
ساعات آفتابی	۰.۳۹۴**	۰.۲۷۳**	۰.۲۳۳**	۱	۳۲	۵۶
سریعترین باد	-۰.۱۲۸*	-۰.۱۰۳	۰.۳۱۴**	۰.۱۴۲**	۳۲	۰.۱۴۱**

* همبستگی در سطح ۰/۰۵ معنی دار است. ** همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنی دار است.

فرودین توسط عناصر جوی تبیین می‌شود. در سایر ماه‌ها نیز ضرایب همبستگی ارقام بالایی را نشان می‌دهد که دال بر اثر عناصر آب و هوایی بر روی تغییرات آزون است. نکته‌ای که نباید فراموش شود اینکه ضرایب همبستگی به دست آمده در دو ایستگاه اختلاف زیادی با هم دارند. این موضوع نشانگر این است که مقدار آزون دارای تغییرات قابل توجه زمانی و مکانی، تحت تأثیر عوامل متعدد جوی و غیر جوی است. بررسی جدول (۲) نشان می‌دهد. در ایستگاه لاله در بسیاری از ماه‌ها، ضرایب همبستگی بیشتر از ایستگاه بزرگمهر است. در مقادیر میانگین، در ۸ ماه و در مقادیر حداکثر، در ۷ ماه

حداقل درجه حرارت، ساعات آفتابی و حداقل درجه حرارت، ساعات آفتابی و سریع‌ترین باد به عنوان متغیرهای اثرگذار تحلیل رگرسیون انجام شد.

در مقیاس ماهانه این تحلیل ۶ بار برای هر ماه و جمعاً ۱۴۴ بار برای دوازده ماه در دو ایستگاه انجام شد که نتایج این تحلیل برای مقایسه به صورت ضریب همبستگی و تبیین در جدول (۲) آورده شده است. در بین ماه‌های سال مقادیر حداکثر آزون در ماه فرودین رابطه بهتری با عوامل جوی دارد که ضریب همبستگی ۰/۸۹۸ این موضوع را تأیید می‌کند. بر این اساس ۸۰/۶ درصد تغییرات حداکثر آزون در ماه

جدول ۲. نتایج تحلیل رگرسیون بین عوامل جوی و مقادیر روزانه آزون در دو ایستگاه لاله و بزرگمهر

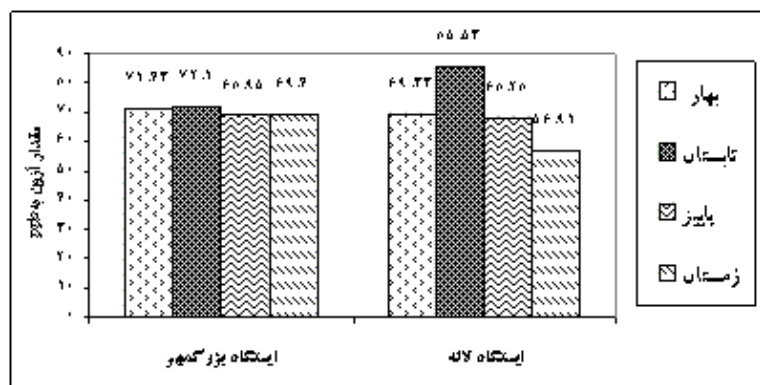
شرح	مقادیر آزون ایستگاه لاله			مقادیر آزون ایستگاه بزرگمهر		
	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل
فرودین	۰.۷۵۳ ^a	۰.۵۶۷	۰.۸۹۸ ^a	۰.۸۰۶	۰.۸۲۵ ^a	۰.۶۸۱
اردیبهشت	۰.۵۴۳ ^a	۰.۲۹۴	۰.۵۲۸ ^a	۰.۲۷۹	۰.۶۶۲ ^a	۰.۴۳۸
خرداد	۰.۶۴۲ ^a	۰.۴۱۲	۰.۶۶۹ ^a	۰.۴۴۷	۰.۵۴۲ ^a	۰.۲۹۴
تیر	۰.۶۴۱ ^a	۰.۴۱۰	۰.۴۴۹ ^a	۰.۲۰۱	۰.۴۸۷ ^a	۰.۲۳۷
مرداد	۰.۴۶۵ ^a	۰.۲۱۷	۰.۴۴۹ ^a	۰.۲۰۲	۰.۴۲۱ ^a	۰.۱۷۷
شهریور	۰.۶۶۲ ^a	۰.۴۳۸	۰.۷۵۹ ^a	۰.۵۷۶	۰.۴۱۳ ^a	۰.۱۷۰
مهر	۰.۵۴۸ ^a	۰.۳۰۱	۰.۵۳۶ ^a	۰.۲۸۷	۰.۵۱۶ ^a	۰.۲۶۶
آبان	۰.۷۲۰ ^a	۰.۵۱۸	۰.۵۷۵ ^a	۰.۳۳۱	۰.۷۸۴ ^a	۰.۶۱۵
آذر	۰.۷۲۴ ^a	۰.۵۲۵	۰.۷۴۵ ^a	۰.۵۵۵	۰.۷۴۶ ^a	۰.۵۵۷
دی	۰.۵۷۹ ^a	۰.۳۳۵	۰.۷۲۶ ^a	۰.۵۲۷	۰.۴۸۶ ^a	۰.۲۳۶
بهمن	۰.۷۴۳ ^a	۰.۵۵۲	۰.۷۹۰ ^a	۰.۶۲۳	۰.۶۵۸ ^a	۰.۴۳۳
اسفند	۰.۵۷۸ ^a	۰.۳۳۴	۰.۵۸۹ ^a	۰.۳۴۷	۰.۵۷۳ ^a	۰.۳۲۸

به طور کلی نتایج تحلیل رگرسیون در فصل بهار، بهترین همبستگی را بین عوامل جوی و تغییرات آزون نشان می دهد. این موضوع می تواند با افزایش آزون استراتوسفری افزایش یافته عرض های بالا در فصل بهار و انتقال آن به عرض های پایین و سطح زمین توسط اغتشاشات جوی مربوط گردد. بعد از بهار، تابستان قرار دارد که تغییرات آزون با پارامترهای جوی ضریب رگرسیون بالاتری دارند. این موضوع نیز به خاطر اثر پرتوهای حداکثر خورشیدی در فصل تابستان در تولید آزون سطحی است. از سویی دیگر کم شدن ضریب همبستگی در فصول سرد پاییز و زمستان، نشانگر این است که دمای بالا نقش چشم گیری در افزایش آزون در اصفهان دارد و مقدار آزون حداکثر در دماهای بالا در فصل گرم شکل می گیرد. در هر دو ایستگاه در دو فصل بهار و تابستان بیش از ۶۰٪ تغییرات آزون توسط عناصر جوی تبیین می شود، در صورتی که در فصول پاییز و زمستان، کمتر از ۵۰٪ تغییرات -

از سال ضریب همبستگی در ایستگاه لاله بیشتر از ایستگاه بزرگمهر است. همچنین بیش از ۵۰ درصد تغییرات آزون در ایستگاه لاله در ۳۰/۶٪ اوقات در مقادیر میانگین، حداکثر و حداقل توسط پارامترهای جوی تبیین می شود. در صورتی که در ایستگاه بزرگمهر فقط در ۱۶/۷٪ اوقات بیش از ۵۰٪ تغییرات مقادیر میانگین، حداکثر و حداقل آزون توسط عناصر جوی کنترل می شود. این نشان می دهد که مقدار آزون در ایستگاه لاله نسبت به بزرگمهر بیشتر از عوامل جوی تأثیر می پذیرد. در صورتی که عوامل غیر جوی متأثر از اثر کاذب متغیرهای مزاحم مؤثر بر افزایش مقدار آزون در ایستگاه بزرگمهر بیشتر هستند. تحلیل رگرسیون در مقیاس فصلی نشان داد، ارتباط بین عوامل جوی و تغییرات آزون در سه فصل بهار تابستان و پاییز اختلاف قابل توجهی با هم دارند که وجود روند فصلی در تغییرات آزون را تأیید می کند (جدول ۳).

جدول ۳. نتایج تحلیل رگرسیون بین عوامل جوی و مقادیر آزون در دو ایستگاه لاله و بزرگمهر در فصول مختلف سال ۱۳۸۷

شرح	مقادیر آزون ایستگاه لاله						مقادیر آزون ایستگاه بزرگمهر					
	میانگین		حداکثر		حداقل		میانگین		حداکثر		حداقل	
فصل	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
بهار	۰.۹۶۱ ^a	۰.۹۲۴	۰.۹۹۲ ^a	۰.۹۸۵	۰.۸۶۱ ^a	۰.۷۴۲	۰.۹۷۵ ^a	۰.۹۵۱	۰.۹۰۵ ^a	۰.۹۵۹ ^a	۰.۹۲۰	
تابستان	۰.۹۱۵ ^a	۰.۸۳۸	۰.۷۸۶ ^a	۰.۶۱۸	۰.۸۸۳ ^a	۰.۷۸۰	۰.۷۳۷ ^a	۰.۵۳۵	۰.۸۰۰ ^a	۰.۸۳۰ ^a	۰.۶۸۸	
پاییز	۰.۶۵۴ ^a	۰.۴۲۷	۰.۵۷۴ ^a	۰.۳۲۹	۰.۷۰۲ ^a	۰.۴۹۳	۰.۵۳۰ ^a	۰.۲۸۱	۰.۴۳۰ ^a	۰.۵۲۳ ^a	۰.۲۷۴	
زمستان	۰.۳۶۷ ^a	۰.۱۳۵	۰.۴۴۸ ^a	۰.۲۰۱	۰.۳۸۳ ^a	۰.۱۴۶	۰.۵۲۵ ^a	۰.۲۷۶	۰.۴۴۴ ^a	۰.۴۸۱ ^a	۰.۲۳۱	



نمودار ۱. مقایسه میانگین حداکثر آزون در فصول مختلف در دو ایستگاه در سال ۱۳۸۷

گرم تابستان و بهار انطباق دارد. همچنین می‌بینیم که مقادیر آزون تقریباً در هر چهار فصل در ایستگاه لاله بهتر با نتایج در پارامترهای جوی پیوند می‌خورد که بر اثر بیشتر عوامل جوی در شکل‌گیری آزون در ایستگاه لاله تأکید دارد.

مقیاس سالانه نیز نشان داد که ضرایب در دو ایستگاه اختلاف قابل توجهی با هم دارند و تأثیرپذیری مقدار آزون را از عوامل متعدد تأیید می‌کند. همچنین میانگین آزون در ایستگاه لاله بهترین همبستگی را با عناصر جوی دارد و بعد از آن حداقل آزون در همین ایستگاه رابطه معنادارتری با عناصر جوی دارد (جدول ۴).

آزون توسط عناصر جوی تبیین می‌شود. این نشانگر این است که تغییرات آزون در فصل بهار و تابستان بیشتر از عناصر جوی تأثیر می‌پذیرد. برای اثبات این موضوع میانگین حداکثر آزون را در فصول مختلف را در نمودار ۱ با هم مقایسه کرده‌ایم.

مقدار آزون در تابستان و بهار نسبت به پاییز و بهار بیشتر است و میانگین دمای تابستان و بهار نیز نسبت به پاییز و بهار اختلاف قابل توجهی دارد. میانگین دمای بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب برابر ۲۲/۸، ۲۷/۷۶، ۱۲/۵ و ۷/۳ درجه سلسیوس است که با افزایش میانگین حداکثر آزون در فصل

جدول ۴. تحلیل رگرسیون بین عناصر جوی و مقادیر آزون در دو ایستگاه لاله و بزرگمهر در سال ۱۳۸۸

ایستگاه بزرگمهر				ایستگاه لاله							
حداقل		حداکثر		میانگین		حداقل		حداکثر		میانگین	
بهرار	پاییز	بهرار	پاییز	بهرار	پاییز	بهرار	پاییز	بهرار	پاییز	بهرار	پاییز
۰.۸۱	۰.۲۸۵ ^a	۰.۰۴۷	۰.۲۱۶ ^a	۰.۰۸۴	۰.۲۸۹ ^a	۰.۲۷۳	۰.۵۲۳ ^a	۰.۱۷۱	۰.۴۱۴ ^a	۰.۳۶۵	۰.۶۰۴ ^a

عناصر جوی است که تغییرات ماهانه آن اثر متفاوت بر جوی و مقدار آزون در ایستگاه لاله نسبت به ایستگاه بزرگمهر در بیشتر ماه‌ها قوی‌تر است.

مقدار آزون دارای تغییرات در بازه‌ی زمانی فصلی است و اختلاف قابل توجه ضرایب همبستگی فصول مختلف با هم‌دیگر، وجود روند فصلی تغییرات آزون متناسب با روند فصلی اقلیم را تأیید می‌کند. بعد از بهار، بهترین ضریب همبستگی در فصل تابستان به دست آمده است که بعلاوه افزایش طول مدت تابش و شدت درخشندگی در افزایش فعالیت فتوشیمیایی و تولید آزون مؤثر بوده است. در فصول بهار و تابستان بیش از ۶۰٪ تغییرات آزون توسط عناصر جوی تبیین می‌گردد، در صورتی که در دو فصل پاییز و زمستان کمتر از ۵۰٪ تغییرات آزون را عوامل جوی کنترل می‌کنند. با

از سویی دیگر پایین بودن ضریب رگرسیون در مقیاس سالانه نسبت به مقیاس فصلی، دال بر وجود روند فصلی در تغییرات آزون است که این روند در جدول ۲ تأیید می‌گردد.

بحث و نتیجه‌گیری

بخشی از افزایش آزون سطحی در اصفهان به پارامترهای جوی ارتباط می‌یابد، که می‌توان تدابیر لازم برای مقابله با این افزایش از طریق تعدیل ریز اقلیم اتخاذ گردد. تحلیل‌های انجام گرفته ارتباط بین پارامترهای جوی و افزایش مقدار آزون سطحی را در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه شهر اصفهان تأیید می‌کند. ضرایب همبستگی در مقیاس ماهانه، دارای تفاوت زیادی با هم هستند که متأثر از عوامل متعدد و مختلف بر روی تغییرات آزون است. برخی از این عوامل، -

لاله تناسب بهتری دارد. کنجکاوی در این زمینه منتهی به این نتیجه شد که محل قرارگیری ایستگاه آلوده‌سنجی بزرگمهر در داخل محوطه آتش‌نشانی، جنب و زیر هواکش پارکینگ خودروهای آتش‌نشانی است و روشن نمودن ماشین‌های آتش‌نشانی برای شارژ شبانه که به صورت نرمال هر شب دو ساعت یکبار و حداقل هر شب سه بار صورت می‌گیرد، باعث می‌شود دود متصاعد شده از دودکش سه خودرو گازوئیلی به طور مستقیم مقدار آوزن شبانه را افزایش دهد و اثر کاذب بر افزایش مقدار آوزن شبانه داشته باشد و تغییرات اثر عوامل جوی در تولید آوزن را که با طلوع خورشید و افزایش دما ایجاد می‌شود را تحت تأثیر قرار دهد. از این رو، برای تأیید ارتباط بین پارامترهای جوی و تغییرات آوزن باید ایستگاه لاله را ملاک عمل قرار داد.

References

1. Air pollution data from the Environmental Protection Agency province.
2. A. Kurokawa, S. Ichimura (1996), High Purity ozone oxidation on hydrogen passivated silicon surface, Applied Surface Science 100/101, pp. 436-439
3. Andrew C. Comrie, Brent Yarnal (1992), Relationships between synoptic-scale atmospheric circulation and ozone concentrations in Metropolitan Pittsburgh, Pennsylvania, Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere, Volume 26, Issue 3, pp. 301- 312.
4. Ashok Kumar, Surya Vedula, Anupma Sud (2000), Development of an Ozone Forecasting Model for Non-Attainment Areas in the state of Ohio, Environmental Monitoring and Assessment 62, pp. 91- 111.
5. Aspnany, A. (1378), "Ozone and Its Role on Earth Life," Journal of Geography Space, Azad University, Ahar, Second Year, No. XI, pp. 124-106.
6. Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere Volume 27, Issue 1.
7. B. Rappenengluck, K. Kourtidis and P. Fabion (1993), Measurement of ozone and Peroxy acety 1 Nitrite (pan) in Munich, Atmospheric Environment, Part B, Urban Atmosphere, Volume 27, Issue 3.

عنایت به اینکه در فصل بهار بخشی از افزایش سیاره‌ای آوزن استراتوسفری توسط توربولانس جوی می‌تواند به سطح زمین منتقل شود و به افزایش آوزن سطحی بهاره کمک کند. از دیگر سو، در اواخر بهار و به خصوص در فصل تشعشع خورشیدی و دمای هوا افزایش می‌یابد، لذا افزایش دمای هوا و ساعات آفتابی، فعالیت فتوشیمیایی تولید آوزن را افزایش داده و به افزایش آوزن در فصل بهار و تابستان کمک می‌کند و باعث می‌شود ارتباط عناصر جوی با افزایش آوزن سطحی در فصل بهار و تابستان بهتر پیوند بخورد.

شایان ذکر است که حدود بیش از ۵۰٪ از تغییرات مقادیر آوزن در ایستگاه لاله توسط عوامل جوی تبیین می‌شود که در ایستگاه بزرگمهر چنین رویه‌ای اندک به چشم می‌خورد. گروه‌بندی تغییرات شبانه‌روزی نیز نشان داد تغییرات منظم شبانه‌روزی آوزن همراه با طلوع و غروب خورشید در ایستگاه

8. C. K. Varshney, Maneesha Aggarwal, (1992), Ozone pollution in the urban atmosphere of Delhi, Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere, Volume 26, Issue. 3, pp. 291- 294.
9. Cristina Nali, Marco Ferretti, Marco Pellegrin and Giacomo Lorenzini (2001), Monitoring and Bio-Monitoring of Surface Ozone in Florence, Italy, Environmental Monitoring and Assessment 69, pp. 159-174.
10. E. P. S. Sager, T. C. Hutchinson, T. R. Croley (2005), Foliar Phenolics in Sugar Maple (Acer Saccharum) As a potential Indicator of Tropospheric Ozone Pollution, Environmental Monitoring and Assessment 105, pp. 419- 430.
11. Forecasting Model for Non-Attainment Areas in the state of Ohio, Environmental Monitoring and Assessment 62, pp. 91- 111.
12. Gabriel Ibarra-Berastegi, Imanol Madariaga (2003), Traffic Congestion and Ozone Precursor Emissions in Bilbao (Spain) ESPR - Environ Sci & Pollut Res 10 (6), pp. 361- 367.
13. Ian G. McKendry (1993), Ground-level ozone in Montreal, Canada, Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere Volume 27, Issue 1
14. Meteorologica 1 data center in Isfahan.
15. Mohamad, A. (1377), "ozone layer (the to Meteorological Conditions, Environmental

- protective shield of life)", A group of researchers.
16. Nikolaos Hatzianastassiou & Basil D. Katsoulis & Basil Antakis (2007), Extreme Nitrogen Oxide and Ozone Concentrations in Athens Atmosphere in Relation Monitoring Assess 128.
17. Ninong Komala, Slamet Sarasprya, Kazuyuki Kita, Toshihiro Ogawa (1995), Tropospheric ozone Behavior Observed in Indonesia, Atmospheric Environment. Vol. 30, Nos. 10/11, pp. 1851- 1856.
18. Peroxy acetyl Nitrate (PAN) in Munich, Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere, Volume 27, Issue 3, pp. 293- 305.
19. P.R. Nair, D. Chand, S. Lal, K.S. Modh, M. Najab, K. Parameswarana.
20. R. R. Reddy, K. Rama Gopal, L. Siva Sankara Reddy, K. Narasimhulu, K. Raghavendra Kumar, Y. Nazeer Ahmed, C. V. Krishna Reddy (2008), Measurements of surface ozone at semi-arid site Anantapur (14.62°N, 77.65°E,) in India, J Atmos Chem 59, pp. 47- 59.
21. S. M. Robeson, D. G. Steyn, (1990), Evaluation and comparison of statistical forecast models for daily maximum ozone concentrations. References and further reading may be available for this article. To view references and further reading you must purchase this article.
22. S. Ravindran, S. Venkataraman (2002), Temporal variations in surface ozone at Thumba (8.61N, 77.1E)-a tropical coastal site in India, Atmospheric Environment, pp. 603- 610.
23. Thomas S. Shively (1990), an analysis of the long-term trend in ozone data from two Houston, Texas monitoring site. References and further reading may be available for this article. To view references and further reading you must purchase this article., Atmospheric Environment, Part B, Urban Atmosphere, Volume 24, Issue 2, pp. 293-301.
24. Viney P. Aneja, Andrea A. Adams, S. P. Arya (2000), An observational based analysis of ozone trends and production for urban areas in North Carolina, Chemosphere - Global Change Science 2, pp. 157- 165.
25. Wenpo Shan, Yongquan Yin, Jianda Zhang, and Yuping Ding, (2008), Observational study of surface ozone at an urban site in East China, References and further reading may be available for this article. To view references and further reading you must purchase this article. Atmospheric Research, Volume 89, Issue 3, pp. 252- 261.
26. William M. Cox, Shao-Hang Chu (1993), Meteorological adjusted ozone trends in urban area: A Probabilistic approach, Atmospheric Environment, Part B, Urban Atmosphere, Volume 27, Issue 4, pp. 425- 434.
27. W. T. Sturges (1999), New Directions: Does pollution increase or decrease troposphere ozone in Winter-Spring? Atmospheric Environment 33, pp. 5147- 5149.
28. Y. C. Lee, Mark Wenig, Xun Yang (2009), The emergence of urban ozone episodes in autumn and air temperature rise in Hong Kong, Air Qual Atmos Health, 2, pp. 1-111.