

کاربرد روش‌های آماری در تحلیل نوسان‌های اوزون و ردسپهری

ویکتوریا عزتیان^{۱*} و ابراهیم اسعدی اسکویی^۲

^۱ اداره هواشناسی استان اصفهان

^۲ اداره هواشناسی کشاورزی استان گیلان

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۴/۱۳، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۹/۳۰)

چکیده

اوزون و ردسپهری (تروپوسفری) سبب بروز مشکلات تنفسی می‌شود و پوشش‌های گیاهی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در این پژوهش مدل‌های آماری براساس مقادیر متغیرهای هواشناختی و آلاینده‌های جوّی برای پیش‌بینی تغییرات غلظت اوزون و ردسپهری در اصفهان در مقیاس‌های زمانی ساعتی و روزانه عرضه شده که طیف وسیعی از مدل‌های رگرسیونی خطی چندمتغیره را شامل می‌شود. نتایج روشن ساخت که بین تغییرات اوزون و متغیرهای هواشناختی و آلاینده‌های جوّی هم‌بستگی‌های معنی‌دار وجود دارد لیکن هیچ‌یک از مدل‌ها توانایی تبیین سهم بزرگی از واریانس مقادیر اندازه‌گیری شده اوزون و ردسپهری در اصفهان را نداشتند. محاسبه یک مدل غیرخطی دومتغیره اگرچه توانست حالت کلی نوسان‌های ذاتی اوزون را نشان دهد، اما به دلیل وجود نوسان‌های نامنظم در داده‌های ساعتی نتوانست مدلی مناسب برای پیش‌بینی غلظت اوزون و ردسپهری باشد. بیشتر مدل‌ها نشان دادند که افزایش دما و رطوبت، بیشترین سهم را در تشکیل اوزون و ردسپهری دارند و فشار سطح دریا در تحلیل‌های نقطه‌ای دارای کاربرد چندانی نیستند. همچنین افزایش غلظت ترکیبات اکسیژن‌دار نیتروژن، تولید اوزون و ردسپهری را افزایش می‌دهد. در مقیاس روزانه گاز کربن مونوکسید و دما توانستند بهترین توجیه را برای غلظت اوزون و ردسپهری به دست دهند.

واژه‌های کلیدی: رگرسیون خطی، اوزون و ردسپهری، مدل چندمتغیره، روش آماری

Application of statistical methods in the analysis of fluctuations of Tropospheric ozone

Victoria Ezzatian^{1*} and Abraham As'adi²

¹ Esfahan Meteorological Office

² Gilan Agricultural Meteorological Office

(Received: 4 July 2010, accepted: 21 December 2011)

Summary

Tropospheric ozone is one of the main causes of respiratory problems and it hurts vegetations. In this research, statistical models based on a wide variety of regression

*Corresponding author:

Victoria_ezzatian@yahoo.com

*نگارنده رابط:

models are presented in order to evaluate the surface ozone concentrations in hourly and daily scales in Isfahan using meteorological variables and pollutant gases as predictors. Although none of meteorological variables and pollutant gas levels has the ability to interpret the measured ozone variations in Isfahan, the results have shown there is a significant correlation between them and the ozone variations. Calculating a nonlinear bivariate model can show the general ozone fluctuations, but because of irregular fluctuations in hourly data, it can not be a proper predictor. Most of the models assigned the biggest influence to the air temperature and humidity in surface ozone production and declared that the mean surface pressure do not have an important role in the point analysis. Also increasing the oxide compositions of nitrogen increases the ozone production. In a daily scale, carbon monoxide and temperature have presented the best interpretation for the ozone concentration.

The aim of this research was to present a consistent evaluation of the surface ozone using statistical methods. At beginning, the society of ozone samples, pollutant gases and corresponding meteorological data was assessed and the correlation between the ozone level and each of them or a group of them was tested, step by step. Most of data did not obey a normal curve, so in different stages, some operations were necessary to make the data closer to the normal situation. In this paper, the data from meteorological and pollution observations were used as predictors. The station was located in 32.62N, 51.66E with the elevation of 1550 m.

The data consisted of:

- a- The data from the pollution stations: surface ozone, CO, SO₂, NO, NO_x, NO₂
- b- Meteorological data: air temperature, relative humidity, wind speed, solar radiation, air pressure.

Reviewing the time series of the ozone data (24 hours) showed that there was a daily sinusoidal cycle in the ozone concentration and a sinusoidal model can easily calculate the ozone amount as a function of the hours in a day. Although a sinusoidal curve was well fitted to the daily curve of the ozone concentration, random fluctuations in the daily average were seen. These irregularities caused difficulties in presenting a single proper model to show the daily cycle of the ozone concentrations.

In the next stage, an equation was gained by modulation of the daily and hourly equations to show the ensemble daily and hourly cycle of the ozone concentrations.

Analysis of the results of regression models shows that between the three equation, best equation be gained from step wise method. Then, by using a backward method, 13 equation be gained. All of these equations show that the daily scale can not justify the surface ozone variations. This can be because of the act of other unknown variables or because of the nonlinear nature of the correlations between ozone levels and the predictors. However the data were preprocessed to get closer to a normal distribution. For this purpose, both logarithmic and squared forms of the data were also used eventhough they could not make a considerable change in order to transform the data to normal distributions. All of them were used beside the natural data to form more regression models.

It should be noted that the nature of these kinds of data, that needs complicated process to be created, makes the correlations coefficient less strong. The resulted equations in this paper showed that the current operations could not normalize the distributions of the data. The existence of a nonlinear correlation between the ozone levels and the studied variables can be a reason for the weakness of these models. In the previous studies, the highest determination coefficient was 0.36 (Alexandrof, 2005). In this paper, the best equation nearly showed the same amounts ($r = 0.304$). In the backwards method, a higher coefficient was gained ($r = 0.592$) but because of the length

and size of the equation, it is not usable. Although the regression models and the principal component analysis showed that they had a strong ability to interpret the surface ozone fluctuations and predict its concentration, the number of their independent variables prevented them from being useful enough from an application viewpoint.

Key words: Linear regression, tropospheric ozone, multivariate model

۱ مقدمه

میزان خسارت ناشی از اوزون به غلظت آن، مدت زمانی که گیاه در معرض اوزون قرار دارد و حساسیت گیاه به اوزون بستگی دارد. اوزون یک اکساینده قوی است که از راه روزنه‌های گیاه وارد برگ می‌شود و تشکیل رادیکال‌های آزاد و پراکسیداسیون اسیدهای چرب تشکیل دهنده غشاء سلولی را ایجاد می‌کند. اوزون باعث بروز خساراتی در برگ درختان و کاهش سرعت رشد گیاهان حساس و کاهش عملکرد محصولات کشاورزی مانند ذرت، گندم، سویا و بادام زمینی شده است. بررسی‌ها در این زمینه نشان داده که اوزون به تنهایی عامل ۹۰٪ خسارت‌های ناشی از آلودگی هوا بر محصولات کشاورزی است. این عامل از نظر اقتصادی در حدود ۶ تا ۷ درصد کل تولیدات کشاورزی ایالات متحد را از بین می‌برد (کریمی، ۱۳۸۲). غلظت اوزون در حومه شهرها و نواحی روستایی بیش از مرکز شهر است، زیرا اوزون با نیتروژن مونوکسید واکنش می‌دهد و غلظت آن کاهش می‌یابد (عزتیان، ۱۳۸۶). با توجه به نقش و اهمیت این گاز در سلامت و کیفیت محصولات زراعی و این فرض که تشکیل اوزون بسیار متأثر از شرایط جوئی است، این پژوهش با هدف عرضه مدلی که بتواند با استفاده از داده‌های جوئی برآورد قابل قبولی از اوزون سطحی به‌دست دهد صورت می‌گیرد.

تحقیقات دابسون (۱۹۵۶) و واسی (۱۹۶۹) (تامسون، ۱۹۹۹) افزایش غلظت اوزون در محیط در زمان رگبار و رعد و برق را نشان داد لیکن رهبر و همکاران (۱۹۸۹) بیان کردند که پس از وقوع رگبارها، غلظت اوزون نه فقط به سرعت کاهش می‌یابد، بلکه گاهی این کاهش غلظت تا

اوزون آرام سپهری (استراتوسفری) به صورت طبیعی از راه ترکیب اکسیژن مولکولی و اکسیژن اتمی تشکیل می‌شود و پوشش حفاظتی در مقابل تابش مضر فرابنفش خورشید ایجاد می‌کند. در نزدیکی سطح زمین اوزون و ردسپهری وجود دارد که آلاینده‌ای ثانویه است و مستقیماً به داخل جو انتشار نمی‌یابد بلکه از یک رشته پیچیده از ترکیبات شیمیایی که شامل سایر آلاینده‌ها از قبیل اکسیدهای نیتروژن و مولفه‌های آلی از قبیل هیدروکربن‌ها هستند به وجود می‌آید. چاهک‌های اوزون و ردسپهری ناشی از واکنش با رادیکال‌های آزاد موجود در جو هستند، طول عمر اوزون و ردسپهری در جو چند ساعت تا چند روز و نرخ رشد سالیانه آن ۱-۲ درصد است (پوی، ۲۰۰۲).

از آنجا که وجود نور خورشید برای تشکیل اوزون و ردسپهری ضروری است، معمولاً حداکثر غلظت اوزون و ردسپهری بعد از ظهرها و همچنین ماه‌های تابستان که نور خورشید شدیدتر است ظاهر می‌شود. این مسئله همراه با برخی شرایط جوئی مانند وارونگی بلندمدت دمای هوا که از انتشار قائم آلودگی جلوگیری می‌کند و شدت کافی نور خورشید زمینه را برای تشکیل مه‌دود فتوشیمیایی فراهم می‌کند. مه‌دود فتوشیمیایی آثار مخرب زیادی بر دستگاه تنفس انسان، کاهش قوای جسمانی فرد دارد. اوزون به همراه سایر مواد آلاینده موجود در مه‌دود فتوشیمیایی از قبیل فرمالدئید، پراکسی بنزل نیترات (PBZN)، پراکسی استیل نیترات (PAN) و اکرولین باعث تحریک چشم‌ها می‌شود (اهرنس ۲۰۰۷-۴۹۸).

وردسپهری با فواصل زمانی یک‌ساعته و متغیرهای هواشناسی پیش‌بینی‌کننده (دما، فشار و) عرضه کرد و نتایج رگرسیون خطی چندگانه و مدل شبکه عصبی چندلایه را برای توجیه مقادیر غلظت اوزون ساعتی مورد مقایسه قرار داد. او اعلام کرد که رابطه اوزون و پارامترهای جوئی، غیرخطی است، لذا شبکه عصبی در برقراری ارتباط بین متغیرهای جوئی و اوزون بسیار توانمندتر از مدل‌های رگرسیون چندمتغیره خطی است.

جیانگ و همکاران (۲۰۰۵) تاثیرات عوامل هواشناسی در فصل زمستان بر غلظت اکسیدهای نیتروژن (NO_2, NO) را به‌منزله عامل اولیه تشکیل اوزون در اوکلند بررسی کردند و اظهار داشتند که تاثیر شرایط هواشناسی بر غلظت‌های نیتروژن منوکسید ثابت ولی به‌طور مشخصی برای مقادیر متفاوت نیتروژن دی‌اکسید، متفاوت است. آنان پی‌بردند که احتمالاً عوامل دیگری نیز در تشکیل این گاز مؤثر بوده‌اند.

دباجه و کاکاده (۲۰۰۶) در هندوستان به بررسی ارتباط مقادیر اوزون سطحی، اکسیدهای نیتروژن، ترکیبات معدنی فرار و چند پارامتر جوئی در مناطق روستایی پرداختند و رابطه غیرخطی پیچیده‌ای را عرضه کردند. بررسی‌ها مشخص ساخت که غلظت اوزون وردسپهری در زمستان و همچنین در زمان وقوع مونسون به حداکثر خود رسیده است.

ترانسیس (۲۰۰۷) و همکاران با توجه به اثرات خورشیدگرفتگی در وضعیت جوئی (کاهش دما، سرعت باد و افزایش نم نسبی) تاثیر خورشیدگرفتگی ۲۹ مارس ۲۰۰۶ در یونان را بر غلظت اوزون وردسپهری مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که بیشینه اوزون وردسپهری یک ساعت پس از کامل‌ترین فاز خورشیدگرفتگی به وقوع پیوسته است (بوگوکا، ۲۰۰۸).

مالیچ و اسکاسل (۲۰۰۷) با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره به بررسی تغییرات زمانی - مکانی

ساعت‌هایی پس از رگبار نیز ادامه دارد (صداقت کردار و همکاران، ۱۳۸۲).

رهبر و همکاران (۱۹۸۹) رابطه بین مقدار اوزون وردسپهری و بیشینه دمای روزانه در فرانسه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج مدل‌های رگرسیونی، هم‌بستگی معنی‌دار بین این دو پارامتر را نشان داد و مشاهده شد که در بازه‌های فصلی، کمینه غلظت اوزون در فصل زمستان و بیشینه آن در بهار و ابتدای تابستان و تغییرات اوزون وردسپهری و سایر پارامترهای جوئی در محیط طبیعی و پاک دارای چرخه‌ای ۲۶ ماهه بوده است.

نول و همکاران (۱۹۹۶) چرخه‌های فصلی مقادیر اوزون وردسپهری اندازه‌گیری شده با روش شونباین (Schönbein) در دوره آماری ۱۸۸۴ تا ۱۹۰۰ در جزیره گوتسو (Gozo) در مدیترانه مرکزی را با کمک پارامترهای هواشناسی موجود (دما، رطوبت نسبی و سرعت باد) بررسی کردند. بیشترین مقادیر اوزون وردسپهری در این منطقه در فصل بهار دیده شده است.

بیدختی و شرعی‌پور (۲۰۰۳) مقادیر یک سال اوزون وردسپهری در موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران را مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که به‌طور میانگین بیشینه مقادیر اوزون وردسپهری طی بعدازظهر و کمینه مقادیر اوزون وردسپهری در ساعات‌های اولیه صبح و اواخر شب رخ می‌دهد. مقایسه شدت باد و مقدار اوزون وردسپهری نشان داد که طی روز فرارفت هوای آلوده اوزون‌دار با باد دشت-کوه به محل ایستگاه روی داده و با افزایش شدت باد، مقدار اوزون افزایش یافته است.

سولومون و همکاران (۲۰۰۳) در بررسی تاثیرات اوزون آرام‌سپهری بر عوامل گوناگون مؤثر بر کیفیت هوا در سطح زمین، این تاثیر را بر اوزون وردسپهری اندک یافتند.

الکساندرف (۲۰۰۵) در بلغارستان با استفاده از روش شبکه عصبی، رابطه‌ای غیرخطی بین مقادیر اوزون

جداگانه رابطه معنی‌داری با غلظت آلاینده داشته باشند، ولی وقتی هر دو هم‌زمان وارد معادله شوند، رابطه آنها با غلظت تغییر کند و یکی از آنها معنی‌داری خود را از دست بدهد. در این روش از بین پارامترهای ذکر شده هر کدام که بیشترین هم‌بستگی را با غلظت آلاینده و کمترین همبستگی معنی‌دار با سایر متغیرها را داشت وارد معادله می‌کند. سپس متغیر بعدی را که بیشترین هم‌بستگی را با غلظت دارد وارد معادله می‌کند. اگر احتمال معنی‌دار بودن یکی از این دو متغیر از ۱۰ درصد تجاوز کرد، آن را از معادله خارج و متغیر بعدی را وارد معادله می‌کند. وضعیت ایدآل آن است که پارامترهای آب‌وهوایی ذکر شده، کمترین هم‌بستگی را با یکدیگر و بیشترین هم‌بستگی را با غلظت داشته باشند. در صورتی که دو پارامتر آب‌وهوایی هم‌بستگی زیادی داشته باشند، یکی از آنها را که هم‌بستگی بیشتری با غلظت آلاینده دارد نگه می‌دارد و دیگری را حذف می‌کند، حتی اگر هم‌بستگی آن با غلظت آلاینده معنی‌دار باشد.

در روش پس‌سو ابتدا همه متغیرها برای ساختن معادله رگرسیونی به کار می‌رود. سپس تک‌تک متغیرها از معادله ساخته شده حذف می‌شوند اگر حذف یک متغیر موجب کاهش قدرت معادله شود آن متغیر به معادله بازگردانده می‌شود و در غیر این صورت، متغیر حفظ می‌شود و متغیر دیگر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۲ داده‌ها و روش‌ها

در این پژوهش از اطلاعات ایستگاه هواشناسی سینوپتیک و ایستگاه‌های آلودگی سنجی در شهر اصفهان که دارای داده‌های دقیق و کافی هستند، به‌منزله متغیرهای ورودی مدل استفاده شد. ایستگاه هواشناسی اصفهان در عرض جغرافیایی ۶۲/۳۲ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۶۶/۵۱ درجه شرقی در ارتفاع ۱۵۵۰ متر از سطح دریا واقع شده است.

اوزون و ردسپهری در حاشیه مناطق صنعتی کشور چک پرداختند و تفاوت‌های تشکیل اوزون در زمستان و تابستان را مورد تحقیق قرار دادند. نتایج این محققان روشن ساخت که بخار آب موجود در جو بهتر از رطوبت نسبی می‌تواند تغییرات مقادیر اوزون و ردسپهری را توجیه کند (بوگوکا، ۲۰۰۸).

۲ مواد و روش‌ها

۱-۲ روش‌شناسی

در این پژوهش تلاش شده است که با روش‌های آماری، مدلی عرضه شود که بتواند با استفاده از داده‌های جوی، برآورد قابل قبولی از مقادیر اوزون و ردسپهری به دست دهد. بدین منظور ابتدا به بررسی جامعه نمونه اوزون و گازهای کمکی و داده‌های متناظر جوی پرداخته می‌شود، سپس وجود ارتباط قابل قبول بین اوزون و هر یک از آنها و یا اوزون و مجموعه‌ای از آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد. به دلیل پیروی نکردن بسیاری از نمونه‌های مورد بررسی از توزیع نرمال، در مراحل گوناگون تغییراتی در داده‌ها اعمال شده که معمولاً برای نزدیک‌تر کردن توزیع داده‌ها به توزیع نرمال، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این پژوهش از روش تحلیل رگرسیون چندمتغیره برای کشف و تحلیل رابطه هم‌بستگی بین پارامتر وابسته (پیش‌بینی شونده) و پارامترهای مستقل (پیش‌بینی کننده‌ها) استفاده شده است به گونه‌ای که بتوان پارامتر وابسته را از روی پارامترهای مستقل پیش‌بینی نمود. اساس این تحلیل الگوی خطی عمومی است و رایج‌ترین روش در این تحلیل، روش پس‌سو و روش گام‌به‌گام است که با رابطه ۱ بیان می‌شود (مولوی، ۱۳۷۹):

$$Y = B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + a, \quad (1)$$

در تحلیل رگرسیون گام‌به‌گام متغیرهای مستقل، هم‌زمان کنترل می‌شوند. ممکن است دو پارامتر در دو معادله

درصد معنی‌دار (چاوله به راست) است. کشیدگی که معیاری از میزان تیزی منحنی توزیع فراوانی در نقطه حداکثر آن است نیز معنی‌دار و برابر $0/245$ است. این حالت لپتوکرتیک (Leptokurtic) نامیده می‌شود که چنین توزیع‌هایی ترکیبی از دو جامعه نرمال با واریانس متفاوت ولی میانگین مشابه هستند (مقدم، 1373). آزمون کولموگوروف اسمیرونوف نیز عدم نرمال بودن منحنی توزیع فراوانی را تایید می‌کند.

بررسی دهک‌های این نمونه آماری (جدول ۲) بیانگر این مطلب است که در مرز ده درصد ابتدایی مقادیر اوزون 10 قسمت در میلیون است که مبین میزان آلودگی قابل توجه در منطقه است (جدول ۳).

متوسط روزانه دما 19 درجه سلسیوس است که آزمون چاولگی بر نرمال بودن توزیع فراوانی و آزمون کولموگوروف-اسمیرونوف بر غیرنرمال بودن آن دلالت دارند. متوسط روزانه دمای تر در دوره مورد بررسی $8/0$ درجه سلسیوس، کمینه و بیشینه مقادیر روزانه دمای تر نیز $(7/7-)$ و $20/3$ درجه سلسیوس است که آزمون چاولگی بر نرمال بودن و آزمون کولموگوروف-اسمیرونوف بر غیرنرمال بودن توزیع فراوانی اشاره دارند.

کمینه و بیشینه رطوبت نسبی روزانه در بازه $10/6$ تا $85/3$ درصد قرار دارد که هر دو آزمون چاولگی و کولموگوروف-اسمیرونوف، نرمال بودن توزیع فراوانی را تایید می‌کنند.

کمینه و بیشینه ساعت‌های آفتابی نیز به ترتیب $0/0$ و $13/0$ ساعت و متوسط ساعت آفتابی روزانه $9/1$ ساعت است. میانه و مد این فراسنج نیز $9/8$ ساعت هستند. کمینه و بیشینه مقادیر انرژی تابشی خورشید روزانه $184/0$ و $7051/0$ ژول بر سانتی‌متر مربع در روز و با متوسط $1984/9$ است.

در این پژوهش آمارهای اندازه‌گیری شده سال‌های $1995-2005$ مورد استفاده قرار گرفت. این آمارها عبارت‌اند از:

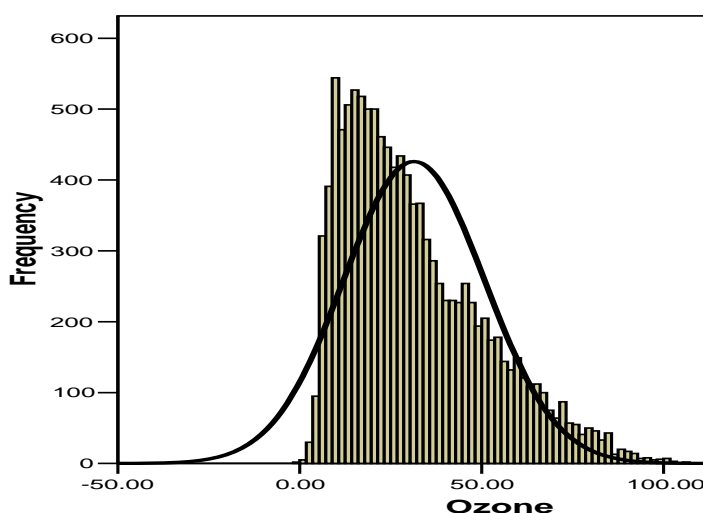
الف) داده‌های ایستگاه‌های آلودگی سنجی شامل: اوزون سطحی، کربن مونوکسید، گوگرد دی‌اکسید و اکسیدهای نیتروژن NO_2 ، NO_x .

ب) داده‌های جوئی ساعتی شامل: دمای هوا (T)، رطوبت جوئی (RH)، تابش خورشید (SOLAR)، سرعت باد (SW)، فشار هوا (P)، میزان بارش (PREP). آماره‌های توصیفی داده‌های ساعتی اوزون در جدول (۱) نشان داده شده است. میانگین غلظت اوزون و ردسپهری در طول دوره آماری $31/4$ قسمت در میلیون و میانه داده‌ها 27 قسمت در میلیون است. نمای این نمونه آماری $10/1$ قسمت در میلیون است. مساوی نبودن سه آماره فوق بیانگر غیرنرمال بودن منحنی توزیع فراوانی ساعتی غلظت اوزون و ردسپهری است. از طرفی با توجه به اینکه $Mod < Med < Mean$ ، نمودار چاوله به راست است. انحراف معیار داده‌ها معادل $19/4$ قسمت در میلیون است که این انحراف معیار زیاد، نشان‌دهنده پراکندگی مشاهدات در اطراف میانگین است (مولوی، 1379) شکل (۱).

ضریب تغییرات (CV) که معیاری از تغییرپذیری نسبی است، در مورد اوزون و ردسپهری نسبتاً زیاد و معادل $61/7\%$ است. از آنجا که ضریب تغییرات بالای 35% براساس طبقه‌بندی ویلدینگ و درس در گروه متغیرهایی با ضریب تغییرات حداکثر طبقه‌بندی می‌شوند (طالبی، 1384)، زیاد بودن ضریب تغییرات نشان می‌دهد که تغییرات غلظت اوزون بیش از آنکه قائم‌به‌ذات باشد، تحت تاثیر عوامل بیرونی است. ضریب چاولگی که معیاری برای نامتقارن بودن متقارن نبودن تابع توزیع فراوانی است $0/890$ ، و در محدوده اعتبار آماری 95

جدول ۱. آماره‌های توصیفی داده‌های ساعتی غلظت اوزون و ردسپهری در ایستگاه سنجش اوزون شهر اصفهان (برحسب قسمت در میلیارد).

تعداد	میانگین	میانه	مد	انحراف معیار	واریانس	چاولگی	کشیدگی	۰/۶۱۷
۱۱۶۰۵	۳۱/۴۱	۲۷	۱۰/۱	۱۹/۴۰	۳۷۶/۴۷	۰/۸۹۰۴	۰/۲۴۵۳	
						معنی‌دار	معنی‌دار	



شکل ۱. نمودار توزیع فراوانی داده‌های ساعتی اوزون. در این شکل محور افقی بیانگر مقدار اوزون سطحی برحسب قسمت در میلیارد و محور عمودی فراوانی وقوع مقادیر در طول دوره آماری را نشان می‌دهد.

۳-۲ گازه‌های مورد استفاده در پژوهش

داده‌های جوئی اندازه‌گیری شده‌اند اما داده‌های روزانه میانگین‌گیری داده‌های ساعتی در طول روز هستند. آزمون کولموگوروف-اسمیرنوف نشان می‌دهد که توزیع مقادیر هیچ کدام از گازها نرمال نیست.

متوسط مقادیر نیتروژن دی‌اکسید روزانه ۳۸/۴ قسمت در میلیون است که بیشتر از حد مجاز است (جدول ۳) و این نکته می‌باید مورد توجه مسئولان سلامت شهر اصفهان قرار گیرد. با توجه به نابرابری میانگین، میانه و نما منحنی توزیع غیر نرمال است. ضرایب چاولگی و کشیدگی مثبت و معنی‌دار که نتایج آزمون کولموگوروف-اسمیرنوف مؤید این مطلب است.

در جدول ۴ آماره‌های توصیفی گازهای مورد بررسی در مقیاس روزانه دیده می‌شود که واحد گازهای مورد بررسی در این پژوهش قسمت در میلیارد (part per billion=PPB) و فقط در مورد گاز کربن منوکسید قسمت در میلیون (part per million=ppm) است. لازم به ذکر است که در سطح زمین و زمانی که از اوزون به منزله یک آلاینده نام برده می‌شود، معمولاً مقادیر آن را با واحد قسمت در میلیون و یا قسمت در میلیارد بیان می‌کنند که عبارت است از تعداد مولکول‌های اوزون به ترتیب به ۱ میلیون و ۱ میلیارد مولکول هوا. داده‌های ساعتی مربوط به اندازه‌گیری در همان ساعتی است که

جدول ۲. مقادیر دهک‌های داده‌های ساعتی اوزون و ردسپهری در ایستگاه سنجش اوزون شهر اصفهان (برحسب قسمت در میلیارد).

درصدها	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰
O₃	۱۰/۱	۱۴/۱	۱۸/۲	۲۲/۴	۲۷/۰	۳۲/۳	۳۹/۰	۴۷/۸	۶۰/۰

جدول ۳. استانداردهای سازمان جهانی بهداشت - تبدیل به PPM در دمای 25°C و فشار ۱ اتمسفر (شفیع پور، ۱۳۸۱).

نوع آلاینده	میانگین وزنی (Mg/m^3)	میانگین PPM	میانگین زمانی
SO ₂	۳۵۰	۰/۱۴	۱ ساعته
	۱۰۰-۱۵۰	۰/۰۴-۰/۰۶	۲۴ ساعته
	۴۰-۶۰	۰/۰۱۵-۰/۰۲۳	یک ساله
CO	۳۰	۲۶	۱ ساعته
	۱۰	۹	۸ ساعته
NO ₂	۴۰۰	۰/۲۱	۱ ساعته
	۱۵۰	۰/۰۸	۲۴ ساعته
O ₃	۱۵۰-۲۰۰	۰/۰۸-۰/۱	۱ ساعته
	۱۰۰-۱۲۰	۰/۰۵-۰/۰۶	۸ ساعته
PM10	۷۰	-	۲۴ ساعته

جدول ۴. آماره‌های مجموعه داده‌های روزانه گازها در ایستگاه سنجش آلودگی هوای شهر اصفهان.

CO(ppm)	SO ₂ (ppb)	NO _x (ppb)	NO ₂ (ppb)	NO(ppb)	آماره	
۴۵۵	۴۶۷	۴۴۸	۴۴۸	۴۴۹	موجود	تعداد
۳۰	۱۸	۳۷	۳۷	۳۶	مفقود	
۲/۳	۳/۳۴	۵۱/۹۹	۱۳/۱۴	۱۳/۹۳	حداقل	
۱۵/۴۴	۸۲/۲۵	۳۸۵/۰۵	۲۲۶/۴۱	۳۳۲/۲۶	حداکثر	
۵/۹۵	۲۶/۴۷	۱۵۵/۴۹	۳۸/۴۹	۱۲۰/۹۱	میانگین	
۵/۳۴	۲۴/۶۳	۱۴۷/۸۸	۳۱/۷۱	۱۱۲/۴	میانه	
۴/۴۱	۲۹/۲۸	۹۵/۰۴	۲۰/۱۸	۹۰/۳	مد	
۲/۳۷	۱۲/۰۶	۵۸/۲۶	۲۷/۶۶	۵۷/۲۶	انحراف معیار	
۰/۴	۰/۴۵	۰/۳۷۴۶	۰/۷۲	۰/۴۷	ضریب تغییرات	
۰/۹۵	۱/۵۹	۰/۹	۳/۹۶	۰/۸۲	چولگی	
۰/۷۵	۳/۹۷	۰/۹۹	۱۸/۰۴	۰/۹۴	کشیدگی	
آری	آری	آری	آری	آری	معنی‌داری چولگی	
آری	آری	آری	آری	آری	معنی‌داری کشیدگی	

دو ایستگاه واقع در محیط شهری) و اندازه‌گیری‌هایی که در منطقه لاسورس و شامبون (هر دو در محیط‌های طبیعی و دور از آلودگی مستقیم صنعتی و شهری) در فرانسه صورت گرفته، قابل مشاهده است (رهبر، ۱۳۷۹). بنابراین سعی می‌شود که پیش از بررسی تاثیرات پارامترهای موردنظر در تشکیل اوزون، معادله‌ای به دست آید تا بیانگر نوسان‌های ذاتی اوزون در طول شبانه‌روز و ایام متفاوت سال باشد.

- بررسی تغییرات زمانی داده‌های اوزون در ساعت‌های شبانه‌روز (۲۴ ساعت) در کل بازه آماری موجود، به‌خوبی نشان می‌دهد که دارای چرخه‌ای روزانه و سینوسی است. لذا یک مدل سینوسی به‌راحتی می‌تواند اندازه اوزون را بطور متوسط به‌منزله تابعی از ساعت‌های شبانه‌روزی نشان دهد (اشکال ۳ تا ۵). گرچه منحنی سینوسی با چرخه شبانه‌روزی متوسط غلظت اوزون برآزش خوبی دارد اما تغییرات تصادفی و بی‌نظم در میانگین روزانه عوامل متفاوتی که احتمالاً بر تولید و از بین رفتن اوزون موثرند، موجب تفاوت‌های بزرگی در اندازه ساعتی (شکل ۷) و میانگین‌های روزانه (شکل ۸) در روزهای گوناگون می‌شود. این تفاوت‌ها، عرضه یک مدل سینوسی قابل قبول منفرد برای نشان دادن تغییرات شبانه‌روزی اوزون در همه روزها را ناممکن می‌سازد.

در این مرحله با تلفیق دو رابطه روزانه و ساعتی تلاش شد تا رابطه‌ای که بیانگر نوسان‌های توأم روزانه و ساعتی غلظت اوزون باشد به‌دست آید که رابطه (۲) نتیجه شد. در این رابطه b_i معرف ساعت و d_j معرف روز یولیانی (قیصری) موردنظر است

$$Y = \{ 24[31/78 + 2/17 \cos(0/02d_j - 0/21)] - (6/85/0/32) \sin(23 \times 0/32 - 4/46) + 6/85 \times 0/32 (\sin(-4/46)) \} / \{ 23 + 6/85 \cos(0/32b_i - 4/46) \}, \quad (2)$$

پس از حل معادله فوق برای همه ساعت‌ها و روزهایی که در آنها اندازه‌گیری اوزون صورت گرفته بود، خطای

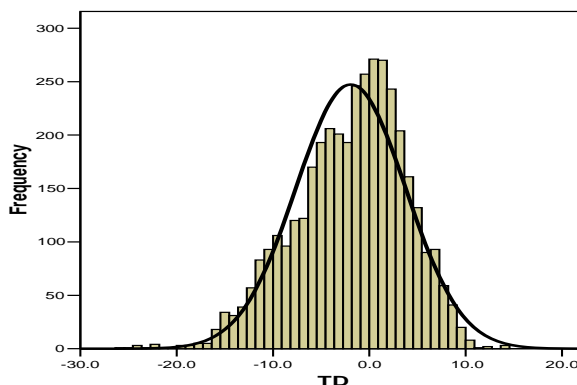
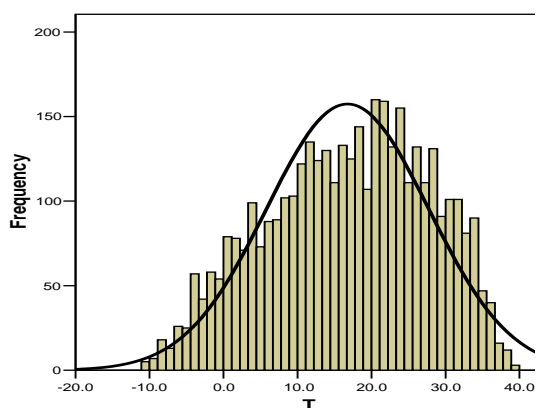
اکسیدهای نیتروژن، حاصل اختلاط دو گاز نیتروژن مونوکسید و نیتروژن دی‌اکسید هستند که در این بازه زمانی میانگین، میانه و نمای غلظتشان در مقیاس روزانه برابر نیست و ضریب تغییرات ۳۷٪ است. همچنین، ضرایب چاولگی و کشیدگی، مثبت و معنی‌دار است.

میانگین گاز گوگرد دی‌اکسید روزانه معادل ۲۶/۴ قسمت در میلیون است که با توجه به جدول ۳ این مقادیر از حد استاندارد و مجاز بسیار بالاتر است. بیشینه مقدار آن ۱۴۰/۹ قسمت در میلیون است. ضریب تغییرات ۴۵٪ و منحنی توزیع آن غیر نرمال است.

مقدار میانگین ساعتی و روزانه کربن منوکسید مشابه و به‌ترتیب ۵/۸۵ و ۵/۹۴ قسمت در میلیون است و مقدار آن از حد مجاز تعیین شده در جدول ۳ کمتر و در حد قابل قبول است. ضرایب چاولگی و کشیدگی در هر دو مقیاس مثبت و معنی‌دار است. کمینه و بیشینه مقدار آن ۳۳/۲ قسمت در میلیون و ضریب تغییرات برابر ۴۰٪ است.

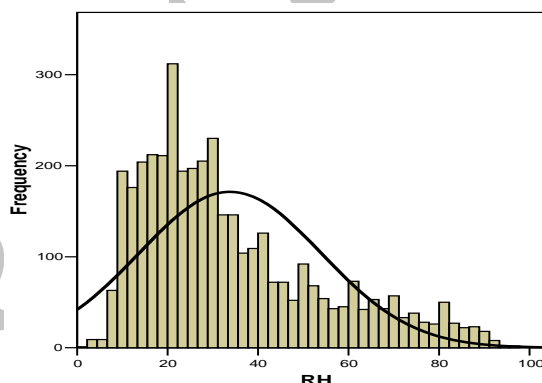
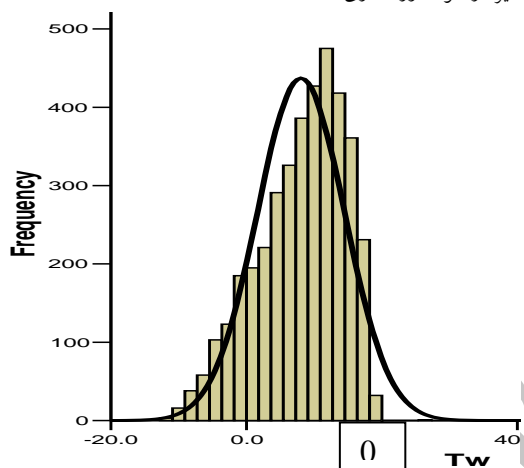
۲-۴ بررسی غلظت گاز اوزون

در این پژوهش نحوه تغییرات داده‌های روزانه اوزون در ساعت‌های شبانه‌روز ابتدا برای کل دوره آماری و سپس برای فصل‌های تابستان و بهار به‌طور جداگانه صورت گرفت. نتایج روشن ساخت که داده‌ها در طول شبانه‌روز دارای تغییرات سینوسی هستند، به‌طوری‌که در سردترین ساعت‌های روز (حوالی طلوع آفتاب) کمینه غلظت اوزون و در گرم‌ترین ساعت‌های روز (اوایل بعدظهر) بیشینه غلظت اوزون مشاهده می‌شود. در مقیاس روزانه (میانگین روزانه داده‌های ساعتی) بیشینه مقادیر اوزون از اواسط بهار تا اواخر تابستان و کمینه مقادیر از اواسط پاییز تا اواسط زمستان قابل مشاهده است و رفتار متغیر غلظت اوزون، رفتاری مثلثاتی است (شکل ۲). این رفتار به‌صورت مشابهی در داده‌های اوزون و ردسپهری اندازه‌گیری شده در میدان لاله تهران و موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران (در حکم



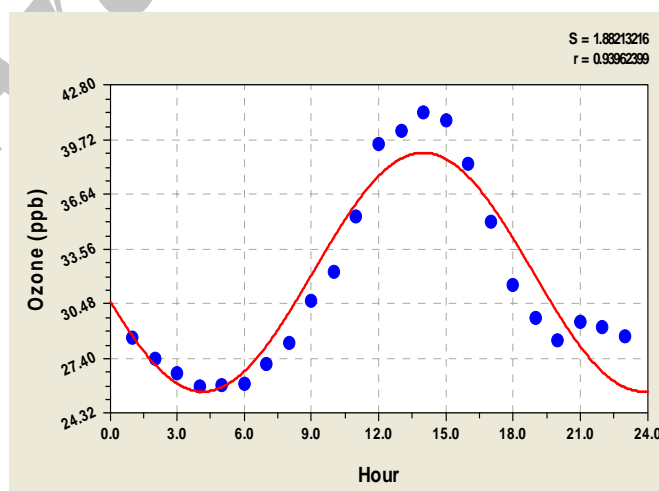
شکل ۲. ب) توزیع فراوانی دما. در این شکل محور افقی بیانگر درجه حرارت برحسب درجه سلسیوس و محور عمودی بیانگر فراوانی وقوع این مقادیر در طول دوره آماری است.

شکل ۲. الف) توزیع فراوانی دمای شبنم. در این شکل محور افقی بیانگر دمای نقیه شبنم بر حسب درجه سلسیوس و محور عمودی بیانگر فراوانی وقوع این مقادیر در طول دوره آماری است.

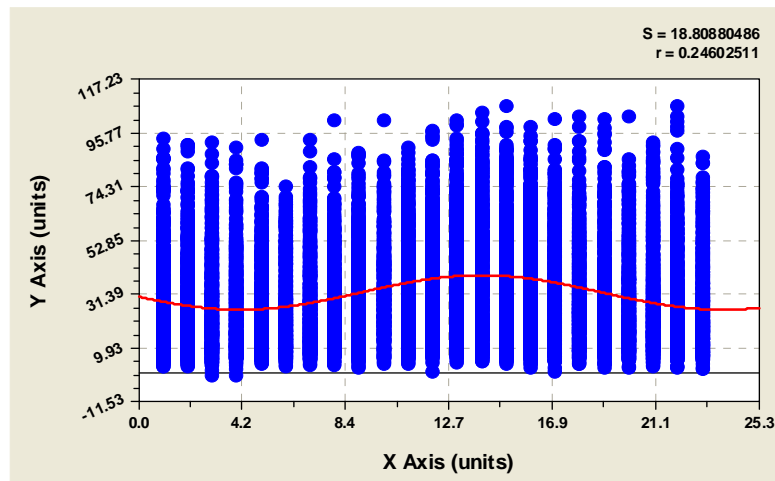


شکل ۲. د) توزیع فراوانی دمای تر. در این شکل محور افقی بیانگر دمای تر برحسب درجه سلسیوس و محور عمودی بیانگر فراوانی وقوع این مقادیر در طول دوره آماری است.

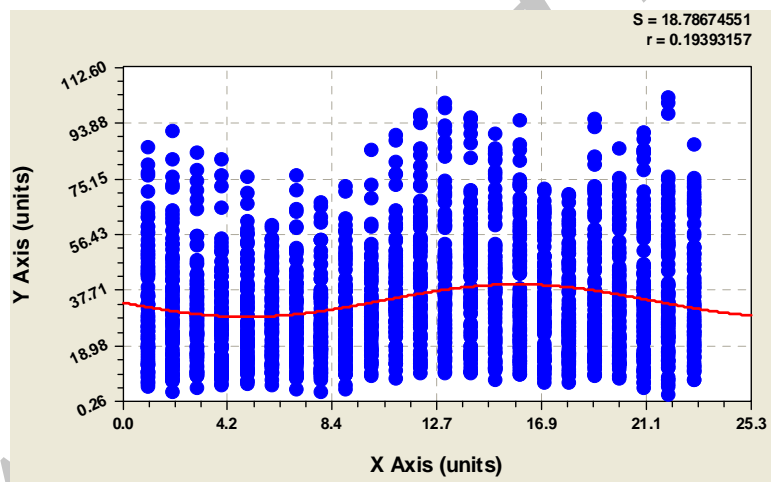
شکل ۲. ج) توزیع فراوانی رطوبت نسبی. در این شکل محور افقی بیانگر رطوبت نسبی برحسب درصد و محور عمودی بیانگر فراوانی وقوع این مقادیر در طول دوره آماری است.



شکل ۳. چرخه شبانه‌روزی اوزون وردسپهری در ایستگاه سنجش اوزون شهر اصفهان.



شکل ۴. نحوه تغییرات شبانه‌روزی اوزون و ردسپهری در ایستگاه سنجش اوزون شهر اصفهان در کل دوره (۱۳۸۶/۰۵/۰۱ تا ۱۳۸۷/۰۹/۲۸) در این شکل محور افقی بیانگر ساعت‌های شبانه‌روز و محور عمودی بیانگر مقدار اوزون سطحی برحسب قسمت در میلیارد است.



شکل ۵. نحوه تغییرات شبانه‌روزی اوزون و ردسپهری در ایستگاه سنجش اوزون شهر اصفهان در فصل بهار (۱۳۸۶/۱۲/۱۵ تا ۱۳۸۷/۰۳/۱۵). در این شکل محور افقی بیانگر ساعت‌های شبانه‌روز و محور عمودی بیانگر مقدار اوزون سطحی برحسب قسمت در میلیارد است.

جدول ۵. آماره‌های صحت معادله.

Sum of Error	No. of Data	ME	MSE	RMSE
۳۴۵۳۷/۰۸۵	۱۱۶۷۰	۲/۹۷۵۵	۳۵۹/۳	۱۸/۹۵۵

دمای (تر)، Solar (میانگین روزانه تابش)، Sun (میانگین روزانه ساعت آفتابی) و QFF (میانگین روزانه فشار تبدیل شده به سطح دریا)، QFE (میانگین روزانه فشار ایستگاه)، RH (میانگین روزانه رطوبت نسبی)، Ev (میانگین روزانه تبخیر)، V (دید افقی) هستند. در روش پی‌یرسون، بیشترین هم‌بستگی بین اوزون و فراسنج‌های جوئی در فشار سطح دریا معادل (۰/۱۳۵-) و در ارتفاع تراز ۸۵۰ میلی‌باری (۰/۱۳۴-) و ابرناکی معادل (۰/۱۱۷) است. از آنجایی که ارتفاع تراز ۸۵۰ میلی‌باری مستقیماً از روی فشار سطح دریا محاسبه می‌شود هم‌بستگی زیاد آن با اوزون و ردسپهری قابل توجه است. توجه وجود رابطه مثبت بین اوزون فراسنج‌های و ابرناکی از لحاظ فیزیکی کمی دشوار به نظر می‌رسد. در این مرحله هیچ کدام از فراسنج‌های دمایی، رطوبتی، ساعت آفتابی و تابش هم‌بستگی مشخصی با اوزون و ردسپهری نشان ندادند.

- نتایج مدل‌های رگرسیونی در بررسی فراسنج‌های روزانه در مرحله اول از میان سه معادله به دست آمده از روش گام‌به‌گام، بهترین معادله با ضریب هم‌بستگی و تبیین ۰/۲۱۶ و ۰/۰۴۷ به شکل رابطه (۳) به دست آمد که همه ضرایب آن معنی دارند.

$$O_3 = 104/40 + 0/001Solar - 5/849T - 0/048.H_{850} - 0/245T. \quad (3)$$

در گام بعدی با به کارگیری روش پس‌سوز میان ۱۳ معادله پیشنهادی، بهترین و کوتاه‌ترین معادله با ضریب هم‌بستگی و تبیین ۰/۲۴۴ و ۰/۰۶ است:

$$O_3 = 358/73 + 0/001Solar - 0/48TD + 0/207RH - 0/3737QFF. \quad (4)$$

روابط (۲) و (۳) نشان می‌دهند که مقیاس روزانه داده‌های مورد استفاده نیز نمی‌تواند بخش زیادی از نوسان‌های غلظت گاز اوزون در سطح زمین را توجیه کند این مسئله می‌تواند به دلیل تأثیرپذیری اوزون از سایر عوامل و احتمال وجود رابطه غیرخطی بین اوزون و فراسنج‌های

معادله بررسی شد. جدول ۵ نشان‌دهنده ضرایب صحت معادله است.

در شکل ۸ ملاحظه می‌شود که دامنه نوسان‌های واقعی اوزون در روز بسیار بیشتر از مقادیر پیش‌بینی شده است. بنابراین باید نسبت به بهینه‌سازی مدل اقدام شود. نتیجه بهینه‌سازی فقط تا اندازه‌ای جزئی به بهبود RMSE انجامید.

۲-۵ هم‌بستگی اوزون و تابش در ساعت‌های متفاوت در این مرحله با فرض موثر بودن تابش در تولید نور و حرارت موردنیاز برای واکنش فتوشیمیایی تشکیل اوزون، تلاش شد تا مقادیر نظری تابش ساعتی محاسبه شود و ارتباط آن با نوسان‌های ساعتی و روزانه اوزون مورد بررسی قرار گیرد. از آنجاکه عامل اصلی موثر در تغییرات شدت تابش نظری (خارج از جو) زاویه تابش است، کسینوس زاویه تابش در ساعت‌های متفاوت از روزهای سال محاسبه شد. شکل ۶ تغییرات زاویه تابش در ساعت‌های و تاریخ‌های مورد استفاده در این بررسی را نشان می‌دهد. در جدول ۶ نتایج رگرسیون بین داده‌های اوزون و کسینوس زوایای تابش در ساعت‌های متفاوت شبانه‌روز نشان داده شده است.

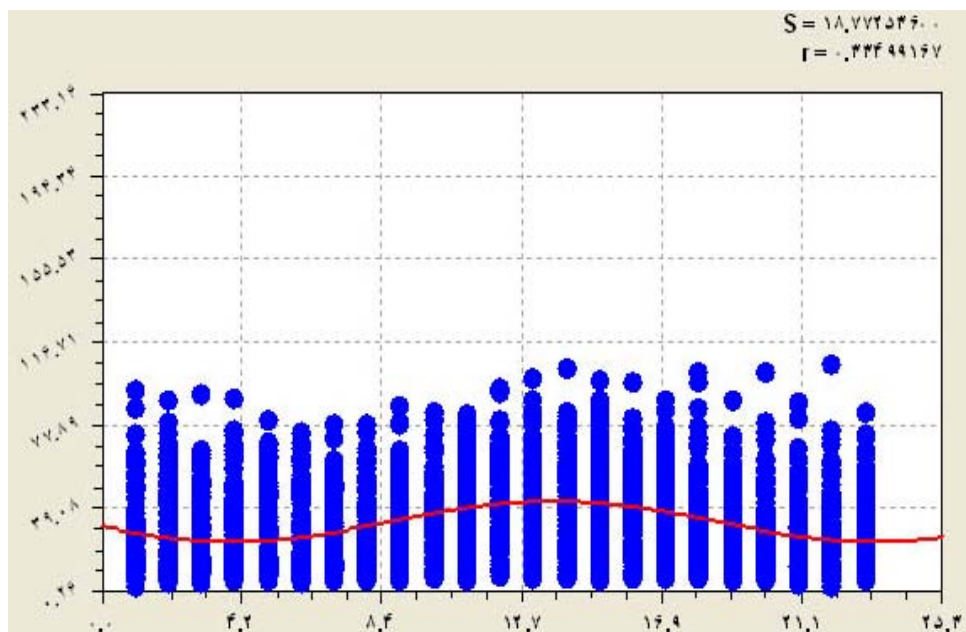
اگرچه هم‌بستگی مثبتی بین مقادیر کسینوس زاویه تابش و اوزون دیده می‌شود اما ضریب هم‌بستگی کوچک، نشان می‌دهد که تغییرات زاویه تابش خورشید فقط می‌تواند بخش کوچکی از تغییرپذیری زمانی غلظت اوزون را توصیف کند.

۲-۵-۱ هم‌بستگی اوزون و ردسپهری و میانگین روزانه فراسنج‌های جوئی

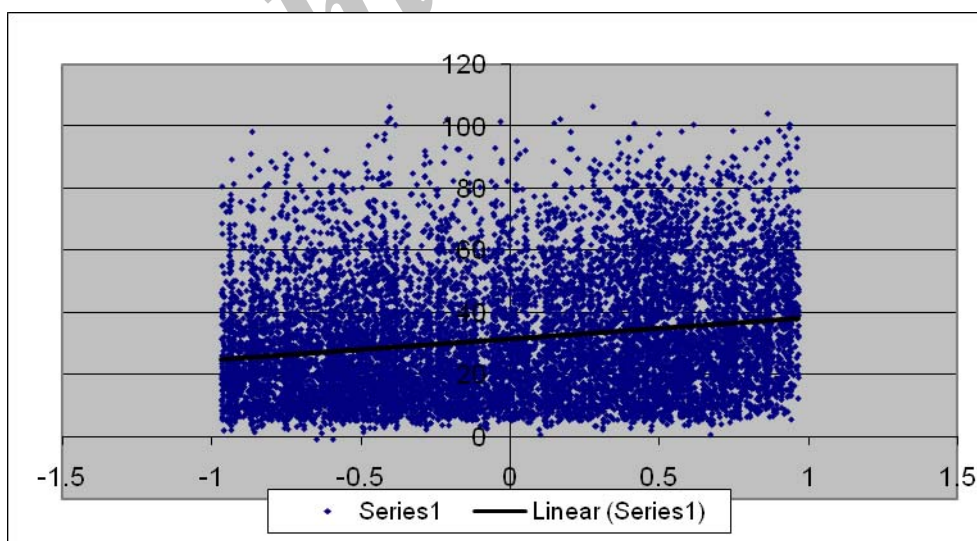
داده‌های روزانه جوئی مورد استفاده در پژوهش عبارت‌اند از: H₈₅₀ (فشار تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال)، T (میانگین روزانه دما)، TD (میانگین روزانه دمای شبنم)، w (میانگین روزانه

جدول ۶. نتایج هم‌بستگی اوزون وِردسپهری اندازه‌گیری شده در ایستگاه سنجش اوزون شهر اصفهان با کسینوس زاویه سمت‌الرأس خورشید.

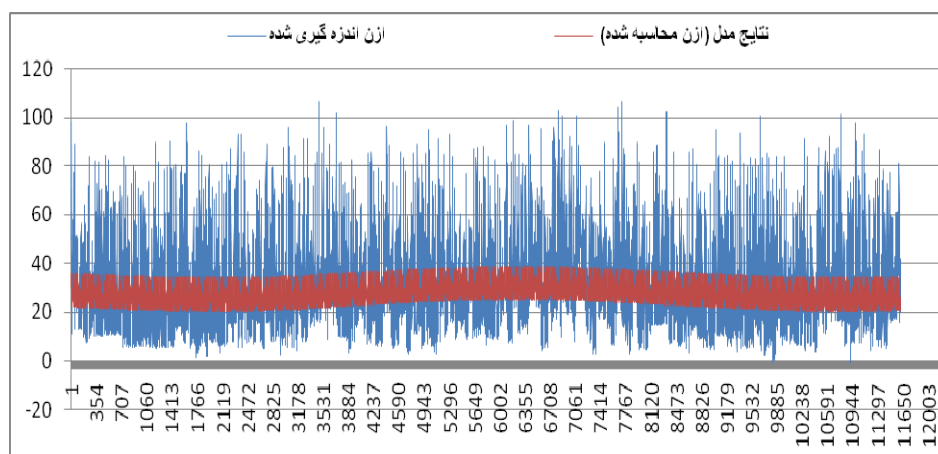
R	R Square	Adjusted R Square	Standard Error	Observations
0.20	0.04	0.04	36.64	11607



شکل ۶. نحوه تغییرات شبانه‌روزی اوزون وِردسپهری در ایستگاه سنجش اوزون شهر اصفهان در فصل تابستان (۱۳۸۶/۰۵/۱ تا ۱۳۸۶/۰۶/۱۵ و ۱۳۸۷/۰۳/۱۵ تا ۱۳۸۷/۰۶/۱۵). در این شکل محور افقی بیانگر ساعت‌های شبانه‌روز و محور عمودی بیانگر مقدار اوزون سطحی برحسب قسمت در میلیارد است.



شکل ۷. هم‌بستگی اوزون وِردسپهری در ایستگاه سنجش اوزون شهر اصفهان با کسینوس زاویه تابش در طول دوره آماری.



شکل ۸ نحوه تغییرات میانگین روزانه اوزون و ردسپهری در ایستگاه سنجش اوزون شهر اصفهان در روزهای متفاوت سال.

شماره ۲۵ با ضرایب هم‌بستگی و تبیین ۰/۰۷۱ و ۰/۲۶۶ انتخاب شد.

$$O_3 = 98/91 - 0/41RH + 0/001Solar - 0/005T^2 + 0/005RH^2 - 0/04H850, \quad (6)$$

مشاهده می‌شود که مربع ساختن داده‌ها، اندکی به بهبود ضرایب معادله کمک کرده است، اما هنوز میزان توجیه تغییرات غلظت اوزون توسط فراسنج‌های جوئی بسیار پایین است.

۲-۵-۳ هم‌بستگی اوزون و لگاریتم طبیعی داده‌های روزانه

بزرگ‌ترین هم‌بستگی با لگاریتم طبیعی دو پارامتر H850 و QFE معادل (۰/۱۳۵-) در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ و پس از آن با لگاریتم طبیعی دما و ساعت آفتابی و برابر (۰/۰۹۷-) و (۰/۰۹۲-) در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ است.

- نتایج مدل‌های رگرسیونی در بررسی داده‌های روزانه خام، مربع و لگاریتم طبیعی داده‌ها در روش گام‌به‌گام، فقط یک معادله با ضرایب هم‌بستگی و تبیین ۰/۲۲۲ و ۰/۰۴۹ پیشنهاد می‌شود.

مورد بررسی باشد. باین حال تلاش شد تا با نزدیک کردن منحنی توزیع داده‌های مورد استفاده به منحنی نرمال، نتایج کمی بهبود یابند. بدین منظور از دو روش مربع و لگاریتم طبیعی استفاده می‌شود. محاسبه مربع داده‌ها باعث تغییر چندانی در وضعیت نرمال بودن داده‌ها نشد. باین حال از داده‌های مربع شده در کنار داده‌های اصلی در یافتن معادله رگرسیونی استفاده شد.

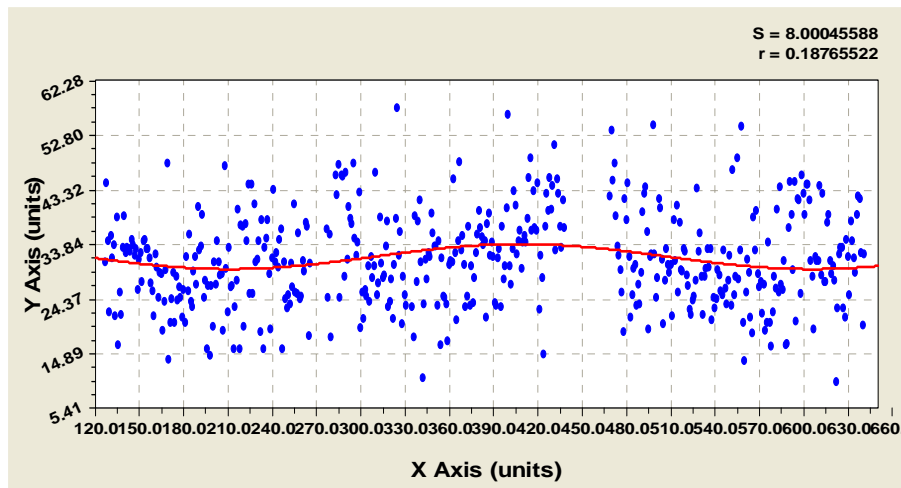
۲-۵-۲ هم‌بستگی اوزون و مربع داده‌های روزانه

در حالت مربع داده‌ها نیز شکل و میزان هم‌بستگی مشابه شرایط داده‌های خام است. بزرگ‌ترین ضرایب هم‌بستگی با مربع فشار سطح ایستگاه معادل (۰/۱۳۵-) است و پس از آن با مجذور ارتفاع در تراز ۸۵۰ هکتو پاسکالی و مجذور ابرناکی، مقادیر به (۰/۱۳۳-) و (۰/۱۰۳) تغییر یافت.

- نتایج مدل‌های رگرسیونی در بررسی داده‌های مربع و خام روزانه از روش گام‌به‌گام بهترین معادله با ضرایب هم‌بستگی و تبیین ۰/۲۴ و ۰/۰۵۷ است.

$$O_3 = 74/13 + 0/006RH^2 - 41/3RH - 0/025H850, \quad (5)$$

از میان ۲۶ معادله داده شده به روش پس‌سو، معادله



شکل ۹. نمودار تغییرات اوزون و ردسپهری اندازه‌گیری شده در ایستگاه سنجش اوزون شهر اصفهان و اوزون محاسبه شده در کل دوره آماری.

به منظور بهبود بخشیدن به روابط رگرسیونی در توجیه روابط اوزون و ردسپهری و سایر فراسنج‌های جوئی، فراسنج‌های ترکیبی از این داده‌ها ساخته شد. بدین صورت که چند فراسنج جدید از جذر حاصل ضرب فراسنج‌های دما، ساعت آفتابی، تابش خورشید، حداقل دمای سطح زمین در یکدیگر و تقسیم دما بر نقطه شبنم ساخته شد تا شاید معرف اثر برهم‌کنش این فراسنج‌ها باشند. این فراسنج‌های جدید نیز در کنار داده‌های دیگر در تشکیل معادلات رگرسیونی دخالت داده شد.

جدول هم‌بستگی پی‌یرسون (جدول ۷) نشان می‌دهد که اوزون و ردسپهری با هیچ‌یک از فراسنج‌های ترکیبی روزانه ساخته شده، هم‌بستگی ندارد.

۲-۵-۴ نتایج مدل‌های رگرسیونی در بررسی داده‌های روزانه خام، مربع داده‌ها، لگاریتم طبیعی داده‌ها و پارامترهای ترکیبی

در روش گام‌به‌گام فقط یک معادله با ضرایب هم‌بستگی و تبیین ۰/۲۱۹ و ۰/۴۸ پیشنهاد شد.

$$O_3 = 0.219 \text{Solar}^2, \quad (9)$$

$$O_3 = 0.22 \text{Solar}^2, \quad (7)$$

در روش پس‌سو ۲۷ معادله پیشنهاد شده که بهترین آنها از لحاظ پارامترهای آماری دارای ضرایب هم‌بستگی و ضریب تبیین ۰/۵۴۰ و ۰/۲۹۱ است. با این حال، تعداد متغیرهای مستقل مورد استفاده در آن بسیار زیاد است و به کارگیری آن را عملاً با مشکل مواجه می‌سازد. لذا کوتاه‌ترین رابطه قابل قبول که از ۱۲ متغیر مستقل کمک می‌گیرد و دارای ضرایب هم‌بستگی و تبیین ۰/۴۹۸ و ۰/۲۴۸ است

$$O_3 = -7/895VV - 0/761Tw - 6/66VRH + 0/853Ev + 0/505Sun + 4/756VV^2 - 0/723QFF^2 + 3/988RH^2 - 0/799EV^2 + 0/428LnVV + 0/265LnRH - 0/411LnSun. \quad (8)$$

خواهد بود. ملاحظه می‌شود که در رابطه (۷) تعداد متغیرها بسیار زیاد و عملاً غیرقابل استفاده است. لازم به ذکر است که تلاش‌های صورت گرفته برای توجیه نوسان‌های غلظت اوزون و ردسپهری براساس فراسنج‌های جوئی موردنظر و با استفاده از مدل رگرسیون چندمتغیره خطی نتوانسته است بخش زیادی از آن را توجیه کند. لذا

جدول ۷. هم‌بستگی اوزون و ردسپهری اندازه‌گیری شده در ایستگاه سنجش اوزون شهر اصفهان با داده‌های آب و هوایی ترکیبی روزانه.

T/D	T*Tg*Su	T*Tg	T*Su*Sol	Sun*Sol	T*Sol	T*Sun	O ₃		
۰/۰۷۵	-۰/۰۳۰	-۰/۰۲۱	-۰/۰۱۱	-۰/۰۲۶	۰/۰۰۹	-۰/۰۶۹	۱/۰۰۰	هم‌بستگی پی‌یرسون	O ₃
۰/۱۰۵	۰/۵۶۷	۰/۶۸۵	۰/۸۲۶	۰/۵۷۸	۰/۸۴۶	۰/۱۴۷	-	معنی‌داری (دوطرفه)	
۰/۰۰۷	۰/۸۸۶	۰/۷۶۵	۰/۹۷۴	۰/۸۷۱	۰/۹۳۱	۱/۰۰۰	-۰/۰۶۹	هم‌بستگی پی‌یرسون	T*Sun
۰/۸۷۸	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-	۰/۱۴۷	معنی‌داری (دوطرفه)	
۰/۰۱۳	۰/۸۹۰	۰/۸۴۷	۰/۹۶۶	۰/۸۱۱	۱/۰۰۰	۰/۹۳۱	۰/۰۰۹	هم‌بستگی پی‌یرسون	T*Sol
۰/۷۸۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-	۰/۰۰۰	۰/۸۴۶	معنی‌داری (دوطرفه)	
۰/۰۲۴	۰/۷۵۷	۰/۶۲۴	۰/۹۰۵	۱/۰۰۰	۰/۸۱۱	۰/۸۷۱	-۰/۰۲۶	هم‌بستگی پی‌یرسون	Sun*Sol
۰/۶۰۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۵۷۸	معنی‌داری (دوطرفه)	
۰/۰۲۳	۰/۸۸۹	۰/۷۸۰	۱/۰۰۰	۰/۹۰۵	۰/۹۶۶	۰/۹۷۴	-۰/۰۱۱	هم‌بستگی پی‌یرسون	T*Su*Sol
۰/۶۲۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۸۲۶	معنی‌داری (دوطرفه)	
۰/۰۳۴	۰/۹۶۵	۱/۰۰۰	۰/۷۸۰	۰/۶۲۴	۰/۸۴۷	۰/۷۶۵	-۰/۰۲۱	هم‌بستگی پی‌یرسون	T*Tg
۰/۵۱۴	۰/۰۰۰	-	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۶۸۵	معنی‌داری (دوطرفه)	
۰/۰۴۱	۱/۰۰۰	۰/۹۶۵	۰/۸۸۹	۰/۷۵۷	۰/۸۹۰	۰/۸۶۶	-۰/۰۳۰	هم‌بستگی پی‌یرسون	T*Tg*Su
۰/۴۳۴	-	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۵۶۷	معنی‌داری (دوطرفه)	
۱/۰۰۰	۰/۰۴۱	۰/۰۳۴	۰/۰۲۳	۰/۰۲۴	۰/۰۱۳	۰/۰۰۷	۰/۰۷۵	هم‌بستگی پی‌یرسون	T/TD
-	۰/۴۳۴	۰/۵۱۴	۰/۶۲۴	۰/۶۰۳	۰/۷۸۰	۰/۸۷۸	۰/۱۰۵	معنی‌داری (دوطرفه)	

$$O_3 = -155/595 - 0/091 H850 + 0/320 QFF, \quad (10)$$

اما در روش پس‌رو، شانزده معادله عرضه شده که آخرین و کوتاه‌ترین معادله با ضرایب هم‌بستگی و تبیین ۰/۲۸۲ و ۰/۸۲ به صورت زیر است:

$$O_3 = 64.452 - 0.556 Td + 0.183RH + 0.305Tg + 0.001Solar - 0.031 H850 + 0.403CO. \quad (11)$$

۲-۵-۵ هم‌بستگی اوزون و ردسپهری و میانگین روزانه مربع فراسنج‌های جوئی و گازها

در این مرحله اوزون با هیچ‌یک از فراسنج‌ها دارای هم‌بستگی نبوده است.

- نتایج مدل‌های رگرسیونی در بررسی هم‌بستگی اوزون و ردسپهری و میانگین روزانه فراسنج‌های جوئی خام و مربع داده‌ها و گازها

روش پس‌سو نیز با عرضه ۳۳ معادله طولانی نتوانست مدل قابل‌قبولی به دست دهد. ضرایب هم‌بستگی و تبیین در بهترین معادله با ۱۹ متغیر مستقل برابر ۰/۵۸۵ و ۰/۳۴۶ است و کوتاه‌ترین معادله با ۱۲ متغیر مستقل دارای ضرایب هم‌بستگی و تبیین برابر ۰/۵۲۴ و ۰/۲۷۴ است که از ذکر آن در اینجا خودداری می‌شود.

در بررسی هم‌بستگی اوزون با داده‌های روزانه جوئی و گازها مشاهده می‌شود که اوزون فقط با کربن منواکسید هم‌بستگی معادل ۰/۰۹۸ دارد که در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است.

- نتایج مدل‌های رگرسیونی برای میانگین روزانه فراسنج‌های جوئی خام و گازها در روش گام‌به‌گام فقط دو معادله پیشنهاد شد که معادله دوم با ضریب هم‌بستگی ۰/۱۹۸ و ضریب تبیین ۰/۰۳۹ بهتر است:

در روش پس سو ۳۹ معادله داده شده، که بهترین معادله دارای ضرایب هم‌بستگی و تبیین ۰/۵۹۲ و ۰/۳۵۱ است. به علت زیاد بودن تعداد فراسنج‌ها از ذکر آن خودداری می‌شود.

۳ نتیجه‌گیری

لازم به ذکر است که طبیعت داده‌هایی که طی فرایندهای پیچیده ایجاد می‌شوند به گونه‌ای است که نمی‌توان انتظار داشت ضرایب هم‌بستگی و تبیین زیاد و روابط صریح و توانمند آماری حاصل شود. روابط محاسبه شده در این پژوهش نشان می‌دهد که اجرای عملیات رایج (به توان دو رسانی، لگاریتم و...) نمی‌تواند موجب نرمال شدن توزیع احتمال داده‌ها شود. البته این احتمال هم وجود دارد که وجود رابطه غیرخطی بین اوزون و ردسپهری و فراسنج‌های مورد استفاده و یا احتمال تاثیر سایر عوامل در تشکیل یا از بین رفتن مولکول‌های اوزون موجب کاهش قدرت مدل‌ها شود. در بررسی پیشینه تحقیقات صورت گرفته در این زمینه بیشترین ضرایب تبیین به دست آمده ۰/۳۶ است (آلکساندروف، ۲۰۰۵) که نتایج مدل رگرسیونی داده‌های روزانه خام، مربع داده‌ها، لگاریتم طبیعی داده‌ها و پارامترهای ترکیبی بهترین معادله با ضرایب هم‌بستگی و تبیین ۰/۳۰۴ و ۰/۰۹۲ هستند. البته نتایج روش پس سو معادله دارای ضرایب هم‌بستگی و تبیین ۰/۵۹۲ و ۰/۳۵۱ است که به دلیل زیاد بودن تعداد فراسنج‌ها قابل استفاده نیست.

گرچه نتایج مدل‌های رگرسیونی بیان می‌کنند که کارایی نسبتاً زیادی برای توجیه نوسان‌های و پیش‌بینی غلظت اوزون و ردسپهری دارند، ولی تعدد متغیرهای ورودی آنها موجب می‌شود که این مدل‌ها از دیدگاه کاربردی چندان مفید نباشند.

در روش گام‌به‌گام از میان چهار معادله داده شده چهارمین معادله با ضرایب هم‌بستگی و تبیین ۰/۲۴۱ و ۰/۰۵۸ کوتاه‌ترین معادله است که همه ضرایب آن معنی دارند رابطه (۱۲):

$$O_3 = 41/605 + 0/007RH^2 - 0/622RH, \quad (12)$$

در روش پس سو ۳۱ معادله داده شده است که بهترین آنها، از نظر کوتاه بودن، معادله آخر با ضرایب هم‌بستگی و تبیین ۰/۳۶۷ و ۰/۱۳۴ است، که ده فراسنج در آن به کار رفته است و به علت طولی بودن از ذکر آن خودداری می‌شود.

۲-۵-۶ هم‌بستگی اوزون و ردسپهری و لگاریتم

طبیعی میانگین روزانه فراسنج‌های جوئی و گازها

در این مرحله اوزون و ردسپهری فقط با $\ln(CO)$ هم‌بستگی معادل ۰/۱۰۹ دارد که در سطح ۰/۰۵ معنی دار است.

- نتایج مدل‌های رگرسیونی در بررسی میانگین روزانه فراسنج‌های جوئی، مربع و لگاریتم طبیعی داده‌ها و گازها در روش گام‌به‌گام بهترین معادله با ضرایب هم‌بستگی و تبیین ۰/۳۰۴ و ۰/۰۹۲ است که ضرایب آن معنی دارند:

$$O_3 = 27/356 + 0/067CO + 0/001 Solar^2, \quad (13)$$

در روش پس سو ۳۵ معادله داده شده است که کوتاه‌ترین آنها، با ضرایب هم‌بستگی و تبیین ۰/۶۱۴ و ۰/۳۷۷ دارای بیست فراسنج است که در اینجا ذکر نمی‌شود.

- نتایج مدل‌های رگرسیونی در بررسی داده‌های روزانه خام، مربع داده‌ها، لگاریتم طبیعی داده‌ها و گازها و پارامترهای ترکیبی در روش گام‌به‌گام فقط دو معادله داده شده، که بهترین معادله با ضرایب هم‌بستگی و تبیین ۰/۳۰۴ و ۰/۰۹۲ به صورت زیر است:

$$O_3 = 27/356 + 0/67CO + 0/000 Solar^2, \quad (14)$$

- منابع
- مقدم، م.، محمدی شوطی، ا. آقایی سربرزه، م. ۱۳۷۳، آشنایی با روشهای آماری چند متغیره. انتشارات پیشتاز علم، ۵۲-۳۲.
- Ahrens, C. D., 1998, Essentials of Meteorology: An Invitation to the Atmosphere. 2nd edition. Wadsworth Publishing, Company, Belmont, California, 314- 336.
- Alexandrov, A. V., Velikov, S. K., Donev E. H., Ivano D. M. V., 2005, Quantifying non linearities in ground level Ozone behavior at mountainvalley station at Ovannarsco, Bulgaria by using general neural net work stations: Bulgarian Geophysical Journal, **31**, 45- 58.
- Bogucka, B., 2008, High ozone concentrations in selected regions of Poland and their relationship to weather patterns: institute of meteorological and water management, warsaw, Poland, 8th annual meeting of the EMS8 / ECAC7, **5**, EMS – A – 00461.
- Debaje.S. B., and Kakade, A. D., 2006, Measurements of Surface Ozone in Rural Site of India: Aerosol and Air Quality Research, **6**(4), 444-465.
- Nolle, M., Ellul, R., Ventura, F., and Gusten, H., 1996, A study of historical surface ozone measurements (1884-1900) on the island of Gozo in the central Mediterranean. Proceedings of Eurotrac Meeting in Garmisch Partenkirchen, Germany.
- Rahbar, M., 1989, Ozone Variability at a Semi rural Site in France, CNRS, Orleans: Proceedings of the Quadrennial Ozone Symposium and Tropospheric Ozone Workshop held 4-13 August, 1988 in Göttingen, Federal Republic of Germany. Edited by Rumen D. Bojkov and Peter Fabian. Hampton, VA: A. Deepak Publishing, 532-534.
- Rao, S. T., and Zur benko, I., 1994, Detecting and tracking changes in ozone air quality: Air and waste management association, **44**, 1089-1092
- Reich, P. B., Schoettle, A. W., and Amundson, R. G., 1985, Effects of low concentrations of O₃, leaf age and water stress on leaf diffusive conductance and water use efficiency in soybean: Physiologia Plantarum, **63**, 58-6.
- Solomon, K., Xiaoyan, T. b., Stephen, R., Wilson, C., and Prodrmos Z., 2003, Changes in tropospheric composition and air quality due to stratospheric ozone depletion, Photochem. Photobiol. Sci, **2**, 62-67
- بانک اطلاعات سازمان حفاظت محیط زیست استان اصفهان (۱۳۸۴-۱۳۷۷)، www.esfahan.doe.ir.
- بانک اطلاعات مرکز اوزون سنجی و اداره کل هواشناسی استان اصفهان سالهای ۲۰۰۴-۱۹۹۵ میلادی، www.esfahanmetportal.ir.
- بیدختی، ع. و شرعی پور، ز.، ۱۳۸۶، بررسی تغییرات اوزون سطحی در محدوده ایستگاه سینوپتیک: مؤسسه ژئوفیزیک، مجله محیط شناسی سال سی و سوم، ۴۲، ۶۳-۷۴.
- پوی، ه. س.، رئوف، د. و چبانوگلاس، ج.، ۱۳۷۸، مهندسی محیط زیست (هوا و زایدات جامد)، ترجمه محمدعلی کی نژاد و سیروس ابراهیمی، انتشارات دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ۲، ۵۳-۳۰.
- رهبر، م و زندنیاپور، ا.، ۱۳۷۹، تولید اوزون آلاینده هوا در تهران، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.
- صداقت کردار، ع.، جهانگیری، ز. و رحیم زاده، ف.، ۱۳۸۲، توانایی های بالقوه علم آمار در مطالعات هواشناسی آلودگی هوا، کنفرانس آمار دانشگاه علامه طباطبایی، ۱۰-۱.
- طالبی، ه.، ۱۳۸۴، مدل توزیع آلاینده های جوی شهر اصفهان، طرح پژوهشی، انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست، ۲۳-۱۷.
- عزتیان، و.، ۱۳۸۶، بررسی اثرات پارامترهای هواشناسی بر شاخص کیفیت هوای شهر اصفهان، رساله دکتری دانشگاه اصفهان، ۳۲-۱.
- کریمی، م و پرنده، ا.، ۱۳۸۲، بررسی و ارزیابی روند کاهش غلظت اوزون کلی در نقاط مختلف کره زمین، سومین کنفرانس منطقه ای و ملی تغییر اقلیم، ۳۸۱-۳۹۲.
- مولوی، ح.، ۱۳۷۹، راهنمای عملی SPSS-10 در علوم رفتاری، انتشارات دانشگاه اصفهان، ۷۹-۸۵.

- Nature, **372**, 322-323.
- Xiangdong, Z., 2004, A meteorological analysis on low tropospheric ozone events over Xining, North western China on 26-27 July 1996: Atmospheric Environment, **38**, 261-271.
- Thompson M. L., Reynolds, J., Cox, L. H., Guttorp, P. and Sampson P. D., 1999, A review of statistical methods for the meteorological adjustment of tropospheric ozone: NRCSE-TRS No. 026.
- Toumi, R. et al, 1994, Indirect influence of ozone depletion on climate forcing by clouds,