کاربرد روش‌های آماری در تحلیل نوسان‌های اوزون وِردسپهری

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 وِردسپهری (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 وِردسپهری 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 وِردسپهری در اصفهان را نداشتند. محاسبه یک مدل غیرخطی دومتغیره اگرچه توانست حالت کلی نوسان‌های ذاتی اوزون را نشان دهد، اما به‌دلیل وجود نوسان‌های نامنظم در داده‌های ساعتی نتوانست مدلی مناسب برای پیش بینی غلظت اوزون وِردسپهری باشد. بیشتر مدل‌ها نشان دادند که افزایش دما و رطوبت، بیشترین سهم را در تشکیل اوزون وِردسپهری دارند و فشار سطح دریا در تحلیل‌های نقطه‌ای دارای کاربرد چندانی نیستند. همچنین افزایش غلظت ترکیبات اکسیژن‌دار نیتروژن، تولید اوزون وِردسپهری را افزایش می‌دهد. در مقیاس روزانه گاز کربن مونوکسید و دما توانستند بهترین توجیه را برای غلظت اوزون وِردسپهری به‌دست دهند.

واژه‌های کلیدی: رگرسیون خطی، اوزون وِردسپهری، مدل چندمتغیره، روش آماری

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

Victoria Ezzatian[1*] and Abrahim As'adi[2]

[1] *Esfahan Meteorological Office*
[2] *Gilan Agricultural Meteorologiacal 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, SO_2, NO, NO_x, NO_2

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 interpretat 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

اوزون آرام‌سپهری (استراتوسفری) به صورت طبیعی از راه ترکیب اکسیژن مولکولی و اکسیژن اتمی تشکیل می شود و پوشش حفاظتی در مقابل تابش مضر فرابنفش خورشید ایجاد می کند. در نزدیکی سطح زمین اوزون وِردسپهری وجود دارد که آلاینده‌ای ثانویه است و مستقیماً به داخل جوّ 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 به‌وجود می‌آید. چاهک‌های اوزون وِردسپهری ناشی از واکنش با رادیکال‌های آزاد موجود در جوّ؛ هستند، طول عمر اوزون وِردسپهری در جوّ چند ساعت تا چند روز و نرخ رشد سالیانه آن ۱-۲درصد است (پوی، ۲۰۰۲).

ازآنجاکه وجود نور خورشید برای تشکیل اوزون وِردسپهری ضروری است، معمولاً حداکثر غلظت اوزون وِردسپهری بعدازظهرها و همچنین ماه‌های تابستان که نور خورشید شدیدتر است ظاهر می شود. این مسئله همراه با برخی شرایط جوّی مانند وارونگی بلندمدت دمای هوا که از انتشار قائم آلودگی جلوگیری می کند و شدت کافی نور خورشید زمینه را برای تشکیل مه‌دود فتوشیمیایی فراهم می کند. 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، پراُکسی بنزل نیترات (PBZN)، پراُکسی استیل نیترات (PAN) و اکرولین باعث تحریک چشم‌ها می شود (اهرنس۲۰۰۷- ۴۹۸).

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 اُکساینده قوی است که از راه روزنه‌های گیاه وارد برگ می‌شود و تشکیل رادیکال‌های آزاد و پراُکسیداسیون اسیدهای چرب تشکیل دهنده غشاء سلولی را ایجاد می کند. 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 متاثر از شرایط جوّی است، این پژوهش با هدف عرضه مدلی که بتواند با استفاده از داده‌های جوّی برآورد قابل قبولی از اوزون سطحی به‌دست دهد صورت می گیرد.

تحقیقات دابسون (۱۹۵۶) و واسی (۱۹۶۹) (تامسون، ۱۹۹۹) افزایش غلظت اوزون در محیط در زمان رگبار و رعد وبرق 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

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 جوّی در محیط طبیعی و پاک دارای چرخه‌ای ۲۶ ماهه بوده است.

نوئل 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 به طور میانگین بیشینه مقادیر اوزون وردسپهری طی بعدازظهر و کمینه مقادیر اوزون وردسپهری در ساعت‌های اولیه صبح و اواخر شب رخ می‌دهد. مقایسهٔ 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 موثر 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 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 جوّی، غیرخطی است، لذا شبکه عصبی در برقراری ارتباط بین متغیرهای جوّی 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 فرّار و چند پارامتر جوّی 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.

تزانیس (۲۰۰۷) و همکاران با توجه به اثرات خورشیدگرفتگی در وضعیت جوّی (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

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

۲ مواد و روش‌ها

۲-۱ روش‌شناسی

در این پژوهش تلاش شده است که با روش‌های آماری، مدلی عرضه شود که بتواند با استفاده از داده‌های جوّی، برآورد قابل قبولی از مقادیر اوزون وِردسپهری به دست دهد. بدین‌منظور ابتدا به بررسی جامعه نمونه اوزون و گازهای کمکی و داده‌های متناظر جوّی پرداخته می‌شود، سپس وجود ارتباط قابل‌قبول بین اوزون و هریک از آنها و یا اوزون و مجموعه‌ای از آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد. به‌دلیل پیروی نکردن بسیاری از نمونه‌های مورد بررسی از توزیع نرمال، در مراحل گوناگون تغییراتی در داده‌ها اِعمال شده که معمولا 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 پیش بینی 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):

$$Y = B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + a, \qquad (۱)$$

در تحلیل رگرسیون گام‌به‌گام متغیرهای مستقل، هم‌زمان کنترل می‌شوند. ممکن است دو پارامتر در دو معادله 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 هرکدام 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. درصورتی 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 به‌کار 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 درغیراین‌صورت، 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 آلودگی‌سنجی 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.

در این پژوهش آمارهای اندازه‌گیری شده سال‌های ۱۹۹۵- ۲۰۰۵ مورد استفاده قرار گرفت. این آمارها عبارت‌اند از:

الف) داده‌های ایستگاه‌های آلودگی‌سنجی شامل: اوزون سطحی، کربن مونوکسید، گوگرد دی‌اکسید و اکسیدهای نیتروژن NO ، NO_2 NOx.

ب) داده‌های جوّی ساعتی شامل: دمای هوا (T)، رطوبت جوّی (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 وِردسپهری در طول دوره آماری ۳۱/۴ قسمت در میلیون و میانه داده‌ها ۲۷ قسمت در میلیون است. نمای این نمونه آماری ۱۰/۱ قسمت در میلیون است. مساوی نبودن سه آماره فوق بیانگر غیرنرمال بودن منحنی توزیع فراوانی ساعتی غلظت اوزون وِردسپهری است. از طرفی با توجه به اینکه Mod<Med<Mean، نمودار چاوله به راست است. انحراف معیار داده‌ها معادل ۱۹/۴ قسمت در میلیون است که این انحراف معیار زیاد، نشان‌دهنده پراکندگی مشاهدات در اطراف میانگین است (مولوی، ۱۳۷۹) شکل(۱).

ضریب تغییرات (cv) که معیاری از تغییرپذیری نسبی است، در مورد اوزون وِردسپهری نسبتاً زیاد و معادل ۶۱/۷٪ است. ازآنجاکه ضریب تغییرات بالای ۳۵٪ براساس طبقه‌بندی ویلدینگ و درس در گروه متغیرهایی با ضریب تغییرات حداکثر طبقه‌بندی می‌شوند (طالبی،۱۳۸۴)، 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 است۰/۸۹۰، و در محدوده اعتبار آماری ۹۵ درصد معنی‌دار (چاوله به راست) است. کشیدگی که معیاری از میزان تیزی منحنی توزیع فراوانی در نقطه حداکثر آن است نیز معنی‌دار و برابر ۰/۲۴۵ است. این حالت لپتوکرتیک (Leptokurtic)نامیده می‌شود که چنین توزیع‌هایی ترکیبی از دو جامعه نرمال با واریانس متفاوت ولی میانگین مشابه هستند (مقدم، ۱۳۷۳). 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 اوزون۱۰ قسمت در میلیون است که مبین میزان آلودگی قابل‌توجه در منطقه است (جدول ۳).

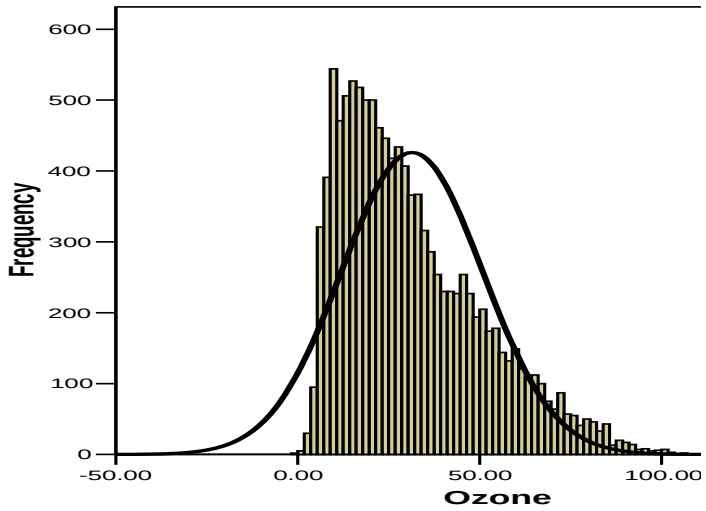
متوسط روزانه دما ۱۹ درجه سلسیوس است که آزمون چاولگی بر نرمال بودن توزیع فراوانی و آزمون کولموگوروف- اسمیرونوف بر غیرنرمال بودن آن دلالت دارند. متوسط روزانه دمای تر در دوره مورد بررسی ۸/۰ درجه سلسیوس، کمینه و بیشینه مقادیر روزانه دمای تر نیز (۷/۷-) و ۲۰/۳ درجه سلسیوس است که آزمون چاولگی بر نرمال بودن و آزمون کولموگوروف- اسمیرونوف بر غیرنرمال بودن توزیع فراوانی اشاره دارند.

کمینه و بیشینه رطوبت نسبی روزانه در بازه ۶ /۱۰ تا ۸۵/۳ درصد قرار دارد که هر دو آزمون چاولگی و کولموگوروف- اسمیرونوف، نرمال بودن توزیع فراوانی را تایید می‌کنند.

کمینه و بیشینه ساعت‌های آفتابی نیز به‌ترتیب ۰/۰ و۱۳/۰ ساعت و متوسط ساعت آفتابی روزانه ۹/۱ ساعت است. میانه و مد این فراسنج نیز ۹/۸ ساعت هستند. کمینه و بیشینه مقادیر انرژی تابشی خورشید روزانه ./۱۸۴ و ۷۰۵۱/۰ ژول بر سانتی‌متر مربع در روز و با متوسط ۱۹۸۴/۹ است.

جدول ۱. آماره‌های توصیفی داده‌های ساعتی غلظت اوزون وِردسپهری 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.

۲-۳ گازهای مورد استفاده در پژوهش

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 به‌منزله یک آلاینده نام برده می‌شود، معمولا مقادیر آن را با واحد قسمت در میلیون و یا قسمت در میلیارد بیان می‌کنند که عبارت است از تعداد مولکول‌های اوزون به‌ترتیب به ۱ میلیون و ۱ میلیارد مولکول هوا. داده‌های ساعتی مربوط به اندازه‌گیری در همان ساعتی است که داده‌های جوّی اندازه گیری شده‌اند اما داده‌های روزانه میانگین‌گیری داده‌های ساعتی در طول روز هستند. آزمون کولموگوروف- اسمیرونوف نشان می‌دهد که توزیع مقادیر هیچ‌کدام از گازها نرمال نیست.

متوسط مقادیر نیتروژن دی‌اکسید روزانه ۳۸/۴ قسمت در میلیون است که بیشتر ازحد 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- اسمیرونوف مؤید این مطلب است.

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

درصدها	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰
O_3	۱۰/۱	۱۴/۱	۱۸/۲	۲۲/۴	۲۷/۰	۳۲/۳	۳۹/۰	۴۷/۸	۶۰/۰

جدول۳. استانداردهای سازمان جهانی بهداشت - تبدیل به PPM در دمای $25\ ^0C$ و فشار ۱اتمسفر(شفیع‌پور،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.

آماره		NO(ppb)	NO_2(ppb)	NOx(ppb)	SO_2(ppb)	CO(ppm)
تعداد	موجود	۴۴۹	۴۴۸	۴۴۸	۴۶۷	۴۵۵
	مفقود	۳۶	۳۷	۳۷	۱۸	۳۰
حداقل		۱۳/۹۳	۱۳/۱۴	۵۱/۹۹	۳/۳۴	۲/۳
حداکثر		۳۳۲/۲۶	۲۲۶/۴۱	۳۸۵/۰۵	۸۲/۲۵	۱۵/۴۴
میانگین		۱۲۰/۹۱	۳۸/۴۹	۱۵۵/۴۹	۲۶/۴۷	۵/۹۵
میانه		۱۱۲/۴	۳۱/۷۱	۱۴۷/۸۸	۲۴/۶۳	۵/۳۴
مد		۹۰/۳	۲۰/۱۸	۹۵/۰۴	۲۹/۲۸	۴/۴۱
انحراف معیار		۵۷/۲۶	۲۷/۶۶	۵۸/۲۶	۱۲/۰۶	۲/۳۷
ضریب تغییرات		۰/۴۷	۰/۷۲	۰/۳۷۴۶	۰/۴۵	۰/۴
چاولگی		۰/۸۲	۳/۹۶	۰/۹	۱/۵۹	۰/۹۵
کشیدگی		۰/۹۴	۱۸/۰۴	۰/۹۹	۳/۹۷	۰/۷۵
معنی‌داری چولگی		آری	آری	آری	آری	آری
معنی‌داری کشیدگی		آری	آری	آری	آری	آری

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 ازحد 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 ۲/ ۳۳ قسمت در میلیون و ضریب تغییرات برابر ۰/۴۰ است.

۲-۴ بررسی غلظت گاز اوزون

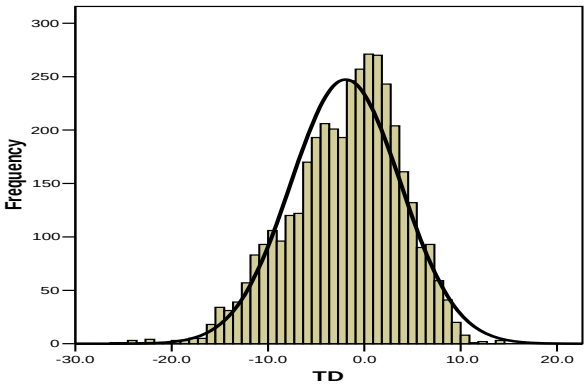
در این پژوهش نحوه تغییرات داده‌های روزانه اوزون در ساعت‌های شبانه‌روز ابتدا برای کل دوره آماری و سپس برای فصل‌های تابستان و بهار به‌طور جداگانه صورت گرفت. نتایج روشن‌ساخت که داده‌ها در طول شبانه‌روز دارای تغییرات سینوسی هستند، به‌طوری‌که در سردترین ساعت‌های روز (حوالی طلوع آفتاب) کمینه غلظت اوزون و در 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 وِردسپهری اندازه‌گیری شده در میدان لاله تهران و موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران (درحکم 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 تا۵). گرچه منحنی سینوسی با چرخه شبانه‌روزی متوسط غلظت اوزون برازش خوبی دارد اما تغییرات تصادفی و بی‌نظم در میانگین روزانه عوامل متفاوتی که احتمالا 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 قابل‌قبول منفرد برای نشان دادن تغییرات شبانه‌روزی اوزون در همه روزها را ناممکن می‌سازد.

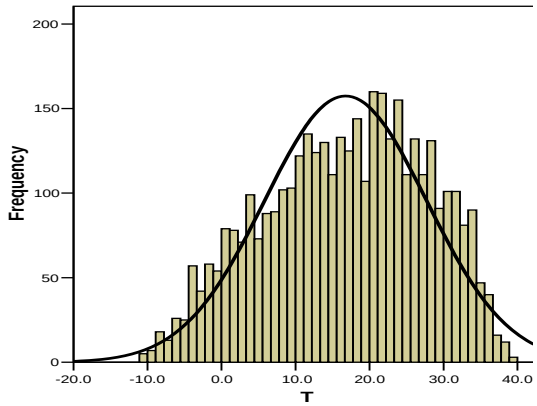
در این مرحله با تلفیق دو رابطه روزانه و ساعتی تلاش شد تا رابطه‌ای که بیانگر نوسان‌های توأم روزانه و ساعتی غلظت اوزون باشد به‌دست آید که رابطه (۲) نتیجه شد. در این رابطه bi معرف ساعت و dj معرف روز یولیانی (قیصری) موردنظر است

$$Y = \{۲۴[۳۱/۷۸+۲/۱۷\cos(۰/۰۲dj-۰/۲۱)-(۶/۸۵/۰/۳۲)\sin(۲۳\times۰/۳۲-۴/۴۶)+۶/۸۵\times۰/۳۲(\sin(-۴/۴۶))]\}/\{۲۳+۶/۸۵\cos(۰/۳۲bi-۴/۴۶)\},\quad (۲)$$

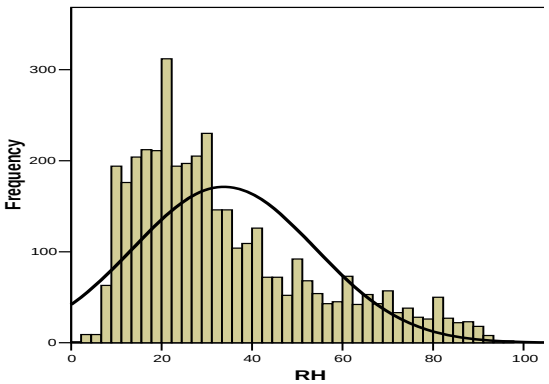
پس از حل معادله فوق برای همه ساعت‌ها و روزهایی که در آنها اندازه‌گیری اوزون صورت گرفته بود، خطای



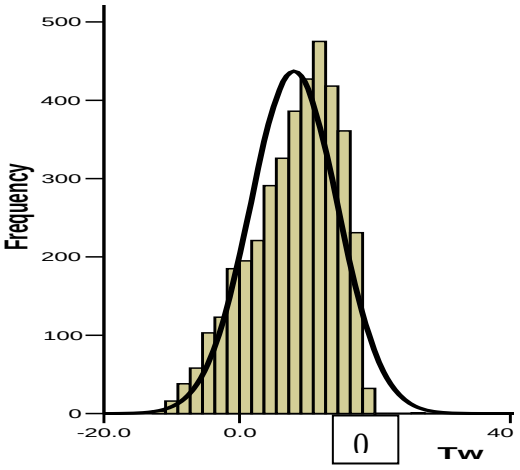
شکل۲. الف) توزیع فراوانی دمای شبنم. در این شکل محور افقی بیانگر دمای نقیه شبنم بر حسب درجه سلسیوس و محور عمودی بیانگر فراوانی وقوع این مقادیر در طول دوره آماری است.



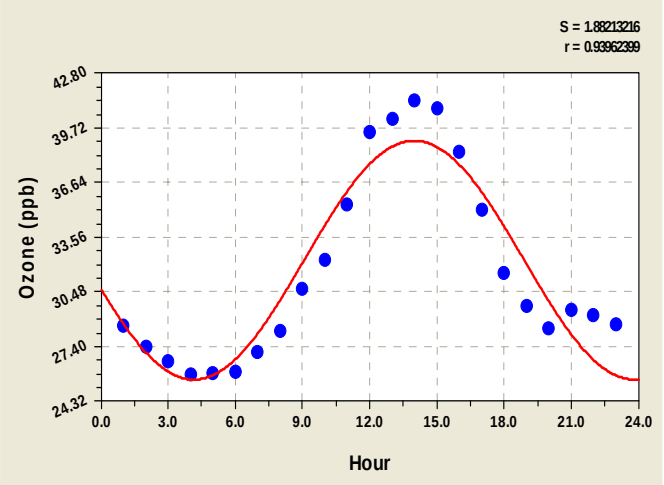
شکل۲. ب) توزیع فراوانی دما. در این شکل محور افقی بیانگر درجه حرارت برحسب درجه سلسیوس و محور عمودی بیانگر فراوانی وقوع این مقادیر در طول دوره آماری است.



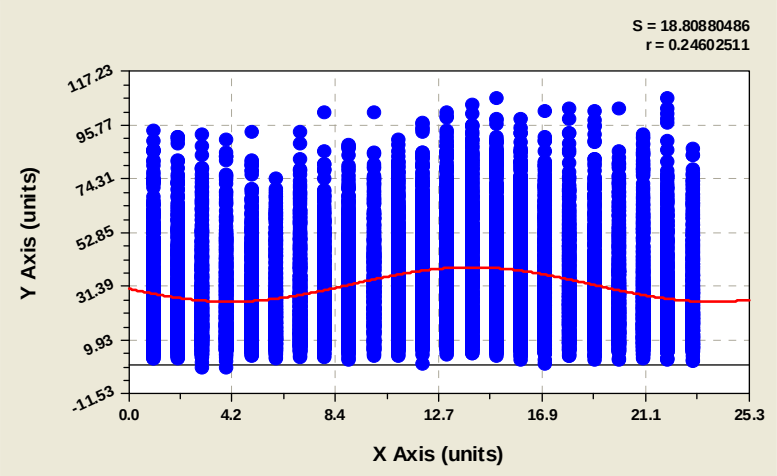
شکل۲. ج) توزیع فراوانی رطوبت نسبی. در این شکل محور افقی بیانگر رطوبت نسبی برحسب درصد و محور عمودی بیانگر فراوانی وقوع این مقادیر در طول دوره آماری است.



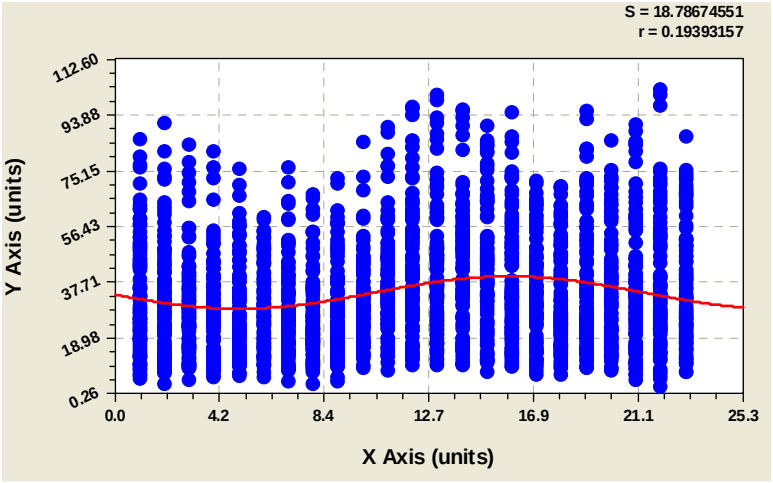
شکل۲. د) توزیع فراوانی دمای تر. در این شکل محور افقی بیانگر دمای تر برحسب درجه سلسیوس و محور عمودی بیانگر فراوانی وقوع این مقادیر در طول دوره آماری است.



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



شکل ۴. نحوه تغییرات شبانه‌روزی اوزون وِردسپهری 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.



شکل۵. نحوه تغییرات شبانه‌روزی اوزون وِردسپهری 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

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. ازآنجاکه عامل اصلی موثر در تغییرات شدت تابش نظری (خارج از جوّ) زاویه تابش است، کسینوس زاویه تابش در ساعت‌های متفاوت از روزهای سال محاسبه شد. شکل۶ 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 وِردسپهری و میانگین روزانه فراسنج‌های جوّی

داده‌های روزانه جوّی مورد استفاده در پژوهش عبارت‌اند از: H_{850} (فشار تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال)، T(میانگین روزانه دما)، TD (میانگین روزانه دمای شبنم) ،w (میانگین روزانه 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 جوّی 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 میلی باری مستقیما از روی فشار سطح دریا محاسبه می‌شود هم‌بستگی زیاد آن با اوزون وِردسپهری قابل‌توجیه است. توجیه وجود رابطه مثبت بین اوزون فراسنج‌های و ابرناکی از لحاظ فیزیکی کمی دشوار به نظر می‌رسد. در این مرحله هیچ‌کدام از فراسنج‌های دمایی، رطوبتی، ساعت آفتابی و تابش هم‌بستگی مشخصی با اوزون وِردسپهری نشان ندادند.

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

$$O_3 = ۱۰۴/۴۰ + ۰/۰۰۱Solar - ۵/۸۴۹T - ۰/۰۴۸.H_{850} - ۰/۲۴۵T. \quad (۳)$$

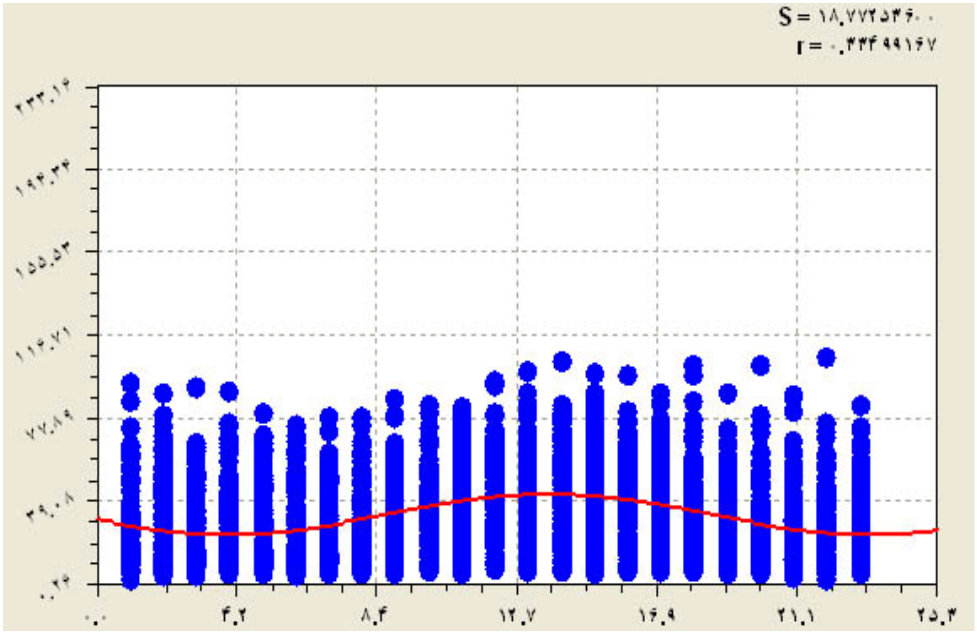
در گام بعدی با به‌کارگیری روش پس‌سو از میان ۱۳ معادله پیشنهادی، بهترین و کوتاه‌ترین معادله با ضریب هم‌بستگی و تبیین ۰/۲۴۴ و ۰/۰۶ است:

$$O_3 = ۳۵۸/۷۳ + ۰/۰۰۱Solar - ۰/۴۸TD + ۰/۲۰۷RH - ۰/۳۷۳۷QFF. \quad (۴)$$

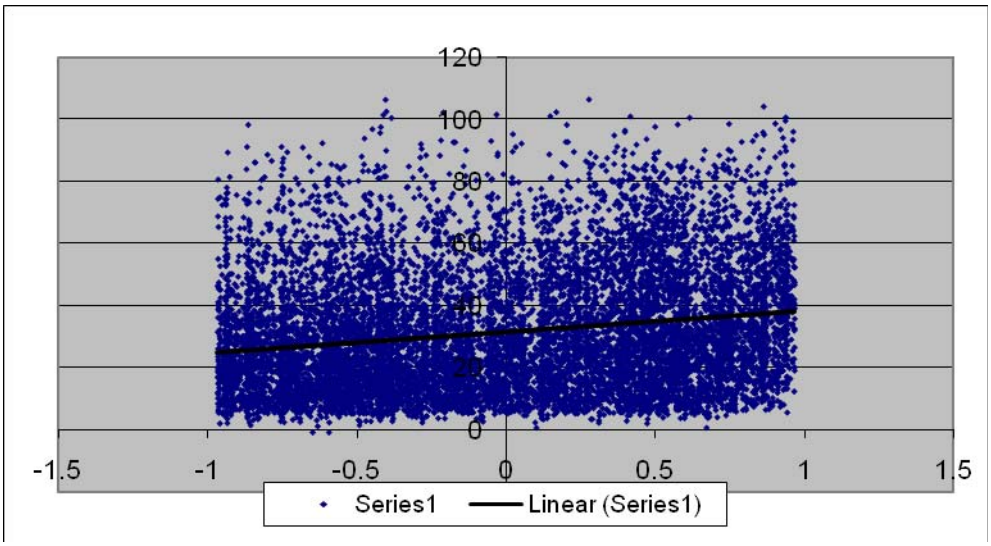
روابط(۲) و (۳) نشان می‌دهند که مقیاس روزانه داده‌های مورد استفاده نیز نمی‌تواند بخش زیادی از نوسان‌های غلظت گاز اوزون در سطح زمین را توجیه کند این مسئله می‌تواند به دلیل تاثیرپذیری اوزون از سایر عوامل و احتمال وجود رابطه غیرخطی بین اوزون و فراسنج‌های

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

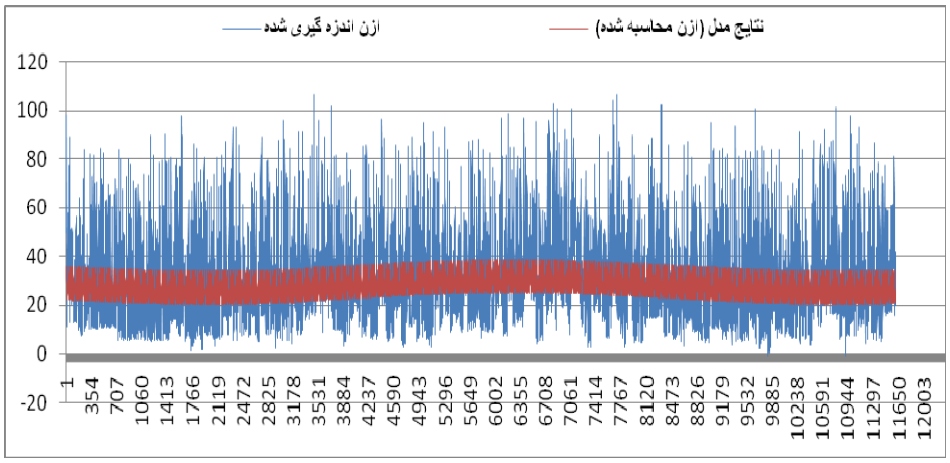
R	R Square	Adjusted R Square	Standard Error	Observations
0.20	0.04	0.04	36.64	11607



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 وردسپهری در ایستگاه سنجش اوزون شهر اصفهان در روزهای متفاوت سال.

مورد بررسی باشد. بااین‌حال تلاش شد تا با نزدیک کردن منحنی توزیع داده‌های مورد استفاده به منحنی نرمال، نتایج کمی بهبود یابند. بدین‌منظور از دو روش مربع و لگاریتم طبیعی استفاده می‌شود. محاسبه مربع داده‌ها باعث تغییر چندانی در وضعیت نرمال نبودن داده‌ها نشد. بااین‌حال 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 ضریب هم‌بستگی با مربع فشار سطح ایستگاه معادل(۰/۱۳۵-) است و پس ازآن 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.

$$O_3 = ۷۴/۱۳ + ۰/۰۰۶RH^2 - ۴۱/۳RH - ۰/۰۲۵\ H850, \quad (۵)$$

از میان ۲۶ معادله داده شده به روش پس‌سو، معادله شماره ۲۵ با ضرایب هم‌بستگی و تبیین ۲۶۶/ و ۰/۰۷۱ انتخاب شد.

$$O_3 = ۹۸/۹۱ - ۰/۴۱RH + ۰/۰۰۱Solar - ۰/۰۰۵T^2 + ۰/۰۰۵\ RH^2 - ۰/۰۴\ H850, \quad (۶)$$

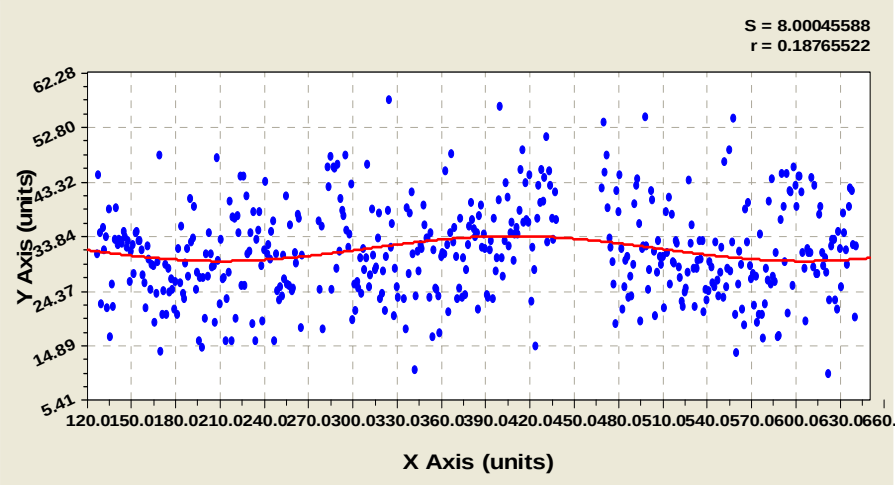
مشاهده می‌شود که مربع ساختن داده‌ها،اندکی به بهبود ضرایب معادله کمک کرده است، اما هنوز میزان توجیه تغییرات غلظت اوزون توسط فراسنج‌های جوّی بسیار پایین است.

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.



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

$$O_3 = ۰/۲۲Solar^2 , \quad (۷)$$

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. بااین‌حال، تعداد متغیرهای مستقل مورد استفاده در آن بسیار زیاد است و به‌کارگیری آن را عملاً با مشکل مواجه می‌سازد. لذا کوتاه‌ترین رابطه قابل‌قبول که از ۱۲ متغیر مستقل کمک می‌گیرد و دارای ضرایب هم‌بستگی و تبیین ۰/۴۹۸ و ۰/۲۴۸ است

$$O_3=-۷/۸۹۵VV-۰/۷۶۱Tw-۶/۶۶۷RH+۰/۸۵۳Ev+۰/۵۰۵Sun+۴/۷۵۶VV^2-۰/۷۲۳QFF^2+۳/۹۸۸RH^2-۰/۷۹۹EV^2+۰/۴۲۸LnVV+۰/۲۶۵LnRH-۰/۴۱۱LnSun \ . \quad (۸)$$

خواهد بود. ملاحظه می‌شود که دررابطه (۷) تعداد متغیرها بسیار زیاد و عملاً غیرقابل استفاده است. لازم به ذکر است که تلاش‌های صورت گرفته برای توجیه نوسان‌های غلظت اوزون وِردسپهری براساس فراسنج‌های جوّی موردنظر و با استفاده از مدل رگرسیون چندمتغیره خطی نتوانسته است بخش زیادی از آن را توجیه کند. لذا به‌منظور بهبود بخشیدن به روابط رگرسیونی در توجیه روابط اوزون وِردسپهری و سایر فراسنج‌های جوّی، فراسنج‌های ترکیبی از این داده‌ها ساخته شد. بدین صورت که چند فراسنج جدید از جذر حاصل‌ضرب 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 شدند.

جدول هم‌بستگی پی‌یرسون (جدول ۷) نشان می‌دهد که اوزون وِردسپهری 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 ۰/۰۴۸ پیشنهاد شد.

$$O_3 = ۰/۲۱۹Solar^2 , \quad (۹)$$

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

		O_3	T*Sun	T*Sol	Sun*Sol	T*Su*Sol	T*Tg	T*Tg*Su	T/D
O_3	هم‌بستگی پی‌یرسون	۱/۰۰۰	-۰/۰۶۹	۰/۰۰۹	-۰/۰۲۶	-۰/۰۱۱	-۰/۰۲۱	-۰/۰۳۰	۰/۰۷۵
	معنی‌داری (دوطرفه)	-	۰/۱۴۷	۰/۸۴۶	۰/۵۷۸	۰/۸۲۶	۰/۶۸۵	۰/۵۶۷	۰/۱۰۵
T*Sun	هم‌بستگی پی‌یرسون	-۰/۰۶۹	۱/۰۰۰	۰/۹۳۱	۰/۸۷۱	۰/۹۷۴	۰/۷۶۵	۰/۸۸۶	۰/۰۰۷
	معنی‌داری (دوطرفه)	۰/۱۴۷	-	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۸۷۸
T*Sol	هم‌بستگی پی‌یرسون	۰/۰۰۹	۰/۹۳۱	۱/۰۰۰	۰/۸۱۱	۰/۹۶۶	۰/۸۴۷	۰/۸۹۰	۰/۰۱۳
	معنی‌داری (دوطرفه)	۰/۸۴۶	۰/۰۰۰	-	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۷۸۰
Sun*Sol	هم‌بستگی پی‌یرسون	-۰/۰۲۶	۰/۸۷۱	۰/۸۱۱	۱/۰۰۰	۰/۹۰۵	۰/۶۲۴	۰/۷۵۷	۰/۰۲۴
	معنی‌داری (دوطرفه)	۰/۵۷۸	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۶۰۳
T*Su*Sol	هم‌بستگی پی‌یرسون	-۰/۰۱۱	۰/۹۷۴	۰/۹۶۶	۰/۹۰۵	۱/۰۰۰	۰/۷۸۰	۰/۸۸۹	۰/۰۲۳
	معنی‌داری (دوطرفه)	۰/۸۲۶	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۶۲۴
T*Tg	هم‌بستگی پی‌یرسون	-۰/۰۲۱	۰/۷۶۵	۰/۸۴۷	۰/۶۲۴	۰/۷۸۰	۱/۰۰۰	۰/۹۶۵	۰/۰۳۴
	معنی‌داری (دوطرفه)	۰/۶۸۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-	۰/۰۰۰	۰/۵۱۴
T*Tg*Su	هم‌بستگی پی‌یرسون	-۰/۰۳۰	۰/۸۶۶	۰/۸۹۰	۰/۷۵۷	۰/۸۸۹	۰/۹۶۵	۱/۰۰۰	۰/۰۴۱
	معنی‌داری (دوطرفه)	۰/۵۶۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-	۰/۴۳۴
T/TD	هم‌بستگی پی‌یرسون	۰/۰۷۵	۰/۰۰۷	۰/۰۱۳	۰/۰۲۴	۰/۰۲۳	۰/۰۳۴	۰/۰۴۱	۱/۰۰۰
	معنی‌داری (دوطرفه)	۰/۱۰۵	۰/۸۷۸	۰/۷۸۰	۰/۶۰۳	۰/۶۲۴	۰/۵۱۴	۰/۴۳۴	-

روش پس‌سو نیز با عرضه ۳۳ معادله طولانی نتوانست مدل قابل‌قبولی به‌دست 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 ۰/۲۷۴است که از ذکر آن در اینجا خودداری می‌شود.

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

- نتایج مدل‌های رگرسیونی برای میانگین روزانه فراسنج‌های جوّی 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:

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

اما در روش پس‌رو، شانزده معادله عرضه شده که آخرین و کوتاه‌ترین معادله با ضرایب هم‌بستگی و تبیین ۰/۲۸۲ و ۰/۰۸۲ به‌صورت 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 وِردسپهری و میانگین روزانه مربع فراسنج‌های جوّی و گازها

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

- نتایج مدل‌های رگرسیونی در بررسی هم‌بستگی اوزون وِردسپهری و میانگین روزانه فراسنج های جوّی خام و مربع داده‌ها و گازها

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

$$O_3= 41/605+0/007RH^2-0/622RH, \quad (۱۲)$$

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

۲-۵-۶ هم‌بستگی اوزون وِردسپهری و لگاریتم طبیعی میانگین روزانه فراسنج های جوّی و گازها

در این مرحله اوزون وِردسپهری فقط با Ln(CO) هم‌بستگی معادل ۰/۱۰۹ دارد که در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است.

- نتایج مدل‌های رگرسیونی در بررسی میانگین روزانه فراسنج‌های جوّی، 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 معنی‌دارند:

$$O_3=27/356+0/067CO + 0/001\ Solar^2, \quad (۱۳)$$

در روش پس‌سو 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:

$$O_3=27/356+0/67CO+0/000\ Solar^2, \quad (۱۴)$$

در روش پس‌سو 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 وِردسپهری 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 به‌دست آمده ۰/۳۶ است (آلکساندرف، ۲۰۰۵) که نتایج مدل رگرسیونی داده‌های روزانه خام، مربع داده‌ها، لگاریتم طبیعی داده‌ها و گازها و پارامترهای ترکیبی بهترین معادله با ضرایب هم‌بستگی و تبیین ۰/۳۰۴ و ۰/۰۹۲هستند. البته نتایج روش پس‌سو 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 وِردسپهری دارند، ولی تعدد متغیرهای ورودی آنها موجب می‌شود که این مدل‌ها از دیدگاه کاربردی چندان مفید نباشند.

منابع

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 درمحدودهٔ ایستگاه سینوپتیک: مؤسسهٔ ژئوفیزیک، مجله محیط شناسی سال سی و سوم، **۴۲**، ۷۴-۶۳.

پوی، هـ س، رئو، د. و چبانوگلاس، ج.، ۱۳۷۸، مهندسی محیط زیست (هوا و زایدات جامد)، ترجمهٔ محمدعلی کی‌نژاد 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، توانایی‌های بالقوه علم آمار درمطالعات 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 وپرنده، ا.، ۱۳۸۲، بررسی و ارزیابی روند کاهش غلظت اوزون کلی در نقاط مختلف کرهٔ زمین، سومین کنفرانس منطقه‌ای و ملی تغییر اقلیم، ۳۹۲-۳۸۱.

مولوی، ح .،۱۳۷۹، راهنمای عملی SPSS-10 در علوم رفتاری، انتشارات دانشگاه اصفهان، ۸۵- ۷۹.

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 O_3, 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 Prodromos Z., 2003, Changes in tropospheric composition and air quality due to stratospheric ozone depletion, Photochem. Photobiol. Sci, **2**, 62–67

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, 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.