بررسی نوسانات ازن سطحی در شهر اصفهان

ویکتوریا عزتیان [1]، ابراهیم اسعدی اسکویی [2]

1- دکتری اقلیم شناسی دانشگاه اصفهان، رئیس مرکز پژوهشی شیمی جو ، ازن و آلودگی هوا – اداره کل هواشناسی استان اصفهان

2- کارشناس ارشد هواشناسی کشاورزی استان گیلان

چکیده

گاز ازن یکی از اصلی ترین آلاینده‌ها در بخش کشاورزی به شمار می رود و سالانه مقادیر بالایی از محصولات کشاورزی به دلیل قرار گرفتن در معرض این گاز از لحاظ کیفی و کمی آسیب می بینند، از طرفی تشکیل ازن به عنوان یک آلاینده ثانویه متاثر از شرایط جوی محیط است. لیکن به دلیل عدم وجود ابزارهای اندازه گیری ازن در محیط های زراعی و غیر شهری در ایران، ارائه رابطه ای برای برآورد غلظت ازن در محیط زیست ضروری می باشد. در این پژوهش با استفاده از داده‌هایی که در ایستگاه هواشناسی همدیدی و آلودگی سنجی اصفهان اندازه گیری می شوند یک مدل آماری ارائه می شود که قادر به برآورد مقادیر قابل قبولی از ازن سطحی باشد. بررسی های صورت گرفته در این پژوهش نشان داد معادله ای که شامل دو فراسنج توان دوم تابش آفتاب و توان دوم غلظت گاز منوکسیدکربن می باشد قادر است 35٪ تغییرات غلظت ازن سطحی در طول روز را توجیه نماید. گرچه به نظر می رسد مدل‌های وایازی و مدل‌های توابع متعامد پیچیده کارایی نسبتاً بالایی برای توجیه تغییرات ازن سطحی و پیش بینی غلظت آن دارند، ولی تعدد فراسنج های ورودی آنها موجب می شود که این مدل ها از دیدگاه کاربردی چندان مفید نباشند.

کلمات کلیدی: ازن سطحی، رابطه آماری، آلاینده جوی، مدل وایازی.

مقدمه

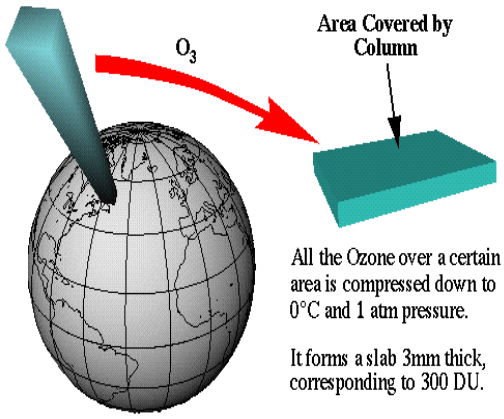
روند افزایش جمعیت کره زمین انسان را بر آن داشت که برای تامین نیازها و رفاه بیشتر، بستر زندگی خود را در جهت بهره‌وری بهتر و استفاده هر چه بیشتر از منابع طبیعی تحت کنترل درآورد. این فعالیت‌های انسانی خطرهای جدی برای ادامه حیات انسان و سایر موجودات کره زمین ایجاد کرده است. با وجودی که فن‌آوری می‌بایست در خدمت آسایش انسان باشد لیکن زیان‌های ناشی از کاربرد نامناسب و نابجای آن سبب شده که امروزه با معضل آلودگی هوا مواجه شویم که تولید ازن در سطح زمین (ازن تروپسفری) یکی از این موارد می‌باشد. آسیب دیدن لایه ازن سبب شده که حجم تابش‌های زیان‌آوری که از خورشید به سطح زمین می‌رسد رو به فزونی نهد (اجلالی، 1385). آلاینده‌های جوی ذرات جامد، مایع یا گازی موجود در هوا هستند که غلظتشان در جو به حدی است که سلامتی انسان، حیوانات و گیاهان را به مخاطره اندازند. شماری از آلاینده‌های جو، اولیه به شمار می‌روند زیرا مستقیماً از دودکش‌ها، اگزوزها و غیره وارد جوی می‌شوند. دسته دیگر که آلاینده‌های ثانویه نام دارند از ترکیب و بر هم‌کنش شیمیایی یک آلاینده اولیه با بعضی از اجزای هوا از قبیل بخار آب و یا آلاینده‌های دیگر ایجاد می‌شوند (ایساکسون،1994). از آلاینده‌های اولیه می توان ذرات ریز گرد و غبار، دی‌اکسیدگوگرد، منواکسیدکربن، اکسیدهای نیتروژن و هیدروکربن‌ها و از آلاینده‌های ثانویه می‌توان پراکسی استیل نیترات، آلدئیدها (فرمالائید، آکرولیئن) و ازن را نام برد. از ازن سطح زمین به عنوان یک آلاینده نام برده می‌شود و برحسب قسمت در میلیون[1] یا قسمت در بیلیون[2] بیان می‌شود که عبارت است تعداد مولکول‌های ازن در 1 میلیون و یا 1 بیلیون مولکول هوا. ازن در اطراف زمین لایه ای تشکیل می دهد که در منطقه استوا باریکتر و در دو قطب پهن‌تر است و لایه ازن نامیده می‌شود. پس از اختراع دستگاه طیف‌سنج اندازه‌گیری ازن بر اساس امواج متقارن توسط دابسون در 1924 میلادی، بشر با احداث ایستگاه‌های مختلفی در سطح زمین به بررسی و

1. Part per million= ppm

2. Part per billion= ppb

اندازه‌گیری میزان ازن پرداخت تا اینکه هرزبرگ در سال 1965 میلادی، عمق نفوذ متوسط تابش‌های خورشیدی را در محدوده طیفی امواج فرابنفش مورد بررسی قرار داد (امیدواری، 1385). میزان ازن اندازه گیری شده توسط این ابزارها با واحد دابسون[1] بیان می شود.

واحد دابسون بیانگر ارتفاع ناشی از فشرده کردن مقدار ازن موجود در یک ستون فرضی از جو است تا حدی که در دمای صفر درجه فشار آن به 1 اتمسفر برسد، ضرب در عدد 100. این مفهوم در شکل 1 به نمایش درآمده است.



شکل 1: مفهوم واحد دابسون (اهرنس، 1998)

طرح مسئله پژوهش

ازن سطحی سومین گاز گلخانه‌ای قوی محسوب می‌گردد. این آلاینده ثانویه که بر اثر واکنش‌های فتوشیمیایی تشکیل می‌گردد و غلظت آن در محیط، تابعی از شرایط جوی محیط است (عبدالوهاب، 2005) و عواملی از جمله دما و تابش موجب ایجاد تغییر در مقادیر آن می‌گردند (رهبر، 1379). ازن سطحی به عنوان سمی ترین گاز در کشاورزی، سالانه موجب آسیب‌های کمی و کیفی فراوانی بر روی محصولات زراعی می‌گردد به طوری که ٪90 سمیت‌های گازی برای گیاهان ناشی از گاز ازن است (رائو و همکار، 1994). اثرات سمی گاز ازن تا ٪25 کاهش در تولید گندم زمستانه را سبب می‌شود (جیانگ، 2005). این آسیب‌ها تنها شامل گیاهان نیست، حیوانات و انسان‌ها نیز با قرارگیری در معرض مقادیر کمی از ازن دچار آسیب‌های تنفسی و نقص در سیستم بینایی می‌گردند (نوئل، 1996). جذب پذیری قابل توجه این گاز از طریق روزنه‌های برگ گیاهان، موجب آسیب دیدن نواحی جنگلی وسیعی در ژاپن شده است (لین، 2008).

اهمیت و ضرورت پژوهش

با توجه به اهمیت فوق العاده ازن و سمیت آن بویژه در کشاورزی، اندازه‌گیری این گاز در پایش کمی و کیفی محصولات زراعی باغی و سلامت دام و طیور حائز اهمیت است. با توجه به نقش عوامل جوی در تشکیل، انتقال و ترکیب ازن با آلاینده‌های جو (بوگوکا، 2008)، تعیین مدلی که در آن بتوان با استفاده از فراسنج‌های جوی که در ایستگاه‌های هواشناسی کشاورزی مستقیماً در داخل مزارع کشور اندازه‌گیری می‌شوند و یا احیانا سایر اطلاعات کمکی موجود به برآورد مقادیر ازن سطحی پرداخت می‌تواند بسیار سودمند باشد.

اهداف پژوهش

با توجه به نقش عوامل جوی در تشکیل ازن و غلظت آن در محیط، هدف از این پژوهش ارائه یک مدل آماری است که بتواند با استفاده از فراسنج‌های جوی به برآورد قابل قبولی از مقادیر ازن سطحی بپردازد.

پیشینه پژوهش

در پروژه رهبر و همکاران (1989) رابطه بین مقادیر ازن سطحی و دمای ماکزیمم روزانه در فرانسه بررسی شد. مدل‌های وایازی همبستگی معنی داری بین این دو فراسنج نشان دادند. رهبر با استفاده از آمار طولانی مدت نشان داد که چرخه تغییرات ازن سطحی در محیط طبیعی و پاک با چرخه‌های 26 ماهه جو هماهنگ است.

1. Dobson Units =DU

تامپسون و همکاران (1999) یک بررسی آماری پیرامون تغییرات ازن سطحی در واشنگتن انجام دادند و از بیشتر روش‌های آماری مرسوم استفاده نمودند و آنها را با هم مقایسه کردند.

سولومون و همکاران (2003) با استفاده از روش‌های آماری چند فراسنجه به بررسی تغییرات ازن سطحی در دو فضای زمانی و مکانی در حاشیه مناطق صنعتی کشور چک پرداختند. سپس با استفاده از تحلیل عاملی تفاوت‌های تشکیل ازن در زمستان و تابستان را مورد مطالعه قرار دادند. به عقیده آنها محتوی بخار آب جو، بهتر از رطوبت نسبی می‌تواند در توجیه مقادیر ازن نقش داشته باشد.

نوئل و همکاران در مدیترانه مرکزی با بررسی مقادیر ازن سطحی در دوره آماری (1900-1884) با روش شونباین ۱ به کمک فراسنج‌های اقلیمی موجود (دما، رطوبت نسبی و سرعت باد) به توجیه تناوب‌های فصلی ازن در این مدت پرداختند.

جیانگ و همکاران (2005) تاثیرات فراسنج‌های هواشناسی را در فصل زمستان بر غلظت اکسیدهای نیتروژن[2] (به عنوان عامل اولیه تشکیل ازن) در اوکلند بررسی کردند و اظهار داشتند که تاثیر شرایط هواشناسی برای غلظت های منواکسید نیتروژن ثابت ولی به طور مشخصی برای مقادیر مختلف دی اکسید نیتروژن متفاوت است و احتمالا عوامل دیگری نیز در تشکیل این گاز موثرند.

دباجه و کاکاده (2006) در هندوستان به بررسی ارتباط مقادیر ازن سطحی با اکسیدهای نیتروژن و ترکیبات آلی فرار[3] و چند فراسنج جوی در مناطق روستایی پرداختند و رابطه غیرخطی پیچیده‌ای را ارائه دادند. به عقیده آنان غلظت ازن در زمستان و در زمان وقوع مونسون به بیشینه خود می رسد.

الکساندرف (2005) در بلغارستان با استفاده از روش شبکه عصبی رابطه‌ای غیر خطی بین مقادیر ازن سطحی و فراسنج‌های هواشناسی پیشگو با فاصله زمانی یک ساعته ارائه نمود.

سئوال پژوهش آن است که: آیا با استفاده از یک مدل آماری می توان به تخمین مناسبی از مقادیر ازن سطحی دست یافت؟

در این پژوهش فرض شده است که "فراسنج های آب و هوایی در سطح زمین به مقدار زیادی در تشکیل ازن سطحی سهم دارند".

داده‌ها و روش شناسی

ابتدا آمار مورد نیاز ورودی مدل از ایستگاه هواشناسی اصفهان اخذ گردید. این آمارها عبارتند از:

الف) داده های دما و رطوبت خاک

ب) داده‌های جوی شامل: دمای هوا، رطوبت جوی، تابش خورشید، سرعت باد، فشار هوا و بارش (بانک اطلاعات اداره کل هواشناسی استان اصفهان).

داده‌های آلاینده‌های سطح زمین از ایستگاه سازمان حفاظت محیط زیست اخذ گردید که شامل: ازن سطحی، دی اکسیدگوگرد و اکسیدهای نیتروژن بودند. سپس با استفاده از این داده ها و استفاده از مدل معین، رابطه وایازی برآورد غلظت ازن سطحی محاسبه گردید.

تحلیل های آماری

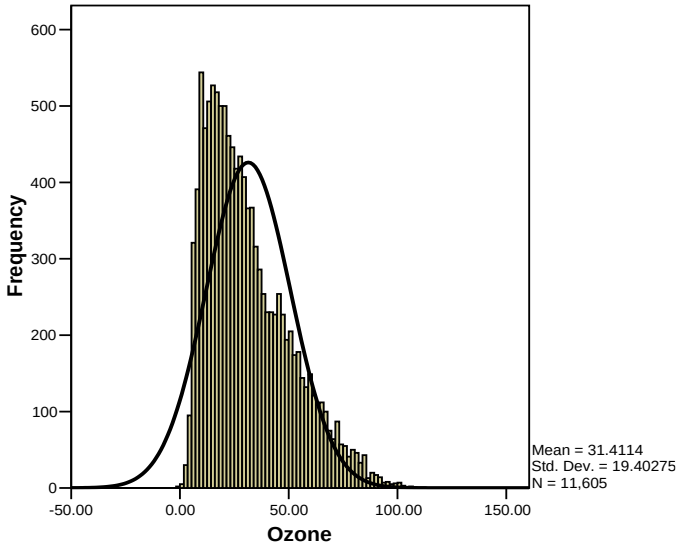
متوسط داده‌های روزانه دما در طول دوره آماری 16/7 درجه سانتیگراد می‌باشد (جدول 5). میانه، واریانس و انحراف معیار آن به ترتیب برابر با 17/9، 95/2 و 9/8 می‌باشند. حداقل و حداکثر دما 6/6- و 33/4 درجه سانتیگراد هستند. توزیع فراوانی داده‌های روزانه دما، با توجه به آزمون چولگی و آزمون کولموگروف اسمیرونف، نرمال است.

متوسط دمای نقطه شبنم در دوره مورد مطالعه 1/9- درجه سانتیگراد است. این فراسنج نیز مانند دما تا حدودی

1. Schönbein
2. No , No2, Nox
3. VOC

از شکلی مشابه با منحنی نرمال برخوردار است (شکل 4)، اما آزمون کولموگروف اسمیرونف عکس این موضوع را نشان می‌دهد. دامنه تغییرات دمای نقطه شبنم بین 25/9- تا 14/2 درجه سانتیگراد است. انحراف معیار آن نیز 5/7 درجه سانتیگراد است که از انحراف معیار دما، 10/9، پایین‌تر می‌باشد. متوسط دمای نقطه شبنم 2- و میانه آن 1/4- و انحراف معیار آن 5/2 درجه سانتیگراد است. هر دو آزمون چولگی و آزمون کولموگروف اسمیرونف، نرمال بودن توزیع فراوانی را تایید می‌کنند (جدول 5). این پژوهش در محدوده شهر اصفهان انجام گرفته است.

میانگین غلظت داده‌های ساعتی ازن 31/4 ppb و میانه معادل 27 ppb می‌باشد. نمای این نمونه آماری که نشان دهنده‌ی داده‌ای است که بیشترین فراوانی را دارد، 10/1ppb می‌باشد. عدم تساوی سه آماره فوق بیانگر غیر نرمال بودن منحنی توزیع فراوانی ساعتی غلظت ازن می‌باشد. از طرفی با توجه به اینکه Mod<Med<Mean، انتظار می‌رود که نمودار چوله به راست باشد. انحراف معیار داده ها بالا و معادل 19/4 ppb است که این انحراف معیار بالای ازن نشان دهنده پراکندگی مشاهدات در اطراف میانگین است (شکل 1).



شکل 2: توزیع فراوانی داده‌های ساعتی ازن در ایستگاه شهر اصفهان.

ضریب تغییرات[1] که معیاری از تغییرپذیری نسبی است، در مورد ازن نسبتاً بالا و معادل 61/7٪ است. از آنجایی که ضریب تغییرات بالای 35٪ براساس طبقه بندی ویلدینگ و درس در گروه فراسنج‌هایی با ضریب تغییرات حداکثر طبقه‌بندی می‌شوند (مقدم،1373)، بالا بودن ضریب تغییرات نشان می‌دهد که تغییرات غلظت ازن بیش از آنکه قائم به ذات باشد تحت تاثیر عوامل بیرونی است. ضریب چولگی که معیاری برای عدم تقارن در تابع توزیع فراوانی می‌باشد0/890 بوده و در محدوده اعتبار آماری 95 درصد معنی‌دار (چوله به راست) است. کشیدگی که معیاری از میزان تیزی منحنی توزیع فراوانی در نقطه حداکثر آن است نیز معنی دار و برابر0/245 می‌باشد. این حالت لپتوکرتیک[2] نامیده می‌شود که چنین توزیع‌هایی ترکیبی از دو جامعه نرمال با واریانس متفاوت ولی میانگین مشابه است. چولگی و کشیدگی در این محدوده معنی‌دار است. آزمون کولموگروف اسمیرونف نیز عدم نرمال بودن منحنی توزیع فراوانی را تایید می‌کند.

1. coefficient variation=C.V

2. leptokertic

بررسی دهک‌های این نمونه آماری (جدول 2) بیانگر این مطلب است که در مرز 10 درصد ابتدایی مقادیر ازن 10ppb می‌باشد که مبین میزان آلودگی بسیار قابل توجه در منطقه اندازه‌گیری می‌باشد (جدول 3).

جدول 1: آماره‌های توصیفی داده های ساعتی غلظت ازن

تعداد	میانگین	میانه	مد	انحراف معیار	واریانس	چولگی	کشیدگی	کمینه	بیشینه	ضریب تغییرات
11605	31/41	27	10/1	19/40	/47376	/89040	/24530	0/8	106/5	0/617

مأخذ: بانک اطلاعات سازمان حفاظت محیط زیست ، 1384

جدول 2: دهک های داده های ساعتی ازن

درصدها	10	20	30	40	50	60	70	80	90
ازن	10/1	14/1	18/2	22/4	27/0	32/3	39/0	47/8	60/0

جدول3: استانداردهای سازمان جهانی بهداشت

میانگین زمانی	میانگین (قسمت در میلیون)	میانگین وزنی(میکروگرم بر متر مکعب)	نوع آلاینده
1 ساعته	0/14	350	SO_2
24 ساعته	0/0-04/06	150-100	
یک ساله	0/0-015/023	60-40	
1 ساعته	0/21	400	No_2
24 ساعته	0/08	150	
1 ساعته	0/0-08/1	200-150	O_3
8 ساعته	0/0-05/06	120-100	

ماخذ: شفیع پور، 1381: ص6 (تبدیل به PPM در 0C 25 و 1 ATM)

چنانچه اشاره شد کوتاه‌ترین بازه زمانی موجود که در آن داده‌های هواشناسی ایستگاه همدیدی قابل دسترسی است فواصل 3 ساعته می‌باشد. بنابراین اطلاعات اندازه‌گیری شده گاز ازن در این ساعات در کنار داده‌های فراسنج‌های جوی قرار گرفت. مجموعه داده‌های سه ساعتی ازن در این حالت به 3883 رکورد کاهش می‌یابد اما میانگین آن تفاوت چندانی با داده‌های ساعتی ندارد. این حالت خصوصاً در مورد میانه، انحراف معیار و چولگی داده‌ها و تا حد زیادی در مورد نما و واریانس نیز صادق است. کمینه و بیشینه نیز تغییری ننموده‌اند. در ضمن، ضرایب چولگی و معنی داری آنها نیز دارای تشابه است. با توجه به شباهت مشخصه‌های توزیع فراوانی در دو جامعه ساعتی و سه ساعتی ازن و همگونی آنها، امکان جایگزینی جامعه ساعتی با جامعه سه ساعتی وجود داشت. علاوه بر بررسی ساعتی و سه ساعتی ازن، داده‌های روزانه آن نیز مورد بررسی قرار گرفت که از طریق میانگین‌گیری داده‌های ساعتی در هر روز بدست آمدند. در این مورد تعداد داده‌ها به 470 مورد کاهش پیدا کردند. میانگین

روزانه داده‌های ازن در این حالت، به مقدار 31/26 ppb، نیز تفاوت چندانی با داده‌های ساعتی و سه ساعتی ندارد. اما میانه آن، 31/04 ppb، بالاتر از داده های ساعتی و سه ساعتی است. حداقل و حداکثر غلظت ازن در این حالت به ترتیب 10/15 و57/54 قسمت در بیلیون می‌باشند. واریانس و انحراف معیار آن نیز مقادیر پایین تری نسبت به دو حالت قبل دارند. آزمون چولگی نشان دهنده وجود چولگی در منحنی است اما آزمون کولموگروف اسمیرونف بر نرمال بودن توزیع فراوانی آن دلالت می‌کند.

در بررسی هم‌بستگی داده های روزانه به روش پیرسون بیشترین هم‌بستگی بین ازن و فراسنج‌های جوی، در فشار سطح دریا معادل 0/135- و ارتفاع تراز850 میلی باری، 0/134- و ابرناکی معادل 0/117 دیده می‌شود. از آنجایی که ارتفاع تراز 850 میلی باری مستقیماً از روی فشار سطح دریا محاسبه می‌گردد هم‌بستگی بالای آن با ازن قابل توجیه است. توجیه وجود رابطه مثبت بین ازن و ابرناکی از لحاظ فیزیکی کمی دشوار به نظر می‌رسد. در این مرحله هیچ کدام از فراسنج‌های دمایی- رطوبتی و فراسنج‌هایی از قبیل ساعت آفتابی و تابش هم‌بستگی مشخصی با ازن نشان ندادند.

برای یافتن رابطه‌ای قویتر، از تعدادی فراسنج‌های جوی که بصورت روزانه اندازه‌گیری و ثبت می‌گردند استفاده شد. داده‌های سه ساعته و ازن نیز بصورت روزانه میانگین‌گیری شدند و در مجموع 18 فراسنج جوی بدست آمد. در بررسی هم‌بستگی داده‌های روزانه بیشترین همبستگی ما بین ازن و فراسنج‌های جوی، در فشار سطح دریا و ارتفاع تراز850 میلی باری به صورت منفی و ابرناکی به صورت مثبت دیده می شود. در مورد فشار سطح ایستگاه و فشار سطح دریا در قسمت سه ساعته بحث گردید و از آنجایی که ارتفاع تراز850 میلی باری مستقیماً از روی این فشار محاسبه می‌گردد همبستگی بالای آن با ازن قابل توجیه است. توجیه وجود رابطه مثبت بین ازن و ابرناکی از لحاظ فیزیکی دشوارتر به نظر می رسد. در این مرحله هیچ کدام از فراسنج‌های دمایی، رطوبتی و فراسنج‌هایی از قبیل ساعت آفتابی و تابش هم‌بستگی مشخصی با ازن نشان ندادند. اما در رابطه وایازی چند فراسنجه، دما و ساعت آفتابی نقش خود را در کنار فشار نشان دادند. با این حال قدرت پیش‌گویی مدل به عنوان مدلی کاربردی همچنان پایین است. عمل مجذور کردن و لگاریتم‌گیری طبیعی از فراسنج‌ها انجام شد که اگرچه موجب بروز همبستگی بین پاره‌ای از فراسنج‌ها و ازن می‌گردد و در معادلات وایازی چند فراسنجه تا حد نسبتاً زیادی قدرت پیش‌گویی مدل را بالا می‌برد اما طولانی شدن بیش از حد معادلات، از قابلیت کاربردی بودن آنها می‌کاهد.

نتایج مدل‌های وایازی در بررسی داده‌های روزانه

در مرحله اول از میان سه معادله به دست آمده از روش گام به گام بهترین معادله با ضریب هم‌بستگی و ضریب تبیین 0/216 و 0/047 به شکل رابطه (1) به دست آمده است که تمامی ضرایب آن معنی دارند:

(1)

$$O3=104.399+0.001Solar-5.849T-0.048H850-0.245\ T$$

در گام بعدی با بکارگیری روش پس رو از میان 13 معادله پیشنهادی بهترین و کوتاه ترین معادله، رابطه (2) با ضریب هم‌بستگی و ضریب تبیین 0/244 و 0/06 می باشد.

(2)

$$O3=358.729+0.001Solar-0.48TD+0.207RH-0.37\ QFF$$

روابط (1) و (2) حاکی از آن است که استفاده از داده‌های روزانه نمی‌تواند بخش زیادی از مقادیر غلظت گاز ازن در سطح زمین را توجیه نماید. این مساله می‌تواند از دو دیدگاه، تاثیرپذیری ازن از سایر عوامل و احتمال وجود رابطه غیر خطی بین ازن و فراسنج‌های جوی مورد بررسی قرار گیرد.

بحث و نتیجه گیری

بررسی‌های صورت گرفته در پژوهش نشان داد که از میان هشت فراسنج جوی مورد استفاده در مقیاس سه ساعتی

بیشترین هم‌بستگی مربوط به فراسنج دما و دمای تر است که نشان دهنده تاثیر مثبت دما و رطوبت در تشکیل ازن می‌باشد. از طرف دیگر مقادیر فشار سطح ایستگاه نشان دهنده هم‌بستگی منفی با ازن هستند. وجود هم‌بستگی منفی بین ازن و فراسنج‌های فشار اگر چه غیر قابل انتظار است، زیرا این رابطه بطور ضمنی نشان دهنده افزایش غلظت ازن در شرایط ناپایداری جو (حضور سیستم‌های کم فشار) است. با این حال، از آن جا که افزایش دما در ساعات روز موجب رشد کم فشار حرارتی می‌شود، می‌توان نتیجه گرفت که نقش مستقیم و مثبت دما در افزایش ازن سطحی بارزتر از نقشی است که به طور غیر مستقیم و با کاهش فشار سطحی در کاهش غلظت ازن بازی می‌کند. خصوصاً اینکه منحنی تغییرات فشار در شبانه روز دقیقاً عکس منحنی تغییرات شبانه روزی ازن است. ضمنا نتایج بدست آمده در مورد نحوه بروز فشار سطح دریا در مدل نشان می‌دهد که این فراسنج جوی در تحلیل‌های نقطه‌ای مدل نمی‌تواند نقشی داشته باشد و ورود آن به مجموعه فراسنج‌های جوی کمکی به بهبود معادلات نمی‌کند. تمامی داده‌های فوق به عنوان فراسنج‌های مستقل در تشکیل رابطه وایازی برای برآورد ازن سطحی بکار برده شدند. در تشکیل تمامی روابط وایازی چند فراسنجه در این پژوهش از دو روش "گام به گام" و "پس رو" استفاده شد و نتیجه هر دو روش بررسی گردید. در مرحله اول که داده‌های سه ساعته در مقابل ازن قرار گرفتند بهترین رابطه بدست آمده از هر دو روش یکسان است و مدل‌های بدست آمده که از پنج فراسنج جوی استفاه نموده است بخش نسبتاً اندکی از تغییرات ازن سطحی را توجیه می نماید. مجموع بررسی‌های فوق نشان می‌دهد که معادلات وایازی که از فراسنج‌های جوی اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های همدیدی استفاده می‌کنند نمی‌توانند به تنهایی برآورد مناسبی از غلظت ازن به دست دهند و تنها بخش کوچکی از تغییرات ازن را توجیه می‌کنند. از آنجایی که در ایستگاه مورد مطالعه در کنار داده‌های ازن پنج گاز آلاینده دیگر نیز اندازه‌گیری شده بودند، در مرحله بعد این داده‌ها نیز در دو مقیاس سه ساعته و روزانه در کنار فراسنج‌های جوی به عنوان فراسنج‌های پیشگوی ازن مورد بررسی قرار گرفتند. وجود همبستگی‌های معنی دار ما بین ازن و اکسیدهای مختلف نیتروژن نشان داد که افزایش غلظت ترکیبات اکسیژن‌دار نیتروژن تولید ازن را افزایش می‌دهد. از آنجایی که در هوای شهر اصفهان با مقادیر بالای این نوع ترکیبات مواجه هستیم تولید ازن سطحی ناشی از ترکیب این آلاینده در حضور نور خورشید از نکات قابل توجه می‌باشد. در این مرحله هم‌بستگی معنی داری بین ازن و گاز منوکسیدکربن مشاهده نگردید اما در مراحل بعدی و خصوصاً در مقیاس روزانه همبستگی قابل‌توجهی بین آنها دیده شد. چون گاز منوکسیدکربن آلاینده غالب در شهر اصفهان است لذا تأثیر مستقیم این آلاینده بر تولید ازن سطحی نیز نکته قابل توجه می‌باشد. در پایان معادله‌ای که از دو فراسنج توان دوم تابش آفتاب و توان دوم غلظت گاز منوکسیدکربن بهره گرفته بود توانست توجیه‌گر 35٪ تغییرات غلظت ازن در روز باشد. به نظر می‌رسد گرچه مدل‌های وایازی و مدل‌های توابع متعامد پیچیده کارایی نسبتا بالایی برای توجیه تغییرات ازن سطحی و پیش بینی غلظت ازن دارند، ولی تعداد بسیار زیاد فراسنج‌های ورودی آنها موجب می‌شود که این مدل‌ها از دیدگاه کاربردی چندان مفید نباشند.

پیشنهادات و راهبردها

روابط آماری منتجه از پژوهش بیانگر تأثیر مستقیم ساعت آفتابی، منوکسیدکربن و اکسیدهای نیتروژن در تولید ازن سطحی در شهر اصفهان می باشد. با توجه به آثار زیان-بار ازن سطحی بر سلامت و محیط زیست به ویژه در کلان شهر اصفهان که از قطب‌های صنعتی کشور و منبع انتشار اکسیدهای نیتروژن می‌باشد توصیه می گردد بررسی‌ها در محور های زیر تداوم داشته باشد تا به نتایج متقن در خصوص کاهش انتشار آلاینده‌ها منجر شود.

1- لحاظ کردن گام‌های تاخیر زمانی در بررسی ارتباط فراسنج‌های جوی و ازن سطحی.

2- به کارگیری روش سری‌های زمانی در بررسی رفتار و تغییرات ازن سطحی در دوره‌های زمانی مختلف.

3- به کارگیری تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های جو بالا برای محاسبه شرایط پایداری و ناپایداری در جو.

4- انجام بررسی‌های بیشتر بر روی ارتباط انواع تابش جوی (تابش آسمان، تابش کلی محیط و ...) و تاثیرات مقابل تابش و رطوبت در تشکیل ازن سطحی.

5- بررسی تأثیرگزاری مقادیر ازن کلی در تغییرات ازن سطحی.

6- انجام بررسی‌ها در بازه‌های زمانی کوتاه (فصلی و ماهانه و...) در نقاط مختلف شهری و غیر شهری.

7- توسعه ایستگاه‌های آلودگی‌سنجی در نقاط غیر مسکونی و غیر صنعتی و استفاده از ایستگاه‌های سیار برای انجام اندازه‌گیری در محیط‌های با کاربری‌های مختلف.

8- انجام کنترل‌های کیفی و بررسی‌های فنی بیشتر به جهت اطمینان از صحت داده‌ها و واسنجی ادوات اندازه‌گیری.

منابع

1- آمارنامه سازمان حفاظت محیط زیست، 1384. انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست استان اصفهان.

2- اجلالی، ف. 1385. آلودگی هوا، نشر آموزش کشاورزی.

3- امیدواری، م. 1385. تغییرپذیری اوزون جوی و برهمکنش آن باوردایست و آرام سپهر پایینی در اصفهان، پایان نامه کارشناسی ارشد. گروه فیزیک دانشگاه اصفهان.

4- بانک اطلاعات مرکز ازن سنجی و اداره کل هواشناسی استان اصفهان سال‌های 2004- 1995 میلادی.

5- شفیع پور مطلق، م.، و خمسه‌ای، ب.، 1387، مهندسی آلودگی هوا، شرکت کنترل کیفیت هوا

6- رهبر، م و زندیانپور، ا. 1379. تولید ازن آلودگی هوا در تهران. موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.

7- مقدم، م. محمدی شوطی، ا. آقایی سربرزه، م. 1373. آشنایی با روش‌های آماری چند فراسنج ه. انتشارات پیشتاز علم.

8. Abdulvahab, S. 2005. Principal component and multiple regression analysis in modeling of ground level ozone factors affecting, Environment modeling and software, 20. 1263-1271

9. Ahrens, D. 1998. Essentials of Meteorology, 314- 336–491.

10. Alexandrov. A. V. et all. 2005. Quantifying nonlinearities in ground level ozone behavior at mountain- Valley Station at ovnarsko, Bulgharia by using neutral net work. Bulgarian Geophysical Journal, Vol. 31, 2005, 45- 58.

11. Bogucka, B. 2008. High ozone concentrations in selected regions of Poland and their relationship to weather patterns. EMS8/ ECAC7. Vol. 5, EMS 2008 – A - 00461

12. Debaje. S. B., Kakade, A. D. 2006. Measurements of Surface Ozone in Rural Site of India Aerosol and Air Quality Research, Vol. 6, No. 4, pp. 444-465, 2006

13. Isakson, I. 1994. Dual effect of ozone reduction. Nature 372. 322-323

14. Jiang. N. 2005. Effects of meteorological conditions on concentrations of nitrogen oxides in Auckland, Weather and Climate, 24, 2005, 15-34.

15. Lin. W. 2008. Contributions of pollutants from North China Plain to surface ozone at the Shangdianzi GAW station, Atmos. Chem. Phys. Discuss., 8, 9139–9165, 2008

16. Nolle, M. et all. 1996. A study of historical surface ozone measurements (1884-1900) on the island of Gozo in the central Mediterranean

17. Rahbar, M. 1989. Ozone Variability at a Semirural Site in France, CNRS, Orleans, DT/1034/LPCE, 532-534

18. Solomon, K. et all. Changes in tropospheric composition and air quality due to stratospheric ozone depletion, Photochem. Photobiol. Sci., 2003, 2, 62–67

19. Rao, S. T. Zur benko, I. 1994. Detecting and tracking changes in ozone air quality. Air and waste management association, 44. 1089- 1092

20. Thompson. M. et all.1999. A review of statistical methods for the meteorological adjustment of tropospheric ozone, NRCSE-TRS No. 026.