

پیش‌بینی آلاینده‌های هوا (CO، O₃ و PM₁₀) و پارامترهای هواشناسی مطالعه موردی: شهرستان بیرجند

راضیه فرهادی^۱، مهدی کارگر^{۱*}، قاسم ذوالفقاری^۱

*^۱ - گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

تاریخ دریافت: اسفند ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: خرداد ۱۴۰۰

چکیده

آلودگی هوا، یک تهدید جهانی برای بهداشت عمومی و محیط‌زیست، به‌ویژه در مناطق شهری است. از این رو برای کنترل و برنامه‌ریزی غلظت آلاینده‌ها از مدلسازی استفاده می‌شود. در این مقاله یک مدل بر مبنای رگرسیون خطی به منظور پیش‌بینی کوتاه‌مدت CO، PM₁₀ و O₃ بر حسب پارامترهای هواشناسی ارائه شده است. داده‌های پارامترهای هواشناسی شامل رطوبت، فشار، حداقل و حداکثر دما و سرعت باد (سازمان هواشناسی بیرجند) و داده‌های آلودگی هوا (غلظت CO، PM₁₀ و O₃) از اداره کل محیط زیست بیرجند، تهیه و به صورت میانگین روزانه استفاده شد. برای مدلسازی رگرسیون خطی از نرم‌افزار SPSS.16 استفاده گردید. نتایج بدست آمده نشان داد که بیشترین ضریب همبستگی برای آلاینده CO با حداقل درجه حرارت، ۰/۵۳ و کم‌ترین ضریب همبستگی با مقدار ۰/۱۶۶ بود. بیشترین ضریب همبستگی آلاینده PM₁₀ با سرعت باد، ۰/۳۳ و کم‌ترین ضریب همبستگی این آلاینده با فشار، ۰/۰۸۲ بدست آمد. بیشترین ضریب همبستگی آلاینده O₃ با حداکثر درجه حرارت، ۰/۵۰ و کم‌ترین ضریب همبستگی این آلاینده با جهت باد، ۰/۰۹ بدست آمد. هم‌چنین نتایج حاصل از مدل رگرسیون برای آلاینده مونوکسیدکربن در مقایسه با دو آلاینده دیگر، بهتر بود.

واژه‌های کلیدی: مدلسازی، آلاینده‌ها، پیش‌بینی، رگرسیون خطی، پارامترهای هواشناسی

مقدمه

آلودگی هوا، ترکیبی پیچیده از اجزاء سمی است که ممکن است پاسخ‌های حاد^۱ و مزمنی^۲ را برای گروه‌های حساس ایجاد کند (Anderson *et al.*, 2002) و همچنین یک تهدید جهانی برای بهداشت عمومی و محیط زیست، به ویژه در مناطق شهری می‌باشد (Kolehmainen *et al.*, 2001; Diaz *et al.*, 2004). بنابراین اصلی‌ترین خطر زیست محیطی بر سلامت انسان‌ها در بسیاری از شهرهای توسعه یافته یا در حال توسعه در جهان می‌باشد. سطح آلودگی هوا معمولاً به وسیله‌ی غلظت آلاینده‌های هوا مانند دی‌اکسید نیتروژن دی‌اکسید گوگرد منوکسید کربن ازن و ذرات معلق مشخص می‌شود (Rongxian *et al.*, 2017). از این رو بررسی وضعیت آلودگی هوای شهرها و ارزیابی عوامل تاثیر گذار بر غلظت آلاینده‌ها می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های جامع کنترل و کاهش آلودگی هوا بسیار مؤثر باشد (Boznar *et al.*, 1993; Bernatsky *et al.*, 2015). یکی از روش‌های بررسی و ارزیابی آلاینده‌ها، پیش‌بینی آلودگی هوا در سطوح شهری است که به عنوان یک اولویت برای تضمین کیفیت زندگی و کیفیت محیط‌زیست مطرح شده است. مدل‌سازی آلودگی هوا اجازه می‌دهد تا رابطه علمی بین پخش، هواشناسی، غلظت جو، رسوب، و عوامل دیگر، از جمله تعیین اثر بخشی استراتژی‌های تصفیه و شبیه‌سازی سناریوهای آینده توضیح داده شود (Cimorelli *et al.*, 2005). در طی انجام چندین مطالعه دانشمندان نشان دادند که پارامترهای آب و هوایی خاص (مانند دما، سرعت باد و رطوبت) با غلظت آلاینده‌های هوا مرتبط هستند (Demuzere *et al.*, 2009; Hooyberghs *et al.*, 2005). اکثر تحقیقات بر روی متغیرهای هواشناسی فردی^۳ و روش‌های غیرمستقیم^۴ انتخاب متغیرها متمرکز شده‌اند. علاوه بر این، مطالعات متعددی منتشر شده است که ارتباطات مهم بین الگوهای گردش مقیاسی^۵ را ایجاد

می‌کند، که معمولاً انواع گردش آب و هوا "CWT"^۶ و "آلودگی هوا" نامیده می‌شود (Saavedra *et al.*, 2012; Russo *et al.*, 2014) که به یک توده هوای خاص به شرایط پراکندگی و نیز به مقیاس مکان و رفتار هواشناسی محلی^۷ مرتبط می‌باشد (Dayan & Levy, 2002). در سال‌های اخیر، تحقیقات زیادی جهت توسعه مدل‌های پیش‌بینی کیفیت هوا و مدل پراکندگی جوی برای پیش‌بینی غلظت آلاینده‌های هوا سطح زمین صورت گرفته است (Kesarkar *et al.*, 2008; Bhaskar *et al.*, 2007). علیرغم مزایای استفاده شده در مدل‌سازی آلودگی، انتخاب یک روش رویکردی برای مدل‌سازی خاص باید با دقت انجام شود. به ویژه، تأخیر زمانی که در آن پیش‌بینی آلودگی هوا انجام می‌شود، باید روش‌های مؤثر هشدار در مراکز شهری را امکان‌پذیر سازد. روش‌های مختلفی برای توصیف و پیش‌بینی پراکندگی آلودگی هوا به کار گرفته شده است مانند روش‌های ساده، مثل مدل‌های جعبه‌ای^۸ (Middleton, 1998)، مدل‌های رگرسیون^۹ (Shi & Harrison, 1997) و مدل‌های پیچیده‌تر مانند، مدل دینامیکی چیمیر^{۱۰} (Monteiro *et al.*, 2005) یا مدل کیفیت هوای چند منظوره^{۱۱} (CMAQ) (Arasa *et al.*, 2010). اما به‌خاطر این‌که بتوانند یک بازبینی سریع را ارائه دهند اغلب از مدل‌های ساده‌تر استفاده می‌کنند. با این حال، آن‌ها به پیش‌فرض‌های ساده‌ای اتکا می‌کنند و معمولاً فرآیندهای پیچیده و تعاملاتی را که رفتار انتقال شیمیایی^{۱۲} آلاینده‌ها را در جو کنترل می‌نمایند، توصیف نمی‌کنند (Luecken *et al.*, 2006). در دهه‌های گذشته پیشرفت قابل توجهی در مدل‌های پخش پراکندگی هوا صورت گرفته است. بنابراین، مدل‌های غیر خطی^{۱۳}، نیاز به مقادیر زیادی اطلاعات ورودی دقیق دارند و از لحاظ محاسباتی گران هستند و روابط غیرخطی بین پارامترها را بررسی می‌کنند (Dutot *et al.*, 2007; Elangasinghe *et al.*, 2007).

8 - Box Model

9 - Regression Model

10 - Complex Dynamical Model System (CHIMERE)

11 - Community Multiscale Air Quality Model

12 - Transport and Chemical Behavior

13 - Non-Liner Model

1-Accute

2-Chronic

3- Non-Automated Procedures

4 - Indirect methods

5 - Scale Circulation Patterns

6 - Circulation Weather Type

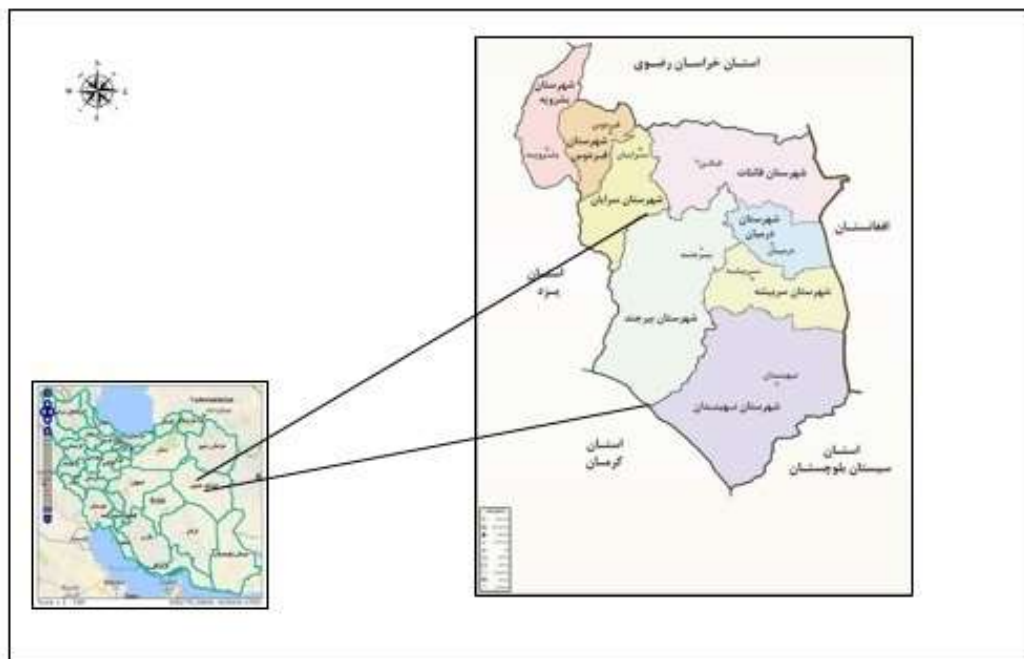
7 - Local Meteorological Behavior

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

بیرجند در شرق ایران و مرکز استان خراسان جنوبی واقع شده است. میانگین ارتفاع این شهر از سطح دریا ۱۴۷۰ متر و مساحت تقریبی آن ۶۸۸۸ کیلومتر مربع گزارش شده است. شهر بیرجند از نظر جغرافیایی در محدوده طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۳ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۳ دقیقه واقع گردیده است. غلظت آلاینده‌ها توسط دستگاه پایش آنلاین کیفیت هوا که یک عدد بود و در شهر استقرار یافته اندازه‌گیری شده است و پارامترهای هواشناسی توسط ایستگاه‌های سینوپتیکی اندازه‌گیری شده است که فاصله این دو ایستگاه در بیرجند حدود ۵ کیلومتر می‌باشد. (شکل ۱).

اما چنین مدل‌هایی نمی‌توانند روابط خطی میان پارامترها را نشان دهد به همین دلیل از مدل‌های خطی استفاده می‌شود. یک نمونه از مدل‌های خطی، رگرسیون خطی می‌باشد. در این تحقیق سعی شده است که با کاربرد مدل رگرسیون خطی^۱، نقش عوامل اقلیمی بر غلظت آلاینده‌های هوا در شهر بیرجند ارزیابی شده و نهایتاً بر اساس نتایج حاصله، اولویت مدل از نقطه نظر پیش‌بینی تأثیر عوامل اقلیمی بر غلظت روزانه این آلاینده مشخص گردد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه (بیرجند)

از اداره کل محیط زیست بیرجند و سازمان هواشناسی از تاریخ ۱۳۹۴/۱/۱ تا ۱۳۹۶/۶/۱ اخذ گردید.

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق غلظت آلاینده‌ها (PM_{10} و CO) و پارامترهای هواشناسی (حداکثر و حداقل درجه حرارت، رطوبت، فشار و سرعت باد) بود که به ترتیب

آلاینده‌ها از دانکن استفاده گردید و برای بررسی همبستگی میان آلاینده‌ها با داده‌های هواشناسی از ضریب پیرسون استفاده شده است.

نتایج

با بررسی انجام‌شده در زمینه میانگین سالیانه غلظت آلاینده‌ها، بیشترین میانگین سالیانه ذرات معلق در سال ۱۳۹۴ و بالاترین غلظت CO در سال ۱۳۹۵ و ازون در سال ۱۳۹۶ رخ داده است (جدول ۲).

نتایج همبستگی غلظت سه آلاینده با داده‌های هواشناسی مانند رطوبت، حداقل و حداکثر درجه حرارت و سرعت باد، فشار، نتایج معنی‌داری ($P\text{-value} < 0/01$) را نشان داد. از مونوکسیدکربن در سطح $0/01$ معنی‌دار با تمام داده‌های هواشناسی و ذرات معلق در سطح $0/05$ و $0/01$ با تمام داده‌های هواشناسی (به استثنای حداقل درجه حرارت و رطوبت) معنی‌دار بودند (جدول ۳). هم‌چنین نتیجه بررسی تغییرات فصلی آلاینده‌ها با آزمون دانکن که اختلاف معنی‌دار فصول‌ها را نشان می‌دهد، برای آلاینده ذرات معلق (PM_{10}) دو بیشینه غلظتی وجود داشت که یکی در بهار و دیگری در فصل تابستان رخ داد. بیشینه میانگین غلظت مونوکسیدکربن در زمستان و سپس پاییز بود و در نهایت بیشینه غلظت ازن در تابستان بیشتر از بهار و در زمستان بیشتر از پاییز بدست آمد (جدول ۴). طبق آنالیز رگرسیون بیشترین ضریب همبستگی بین CO با حداقل درجه حرارت ($R^2 = 0/53$) و کم‌ترین ضریب همبستگی مربوط به آن با رطوبت ($R^2 = 0/22$) بود (شکل ۲). بیشترین ضریب همبستگی آلاینده PM_{10} با سرعت باد ($R^2 = 0/27$) و کم‌ترین ضریب همبستگی PM_{10} با رطوبت ($R^2 = 0/063$) بدست آمد (شکل ۳). بیشترین ضریب همبستگی ازن با حداکثر درجه حرارت ($R^2 = 0/50$) بود و کم‌ترین ضریب همبستگی با رطوبت ($R^2 = 0/21$) بود (شکل ۴).

جدول ۱- توصیف متغیرهای ورودی برای آنالیز رگرسیون

متغیرهای اصلی	جزئیات متغیرها
آلاینده‌ها	CO: برحسب پی پی ام (ppm)
	O ₃ : برحسب پی پی بی (ppb)
	PM ₁₀ : میکروگرم بر متر مکعب ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
پارامترهای هواشناسی	حداکثر درجه حرارت ^۱ درجه سانتی‌گراد (°C)
	حداقل درجه حرارت ^۲ : درجه سانتی‌گراد (°C)
	سرعت باد: متر بر ثانیه (m/s)
	فشار
	رطوبت: برحسب درصد (%)

روش تحقیق

در این تحقیق برای بررسی ارتباط بین پارامترهای هواشناسی و غلظت آلاینده‌ها از رگرسیون خطی استفاده شد. روش همزمان (Enter) برای ارتباط خطی بین یک متغیر وابسته و یک یا چند متغیر مستقل مورد استفاده قرار می‌گیرد که شکل عمومی آن به شرح زیر می‌باشد:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \dots + \beta_k + X_{ki} + \varepsilon \quad (1)$$

در این فرمول $i=1, \dots, n$ و β_1, \dots, β_k ضرایب رگرسیون بوده و X_{1i}, \dots, X_{ki} متغیرها هستند درحالی‌که ε خطای رگرسیون هست (Biancofiore et al., 2015).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

نرمال‌سازی داده‌ها با آزمون کمولوگروف اسمیرنوف^۳ امتحان شد. از آنجایی که آماره آزمون کم‌تر از $0/05$ بود، داده‌ها نرمال نبودند و برای نرمال‌سازی داده‌ها از تبدیل لگاریتمی استفاده شد. در نهایت بعد از نرمال‌سازی داده‌ها، برای مدل‌سازی سه آلاینده (CO و O_3 و PM_{10}) از داده‌های نرمال شده استفاده شد. با استفاده از نرم‌افزار SPSS.16 غلظت آلاینده‌های CO و PM_{10} با رگرسیون مدل‌سازی شد و برای بررسی و رتبه‌بندی میانگین فصلی

جدول ۲- میانگین غلظت سالیانه آلاینده‌ها (CO و PM₁₀ و O₃) در طی سال‌های، فروردین ۱۳۹۴- شهریور ۱۳۹۶

سال	PM ₁₀	CO	O ₃
۱۳۹۴	۴۲/۵۶	۰/۴۳	۲۳/۹۱
۱۳۹۵	۳۳/۱	۰/۵	۲۷/۳
۱۳۹۶	۳۲/۸	۰/۳	۲۹/۷

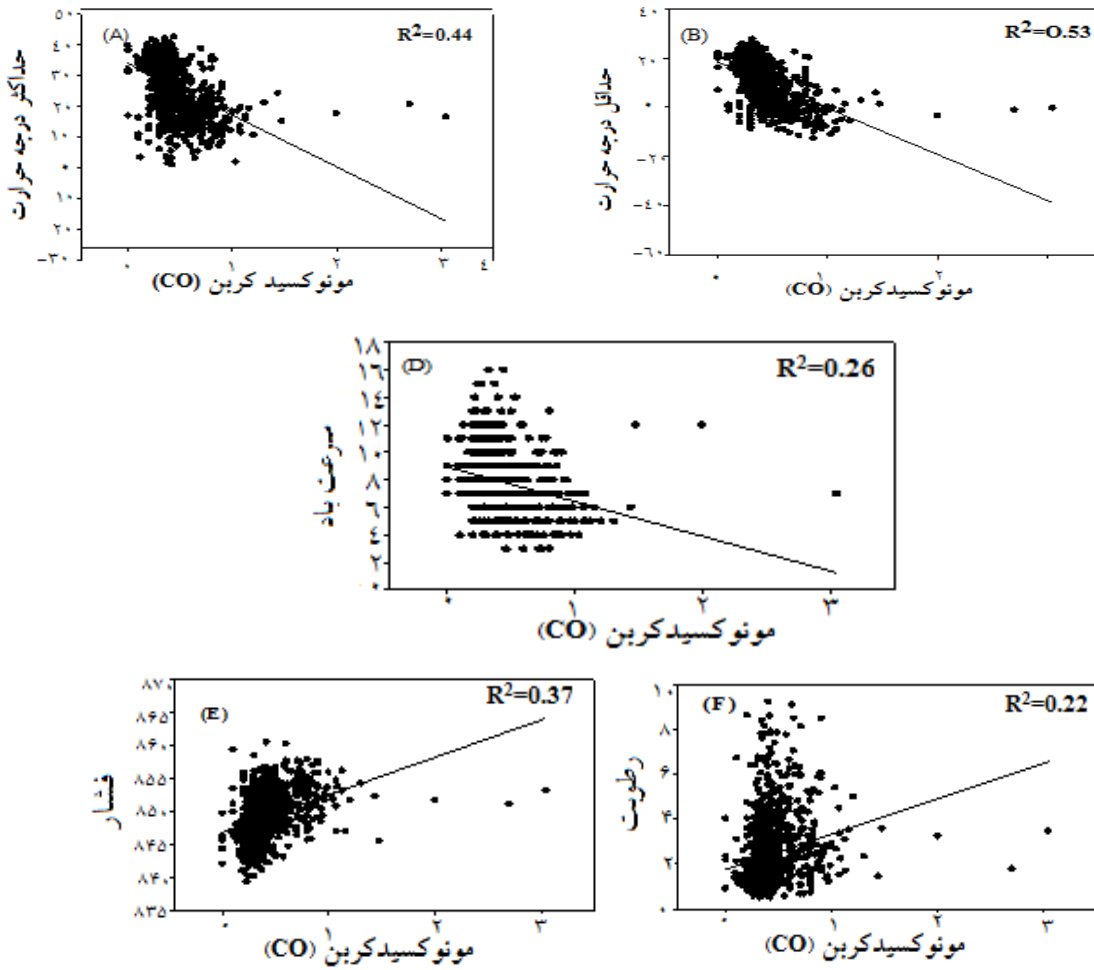
جدول ۳- همبستگی بین میانگین غلظت آلاینده‌ها و داده‌های هواشناسی طی سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۹۶ در بیرجند

نوع آلاینده	ضریب پیرسون	حداکثر درجه حرارت	حداقل درجه حرارت	جهت باد	سرعت باد	فشار	رطوبت
PM ₁₀	ضریب پیرسون	۰/۱۲۹ (**)	۰/۲۴۷	-۰/۲۱	۰/۲۷۵ (**)	-۰/۰۸۵ (**)	-۰/۰۶
	سطح معنی داری	P < ۰/۰۰۱	P < ۰/۵۲۴	P < ۰/۰۰۱	P < ۰/۰۰۱	P < ۰/۰۰۱	P < ۰/۰۶۸
CO	ضریب پیرسون	-۰/۴۴ (**)	-۰/۵۳۵ (**)	۰/۱۷۳ (**)	-۰/۲۷۲ (**)	۰/۳۷۲ (**)	۰/۲۲۳ (**)
	سطح معنی داری	P < ۰/۰۰۱	P < ۰/۰۰۱	P < ۰/۰۰۱	P < ۰/۰۰۱	P < ۰/۰۰۱	P < ۰/۰۰۱
O ₃	ضریب پیرسون	۰/۴۰ (**)	۰/۴۶۱ (**)	-۰/۰۹ (**)	۰/۲۸۵ (**)	-۰/۳۸۴ (**)	-۰/۲۰۷ (**)
	سطح معنی داری	P < ۰/۰۰۱	P < ۰/۰۰۱	P < ۰/۰۰۶	P < ۰/۰۰۱	P < ۰/۰۰۱	P < ۰/۰۰۱

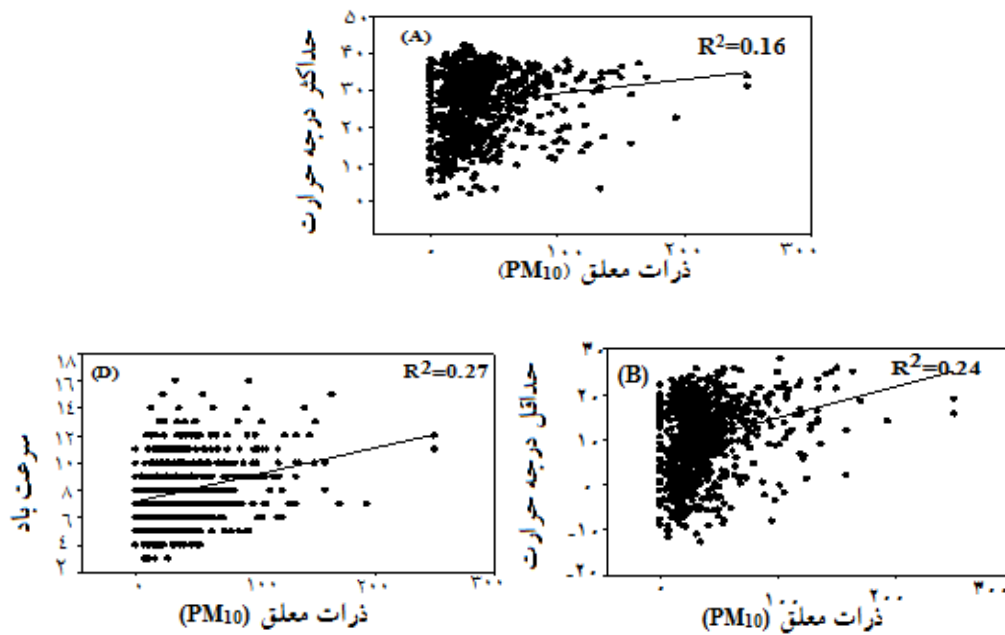
(**) در سطح ۰/۰۱ معنی دار می‌باشد.

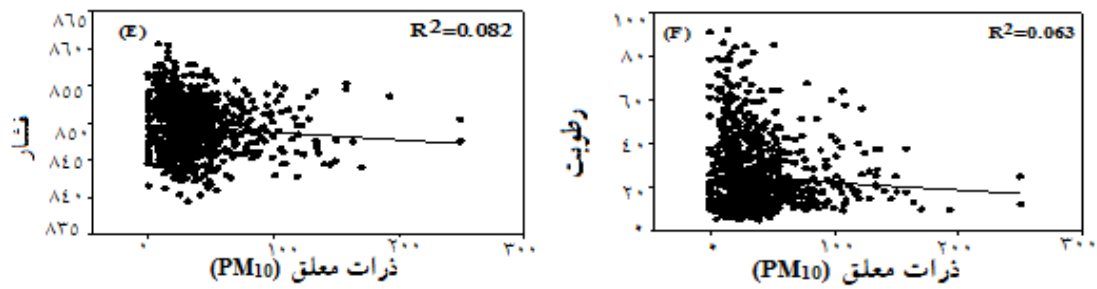
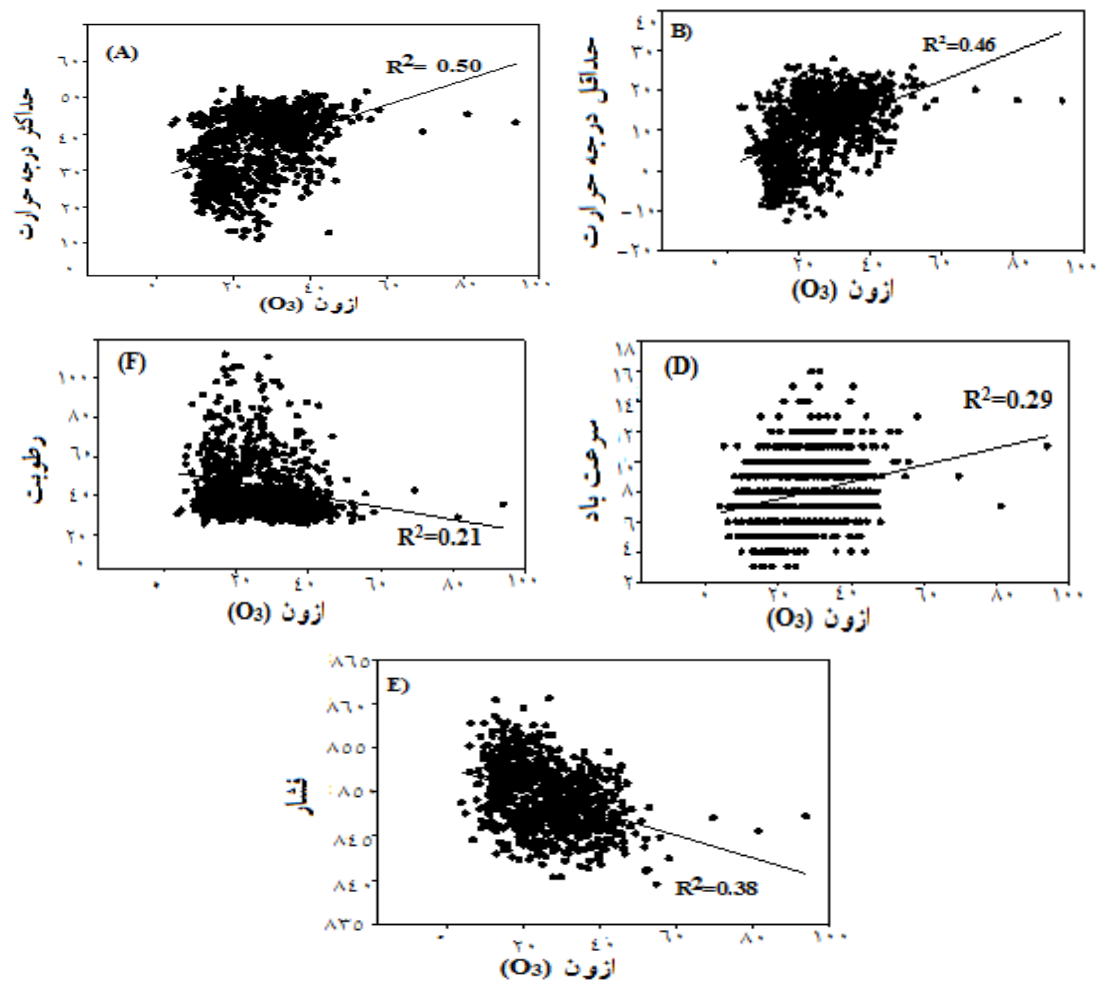
جدول ۴- رتبه‌بندی میانگین‌های فصلی غلظت آلاینده‌ها

آلاینده	فصل	تعداد نمونه‌ها	میانگین آلاینده‌ها در زیرمجموعه‌های همگن			
PM ₁₀	زمستان	۱۷۹	۲			
	پاییز	۱۸۰	۱			
	تابستان	۲۷۹	۳۱/۲۳			
	بهار	۲۷۹	۳۱/۹۵			
	سطح معنی داری	۰/۱۷۰	۳۵/۶۳			
CO	زمستان	۱۷۹	۴۵/۱۱			
	پاییز	۱۸۰	۱			
	تابستان	۲۷۹	۰/۶۲			
	بهار	۲۷۹	۰/۵۲			
	سطح معنی داری	۱/۰۰۰	۰/۳۱			
O ₃	زمستان	۱۷۹	۳			
	پاییز	۱۸۰	۲			
	تابستان	۲۷۹	۱			
	بهار	۲۷۹	۱۸/۶۶			
	سطح معنی داری	۰/۹۳۲	۱۸/۶۰			



شکل ۲- آنالیز رگرسیون بین غلظت آلاینده CO با پارامترهای هواشناسی



شکل ۳- آنالیز رگرسیون بین غلظت روزانه آلاینده PM₁₀ با پارمترهای هواشناسیشکل ۴- آنالیز رگرسیون بین غلظت روزانه آلاینده O₃ با پارمترهای هواشناسی

آلاینده CO، PM₁₀ و O₃ نشان داد که در طی سال‌های مورد مطالعه، کیفیت هوای بیرجند از نظر آلاینده PM₁₀ بهبود یافته و روند نزولی داشته است. این در حالی است که در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۹۴ بر غلظت آلاینده CO افزوده شده است اما در سال ۱۳۹۶ کاهش یافته

بحث

بررسی تغییرات سالیانه غلظت آلاینده‌های (CO)،

(PM₁₀ و O₃)

نتایج مطالعه و بررسی روند تغییرات غلظت سالیانه

۲۰۳۰ بوده است (Burnett *et al.*, 2014).

بررسی تغییرات فصلی غلظت آلاینده‌های (CO, PM₁₀ و O₃)

نتیجه بررسی تغییرات فصلی آلاینده‌ها نشان داد که برای آلاینده ذرات معلق (PM₁₀) دو بیشینه غلظتی وجود داشته است که یکی در بهار و دیگری در فصل تابستان رخ داد. وجود بیشینه در فصل تابستان می‌توانسته ناشی از کاهش بارش باشد. علت وقوع بیشینه در فصل گرم را می‌توان به دلیل خشکسالی، کاهش میزان بارندگی، رطوبت هوا و همچنین اثر وارونگی دمای سطحی دانست. در مطالعه اسلامی و همکاران در سال ۱۳۹۳ در کرمانشاه بیشینه غلظت ذرات معلق در فصل تابستان بود که دلیل آن تواتر ورود ریزگردها از کشورهای همسایه، کاهش رطوبت هوا، خشکسالی، استفاده بی‌رویه از منابع آبی، افزایش دما و سرعت و جهت باد بود. با توجه به اثرات سوء ذرات معلق بر سلامتی، آگاهی از روند تغییرات، برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت، بلندمدت ملی و منطقه‌ای در جهت رفع مشکل و کاهش اثرات آن ضروری به‌نظر می‌رسید (Zhang *et al.*, 2014).

بیشینه میانگین غلظت مونوکسیدکربن و اختلاف معنی‌دار آن در زمستان و سپس پاییز بوده است. افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی و همچنین عدم کارکرد صحیح وسایل نقلیه در اثر سردی هوا نیز از دلایل افزایش این گاز محسوب می‌شود. همچنین احتمال وجود پدیده وارونگی هوا در فصل سرد به‌ویژه زمستان می‌تواند علت دیگری برای ثابت بودن نسبی غلظت مونوکسیدکربن در این فصل باشد. همچنین بالا بودن ترافیک شهری و رفت و آمد زیاد به خصوص مدارس در اوایل صبح و عصر می‌تواند موجب ازدیاد غلظت این آلاینده شود. وجود بیشینه در فصل سرد می‌تواند بر اثر استفاده از وسایل گرمایشی و وسایل نقلیه در کنار شرایط هواشناسی از قبیل سرما، افزایش فشار هوا، پایداری و وارونگی دما رخ دهد. در مشهد نتایج میانگین ماهانه مونوکسیدکربن نشان داد که بیشترین مقدار مربوط به دی ماه و کم‌ترین میزان آن مربوط به خردادماه بوده است و دو فصل پاییز و زمستان

است. در مورد ازون غلظت این آلاینده در طی سه سال فزونی یافته است (جدول ۲). در مطالعه مروری که توسط بالداسانو و همکاران (۲۰۰۳) تحت عنوان کیفیت شهرهای بزرگ در کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته انجام شده است. نتایج بررسی‌ها نشان داده است که در سراسر جهان ذرات به‌عنوان مشکلی عمده در تمام آسیا و شهرهای آمریکای لاتین مطرح بوده است و در بسیاری از شهرها حدود ۳۰۰ میکروگرم بر مترمکعب برآورد شده است. در مطالعه‌ای که مامیتیمین و همکاران (۲۰۱۱) در سین کیانگ چین انجام داده‌اند، در مدت ۷ سال (۲۰۰۰ - ۲۰۰۶)، میزان ذرات در محدوده ۱۵۰ تا ۲۴۰ میکروگرم بر مترمکعب بدست آمده است. نتایج نشان داد که از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۳ افزایش آلودگی‌های هوا بسیار شدید بوده است در حالی که از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۶ سرعت این روند کم‌تر بوده است (Mamtimin, 2011).

روزانته و همکاران (۲۰۱۷) با مطالعه غلظت CO در سائو پائولو در سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ دریافتند که وسایل نقلیه گازوئیلی روی انتشار مونوکسید تأثیر فراوانی دارد. در مقیاس سالانه، با توجه به افزایش تعداد وسایل نقلیه، به علت پیشرفت در تکنولوژی انتشار، مقدار CO کاهش یافته است (Zhang *et al.*, 2014) از طرف دیگر طبق گزارش گروه متخصص کیفیت هوا، غلظت متوسط سالانه ازن در ده سال گذشته در مناطق شهری افزایش یافته است، در حالی که تغییرات غلظت در مناطق روستایی کمتر مشاهده شده است. غلظت ازن در مناطق شهری به علت واکنش بیشتر ازن با NO_x به طور کلی پایین‌تر از مناطق اطراف روستایی است. طبق بررسی‌های بین‌المللی شواهد قوی وجود دارد که غلظت ازن در سواحل شمالی نیم‌کره شمالی در طول ۲۰ تا ۳۰ سال گذشته تا ۱۰ میکروگرم در مترمکعب افزایش یافته است. این افزایش ناشی از رشد انسان - ساخت پیش اکسیدکننده ازن در صنعت، جاده، هوا و حمل و نقل کشتی، خانه و کشاورزی است. مقادیر متوسط غلظت سالانه میانگین سطح ازن در نیمه جنوبی انگلستان در حدود ۶ میکروگرم در مترمربع و در حدود ۴ میکروگرم در متر مکعب در سال ۲۰۰۰ تا

آلاینده بوده است. افزایش رطوبت نسبی هوا اگر همراه با پدیده بارش باشد، عمل شستشو می‌تواند باعث کاهش آلاینده هوا شود. بنابراین این موضوع یکی از عوامل اصلی کاهش مقدار آلاینده در هنگام رطوبت نسبی زیاد و بارندگی است. در حالی که همبستگی CO با درجه حرارت و سرعت باد منفی و معکوس می‌باشد. مطابق تحقیقی که توسط وایس و همکاران (۲۰۰۵) در کشور آمریکا به انجام رسید دمای هوا به عنوان عامل مهم و مؤثر هواشناسی در غلظت این آلاینده تعیین شد که باعث تشدید ازن می‌شود (Wise, 2005).

آنالیز رگرسیون آلاینده‌های (CO، PM₁₀ و O₃)

نتایج آنالیز رگرسیون سه آلاینده در شکل‌های ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۲، بیشترین ضریب همبستگی بین CO با حداقل درجه حرارت ($R^2 = 0/53$) مشاهده شد. هر چه درجه حرارت پایین‌تر باشد به خصوص در فصل زمستان از وسایل گرمایشی و سوخت‌های فسیلی بیشتری استفاده می‌شود. افزایش استفاده از این وسایل منجر به افزایش غلظت مونوکسیدکربن می‌شود (Mamtimin, 2011). مطابق شکل ۳، بیشترین ضریب همبستگی آلاینده PM₁₀ با سرعت باد ($R^2 = 0/27$) بود. سرعت باد ارتباط معکوس با ذرات معلق دارد. بدیهی است که سرعت باد در پخش و انتقال ذرات مؤثر است. کم‌ترین ضریب همبستگی این آلاینده با فشار ($R^2 = 0/82$) بوده است. بیشترین ضریب همبستگی ازن با حداکثر درجه حرارت ($R^2 = 0/50$) بود. حداکثر درجه حرارت می‌تواند ناشی از تابش حرارت خورشید باشد که منجر به افزایش واکنش‌های فتوشیمیایی و تولید ازن می‌شود به خصوص در فصول گرم که میزان ازن هم بیشتر می‌باشد. کم‌ترین ضریب همبستگی آن با جهت باد ($R^2 = 0/12$) بدست آمد.

با توجه به تأثیر آلودگی هوا روی سلامت انسان سه آلاینده شاخص CO، PM₁₀، O₃ برای بررسی تأثیر پارامترهای هواشناسی روی غلظت آلاینده‌ها انتخاب شدند. نتایج نشان داد که همبستگی ذرات معلق (PM₁₀) با رطوبت نسبی، بارش و سرعت باد منفی بوده است در حالیکه

بیشترین آلودگی را به همراه داشته است و در بیشتر موارد آلودگی بیشتر از حد استاندارد بود (Dai et al., 2014).

بیشینه غلظت ازن در فصل تابستان بیشتر از بهار و در زمستان بیشتر از پاییز و در نتیجه بیشترین اختلاف معنی‌داری در تابستان بوده است. به طور کلی بررسی تغییرات ازن نشان داده است که غلظت این آلاینده در روزهای گرم سال که بیشترین احتمال تابش نور خورشید وجود دارد، افزایش می‌یابد. یکی از دلایل این امر، انجام واکنش‌های فتوشیمیایی تولید ازن با هیدروکربن، اکسیدهای نیتروژن و تابش خورشید است (WHO, 2003). در مطالعه‌ای که توسط شرعی پور با عنوان بررسی تغییرات فصلی آلاینده‌های هوا در سال ۱۳۸۸ در تهران انجام گرفت، نتایج نشان داد که آلاینده ذرات معلق دارای دو پیک غلظت یکی در تابستان و دیگری در زمستان بوده است (Shariepour, 2010). در مطالعه دیگری که توسط جو و پارک در کره در سال (۲۰۰۵) صورت گرفت، بیشترین غلظت ازن و ذرات معلق در فصل گرم و سرد سال و برای مونوکسیدکربن در فصل زمستان بود که با نتایج حاصل از مطالعه حاضر همخوانی دارد (Gratani, 2005).

بررسی همبستگی بین آلاینده‌ها (CO، PM₁₀ و O₃)

همبستگی غلظت سه آلاینده با داده‌های هواشناسی مانند رطوبت، حداقل و حداکثر درجه حرارت، سرعت باد و فشار بررسی شد. همبستگی معنی‌داری ($P\text{-value} < 0/01$) بین پارامترهای بررسی شده مشاهده شد. ازن و مونوکسید کربن در سطح ۰/۰۱ با تمام داده‌های هواشناسی (حداکثر و حداقل درجه حرارت، سرعت باد، فشار و رطوبت) معنی‌دار بودند و همچنین ذرات معلق در سطح ۰/۰۱ با حداکثر حرارت، جهت باد، سرعت باد و فشار معنی‌دار بودند. این همبستگی همان‌طور که پیش‌بینی می‌شود در مورد ذرات معلق (PM₁₀) با رطوبت نسبی، بارش و سرعت باد منفی می‌باشد بر اساس نتایج بررسی‌های آماری بیشینه غلظت آلاینده در رطوبت نسبی کم رخ داده است. به بیانی دیگر افزایش خشکی هوا همراه با افزایش مقدار

- dioxide, and systemic autoimmune rheumatic disease in Calgary, Alberta. *Journal Environmental Research*. Vol. 140, pp: 474-478.
5. Bhaskar, B.V.; Rajasekhar, R.V.J. and Muthusubramanian, P.K.A., 2008. Measurement and modeling of respirable particulate (PM₁₀) and lead pollution over Madurai, India. *Journal Air Qual Atmospheric Health*. Vol. 1, pp: 45-55.
 6. Biancofiore, F.; Verdecchia, M.; Di Carlo, P.; Tomassetti, B.; Aruffo, E. and Busilacchio, M., 2015. Analysis of surface ozone using a recurrent neural network. *Journal The Science of the Total Environment*. Vol. 514, pp: 379-387.
 7. Boznar, M.; Lesjak, M. and Mlakar, P., 1993. A neural network-based method for short-term predictions of ambient SO₂ concentrations in highly polluted industrial areas of complex terrain. *Journal of Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere*. Vol. 27, No. 2, pp: 221-230.
 8. Burnett, R.T.; Pope, C.A.; Ezzati, M.; Olives, C.; Lim, S.S. and Mehta, S., 2014. An integrated risk function for estimating the global burden of disease attributable to ambient fine particulate matter exposure. *Journal Environmental Health prospective*; 12(4):397-404.
 9. Cimorelli AJ, Perry SG, Venkatram A, Weil J, Paine R, Wilson RB et al. 2005. AERMOD: a dispersion model for industrial source applications. Part I: general model formulation and boundary layer characterization. *Journal of Applied Meteorology*. 2005;44:682-693. DOI.org/10.1175/JAM2227.1.
 10. Dai L, Zanobetti A, Koutrakis P, Schwartz JD. 2014. Associations of Fine Particulate Matter Species with Mortality in the United States: A Multicity Time-Series Analysis. *Journal of Environmental Health Perspect*. [http:// dx.doi.org/10.1289/ehp.1307568](http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1307568).
 11. Dayan, U, Levy I. 2002. Relationship between synoptic-scale atmospheric circulation and ozone concentrations over Israel. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 107: 4813. DOI.Org/10.1029/2002JD002147
 12. Demuzere M, Trigo R.M, Vila-Guerau de Arellano J van Lipzig NPM. 2009. The impact of weather and atmospheric circulation on O₃ and PM₁₀ levels at a rural,

همبستگی CO با درجه حرارت و سرعت باد منفی و معکوس بود. هم‌چنین برای رتبه‌بندی میانگین فصلی آلاینده‌ها از آزمون دانکن استفاده شد. نتایج نشان داد که برای آلاینده ذرات معلق (PM₁₀) دو بیشینه غلظتی وجود داشته است که یکی در بهار و دیگری در فصل تابستان رخ داده است و بیشینه میانگین غلظت مونوکسیدکربن در زمستان و سپس پاییز بود. در نهایت بیشینه غلظت ازن در تابستان بیشتر از بهار و در زمستان بیشتر از پاییز بوده است. به‌طور کلی بررسی تغییرات ازن نشان می‌دهد که غلظت این آلاینده در روزهای گرم سال که بیشترین احتمال تابش نور خورشید وجود دارد، افزایش می‌یابد. در نهایت برای بررسی تأثیر پارامترهای هواشناسی از آنالیز رگرسیون استفاده شد و نتایج نشان داد که بیشترین ضریب همبستگی بین CO با حداقل درجه حرارت بود. بیشترین ضریب همبستگی آلاینده PM₁₀ با سرعت باد بود. سرعت باد ارتباط معکوس با ذرات معلق دارد. کم‌ترین ضریب همبستگی این آلاینده با فشار بود. بیشترین ضریب همبستگی ازن با حداکثر درجه حرارت بود و کم‌ترین ضریب همبستگی آن با جهت باد بدست آمد.

منابع

1. Anderson, R.; Wong, C.; Atkinson, R.W.; Anderson, H.R.; Hedley, A.J. and Ma, S., 2002. A tale of two cities: Effects of air pollution on hospital admissions in Hong Kong and London compared, *Journal Environmental Health Perspect*. Vol. 110, No. 1, pp: 67-77.
2. Arasa, R.; Soler, M.R.; Ortega, S.; Olid, M. and Merino, M., 2010. A performance evaluation of MM5/MNEQA/CMAQ air quality modelling system to forecast ozone concentrations in Catalonia. *Tethys Journal of Weather and Climate of the Western Mediterranean*. Vol. 7, pp: 11-23.
3. Baldasano, J. and Valera, E.J.P., 2003. Air quality data from large cities. *Journal Science of The Total Environment*. Vol. 307, No. 1, pp: 141-165.
4. Bernatsky, S.; Smargiassi, A.; Johnson, M.; Kaplan, G.G.; Barnabe, C. and Svenson, L., 2015. Fine particulate air pollution, nitrogen

23. Monteiro, A., Vautard, R., Borrego, C., Miranda AI. 2005. Long-term simulations of photo oxidant pollution over Portugal using the CHIMERE model. *Journal of Atmospheric Environment*; 39:3089–3101. DOI.org/ 10.1016/j.atmosenv. 01.045
24. Rongxian Zhao, Shi Chen, Weiye Wang, Jiao Huang, Ke Wang, Li Liu SW. 2017. The impact of short-term exposure to air pollutants on the onset of out-of-hospital cardiac arrest: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Cardiology*; 226:110–7. DOI: 10.1016/ j.ijcard. 10 .053.
25. Russo A, Trigo R.M, Martins H, Mendes MT. 2014. NO₂, PM₁₀ and O₃ urban concentrations and its association with circulation weather types in Portugal. *Journal of Atmospheric Environment*; 89:768–785. DOI. 10.1016/j. atmosenv. 02.010.
26. Saavedra S, Rodriguez A, Taboada J.J, Souto J.A, Casares J. 2012. Synoptic patterns and air mass transport during ozone episodes in Northwestern Iberia. *Journal of Science of The Total Environment*; 441:97–110. DOI.org/ 10.1016/j. scitotenv. 09.014
27. Shariepour Z. 2010. Seasonal and daily variation of air pollutants and their relation to meteorological parameters. *Journal of the Earth and Space Physics*. 35(2):119–137.
28. Shi J.P, Harrison RM. 1997. Regression modelling of hourly NO_x and NO₂ concentrations in urban air in London. *Journal of Atmospheric Environment*;31:4081–4094. WHO. 2003. Health aspect of air pollution with particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. Bonn, Ger World Heal Organ.
29. Wise EK CA. 2005. Meteorologically adjusted urban air quality trends in the Southwestern United States. *Journal of Atmospheric Environment*. 39(16):2969–80.
30. Zhang Lw, Chen X, Xue X, Sun M, Han B, Li CP et al. 2014. Long-term exposure to high particulate matter pollution and cardiovascular mortality: A 12-year cohort study in four cities in northern China. *Journal of Environment international*; 62:41-47.
- mid-latitude site. *Journal of Atmospheric Chemistry and Physics*. 9:2695–2714.
13. Diaz J, Linares C, Lopez C, Garcia-Herrera R, Trigo RM. 2004. Relationship between environmental factors and infant mortality in Madrid. *Journal of Occup Environment Med*. 6:768– 774.
14. Dutot A.L, Rynkiewicz J, Steiner F.E, Rude J. A. 2007. 24-h forecast of ozone peaks and exceedance levels using neural classifiers and weather predictions. *Journal of Environmental Modelling & Software*;22:1261– 1269.
15. Elangasinghe M.A, Singhal N, Dirks K.N, Salmond JA. 2014. Development of an ANN-based air pollution forecasting system with explicit knowledge through sensitivity analysis. *Journal of Atmospheric Pollution Research* ;5:696–708.
16. Gratani L VL. 2005. Daily and seasonal variation of CO₂ in the city of Rome in relationship with the traffic volume. *Journal of Atmospheric Environment*.; 39(261919–2624). DOI.org/10.1016/j. atmosenv.01.013.
17. Hooyberghs J, Mensink C, Dumont G, Fierens F, Brasseur O, Holton JR, et al. 2005. A neural network forecast for daily average PM₁₀ concentrations in Belgium. *Journal of Atmospheric Environment*. 3rd ed. Academic press;39(18):3279–89. DOI.10.1016/j.atmosenv. 01.050.
18. Kesarkar AP, Dalvi M, Kaginlkar A OA. 1976–88. *Journal of Atmospheric Environment*. 41:1976–1988.
19. Kolehmainen M, Martikainen H, Ruuskanen J. 2001. Neural networks and periodic components used in air quality forecasting. *Journal of Atmospheric Environment*; 35(5):815–25.
20. Luecken DJ, Hutzell WT, Gipson GL. 2006. Development and analysis of air quality modeling simulations for hazardous air pollutants. *Journal of Atmospheric Environment*. 40(26):5087–96.
21. Mamtimin B MF. 2011. Air pollution and meteorological processes in the growing dry land city of Urumqi (Xinjiang, China). *Journal Science of the Total Environment*. 409(7):1277–90.
22. Middleton DR, McKendry IG. 1998. A new box model to forecast urban air quality: BOXURB. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*; 52(1–2):315–35.

Air Pollutant Regression Analysis (CO, O₃ and PM₁₀) and Meteorological Parameters, Case Study: Birjand-Iran

Razieh Farhadi¹, Mehdi Kargar^{1*}, Ghasem Zolfagari¹

^{1*} - Department of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

Abstract

Air pollution is a global threat to public and environmental health, especially in urban areas. Therefore, modeling is used to control and planing concentration of pollutants. In this paper, a model is proposed based on linear regression for short term forecasting of CO, PM₁₀ and O₃ based on meteorological parameters, and the results are presented. Data of meteorological parameters including humidity, pressure, minimum and maximum temperature, wind speed and wind direction (Birjand Meteorological Organization), and air pollution data (CO, PM₁₀, and O₃ concentrations) from the Birjand weather organization were prepared and used as daily average. SPSS16 software was used for linear regression modeling. The results showed that the highest correlation coefficient for CO pollutant with minimum temperature was 0.53 and the lowest correlation coefficient with the value of 0.166 was with the wind direction. The maximum correlation coefficient of PM₁₀ contamination with wind speed was 0.33 and the lowest correlation coefficient of this pollutant with a pressure was 0.882. Finally, the highest correlation coefficient of O₃ contamination with maximum temperature was 0.50 and also with regard to the regression coefficient obtained for carbon monoxide (R = 0.33) compared to the other two pollutants, has been obtained better.

Key words: Modeling, Pollutants, Prediction, Linear Regression, Meteorological Parameters