

Investigation of PM₁₀ particles concentration changes and influence of meteorological parameters on it in year 2013 (Case study: Zahedan)

ABSTRACT

Background & objective: Suspended particles have numerous negative effects on human health and plants. These particles play an extremely important role in global climate change as well. This study aims to investigate the influence of meteorological parameters on PM₁₀ concentrations along with daily, monthly and seasonally concentrations variations of this pollutant over three seasons of spring, summer and fall.

Methods and Materials: In this study, first, daily, monthly and seasonal variations of PM₁₀ concentrations were investigated. Then, the degree of correlation between PM₁₀ and meteorological parameters were analyzed by Pearson correlation. Also regression model was used to predict PM₁₀ concentration.

Results: Daily average PM₁₀ concentration during the study period indicates that the highest concentration was in the 22nd August (1077 µg/m³) and the lowest in the 8th march (42 µg/m³). It also shows the highest monthly average concentration was in August (301/06 µg/m³), While the lowest concentration is accounted November (152/16 µg/m³). Seasonal concentration showed that the highest concentrations are in the summer (272/76 µg/m³). Pearson correlation coefficient analysis shows that particulate matter has a direct correlation with temperature and wind speed, while reverse correlation with precipitation and atmospheric pressure.

Conclusion: Based on the results of Pearson correlation, it was found that rainfall and relative humidity have adverse effects but the temperature and wind speed have a direct impact on the concentrations of PM₁₀. That is, the greater rainfall, the lower concentration of PM₁₀ will be. While the temperature and the wind speed increase the concentration of suspended particles. Also, the coefficient of determination in the regression model suggests that 13, 25 and 6 percent of PM₁₀ changes in spring, summer and fall are explained by meteorological parameters used in the model. Based on these results we can say that adverse meteorological conditions may lead to increased concentrations of PM₁₀.

Document Type: Research article

Key words: Air Pollution, PM₁₀, Meteorological Parameters, Linear modeling.

Atabaki, Mohammad Reza

* M.Sc, Department of Environmental pollution, Faculty of natural resources, Isfahan university of technology, Isfahan, Iran.

atabak89@gmail.com

Sakhaei, Mohammad

M.Sc, Department of Environmental planning and management, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.

hoveidi, Hassan

Assistant Professor, Department of environmental planning and management, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.

Pooteh rigi, Mohammad

M.Sc, Department of Environmental planning and management, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.

Karimimanesh, Ehsan

M.Sc, Department of Environmental planning and management, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.

Received: 20 October 2017

Accepted: 22 December 2017

► **Citation:** Atabaki M, Sakhaei M, hoveidi H, Pooteh rigi M, Karimimanesh E. Investigation of PM₁₀ particles concentration changes and influence of meteorological parameters on it in year 2013 (Case study: Zahedan). *Journal of Research in Environmental Health*. Autumn 2017;3 (3) : 198-207 .

بررسی تغییرات غلظت ذرات PM_{10} و تأثیر پارامترهای هواشناسی بر آن در سال ۱۳۹۲ (مطالعه موردی: شهر زاهدان)

چکیده

زمینه و هدف: ذرات معلق، اثرات منفی بسیاری بر سلامتی انسان‌ها و گیاهان و همچنین نقش بسیار مهمی در تغییرات آب و هوای جهانی دارند. با توجه به این که پارامترهای هواشناسی می‌توانند بر میزان غلظت و پراکنش آلاینده‌ها از جمله ذرات معلق مؤثر باشند، مطالعه حاضر با هدف بررسی تغییرات روزانه، ماهانه و فصلی غلظت PM_{10} در فصول بهار، تابستان و پاییز و بررسی تأثیر پارامترهای هواشناسی بر میزان غلظت PM_{10} در فصول بهار، تابستان و پاییز انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق، ابتدا تغییرات روزانه، ماهانه و فصلی غلظت PM_{10} در سال ۱۳۹۲ بررسی شد. سپس درجه ارتباط بین PM_{10} با پارامترهای هواشناسی توسط همبستگی پیرسون (Pearson correlation) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین به منظور پیش‌بینی غلظت PM_{10} از مدل رگرسیون استفاده شد.

یافته‌ها: بر اساس نتایج مطالعه در بررسی میانگین روزانه غلظت PM_{10} در طول دوره مورد مطالعه، بیشترین غلظت PM_{10} در ۲۲ مرداد ۱۳۹۲ ($1077 \mu g/m^3$) و کمترین غلظت آن در ۸ فروردین ۱۳۹۲ ($42 \mu g/m^3$) بوده است. همچنین میانگین ماهانه نشان می‌دهد بیشترین غلظت در ماه مرداد ($1077 \mu g/m^3$) و کمترین غلظت در آبان ماه ($152/16 \mu g/m^3$) بوده است. از نظر غلظت فصلی، بیشترین غلظت ذرات معلق ($272/76 \mu g/m^3$) در فصل تابستان مشاهده می‌شود. بر اساس نتایج، ذرات معلق با دما و سرعت باد همبستگی مستقیم، و با بارش و رطوبت نسبی همبستگی معکوس دارد.

نتیجه‌گیری: بارش و رطوبت نسبی تأثیر معکوس، ولی دما و سرعت باد تأثیر مستقیم بر روی میزان غلظت ذرات PM_{10} دارند. همچنین میزان ضریب تشخیص در مدل رگرسیون، حاکی از آن است که ۱۳، ۲۵ و ۶ درصد از تغییرات PM_{10} به ترتیب در فصول بهار، تابستان و پاییز، به وسیله پارامترهای هواشناسی استفاده شده در این مدل تشریح می‌شوند. با توجه به نتایج فوق می‌توان گفت که شرایط هواشناسی نامطلوب ممکن است به افزایش غلظت PM_{10} منجر شود.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

کلیدواژه‌ها: آلودگی هوا، پارامترهای هواشناسی، مدل‌سازی خطی، PM_{10}

محمدرضا اتابکی

* کارشناس ارشد، گروه آلودگی‌های محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. (مسئول مکاتبات).
atabak89@gmail.com

محمد سخایی

کارشناسی ارشد، گروه مدیریت و برنامه‌ریزی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

دکتر حسن هویدی

استادیار، گروه مدیریت و برنامه‌ریزی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

محمد پوته‌ریگی

کارشناسی ارشد، گروه مدیریت و برنامه‌ریزی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

احسان کریمی‌منش

کارشناسی ارشد، گروه مدیریت و برنامه‌ریزی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۰۱

◀ **استناد:** اتابکی م، سخایی م، هویدی ح، پوته‌ریگی م، کریمی‌منش الف. بررسی تغییرات غلظت ذرات PM_{10} و تأثیر پارامترهای هواشناسی بر آن در سال ۱۳۹۲ (مطالعه موردی: شهر زاهدان). *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. پاییز ۱۳۹۶؛ ۳(۳): ۱۹۸-۲۰۷.

مقدمه

تحقیقات انجام شده در نقاط مختلف جهان نشان داده‌اند که قرار گرفتن در معرض آلاینده‌های هوا، اثر منفی بر سلامت انسان دارد (۱). یکی از مهم‌ترین آلاینده‌ها، ذرات معلق موجود در جو هستند. ذرات معلق (PM) اشاره به یک مخلوط پیچیده‌ای از آلاینده‌های متشکل از دود، گردوغبار و انواع مواد جامد و مایع دارد که در واسطه گازی قرار گرفته‌اند (۲). مطالعات نشان می‌دهند که ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) (μm) سلامت انسان‌ها را به شدت تهدید می‌کنند (۳). گردوغبار علاوه بر تأثیراتی که بر سلامت دارد، می‌تواند منجر به تغییرات اقلیم در مقیاس جهانی و محلی، تغییر در چرخه بیولوژیکی، زمین‌شناسی، شیمیایی و یا محیط زیست انسان گردد (۴، ۵). مطالعات متعدد نشان می‌دهند که بیشترین گردوغبار در نزدیکی مرزهای ایران، پاکستان و افغانستان رخ می‌دهد. پارامترهای هواشناسی تأثیرگذار بر مسئله آلودگی هوا را می‌توان به دو دسته اولیه و ثانویه تقسیم‌بندی کرد. پارامترهای اولیه شامل: جهت و سرعت باد، دما، ارتفاع آمیختگی و پارامترهای ثانویه شامل: بارش، رطوبت، تابش و دید می‌باشند. این پارامترها به‌طور قابل ملاحظه‌ای تابع عرض جغرافیایی، فصل و توپوگرافی هستند (۶، ۷). در رابطه با وضعیت غلظت آلاینده‌ها و اثر پارامترهای هواشناسی بر روی آن‌ها، مطالعات متعددی صورت گرفته است.

در مطالعه Nazari و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی تغییرات زمانی غلظت PM_{10} در کرمانشاه، تیر ماه حداکثر غلظت و دی ماه حداقل مقدار را به خود اختصاص دادند (۸). در مطالعه Najafpoor و همکاران (۲۰۱۴) که بر روی ۵ آلاینده شاخص کیفیت هوا در کلانشهر تهران طی سال‌های ۸۸-۱۳۸۰ انجام شد، مشخص گردید که متغیرهای هواشناسی می‌توانند در میزان آلودگی هوای شهر تهران مؤثر واقع شوند. همچنین از دیگر نتایج مهم این تحقیق می‌توان به روند کاهشی آلاینده (PM_{10})، SO_2 و CO ، NO_2 در طی سنوات مورد مطالعه اشاره کرد (۹). تأثیر فاکتورهای هواشناسی بر روی غلظت PM_{10} و NO_2 در

مالزی نشان داد NO_2 با سرعت باد رابطه معکوس دارد، در حالی که PM_{10} با سرعت باد و رطوبت نسبی ارتباط منفی دارد (۱۰). نتایج مطالعه Tecer و همکاران (۲۰۰۸) که در شهر زونگولداک ترکیه انجام شد، نشان داد PM_{10} و $PM_{2.5}$ با دما، بارش و فشار رابطه معکوس دارند (۱۱).

با توجه به این که ذرات معلق، اثرات منفی بسیاری بر سلامتی انسان‌ها و گیاهان و همچنین نقش بسیار مهمی در تغییرات آب و هوای جهانی دارند، در مطالعه حاضر به بررسی تغییرات غلظت ذرات PM_{10} در شهر زاهدان پرداخته شد. از آنجا که بادهای ۱۲۰ روزه که از اواخر اردیبهشت شروع شده و تا اواخر شهریور ادامه دارد، مهم‌ترین عامل افزایش غلظت ذرات معلق در شهر زاهدان می‌باشند، در این پژوهش، فصولی که در ارتباط با پدیده بادهای ۱۲۰ روزه سیستم هستند، مورد بررسی قرار گرفت. همچنین با توجه به این که پارامترهای هواشناسی می‌توانند بر میزان غلظت و پراکنش آلاینده‌ها از جمله ذرات معلق مؤثر باشند، در این پژوهش به بررسی رابطه بین غلظت PM_{10} و پارامترهای هواشناسی نیز پرداخته شد. بنابراین مطالعه حاضر با هدف بررسی تغییرات روزانه، ماهانه و فصلی غلظت PM_{10} در فصول بهار، تابستان و پاییز و بررسی تأثیر پارامترهای هواشناسی بر میزان غلظت PM_{10} در فصول بهار، تابستان و پاییز انجام شد.

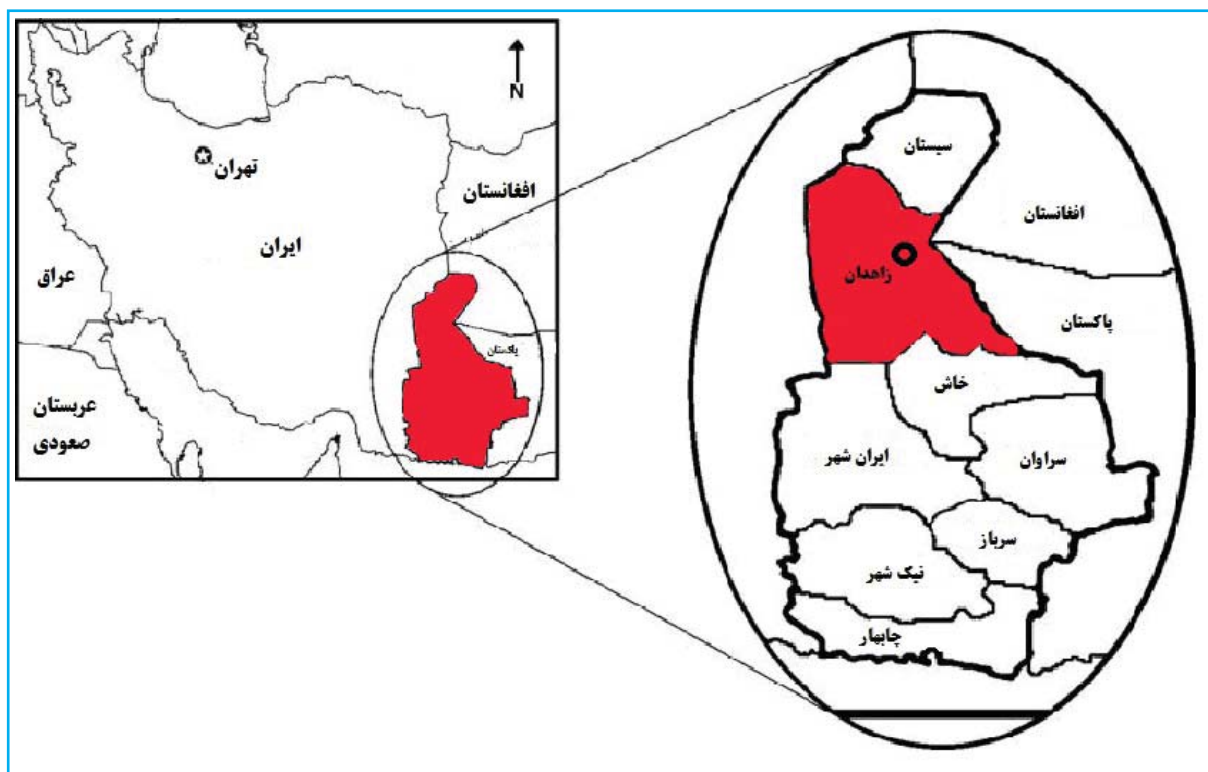
روش کار

۱. منطقه مورد مطالعه

شهرستان زاهدان با وسعت 31250 km^2 معادل ۱۷ درصد از مساحت استان سیستان و بلوچستان را به خود اختصاص داده است. شهرستان زاهدان از شمال به شهرستان هامون و کویر لوت، از شرق به کشور پاکستان، از غرب به استان کرمان و از جنوب به شهرستان خاش محدود می‌شود. جمعیت شهرستان زاهدان در سال ۱۳۸۴، ۶۵۸۷۹۵ نفر و در سال ۱۳۹۰ به ۶۲۲۸۵۵ نفر تقلیل یافته است. این شهرستان از سطح دریا 1385 m ارتفاع دارد. هوای زاهدان گرم و خشک بوده و هوا در روزهای تابستان بسیار گرم و

کشور و استان سیستان و بلوچستان از جمله مناطقی است که سالانه شاهد طوفان‌های گردوغبار فراوان در محدوده سرزمینی خود است.

در شب‌ها حرارت به نحو محسوسی کاهش می‌یابد. بادهای ۱۲۰ روزه سیستان به‌طور غیر مستقیم در کاهش دمای شهر زاهدان تأثیر دارد. در این شهر به‌ندرت برف می‌بارد. منطقه جنوب شرق



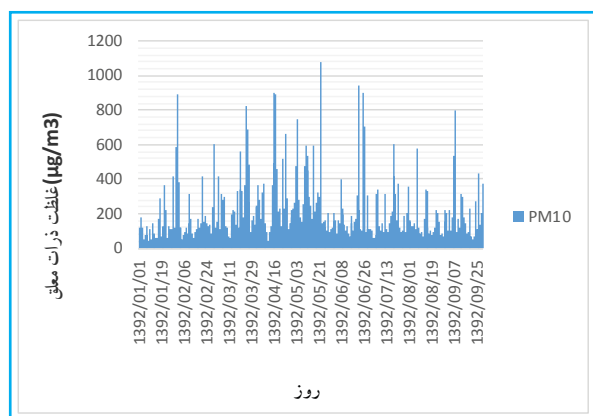
شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

۲. روش‌های تحلیل داده‌ها

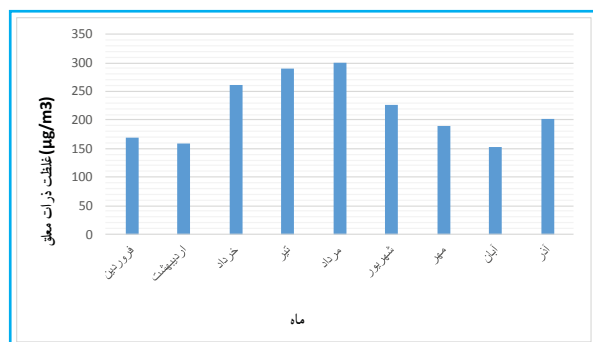
غلظت آلاینده PM_{10} و پارامترهای هواشناسی (اندازه‌گیری شده توسط سازمان هواشناسی) توسط نرم‌افزار آماری SPSS، ورژن ۲۲ بررسی شد. پارامترهای هواشناسی مورد استفاده در این تحقیق شامل: دما، رطوبت نسبی، بارش و سرعت باد بودند. با توجه به اینکه عامل اصلی افزایش غلظت ذرات معلق در منطقه مورد مطالعه، بادهای ۱۲۰ روزه سیستان می‌باشد، بنابراین بررسی تأثیر پارامتر سرعت باد بر غلظت PM_{10} بسیار مهم می‌باشد. همچنین بارش، باعث شسته شدن آلاینده‌ها و کاهش غلظت آن‌ها شده، در حالی که افزایش دما و کمبود رطوبت باعث افزایش غلظت آلاینده‌ها می‌شود. داده‌های روزانه غلظت PM_{10} در تحلیل آماری به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد، در حالی که داده‌های روزانه پارامترهای هواشناسی استفاده شده در طول این دوره به عنوان متغیر مستقل انتخاب شدند.

در این تحقیق به منظور بررسی روند تغییرات آلاینده PM_{10} در شهر زاهدان، از داده‌های غلظت روزانه PM_{10} که توسط سازمان هواشناسی زاهدان در یک ایستگاه با موقعیت جغرافیایی (۶۰ درجه و ۵۱ دقیقه و ۱۵/۶۱ ثانیه غربی و ۲۹ درجه و ۲۹ دقیقه و ۴۵/۲۹ ثانیه شمالی) در طول سال ۱۳۹۲ اندازه‌گیری شده بود، استفاده شد. ابتدا به منظور بررسی صحت داده‌ها از نمودار جعبه‌ای استفاده شد. بر اساس نتایج صحت‌سنجی، تعدادی از داده‌ها دارای مقادیر پرت بودند. شماره این موارد با علامت ستاره و دایره کوچک در شکل ۲ مشخص شده است. پس از حذف مقادیر پرت از مجموعه داده‌ها، میانگین ماهانه و فصلی غلظت PM_{10} محاسبه شد، سپس نمودارهای مربوطه ترسیم گردید. در قدم بعدی تحلیل آماری بین

همچنین کمترین غلظت آن در ۸ فروردین ($42 \mu\text{g}/\text{m}^3$) بوده است (نمودار ۱). نمودار ماهانه نشان داد که بیشترین غلظت در مرداد ($301/06 \mu\text{g}/\text{m}^3$) و کمترین غلظت در ماه آبان ($152/16 \mu\text{g}/\text{m}^3$) بوده است (نمودار ۲). بر اساس نمودار تراکم فصلی، بیشترین غلظت PM_{10} در فصل تابستان ($272/76 \mu\text{g}/\text{m}^3$) بوده است (نمودار ۳). با شروع تابستان، بارش به حداقل و تبخیر به حداکثر خود می‌رسد، بنابراین خاک به شدت خشک شده که از پیامدهای آن می‌توان به فرسایش بادی اشاره کرد که باعث حمل ذرات معلق به مسافت‌های طولانی می‌شود. متأسفانه در نمودارهای ماهانه و فصلی، غلظت PM_{10} از حد استاندارد تعریف شده ($3150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) توسط استاندارد کیفیت هوای آزاد سازمان حفاظت محیط زیست ایران بالاتر بودند.

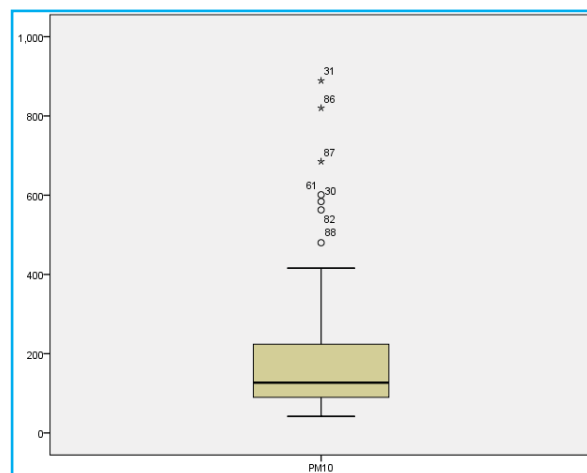


نمودار ۱. غلظت روزانه PM_{10} بر حسب $\mu\text{g}/\text{m}^3$ در شهر زاهدان طی فصول بهار، تابستان و پاییز ۱۳۹۲



نمودار ۲. غلظت ماهانه PM_{10} بر حسب $\mu\text{g}/\text{m}^3$ در شهر زاهدان در سال ۱۳۹۲

برای تعیین همبستگی از ضریب همبستگی پیرسون (Pearson correlation) استفاده شد. این ضریب همبستگی را که به آن ضریب همبستگی ساده نیز می‌گویند، می‌توان متداول‌ترین نوع از مجموعه ضرایب همبستگی نامید. کاربرد آن زمانی است که توزیع توأم مشاهدات نرمال بوده و از نوع مشاهدات نسبتی و کمی (گسسته یا پیوسته) باشند. این ضریب همبستگی میزان ارتباط خطی بین کمیت‌ها را نشان می‌دهد. آزمون فرضیه این نوع از ضریب همبستگی از نوع پارامتری است، به این معنا که توزیع آماره آن مشخص است. به دلیل وجود هم‌خطی بین متغیرهای مستقل (دما، رطوبت نسبی، بارندگی، نقطه شبنم و سرعت باد)، از رگرسیون خطی (Linear regression) برای ارتباط بین PM_{10} و پارامترهای جوی استفاده شد. برای پیش‌بینی PM_{10} ، از روش مدل‌سازی رگرسیون چندگانه استفاده شد. از بین روش‌های مختلف رگرسیون، روش ورود (Enter) انتخاب شد. در روش Enter، تمام متغیرهای مستقل انتخاب شده برای پیش‌بینی در مدل رگرسیون مشاهده می‌شوند. بنابراین به منظور بررسی نقش تمام متغیرهای مستقل در پیش‌بینی، از این روش استفاده شد.



شکل ۲. نمودار جعبه‌ای مدل

یافته‌ها

در نمودارهای ۱، ۲ و ۳، غلظت‌های روزانه، ماهانه و فصلی در طول دوره مورد مطالعه نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که بیشترین غلظت PM_{10} در روز ۲۲ مرداد ($1077 \mu\text{g}/\text{m}^3$) و

اساس نتایج جدول ۲، در فصل بهار و تابستان به ترتیب PM₁₀ با دما و سرعت باد، بیشترین میزان همبستگی را داشت، در حالی که در فصل پاییز بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل، همبستگی معناداری وجود نداشت.

جدول ۱. بررسی نرمال بودن متغیر وابسته از طریق آزمون شاپیرو-ویلک (Shapiro-Wilk)

فصل	شاپیرو-ویلک (Shapiro-Wilk)					
	بدون تبدیل			تبدیل لگاریتمی		
	Sig.	df	Statistic	Sig.	df	Statistic
بهار	۰/۷۵۱	۹۳	۰/۰۰۰	۰/۹۸۱	۹۳	۰/۱۸۳
تابستان	۰/۷۷۳	۹۳	۰/۰۰۰	۰/۹۷۸	۹۳	۰/۱۱۷
پاییز	۰/۷۶۷	۹۰	۰/۰۰۰	۰/۹۷۲	۹۰	۰/۰۵۱

جدول ۲. همبستگی پیرسون (Pearson correlation) بین PM₁₀ و پارامترهای جوی در فصول بهار، تابستان و زمستان

فصل	متغیر وابسته	متغیر وابسته (پارامترهای هواشناسی)			
		دما	رطوبت نسبی	سرعت باد	بارش
بهار	PM ₁₀	***۰/۳۳۹	-۰/۱۴۷	۰/۱۰۵	-۰/۰۷۳
		sig.(۰/۰۰۱)	sig.(۰/۱۶۰)	sig.(۰/۳۱۶)	sig.(۰/۴۸۴)
تابستان	PM ₁₀	***۰/۳۳۴	*۰/۲۳۲	*۰/۴۰۳	-۰/۰۳۲
		sig.(۰/۰۰۱)	Sig (۰/۰۲۵)	Sig (۰/۰۰۰)	sig.(۰/۰۷۶۴)
پاییز	PM ₁₀	-۰/۰۵۰	-۰/۰۰۸	۰/۱۷۶	-۰/۰۲۱
		Sig (۰/۶۴۱)	Sig (۰/۹۴۲)	Sig (۰/۰۹۶)	Sig (۰/۸۴۷)

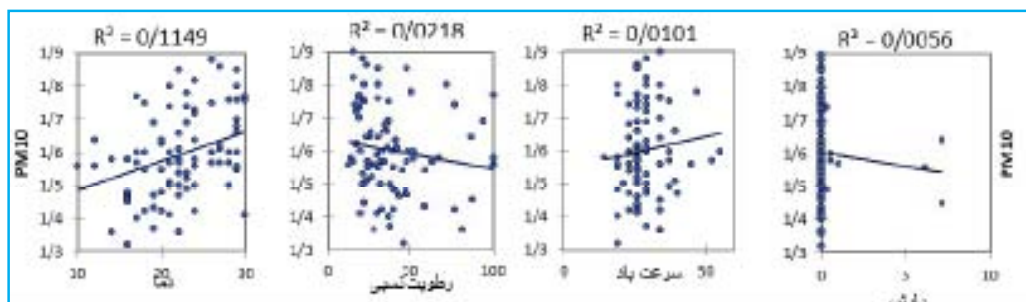
همچنین به منظور درک بهتر ارتباط بین PM₁₀ و پارامترهای هواشناسی از نمودار اسکاتر پلات استفاده شد. همانطور که ملاحظه می‌شود در فصل بهار PM₁₀ با دما و سرعت باد دارای ارتباط مستقیم و با بارش و رطوبت نسبی دارای ارتباط معکوس بود (شکل ۳). در فصل تابستان نیز دما و سرعت باد ارتباط مسقیم با PM₁₀ داشتند (شکل ۴).



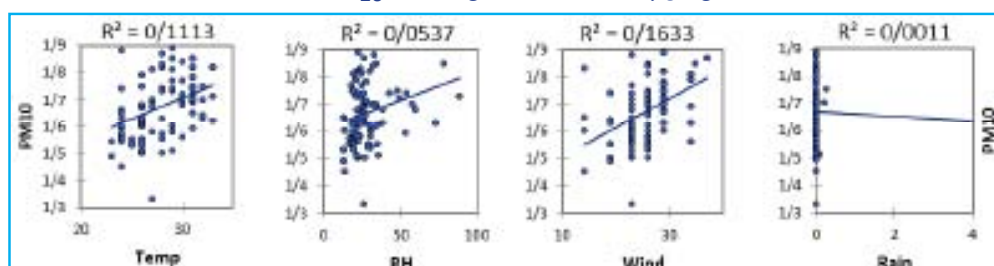
نمودار ۳. غلظت فصلی PM₁₀ بر حسب µg/m³ در شهر زاهدان در سال ۱۳۹۲

به منظور بررسی وجود رابطه معنادار بین متغیرهای مستقل (دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و بارش) و متغیر وابسته، از همبستگی پیرسون (Pearson correlation) استفاده شد. شرط اساسی برای استفاده از ضریب همبستگی پیرسون (Pearson correlation)، نرمال بودن متغیر وابسته می‌باشد. به منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون‌های اندرسون-دارلینگ (Anderson-Darling)، شاپیرو-ویلک (Shapiro-Wilk) و کولموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) استفاده می‌شود. از آنجا که نتایج حاصل از آزمون‌های کولموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) و شاپیرو-ویلک (Shapiro-Wilk) برای تعداد نمونه‌های کم یکسان می‌باشد، لذا در مطالعه حاضر از آزمون شاپیرو-ویلک (Shapiro-Wilk) جهت بررسی نرمال بودن داده‌ها استفاده شد. همانطور که مشاهده می‌شود، متغیر وابسته دارای توزیع نرمال نمی‌باشد. در صورت نرمال نبودن داده‌ها از روش‌های مختلف تبدیل داده‌های غیرنرمال به نرمال مانند روش تبدیل لگاریتمی استفاده شد. بنابراین با استفاده از تبدیل لگاریتمی به نرمال کردن متغیر وابسته پرداخته شده (جدول ۱).

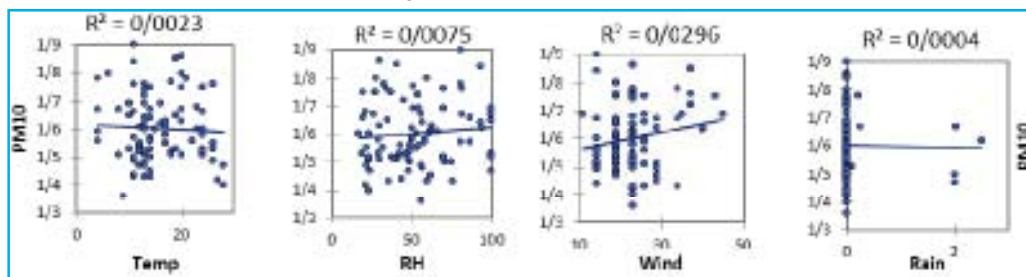
بر اساس نتایج همبستگی پیرسون (Pearson correlation) بین PM₁₀ و پارامترهای هواشناسی، در فصل بهار و تابستان، PM₁₀ با دما و سرعت باد همبستگی مستقیم داشت، در حالی که با بارش دارای همبستگی معکوس بود (جدول ۲). همچنین بر



شکل ۳. رابطه رگرسیونی بین پارامترهای هواشناسی و غلظت PM_{10} در فصل بهار سال ۱۳۹۲



شکل ۴. رابطه رگرسیونی بین پارامترهای هواشناسی و غلظت PM_{10} در فصل تابستان سال ۱۳۹۲



شکل ۵. رابطه رگرسیونی بین پارامترهای هواشناسی و غلظت PM_{10} در فصل پاییز سال ۱۳۹۲

معادله (۲)

معادله

$$PM_{10} = 1.016 + 0.011(\text{دما}) + 0.001(\text{رطوبت نسبی}) + 0.001(\text{سرعت باد}) + 0.002(\text{بارش})$$

معادله (۳)

معادله

$$PM_{10} = 1.055 + 0.012(\text{دما}) + 0.012(\text{رطوبت نسبی}) + 0.002(\text{سرعت باد}) + 0.004(\text{بارش})$$

صحت مدل با برآورد داده‌های PM_{10} از طریق مدل به دست آمده مورد ارزیابی قرار گرفت و از طریق وجود رابطه معنادار بین مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر اندازه‌گیری شده (واقعی) بررسی شد. نتایج حاکی از اطمینان ۹۵ درصد بود. همچنین مقادیر R^2 در فصول بهار، تابستان و پاییز به ترتیب برابر با ۰/۱۳۵، ۰/۲۵۸ و ۰/۰۴۶ بود (شکل ۶).

همچنین به منظور بررسی تأثیر معنادار متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته از رگرسیون استفاده شد. بر اساس نتایج رگرسیون خطی، آلودگی ذرات معلق به پارامترهای جوی وابسته است. با توجه به نتایج جدول ۳ و با توجه به ضریب تشخیص در این مدل، مشاهده می‌شود که ۱۳، ۲۵ و ۶ درصد از تغییرات PM_{10} به ترتیب در فصول بهار، تابستان و پاییز، به وسیله پارامترهای هواشناسی استفاده شده در این مدل تشریح می‌شوند (جدول ۳). معادلات مدل خطی پس از استفاده از مدل رگرسیون برای دوره مورد بررسی به شرح زیر می‌باشند:

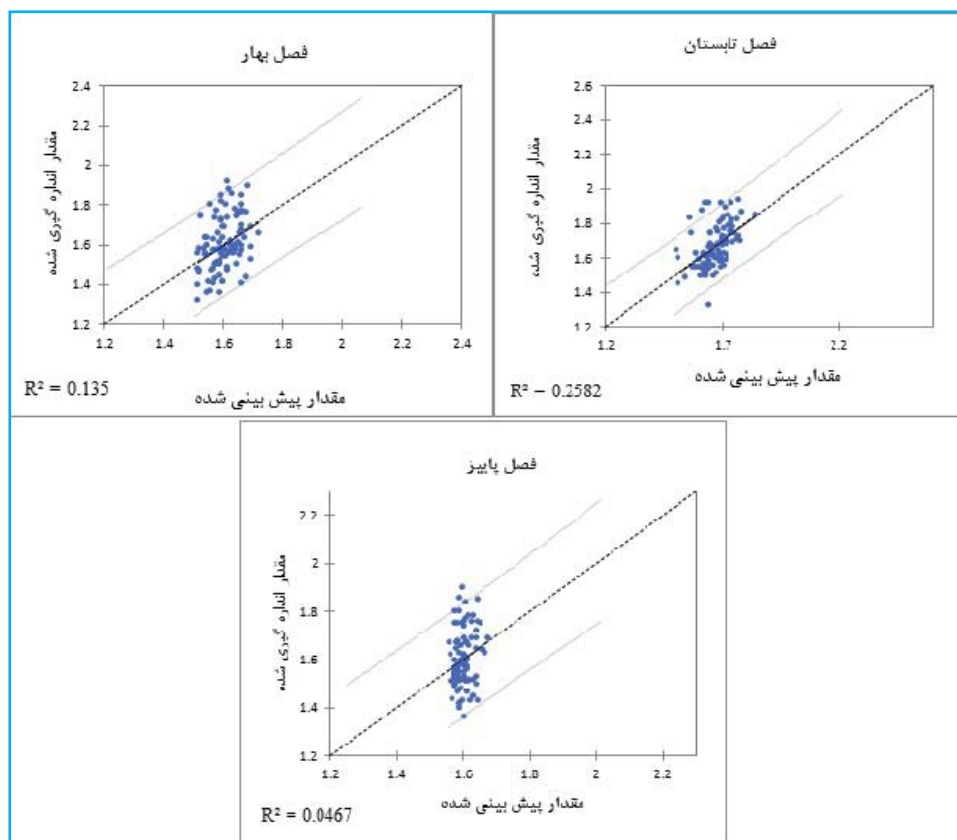
معادله (۱)

معادله

$$PM_{10} = 1.25 + 0.012(\text{دما}) + 0.001(\text{رطوبت نسبی}) + 0.001(\text{سرعت باد}) + 0.002(\text{بارش})$$

جدول ۳. بررسی تأثیر معنادار متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته از طریق رگرسیون

فصل	متغیرها	ضرایب	t	Sig.	روش	R ^۲	R ^۲ تعدیل شده	F	Sig.
بهار	(Constant)	۱/۲۵۲	۱۰/۵۳۶	۰/۰۰۰	Enter	۰/۱۳۶	۰/۰۹۷	۳/۴۶۰	۰/۰۱۱
	دما	۰/۰۱۲	۳/۲۴۴	۰/۰۰۲					
	رطوبت نسبی	۰/۰۰۱	۱/۰۹۳	۰/۲۷۷					
	سرعت باد	۰/۰۰۱	۰/۷۳۴	۰/۴۶۵					
	بارش	۰/۰۰۲	۰/۱۷۵	۰/۸۶۲					
تابستان	(Constant)	۱/۰۹۹	۸/۶۳۱	۰/۰۰۰	Enter	۰/۲۵۷	۰/۲۲۳	۷/۶۱۵	۰/۰۰۰
	دما	۰/۰۱۱	۲/۳۷۵	۰/۰۲۰					
	رطوبت نسبی	۰/۰۰۱	۱/۳۷۶	۰/۱۷۲					
	سرعت باد	۰/۰۰۹	۳/۷۴۸	۰/۰۰۰					
	بارش	-۰/۰۳۶	-۱/۲۳۰	۰/۲۲۲					
پاییز	(Constant)	۱/۶۵۵	۱۹/۹۰۹	۰/۰۰۰	Enter	۰/۰۶۴	۰/۰۲۰	۱/۴۵۱	۰/۲۲۴
	دما	-۰/۰۱۲	-۱/۶۶۴	۰/۱۰۰					
	رطوبت نسبی	۰/۰۱۲	۱/۵۲۶	۰/۱۳۱					
	سرعت باد	۰/۰۰۲	۱/۳۶۵	۰/۱۷۶					
	بارش	-۰/۰۲۷	-۰/۹۷۷	۰/۳۳۱					



شکل ۶. رابطه بین مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر اندازه‌گیری شده در فصول بهار، تابستان و پاییز سال ۱۳۹۲

بحث

بر اساس استاندارد کیفیت هوای آزاد سازمان حفاظت محیط زیست ایران، استاندارد ذرات معلق کوچک‌تر از 10 mg/m^3 (PM_{10})، حدود $150 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ برای 24 h می‌باشد، بر این اساس، در مطالعه حاضر غلظت ماهانه PM_{10} در تمام ماه‌های مورد مطالعه بیشتر از حد مجاز بود. همچنین بر اساس غلظت روزانه، میزان غلظت PM_{10} در ۲۲ مرداد، بیش از ۷ برابر استاندارد تعریف شده بود. در تابستان به دلیل کاهش بارش‌ها، خشکی هوا، تبخیر زیاد و وزش بادهای ۱۲۰ روزه، غلظت PM_{10} افزایش می‌یابد. در مطالعه Shahsavani و همکاران (۲۰۱۱) که در شهر اهواز بر روی ذرات گردوغبار انجام شد، بیشترین تعداد روزهای گردوغباری در ماه‌های تیر و خرداد مشاهده شد. دلایل تشدید پدیده گرد و غبار در اهواز، افزایش تعداد روزهای گردوغباری در کشور عراق و خشک شدن زمین‌های باتلاقی موجود بین دجله و فرات گزارش شد که از جمله دلایل اصلی آن، بهره‌برداری کشور سوریه و به‌خصوص ترکیه از سدهای احداث شده بر روی رودخانه‌های دجله و فرات می‌باشد (۷). مطالعه Shariepour (۲۰۱۰) که در شهر تهران صورت گرفت، نشان داد که عامل افزایش خشکی هوا در تابستان به افزایش غلظت PM_{10} در این فصل کمک می‌کند (۱۲). همچنین در مطالعه Nazari و همکاران (۲۰۱۳) که در شهر کرمانشاه انجام شد، بالاترین غلظت PM_{10} مربوط به فصول تابستان (به ویژه ماه‌های تیر و مرداد) و بهار (به ویژه ماه خرداد) بود (۸). در مطالعه حاضر برای بررسی اثر فاکتورهای هواشناسی بر روی غلظت PM_{10} ، از همبستگی پیرسون (Pearson correlation) و معادلات رگرسیون خطی استفاده شد. همبستگی پیرسون (Pearson correlation) بین PM_{10} و پارامترهای هواشناسی نشان داد PM_{10} با دما و سرعت باد همبستگی مستقیم دارد، در حالی که با بارش و رطوبت نسبی همبستگی معکوس دارد. همچنین سرعت باد و دما حداکثر سطح معنی‌داری را با PM_{10} داشتند، در حالی که بارش و رطوبت نسبی با PM_{10} رابطه معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. نتایج تحقیق‌های

مشابه نیز بر اثبات این موضوع تأکید می‌کنند. برای مثال در مطالعه Dominick و همکاران (۲۰۱۲) که در شهر مالزی صورت گرفت، PM_{10} با دما همبستگی مستقیم ولی با رطوبت نسبی همبستگی منفی داشت (۱۰). نتایج مطالعه Masoudi و همکاران (۲۰۱۶) که در شهر تهران بر روی آلاینده PM_{10} انجام شد، نشان داد PM_{10} با سرعت باد دارای همبستگی مثبت و با بارش و نقطه شبنم دارای همبستگی منفی است (۱۳). در مطالعه Ahmadi و همکاران (۲۰۱۵) که در شهر سمنان صورت گرفت، PM_{10} با دمای حداکثر و سرعت باد همبستگی مثبت داشت، در حالی که با بارش و رطوبت نسبی همبستگی منفی داشت (۱۴).

نتیجه‌گیری

در این مطالعه به منظور بررسی ارتباط بین PM_{10} و پارامترهای هواشناسی از تحلیل‌های آماری همبستگی و معادلات رگرسیون خطی استفاده شد. بر اساس نتایج بدست آمده، مشخص شد که بارش و رطوبت نسبی تأثیر معکوس بر روی میزان غلظت PM_{10} دارند به طوری که افزایش بارش باعث کاهش غلظت PM_{10} می‌شود. در حالی که با افزایش دما و سرعت باد میزان غلظت ذرات معلق بیشتر می‌شود. همچنین ضریب تشخیص در این مدل، حاکی از آن است که ۱۳، ۲۵ و ۶ درصد از تغییرات PM_{10} به ترتیب در فصول بهار، تابستان و پاییز، به‌وسیله پارامترهای هواشناسی استفاده شده در این مدل تشریح می‌شوند. باتوجه به نتایج فوق می‌توان گفت که شرایط هواشناسی نامطلوب ممکن است به افزایش غلظت PM_{10} منجر شود. بنابراین ممکن است که کمبود بارندگی و رطوبت هوا و الگوهای فصلی باد شرایط آلودگی PM_{10} را در زاهدان، به ویژه در فصل‌های گرم سال ایجاد کرده باشند. با توجه به غلظت بسیار بالای گرد و غبار در استان سیستان و بلوچستان، همچنین اثرات مضر گرد و غبار بر سلامت ساکنین این مناطق لزوم تحقیق بیشتر و پیگیری مسئولان در رفع این معضل زیست محیطی آشکارتر می‌گردد.

تشکر و قدردانی

با سپاس ویژه از سازمان هواشناسی شهرستان زاهدان که با در اختیار گذاشتن داده‌های مورد نیاز و همچنین نظرات ارزشمند

متخصصان این سازمان، ما را در انجام این پژوهش یاری رساندند.

Reference:

1. Sousa SIV, Martins FG, Pereira MC, Alvim-Ferraz MCM, Ribeiro H, Oliveira M et al. Influence of atmospheric ozone, PM10 and meteorological factors on the concentration of airborne pollen and fungal spores. *Atmospheric Environment* 2008; 42(32): 7464-7452.
2. Ketabi D, Esmaili R, Alidadi H, Peirovi R, Joulaei F. Evaluation of Mashhad City Air Quality based on Air Quality Index (AQI). *Journal of Research in Environmental Health* 2015; 2(3): 236-228. (Persian)
3. McKendry IG. PM10 levels in the Lower Fraser Valley, British Columbia, Canada: an overview of spatiotemporal variations and meteorological controls. *Journal of the Air & Waste Management Association* 2000; 50(3): 452-443.
4. Krueger BJ, Grassian VH, Cowin JP, Laskin A. Heterogeneous chemistry of individual mineral dust particles from different dust source regions: the importance of particle mineralogy. *Atmospheric Environment* 2004; 38(36): 6261-6253.
5. Wang YQ, Zhang XY, Arimoto R, Cao JJ, Shen ZX. Characteristics of carbonate content and carbon and oxygen isotopic composition of northern China soil and dust aerosol and its application to tracing dust sources. *Atmospheric Environment* 2005; 39(14): 2642-2631.
6. Goudie AS, Middleton N. *Desert Dust in the Global System*. 1st ed. Berlin: Springer 2006; 278-153.
7. Shahsavani A, Yarahmadi M, Mesdaghinia A, Younesian M, Jaafarzadeh N, Naimabadi M, et al. Analysis of Dust Storms Entering Iran with Emphasis on Khuzestan Province. *Hakim Research Journal* 2011; 15(3): 202-192.
8. Nazari Z, Khorasani N, Feiznia S, Karami M. Investigation of Temporal Variations of PM10 Concentration and Influence of Meteorological Parameters on it During 2005-2010. *Journal of Natural Environment* 2013; 66(1): 111-101. (Persian)
9. Najafpoor AA, Joneidi Jafari A, Dousti S. Trend analysis of Air Quality Index criteria pollutants (CO, NO2, SO2, PM10 and O3) concentration changes in Tehran metropolis and its relationship with meteorological data, 2001-2009. *Journal of Health in the Field* 2014; 3(2): 26-17. (Persian)
10. Dominick D, Latif MT, Juahir H, Aris AZ, Zain, SM. An assessment of influence of meteorological factors on PM 10 and NO 2 at selected stations in Malaysia. *Sustainable Environment Research* 2012; 22(5): 315-305.
11. Tecer LH, Süren P, Alagha O, Karaca F, Tuncel G. Effect of meteorological parameters on fine and coarse particulate matter mass concentration in a coal-mining area in Zonguldak, Turkey. *Journal of the Air & Waste Management Association* 2008; 58(4): 552-543.
12. Shariepour, Z. Seasonal and daily variation of air pollutants and their relation to meteorological parameters. *Journal of the Earth and Space Physics* 2010; 35(2): 137-119. (Persian)
13. Masoudi M, Sakhaei M, Behzadi F, Jokar P. Status of PM10 as an air pollutant and its prediction using meteorological parameters in Tehran, Iran. *Fresenius environmental bulletin* 2016; 25(6): 2017-2008.
14. Ahmadi H, Ahmadi T, Shahmoradi B, Mohammadi S, Kohzadi S. The effect of climatic parameters on air pollution in Sanandaj, Iran. *Journal of Advances in Environmental Health Research* 2015; 3(1): 61-49.
15. Makhdoum M. *Fundamental of land use planning*. 6th ed. Tehran: Tehran University Press; 2006. (Persian).