

بررسی تغییرات زمانی غلظت PM_{10} و تأثیر پارامترهای هواشناسی بر آن طی سال‌های ۱۳۸۴ - ۱۳۸۹

زینب نظری*^۱، نعمت‌الله خراسانی^۲، سادات فیض‌نیا^۲، محمود کرمی^۲

۱. کارشناس ارشد مهندسی منابع طبیعی _ محیط‌زیست، دانشگاه تهران

۲. استاد، دانشکده پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۳/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۵/۲

چکیده

پدیده گرد و خاک و تولید ذرات معلق (PM_{10}) یکی از پدیده‌های جوی مناطق خشک و نیمه‌خشک و با مناطق هم‌جوار با این گونه نواحی است که مخاطرات زیست‌محیطی زیادی به همراه دارد. هدف این تحقیق بررسی تغییرات زمانی PM_{10} طی سال‌های ۱۳۸۴ - ۱۳۸۹ و بررسی تأثیر پارامترهای هواشناسی بر غلظت آن است. اطلاعات هواشناسی ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه طی دوره آماری ۱۳۸۴ - ۱۳۸۹ و نمونه‌های غلظت PM_{10} از ایستگاه کنترل کیفی هوا در کرمانشاه به صورت هم‌زمان جمع‌آوری شدند و سپس به منظور تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار EXCEL و SPSS استفاده شد. نتایج حاصل از بررسی تغییرات زمانی غلظت PM_{10} نشان می‌دهد ماه تیر حداکثر غلظت و ماه دی حداقل مقدار را به خود اختصاص داده است. درنهایت، بررسی تغییرات سالانه PM_{10} حاکی از آن است که بیشترین غلظت PM_{10} متعلق به سال ۱۳۸۸ بوده است. همچنین، نتایج حاصل از این بررسی نشان می‌دهد که متغیرهای رطوبت نسبی، بارندگی و درصد باد آرام با PM_{10} رابطه معکوس و متغیرهای دما، درصد باد غالب و سرعت باد غالب با آن رابطه مستقیم دارند. بنابراین، می‌توان گفت که پارامترهای هواشناسی، غلظت PM_{10} را تا حد زیادی تحت تأثیر قرار داده‌اند.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای هواشناسی و کرمانشاه، گرد و خاک، PM_{10} .

۱. مقدمه

ذرات معلق به ذراتی اطلاق می‌شود که به صورت پراکنده (جامد یا مایع) در واسطه‌ی گازی قرار گرفته باشند (Erfanmanesh & Afyuni, 2002). در سال‌های اخیر، ذرات معلق به مثابه‌ی یکی از آلاینده‌های هوا (خواه با منشأ طبیعی و خواه با منشأ مصنوعی) توجه زیادی را به خود معطوف کرده‌اند و این امر به دلیل نقش آن‌ها در تغییر آب و هوای جهانی، ایجاد مسائل آلودگی و خطرهای بهداشتی است. ذرات معلق در جذب و پراکنش تابش‌های ورودی خورشید تأثیر دارند و مستقیماً در تعادل تابشی اختلال ایجاد می‌کنند. هم‌چنین، به عنوان هسته‌ی تراکم قطرات ابر، می‌توانند تشکیل ابر و بارش را تحت تأثیر قرار دهند (Han et al., 2008).

مطالعات متعددی در زمینه‌ی ذرات معلق (PM₁₀) انجام شده است که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

بررسی انتشارات فضایی دی‌اکسید گوگرد، ذرات معلق و فلزات سمی ناشی از منابع بزرگ صنعتی در بمبئی هند نشان داد که مصرف کل انرژی ناشی از سوخت فسیلی در بخش صنعت شامل ۲۹ درصد مصرف سوخت در نیروگاه‌ها بوده است. در میان صنایع، نیروگاه‌های حرارتی منبع اصلی انتشارات در منطقه بوده‌اند که انتشارات آن‌ها شامل ۲۷ درصد دی‌اکسید گوگرد، ۱۹ درصد ذرات معلق و ۶۲ درصد فلزات بود (Bhanarkar et al., 2005).

ویژگی‌های شیمیایی ذرات معلق در فصل زمستان در جنوب تایوان مشخص شد و برای شناسایی منابع عمده‌ی آلوده‌کننده‌ی هوا در ایستگاه‌های مورد بررسی از مدل ضریب انتقال گاوسی^۱ استفاده

شد. نتایج نشان داد که مهم‌ترین کمک‌کننده‌ی ذرات معلق براساس جرم، سولفات، کربن آلی، نیترات، کربن عنصری و آمونیوم با هم ۸۶ - ۸۷/۹ درصد از کل نمک‌های محلول معدنی PM_{2.5} و ۶۸/۹ - ۷۸/۳ درصد از کل نمک‌های محلول غیرآلی PM_{2.5-10} را تشکیل می‌دهند. سهم‌بندی منبع نشان داد که منابع نقطه‌ای بزرگ‌ترین منبع PM₁₀ بودند (Tsai & Chen, 2006).

ذرات معلق در ناحیه‌ی کراکوه^۲ در لهستان از نظر اندازه به سه گروه طبقه‌بندی شد که شامل ذرات ریز با قطر کمتر از ۲/۵ μm، متوسط با قطر بین ۲/۵ - ۸ μm و ذرات درشت با قطر بیشتر از ۸ μm بود. سپس، داده‌های حاصل از تحلیل نمونه‌ها و غلظت‌های عنصری مربوط به هر طبقه‌ی ذرات از طریق مقایسه‌ی غلظت عناصر در بخش‌های گوناگون و فصل‌های گوناگون بررسی شد (Samek, 2009).

ترکیب شیمیایی و غلظت عنصری ذرات معلق اتمسفری در ایستگاه مونت‌گانگا^۳ در چین تعیین شد. سپس، با محاسبه‌ی فاکتور غنی‌سازی و تحلیل خط سیر توده‌ی هوای معکوس، به بررسی منشأ ذرات معلق پرداخته شد (Yangjie et al., 2009).

ذرات معلق PM₁₀ مربوط به چهار فصل سال در پنج مکان نمونه‌گیری در شهر هانزو^۴ در جنوب چین بررسی شد. پس از تحلیل نمونه‌ها و تعیین غلظت ۲۲ عنصر کمیاب و پنج یون اصلی^۵ و کربن آلی و عنصری، با استفاده از فرمول فاکتور غنی‌سازی و نسبت نیترات به سولفات، به بررسی منشأ آن‌ها پرداخته شد (Cao et al., 2009).

میزان آلودگی ذرات معلق در هوای شهر

² Krakow

³ Mount Gongga

⁴ Hanzhou

⁵ (NH₄⁺، SO₄²⁻، NO₃⁻، Cl⁻، F⁻)

¹ Gaussian Trajectory Transfer Coefficient Model (GTx)

کرمانشاه بررسی شود. هم‌چنین، از آنجاکه پارامترهای هواشناسی از قبیل دما، رطوبت نسبی، بارندگی، سرعت و جهت باد می‌توانند بر میزان غلظت و پراکنش آلاینده‌ها از جمله ذرات معلق مؤثر باشند، در این تحقیق، به بررسی رابطه غلظت PM_{10} با پارامترهای هواشناسی نیز پرداخته شده است.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. آب و هوا

میانگین ماهیانه و فصلی پارامترهای هواشناسی (دما، رطوبت نسبی، بارندگی و سرعت باد) در شهر کرمانشاه در جدول ۱ نشان داده شده است. آب و هوای کرمانشاه از گرم و نیمه‌خشک در تابستان تا سرد و نیمه‌خشک در زمستان تغییر می‌کند. مقدار بارش نشان می‌دهد که تابستان حداقل بارش و زمستان حداکثر بارش را به خود اختصاص می‌دهد. تغییر بارش از سالی به سال دیگر ممکن است، از طریق ته‌نشست مرطوب، بر غلظت PM_{10} تأثیر بگذارد. هم‌چنین، تغییرات الگوهای باد می‌تواند در سطح غلظت PM_{10} مؤثر باشد. با توجه به داده‌های سرعت باد غالب، بادهای با سرعت بالاتر در فصل‌های بهار و تابستان و بادهای با سرعت پایین‌تر در فصل‌های پاییز و زمستان می‌وزند. جهت باد غالب در فصل‌های بهار و تابستان غربی تا شمال غربی و در فصل‌های پاییز و زمستان، در اغلب اوقات، شرقی تا جنوب شرقی است (Nazari, 2011).

۲.۲. روش‌های نمونه‌برداری و تحلیل داده‌ها

در این تحقیق، غلظت PM_{10} به‌صورت ۲۴ ساعته از فروردین ۱۳۸۴ تا شهریور ۱۳۸۹ در ایستگاه کنترل کیفی هوا در شهرستان کرمانشاه (با عرض جغرافیایی

گچساران در سال ۱۳۸۴ بررسی شده است. براساس نتایج این مطالعه، بین درجه حرارت هوا و میزان غلظت ذرات معلق رابطه مستقیمی وجود دارد. هم‌چنین، میانگین غلظت ۲۴ ساعته آلاینده‌ها در ماه‌های گوناگون نشان می‌دهد که در سه ماه اردیبهشت، تیر و مرداد غلظت ذرات معلق از حد مجاز (۲۶۰ میکروگرم بر مترمکعب) بالاتر بوده است (Jamshidi et al., 2006).

نتایج تحقیق دیگری نشان می‌دهد که میزان غلظت ذرات معلق هوای شهر یزد در برخی موارد بیش از حد استاندارد ملی است. هم‌چنین، میانگین غلظت ذرات معلق هوا در ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر و مرداد به ترتیب ۱۱۸، ۱۹۳، ۲۳۱، ۲۶۷ و ۳۳۳ میکروگرم بر مترمکعب است. میانگین کل غلظت سرب برابر ۰/۰۴ میکروگرم بر مترمکعب و کمتر از حد استاندارد است. مقدار مواد آلی و معدنی موجود در ذرات معلق کل^۱ را نیز به ترتیب ۲۵/۳۱ و ۷۴/۶۸ درصد به‌دست آورده‌اند (Naddafi et al., 2008).

میزان غلظت ذرات معلق (PM_{10} ، $PM_{2.5}$ در ایستگاه‌های واقع در محدوده مرکزی شهر تهران، براساس استاندارد جدید آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا^۲، برای ایستگاه ۱ در ۶۷ درصد نمونه‌ها و برای ایستگاه ۲ در ۲۵ درصد نمونه‌ها، بیشتر از حد استاندارد بوده است. در ایستگاه ۱، در ۸۷ درصد موارد و در ایستگاه ۲، در ۸۲ درصد موارد، $PM_{2.5}$ آلاینده مسئول بوده است (Lili et al., 2009). با توجه به نقش ذرات معلق در تغییرات آب و هوای جهانی و خطرهای بهداشتی آن، در این مقاله سعی شده است تغییرات زمانی غلظت PM_{10} در شهر

¹ Total Suspended Particles (TSP)

² Environmental Protection Agency (EPA)

جدول ۱. میانگین ماهیانه و فصلی پارامترهای هواشناسی (دما، رطوبت نسبی، بارندگی، سرعت باد) در شهر کرمانشاه

ماه‌ها و فصل‌ها	بارندگی (mm)	دما (°C)	رطوبت نسبی (%)	سرعت باد غالب (m/s)	سرعت باد (m/s)
فروردین	۵۸/۲	۱۲/۳	۵۳	۴/۲	۴/۴
اردیبهشت	۳۷/۰۳	۱۷/۹	۵۰	۴/۴	۴/۰
خرداد	۲/۵۶	۲۴/۴	۲۹	۲۳/۵	۴/۲
بهار	۳۲/۶۲	۱۸/۲	۴۵	۱۰/۷	۴/۲
تیر	۰/۰۳۳	۲۸/۶	۲۰	۴/۵	۴/۰
مرداد	۰/۱۶	۲۹/۸	۲۰	۴/۶	۴/۰
شهریور	۴/۶۲	۲۴/۹	۲۲	۴/۵	۴/۱
تابستان	۱/۶	۲۷/۸	۲۰	۴/۵	۴/۰
مهر	۴/۵۲	۱۹/۵	۳۰	۳/۶	۳/۶
آبان	۷۷/۸۲	۱۱/۵	۵۷	۳/۸	۳/۷
آذر	۳۳/۱۶	۵/۷	۶۷	۳/۴	۳/۳
پاییز	۳۸/۵	۱۲/۷	۵۰	۳/۶	۳/۵
دی	۳۸/۳۸	۰/۵	۶۹	۳/۸	۳/۷
بهمن	۷۵/۵	۳/۶	۵۵	۳/۹	۴/۱
اسفند	۳۴/۴	۸/۳	۴۴	۴/۳	۴/۲
زمستان	۴۹/۴۲	۶/۱	۶۴	۴/۰	۴/۰

(Jamshidi et al., 2006). همبستگی درجه ارتباط بین متغیرها را نشان می‌دهد، ولی تحلیل رگرسیون روشی آماری است که در آن رابطه بین متغیرها بررسی می‌شود (Bihamta & Zare Chahouki, 2009). در این تحقیق، داده‌ها دارای مقیاس فاصله‌ای و نسبتی با توزیع نرمال‌اند؛ بنابراین، برای تعیین همبستگی از ضریب همبستگی پیرسون در محیط نرم‌افزار SPSS استفاده شد. با رسم نمودار پراکنش، شکل پراکنش متغیرها به صورت خطی بود؛ بنابراین، برای برازش رابطه مناسب می‌توان از رگرسیون خطی استفاده کرد (Bihamta & Zare Chahouki, 2009). به دلیل وجود هم‌خطی بین متغیرهای مستقل (دما، رطوبت نسبی، بارندگی، درصد باد آرام، سرعت و درصد باد غالب) از رگرسیون خطی ساده استفاده شد. پارامترهای جوی، همانند سرعت و جهت باد، تغییرات دما، رطوبت نسبی، مدت زمان دوام باد و

۴۹° ۰۶' و طول جغرافیایی ۲۳° ۲۱' ۳۴°) با دستگاه نمونه‌برداری ذرات معلق (Japanese Oryba Model) اندازه‌گیری شد. میانگین پارامترهای هواشناسی از جمله دما، رطوبت نسبی، بارندگی، درصد باد آرام، سرعت و درصد باد غالب از فروردین ۱۳۸۴ تا شهریور ۱۳۸۹ از ایستگاه هواشناسی کرمانشاه (با عرض جغرافیایی ۴۷° ۰۹' و طول جغرافیایی ۳۴° ۲۱' به دست آمد. میانگین ماهیانه، فصلی و سالیانه غلظت PM10 از مقادیر ساعتی آن با نرم‌افزار EXCEL محاسبه شد. سپس، تغییرات ماهیانه، فصلی و سالیانه ذرات معلق به صورت نمودار ستونی ترسیم شد (Zhoa et al., ; Coa et al., 2009). از آنجاکه یکی از اهداف این مطالعه، بررسی رابطه غلظت PM10 با پارامترهای هواشناسی است، به منظور تعیین ارتباط منطقی بین متغیرهای مورد بررسی از تحلیل رگرسیون و همبستگی استفاده شد

افزایشی را نشان می‌دهد (شکل ۱).

۳.۲. تغییرات فصلی غلظت PM_{10} در سال‌های گوناگون

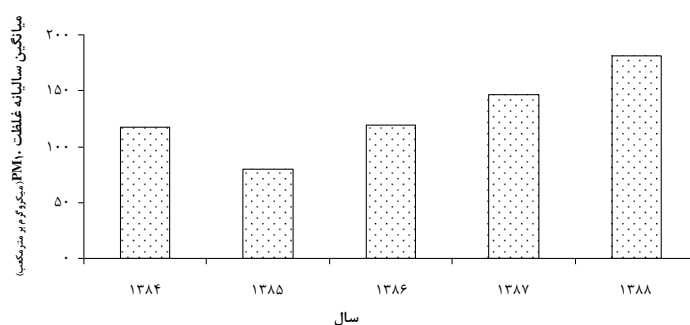
حداکثر غلظت PM_{10} به فصل تابستان با میانگین $267/79 \mu g/m^3$ در سال ۱۳۸۸ و فصل بهار با میانگین $204/98 \mu g/m^3$ در سال ۱۳۸۷ مربوط است. غلظت PM_{10} در فصل‌های پاییز و زمستان، به‌خصوص در سال‌های بدون وقوع گردوغبار، پایین است. غلظت PM_{10} در فصل بهار تا تابستان روند افزایشی و به دنبال آن تا فصل زمستان روند کاهش‌ی را نمایش می‌دهد (شکل ۲).

بارندگی، کیفیت هوا را به‌طور ویژه‌ای تغییر می‌دهند و باعث پاک‌سازی هوا می‌شوند (Zhoa et al., 2009; Yngjie et al., 2009; Coa et al., 2009). بنابراین، در این تحقیق به بررسی چگونگی رابطه این متغیرها و غلظت ذرات معلق (یکی از آلاینده‌های هوا) پرداخته شده است.

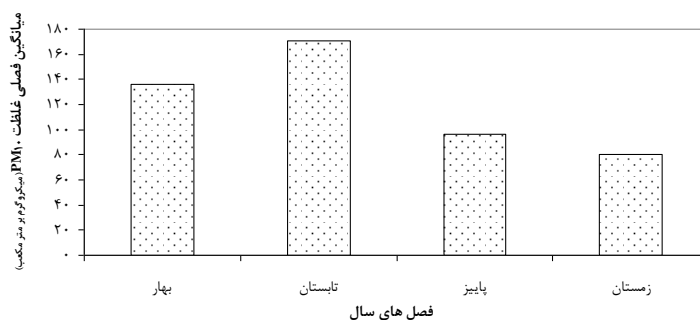
۳.۳. نتایج

۳.۳.۱. تغییرات سالانه غلظت PM_{10}

حداکثر غلظت PM_{10} به سال ۱۳۸۸ با میانگین $182/52 \mu g/m^3$ و حداقل غلظت آن به سال ۱۳۸۵ با میانگین $80/20 \mu g/m^3$ مربوط است. غلظت PM_{10} از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۸ (به‌جز سال ۱۳۸۵) روند



شکل ۱. میانگین سالیانه ذرات معلق طی سال‌های ۱۳۸۴-۱۳۸۸



شکل ۲. میانگین فصلی ذرات معلق طی سال‌های ۱۳۸۴-۱۳۸۹

(گرم‌ترین ماه سال) با میانگین $222/42 \mu g/m^3$ و در فصل بهار در ماه خرداد با میانگین $161/3 \mu g/m^3$ و در فصل پاییز در ماه مهر با میانگین $123/65 \mu g/m^3$ و در فصل زمستان در اسفندماه با میانگین

۳.۳.۳. تغییرات ماهیانه غلظت PM_{10} در سال‌های گوناگون

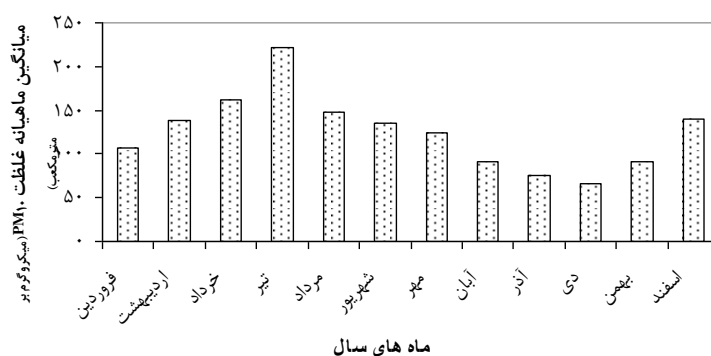
حداکثر غلظت PM_{10} در فصل تابستان در ماه تیر

۵، ۶، ۷، ۸ و ۹ نشان داده شده است. نتایج آزمون همبستگی پیرسون ارتباط خطی مستقیم درجه حرارت ($r=0/81, P<0/01$)، درصد باد غالب ($0/52$)، $r=0/71, P<0/01$ و سرعت باد غالب ($r=0/63, P<0/05$) و غلظت PM₁₀ و ارتباط خطی معکوس رطوبت نسبی ($r=0/81, P<0/01$)، بارندگی ($r=0/63, P<0/05$) و درصد باد آرام با غلظت PM₁₀ را نشان می‌دهد. به طوری که با افزایش درجه حرارت، درصد باد غالب و سرعت باد غالب و با کاهش رطوبت نسبی، بارندگی و درصد باد آرام، میزان غلظت PM₁₀ افزایش یافته است.

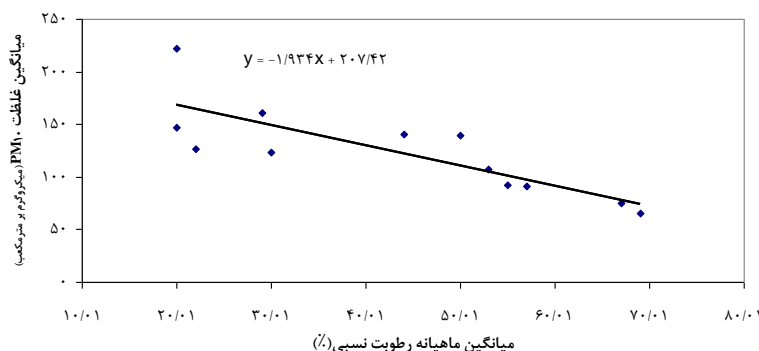
۱۴۰/۴۹ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ مشاهده شده است. در بین ماه‌های مختلف، ماه تیر حداکثر غلظت و ماه دی حداقل مقدار را به خود اختصاص داده‌اند. غلظت PM₁₀ از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۹ به صورت ماهیانه از ماه فروردین تا ماه تیر روند افزایشی داشته است، سپس تا دی‌ماه کاهش یافته و به دنبال آن از بهمن ماه تا اسفند ماه روند افزایشی را نشان می‌دهد (شکل ۳).

۳.۴. بررسی رابطه غلظت PM₁₀ با پارامترهای هواشناسی

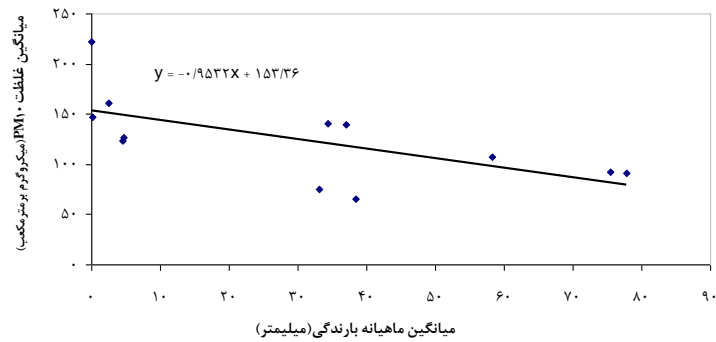
رابطه رگرسیونی بین پارامترهای هواشناسی با غلظت PM₁₀ طی سال‌های ۱۳۸۴ - ۱۳۸۸ در شکل‌های ۴،



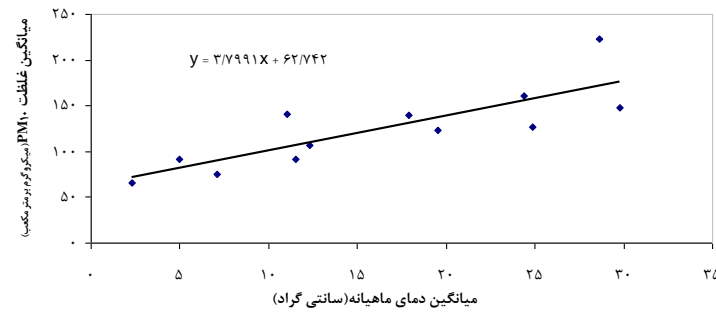
شکل ۳. میانگین ماهیانه ذرات معلق طی سال‌های ۱۳۸۴ - ۱۳۸۹



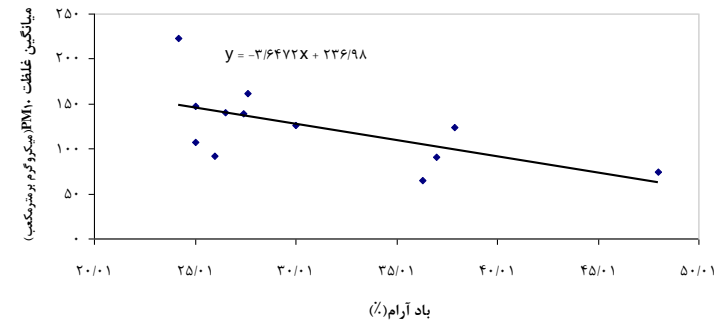
شکل ۴. رابطه رگرسیونی بین میانگین ماهیانه رطوبت نسبی و غلظت PM₁₀ طی سال‌های ۱۳۸۴ - ۱۳۸۸



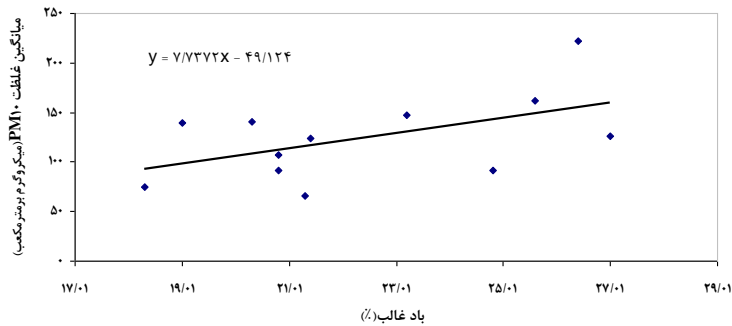
شکل ۵. رابطه رگرسیونی بین میانگین ماهیانه بارندگی و غلظت PM₁₀ طی سال‌های ۱۳۸۴ - ۱۳۸۸



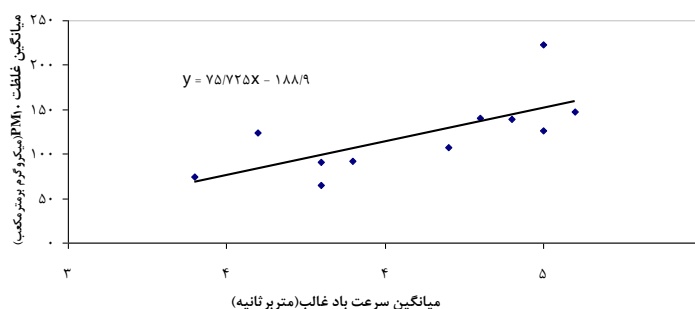
شکل ۶. رابطه رگرسیونی بین میانگین ماهیانه دما و غلظت PM₁₀ طی سال‌های ۱۳۸۴ - ۱۳۸۸



شکل ۷. رابطه رگرسیونی بین میانگین ماهیانه درصد باد آرام و غلظت PM₁₀ طی سال‌های ۱۳۸۴ - ۱۳۸۸



شکل ۸. رابطه رگرسیونی بین میانگین ماهیانه درصد باد غالب و غلظت PM₁₀ طی سال‌های ۱۳۸۴ - ۱۳۸۸



شکل ۹. رابطه رگرسیونی بین میانگین ماهیانه سرعت باد غالب و غلظت PM₁₀ طی سال‌های ۱۳۸۴ - ۱۳۸۸

۴. بحث و نتیجه‌گیری

هم‌چنین، نتایج مطالعه انجام گرفته در شهر یزد، حاکی از افزایش میزان غلظت ذرات معلق در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد است (Naddafi *et al.*, 2008). فراوانی وقوع گردوغبار در غرب ایران در اواخر بهار و اوایل تابستان بیشتر از سایر فصل‌هاست (Zolfaghari & Abedzadeh, 2005). به نظر می‌رسد افزایش غلظت ذرات معلق در سه شهر کرمانشاه، یزد و گچساران ناشی از افزایش دمای محیط، کاهش بارندگی و کاهش رطوبت نسبی باشد. در پژوهش دیگری که روی آلودگی هوا در شهر یزد انجام شده، بالابودن میزان غلظت ذرات معلق در هوا با میزان بارندگی کم و رطوبت بسیار پایین در این شهر مرتبط شناخته شده است (Ehrampush & Aminipour, 2000).

هم‌چنین، مطالعات متعددی عامل اصلی فراوانی وقوع گردوغبار و افزایش غیرطبیعی غلظت ذرات معلق در فصل‌های بهار و تابستان را ایجاد سیستم‌های کم‌فشار در کشورهای واقع در غرب ایران، ایجاد گردوغبار در این کشورها، انتقال آن با جریانات سطح زمین و سطوح میانی جو به حاشیه مرزی و نفوذ تدریجی به غرب کشور گزارش کرده‌اند (Zouravand & Shabazi, 2010; Ghasemi, 2009;) (Ataei & Ahmadi, 2010; Zolfaghari & Abedzadeh, 2005). بررسی میانگین سالانه غلظت

پدیده آلودگی هوا در مناطق شهری و صنعتی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی است که سلامت انسان را تهدید می‌کند. از مهم‌ترین این آلاینده‌ها، ذرات معلق است که به‌ازای افزایش هر ۱۰ میکروگرم بر مترمکعب آن در هوا میزان مرگ و میر روزانه تقریباً تا یک درصد افزایش می‌یابد (Cao *et al.*, 2009). براساس شاخص استاندارد آلاینده‌ها (PSI) در ماه‌های گوناگون سال که از سوی آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا ارائه شده، کیفیت هوا در بعضی روزها خارج از حد استاندارد بوده است و این امر به‌ویژه در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد کاملاً مشهود است (Nazari, 2011). تغییرات ماهیانه و فصلی معنی‌داری در غلظت PM₁₀ در کرمانشاه مشاهده شده است. بالاترین غلظت مربوط به فصل‌های تابستان (به‌ویژه ماه‌های تیر و مرداد) و بهار (به‌ویژه ماه خرداد) و پایین‌ترین غلظت مربوط به فصل‌های زمستان (به‌ویژه ماه‌های دی و بهمن) و پاییز (به‌ویژه ماه‌های آبان و آذر) است. میانگین غلظت ۲۴ ساعته آلاینده‌ها در ماه‌های گوناگون در شهر گچساران نشان می‌دهد که حداقل در سه ماه اردیبهشت، تیر و مرداد (فصل‌های تابستان و بهار) غلظت ذرات معلق بالاتر از حد مجاز بوده است (Jamshidi *et al.*, 2006).

منطقه را تعیین می‌کنند. اقلیم نیز تعیین‌کننده نوع خاک و پوشش گیاهی است (Makhdoum, 2006). براساس نتایج آزمون همبستگی پیرسون با افزایش رطوبت نسبی، بارندگی و درصد باد آرام، غلظت PM_{10} در جو زمین کاهش می‌یابد. این واقعیت از این امر ناشی می‌شود که با افزایش این متغیرها، زمان ماند ذرات معلق در اتمسفر کاهش و بنابراین، میزان رسوب آن‌ها از طریق ته‌نشست مرطوب و خشک افزایش می‌یابد (اثر مستقیم).

سرعت بالای باد، بارش‌های فراوان، بادهای پاک شمالی و ایجاد نشدن گردوغبارهای ناگهانی به‌صورت معناداری بر میزان غلظت $PM_{2.5}$ مؤثرند (Zhoa et al., 2009). پراکنش و ته‌نشست بهتر، بادهای قوی بهاری و بارش فراوان تابستان عامل کاهش غلظت $PM_{2.5}$ در فصل‌های تابستان و بهار در منطقه بیجینگ^۱ گزارش شده است (Guinot et al., 2007). براساس نتایج آزمون همبستگی پیرسون، با افزایش درصد و سرعت باد غالب میزان غلظت PM_{10} افزایش می‌یابد. این امر از این واقعیت ناشی می‌شود که در کرمانشاه بادهای غالب با جهت غربی تا شمال غربی در فصل‌های بهار و تابستان امکان حمل آلاینده‌های هوا را از غرب کشور ایجاد می‌کنند، و در مقابل، بادهای شرقی و جنوب شرقی در فصل‌های پاییز و زمستان امکان حمل هوای پاک را از استان‌های همسایه کرمانشاه و کاهش غلظت PM_{10} در این فصل‌ها را فراهم می‌کنند. بررسی تصاویر ماهواره‌ای و حرکت جریان‌های هوایی تأییدکننده این واقعیت است که این بادهای پس از عبور از کشورهای سوریه، عراق و در بعضی مواقع اردن و عربستان به منطقه غرب وارد می‌شوند. خشکسالی‌های اخیر در این مناطق باعث خشکی تالاب‌ها، هدررفت آب رودخانه‌ها و پشت‌سدها و لخت شدن خاک این مناطق از پوشش گیاهی شده است، بنابراین، هرچه درصد و سرعت باد غالب در این منطقه افزایش یابد،

PM_{10} حاکی از آن است که غلظت PM_{10} در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸، در مقایسه با دیگر سال‌ها، افزایش چشم‌گیری یافته است. براساس تحقیقات اخیر اداره کل تحقیقات کاربردی هواشناسی کرمانشاه (2010)، خشک‌سالی بسیار شدیدی در سال آبی ۸۶-۸۷ (تابستان و بهار ۸۷ و پاییز و زمستان ۸۶) در منطقه مورد مطالعه و حتی در کشورهای همسایه همانند عراق، سوریه و ... روی داده است که کاهش منابع آبی و رشد پوشش گیاهی، افزایش فرسایش خاک، و به‌دنبال آن، افزایش ذرات معلق در سال‌های اخیر پیامد این خشکسالی‌ها بوده است.

میزان همبستگی بالای دو پارامتر دما و رطوبت نسبی ($r=0/81$) با PM_{10} در مقایسه با سایر پارامترها حاکی از تأثیر بسیار زیاد این دو پارامتر در غلظت PM_{10} است. رطوبت نسبی به‌طور مستقیم با تغییرات حرارت در ارتباط است. بنابراین در شرایطی که رطوبت نسبی بسیار بالا باشد، کاهش درجه حرارت باعث ریزش باران یا برف می‌شود (Ardakani, 2003) و از طریق ته‌نشست مرطوب امکان کاهش غلظت ذرات معلق را فراهم می‌آورد. بالابودن رطوبت نسبی و نیز ریزش‌های جوی در فصل بهار عامل کاهش غلظت ذرات معلق در شهر یزد در این فصل گزارش شده است (Naddafi et al., 2008). جمشیدی و همکاران (2006) نیز به همبستگی بالای درجه حرارت هوا با میزان غلظت ذرات معلق ($r=0/823$, $P<0/001$) اشاره کرده‌اند.

در این زمینه، ذکر این نکته لازم است که افزایش دما باعث کاهش رطوبت خاک می‌شود و این مسئله خود در کاهش سرعت آستانه و در نتیجه افزایش توان باد و حمل خاک بسیار حائز اهمیت است (Mohammedan Behbahani, 2006). هم‌چنین، بارندگی و دما به‌طور غیرمستقیم از طریق تأثیر بر پوشش گیاهی می‌توانند در تولید و میزان غلظت ذرات معلق مؤثر باشند، زیرا این دو پارامتر نوع اقلیم

¹ Beijing

بارندگی و رطوبت هوا (جدول ۱) و الگوهای فصلی باد شرایط آلودگی PM₁₀ را در کرمانشاه، به‌ویژه در فصل‌های گرم سال، ایجاد کرده باشند. براساس مطالعات متعدد، کشورهای همسایه نظیر عراق نقش اصلی را در ورود این ذرات به منطقه دارند (Zouravand & Shabazi, 2010; Ghasemi, 2009;) (Ataei & Ahmadi, 2010; Zolfaghari & Abedzadeh, 2005). بنابراین به‌منظور جلوگیری از فرسایش خاک در مناطق مستعد به فرسایش و صعود این ذرات به جو، خواه در داخل کشور و خواه در کشورهای همسایه (عراق، سوریه، اردن، ...) همکاری‌های بین‌المللی لازم است. همچنین اقدامات عملی‌ای همچون مالچ‌پاشی و کاشت مصنوعی گیاهان، جهت رفع مشکل ذرات معلق، باید انجام شود.

میزان غلظت ذرات معلق واردشده به استان افزایش خواهد یافت. این بادهای هم‌چنین در پراکنش ذرات به استان‌های مرکزی کشور نیز نقش دارند (Nazari, 2011). الگوهای فصلی باد که در حمل آلاینده‌ها نقش تعیین‌کننده دارند، در مقایسه با دیگر عامل‌های هواشناسی در مناطق روستایی، بر غلظت PM_{2.5} تأثیرگذارند (Zhoa et al., 2009). در صورتی که جریانات سطوح بالاتر جهت غربی و جنوب غربی داشته باشند، این جریانات می‌توانند غبار و گرد و خاک ایجادشده در جو این مناطق را به سطوح میانی جو نواحی جنوب غربی و جنوبی و غرب ایران منتقل کنند (Haideri, 2009).

باتوجه به نتایج فوق می‌توان گفت که شرایط هواشناسی نامطلوب ممکن است به افزایش غلظت PM₁₀ منجر شود. بنابراین، ممکن است که کمبود

منابع

- Ardakani, M.R (2003) *General Ecology*, second edition, Iran, Tehran, University of Tehran Press, 340.
- Ataei, H., Ahmadi, F (2010) "Dust one of the environmental problems in Islamic world (Case study: Khozestan Province)," In: *Proceedings of the Fourth International Congress of Islamic World Geographers*, Iran, Zahedan, 14-16.
- Bhanarkar, A.D., Rao, P.S., Gajghate, D.G., Nema, P (2005) "Inventory of SO₂, PM and toxic metals emissions from industrial sources in Greater Mumbai, India," *Atmospheric Environment*, 39: 3851-3864.
- Bihamta, M.R., Zare Chahouki, M.A (2009) *Principles of statistics for the natural resources*, Iran, Tehran, University of Tehran Press, 300.
- Cao, J., Shen, Zh., C.Chow, j., Qi, g., G.Watson, j (2009) "Seasonal variations and sources of mass and chemical composition for PM₁₀ cerosol in Hangzhou, China," *Journal of Particuolog*, 7: 161-168.
- Dabiri, M (1996) *Environmental pollution (air - water - soil - noise)*, Iran, Etehad Publications, 399.
- Department of Meteorology Researches in Kermanshah Province (2010) "Climate classification in Kermanshah Province," Available from 2010. www.kermanshahmet.ir.
- Ehrampush, M.H., Aminipour, M.R (2000) "Determination of some air pollutants in Yazd City," *University of Medical Sciences – Health Services of Sadoughi's martyr of Yazd*, 7(2): 25-31.
- Erfanmanesh, M., Afyuni, M (2002) *Environmental pollution (water, soil and air)*, Iran, Arkan Publications, 330.
- Ghassemi, M (2009) "Investigation of dust in Kermanshah Province," *Meteorology of Kermanshah*, 13: 4-6.
- Guinot, B., Cachier, H., Sciare, J., Tong, Y., Wang, X., Yu, J (2007) "Beijing aerosols: Atmospheric interactions and new trends," *Geophysical Resech*, 112, D14314.
- Haideri, M.T (2009) "uninvited guests and harmful phenomena," *Meteorology of Kermanshah*, 7: 4-13. in Persian.
- Han, Y.M., Cao, J.J., Jin, Z.D., ZS, AN (2008) "Elemental composition of aerosols in Daihai, a rural area in the Front Boundary of the Summer Asian Monsoon," *Atmospheric Research* 92: 229-235.
- Jamshidi, A., Karimzadeh, K., Raiganshirazi, A (2006) "Investigation of suspended particles pollution in Gachsaran air," *Armaghan of Danesh*, 12(2): 89-97. in Persian.
- Lili, M., Naddafi, K., Yonsyan, M., Mesdaghinia, A., Nazmara, Sh (2009) "Concentration of aerosols and air quality index (AQI) in the central area of Tehran," *Faculty of Health and Institute of Health Researches*, 7(1): 57-67. in Persian.
- Makhdoum, M 2006. *Fundamental of Land use planning*. University of Tehran Press, Iran, sixth edition, 289pp.
- Mohammedan Behbahani, A 2006. *Investigation and determination of movement of the fluent sands on the*

- desert roads and their control (Case Study: Yazd - Meibod Road). M.Sc. Thesis. Faculty of Natural Resources. University of Tehran. in Persian.
- Naddafi, K., Ahrampush, M.H., Jafari, V., Yonesyan, M (2008) "Investigation of total suspended particles and its ingredients in the central area of Yazd," *University of Medical Sciences- Health Services of Sadoughi's martyr of Yazd*, 16(4): 25-21. in Persian.
- Nazari, Z 2011. Investigation of Chemical Composition and Source Identification of PM₁₀ Aerosols in Kermanshah. M.Sc. Thesis. Faculty of Natural Resources. University of Tehran. 86pp. in Persian.
- Samek, L (2009) "Chemical characterization of collected metals by x-ray fluorescence method in particulate matter collected in the area of Krakow," *Poland. Microchemical Journal*, 92: 140-144.
- Yangjie, Y., Yuesi, W., Tianxue, W., Wei, L., Ya'nan, Z., Liang, L (2009) "Elemental composition of PM_{2.5} and PM₁₀ at Mount Gongga in China during 2006," *Atmospheric Research*, 93: 801-810.
- Zhao, X., Zhang, X., Xu, j., Meng, W., Pu, W (2009) "Seasonal and diurnal variations of ambient PM_{2.5} concentration in urban and rural environments in Beijing," *Atmospheric environment*, 43: 2893-2900.
- Zolfaghari, H., Abedzadeh, H (2005) "Synoptic analysis of dust systems in the West," *Geography and Development*, Fall and Winter: 174-188. in Persian.
- Zouravand, A.M., Shabazi, F (2010) "Synoptic analysis of atmosphere in Kermanshah Province," *Meteorology of Kermanshah*, 13: 7-9. in Persian.
- Tsai, I.Y., Chen, Ch (2006) "Atmospheric aerosol composition and source apportionments to aerosol in southern Taiwan" *Atmospheric Environment*, 40: 4751-4763.