

برآورد میزان آلودگی هوا (PM10) با استفاده از داده‌های آب و هوایی (مطالعه موردی: شهرستان اهواز)

سجاد عالی محمودی سراب^۱، محمدهادی معیری^{۲*}، شعبان شتایی جویباری^۲، علیرضا راشکی^۳

۱- دانشجوی دکتری رشته جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲- دانشیار گروه جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳- استادیار گروه مدیریت بیابان، گروه بیابان دانشگاه فردوسی مشهد

(تاریخ دریافت ۹۵/۰۹/۰۸ - تاریخ پذیرش ۹۷/۰۲/۰۵)

چکیده:

در چند سال اخیر میزان ریزگردها و دیگر آلاینده‌های هوا در استان‌های جنوبی و جنوب‌غربی ایران افزایش چشمگیری یافته است. هدف این تحقیق بررسی رابطه بین متغیرهای آب و هوایی شامل دمای هوا (حداکثر، متوسط و حداقل)، رطوبت نسبی (حداکثر، متوسط و حداقل)، بارندگی روزانه، دید افقی، جهت و سرعت باد با داده‌های متغیر آلودگی هوا (PM10) طی دوره آماری ۴ ساله (۱۳۸۷ تا ۱۳۹۰) با استفاده از روابط همبستگی و برآورد PM10 با استفاده از مدل آماری جنگل تصادفی و داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی و پایش آلودگی هوای شهرستان اهواز بود. نتایج ضریب همبستگی اسپیرمن نشان داد که متغیرهای دید افقی و حداقل دما به ترتیب با ۰/۳۷۶- و ۰/۳۴۹+ بیشترین و بارندگی با ۰/۰۷۷- کمترین همبستگی را با متغیر PM10 از خود نشان دادند. نتایج رگرسیون جنگل تصادفی نیز نشان داد که مهمترین متغیر تاثیرگذار در برآورد میزان PM10، متغیر دید افقی و سپس متغیر دمای حداقل می‌باشد. ضریب تبیین بدست آمده با استفاده از داده‌های مشاهده شده و برآورد شده در سطح معنی داری ۹۹ درصد برابر (R2= ۰/۴۷) بدست آمد. آنالیز درخت سلسله مراتبی نشان داد که از کل داده‌های متغیرهای رطوبت نسبی حداکثر، رطوبت نسبی حداقل و دمای حداقل به ترتیب، ۳۹۶ داده (< ۰/۲۰۵ درصد)، ۳۸۹ داده (< ۰/۳۰۵ درصد) و ۳۸۷ داده (< ۵/۵ درجه سانتیگراد)، قابلیت تفکیک شدن را نشان دادند و متغیر رطوبت نسبی حداکثر در سطح اول قرار گرفت. این تحقیق نشان داد که در پیش‌بینی میزان PM10 می‌توان از داده‌های دید افقی و حداقل دمای محیط و مدل رگرسیون جنگل تصادفی استفاده نمود.

کلید واژگان: آلودگی هوا، متغیرهای هواشناسی، پیش‌بینی، جنگل تصادفی، ریزگردها

۱. مقدمه

در دهه‌های اخیر با توجه به رشد جمعیت و استفاده روزافزون از انرژی، خشکسالی، انتشار ذرات و گازهای آلوده به جو، موجب کاهش کیفیت هوا و افزایش ذرات معلق شده است. همچنین کاهش بارندگی‌ها در حوزه مدیترانه شرایط را برای افزایش غلظت ذرات PM10 در منطقه فراهم کرده است (Escudero, 2007). همچنین، در چند سال اخیر نیز بطور چشمگیری شاهد افزایش ریزگردها و دیگر آلاینده‌های هوا در استان خوزستان بوده‌ایم. از نظر تاثیر این آلودگی‌ها بر سلامتی انسان، نتایج نشان داده است که قرار گرفتن در معرض این هوا موجب بیماری‌های تنفسی، قلبی، بعضی از سرطان‌ها و مرگ زودرس می‌شود (Asgari et al., 1998; Gauderman et al., 2004; Pearson et al., 2000; Yunesian, 2002). آلودگی هوا سبب خسارت‌هایی بر گیاهان، غلات و اکوسیستم‌ها شده که می‌تواند در تأمین مواد غذایی، آب، توسعه پایدار و اقتصاد جهانی تأثیرگذار باشد. هم‌اکنون هواشناسان، اقلیم‌شناسان، دانشمندان محیط زیست به همراه پزشکان می‌کوشند تا با انجام پیش‌بینی‌های لازم و تحلیل میزان توزیع و انتقال ذرات معلق و گازهای آلاینده هوا، اثرات زیانبار بر وضعیت‌های اقلیمی و آب و هوایی و کیفیت پایین هوا را به کمترین میزان ممکن برسانند (www.irimo.ir). آلودگی هوا از جمله معضلات زندگی بشر امروزی و به ویژه برای ساکنین شهرهای بزرگ می‌باشد و بی‌توجهی و عدم اتخاذ راهکار مناسب و به موقع برای جلوگیری و مبارزه با آن خسارت‌های جبران‌ناپذیری را برای

سلامت جوامع مختلف انسانی، گیاهی و غیره به دنبال خواهد داشت. بنابراین بررسی این پدیده از اهمیت بسیاری برخوردار است. با توجه به هزینه بالای دستگاه‌های اندازه‌گیری آلاینده‌های هوا و همچنین پراکنش نامناسب آنها، برآورد غلظت آلاینده‌ها با استفاده از متغیرهای وابسته با آنها می‌تواند از اهمیت بسیار زیادی برخوردار باشد. لازم به ذکر است که PM10 به ذرات معلق ۱۰ میکرونی و یا کوچک‌تر در مقیاس دیامتر گفته می‌شود که از ترکیب اکسید نیتروژن و دی‌اکسید گوگرد در جو زمین تشکیل می‌شوند است (Sadeghi & Khaksar, 2015). در مساله آلودگی هوا به طور کلی سه جز نقش مهمی دارند: (۱) منبع آلودگی، (۲) جو، و (۳) میزبان آلودگی (Javanbakht Amiri & Khatemi, 2012). کیفیت هوا به طور خیلی شدیدی به متغیرهای آب و هوایی و همچنین به تغییرات اقلیمی وابستگی دارد (Daniel et al., 2009). آلودگی هوا سبب ایجاد آب و هوای نامناسب و تشعشعات زیادی می‌شود (Daniel et al., 2009). بیشتر فعالیت‌های موجودات زنده بر روی زمین زندگی می‌کنند در لایه مرزی جو اتفاق می‌افتد. برای داشتن محیطی بهتر و پاک‌تر باید شناخت بیشتری از محیط زیست و فرآیندهای آن داشته باشیم. از آنجا که آلاینده‌های هوا با کمک باد جابه‌جا می‌شوند، بنابراین مهم است که از چگونگی پخش این آلاینده‌ها اطلاع کافی داشته باشیم (Javanbakht Amiri & Khatemi, 2012). دوتا از مهمترین مواد آلاینده که برای سلامتی انسان بیشترین آسیب را دارند Particulate matter (PM) و ازن سطحی است (Daniel et al., 2009). PM شامل سولفات،

ازن مناسب می‌باشند. Camalier و همکاران (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای در شرق آمریکا دریافتند که حداکثر ازن با دما (رابطه مثبت) و با رطوبت نسبی (رابطه منفی) دارد. این تحقیق نشان داد که دما در شمال شرقی آمریکا و رطوبت نسبی در جنوب شرقی آمریکا مهمترین متغیرها برای پیش‌بینی ازن می‌باشند (Camalier et al., 2007). در یک مطالعه نشان داده شد که در برآورد میزان ازن، استفاده از متغیرهای آب و هوایی همبستگی کمی نسبت به متغیر ازن از خود نشان می‌دهند (Wise & Comrie, 2005). در ایران مطالعاتی بر روی بررسی رابطه بین متغیرهای اقلیمی و متغیرهای آلودگی هوا انجام شد. Bodaghpour و Charkhestani (۲۰۱۱) به پیش‌بینی میزان غلظت آلاینده‌های هوای تهران با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که دقت پیش‌بینی با استفاده از شبکه عصبی بالاتر از رگرسیون خطی می‌باشد. Alyari و همکاران، (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای به پیش‌بینی کوتاه‌مدت هوا با کمک شبکه‌های عصبی پرسپترون چندلایه، خط حافظه‌دار تاخیر، گاما و ANFIS با روش‌های ترکیبی آموزش مبتنی بر PSO پرداختند و در نهایت این روش‌های هوشمند را با هم مقایسه کرده و نشان دادند، روش پیشنهادی ترکیبی بر اساس PSO و فیلتر کالمن برای آموزش شبکه ANFIS، توانایی مناسبی در بهبود عملکرد پیش‌بینی داراست. نتایج یک تحقیق نشان داده شد که متغیرهای آب و هوایی بر روی میزان آلاینده‌های هوا تاثیرگذار هستند (Javanbakht Amiri & Khatemi, 2012). در این تحقیق برای بررسی رابطه بین متغیرهای اقلیمی و متغیرهای آلودگی هوا

نیترا، کربن ارگانیک، کربن عنصری، ریزگرد و نمک‌های دریایی می‌باشد. چهارتای اولی اندازه‌ای کمتر از ۲/۵ میکرون دارند و بنابراین برای سلامتی انسان بیشترین نگرانی را به همراه دارند (Daniel et al., 2009). PM در ترپوسفر آزاد برای کیفیت هوای سطح زمین مهم نیست (Heald et al., 2006; UNECE, 2007). دوده‌های حاصل از سوختن جنگل‌ها و طوفان‌های ریزگردی بزرگ که می‌توانند قاره‌ها را طی کنند استثناء هستند (Prospero, 2001; Forster et al., 1999). در رابطه با بررسی آلاینده‌ها و پیش‌بینی مقدار PM10 روش‌های آماری مختلفی استفاده شده است. از جمله مطالعات انجام گرفته در این زمینه پیش‌بینی آلودگی هوا، می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد: Berastegi و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای به پیش‌بینی آلودگی هوای بلبائو با استفاده از شبکه‌های عصبی پرداختند. آن‌ها در این مطالعه، از ۳ شبکه MLP, RBF و GRNN برای پیش‌بینی استفاده کرده‌اند. Brunelli و همکاران (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای با استفاده از تکنیک شبکه‌های عصبی و طراحی شبکه پرسپترون چندلایه به پیش‌بینی حداکثر غلظت روزانه O3, NO2 SO2, PM10, Co در مناطق شهری ایتالیا اشاره کردند. در مطالعه‌ای در شیلی نیز محققان به طراحی یک مدل شبکه عصبی برای پیش‌بینی غلظت PM10 هوای شهر نتیاگو در شیلی پرداختند و با استفاده از این مدل آلودگی PM10 هوای این شهر را برای سال ۲۰۰۳، پیش‌بینی کردند (Perez & Reyes, 2006). Ordonez و همکاران (۲۰۰۵) بیان کردند که برای ایستگاه‌های هواشناسی سوئیس متغیرهای دما و میزان تشعشعات صبح برای پیش‌بینی میزان

شاخص آلودگی هوا با عوامل اقلیمی رابطه معنی داری وجود دارد. بنابراین در تحقیق حاضر با توجه به مرور منابع انجام شده در بررسی آلودگی هوا (میزان PM10) از متغیرهای هواشناسی استفاده شد. همچنین، با توجه به ماهیت داده‌های آلودگی هوا (MP10) که نرمال نیستند، به نظر می‌رسد استفاده از رگرسیون‌های ناپارامتری نتایج بهتری در مدلسازی‌های آماری نیز در پی داشته باشد. الگوریتم جنگل تصادفی یکی از مشهورترین کارآمدترین متدهای مبتنی بر یادگیری تصمیم‌گیری در زمینه پیش‌بینی است که توسط Breiman (۲۰۰۱) ارائه شد (Breiman, 2001). You و همکاران (۲۰۱۵) در چین به مقایسه داده‌های مودیس و MIS^۵ برای برآورد میزان PM2.5 پرداختند. در این تحقیق که از مدل‌های رگرسیون خطی و ناپارامتریک استفاده شد، نتایج نشان داد که مدل‌های ناپارامتری در برآورد این متغیر دقت بالاتری نسبت به مدل‌های خطی دارند. Oliveira و همکاران (۲۰۱۲) با مقایسه الگوریتم جنگل تصادفی و رگرسیون خطی در بررسی الگوی پراکنش آتش سوزی با استفاده فاکتورهای ساختار اصلی جنگل از در اروپا بیان کردند که مدل جنگل تصادفی نسبت به مدل رگرسیون خطی برآورد بهتری از خود نشان داد. بعلاوه تاکنون نیز مطالعه‌ای بر روی برآورد میزان PM10 در ایران و شهرستان اهواز با استفاده از رگرسیون جنگل تصادفی (مدل‌های ناپارامتری) انجام نشده است. بنابراین نوآوری این تحقیق استفاده از رگرسیون جنگل تصادفی برای پیش‌بینی متغیر PM10 برای اولین بار در ایران و خوزستان که

از رابطه رگرسیون خطی استفاده شد (Javanbakht, Amiri & Khatemi, 2012). Sabouri و همکاران (۲۰۱۰) در اهواز به منظور تعیین میزان اثرپذیری پارامترهای کیفی آب رودخانه کارون در روزهای دارای گردوغبار از رگرسیون خطی و رگرسیون چندگانه استفاده کردند. آنها بیان کردند که با استفاده از مدل‌های بدست آمده در آن تحقیق و مدل‌های هواشناسی پیش‌بینی گردوغبار می‌توان میزان تغییرات پارامترهای کیفی آب را پیش‌بینی کرد. Afzali و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از مدل شبکه عصبی نشان دادند که بین پارامترهای هواشناسی و PM10 رابطه وجود دارد. Sayegh و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از مدل‌های رگرسیونی خطی، غیرخطی و سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری به پیش‌بینی مقدار PM10 پرداختند. مدل‌های مورد استفاده شامل رگرسیون چند متغیره خطی^۱ (MLRM)، QRM^۲، GAM^۳ و BRT1^۴ and 2-way BRT2 بودند. با توجه به مطالب بیان شده مشخص گردید که رابطه بین متغیرهای آب و هوایی با متغیرهای آلودگی هوا از منطقه‌ای به منطقه دیگر متفاوت می‌باشد. Akbari و همکاران (۲۰۱۶) در شهر مشهد به پهنه بندی آلودگی هوا و بررسی رابطه آن با عوامل اقلیمی پرداختند. در این تحقیق که از داده‌های اقلیمی سرعت باد، جهت باد و میزان بارش و همچنین شاخص آلودگی هوا SPI استفاده شد. نتایج همبستگی پیرسون نشان داد که بین

-
- 1-Multiple Linear Regression Model
 - 2- Quantile Regression Model
 - 3- Generalized Additive Model
 - 4-Boosted Regression Trees1-way (BRT1) and 2-way (BRT2)

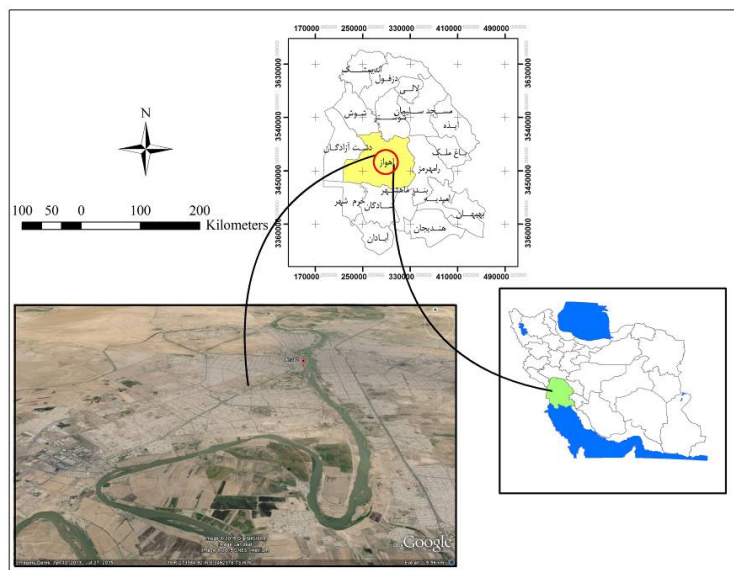
شهر مستقرند. سازمان بهداشت جهانی در سال ۲۰۱۱، گزارشی را مبتنی بر داده‌های اعلام شده کشورها در چند سال اخیر در رابطه با ذرات کوچک‌تر از ۱۰ میکرومتر منتشر کرده است. این گزارش بر کاهش آلودگی هوا به عنوان عاملی که سبب مرگ زودرس ۱/۳۴ میلیون نفر در هر سال در سطح جهانی می‌شود. بر اساس گزارش این سازمان، میزان سالانه این آلودگی در شهر اهواز ۳۷۲ میکروگرم در هر مترمکعب گزارش شده است. بنابراین، شهر اهواز به عنوان آلوده‌ترین شهر دنیا مقام اول را بین ۱۱۰۰ شهر کسب کرده است (Sadeghi & Khaksar, 2015). وجود کارخانجات بزرگ صنعتی، تأسیسات اداری و صنعتی، و بخصوص خشکسالی‌های اخیر، اهواز را به یکی از مهم‌ترین شهرهای آلوده ایران تبدیل کرده و این امر به همراه ریزگردهایی که از داخل و اطراف استان خوزستان به این شهر وارد می‌شوند سبب شده که هوای این شهر در غالب روزهای بهار و تابستان دارای آلودگی شدید باشد.

در مرور منابع نیز مشخص شد دارای دقت بالاتری نسبت به رگرسیون خطی است، می‌باشد. باتوجه به بررسی منابع انجام شده دو هدف برای این تحقیق مشخص شد: (۱) تحقیق تعیین مهمترین متغیرهای آب و هوایی برای پیش بینی متغیر PM10 و (۲) برآورد این متغیر با استفاده از مدل‌های ناپارمتری بود. در این تحقیق از رگرسیون جنگل تصادفی، داده‌های PM10 اندازه گیری شده در ایستگاه زمینی شهرستان اهواز و متغیرهای هواشناسی برای یک دوره ۴ ساله (۱۳۸۷ تا ۱۳۹۰) استفاده شد.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. منطقه مورد مطالعه

شهرستان اهواز که مرکز استان خوزستان است، این شهر در موقعیت جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی، در بخش جلگه‌ای خوزستان و با ارتفاع ۱۸ متر از سطح دریا واقع شده‌است. بر پایه آخرین آمار رسمی، ۳۲ درصد مردم استان خوزستان در کلان‌شهر اهواز زندگی می‌کنند. از این جمعیت ۳۵ درصد در حاشیه



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور و استان خوزستان

۲.۲. روش تحقیق

داده‌های مورد استفاده ابتدا داده‌های متغیرهای آب و هوایی شامل دمای هوا (حداکثر، متوسط و حداقل)، رطوبت نسبی (حداکثر، متوسط و حداقل)، بارندگی روزانه، دید افقی، جهت و سرعت باد از سایت سازمان هواشناسی کشور و داده‌های متغیرهای آلودگی هوا (PM10) بصورت میانگین روزانه از ایستگاه پایش آلودگی شهرستان اهواز اخذ و داده‌های هم‌بسته متغیرها از نظر وجود داده‌های پرت و غیره مورد بررسی قرار گرفتند و در نهایت تعداد ۱۰۷۳ روز برای بررسی‌های بعدی انتخاب شد. لازم به ذکر است که بازه زمانی داده‌های مورد استفاده در این تحقیق ۴ سال (۱۳۸۷ تا ۱۳۹۰) و بصورت روزانه استفاده شد.

۳.۲. محاسبات

ابتدا روزهایی که برای آنها داده‌ای ثبت نشده بود، از روند آنالیز حذف شدند. سپس با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نرمال بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. از ضریب همبستگی اسپیرمن برای بررسی همبستگی بین متغیرهای آب و هوایی بیان شده با متغیر آلودگی هوا (PM10) استفاده شد. برای بررسی همبستگی بین متغیرهای غیرنرمال از ضریب همبستگی اسپیرمن استفاده می‌شود (Bihamta & Zare Chahouki, 2008). باتوجه به نتایج آزمون اسپیرمن، متغیرهایی که همبستگی معنی‌داری با داده‌های PM10 نداشتند، از ادامه بررسی حذف شدند. سپس با استفاده از معادله رگرسیون جنگل تصادفی رابطه بین متغیر آلودگی با متغیرهای آب و هوایی بدست آمد و در نهایت با

استفاده از داده‌های که برای تست مدل‌ها کنار گذاشته شده بود، میزان دقت و میزان خطای رابطه بدست آمده برای پیش بینی میزان متغیر آلودگی هوا مورد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر است که آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و ضریب همبستگی پیرسون در نرم افزار SPSS16 و رگرسیون جنگل تصادفی در نرم‌افزار STATISTICA انجام شد.

۳. نتایج

نتایج بررسی توصیفی داده‌ها نشان داد که میانگین داده‌های PM10 در شهرستان اهواز و برای محدوده زمانی مورد بررسی (۱۰۷۳ روز مورد مطالعه) برابر ۲۲۱/۰۲ و واریانس آن برابر ۱۱۶۱۵۳/۷ بوده است (جدول ۱). همچنین، بررسی‌های بعدی با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرنوف در سطح معنی‌داری ۵٪ (sig=0.05) نشان داد که داده‌ها دارای پراکنش نرمال نبودند (جدول ۲).

باتوجه به نرمال نبودن داده‌ها، برای بررسی همبستگی بین متغیرهای مستقل و PM10 از ضریب همبستگی اسپیرمن استفاده شد. نتایج نشان داد که هم‌بستگی متغیرهای مورد استفاده دارای همبستگی معنی‌داری با متغیر PM10 می‌باشند. این تحقیق نشان داد که متغیرهای دید افقی و حداقل دما به ترتیب با ۰/۳۷۶- و ۰/۳۴۹+ بیشترین و بارندگی با ۰/۰۷۷- کمترین همبستگی را با متغیر PM10 از خود نشان دادند (جدول ۳). همچنین این نتایج نشان داد که متغیرهای دمای محیط (حداقل، متوسط و حداکثر)، جهت باد و سرعت باد دارای همبستگی مثبت و متغیرهای رطوبت نسبی (حداقل، متوسط و حداکثر)، بارندگی و دید افقی دارای همبستگی منفی با متغیر آلودگی هوا (PM10) می‌باشند (جدول ۳).

برآورد میزان آلودگی هوا (PM10) با استفاده از داده‌های...

جدول ۱- نتایج جدول توصیفی داده‌های متغیرهای مورد استفاده در تحقیق

نام متغیر	تعداد	دامنه	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف از معیار	واریانس
	آماره	آماره	آماره	آماره	خطای استاندارد	آماره	آماره
MP10	۱۰۷۳	۴۲۳۷/۵	۰۰/۰۰	۴۲۳۷/۵	۲۲۱/۰۲	۱۰/۳۰	۱۱۶۱۵۳/۷
دمای حداقل	۱۰۷۳	۳۹	۴-	۳۵	۱۹/۴۸	۰/۲۶	۷۷/۱۹
دمای متوسط	۱۰۷۳	۳۸	۵	۴۳	۲۶/۴۷	۰/۲۸	۹۰/۵۵
دمای حداکثر	۱۰۷۳	۴۴	۸	۵۲	۳۳/۴۵	۰/۳۱	۱۱۱/۷۵
بارندگی	۱۰۷۳	۴۳	۰۰/۰۰	۴۳	۰/۴۳	۰/۰۸	۷/۲۸
رطوبت حداقل	۱۰۷۳	۷/۰۵	۰/۰۲	۷/۰۷	۰/۲۳	۰/۰۰۸	۰/۰۸
رطوبت متوسط	۱۰۷۳	۳/۹۹	۰/۰۸	۴/۰۷	۰/۴۳	۰/۰۰۷	۰/۰۵
رطوبت حداکثر	۱۰۷۳	۷/۸۹	۰/۱۴	۸/۰۳	۰/۶۱	۰/۰۰۹	۰/۱۰
دید افقی	۱۰۷۳	۱۰۱۰۰	۵۲۵	۱۰۶۲۵	۷۹۵۹/۰۷	۶۵/۴۸	۴۶۸۶۴۳۷/۶۸
جهت باد	۱۰۷۳	۳۸۴/۷۵	۰۰/۰۰	۳۴۸/۷۵	۱۷۳/۰۲	۲/۵۶	۷۱۶۶/۷۸
سرعت باد	۱۰۷۳	۶/۵	۰۰/۰۰	۶/۵	۲/۱۴	۰/۰۳	۱/۵۷
تعداد داده معتبر	۱۰۷۳						

جدول ۲- نتایج آزمون آزمون کولموگروف اسمیرنوف در رابطه با بررسی نرمال بودن متغیرهای مورد استفاده در تحقیق

(sig=0.05)

آماره / پارامتر	PM10	دمای حداقل	دمای متوسط	دمای حداکثر	بارندگی	رطوبت حداقل	رطوبت متوسط	رطوبت حداکثر	دید افقی	جهت باد	سرعت باد
تعداد	۱۰۷۳	۱۰۷۳	۱۰۷۳	۱۰۷۳	۱۰۷۳	۱۰۷۳	۱۰۷۳	۱۰۷۳	۱۰۷۳	۱۰۷۳	۱۰۷۳
Z کولموگروف اسمیرنوف	۸/۵۴	۳/۴۵	۳/۴۷	۳/۶۳	۱۵/۶۲	۸/۷۰	۱/۹۷	۳/۶۱	۵/۴۱	۲/۱۸	۴/۲۱
سطح معنی داری (۰/۰۵)	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰

جدول ۳- نتایج آزمون همبستگی اسپیرمن بین متغیرهای آب و هوایی و متغیر PM10 (sig=0.05)

آزمون	متغیر	دمای حداقل	دمای متوسط	دمای حداکثر	بارندگی	رطوبت حداقل	رطوبت متوسط	رطوبت حداکثر	دید افقی	جهت باد	سرعت باد
ضریب همبستگی	۰/۳۴۹**	۳۳۷**	۳۱۶**	۰/۰۷۷**	۳/۱۸**	۳/۱۹**	۳/۰۶**	۳/۷۶**	۰/۹۰**	۰/۹۰**	۱/۵۱**
سطح معنی داری (۰/۰۵)	۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
تعداد کل داده	N	۱۰۷۳	۱۰۷۳	۱۰۷۳	۱۰۷۳	۱۰۷۳	۱۰۷۳	۱۰۷۳	۱۰۷۳	۱۰۷۳	۱۰۷۳

** : سطح معنی داری ۹۹ درصد و * : سطح معنی داری ۹۵ درصد N: تعداد داده مورد بررسی برای هر متغیر

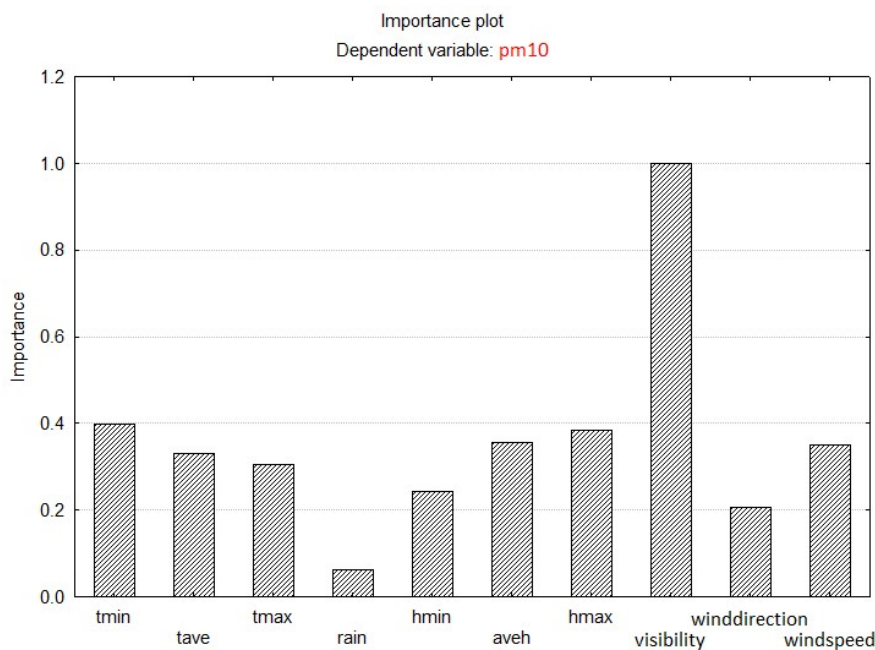
183.49+ بود (جدول ۴؛ شکل ۳). درخت سلسله مراتبی در مدل نهایی نشان داد که متغیرهای حداکثر رطوبت نسبی، حداقل رطوبت نسبی و حداقل دما بیشترین تفکیک پذیری را در این آنالیز داشته‌اند. این آنالیز نشان داد که از کل داده‌های رطوبت نسبی حداکثر، رطوبت نسبی حداقل و دمای حداقل به ترتیب، ۳۹۶ داده (<0.205 درصد)، ۳۸۹ داده (<0.305 درصد) و ۳۸۷ داده (<0.5/5 درجه سانتیگراد) قابلیت تفکیک شدن را داشتند و در مدل نهایی بیشترین وزن را به خود اختصاص دادند و دیگر متغیرها وارد مدل نهایی نشدند (شکل ۴).

۱.۳. نتایج رگرسیون جنگل تصادفی

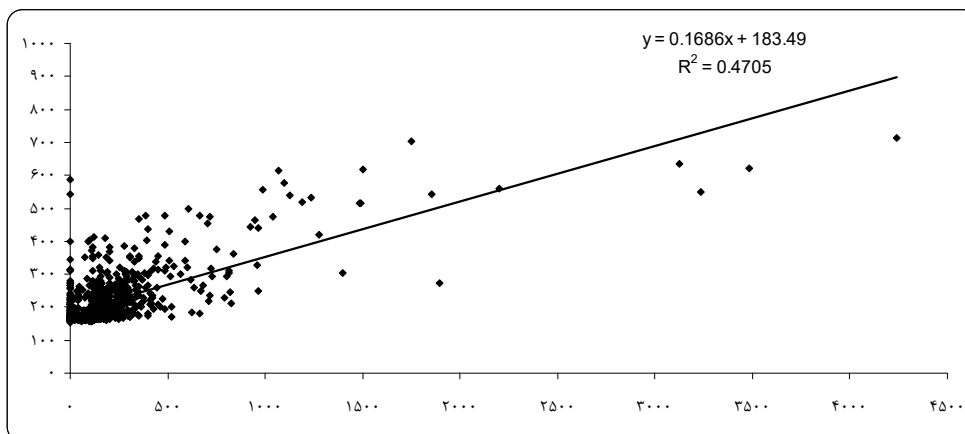
برای تعیین میزان اهمیت متغیرهای مورد مطالعه در برآورد متغیر PM10 از رگرسیون ناپارامتری جنگل تصادفی استفاده شد. این بررسی نشان داد که مهمترین متغیر تاثیرگذار در برآورد میزان PM10 متغیر دید افقی و سپس متغیر دمای حداقل می‌باشد (شکل ۲). ضریب تبیین بدست آمده با استفاده از داده‌های مشاهده شده و برآورد شده در سطح معنی داری ۹۹ درصد برابر $R^2 = 0.47$ ($R^2 = 0.47$) بدست آمد و همچنین مدل بدست آمده برابر $Y = 0.1686 \times x$

جدول ۴- نتایج آزمون بین میزان PM10 مشاهده شده و برآورد شده با استفاده از مدل جنگل تصادفی

مدل	ضریب همبستگی	ضریب تبیین استاندارد شده	خطای انحراف معیار از برآورد	معنی داری در سطح (0.05)
مدل رندم فارست	0.69	0.47	۸۶/۹	0.00**

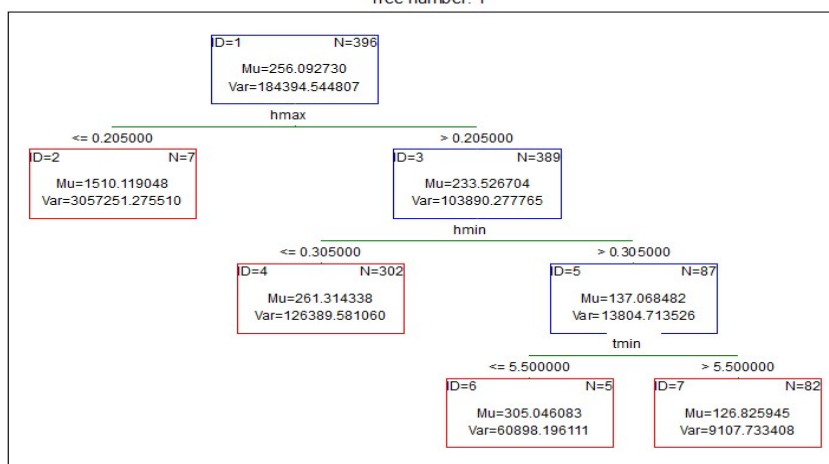


شکل ۲- اهمیت متغیرهای آب و هوایی در برآورد مقدار PM10



شکل ۳- برازش داده‌های مشاهده شده PM10 در برابر داده‌های برآورده شده

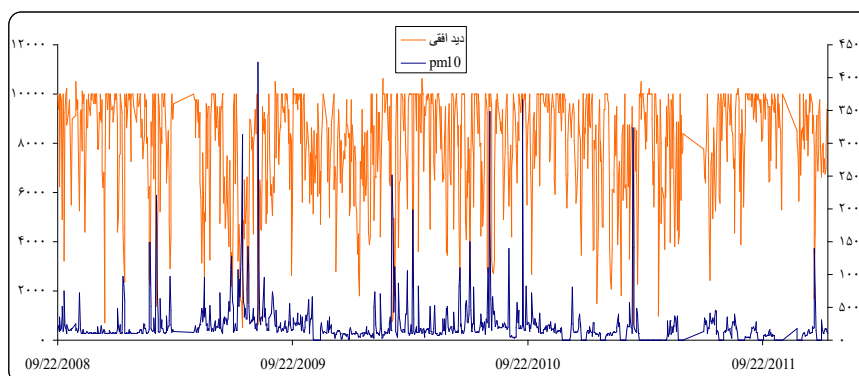
Tree graph for pm10
 Num. of non-terminal nodes: 3, Num. of terminal nodes: 4
 Tree number: 1



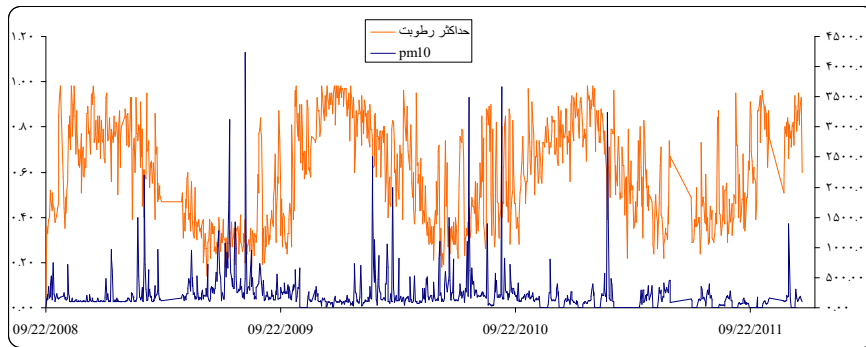
شکل ۴- مدل نهایی بدست آمده از داده‌های مشاهده شده مقدار PM10 براساس درخت سلسله مراتبی

میزان دید افقی و حداکثر رطوبت نسبی کاهش ولی
 میزان دمای حداقل افزایش یافته است (شکل‌های ۵،
 ۶ و ۷).

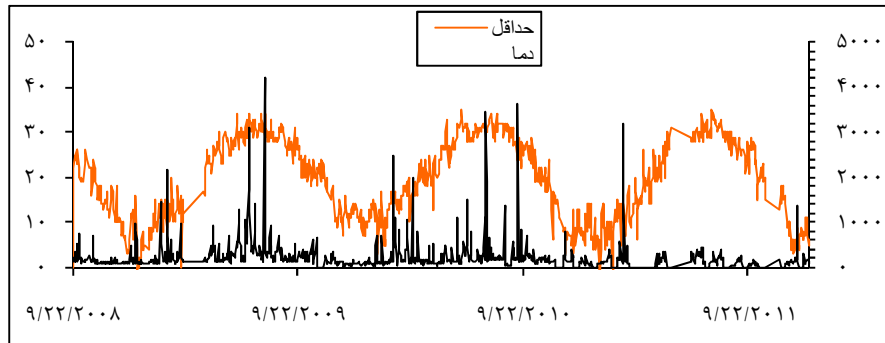
همچنین بررسی سری زمانی داده‌های PM10 در
 مقابل داده‌های دید افقی و حداکثر رطوبت نسبی و
 دمای حداقل نشان داد که با افزایش میزان PM10



شکل ۵- تغییرات روزانه میزان PM10 در رابطه با متغیر دید افقی در دوره زمانی مورد مطالعه



شکل ۶- تغییرات روزانه میزان PM10 در رابطه با متغیر حداکثر رطوبت نسبی در دوره زمانی مورد مطالعه



شکل ۷- تغییرات روزانه میزان PM10 در رابطه با متغیر دمای حداقل در دوره زمانی مورد مطالعه

۴. بحث و نتیجه گیری

ذرات معلق در هوا، دارای قطره‌های مختلف، طبیعی و یا نتیجه فعالیت‌های انسانی و دارای خصوصیات شیمیایی مختلفی هستند (François et al., 2009). ذرات معلق در اتمسفر مانع از نفوذ نور خورشید می‌شود. ذرات کوچک‌تر و مساوی ۱۰ میکرون، خطر مرگ تنفسی در کودکان زیر یک سال را افزایش می‌دهد. اقدام‌های بیولوژیکی راه‌حل‌های کلیدی جهت غلبه بر طوفان‌های گردوغباری هستند (Sadeghi & khksar, 2015). نتایج بررسی توصیفی داده‌ها نشان داد که میانگین داده‌های PM10 در شهرستان اهواز و برای محدوده زمانی مورد بررسی برابر ۲۲۱/۰۲ و واریانس آن برابر ۱۱۶۱۵۳/۷ بوده است. این مقدار با گزارش سازمان بهداشت جهانی که میانگین سالانه ۳۷۲ میکروگرم

بر متمرکب PM10 برآورد کرده بود اختلاف دارد. دلیل تفاوت در نتایج بدست آمده می‌تواند مربوط به مدت دوره زمانی مورد مطالعه باشد. ولی تقریباً با میزان بدست آمده در مطالعه Sabetghadam و همکاران (۲۰۱۳) که برای شهر تهران برابر ۱۸۷ میکروگرم بر متمرکب بدست آوردند، مشابهت دارد. نتایج Afzali و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد که میزان PM10 در منطقه Gudang Pasir برابر ۵۳ میکروگرم بر متمرکب بود که حاکی از اقلیم کاملاً متفاوت با شهرستان اهواز دارد. نتایج آزمون همبستگی اسپیرمن نشان داد که همه‌ی متغیرهای مورد استفاده دارای همبستگی معنی‌داری با متغیر PM10 می‌باشند. آنالیز همبستگی نشان داد که متغیرهای دید افقی و حداقل دما بیشترین و بارندگی کمترین همبستگی را با متغیر PM10 دارند. همچنین این نتایج نشان داد که متغیرهای دمای

بالایی داشتند.

برای تعیین مهمترین متغیرهای و برآورد متغیر PM10 از رگرسیون ناپارامتری جنگل تصادفی استفاده شد. این بررسی نشان داد که مهمترین متغیر تاثیرگذار در برآورد میزان PM10 متغیر دید افقی و سپس متغیر دمای حداقل می‌باشد. ضریب تبیین بدست آمده با استفاده از داده‌های مشاهده شده و برآورد شده در سطح معنی داری ۹۹ درصد برابر $Y=0.1686 \times x + 183.49$ ($R^2=0.47$) و همچنین مدل ریاضی بدست آمده برابر $Y=0.1686 \times x + 183.49$ ($R^2=0.47$) بود. با توجه به اینکه Sayegh و همکاران (۲۰۱۴) برای شهر مکه عربستان با استفاده از مدل‌های رگرسیونی مختلف به پیش بینی مقدار PM10 پرداختند و نتایج آن تحقیق نشان داد که مدل QRM بهترین با $R=0.86$ مدل بود. ضرایب همبستگی (R) برای GAM، MLRM و 1-way BRT model، (e) 2-way BRT model. به ترتیب، ۶۱، ۵۱، ۶۰ و ۵۴ بدست آمد که با نتایج این تحقیق همخوانی نزدیکی دارد. مشابه با نتایج Bodaghpour و Charkhestani (۲۰۱۱) نتایج این تحقیق نیز نشان داد که روش های رگرسیون ناپارامتری برای پیش بینی میزان آلاینده‌ای هوا مناسب می‌باشند. با توجه به میزان ضریب همبستگی بدست آمده که متوسط بود، توصیه می‌شود که در مطالعات بعدی مدل QRM برای برآورد داده‌های PM10 مورد بررسی قرار گیرد و با نتایج این تحقیق مقایسه شود. همچنین توصیه می‌گردد در مطالعات بعدی رابطه بین متغیرها بصورت فصلی و ماهانه مورد بررسی قرار گیرد.

محیط (حداقل، متوسط و حداکثر)، جهت باد و سرعت باد دارای همبستگی مثبت و متغیرهای رطوبت نسبی (حداقل، متوسط و حداکثر)، بارندگی و دید افقی دارای همبستگی منفی با متغیر آلودگی هوا (PM10) می‌باشند. تحقیقات قبلی نشان داد که متغیر PM10 با متغیرهای آب و هوایی از قبیل دمای محیط، شدت تابش، رطوبت نسبی و جهت باد ارتباط دارد (Afzali et al., 2014). در تحقیق Afzali و همکاران (۲۰۱۴) بیان شده که PM10 با دمای محیط رابطه معنی دار مثبت و با رطوبت نسبی رابطه معنی دار منفی دارد. که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. Akbari و همکاران (۲۰۱۶) نیز نشان دادند که بین عوامل اقلیمی با آلودگی هوا رابطه معنی داری وجود دارد که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. همچنین Wise & Comrie (2005) بیان کردند که یک رابطه منفی معنی داری بین میزان رطوبت نسبی و میزان PM منبع ریزگردی وجود دارد. این نتایج، با یافته‌های تحقیق حاضر که نشان داد بین داده‌های متغیرهای آب و هوایی (دما و رطوبت نسبی) با PM10 ارتباط معنی داری وجود دارد، همخوانی دارد. مطابق تحقیقات حاضر و تحقیقات گذشته رابطه بین دمای محیط و PM10 مثبت و رابطه بین PM10 با رطوبت نسبی منفی می‌باشد. این نتایج نیز با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد. Aldrin و Haff (۲۰۰۵) به این نتیجه رسیدند که مهمترین متغیرهای وابسته به PM10 شامل رطوبت نسبی، آلودگی صوتی و جهت باد می‌باشند. You و همکاران (۲۰۱۵) در چین به مقایسه داده‌های مودیس و MIS نشان داد که استفاده از هر دو نوع داده برای برآورد PM2.5 دقت

Reference:

Afzali, A., Rashid, M., Sabariah, B., Ramli, M., 2014. PM10 Pollution: Its Prediction and Meteorological Influence in PasirGudang, Johor. 8th International Symposium of the Digital Earth (ISDE8). IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 18: 012100. doi:10.1088/1755-1315/18/1/012100.

Akbari, A., Fakheri, M., Poorgholamhossin, A., Akbari, Z., 2016. Monthly Zoning of the Air Pollution and Surveying its Relationship with Climatic Factors (Case Study: Mashhad City). Journal of Natural Environment. 68(4): 533- 547. (in Persian)

Aldrin, M., Haff, I., 2005. Generalised Additive Modelling of Air Pollution, Traffic Volume and Meteorology. Atmos. Environ. 39: 2145–2155.

Alyari, M., Teshnelab, M., Sedigh, A. KH., 2008. Predict air pollution data by using Multi-Layer Perceptron, Time Delay Line, Gamma and ANFIS by gradient free learning methods. Journal - management control 2(1): 1- 19. (in Persian)

Asgari, M. M., DuBois. A., Asgari, M., 1998. Association of ambient air quality with children's lung functions in urban and rural Iran. Arch Environ Health; 53-222. (in Persian)

Berastegi, G., Elias, A., Barona, A., Saenz, J., Ezcurra, A., Argandona, D., 2008. From diagnosis to prognosis for forecasting air pollution using neural networks: Air pollution monitoring in Bilbao. Environmental Modelling & Software 23, 662-637.

Bihamta M. R., Zare Chahouki M. A., 2008. Principles of Statistics for the Natural Resources Science, Tehran, University of Tehran Press. (in Persian)

Bodaghpour, S., Charkhestani, A., 2011. Predictaion of GAS pollution concentration by means of Artificial neural network in Tehran urban. Journal of environmental science and technology: Spring 2011, Volume 13, Number 1 (48), Page 1 To 10 . (in Persian)

Breiman, Leo., 2001. Random forests. Machine learning. 45.1: 5-32.

Brunelli, U., Piazza, V., Pignato, L., Sorbello, F., Vitabile, S., 2007. Two-days ahead prediction of daily maximum concentrations of So2, O3, Pm10, No2, Co in the urban area of Palermo, Italy. Atmospheric Environment 41, 2967-2995.

Camalier, L., Cox, W., Dolwick, P., 2007. The effects of meteorology on ozone in urban areas and their use in assessing ozone trends. Atmos. Environ. 41, 7,127–7,137.

Cox, W.M., Chu, S.-H., 1995. Assessment of interannual ozone variation in urban areas from a climatological perspective. Atmos. Environ. 30, 2615–2625.

Daniel, J, Jacob., Darrell, A, Winner., 2009. Effect of climate change on air quality. Atmospheric Environment. 43: 51–63.

Escudero, M., Querol, X., Ávila, A., Cuevas, E., 2007. Origin of the exceedances of the European daily PM limit value in regional background areas of Spain. Atmospheric Environment. 41(4):730-44.

Forster, C., et al., 2001. Forster, C., Wandinger, U., Wotawa, G., James, P., Mattis, I., Althausen, D., Simmonds, P., O'Doherty, S., Gerard Jennings, S., Kleefeld, C., Schneider, J., Trickl, T., Kreipl, S., Jäger, H., Stohl, A., Transport of boreal forest fire emissions from Canada to Europe. J. Geophys. Res. 106, 22,887–22,906.

François-Xavier, J., Jean-Michel, P., Bruno, P., 2009. Three Non-Linear Statistical Methods for Analyzing PM10 Pollution in Rouen Area. CS-BIGS 3(1): 1-17.

Javanbakht Amiri, S., Khatemi, H., 2012. The relationship between pollution index air quality and meteorological parameters in Tehran regression analysis approach. Islamic Azad University - Science and Research Branch of Tehran. 10(1): 15-28. (in Persian)

Gauderman, W., 2004. The effect of air pollution on lung development from 10 to 18 years of age". N. Engl. J. Med. 351,11,1057-1067.

- Heald, C. L., Jacob, D.J., Park, R.J., Alexander, B., Fairlie, T.D., Yantosca, R.M., Chu, D.A., 2006. Transpacific transport of Asian anthropogenic aerosols and its impact on surface air quality in the United States. *J. Geophys. Res.* 111, D14310. http://www.irimo.ir/far/services/general_content/569.
- Oliveira, S., Oehler, F., San-Miguel-Ayanz, J., Camia, A., Pereira, Joss M.C., 2012. Modeling spatial patterns of fire occurrence in Mediterranean Europe using multiple regression and random forest. *Forest Ecology and Management* 275(1):117-129.
- Ordonez, C., Mathis, H., Furger, M., Henne, S., Hoglin, C., Staehelin, J., Prevot, A.S.H., 2005. Changes of daily surface ozone maxima in Switzerland in all seasons from 1992 to 2002 and discussion of summer 2003. *Atmos. Chem. Phys.* 5, 1187– 1203.
- Pearson, R.L., 2000. Distance-weighted traffic density in proximity to a home is a risk factor for leukemia and other childhood cancers. *J. Air Waste Manag. Assoc.* 50(2):175-80.
- Perez, P., Reyes, J., 2006. An integrated neural network model for PM10 forecasting. *Atmospheric Environment* 40, 2845-2851.
- Prospero, J.M., 1999. Long-term measurements of the transport of African mineral dust to the southeastern United States: implications for regional air quality. *J. Geophys. Res.* 104, 15917– 15927.
- Sabetghadam, S., Ahmadi-Givi, F., Golestani, Y., Aliakbari-Bidokhti, A. A., 2013. The impact of urban air pollutants on atmospheric visibility in Tehran, 2008. *Journal of the Earth and Space Physics.* ISSN 8647-1025. (in Persian)
- Sabouri, R., Akhmi, M., Zarasvandi, A., Khodadi, M., 2010. To determine the influence of Karun River water quality parameters in terms of the phenomena in the form of dust prediction model (Case study: Ahvaz city). *Journal of Wetland ecology.* 2(7): 47- 56. (in Persian)
- Sadeghi, H., khaksar, S., 2015. Neural Network Model for Short Term Prediction of PM10 Pollution in Ahvaz City. *Environmental researches.* 5(9): 177- 186. (in Persian)
- Sayegh, Arwa S. Munir, Said. Turki Habeebullah, M. 2014. Comparing the Performance of Statistical Models for Predicting PM10 Concentrations. *Aerosol and Air Quality Research*, 14: 653–665.
- United Nations Economic Commission for Europe, 2007. Hemispheric Transport of Air Pollution 2007. *Air Pollution Studies No. 16.* United Nations, New York and Geneva.
- Wise, E, K., Comrie, A.C., 2005. Meteorologically adjusted urban air quality trends in the Southwestern United States. *Atmos. Environ.* 39, 2969–2980.
- Yunesian, M., Malek, Afzali, H., 2002. Air pollution mortality in elderly in Tehran, Iran. *Payesh, Journal of the Iranian Institute for Health Sciences Research* 1: 19-24. (in Persian)
- You, W., Zang, Z., Pan, X., Zhang, L., Chen, D., 2015. Estimating PM2.5 in Xi'an, China using aerosol optical depth: A comparison between the MODIS and MISR retrieval models. *Science of the Total Environment.* 505: 1156- 1165. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.11.024>.