مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هشتم، شماره نوزدهم، بهار ۱۳۹۸
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۳/۲۸
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۷/۲۸
صفحات: ۹۰ – ۷۵

برآورد رابطه میان PM10 و دید افقی به تفکیک کد همدیدی در یزد

مهدی دهقان[۱]، کمال امیدوار[۲]*، غلامعلی مظفری[۳]، احمد مزیدی[۴]

چکیده

ذرات معلق با قطر کوچک‌تر از ۱۰ میکرون (PM10) و دید افقی، به عنوان دو فراسنج مهم در پژوهش‌های مرتبط با ریزگردها و گرد و غبارهای تروپوسفری شناخته می‌شوند که آلودگی هوا تا اندازه‌ی زیادی وابسته به مقدار این دو فراسنج در زمان است. این پژوهش، رابطه‌ی میان فراسنج‌های PM10 و دید افقی را با کاربست الگوریتم تکاملی ژنتیک واکاوی کرده است. منطقه‌ی مورد بررسی شهر یزد در جایگاه نماینده‌ی ایران مرکزی بوده است. دیدهای افقی به تفکیک شرایط همدیدی ۰۵، ۰۶، ۰۷ و ۰۹ در یک بازه زمانی پنج ساله (۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵) از دفاتر سینوپتیک اداره کل هواشناسی استان یزد و داده‌های PM10 از ایستگاه‌های پایش آلودگی هوا وابسته به اداره کل محیط زیست استان یزد گرفته شده است. برای رسیدن به روابط ریاضی گفته شده، معادله خط رگرسیون و چندین گونه تابع نامی دیگر مورد هم‌سنجی قرار گرفتند؛ که تابع گوسین به عنوان مناسب‌ترین تابع برازندگی گزینش گردید. دست‌آوردهای این پژوهش، روابط ریاضی میان PM10 و دید افقی در حالت فراگیر، PM10 و دید افقی هنگام رخداد کد همدید ۰۵ و PM10 با دید افقی هنگام رخداد کد همدید ۰۹، با کاربست تابع گوسین با دوره‌ی ۱؛ و رابطه میان PM10 و دید افقی در هنگام رخداد شرایط همدید با کد ۰۶ و ۰۷ با کاربست تابع گوسین با دوره ۲ می‌باشند.

واژگان کلیدی: PM10، دید افقی، الگوریتم ژنتیک، تابع گوسین، یزد.

[۱]- دانشجوی دکتری آب و هوا شناسی گرایش مخاطرات آب و هوایی، گروه جغرافیا، دانشگاه یزد tiam328@gmail.com
[۲]- استاد اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه یزد (نویسنده مسئول) komidvar@yazd.ac.ir
[۳]- دانشیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه یزد gmozafari@yazd.ac.ir
[۴]- دانشیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه یزد mazidi@yazd.ac.ir

مقدمه

هواویزهای تروپوسفری که با عنوان ذرات معلق (PM[1]) شناخته می‌شوند، یکی از فراسنج‌های اتمسفری هستند که کنش فراوانی بر دگرگونی میزان تابش اتمسفر و در پی آن، بر آب و هوا و زیست‌گاه انسان دارند. تا جایی که تمرکز ذرات معلق، یکی از شاخص‌های برجسته‌ی آلودگی هوا شده است و بررسی آن می‌تواند برای سازمان‌ها و ارگان‌های حفاظت از محیط زیست، سلامت همگانی و جوامع علمی بسیار مفید باشد. ذرات معلق موجود در جوّ با قطر آیرودینامیکی بیشتر از ۱۰ میکرون به اندازه کافی بزرگ هستند که در مراحل اولیه تنفس توسط دهان یا بینی گرفته شوند؛ بنابراین، آنچه در مورد ذرات معلق در موضوع آلودگی هوا مهم است، ذرات معلق با قطر کوچک‌تر از ۱۰ میکرومتر (PM10) هستند (مغربی و تجریشی، ۱۳۹۰). غلظت ذرات معلق موجود در جوّ، از مهمترین شاخص‌های آلودگی هوا محسوب شده و به همین دلیل از بیشترین توجه نسبت به دیگر آلاینده‌های جوّی برخوردار هستند (Wang et al., 2010).

از دیگر سوی، دید افقی[2] نیز یکی از شاخص‌های کیفیت هوا است. اندازه دید افقی یا نمایانی به مسافتی گفته می‌شود که در آن فاصله، یک جسم و یا یک شعاع نور از محیط زمینه‌اش کاملاً قابل تشخیص باشد. جذب و پراکندگی نور از هواویزها، عامل فیزیکی کاهش قابلیت دید هستند. البته جذب، سهم قابل ملاحظه‌ای در کاهش قابلیت دید ندارد و علت اصلی کاهش تباین جسم و زمینه، پراکندگی نور از ذراتی است که در هوای بین مشاهده‌گر و جسم قابل مشاهده قرار دارند (رنجبران و همکاران، ۱۳۹۳). پس دید افقی نیز یک نشانگر مشاهداتی از کیفیت هوا به شمار می‌رود.

از مهم‌ترین شرایط همدیدی تأثیرگذار بر دید افقی، شرایط همدیدی با کدهای 05 به نمایندگی از تیرگی هوا[3]، 06 به نمایندگی از گرد و خاک معلق در هوا که در اثر طوفان شن و یا خاک از نقاط خارج از ایستگاه به ایستگاه آمده، 07 به نمایندگی از گرد و خاک یا شنی که به‌وسیله باد در ایستگاه و یا نزدیکی آن در ساعت دیدبانی بلند شده است و 09 به جانشینی از طوفان گرد و خاک قابل دید ولی خارج از محدوده ایستگاه هستند که در ارتباط با دید افقی قابلیت طرح شدن دارند. در واقع می‌توان کد 05 را گرد و غبار شهری، کد 06 را گرد و غبار با منشأ بیرونی یا فرا منطقه‌ای، کد 07 را گرد و خاک با منشأ محلی و کد 09 را گرد و خاک ناشی از طوفان گسترده در لایه‌های میانی اتمسفر نامید. واضح است که تجمع ذرات معلق اتمسفری می‌تواند مقدار دید افقی را دست‌خوش تغییر کند.

الگوریتم ژنتیک[4] تکنیک جستجویی در علم رایانه برای یافتن راه‌حل تقریبی بهینه‌سازی است. این الگوریتم نوع خاصی از الگوریتم‌های تکاملی است که از تکنیک‌های زیست‌شناسی فرگشتی (تکاملی) مانند وراثت و جهش استفاده می‌کند. در واقع الگوریتم‌های ژنتیک از اصول انتخاب طبیعی داروین برای یافتن فرمول بهینه جهت پیش‌بینی یا تطبیق الگو استفاده می‌کنند. الگوریتم‌های ژنتیک اغلب گزینه خوبی برای تکنیک‌های پیش‌بینی بر مبنای رگرسیون

1- Particulate Matter
2 - Visibility
3 - Haze
4 - Genetic Algorithm

هستند. در هوش مصنوعی، الگوریتم ژنتیک یک تکنیک برنامه‌نویسی است که از تکامل ژنتیکی به‌عنوان یک الگوی حل مسئله استفاده می‌کند. مسئله‌ای که باید حل شود دارای ورودی‌هایی می‌باشد که طی یک فرایند الگوبرداری شده از تکامل ژنتیکی به چندین راه‌حل تبدیل می‌شود. سپس راه‌حل‌ها به‌عنوان کاندیداها توسط تابع ارزیاب[1] مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و چنانچه شرط خروج مسئله فراهم شده باشد الگوریتم خاتمه می‌یابد (Maulik and Bandyopadhyay, 2000).

هدف از این پژوهش، واکاوی رابطه بین PM10 به‌دست آمده از داده‌های زمینی ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا و دید افقی به تفکیک شرایط همدیدی 05، 06، 07 و 09 برگرفته از دفاتر سینوپتیک، با استفاده از الگوریتم تکاملی ژنتیک است. در واقع این پژوهش بر آن است تا برای نخستین بار، با کاربست الگوریتم ژنتیک، رابطه‌ای ریاضی میان فراسنج‌های مذکور در شهر یزد ارائه دهد تا بتوان با داشتن یکی از داده‌های این فراسنج‌ها، مقادیر مفقود دیگر فراسنج را با کمترین خطا برآورد کرد.

مبانی نظری تحقیق

پژوهش‌های پیشین، همبستگی بین دید افقی و خصوصیات هواویزها در آمریکا و اروپا را بررسی کرده‌اند و روشن ساخته‌اند که انباشت هواویزها در جوّ با غلظت‌های متفاوت، شرایط نورشناختی اتمسفر و به دنبال آن، دید افقی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (خوش سیما و همکاران، ۱۳۹۲). در ۱۹۵۷ پس از بررسی ویژگی‌های ذرات معلق رسوبی از چند طوفان گرد و غبار در ایالت‌های کانزاس و کلرادوی آمریکا، به رابطه‌ی تجربی زیر بین دید افقی و تمرکز ذرات معلق دست یافته شد (Chepil and Woodruff, 1957):

$$C_m=29.5/V^{1.25} \quad (۱)$$

جایی که C_m تمرکز ذرات معلق گرد و غبار بر حسب تن بر مایل مکعب و V دید افقی به مایل است.

در ۱۹۷۷، اندازه‌گیری دید افقی از روی داده‌های تمرکز ذرات معلق خاک در غرب تگزاس مورد پژوهش قرار گرفت که در آن، به رابطه تجربی زیر دست یافته شد (Patterson and Gillette, 1977):

$$V=10507\times C^{-0.935} \quad (۲)$$

جایی که V دید افقی به کیلومتر و C بر حسب میکرو گرم بر متر مکعب است.

در ۱۹۸۶ طی پژوهشی دو ساله و بر روی شبکه‌ای دربرگیرنده‌ی ۱۱ ایستگاه پایش تیرگی هوا در خط ساحلی جنوب ساحارا در آفریقا، از راه مدل رگرسیون به رابطه زیر برای برآورد میزان دید افقی از روی میزان تمرکز ذرات معلق رسوبی و برعکس دست یافته شد (Guillaume and Almeida, 1986):

1 - Fitness Function

$$C=914.06\ VV^{-0.73}+19.03 \quad (۳)$$

در این رابطه، C تمرکز ذرات معلق به میکرو گرم بر متر مکعب و VV دید افقی به کیلومتر است.

واجاناپوم و همکاران در سال ۲۰۰۱، به‌وسیله مدل رگرسیون، تجمع روزانه PM10 را از مقادیر دید افقی در پایتخت کشور تایلند برآورد کردند (Vajanapoom et al., 2001). مدل رگرسیون ایشان بر پایه ۱۰۹۲ جفت مقادیر مشاهده شده PM10 و دید افقی‌های برداشت شده از روزهای با رطوبت نسبی ۷۶/۵ درصد و کمتر در یک دوره ۶ ساله انجام گردید. در این پژوهش، r2 صرفاً میان تجمع ذرات معلق PM10 با فراسنج دید افقی ۰/۷۱ و پس از تعدیل کردن با فراسنج‌های حداقل دماهای تابستان و فشارهای زمستان، ۰/۵۱ ارزیابی گردیده است. حتی در مواردی، بیشترین تأثیر بر دید افقی، مربوط به فراسنج PM10 ارزیابی شده است (Grzegorz et al., 2015).

در ۲۰۰۳، شائو و همکاران طی پژوهشی درباره‌ی طوفان‌های گرد و غبار شمال شرقی آسیا، به دو رابطه برای برآورد PM10 از روی دید افقی به تفکیک دیدهای افقی زیر ۳/۵ کیلومتر و بزرگتر مساوی ۳/۵ کیلومتر دست یافتند (Shao et al., 2003). رابطه‌های پیش‌نهادی آنها از این قرار است:

$$C = 3802.29V^{-0.84}\ V < 3.5 \quad (۴)$$

$$C = \exp(-0.11V + 7.62)\ V \geq 3.5 \quad (۵)$$

در این رابطه‌ها، C دید افقی به کیلومتر و V تجمع ذرات معلق به میکرو گرم بر متر مکعب است.

در سال ۲۰۰۶، طی پژوهشی در منطقه شهری آتن، تجمع ساعتی PM10 توسط فراسنج‌های هواشناختی دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و جهت باد، به کمک الگوریتم ژنتیک پیش‌بینی گردید (Grivas, 2006). در این پژوهش، کارایی مدل‌های شبکه عصبی از مدل‌های رگرسیون خطی بیشتر ارزیابی گردید (r2 در مدل‌های رگرسیون بین ۰/۲۹ و ۰/۳۵، اما در مدل شبکه عصبی بین ۰/۵۰ و ۰/۶۷ برآورد شد).

در ۲۰۰۸، پژوهشی که در پی یافتن رابطه‌ی میان گرد و غبار معلق و گردش‌های اتمسفری در اسراییل بود، از تابع Ln برای برآورد رابطه میان دید افقی و PM10 بهره جست (Dayan et al, 2008). رابطه‌ی ذکر شده بدین‌سان است:

$$Y= -505\ Ln(X) + 2264 \quad (۶)$$

در این رابطه PM10 بر حسب میکرو گرم بر متر مکعب در جایگاه Y و دید افقی بر حسب واحدهای ۱۰۰ متری در جایگاه X قرار می‌گیرد.

دیمیتریس و همکاران در سال ۲۰۱۱ به مقایسه داده‌های کیفیت هوا و پیش‌بینی مقادیر PM10 و PM2.5 با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و مدل رگرسیون خطی، در پایتخت کشور فنلاند و تسالونیکی در کشور یونان همت گماشتند (Dimitris, 2011). کارایی این مدل از پیش‌بینی میانگین روزانه تجمع PM10 در این دو مکان متفاوت در پژوهش مذکور، به دور از تفاوت اساسی عنوان شده است.

در ۲۰۱۳، انتشار PM10 با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک مورد بهینه‌سازی و پیش‌بینی قرار گرفت (Davor et al., 2013). در این پژوهش که با دوره‌ای به طول ۵ سال در ۲۶ کشور اروپایی انجام پذیرفت،

میانگین خطای مطلق برای دو سال پیش‌بینی انتشار PM10 فقط ۱۰ درصد بود که سه برابر بهتر از پیش‌بینی‌های تخمین زده شده توسط مدل‌های رگرسیون مرسوم و با استفاده از فراسنج‌های مشابه عنوان گردیده است.

کامینو و همکاران در سال ۲۰۱۵ در پژوهشی، به ارائه یک رابطه تجربی برای برآورد تجمع گرد و غبار معدنی با استفاده از دید افقی برای شمال آفریقا پرداختند (Camino et al., 2015). ایشان همچنین در این پژوهش، روابط برآورد شده‌ی پیشین بین دو فراسنج مذکور را معرفی نمودند. رابطه ارائه شده در این پژوهش که به گفته‌ی پدید آورندگان آن، در دیدهای افقی بالای ۱۰ کیلومتر فاقد اعتبار است، به شکل زیر است:

$$PM10= 1772.24\ V-1.1 \quad (۷)$$

در این رابطه، V دید افقی می‌باشد.

پژوهشی موردی در استرالیا در سال ۲۰۱۴ بین دید افقی و مجموع ذرات معلق گرد و غبار انجام پذیرفت که خروجی آن، رابطه‌ای ریاضی میان این دو فراسنج بود (Baddock et al., 2014). داده‌های دید افقی در این پژوهش از مقادیر بین ۱۰ تا ۱۰۰ کیلومتر گزینش شده بودند و در آزمودن رابطه‌ی به‌دست آمده هنگام تست با داده‌های مشاهده شده، همبستگی (r^2) ۰/۶ به‌دست آمد. رابطه‌ی اشاره شده از قرار زیر است:

$$C_{VISD}=4050\times Vis^{-1.016} \quad (۸)$$

جایی که C_{VISD} مجموع ذرات معلق گرد و غبار بر حسب میکروگرم بر متر مکعب و Vis دید افقی به کیلومتر است.

در ایران نیز در سال ۱۳۹۴ تمرکز ذرات معلق PM10 با استفاده از برخی فراسنج‌های هواشناختی شامل فشار، دما، رطوبت، تندی و جهت باد و با کاربست شبکه عصبی مصنوعی، مربوط به دوره‌ی دسامبر ۲۰۱۰ تا سپتامبر ۲۰۱۱ در منطقه زنجان مورد تخمین قرار گرفته است (خوش‌سیما و همکاران، ۱۳۹۴). نتایج این پژوهش نشان دادند ضریب همبستگی بین مقادیر مشاهداتی و مقادیر پیش‌بینی شده‌ی PM10 برای روش همبستگی ساده چند متغیره و شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب برابر با ۰/۶۲ و ۰/۸۲ است. از این‌رو، استفاده از شبکه عصبی که قادر به پیش‌بینی روابط پیچیده بین فراسنج‌های گوناگون است، در مقایسه با روش همبستگی ساده چند متغیره برای برآورد تمرکز PM10 مناسب‌تر ارزیابی گردیده است.

داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش، شهر یزد واقع در ایران مرکزی است. دلیل گزینش شهری در بخش ایران مرکزی این بوده است که ایران مرکزی، هم از گرد و غبار و ریز گردهای با منشاء بیرونی یا فرا منطقه‌ای (شرایط جوّی ثبت شده با کد 06 در دفاتر همدیدی ایستگاه‌های هواشناسی) که حتی از مرزهای خارجی کشور همراه با گردش عمومی جو به ایران مرکزی آورده می‌شوند تاثیرپذیر است، هم از ریز گردهایی که منشاء محلی دارند (شرایط جوّی ثبت شده با کد ۰۷ در دفاتر همدیدی) در آن فعال‌اند و هم اینکه در یک منطقه‌ی شهری، رخداد پدیده‌ی تاری ناشی از آلودگی هوا (کد همدیدی 05) چشم‌گیرتر از یک منطقه‌ی بکر خواهد بود؛ و این در حالی است که مناطق غربی و جنوب‌غربی ایران

بیشتر جای‌گاه خودنمایی ریزگردهای با منشاء فرا منطقه‌ای، مناطق شرقی و جنوب‌شرقی ایران بیشتر جای‌گاه خودنمایی ریز گردهای با منشاء محلی و در دیگر مناطق جغرافیایی ایران (شمال، شمال‌شرق، شمال‌غرب و جنوب) تقریبا مشکل بزرگی با عنوان پدیده تاخت و تاز ریز گردها، نه با منشاء محلی و نه فرا منطقه‌ای و افت شدید دید افقی چشم‌گیر نیست.

داده‌های ساعتی PM10 از دو ایستگاه پایش کیفیت هوا وابسته به سازمان حفاظت از محیط زیست استان یزد در یک دوره آماری پنج ساله (از ۲۰۱۰/۰۳/۲۵ ساعت یک گرینویچ تا ساعت صفر گرینویچ روز ۲۰۱۵/۰۳/۲۵) با بسامد یک ساعته و با واحد میکروگرم بر متر مکعب ($\mu g/m^3$) دریافت گردید. این طول دوره‌ی آماری کامل‌ترین دوره‌ی قابل اخذ از سازمان نام‌برده بوده است. سپس داده‌های با بسامد سه ساعته دید افقی به تفکیک شرایط (کدهای) همدیدی 05، 06، 07 و 09 در یک بازه زمانی همسان با داده‌های PM10، از دفاتر سینوپتیک اداره کل هواشناسی استان یزد، برداشت شده از ایستگاه همدیدی کنار فرودگاه یزد دریافت شدند. نقشه موقعیت جغرافیایی شهر یزد و موقعیت ایستگاه‌های برداشت داده در شکل ۱ ارائه گردیده است. تعداد داده‌ها ۱۲۶۳ بوده و ویژگی‌های آماری آنها در جدول ۱ ارائه گردیده است.

پس از جفت‌سازی و محاسبه‌ی همبستگی و معادله خط رگرسیون تمامی متغیرها در نرم افزار SPSS، داده‌ها برای پیاده‌سازی در الگوریتم ژنتیک، به نرم افزار MATLAB نسخه‌ی ۱۶ منتقل شدند. در الگوریتم ژنتیک که روشی نوین و یکی از ابزارهای پیشرفته‌ی حل مسئله و گزینش بهترین تابع برازندگی می‌باشد، از ایده‌ی تکامل موجودات زنده استفاده می‌شود. بدین‌گونه که در ابتدا مجموعه‌ای از جواب‌ها به‌صورت اتفاقی حدس زده می‌شوند و میزان نزدیکی آنها به جواب بهینه با محاسبه‌ی یک تابع برازندگی برای هر یک از آنها نمایان می‌شود. سپس از جواب‌های بهتر و برازنده‌تر در به‌وجود آوردن مجموعه جدیدی از جواب‌ها استفاده می‌شود. الگوریتم ژنتیک از یک سو به‌خاطر طبیعت تصادفی‌اش در تمام فضای جواب‌های ممکن به دنبال جواب بهینه می‌گردد و در نتیجه از لحاظ تئوری، توانایی پیدا کردن بهینه کلی را دارد؛ و از سوی دیگر، به خاطر آنکه عمل جستجو در هر گام در حوالی جواب‌های شبه بهینه‌ی فعلی صورت می‌گیرد، این عمل به‌صورت هدف‌مند انجام می‌پذیرد (حجازی و همکاران، ۱۳۹۳).

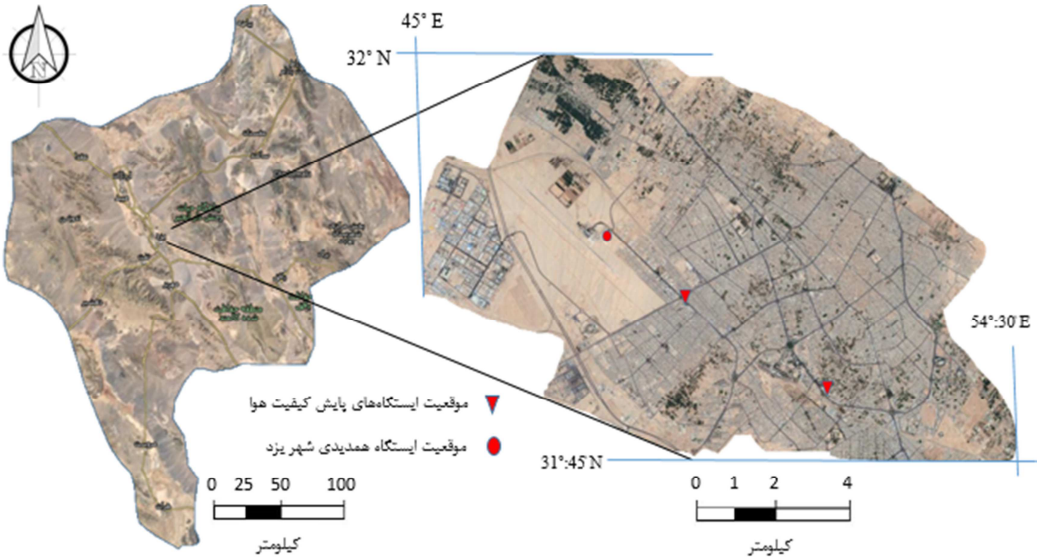
از آنجایی که داده‌ها باید به شکل ماتریس به الگوریتم ژنتیک معرفی گردند، داده‌های PM10 و دید افقی در ریخت دو ماتریس به ترتیب با نام‌های X_1 و X_2 به تفکیک کدهای همدیدی مربوطه به الگوریتم ژنتیک شناسانده شدند؛ که ۷۰ درصد این داده‌ها برای تراکنش آموزش[1] و ۳۰ درصد برای تراکنش آزمایش[2] به‌کار گرفته شده‌اند.

چون درست‌ترین برداشت داده‌های گرد و غبار و ذرات معلق - با توجه به بودنشان در متن آلودگی هوا و ریزگردها و دور بودنشان از خطاهای برآمده از دست داشتن انسان در برداشت داده‌ها (بر خلاف داده‌های دید افقی در ایستگاه همدید یزد) - با دستگاه‌های پایش چگونگی هوای سازمان محیط زیست انجام می‌پذیرد، مناسب دیده شد تا اندازه‌های X_2 که همان دید افقی باشند، به عنوان تابعی از PM10 به الگوریتم معرفی شوند. افزون بر این، کدهای

1 - Training
2 - Test

همدیدی نیز می‌بایست به صورت شرط‌هایی به الگوریتم شناسانده می‌گردیدند؛ که این کار توسط کد نویسی صورت پذیرفت. سپس برازنده‌ترین تابع بین فراسنج‌های مورد پژوهش استخراج گردید.

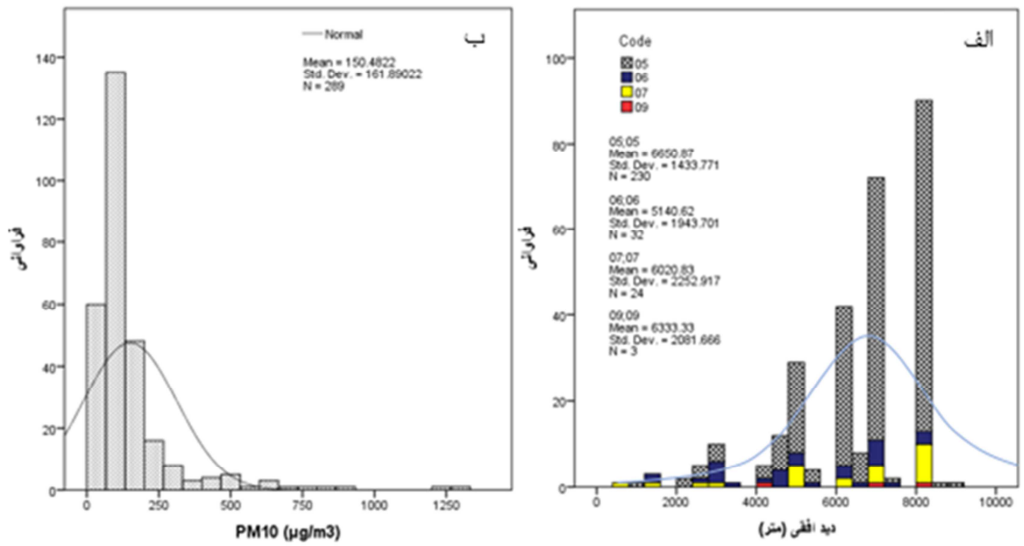
روش ابداعی این پژوهش، یافتن رابطه‌ی ریاضی میان دو فراسنج بنیادین در ارزیابی‌های در ارتباط با گرد و غبار و ریز گردها که همانا دید افقی و کمیّت PM10 باشند با به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک و ارائه‌ی پنج رابطه‌ی ریاضی برای نخستین بار، برای محاسبه اندازه‌های PM10 از روی داده‌های دید افقی به‌صورت ویژه و دید افقی به تفکیک کدهای همدیدی 05، 06، 07 و 09 است.



شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی شهر یزد و موقعیت ایستگاه‌های برداشت داده

یافته‌های تحقیق

نمودار آماری داده‌های دید افقی به‌کار گرفته شده در این پژوهش به تفکیک کدهای همدیدشان به‌همراه نمودار توزیع نرمال بسامد آنها و همچنین نمودار آماری PM10 های به‌کار گرفته شده به‌همراه توزیع نرمال بسامدشان، به‌ترتیب در بخش‌های الف و ب شکل ۲ آورده شده‌اند. همبستگی پیرسون میان داده‌های PM10 با دید افقی، ۰/۵۸- برآورد گردیدند که در سطح اطمینان ۹۵ درصد می‌باشند.

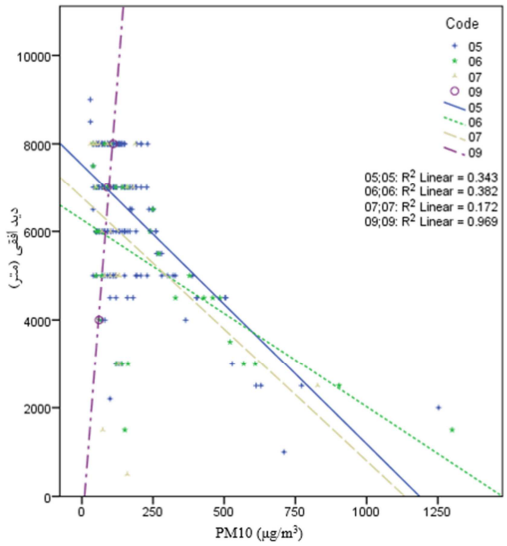


شکل ۲: (الف) نمودار آماری داده‌های دید افقی به تفکیک کدهای همدید و توزیع نرمال بسامدشان و (ب) نمودار آماری داده‌های PM10 به‌همراه توزیع نرمال بسامدشان

همبستگی پیرسون (r) میان داده‌های PM10 و مقادیر دید افقی، برای کدهای همدیدی 05، 06، 07 و 09 به ترتیب برابر است با ۰/۵۹-، ۰/۶۲-، ۰/۴۱- و ۰/۹۸-. همبستگی و رابطه نسبتاً خوب میان مقادیر PM10 و دید افقی در مورد کد 07، این گونه قابل توجیه است که هنگام رخداد پدیده‌ی گرد و خاکی که پدید آورنده‌ی آن، باد پیرامون ایستگاه همدید یا همان گرد و خاک با منشاء بومی (کد 07) است، هم دید افقی از سوی دیدبانان ایستگاه‌های همدید با تخمین نسبتاً خوب (و اگر ایستگاه دارای ابزارهای نوری خودکار برداشت دید افقی باشد با تخمین بسیار خوب) برداشت می‌گردد؛ و هم این گرد و خاک و هواویزها در فیلترهای دستگاه‌های پایش چگونگی هوای زیر نظر سازمان محیط زیست به خوبی نشست می‌کنند و اندازه‌های PM10 را دستخوش تغییر می‌سازند. در مورد پدیده‌ی تیرگی هوا (کد 05) نیز وضعیت کمابیش همین گونه است. با این تفاوت که چون این پدیده در واقع گرد و غبار و هواویزهای شهری است، پس در پیرامون دستگاه‌های کنترل کیفیت هوا که اغلب در نقاط میان‌گاهی شهرها به‌ویژه شهر یزد جای گرفته‌اند، در زمان مشابه، باید اندازه‌های بالاتری از PM10 را در مقایسه با اندازه‌های دید افقی که در ایستگاه همدیدیِ مستقر در پیرامون شهر برداشت می‌گردند انتظار داشت. نکته جالب، همبستگی بسیار بالا اما مثبتِ میان داده‌های PM10 و مقادیر دید افقی با کد همدیدی 09 است. بدین‌سان که در حالت نرمال، از همبستگی میان فراسنج‌های PM10 و دید افقی، نباید انتظار اندازه‌های مثبت را داشت. ولی همان‌گونه که دیده می‌شود، همبستگی میان این دو فراسنج با این‌که بسیار بالاست، مثبت است. برای روشن‌سازیِ دلیل این رخداد، برمی‌گردیم به معنای کد همدیدی 09 که طوفان گرد و خاک قابل دید ولی خارج از محدوده ایستگاه است. به هنگام رخداد این پدیده که در دفاتر سینوپتیک ایستگاه‌های همدید با عنوان 09 به ثبت می‌رسد، هنوز گرد و غباری به فیلترهای دستگاه‌های

برداشت PM10 اداره محیط زیست نرسیده است. پس در این حالت، هم‌زمانی رخداد دید افقی و PM10 بالا یا پایین، امکان‌پذیر است.

نمودار کمترین مربعات که برای وایازی ساده‌ی چند متغیره بین فراسنج‌های PM10، دید افقی و کدهای همدیدیِ به کار گرفته شده استفاده شده است، در شکل ۳ ارائه گردیده است. این شکل همچنین مشاهده و مقایسه بسآمد و چگونگی پخش کدهای همدیدی و اندازه‌های دید افقی را امکان‌پذیر می‌سازد. بسآمد چشم‌گیر کد همدید 05 به‌ویژه در اندازه‌های دید افقی ۵، ۶، ۶/۵، ۷ و ۸ کیلومتر، برابری تقریبی رخداد کدهای 06 و 07، بسآمد پایین اندازه‌های دید افقی زیر ۲/۵ کیلومتر و همچنین کد همدید 09 به خوبی در شکل ۳ به چشم می‌آید. می‌شود گفت که این نمودارها، همبستگی و معادله خط رگرسیون میان فراسنج‌های یاد شده را به نمایش می‌گذارند.



شکل ۳: نمودار کمترین مربعات، بین فراسنج‌های PM10، دید افقی و کدهای همدیدی

در مسائل بهینه‌سازی که در بستر الگوریتم ژنتیک پیاده می‌گردند، هدف پایین آوردن خطا یا مینیمم[1] کردن تابع هزینه است. در بیشتر مسائل بهینه‌سازی، تابع هزینه به گونه‌ی مجموع مربعات خطا (SSE[2]) و مجموع مربعات خطای نسبی ($RSSE$[3]) تعریف می‌گردد. این توابع در روابط ۹ و ۱۰ ارائه گردیده‌اند:

1 - Minimum
2 - Sum Square Error
3 - Relative Sum Square Error

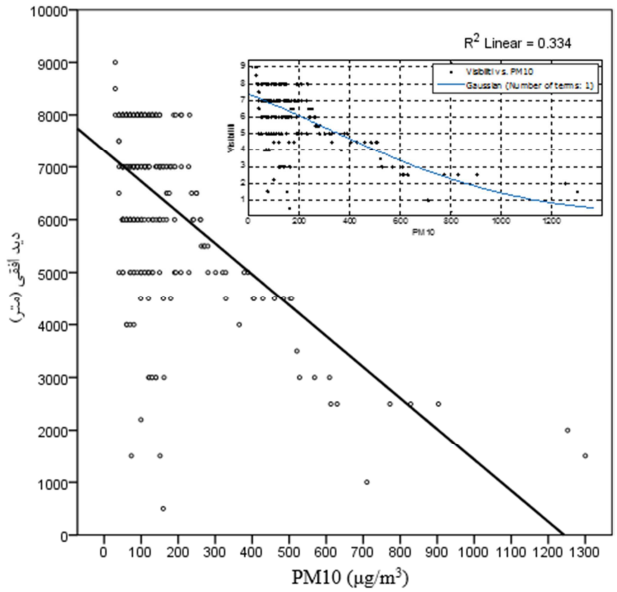
$$SSE = \sum_{i=1}^{n} (F_{actual_i} - F_{estimated_i})^2 \quad (۹)$$

$$\%RSSE = \frac{SSE}{\sum_{i=1}^{n} F_{actual_i}^2} \times 100 \; F_{actual_i} \quad (۱۰)$$

تابع اندازه‌های برآورد شده براساس فراسنج‌های بهینه‌سازی نمایان شده از الگوریتم ژنتیک می‌باشند. همواره مجموع مربعات خطا کمتر از ۰/۰۰۰۱ یا مجموع مربعات خطای نسبی کمتر از ۰/۰۱ به عنوان معیار همگرایی تعریف می‌گردد (Ganjehkaviri et al, 2017).

پس از بررسی‌های بسیار و آزمودن توابع گوناگونی همچون تابع ویبول[۱]، گویا[۲]، پاور[۳]، دو جمله‌ای[۴]، نمایی[۵]، خطی[۶]، فوریر[۷] و گوسین[۸]، با توجه به SSE، میانگین مربعات خطای نسبی (RMSE[۹]) و همچنین r^2، بهترین تابع برای بهینه‌سازی رابطه‌ی فراگیرِ ریاضیِ بین PM10 و دید افقی؛ و همچنین بین کدهای همدیدیِ 05 و 09 با PM10، تابع گوسین با دوره[۱۰] ۱ و این مهم در مورد کدهای همدیدی 07 و 06 تابع گوسین با دوره ۲ ارزیابی گردید. در شکل ۴، گراف بهینه در رگرسیون خطی و تابع گوسین با دوره ۱ در مورد توزیع داده‌های PM10 و دید افقی مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

1 - Weibull
2 - Rational
3 - Power
4 - Polynomial
5 - Exponential
6 - Liner
7 - Fourier
8 - Gaussian
9 - Relative Mean Square Errror
10 - Term



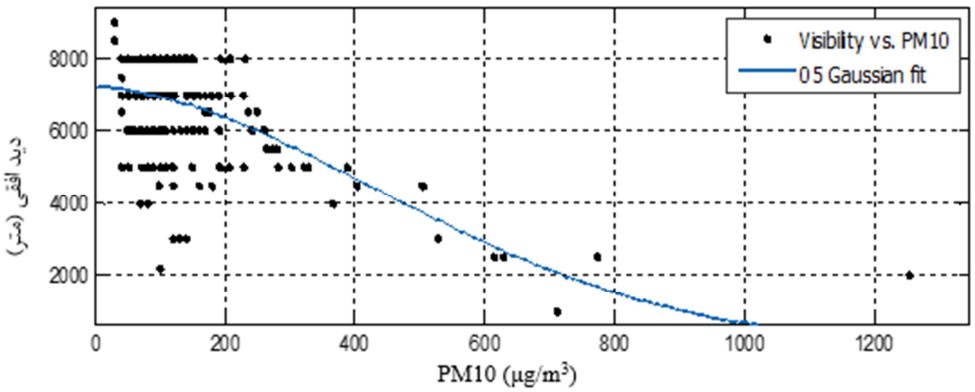
شکل ۴: مقایسه‌ی گراف بهینه در رگرسیون خطی و تابع گوسین با دوره ۱ در مورد توزیع داده‌های PM10 و دید افقی

در جدول ۱، ویژگی‌های آماری فراسنج‌های جفت شده در این پژوهش آورده شده‌اند. به این دلیل که دگرگونی‌های اندازه‌های دید افقی تابعی از دگرگونی‌های اندازه‌های PM10 به شمار آورده شده‌اند، داده‌های PM10 با عنوان X و بر حسب میکرو گرم بر متر مکعب ($\mu g/m^3$) و داده‌های دید افقی با عنوان Y بر حسب کیلومتر (km) مورد واکاوی‌های آماری قرار گرفته‌اند.

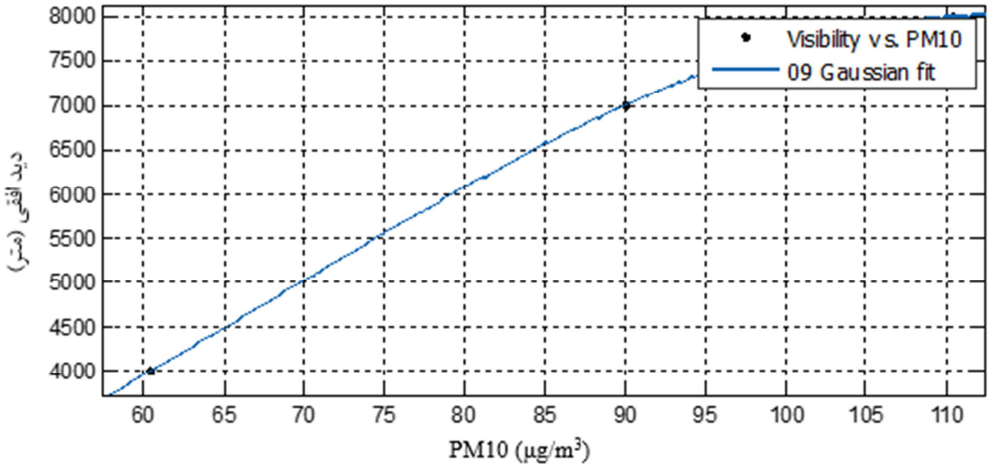
جدول ۱: ویژگی‌های آماری فراسنج‌های جفت شده

	range		std		mode		median		mean		max		min		R^2	RMSE
	Y km	X $\mu g/m^3$	Y km	X $\mu g/m^3$	Y km	X $\mu g/m^3$	Y km	X $\mu g/m^3$	Y km	X $\mu g/m^3$	Y km	X $\mu g/m^3$	Y km	X $\mu g/m^3$		
PM10 و دید افقی	۸/۵	۱۲۷/۱	۱/۶۴۸	۱۶۱/۹	۸	۵۰	۷	۱۰۰/۴	۶/۴۲۸	۱۵۰/۵	۹	۱۳۰۰	۰/۵	۲۹/۶۸	۰/۳۵	۱/۳۴
PM10 و دید افقی کد 05	۸	۱۲۲۳	۱/۴۳۴	۱۳۲/۴	۸	۵۰	۷	۱۰۰/۴	۶/۶۵۱	۱۳۷/۷	۹	۱۲۳۵	۱	۲۹/۶۸	۰/۳۶	۱/۱۵
PM10 و دید افقی کد 06	۶/۵	۱۲۶۱	۱/۹۴۴	۲۸۲/۹	۷	۵۰	۵	۱۴۶/۷	۵/۱۴۱	۲۶۵/۹	۸	۱۳۰۰	۱/۵	۳۹/۶۱	۰/۴۲	۱/۶۲
PM10 و دید افقی کد 07	۴	۴۹/۹۶	۲/۰۸۲	۲۵/۱۲	۴	۶۰/۴۴	۷	۹۰	۶/۳۳۳	۸۶/۹۵	۸	۱۱۰/۴	۴	۶۰/۴۴	۰/۳۵	۲/۰۵
PM10 و دید افقی کد 09	۷/۵	۷۹۷/۹	۲/۲۵۳	۱۵۶/۳	۸	۸۰	۷	۹۴/۷	۶/۰۲۱	۱۲۶/۷	۸	۸۲۸/۲	۰/۵	۳۰/۳۲	۱	NAN

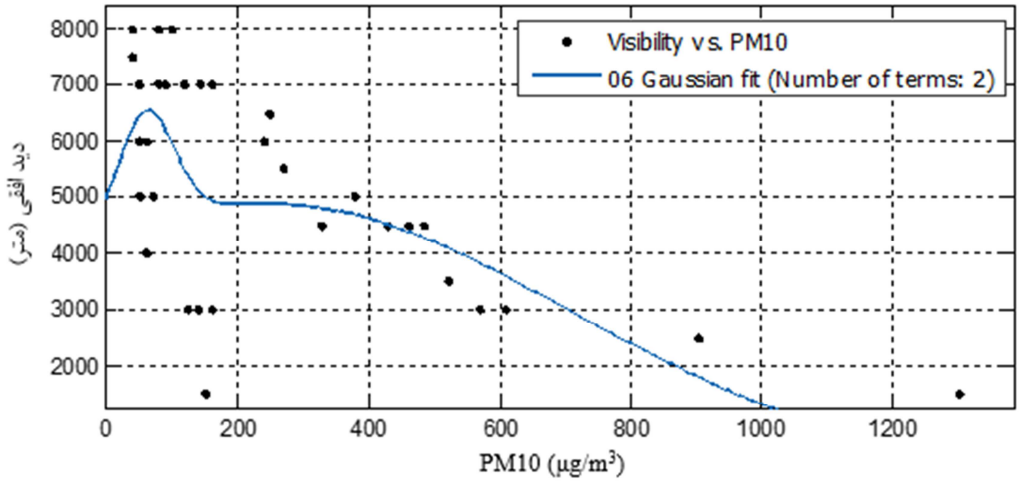
در شکل ۵ و ۶ به‌ترتیب گراف تابع برازش گوسین با دوره 1 میان داده‌های PM10 و دید افقی با کد هم‌دید 05؛ و داده‌های PM10 و دید افقی با کد هم‌دید 09 نشان داده شده است. همچنین گراف‌های تابع برازش با دوره ۲ میان داده‌های PM10 و دید افقی با کد همدید 06 و 07 به‌ترتیب در شکل‌های ۷ و ۸ آورده شده است.



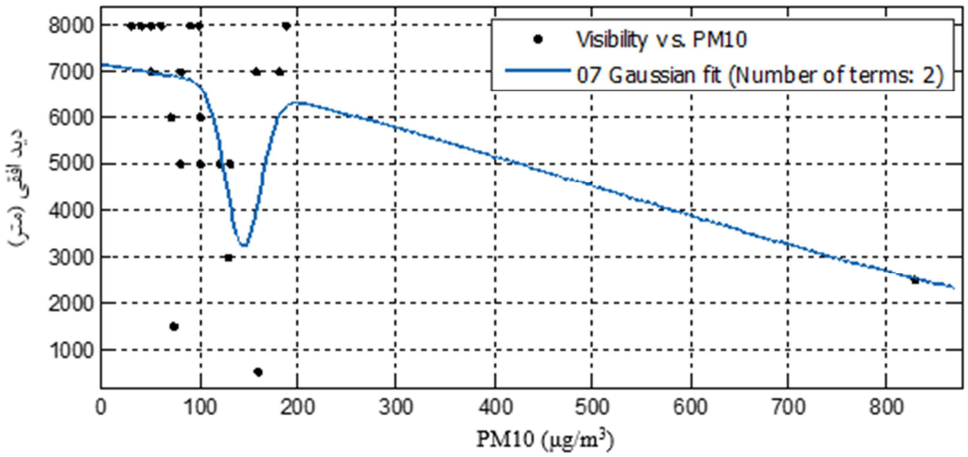
شکل ۵: گراف تابع برازش گوسین با دوره ۱ میان داده‌های PM10 و دید افقی با کد همدید 05



شکل ۶: گراف تابع برازش گوسین با دوره ۱ میان داده‌های PM10 و دید افقی با کد همدید 09



شکل ۷: گراف تابع برازش گوسین با دوره ۲ میان داده‌های PM10 و دید افقی با کد همدید 06



شکل ۸: گراف تابع برازش گوسین با دوره ۲ میان داده‌های PM10 و دید افقی با کد همدید 07

حالت کلی تابع چگالی احتمال گوسین با دوره‌ی یک و دو به ترتیب در روابط ۱۱ و ۱۲ ارائه شده‌اند:

$$f(x) = a1\times\exp(-((x-b1)/c1)^2) \quad (۱۱)$$

$$f(x) = a1\times\exp(-((x-b1)/c1)^2) + a2\times\exp(-((x-b2)/c2)^2) \quad (۱۲)$$

بهترین جایگزین عددی برای ضرایب a1، b1 و c1 در الگوریتم ژنتیک در مورد رابطه‌ی میان PM10 و دید افقی در حالت کلی، به ترتیب ۹۹۸۵، ۴۶۲/۴- و ۱۰۸۱ محاسبه گردیدند. بدین‌سان، رابطه‌ی ۱۱ این‌چنین بازنویسی می‌گردد:

$$V = 9985 \times \exp\left(-\left(\frac{PM10+462.4}{1081}\right)^2\right) \quad (۱۳)$$

رابطه‌ی ریاضی بالا، یک رابطه‌ی فراگیر است که پیوستگی کلّیِ میان فراسنج‌های PM10 و دید افقی را نمایان می‌سازد. بدین‌سان که هر گاه تنها دید افقی (V) مکانی را داشته باشیم؛ (به شرط آن که کاهش دید افقی مربوط به تمرکز ذرات معلق گرد و غبار و هواویزهای وردسپهری باشد و نه مه و ابرهای تیره که آنها نیز باعث کاهش دید افقی می‌گردند) اما کد همدیدی مربوط به آن را ندانیم؛ یا این که برعکس؛ می‌توانیم با به‌کارگیری رابطه بالا، اندازه فراسنج دیگرِ مربوط به آن را با تقریب بالایی به‌دست آوریم.

exp در واقع همان تابع نمایی در ریاضیات است. این تابع عدد e که برابر با ۲/۷۱۸۲۸۱۸۲۸ است را به توان x می‌رساند.

رابطه‌ی ۱۴، برای برآورد PM10 از روی داده‌های دید افقی با کد همدیدی 05 (V_{05}) و بالعکس و همچنین رابطه‌ی ۱۵ برای برآورد PM10 از روی داده‌های دید افقی با کد همدیدی 09 است:

$$V_{05} = 7274 \times \exp\left(-\left(\frac{PM10+48.89}{677.9}\right)^2\right) \quad (۱۴)$$

$$V_{09} = 8018 \times \exp\left(-\left(\frac{PM10-113.4}{63.51}\right)^2\right) \quad (۱۵)$$

همان‌گونه که دیده می‌شود و پیش‌تر نیز اشاره گردید، قالب توابع ۱۳، ۱۴ و ۱۵ تابع گوسین با دوه‌ی یک می‌باشد. ولی درباره‌ی کدهای همدیدی 06 و 07، متناسب با دگرگونی‌های داده‌ها، به ترتیب رابطه‌های ۱۶ و ۱۷ که در قالب تابع گوسین با دوره‌ی ۲ می‌باشند پیش‌نهاد می‌گردند:

$$V_{06} = 2013 \times \exp\left(-\left(\frac{PM10-60.08}{59.58}\right)^2\right) + 4889 \times \exp\left(-\left(\frac{PM10-241.3}{661.6}\right)^2\right) \quad (۱۶)$$

$$V_{07} = -3384 \times \exp\left(-\left(\frac{PM10-144.2}{25.13}\right)^2\right) + 7449 \times \exp\left(-\left(\frac{PM10+196.7}{986.9}\right)^2\right) \quad (۱۷)$$

نتیجه‌گیری

این پژوهش، پنج تابع و رابطه‌ی ریاضی بر پایه‌ی مدل کلی تابع گوسین با سطح اطمینان ۹۵ درصد را برای برآورد رابطه میان فراسنج‌های PM10 و دید افقی در حالت کلی و همچنین به تفکیک کدهای همدیدی 05، 09، 06 و 07 از قرار رابطه‌های شماره ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۱۷ در زمینه گرد و غبار و ریزگردها ارائه داد.

به نظر می‌رسد که روابط ارائه شده در این پژوهش، بنا بر مشابهت‌های فراوان آب و هوایی و توپوگرافیکی میان بخش‌های طبیعی و شهری ایران مرکزی، شرقی و جنوب‌شرقی کشور، در تمامی مناطق یاد شده قابل به‌کارگیری و تعمیم باشند. البته مشروط بر این که رویدادهای گرد و غباری نواحی یاد شده، با کدهای همدیدی کار شده در این پژوهش منطبق باشند؛ و برآورد رابطه‌ی میان PM10 و رخدادهایی همچون طوفان‌های گرد و خاک سبک تا شدید و گسترده با کدهای همدیدی ۳۰ الی ۳۵، پژوهش دیگری را می‌طلبد.

در مقایسه با مطالعات دیگران، باید گفت این پژوهش نخستین بار در ایران است که در صدد کشف رابطه‌ی ریاضی میان فراسنج‌های PM10 و دید افقی در حالت کلی و به تفکیک کدهای همدیدی برآمده است و به آن نایل گردیده است. در سطح جهان نیز در بررسی‌هایی که انجام گرفت، هیچ پژوهشی میان فراسنج‌های یاد شده به تفکیک کدهای همدیدی که منتج به ارائه رابطه‌ای ریاضی در قالب تابع دوجمله‌ای و با کاربست الگوریتم ژنتیک گردیده باشد مشاهده نگردید.

در پایان، امید است اینک که پدیده‌ی جغرافیایی گرد و غبار و ریزگرد، این‌چنین برجسته و فراگیر در بخش گسترده‌ای از ایران پهناور تاخت و تاز می‌کند؛ و در شمار آسیب‌رسان‌ترین مخاطرات طبیعی این مرز و بوم جای گرفته است، رابطه‌های ارائه شده در این مجموعه بتوانند برای پژوهش‌گران علاقه‌مند به پژوهش در زمینه‌ی این پدیده‌های نفس‌گیر جغرافیایی سودمند باشند.

منابع

حجازی عباس؛ محمد رضا مباشری و ابوالفضل احمدیان (۱۳۹۳). بهینه سازی یک مدل شبه تجربی با استفاده از الگوریتم ژنتیک به منظور برآورد غلظت ذرات معلق (PM10) سطحی در شهر تهران با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های هواشناسی. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۵، پیاپی ۵۴، شماره ۲، صص ۳۷-۵۰.

خوش سیما مسعود؛ عباسعلی علی اکبری بیدختی و فرهنگ احمدی گیوی (۱۳۹۲). تعیین عمق نوری هواویزها با استفاده از داده‌های دید افقی و سنجش از دور در دو منطقه شهری در ایران، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۹، شماره ۱، صص ۱۶۳-۱۷۴.

خوش‌سیما مسعود؛ سمانه ثابت‌قدم و عباسعلی علی اکبری بیدختی (۱۳۹۴). تخمین تمرکز ذرات معلق در جو با استفاده از داده‌های سنجش از دور ماهواره‌ای و زمین‌پایه و پراسنج‌های هواشناختی: کاربست شبکهٔ عصبی مصنوعی، فیزیک زمین و فضا، دوره ۴۱، شماره ۳، صص ۴۹۹-۵۱۰.

رنجبران ملیحه؛ عاطفه عجمی؛ محسن بنجخی؛ هادی برزویی و سید مجتبی برزین (۱۳۹۳). بررسی رابطه بین زاویه و شدت پراکندگی برای ذرات جوی کاهنده قابلیت دید افقی، مرکز خدمات تخصصی اپتیک جهاد دانشگاهی صنعتی شریف، بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه شهید بهشتی، صص ۱۳۹۷-۱۴۰۰.

مغربی مهدی و مسعود تجرشی (۱۳۹۰). بررسی کاربرد حس‌گرهای ماهواره‌ای در تشخیص ذرات معلق شهرهای بزرگ، فصلنامه علمی پژوهشی و تحلیلی اوج، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده هوا فضا، شماره ۱، صص ۳۸-۴۱.

Baddock, M.C., Strong, C.L., Leys, J.F., Heidenreich, S.K., Tews, E.K., McTainsh, G.H., (2014). Visibility and total suspended dust relationship. Atmospheric Environment, 89, 329-336.

Camino, C., Cuevas, E., Basart, S., Alonso, S., Baldasano, J.M., Terradellas, E., Marticorena, B., RodrIguez, S., Berjon, A., (2015). An empirical equation to estimate mineral dust concentrations from visibility observations in Northern Africa. Aeolian Research, 16, 55–68.

Chepil, W.S., Woodruff, N.P., (1957). Sedimentary characteristics of dust storms: visibility and dust concentration. American Journal of science, 255, 104-114.

Davor, A., Viktor, P., Dragan, P., Mirjana, R., Aleksandra, P., (2013). PM10 emission forecasting using artificial neural networks and genetic algorithm input variable optimization. Science of the Total Environment, 443, 511–519.

Dayan, U., Ziv, B., Shoob, T., Enzel, Y., (2008). Suspended dust over southeastern Mediterranean and its relation to atmospheric circulations. International Journal of Climatology, 28, 915–924.

Dimitris, V., Kostas, K., Jaakko, K., Teemu, R., Ari, K., Mikko, K., (2011). Intercomparison of air quality data using principal component analysis, and forecasting of PM10 and PM2.5 concentrations using artificial neural networks, in Thessaloniki and Helsinki. Science of the Total Environment, 409, 1266–1276.

Ganjehkaviri, A., Mohd, M.N., Hosseini, S.E., Barzegaravval, H., (2017) Genetic algorithm for optimization of energy systems: Solution uniqueness, accuracy, Pareto convergence and dimension reduction. Energy, 119, 167–177.

Grivas, G., Chaloulakou, A., (2006). Artificial neural network models for prediction of PM10 hourly concentrations, in the Greater Area of Athens, Greece. Atmospheric Environment, 40, 1216–1229.
Grzegorz, M., Wioletta, R., Piotr, O., Artur, B., Andrzej, B., (2015). The Impact of Selected Parameters on Visibility: First Results from a Long-Term Campaign in Warsaw, Poland. Atmosphere, 6, 1154-1174. Doi: 10.3390/atmos6081154.
Guillaume, A., Almeida, D., (1986). A model for Saharan dust transport. American Meteorological Society, 25, 903-916.
Maulik, U., Bandyopadhyay, S., (2000) Genetic algorithm-based clustering technique. Pattern Recognition, 33, 1455-1465.
Patterson, E.M., Gillette, D.A., (1977). Measurements of visibility vs. mass concentration for airborne soil particles. Atmospheric Environment, 11, 193–196.
Shao, Y., Yang, Y., Wang, J., Song, Z., Leslie, L.M., Dong, C., Zhang, Z., Lin, Z., Kanai, Y., Yabuki, S., Chun, Y., (2003), Northeast Asian dust storms: Real-time numerical prediction and validation, Journal of Geophysical Research, 108, doi:10.1029/2003JD003667.
Vajanapoom, N., Carl, M., Lucas, M., Dana. L., (2001). Estimation of particulate matter from visibility in Bangkok, Thailand. Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology, 11, 97-102.
Wang, Z., Chen, L., Tao, J., Zhang, Y., Su. L., (2010). Satellite-based estimation of regional particulate matter (PM) in Beijing using vertical-and-RH correcting method. Remote Sensing of Environment, 114, 50–63.

Assessment of the relationship between PM10 and visibility in the separation of synoptic code in Yazd

Mehdi Dehghan[1], Kamal Omidvar*[2], Gholamali Mozafari[3], Ahmad Mazidi[4]

Received: 18-06-2017 Accepted: 20-10-2018

Abstract

The particulate matter less than 10 µm (PM10) and visibility are known as two important parameters in researches connected to the tropospheric aerosols and dust so that the air pollution is related to those at the specific time. This study analyzes the relationship between PM10 and visibility whit using evolutional Genetic Algorithm. The area's case study was Yazd city as representative of central of Iran. Visibilities data whit separation of 05, 06, 07 and 09 synoptic conditions, for 5 years (2010-2015) from Yazd Meteorology Organization; and PM10 data from air pollution control stations connected to Yazd Environment Organization have been catches. To reach mentioned mathematic relations, linear regression equation and several kinds of famous functions have been a comparison; which Gaussian function selects as the best fitness function. The results of this research, were the general equation between PM10 and visibility, PM10 and visibility whit 05 code, also PM10 and visibility connected to 09 synoptic code, using Gaussian function in 1 term; and equation between PM10 and visibility when to happen 06 and 07 synoptic conditions, using Gaussian function in 2 term that has been presentation.

Keywords: PM10, Visibility, Genetic Algorithm, Gaussian function, Yazd.

[1]- PhD Student of Climatology, Faculty of Geographical Sciences, Yazd University, Yazd, Iran
[2]*- Professor of Climatology, Faculty of Geographical Sciences, Yazd University, Yazd, Iran Email: komidvar@yazd.ac.ir
[3]- Associate Professor of Climatology, Faculty of Geographical Sciences, Yazd University, Yazd, Iran
[4]- Associate Professor of Climatology, Faculty of Geographical Sciences, Yazd University, Yazd, Iran