

مدل سازی آماری گرد و غبار استان اصفهان با استفاده از مدل رگرسیون پواسن آماسیده صفر

طیبه السادات سهرابی^۱، ابوالفضل رنجبر فردویی^{۲*}، عباسعلی ولی^۳ و سید حجت موسوی^۴

۱- دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، گروه مدیریت و کنترل بیابان، دانشگاه کاشان، ایران

۲- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، ایران، پست الکترونیک: aranjbar@kashanu.ac.ir

۳- دانشیار، گروه مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، ایران

۴- استادیار، گروه جغرافیا و اکوتوریسم، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۲۵

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۲/۲۲

چکیده

کشور ایران به علت واقع شدن در کمربند بیابانی کره زمین، از پدیده گرد و غبار در امان نیست. به دلیل موقعیت جغرافیایی ایران، این کشور بطور مکرر در معرض سیستم‌های گردوغباری محلی و هم‌دیدگی قرار می‌گیرد. در سالهای اخیر، فراوانی طوفان‌های گردوغبار و شدت آنها بطور معنی‌داری در ایران از جمله استان اصفهان افزایش یافته‌است. این پدیده به‌ویژه در فصل بهار و تابستان تشدید می‌گردد. پارامترهای اقلیمی در وقوع این طوفان‌ها نقش مهمی دارند. در این تحقیق، تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای اقلیمی و ارتباط آنها با پدید آمدن گرد و غبار بررسی شد. بدین منظور، داده‌های اقلیمی دما، بارندگی، سرعت باد، رطوبت نسبی و فراوانی وقوع گرد و غبار از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۶ ارزیابی گردید. به منظور مدل‌سازی آماری تغییرات زمانی و مکانی گردوغبار و پارامترهای اقلیمی از مدل رگرسیون پواسن آماسیده صفر استفاده شد. براساس مدل‌های بدست‌آمده، بین مقادیر بدست‌آمده و پیش‌بینی‌شده در تمام ماه‌ها انطباق وجود دارد. همچنین نتایج نشان داد که از بین پارامترهای اقلیمی، سرعت باد بیشترین نقش را در ایجاد طوفان‌های گرد و غبار داشته است و بیشترین ضریب متعلق به سرعت باد به ترتیب ۱/۰۶، ۰/۹، ۰/۳، ۰/۱۳۷ و ۰/۱۳۵ و مربوط به ایستگاه‌های کاشان، اصفهان، اردستان و خور و میمه می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین روزهای همراه گردوغبار مربوط به فصل بهار و بعد تابستان و مربوط به شرق استان است که مربوط به کانونهای محلی شرق استان و بادهای تابستانه است.

واژه‌های کلیدی: طوفان گردوغبار، تغییرات مکانی و زمانی، مدل رگرسیون پواسن آماسیده صفر، سرعت باد.

مقدمه

گردوغبار یکی از پدیده‌های متداول و در ردیف بزرگترین مشکلات جوی محیطی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که این امر هر ساله آثار مخربی برای ساکنان این مناطق دارد و خسارت‌های زیادی را به بخش‌های مختلف وارد می‌کند. در سال‌های اخیر آلودگی ناشی از ذرات گرد و غبار به یکی از معضلات زیست‌محیطی به ویژه در

کشورهای در حال توسعه تبدیل شده است. فراوانی طوفان‌های گرد و غبار، ارتباط نزدیکی با شرایط اقلیمی محلی مثل بارندگی، دما و همچنین ویژگی‌های سطحی زمین مثل پوشش گیاهی و بافت خاک دارد (Nicholson & Farrar, 1994) و (Nickling & Brazel, 1984). علاوه بر این، پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه خشک، حساسیت بالایی به میزان بارندگی دارد و حتی تغییری

شاخص گردش مداری در سطح ۵۰۰ هکتو پاسکال، سرعت باد و رطوبت خاک می‌باشند. نتایج حاصل نشان داد تابع فرانک دو و سه متغیره بهترین برازش به متغیرهای طوفان گرد و غبار دارد. همچنین برای دوره بازگشت‌های کمتر از ۱۰ سال تابع دو متغیره فرانک و Dong و Tao (۲۰۱۷)، سرعت باد حداکثر و شدت بارندگی را در مناطق تحت تأثیر طوفان در چین توسط مدل کاپولای *Gumbel-Hougaard* بصورت دو متغیره تحلیل کردند. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد در دوره‌های خشک اقلیمی، طوفان دوره بازگشت کمتری دارد. همچنین در این مطالعه سرعت باد به‌عنوان مهمترین فاکتور تأثیرگذار بر روی دوره بازگشت معرفی شد.

Mirakbari و همکاران (۲۰۱۸)، به تحلیل دو متغیره دوره بازگشت طوفان گرد و غبار بر اساس تئوری کاپولا در استان یزد پرداختند. برای تحلیل دو متغیره طوفان، براساس تعریف سازمان جهانی هواشناسی طوفان‌های شدید در دوره آماری ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۴ در استان یزد انتخاب شدند. براین اساس ۳۴ مورد طوفان شدید در این دوره آماری استخراج شد و متغیرهای سرعت باد حداکثر و ارتفاع ژئو پتانسیل متناظر با روزهای طوفانی نیز تعیین شدند. در نهایت دوره بازگشت دو متغیره بر اساس دو متغیر سرعت باد حداکثر و ارتفاع ژئوپتانسیل با استفاده از تابع کاپولایی *student-t* به عنوان بهترین تابع محاسبه شد. همچنین دوره بازگشت تک متغیره طوفان نیز براساس هریک از متغیرهای سرعت باد حداکثر و ارتفاع ژئوپتانسیل نیز برای مقایسه با مقادیر دو متغیره محاسبه گردید. نتایج حاصل نشان داد تحلیل دومتغیره دوره بازگشت طوفان از دقت تخمین بالاتری نسبت به دوره بازگشت بر اساس یک متغیر برخوردار است. درسال‌های اخیر، تحقیقات سیستماتیک و اصولی روی طوفان‌های گرد و غبار انجام شده است (Shao & Wang, 2003). اغلب این مطالعات از نظر پایش و مدلسازی این گونه طوفان‌ها، با استفاده از مدل‌های عددی پیشرفته، داده‌های سنجش از دور و GIS انجام شده است.

کوچک در میزان بارندگی، به‌طور معنی‌داری پوشش گیاهی سطح زمین را به‌ویژه در فصل رشد تغییر می‌دهد (Nickling & Brazel, 1984).

سرعت باد، مؤلفه مهم بعدی برای تولید و حمل گرد و غبار است (Kurosaki & Mikami, 2003). هنگامی که سرعت باد به حد آستانه می‌رسد - که تابعی از ویژگی‌های سطح زمین است - ذرات ممکن است به وسیله سه فرایند خزش، جهش و تعلیق حرکت کنند و به مسافت‌های دور منتقل شوند (Gillette, 1981).

پژوهش‌های گسترده‌ای به نقش پارامترهای اقلیمی بر فراوانی طوفان‌های گرد و غبار پرداخته‌اند (In & Park, 2002). Shi و همکاران (۲۰۰۳) با معرفی سیستمی برای پیش‌بینی وقوع طوفان گرد و غبار، فاکتورهایی مثل نوع خاک، ویژگی‌های پوشش گیاهی، نوع کاربری اراضی و مقدار رطوبت خاک سطحی را به عنوان پارامترهای مهم در ساخت مدلی مناسب برای پیش‌بینی فراوانی طوفان‌های گرد و غبار در نظر گرفتند. Wang و همکاران (۲۰۰۴)، نشان دادند که پدید آمدن طوفان‌های گرد و غبار نیاز به بادی شدید، منبع غنی‌ای از ذرات ریز و شرایط اتمسفری ناپایدار دارد. Reiji و همکاران (۲۰۰۹)، نیز با بررسی ارتباط بین وقوع طوفان‌های گرد و غبار، پوشش گیاهی و رطوبت سطح خاک بیان کردند که طوفان گرد و غبار زمانی اتفاق می‌افتد که شاخص پوشش گیاهی نرمال شده کمتر از ۰/۲ سرعت باد بیشتر یا مساوی هفت متر بر ثانیه و رطوبت سطحی خاک کمتر از ۰/۲ باشد. Liu و همکاران (۲۰۱۳)، به بررسی تغییرات مکانی و زمانی گرد و غبار در شمال چین در دوره ۲۰۰۷-۱۹۵۴ پرداختند. نتایج آنان نشان داد که گرد و غبار در شمال غرب منطقه مورد مطالعه بیشتر از جنوب شرق می‌باشد. همچنین سرعت باد همبستگی کمی با مدت، شدت و فراوانی روزهای گرد و غباری دارد. Liu و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از مدل تئوری کاپولا دوره بازگشت طوفان‌های گرد و غبار شدید چین را بصورت دو و سه متغیره محاسبه کردند. پارامترهایی که در این مطالعه برای تحلیل چند متغیره طوفان مورد استفاده قرارگرفت شامل

انطباق جریان بادهای عرصه‌های تخریب شده ناشی از فعالیت‌های معادن گچ، رس، شن و ماسه و همچنین صنایع وابسته در بیش از ۱۲۹۰۰ هکتار (۶۸۰۰ هکتار گچ و ۶۱۰۰ هکتار خاک رس، شن و ماسه) تأثیر زیادی در کیفیت هوای استان و به‌ویژه غلظت ذرات معلق در آن دارد؛ به‌طوری‌که برآوردهای کارشناسی و بررسی میزان گرد و غبار و ذرات معلق در ایستگاه‌های اصلی شهر اصفهان حکایت از این واقعیت دارد که بیش از ۳۰ درصد میزان افزایش گرد و غبار در فصل تابستان مربوط به کانون‌های محلی تولیدکننده این ذرات در شرق و بادهای تابستانه است.

روش تحقیق

در این پژوهش، داده‌های اقلیمی ۱۰ ایستگاه سینوپتیک استان گرفته شد. از میان ایستگاه‌های موجود تعداد پنج ایستگاه به دلیل دوره آماری کوتاه در پژوهش استفاده‌نگردید و تنها از ۵ ایستگاه سینوپتیک در استان اصفهان با دوره آماری ۲۴ ساله (۲۰۱۶-۱۹۹۲) استفاده شد که مشخصات آنها در جدول زیر آمده است (جدول ۱) (شکل ۲). این اطلاعات شامل داده‌های ماهانه میانگین درجه حرارت، بارندگی، سرعت باد، فراوانی وقوع گرد و غبار و رطوبت نسبی هوا بودند. در این مطالعه تعداد روزهای همراه با پدیده گرد و خاک مورد بررسی قرار گرفته است که داده‌ها از نوع شمارشی می‌باشند، چون تعداد روزهای همراه با پدیده گرد و خاک در برخی ماه‌ها در طی سال‌های مورد بررسی صفر گزارش شده است. بنابراین انباشتگی بیش از حدی در نقطه صفر وجود دارد، از این رو باید از مدلی با پاسخ شمارشی استفاده نمود. در این تحقیق از مدل رگرسیون پواسن آماسیده صفر برای تحلیل تعداد روزهای همراه با پدیده گرد و خاک استفاده شد.

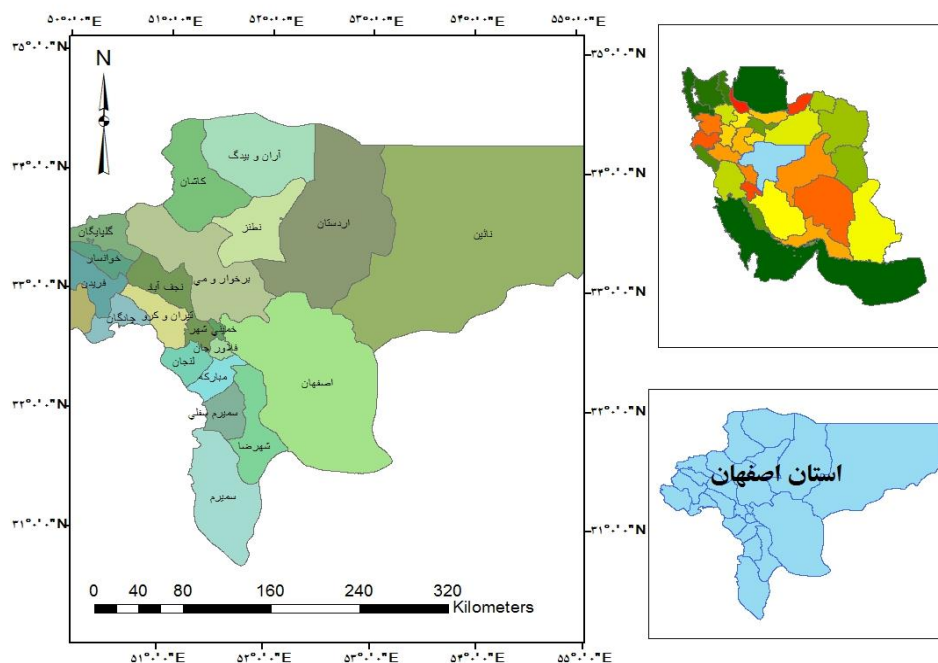
ویژگی‌های مکانی و زمانی وقوع این گونه طوفان‌ها، در مطالعات زیادی بررسی شده است (Gao et al, 1997). اما مدل‌سازی زمانی و مکانی پارامترهای مؤثر بر این گونه طوفان‌ها موضوعی است که باید بیشتر به آن پرداخته شود. بیشتر کارهای انجام‌شده به بررسی آماری و منشأیابی طوفان‌ها پرداخته‌اند و کمتر ارتباط بین طوفان‌های گرد غبار و عوامل مؤثر در وقوع آنها را با استفاده از روش رگرسیون مکانی بررسی کرده‌اند. در این مطالعه، ارتباط بین پارامترهای اقلیمی مثل بارندگی، دما، سرعت باد و درصد رطوبت نسبی با فراوانی طوفان‌های گرد و غبار مطالعه شده است. هدف اصلی این تحقیق، بررسی و مدل‌سازی ارتباط بین فراوانی وقوع طوفان‌های گرد و غبار داخلی در استان اصفهان با تغییرات مکانی-زمانی پارامترهای اقلیمی است. بنابراین، تغییرات زمانی و مکانی وضعیت اقلیمی در کانون‌های ایجاد گرد و غبار بررسی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان اصفهان با مساحتی حدود ۱۰۷۰۴۴ کیلومتر مربع، بین ۳۰ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه ۳۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). وسعت استان اصفهان بیش از ۱۰ میلیون هکتار می‌باشد که حدود ۶/۳ میلیون هکتار را مراتع تشکیل می‌دهد که بطور عمده از سه منطقه اکولوژیک نیمه‌بیابانی با وسعت ۴۹۶۶۰۰۰ هکتار (۴۹٪ سطح استان)، منطقه رویشی استپی با وسعت ۳۷۸۰۰۰۰ (۳۷٪) و منطقه رویشی نیمه‌استپی با وسعت ۱۳۸۶۰۰۰ هکتار (۱۴٪ سطح استان) تشکیل شده است (Fazel Dehkordi, 2016).

در استان اصفهان وضعیت جهت باد به صورت فصلی تغییر می‌کند، بدین‌معنا که به‌جز فصل تابستان که جهت جریان باد از سمت شرق به غرب است در بقیه فصل‌ها وزش باد از غرب به سمت شرق انجام می‌شود. به دلیل



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

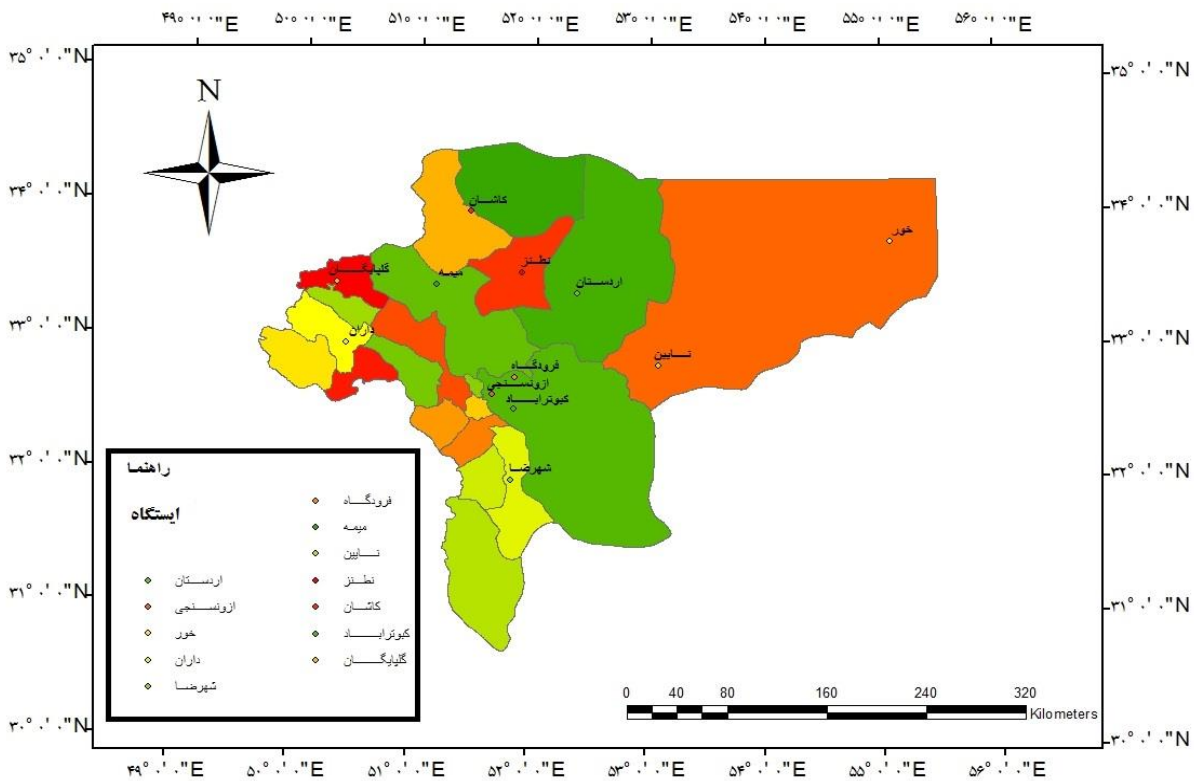
جدول ۱- مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه استان اصفهان

ردیف	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)
۱	کاشان	۵۱°۲۷'	۳۳°۵۹'	۹۷۱
۲	اصفهان	۵۱°۴۰'	۳۲°۳۷'	۱۵۵۰
۳	اردستان	۵۲°۲۳'	۳۳°۲۳'	۱۲۵۲
۴	خوروبابانک	۵۵°۰۵'	۳۳°۴۷'	۸۴۵
۵	میمه	۵۱°۱۰'	۳۳°۲۶'	۱۹۸۰

مدلسازی

مدلسازی آماری از جمله روشهای مناسب برای بررسی روابط بین پدیده‌های گوناگون است. یکی از مدل‌هایی که برای مدلسازی پدیده‌های شمارشی مانند تعداد دفعات گرد و غبار به کار می‌رود، رگرسیون‌های پواسنی است. در این روش به مدلسازی میانگین این متغیرها با استفاده از روابط آماری پرداخته می‌شود. رگرسیون‌های پواسنی زیرمجموعه‌ای از

مجموعه بزرگ از مدل‌های آماری هستند که به مدل‌های تعمیم‌یافته خطی (Generalized Linear Model) مشهور هستند. گاهی اوقات متغیرهای شمارشی که از آنها برای مدلسازی آماری استفاده می‌شود، دارای انباشتگی بیش از حد در صفر هستند (فراوانی بسیار بزرگ در صفر) که با توجه به توزیع متغیر مورد مطالعه، از توزیع پواسن با انباشتگی صفر استفاده می‌شود (Roudbari, 2014).



شکل ۲- موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

شمارشی استفاده شده است که کارایی پایین‌تر و برازش نامناسب‌تری نسبت به مدل رگرسیونی آماسیده در صفر دارند، چون در مدل استفاده شده در این تحقیق یک پارامتر احتمالی برای صفرها به صورت جداگانه در نظر گرفته می‌شود. در مدل برازش داده شده سعی بر آن داریم تا تأثیر دوازده ماه سال، به همراه متغیرهای بارندگی، سرعت باد، دما و رطوبت نسبی بر روی تعداد روزهای همراه با پدیده گرد و خاک در پنج ایستگاه اصفهان، اردستان، خوروبابانک، میمه و کاشان مورد ارزیابی قرار دهیم. مدل مفروض به صورت زیر خواهد بود.

در این مطالعه تعداد روزهای همراه با پدیده گرد و خاک مورد بررسی قرار گرفته است، داده‌ها از نوع شمارشی می‌باشند، چون تعداد روزهای همراه با پدیده گرد و خاک در برخی ماه‌ها در طی سال‌های مورد بررسی صفر گزارش شده است. بنابراین انباشتگی بیش از حدی در نقطه صفر وجود دارد، از این رو باید از مدلی با پاسخ شمارشی استفاده نمود که از مدل رگرسیون پواسن آماسیده صفر برای تحلیل تعداد روزهای همراه با پدیده گرد و خاک با تعداد صفر زیاد استفاده شده است. در مطالعات گذشته برای برازش چنین مدل‌هایی از توزیع نرمال و یا دیگر توزیع‌های

رابطه (۱):

$$\log(E(y_{ij})) = \mu + \text{precipitation}_{ij}\beta_1 + \text{temperature}_{ij}\beta_2 + \text{humidity}_{ij}\beta_3 + \text{windspeed}_{ij}\beta_4 + \gamma_j$$

توزیع پواسن آماسیده به صورت زیر تبعیت می‌کند.

که γ_j عامل مربوط به مکان می‌باشد. در این مدل، y_{ij} تعداد روزهای همراه با پدیده گرد و خاک می‌باشد که از

$$f_{ZIP}(y) = \omega_0 I_{(y=0)} + (1 - \omega_0) f_P(y) \quad \text{رابطه (۲):}$$

استفاده شد. در ادامه نمودار فراوانی واقعی طوفان‌های گرد و غبار بدست آمده و مقادیر پیش‌بینی شده برای ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داده شده است (نمودارهای ۷-۳).

که $f_P(y)$ تابع احتمال توزیع پواسن، $f_{ZIP}(y)$ تابع احتمال توزیع پواسن با یک پارامتر اضافی، ω_0 برای احتمال آماسیده در صفر و μ نیز ضریب ثابت مربوط به هر ماه می‌باشد.

ایستگاه کاشان

بر اساس جدول ضرایب رگرسیونی، در این ایستگاه از بین پارامترهای اقلیمی مورد بررسی اثر میانگین سرعت باد و درجه حرارت بر روی تعداد روزهای همراه با پدیده گرد و خاک تأثیر معنادار دارد (جدول ۲). به طوری که بیشترین ضریب تأثیرگذاری متعلق به سرعت باد می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی گرد و غبار متعلق به خرداد ماه بوده است. رابطه مربوط به این ایستگاه عبارت است از:

$$\log E(y_{ij}) = 0.000779\beta_1 + 0.1583\beta_2 - 0.0202\beta_3 + 1.061\beta_4$$

جدول ۲- ضرایب رگرسیونی مدل در ایستگاه کاشان

متغیرهای مستقل	برآوردها	انحراف استاندارد	آماره آزمون Z	سطح معنی‌داری
بارندگی	۰/۰۰۰۷۷۹	۰/۰۰۱۶۹۳	۰/۴۶	۰/۶۴۵۴
درجه حرارت	۰/۱۵۸۳۲۶	۰/۰۷۰۷۵۷	۲/۲۴	۰/۰۲۵۲*
رطوبت نسبی	-۰/۰۲۰۲۶۷	۰/۰۱۸۰۰۱	-۱/۱۳	۰/۲۶۰۲
سرعت باد	۱/۰۶۱۸۹۲	۰/۱۴۲۰۲۰	۷/۴۸	۶e-۱۴***
ژانویه	-۱/۷۹۰۴۶۵	۱/۴۳۴۱۰۰	-۱/۲۵	۰/۲۱۱۹
فوریه	-۰/۲۰۹۰۹۴	۰/۷۴۹۳۷۰	-۰/۲۸	۰/۷۸۰۲
مارس	-۱/۲۸۰۹۴۶	۰/۸۷۲۸۲۰	-۱/۴۷	۰/۱۴۲۲
آوریل	-۱/۸۷۱۶۰۴	۱/۱۳۸۴۰۰	-۱/۶۴	۰/۱۰۰۲
می	-۲/۸۴۷۶۰۵	۱/۴۶۸۶۰۰	-۱/۹۴	۰/۰۵۲۵
ژوئن	-۳/۵۷۵۵۱۷	۱/۷۸۳۷۰۰	-۲/۰۰	۰/۰۴۵۰*
جولای	-۴/۳۹۵۴۶۱	۱/۹۳۵۷۰۰	-۲/۲۷	۰/۰۲۳۲*
اوت	-۵/۱۰۹۹۲۲	۱/۸۶۳۵۰۰	-۲/۷۴	۰/۰۰۶۱**
سپتامبر	-۳/۱۲۴۳۴۶	۱/۵۵۷۲۰۰	-۲/۰۱	۰/۰۴۴۸*
اکتبر	-۲/۷۹۹۷۴۲	۱/۲۳۶۱۰۰	-۲/۲۶	۰/۰۲۲۳۵*
نوامبر	-۱/۲۸۳۳۵۵	۰/۹۳۷۶۶۰	-۱/۳۷	۰/۱۷۱۱
دسامبر	-۰/۴۴۶۴۴۳	۰/۹۴۳۶۰	-۰/۴۷	۰/۶۳۷۱

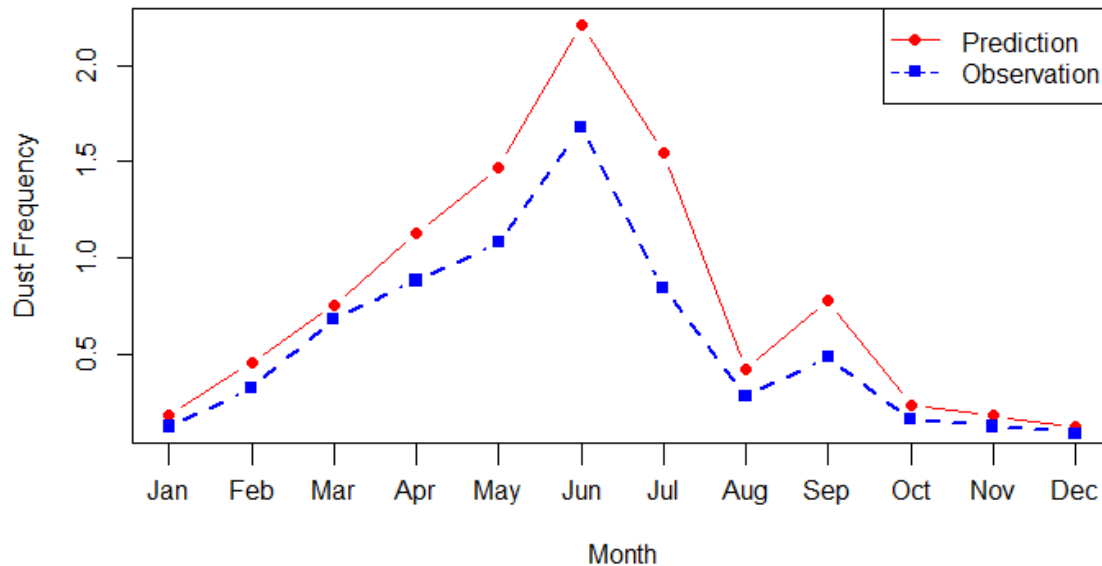
سطوح معنی‌داری: **** ۰/۰۰۱ * ۰/۰۱ ** ۰/۰۵ * ۰/۰۱

نتایج

به منظور بررسی رابطه میان پارامترهای اقلیمی و فراوانی روزهای گرد و غبار از نرم‌افزار R استفاده شد که نتایج حاصل از آن در جدولهای زیر ارائه شده است (جدولهای ۶-۲). سپس ارتباط بین فراوانی طوفان‌های گرد و غبار با تغییرات مکانی-زمانی پارامترهای اقلیمی مدلسازی شد. از آنجایی که تعداد روزهای همراه با گرد و غبار شمارشی بوده و تعداد صفر زیاد است، از مدل پواسون آماسیده در صفر

مطالعه دارای ۱۶۸ روز همراه با پدیده گرد و غبار بوده است. در شکل (۳) داده‌های برازش داده شده با استفاده از مدل مذکور به همراه داده‌های واقعی نشان داده شده است.

همچنین در تمامی ماه‌های سال بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده فراوانی گرد و غبار انطباق بالایی وجود دارد. نتایج نشان داد این ایستگاه در بازه زمانی مورد



شکل ۳- نمودار مقدار واقعی و پیش‌بینی شده گرد و غبار برای ایستگاه کاشان

فراوانی گرد و غبار انطباق بالایی وجود دارد. همچنین در این مدت زمان ۵۱۵ روز همراه با گرد و غبار برای این ایستگاه ثبت شده است. در شکل (۴) داده‌های برازش داده شده با استفاده از مدل مذکور به همراه داده‌های واقعی نشان داده شده است. معادله ایستگاه اصفهان براساس ضرایب مدل عبارت‌است از:

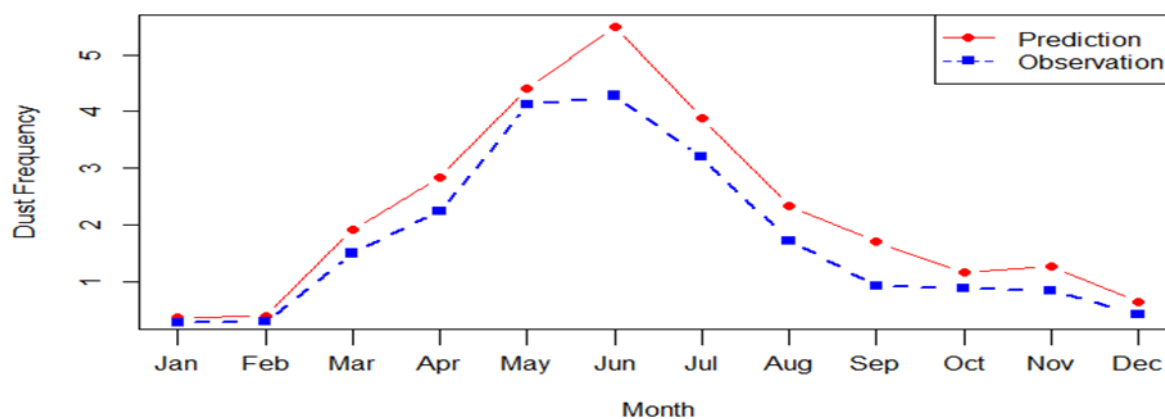
$$\log E(y_{ij}) = 0.01833\beta_1 + 0.1146\beta_2 - 0.02577\beta_3 + 0.9076\beta_4$$

ایستگاه اصفهان (اوزون‌سنجی) در این ایستگاه اثر میانگین سرعت باد، دما و بارندگی بر روی تعداد روزهای همراه با پدیده گرد و خاک تأثیر معنادار دارد (جدول ۳). سرعت باد بیشترین ضریب تأثیرگذاری را بر فراوانی گرد و غبار دارد. بیشترین فراوانی طوفان‌های گرد و غبار مربوط به خرداد می‌باشد. همچنین در تمامی ماه‌های سال بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده

جدول ۳- ضرایب رگرسیونی مدل در ایستگاه اصفهان

متغیرهای مستقل	برآوردها	انحراف استاندارد	آماره آزمون Z	سطح معنی‌داری
بارندگی	۰/۰۱۸۳۳	۰/۰۰۷۲۳	۲/۵۴	۰/۰۱۱۲*
درجه حرارت	۰/۱۱۴۶۷	۰/۰۴۳۸۱	۲/۶۲	۰/۰۰۸۹**
رطوبت نسبی	-۰/۰۲۵۷۷	۰/۰۱۵۴۰	-۱/۶۷	۰/۰۹۴۱
سرعت باد	۰/۹۰۷۶۵	۰/۱۱۰۱۴	۸/۲۴	*** $16 < 2e$
ژانویه	-۱/۵۱۰۰۱	۰/۹۶۲۸۳	-۱/۵۷	۰/۱۱۶۸
فوریه	-۱/۴۲۷۲۱	۰/۵۸۱۵۹	-۲/۴۵	۰/۰۱۴۱*
مارس	-۱/۱۹۷۴۴	۰/۵۳۶۷۲	-۲/۲۳	۰/۰۲۵۷
آوریل	-۱/۳۱۰۸۸	۰/۶۳۶۷۸	-۲/۰۶	۰/۰۳۹۵*
می	۱/۳۲۹۴۱	۰/۷۸۹۳۲	-۱/۶۸	۰/۰۹۲۱
ژوئن	-۱/۴۵۱۴۹	۰/۹۶۷۶۰	-۱/۵۰	۰/۱۳۳۶
جولای	-۱/۷۷۹۹۳	۱/۰۵۴۴۰	-۱/۶۹	۰/۰۹۱۴
اوت	-۱/۷۲۸۲۸	۱/۰۰۲۲۰	-۱/۷۲	۰/۰۸۴۶
سپتامبر	-۱/۵۱۵۰۹	۰/۸۸۱۱۸	-۱/۷۲	۰/۰۸۵۵
اکتبر	-۰/۸۴۴۸۲	۰/۶۹۰۲۴	-۱/۲۲	۰/۲۲۱۰
نوامبر	۰/۵۳۲۷۶	۰/۵۲۱۷۰	۱/۰۲	۰/۳۰۷۲
دسامبر	۰/۸۹۴۰۷	۰/۵۵۱۱۹	۱/۶۲	۰/۱۰۴۸

سطوح معنی‌داری: **** $0 < 0.0001$ *** $0 < 0.001$ ** $0 < 0.01$ * $0 < 0.05$ $0 < 0.1$

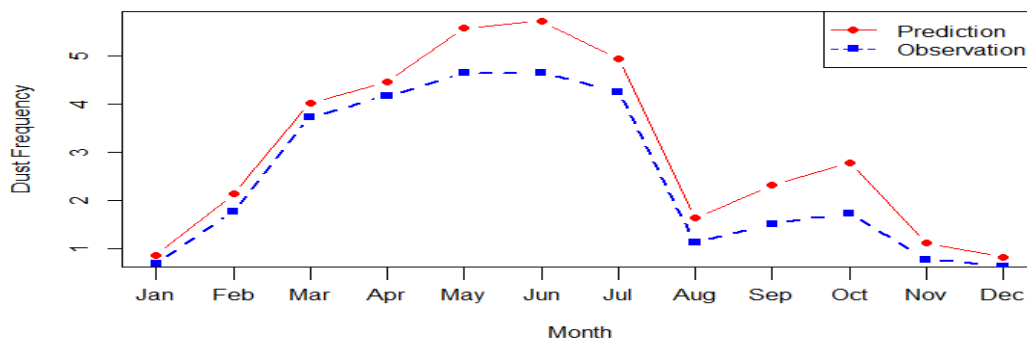


شکل ۴- نمودار مقدار واقعی و پیش‌بینی شده گردوغبار برای ایستگاه اصفهان

ایستگاه اردستان

براساس جدول ضرایب رگرسیونی، سرعت باد بیشترین ضریب را داشته، بنابراین در این ایستگاه اثر میانگین سرعت باد به تنهایی بر روی تعداد روزهای همراه با پدیده گرد و خاک تأثیر معنادار داشت (جدول ۴). بیشترین مقدار گرد و غبار مربوط به اردیبهشت، خرداد و تیرماه است. در بازه

مورد مطالعه ۷۱۸ روز همراه با گرد و غبار برای این ایستگاه ثبت شده است. همچنین در تمامی ماه‌های سال بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده فراوانی گرد و غبار انطباق بالایی وجود دارد. در شکل (۵) داده‌های برازش داده شده با استفاده از مدل مذکور به همراه داده‌های واقعی نشان داده شده است.



شکل ۵- نمودار مقدار واقعی و پیش‌بینی شده گردوغبار برای ایستگاه اردستان

جدول ۴- ضرایب رگرسیونی مدل ایستگاه اردستان

متغیرهای مستقل	برآوردها	انحراف استاندارد	آماره آزمون Z	سطح معنی‌داری
بارندگی	-۰/۰۰۳۲۱	۰/۰۰۴۳۱	-۰/۷۵	۰/۴۵۶
درجه حرارت	۰/۰۰۹۲۷	۰/۰۳۳۴۲	-۰/۲۸	۰/۷۸۲
رطوبت نسبی	-۰/۰۱۱۰۱	-۰/۰۱۱۳۸	-۰/۹۷	۰/۳۳۳
سرعت باد	۰/۳۰۲۲۷	۰/۰۵۵۸۰	۵/۴۲	۶e-۸***
ژانویه	-۰/۳۲۶۷۴	۰/۷۲۲۷۰	-۰/۴۵	۰/۶۵۱
فوریه	۰/۵۵۳۸۷	۰/۳۲۷۷۰	۱/۶۹	۰/۰۹۱
مارس	۰/۸۷۷۴۳	۰/۳۷۷۷۶	۲/۳۲	۰/۰۲۰*
آوریل	۰/۹۱۷۱۱	۰/۴۹۰۳۸	۱/۸۷	۰/۰۶۱
می	۱/۰۸۰۹۵	۰/۶۱۷۲۶	۱/۷۵	۰/۰۸۰
ژوئن	۱/۰۱۶۳۹	۰/۷۴۷۵۱	۱/۳۶	۰/۱۷۴
جولای	۰/۸۰۳۰۵	۰/۸۱۰۴۴	۰/۹۹	۰/۳۲۲
اوت	-۰/۴۱۰۹۶	۰/۷۹۶۲۱	-۰/۵۲	۰/۶۰۶
سپتامبر	۰/۲۴۳۴۲	۰/۶۸۵۶۸	۰/۳۶	۰/۷۲۳
اکتبر	۰/۷۳۴۳۵	۰/۵۲۸۰۲	۱/۳۹	۰/۱۶۴
نوامبر	۰/۰۷۰۴۲	۰/۴۱۹۳۳	۰/۱۷	۰/۸۶۷
دسامبر	۰/۱۲۴۱۵	۰/۴۰۲۲۳	۰/۳۱	۰/۷۵۸

سطوح معنی‌داری: ****۰/۰۰۱، ***۰/۰۱، **۰/۰۵، *۰/۱، ۰/۱

بر اساس ضرایب بدست آمده، معادله مربوط به این ایستگاه به شرح زیر است.

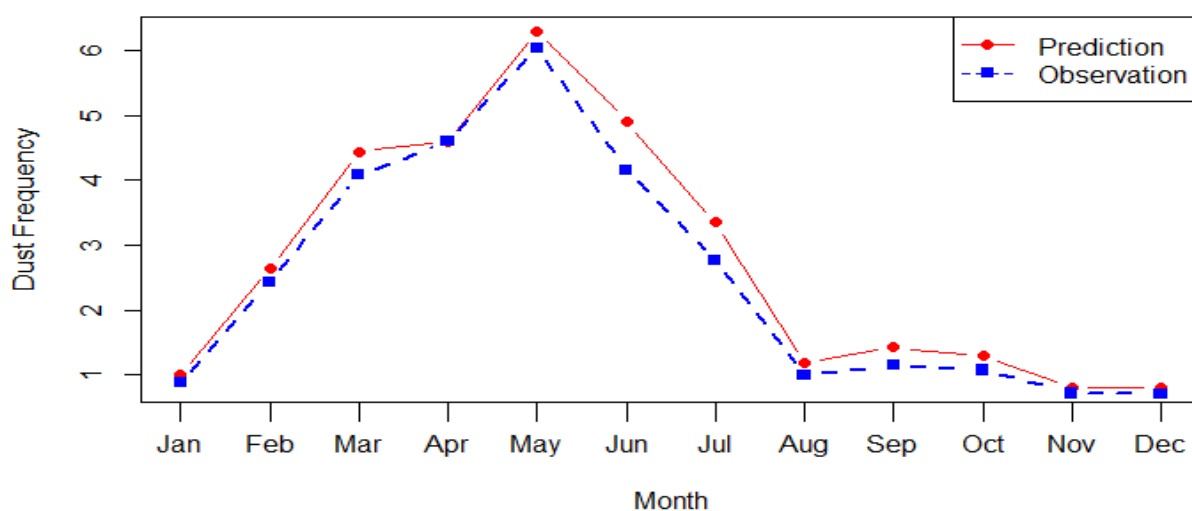
$$\log E(y_{ij}) = -0.0032\beta_1 + 0.00927\beta_2 - 0.0202110\beta_3 + 0.3022\beta_4$$

ایستگاه خور و بیابانک

در این ایستگاه اثر میانگین سرعت باد و بارندگی بر روی تعداد روزهای همراه با پدیده گرد و خاک تأثیر معنادار دارد. به عبارت دیگر ابتدا سرعت باد و بعد بارندگی بیشترین ضریب تأثیرگذاری را بر پدیده گرد و غبار دارند. در بازه مورد مطالعه ۷۴۰ روز همراه با پدیده گرد و غبار ثبت شده است (شکل ۶).

بیشترین فراوانی پدیده گرد و غبار متعلق به اردیبهشت و بعد خرداد می‌باشد. همچنین در تمامی ماه‌های سال بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده فراوانی گرد و غبار انطباق بالایی وجود دارد (جدول ۵). در نمودار بعد داده‌های برازش داده شده با استفاده از مدل مذکور به همراه داده‌های واقعی نشان داده شده است. مدل بدست آمده برای ایستگاه خور و بیابانک به شرح زیر است.

$$\log E(y_{ij}) = 0.0143\beta_1 + 0.1095\beta_2 - 0.0583\beta_3 + 0.1372\beta_4$$



شکل ۶- نمودار مقدار واقعی و پیش‌بینی شده گرد و غبار برای ایستگاه خور و بیابانک

جدول ۵- ضرایب رگرسیونی مدل در ایستگاه خور و بیابانک

متغیرهای مستقل	برآوردها	انحراف استاندارد	آماره آزمون Z	سطح معنی داری
بارندگی	۰/۰۱۴۳۵	۰/۰۰۶۰۷	۲/۳۶	۰/۰۱۸۱۰*
درجه حرارت	۰/۰۱۰۹۵	۰/۰۲۸۹۳	۰/۳۸	۰/۷۰۵۰۶
رطوبت نسبی	-۰/۰۵۸۳۴	۰/۰۱۱۰۴	-۵/۲۸	۱/۳e-۷***
سرعت باد	۰/۱۳۷۲۹	۰/۰۸۳۹۱	۱/۶۴	۰/۱۰۱۸۲
ژانویه	۲/۶۴۳۷۸	۰/۶۸۱۹۹	۳/۸۸	۰/۰۰۰۱۱**
فوریه	۰/۳۶۱۴۲	۰/۲۸۳۹۱	۱/۲۷	۰/۲۰۳۰۲
مارس	۰/۲۶۶۶۱	۰/۳۵۳۲۵	۰/۷۵	۰/۴۵۰۴۰
آوریل	-۰/۰۱۵۵۵	۰/۴۷۲۳۹	-۰/۰۳	۰/۹۷۳۷۳
می	-۰/۰۲۷۴۰	۰/۵۹۰۴۶	-۰/۰۵	۰/۹۶۲۹۹
ژوئن	-۰/۵۰۳۱۱	۰/۷۰۱۷۱	-۰/۷۲	۰/۴۷۳۳۹
جولای	-۰/۸۸۴۰۲	۰/۷۶۰۴۳	-۱/۱۶	۰/۲۴۵۰۲
اوت	-۱/۸۴۸۰۸	۰/۷۱۹۲۹	-۲/۵۷	۰/۰۱۰۱۹
سپتامبر	-۱/۴۴۳۲۳	۰/۶۱۱۸۶	-۲/۳۶	۰/۰۱۸۳۴*
اکتبر	-۱/۰۹۶۴۴	۰/۴۷۸۷۷	-۲/۲۹	۰/۰۲۲۳*
نوامبر	-۰/۹۰۵۴۱	۰/۳۷۳۴۸	-۲/۴۲	۰/۰۱۵۳۴*
دسامبر	-۰/۱۷۱۱۱	۰/۳۴۲۱۸	-۰/۵۰	۰/۶۱۷۰۳

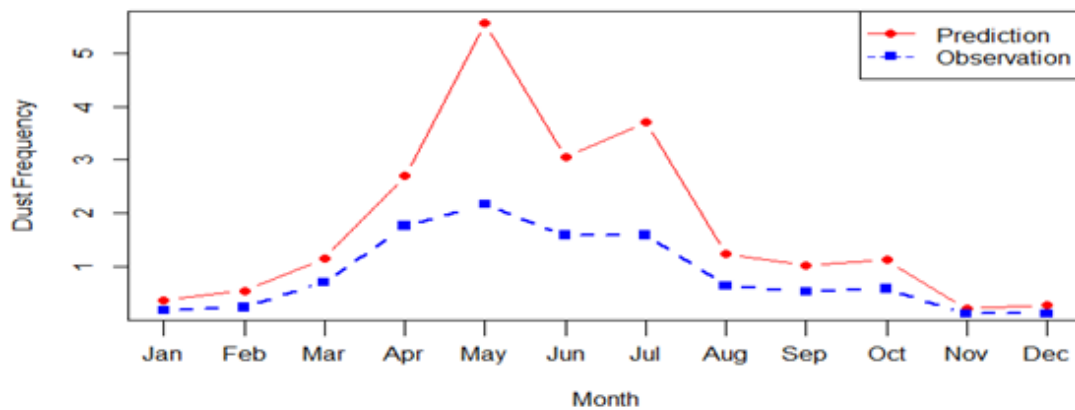
سطوح معنی داری: ****۰/۰۰۱، ***۰/۰۰۱، **۰/۰۱، *۰/۰۵، ۰/۱

ایستگاه میمه

واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده فراوانی گرد و غبار انطباق بالایی وجود دارد (جدول ۶). در شکل (۷) داده‌های برازش داده شده با استفاده از مدل مذکور به همراه داده‌های واقعی نشان داده شده است. مدل بدست‌آمده برای ایستگاه میمه عبارت است از:

در این ایستگاه اثر بارندگی بر روی تعداد روزهای همراه با پدیده گرد و خاک تأثیر معنادار دارد. بیشترین فراوانی طوفان‌های گرد و غبار مربوط به ماه‌های اردیبهشت، خرداد و تیر می‌باشد. ۱۷۶ روز همراه با گرد و غبار برای این ایستگاه ثبت شده است. در تمامی ماه‌های سال بین مقادیر

$$\log E(y_{ij}) = -0.0392\beta_1 + 0.0439\beta_2 - 0.0273\beta_3 + 0.1353\beta_4$$



شکل ۷- نمودار مقدار واقعی و پیش‌بینی شده گردوغبار برای ایستگاه میمه

جدول ۶- ضرایب رگرسیونی مدل در ایستگاه میمه

متغیرهای مستقل	برآوردها	انحراف استاندارد	آماره آزمون Z	سطح معنی‌داری
بارندگی	-۰/۰۳۹۲	۰/۰۱۱۹	-۳/۳۰	۰/۰۰۰۹۶***
درجه حرارت	۰/۰۴۳۹	۰/۰۸۹۰	۰/۴۹	۰/۶۲۱۳۵
رطوبت نسبی	۰/۰۲۷۳	۰/۰۲۸۳	۰/۹۶	۰/۳۳۴۷۴
سرعت باد	۰/۱۳۵۳	۰/۲۲۰۱	۰/۶۱	۰/۵۳۸۹۵
ژانویه	-۲/۵۰۱۷	۲/۰۸۹۵	-۱/۲۰	۰/۲۳۱۲۰
فوریه	۰/۲۱۰۳	۰/۸۹۵۱	۰/۲۳	۰/۸۱۴۲۶
مارس	۱/۲۳۴۰	۰/۹۷۸۹	۱/۲۶	۰/۲۰۷۴۹
آوریل	۲/۱۸۹۱	۱/۲۱۵۰	۱/۸۰	۰/۰۷۱۵۹
می	۲/۳۸۱۱	۱/۵۰۴۱	۱/۵۸	۰/۱۱۳۴۰
ژوئن	۱/۴۹۰۲	۱/۸۰۷۱	۰/۸۲	۰/۴۰۹۵۹
جولای	۱/۵۶۰۰	۲/۰۳۳۱	۰/۷۷	۰/۴۴۲۹۱
اوت	۰/۵۷۰۷	۱/۹۰۱۱	۰/۳۰	۰/۷۶۴۰۲
سپتامبر	۰/۴۷۸۶	۱/۵۹۲۲	۰/۳۰	۰/۷۶۳۷۲
اکتبر	۰/۸۰۴۳	۱/۲۵۰۳	۰/۶۴	۰/۵۲۰۰۴
نوامبر	-۰/۱۵۳۷	۱/۱۲۰۰	-۰/۱۴	۰/۸۹۰۸۲
دسامبر	-۰/۰۶۴۲	۱/۰۳۲۰	-۰/۰۶	۰/۹۵۰۳۹

سطوح معنی‌داری: ****۰/۰۰۱، ***۰/۰۰۱، **۰/۰۱، *۰/۰۵، ۰/۱

ویژگی‌های بارز پر غبار در این مطالعه است. نتایج این تحقیق با کارهای Li و همکاران (۲۰۱۳) و Xingkui و همکاران (۲۰۰۶) که افزایش دما و سرعت باد را از مهمترین دلایل بروز گرد و غبار معرفی کرده‌اند، همسوست. افزون بر اینها، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که مدل رگرسیونی پواسن آماسیده صفر دقت بالایی در برآورد میزان گرد و غبار و مدل‌سازی مکانی-زمانی این پدیده دارد.

منابع مورد استفاده

- Dong, C.H. and Tao, S.H., 2017. Joint return probability analysis of wind speed and rainfall intensity in typhoon-affected sea area. *Journal of Natural Hazards*, 8: 1193- 1205.
- Fazel Dehkordi, L., Sohrabi, T., Ghanavizbaf, M. H. and Ghazavi, R., 2016. Drought monitoring by using of MODIS Satellite Images in Dry land (Case study: Esfahan Rangelands). *Iranian Journal of Geography and Environmental Planning*, 27(3):177-190.
- Gao, Y., Arimoto, R., Duce, R. A., Zhang, X. Y., Zhang, G. Y., An, Z. S., Chen, L. Q., Zhou, M. Y. and Gu, D. Y., 1997. Temporal and spatial distributions of dust and its deposition to the China Sea. *Journal of Tellus*, 49: 172-189.
- Gillette, D. A., 1981, .Production of dust that may be carried great distances. *Journal of Land Degradation and Development*, 196: 11-26.
- In, H. J. and Park, S. V., 2002. A simulation of long-range transport of yellow sand observed. *Journal of Atmospheric Environment*, 36: 4173-4187.
- Kurosaki, Y. and Mikami, M., 2003. Recent Frequent Dust Events and Their Relation to Surface Wind in East Asia. *Journal of Geophys*, 30: 17-36.
- Kurosaki, Y. and Mikami, M., 2005. Regional difference in the characteristics of dust event in East Asia: Relationship among dust outbreak, surface wind, and land surface condition. *Journal of Meteorologist Society*, 83:1-8.
- Liu, X., Li, N., Yuan, S., Xu, N., Shi, W. and Chen, W. 2015. The joint return period analysis of natural disasters based on monitoring and statistical modeling of multidimensional hazard factors. *Science Total Environment*, 538: 724-732.
- Li, N., Liu, X., Xie, W., Wu, J., and Zhang, P., 2013. The return period analysis of natural disasters with statistical modeling of bivariate joint probability distribution. *Journal of Risk Analysis*, 33 (1): 134-145.
- Mirakbari, M., Mesbahzade, T. and Mohseni Saravi,

با توجه به مدل و نمودارهای بدست‌آمده برای ایستگاه‌های مختلف، مشاهده شد که در همه مدل‌های بدست‌آمده، بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده انطباق بالایی وجود دارد.

بحث

هدف این پژوهش، بررسی تأثیر پارامترهای اقلیمی بر وقوع طوفان‌های گرد و غبار در استان اصفهان بود. برای مطالعه این تأثیر، مجموعه‌ای از تحلیل‌های رگرسیونی و مدل‌سازی مکانی و زمانی انجام شد. یافته‌ها نشان‌دادند که بین میزان تغییرات مکانی و زمانی پارامترهای اقلیمی، با وقوع طوفان‌های گرد و غبار ارتباط نزدیکی وجود دارد. همان‌طور که نتایج نشان‌دادند بیشترین ضریب تأثیرگذاری متعلق به سرعت باد می‌باشد. به عبارت دیگر، سرعت باد تقریباً هماهنگی زیادی با فراوانی طوفان‌های گرد و غبار دارد؛ از این رو می‌توان باد را یکی از عوامل مهم تأثیرگذار بر فراوانی طوفان‌های گرد و غبار دانست که مطالعات Wiggs (۲۰۰۴) هم آن را تأیید می‌کند. فراوانی طوفان‌ها در ماه‌های مختلف سال نمودار هرمی شکلی است که بیشترین مقدار آن در اردیبهشت، خرداد و تیرماه است. در تمام فصل‌ها هم‌خوانی خوبی بین تعداد واقعی فراوانی این طوفان‌ها با مقدار پیش‌بینی شده وجود دارد. بیشترین ضریب در میان ضریب مدل‌های به‌دست‌آمده متعلق به سرعت باد بود و این نشان می‌دهد که در استان اصفهان وابستگی بین فراوانی طوفان‌های گرد و غبار و سرعت باد بیشتر از عوامل و مؤلفه‌های دیگر بوده است.

Kurosaki و Mikami (۲۰۰۵) ارتباط پارامترهای گوناگون اقلیمی را با فراوانی طوفان‌های گرد و غبار در شرق آسیا مدل کردند و به این نتیجه رسیدند که مؤثرترین مؤلفه بر افزایش فراوانی طوفان‌های گرد و غبار در منطق i بررسی شده، سرعت باد بوده است.

همچنین بیشترین روزهای همراه گرد و غبار مربوط به فصل بهار و مربوط به شرق استان است که مربوط به کانون‌های محلی شرق استان است. دمای زیاد نیز از

- negative binomial regression models with zero-inflated count: An application to educational data, *Journal of Medical Sciences*, 21(119):18-24.
- Shao, Y., Wang, J. J., 2003, Climatology of northeast Asian dust events. *Journal of Meteorological Research*, 12: 175–183.
 - Shi, G.Y. and Zhao, S. X., 2003. Several scientific issues of studies on the dust storms. *Journal of Atmospheric Sciences*, 27: 591–606.
 - Wang, X., Dong, Z. and Zhang, J., 2004. Modern dust storms in China: an overview. *Journal of Arid Environment*, 58: 559–574.
 - Wiggs, G. F. S., Bullard, J. E. and Atherton, R. J., 2004. The dynamic effects of moisture on the entrainment and transport of sand by wind. *Journal of Geomorphology*, 59: 13–30.
 - M., 2018. Statistical analysis for bivariate copula for return period of dust storm In Yazd, Iranian *Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 12(40):115-125.
 - Nickling, W. G. and Brazel, A. J., 1984. Temporal and spatial characteristics of Arizona Dust Storms (1965–1980). *Journal of Climate*, 4: 645–660.
 - Nicholson, S. E. and Farrar, T. J., 1994. The Influence of Soil Type on the Relationship Between NDVI, Rainfall, and soil moisture in Semiarid Botswana: I. NDVI Response to Rainfall. *Journal of Remote Sensing Environment*, 50: 107–120.
 - Reiji, K., Bai, L. and Wang, J., 2009. Relationship among dust outbreak, vegetation cover, and surface soil water content on the Loess Plateau of China, 1999–2000. *Journal of Catena*, 77: 292–299.
 - Roudbari, M. and Salehi, M., 2014. The Poisson and

Statistical modeling of dust storms using Poisson regression model in Isfahan Province

T. Sohrabi¹, A. Ranjbar Fordoei^{2*}, A. Vali³ and H. Mousavi⁴

1-Ph.D. Student in Combat Desertification, Department of Desert Management and Controlling, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Iran

2*-Corresponding author, Associate Professor, Department of Desert Management and Controlling, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Iran, Email: aranjbar@kashanu.ac.ir

3- Associate Professor, Department of Desert Management and Controlling, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Iran

4-Assistant Professor, Department of Geography and Ecotourism, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Iran

Received:05/12/2018

Accepted:02/14/2019

Abstract

Iran is frequently exposed to local and synoptically dust storm due to the geographical location of Iran. In recent years, dust storm frequencies and intensities have been increased significantly in Iran and especially in Isfahan Province, seriously disrupting human life and affecting the quality of life. This phenomenon is particularly increased in the spring and summer. Climate factors play an important role in dust storms. In this research, spatiotemporal changes of climate factors and dust storms were studied. Therefore, we analyzed climate factors (precipitation, temperature, wind speed and humidity) and dust storms frequency during 1992 to 2016. Poisson regression model was used for statistical modeling of temporal and spatial variations of dust and climatic parameters. According to the models, there was conformity between the results and the predicted values throughout the months. In addition, the results showed that wind speed played a major role in the occurrence of dust storms and had the highest coefficient. The results also showed that most of the dusty days are in the spring and then in the eastern part of the province, which is related to the local centers in the eastern part of the province and summer winds.

Keywords: Dust storm, spatiotemporal changes, the Poisson model with zero-inflated, velocity of wind.