

مدل سازی رابطه فراوانی طوفان های گردوغبار با متغیرهای اقلیمی فصل تابستان در مناطق بیابانی ایران

سمیرا قربانی* و رضا مدرس^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۴/۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۸/۷)

چکیده

هدف از این مطالعه، مدل سازی رابطه فراوانی طوفان های گردوغبار با متغیرهای اقلیمی مناطق بیابانی ایران در فصل تابستان است. به این منظور داده های اقلیمی دما (حداکثر و حداقل)، بارش، سرعت باد (حداکثر و حداقل) انتخاب و ارتباطشان با تعداد روزهای همراه با گردوغبار ثبت شده در ۲۵ ایستگاه هواشناسی در دوره آماری از بدو تأسیس تا ۲۰۱۴ در فصل تابستان با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون و روش رگرسیون خطی چندمتغیره در نرم افزار SPSS پردازش و تحلیل شد. همچنین به منظور تحلیل منطقه ای ضریب همبستگی بین متغیرهای اقلیمی و فراوانی طوفان های گردوغبار در مناطق بیابانی ایران، نقشه پهنه بندی این ضرایب با روش معکوس فاصله وزنی (IDW) در نرم افزار Arc GIS تهیه شد. نتایج نشان داد که ایستگاه های واقع در جنوب و جنوب شرق منطقه مورد مطالعه در فصل تابستان دارای بیشترین رخداد گردوغبار هستند. به طوری که ایستگاه زابل با (۳۸۹۲ روز) با تفاوت زیادی بیشترین فراوانی وقوع طوفان های گردوغبار را دارد. در بیشتر ایستگاه ها بین فراوانی وقوع طوفان های گردوغبار و متغیرهای میانگین سرعت باد و بیشینه سرعت باد ارتباطی قوی و مؤثر وجود دارد. بالاترین ضریب همبستگی متغیر میانگین سرعت باد، مربوط به ایستگاه کنارک چابهار با ضریب همبستگی ۰/۷۱ و ایستگاه ایرانشهر با ضریب همبستگی ۰/۶۵۵ با بیشینه سرعت باد بیشترین همبستگی را نشان می دهد. متغیر بیشینه دما در ایستگاه قم با ضریب همبستگی ۰/۳۸۹ یک رابطه معنی دار و مثبت را نشان می دهد و ایستگاه ایرانشهر با ضریب همبستگی ۰/۶۲۰ با میانگین دما و میناب با ضریب همبستگی ۰/۴۶۱ با بیشینه دما همبستگی معکوس دارند. نتایج همبستگی دما با فراوانی وقوع طوفان های گردوغبار حاکی از آن است که کم فشارهای سطح زمین در ایجاد پدیده های غباری در دوره گرم سال مؤثرند. اغلب ایستگاه ها با بارش همبستگی معکوس دارند. بالاترین ضرایب همبستگی بین بارش و وقایع گردوغبار به ترتیب به میزان ۰/۲۰۸- و ۰/۱۷۵- در ایستگاه های شرق اصفهان و تربت حیدریه مشاهده شد. مدل سازی رگرسیون چندمتغیره بین گردوغبار و متغیرهای اقلیمی در فصل تابستان نیز نشان می دهد که مهم ترین پارامتر تأثیرگذار در وقایع گردوغبار میانگین سرعت باد و سرعت باد بیشینه و میانگین دما است. مدل های رگرسیونی نشان می دهند که در بهترین حالت، متغیرهای اقلیمی تنها ۷۰ درصد از تغییرات فراوانی گردوغبار را تبیین می کنند.

واژه های کلیدی: طوفان گردوغبار، اقلیم، ضریب همبستگی، رگرسیون چند متغیر

۱. گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*. مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: mrsghorbani67@gmail.com

مقدمه

یکی از مهم‌ترین بحران‌های زیست‌محیطی در مناطق خشک و نیمه‌خشک پدیده مخرب بیابان‌زایی و فرسایش بادی است که وقوع طوفان‌های گردوغبار و حرکت ریزگردها از پیامدهای آن محسوب می‌شود (۱۴). طوفان گردوغبار به‌عنوان پدیده‌ای بارز در مناطق بیابانی است که هر ساله تقریباً ۲۰۰۰ میلیون تن خاک به اتمسفر وارد می‌کند که ۷۵ درصد آن در زمین و ۲۵ درصد آن در اقیانوس‌ها ترسیب می‌شود (۲۱). این ذرات سبب اختلال در فعالیت‌های انسانی، کشاورزی، حمل‌ونقل و صنایع و مهم‌تر از همه به خطر افتادن بهداشت مردم به‌ویژه در کانون‌های پرجمعیت می‌شود (۲۵).

عمده‌ترین مراکز تولید گردوغبار در مناطق خشک و بیابانی جهان قرار گرفته‌اند. ایران به‌علت قرار گرفتن در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان در معرض سیستم‌های متعدد گردوغبار محلی و فرامنطقه‌ای است (۲۰). در ارتباط با منشأیابی گردوغبار در ایران، مطالعات زیادی صورت گرفته که بر اساس نتایج این مطالعات از سال ۱۳۸۵ تاکنون، منشأ فرامرزی که اغلب نواحی غرب و جنوب‌غربی کشور را با فراوانی و شدت بیشتری تحت‌تأثیر قرار می‌دهد، منبع آن کشور عراق و شرق سوریه ذکر شده است؛ هر چند که مناطق دیگر از جمله بخش‌هایی از اردن، کویت، و شمال عربستان نیز در ایجاد گردوغبار در ایران نقش دارند (۴).

پدیده گردوغبار در سال‌های اخیر از نظر گستره و فراوانی افزایش چشمگیر یافته است و در کل می‌توان گفت که نقش طوفان‌های گردوغبار در سیستم‌های جهانی آشکارتر شده است (۹). شروع پدیده گردوغبار در ایران بین سال‌های ۱۹۸۹ - ۱۹۸۸ بوده است. در آغاز این طوفان‌های گردوغباری مشکل جدی محسوب نمی‌شدند اما به تدریج بر شدت آنها افزوده شده است و تا پایان سال ۲۰۰۸ حدود ۱۸ استان کشور را در بر گرفت (۲۳).

برخی از پژوهشگران نشان داده‌اند که متغیرهای آب‌وهوایی منطقه از قبیل باد، بارش و درجه حرارت نقش مهمی در فعالیت

طوفان گردوغبار داشته‌اند به‌عنوان مثال درجه حرارت بالای هوا، بارش کمتر و باد قوی، شرایط مطلوب آب‌وهوایی منطقه برای توسعه طوفان گردوغبار هستند (۱۵).

مطالعه پارامترهای هواشناسی مرتبط با گردوغبار، به‌طور جداگانه باعث آشکارسازی شرایط مکانی و زمانی این پدیده و شناخت مخاطرات طبیعی در مناطق تحت اثر گردوغبار می‌شود (۱۷) و نتایج حاصل از آن نقش مؤثری را در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی زیست‌محیطی و مقابله با بیابان‌زایی و مدیریت بحران خواهد داشت.

مطالعه گردوغبار به موضوعات مختلفی از جمله منشأیابی، تحلیل گردوغبار با کمک تصاویر ماهواره‌ای، مطالعه گردوغبار به لحاظ شیمیایی و اثرات سلامتی آن و اثر این پدیده بر اقلیم و اثر متغیرهای اقلیمی بر آن می‌پردازد. با بررسی سایر مطالعات و پژوهش‌های انجام شده در ارتباط با این موضوع موارد زیر قابل اشاره است: انصاری به تحلیل آماری - اقلیمی گردوغبار استان زاهدان در فاصله زمانی (۲۰۰۵ - ۱۹۸۶) پرداخت و میزان همبستگی پارامترهایی مانند رطوبت نسبی، دما، سرعت باد و بارش را با وقوع طوفان‌های گردوغبار در استان زاهدان بررسی کرد که از این پارامترهای مورد مطالعه، سرعت باد بیشترین همبستگی معنادار و رطوبت نسبی کمترین همبستگی معکوس را به خود اختصاص داد (۱).

فرج‌زاده و همکاران به بررسی توزیع زمانی و مکانی طوفان‌ها و بادهای شدید در ایران پرداختند. داده‌های سمت و سرعت باد، ۳۳ ایستگاه سینوپتیک کشور در یک دوره آماری ۴۰ ساله استخراج شد و فراوانی طوفان‌های گردوغبار بررسی شد که در اغلب ایستگاه‌ها بین میانگین سرعت باد و فراوانی وقوع طوفان‌ها رابطه معناداری وجود ندارد؛ به این صورت که ایستگاه‌هایی که فراوانی بالایی را از نظر وقوع طوفان‌ها دارند، لزوماً میانگین سرعت بالایی ندارند (۵).

شجاعی‌زاده و همکاران به تحلیل آماری - اقلیمی رابطه اقلیم و پدیده گردوغبار شهر ماهشهر در دوره آماری (۲۰۰۵ - ۱۹۸۶) پرداختند. به این منظور از متغیرهای اقلیمی رطوبت نسبی، حداقل

سامانه‌های همدید مقیاس و امواج غربی، گردوغبار را به مناطق مختلفی همچون ایران گسترش می‌دهند. همچنین ایشان نشان دادند که بین تعداد روزهای گردوغبار، سرعت باد و تعداد روزهایی که سرعت باد بزرگ‌تر یا برابر پنج متر بر ثانیه است، همبستگی مثبت وجود دارد (۲۶).

تهدید سلامت مردم، تخریب محیط زیست، آسیب به تحصیلات رفاهی و تغییرات آب‌وهوایی، توجه عموم مردم را به انتشار گردوغبار و مدیریت آن جلب کرده است. اقلیم به‌علت اثرگذاری در پهنه‌های گسترده و غیر قابل کنترل بودن آن جزء پارامترهای مهم است که در مباحث مدیریتی مد نظر قرار می‌گیرد (۲۴).

با توجه به افزایش فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار و اثرات مخرب آن، به پژوهش‌های گسترده در این زمینه نیاز است تا بتوان به راهکاری برای کاهش اثرات این معضل طبیعی دست یافت. به‌طور کلی هدف پژوهش حاضر بررسی و مدل‌سازی رابطه متغیرهای اقلیمی با فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران در فصل تابستان است. به‌علاوه، هدف از این پژوهش تعیین مهم‌ترین متغیرهای مؤثر در وقوع طوفان‌های گردوغبار در فصل تابستان و پراکنش مکانی این عوامل در محدوده مورد مطالعه است.

مواد و روش‌ها

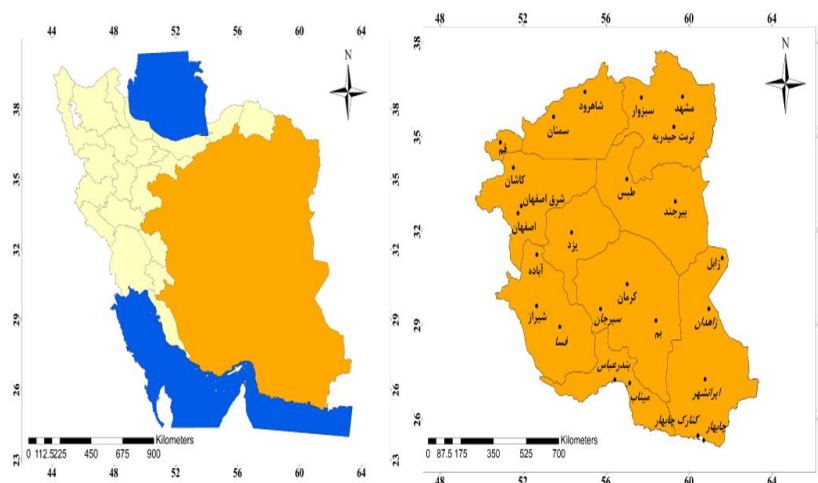
موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های منتخب
منطقه مورد مطالعه، مناطق بیابانی ایران شامل قسمت‌های مرکزی فلات ایران که بیش از ۶۰ درصد استان‌ها را در بر می‌گیرد و قسمت‌های شرقی ایران است. ایران مرکزی به محدوده‌ای گفته می‌شود که در میان رشته کوه‌های البرز در شمال، زاگرس در جنوب و غرب و کوهستان‌های پراکنده خراسان در شرق واقع شده است. اقلیم غالب در منطقه بر اساس شاخص دومارتن خشک و نیمه‌خشک است. متوسط ارتفاع در این منطقه ۱۳۰۰ متر از سطح دریاست، این در حالی است که ارتفاع در دشت کویر به ۷۰۰ و در بخش‌هایی از کویر لوت حتی به ۳۰۰ متر نیز تقلیل می‌یابد. رشته

و حداکثر دما، میانگین بارش و سرعت باد استفاده کردند. نتایج رگرسیون چندمتغیره نشان داد که در ایستگاه ماهشهر ارتباطی قوی بین تمام عناصر اقلیمی با گردوغبار وجود دارد. بالاترین ضریب همبستگی مربوط به متغیر باد با ۹۵ درصد و همبستگی معکوس با متغیرهای رطوبت و بارش مشاهده می‌شود. همچنین بیان کردند که تعداد روزهای همراه با طوفان‌های گردوغبار در ایستگاه ماهشهر ۸۱ روز در سال است (۲۲).

فنگجیان و همکاران براساس داده‌های طوفان‌های گردوغبار شن و ماسه و داده‌های هواشناسی در ۱۲ ایستگاه هواشناسی واقع در اطراف منطقه تکلمکان روند تعداد روزهای گردوغباری از سال ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۵ و همچنین همبستگی آنها را با متغیرهای درجه حرارت، بارش، سرعت باد و تعداد روزهای با سرعت متوسط باد (کمتر و مساوی پنج متر بر ثانیه) بررسی کردند و اظهار داشتند که وقوع حوادث گردوغبار در منطقه تکلمکان با گذشت زمان کاهش می‌یابد. همچنین بیان کردند بین تعداد روزهای همراه با گردوغبار و سرعت باد و تعداد روزهای با سرعت متوسط باد پنج متر بر ثانیه دارای رابطه مثبت و قوی است. باران از عوامل تأثیرگذار بر رخداد گردوغبار است و بین بارش و رخداد گردوغبار همبستگی منفی وجود دارد که در سطح ۹۹ درصد معنادار است. دما نیز با روزهای همراه گردوغبار همبستگی منفی دارد که در سطح ۹۹ درصد معنادار است (۶).

فنگ می و همکاران با تحلیل آماری ارتباط بین وقایع طوفان شن و متغیرهای هواشناسی (حداقل سرعت باد، بارش، دما و رطوبت نسبی) ایستگاه‌های هواشناسی، شمال چین در دوره آماری ۱۹۹۸-۱۹۸۸ به این نتیجه رسیدند که بین گردوغبار و متوسط حداقل سرعت باد و دما رابطه مثبت و قوی وجود دارد ولی با رطوبت نسبی و بارش همبستگی منفی وجود دارد و بارش ماهانه تأثیر نیرومندی بر برخاستن گردوغبار در ماه‌های ژانویه و فوریه داشته است (۷).

وانگ و همکاران با بررسی ویژگی‌های گردوغبار و شناسایی منابع آن در نواحی خشک و نیمه‌خشک چین مشخص کردند که بیابان‌های وسیع عربستان و صحرای شمال آفریقا متأثر از



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

حداکثر) و تعداد روزهای همراه با گردوغبار به دلیل داشتن بیشترین نقش در ایجاد طوفان گردوغبار از ۲۵ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک به گونه‌ای انتخاب شد که معرف کل مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران باشند. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد و جدول ۱ نشان‌دهنده مشخصات جغرافیایی (طول و عرض جغرافیایی به درجه و ارتفاع از سطح دریا به متر) ایستگاه‌های مورد مطالعه است.

روش کار

بعد از انتخاب ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی، اطلاعات متغیرهای اقلیمی دمای ماهانه (متوسط و حداکثر)، بارندگی ماهانه و سرعت باد ماهانه (متوسط و حداکثر) و تعداد روزهای همراه با گردوغبار از وب‌سایت و سازمان هواشناسی کشور در دوره آماری از بدو تأسیس تا ۲۰۱۴ اخذ شد. پس از بررسی همگنی، داده‌ها در محیط نرم‌افزار SPSS مورد پردازش و تحلیل قرار گرفته و ارتباط و همبستگی هر کدام از عناصر اقلیمی با پدیده روزهای گردوغباری با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون برای فصل تابستان مشخص شد و نقشه ضریب همبستگی برای نمایش بهتر نتایج به روش معکوس فاصله وزنی (IDW) در نرم‌افزار Arc GIS تهیه شد. پس از این که ارتباط بین دو متغیر بررسی شد، تعیین این ارتباط به شکل یک مدل مفید خواهد بود.

کوه‌های البرز و زاگرس از ورود بادهای باران‌زای مدیترانه‌ای در این منطقه جلوگیری می‌کنند (۸)، از این‌رو نزولات جوی این حوضه اندک بوده و متوسط سالیانه آن کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر و اغلب ۵۰ میلی‌متر و در مواردی حتی به ۲۵ میلی‌متر در سال می‌رسد. بالعکس تبخیر سالیانه در این حوضه بالا است و در موارد زیادی به بیش از ۴۰۰۰ میلی‌متر در سال هم می‌رسد. به این ترتیب میزان تبخیر می‌تواند به بیش از ۴۰ تا ۸۰ برابر بارندگی سالیانه بالغ شود (۲). متوسط رطوبت نسبی این دشت‌ها ۳۰ تا ۴۰ درصد است، اما در دوره‌های گرم سال تا ۱۵ درصد کاهش پیدا می‌کند. میانگین دمای سالانه بین ۱۵ تا ۳۰ درجه متغیر است و همچنین حداکثر و حداقل دما به ترتیب ۵۱ و ۱۸- درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (۱۸). شرق ایران را استان‌های خراسان شمالی، خراسان رضوی، خراسان جنوبی و سیستان و بلوچستان تشکیل می‌دهند که برخی از این استان‌ها با کشورهای افغانستان و پاکستان مرز مشترک دارند. در برخی منابع استان کرمان نیز جزئی از منطقه شرق ایران شمرده می‌شود. بخش بزرگی از شرق ایران دارای آب‌وهوای گرم و خشک است. شهرهای مشهد، زاهدان، بیرجند، زابل، چابهار و کرمان از شهرهای مهم این منطقه هستند (۱۲).

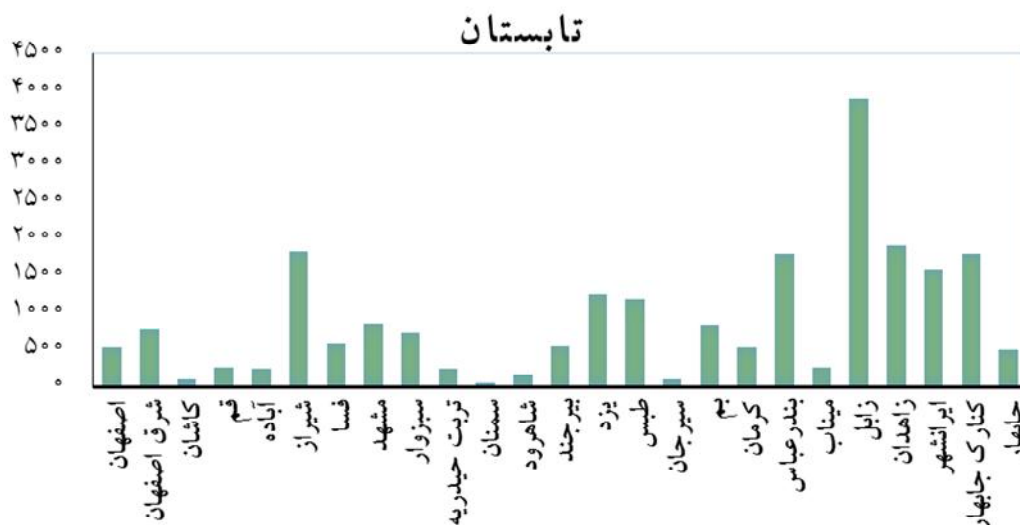
انتخاب ایستگاه‌های هواشناسی به‌طور اخذ داده‌های هواشناسی با هدف تعیین میزان همبستگی بین متغیرهای اقلیمی، دمای ماهانه (متوسط و حداکثر)، بارندگی ماهانه و سرعت باد ماهانه (متوسط و

جدول ۱. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	دوره آماری
اصفهان	۳۲/۵۱	۵۱/۷۰	۱۵۵۱	۱۹۵۱-۲۰۱۴
شرق اصفهان	۳۲/۷۴	۵۱/۸۶	۱۵۵۰	۱۹۷۷-۲۰۱۴
کاشان	۳۳/۹۶	۵۱/۴۸	۹۵۵	۱۹۶۷-۲۰۱۴
قم	۳۴/۷۷	۵۰/۸۵	۸۷۹	۱۹۵۶-۲۰۱۴
فسا	۲۸/۸۹	۵۳/۷۱	۱۲۶۸	۱۹۶۷-۲۰۱۴
طبس	۳۳/۶۰	۵۶/۹۵	۷۱۱	۱۹۶۱-۲۰۱۴
شیراز	۲۹/۵۶	۵۲/۶۰	۱۴۸۸	۱۹۵۱-۲۰۱۴
شاهرود	۳۶/۳۸	۵۴/۹۲	۱۳۲۵	۱۹۵۴-۲۰۱۴
سیرجان	۲۹/۴۶	۵۵/۶۸	۱۷۳۹	۱۹۸۵-۲۰۱۴
سمنان	۳۵/۵۸	۵۳/۴۲	۱۱۲۷	۱۹۶۵-۲۰۱۴
سبزوار	۳۶/۲	۵۷/۶۵	۹۷۲	۱۹۵۵-۲۰۱۴
زاهدان	۲۹/۴۷	۶۰/۹۰	۱۳۷۰	۱۹۵۴-۲۰۱۴
آباده	۳۱/۱۹	۵۲/۶۱	۲۰۳۰	۱۹۸۷-۲۰۱۴
ایران‌شهر	۲۷/۲۲	۶۰/۷۱	۵۹۱	۱۹۶۵-۲۰۱۴
بم	۲۹/۱	۵۸/۳۵	۱۰۶۶	۱۹۵۷-۲۰۱۴
بندرعباس	۲۷/۲۱	۵۶/۳۷	۹	۱۹۵۷-۲۰۱۴
بیرجند	۳۲/۸۹	۵۹/۲۸	۱۴۹۱	۱۹۵۶-۲۰۱۴
تربت‌حیدریه	۳۵/۲	۵/۲۱	۱۴۵۱	۱۹۵۹-۲۰۱۴
چابهار	۲۵/۲۸	۶۰/۶۵	۸	۱۹۶۴-۲۰۱۴
زابل	۳۱/۰۸	۶۱/۵۴	۴۸۹	۱۹۶۳-۲۰۱۴
کرمان	۳۰/۲۵	۵۹/۹۶	۱۷۵۴	۱۹۵۱-۲۰۱۴
کنارک چابهار	۲۵/۴۳	۶۰/۳۷	۳۰	۱۹۸۴-۲۰۱۴
مشهد	۳۶/۲۳	۵۹/۶۳	۹۹۹	۱۹۵۱-۲۰۱۴
میناب	۲۷/۱۰	۵۷/۰۸	۲۹	۱۹۸۵-۲۰۱۴
یزد	۳۱/۹۰	۵۴/۲۸	۱۲۳۰	۱۹۵۳-۲۰۱۴

روش Stepwise و در برخی ایستگاه‌ها روش Bakward برای مدل‌سازی مناسب بود. هدف از تحلیل رگرسیون برآورد رابطه‌ای ریاضی است، به طوری که با آن بتوان کمیت متغیری مجهول را با استفاده از متغیرهای معلوم تعیین کرد. رگرسیون چندگانه روشی است که برای بررسی ارتباط خطی بین یک متغیر وابسته

زیرا می‌توان از آن به عنوان ابزار پیش‌بینی استفاده کرد. به منظور مدل‌سازی رابطه فراوانی طوفان‌های گردوغبار با متغیرهای اقلیمی داده‌ها با روش رگرسیون خطی چندمتغیره در محیط نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. به این منظور روش‌های مختلف رگرسیون خطی چندمتغیره بررسی شد، در بیشتر ایستگاه‌ها



شکل ۲. مجموع روزهای همراه با طوفان‌های گردوغبار در فصل تابستان

دما و سرعت باد مرتبط است و زمانی به وقوع می‌پیوندند که مجموع بارش سالانه به‌طور قابل توجهی از بارش میانگین بلند مدت منطقه بیشتر شود. افزایش دما باعث کاهش رطوبت خاک و در نتیجه کاهش چسبندگی ذرات خاک و افزایش فرسایش‌پذیری خاک می‌شود (۱۷).

جدول ۲ میانگین فصلی متغیرهای اقلیمی، درجه حرارت (متوسط و حداکثر)، سرعت باد (متوسط و حداکثر) و مجموع بارندگی در فصل تابستان را نشان می‌دهد. می‌توان گفت تعداد روزهای گردوغباری در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران رابطه مستقیم با دما و رابطه معکوس با روزهای بارانی دارد. با توجه به جدول ۲ بیشترین فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار مربوط به ایستگاه‌هایی با کمترین میزان بارندگی و بیشترین میزان دما است. به طوری که در ایستگاه زابل میزان بارندگی بسیار ناچیز است (۳/۶) میلی‌متر میانگین دما (۳۴/۱۷) و بیشینه دما (۴۵/۵) درجه سلسیوس است. بررسی میانگین و بیشینه سرعت باد در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که در اغلب ایستگاه‌ها بین میانگین و بیشینه سرعت باد با فراوانی وقوع طوفان‌ها رابطه مستقیم و قوی وجود دارد و ایستگاه زابل با ۹/۲ متر بر ثانیه بیشترین میانگین سرعت باد و بیشینه سرعت باد (۱۶/۴ متر بر ثانیه) را دارد و کاشان با ۰/۹ متر بر ثانیه کمترین میانگین سرعت باد و بیشینه سرعت باد (۷/۵ متر بر ثانیه) را دارد.

و یک یا چند متغیر مستقل استفاده می‌شود (۲۰).

نتایج و بحث

بررسی متغیرهای اقلیمی

شکل ۲ مجموع روزهای همراه با طوفان‌های گردوغبار را در فصل تابستان برای هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. بر اساس استانداردهای جهانی (WMO, ۱۹۹۶) طوفان گردوغبار زمانی است که دید به ۱۰۰۰ متر و کمتر و سرعت باد به ۱۵ متر بر ثانیه و بیشتر می‌رسد. نتایج نشان می‌دهد ایستگاه‌های واقع در جنوب و جنوب شرق منطقه مورد مطالعه دارای بیشترین رخداد گردوغبار هستند. به طوری که ایستگاه زابل با (۳۸۹۲ روز) با تفاوت زیادی بیشترین فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار را داشته است. ایستگاه‌های زاهدان (۱۹۰۵)، بندرعباس (۱۷۹۸)، کنارک چابهار (۱۷۹۳)، شیراز (۱۸۱۷)، ایرانشهر (۱۵۷۸) و طبس (۱۱۷۴) شامل ایستگاه‌هایی با فراوانی وقوع بالا هستند. در بخش‌های مرکزی ایستگاه‌های یزد (۱۲۴۷)، شرق اصفهان (۷۷۵) و اصفهان (۵۳۲) بیشترین تعداد روزهای همراه با گردوغبار را دارند و کمترین فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار در ایستگاه‌های سمنان (۴۷)، کاشان (۹۷)، سیرجان (۹۸) و شاهرود (۱۶۳) بوده است. وقوع طوفان‌های گردوغبار با عوامل اقلیمی نظیر بارندگی،

جدول ۲. میانگین فصلی متغیرهای اقلیمی، درجه حرارت (متوسط و حداکثر)، سرعت باد (متوسط و حداکثر) و مجموع بارندگی در

فصل تابستان

نام ایستگاه	روزهای گردوغباری	میانگین دما (درجه سلسیوس)	مجموع بارندگی (میلی‌متر)	میانگین سرعت باد (متر بر ثانیه)	بیشینه دما (درجه سلسیوس)	بیشینه سرعت باد (متر بر ثانیه)
اصفهان	۵۳۲	۲۸/۱۳	۱۹۸/۴	۲/۱۹	۳۸/۹۱	۱۱/۳
شرق اصفهان	۷۷۵	۲۷/۵۷	۱۰۰/۶۳	۳/۱۸	۳۹/۶۶	۱۲/۶۱
کاشان	۹۷	۳۲/۵۷	۱۱۷	۰/۹۳	۴۳/۷۱	۷/۵۵
قم	۲۶۲	۳۱/۳۱	۶۵/۷	۲/۷	۴۲/۸۴	۱۱/۱۵
آباده	۲۴۱	۲۵/۶۵	۷۲	۲/۴۳	۳۶/۲۷	۱۲/۱۴
شیراز	۱۸۱۷	۲۹/۰۹	۱۳۵/۳	۲/۴۳	۳۹/۷۶	۹/۸
فسا	۵۷۶	۳۱/۲۴	۱۵۵/۹	۱/۸۷	۴۱/۷۸	۸/۹۴
مشهد	۸۶۴	۲۵/۹	۳۷۶/۸	۲/۷۸	۳۸/۲۵	۹/۹
سبزوار	۷۲۸	۲۹/۹۵	۲۸۳/۱	۴/۴۳	۴۱/۳۷	۱۱/۷۷
ترت حیدریه	۲۳۷	۲۶/۵۲	۲۷۱/۵	۳/۳۲	۳۷/۲۴	۸/۸۵
سمنان	۴۷	۳۰/۹	۴۹۱/۱	۱/۹۶	۴۰/۶	۱/۳۳
شاهرود	۱۶۳	۲۵/۸۴	۵۲۹	۳/۰۲	۳۷/۲۲	۹/۱۳
بیرجند	۵۵۶	۲۷/۵۲	۵۴/۸	۳/۷۸	۳۹/۶۳	۹/۷۵
یزد	۱۲۴۷	۳۱/۵	۳۸/۹۸	۲/۹۶	۴۲/۲۳	۱۰/۲۸
طبرس	۱۱۷۴	۳۵	۱۷/۸	۲/۱۲	۴۵/۳۳	۸/۵۶
سیرجان	۹۸	۲۸/۵۶	۲۱۰	۳/۰۱	۳۸/۶۸	۱۱/۳۴
بم	۸۴۷	۳۳/۴۷	۱۰۹/۶	۳/۵۲	۴۳/۲۴	۹/۴۳
کرمان	۵۳۷	۲۷/۶۲	۱۹۴/۴	۳/۵۸	۳۸/۵۱	۱۲/۳۱
بندرعباس	۱۷۹۸	۳۴/۰۵	۱۴۱	۳/۵	۴۳/۰۵	۱۰/۵۵
میناب	۲۵۶	۳۵/۴۵	۸۱/۲	۱/۷	۴۶/۱۸	۸/۶
زابل	۳۸۹۲	۳۴/۱۷	۳/۶	۹/۲	۴۵/۵۵	۱۶/۴
زاهدان	۱۹۰۵	۲۸/۶۱	۱۵۳	۳/۴۲	۴۰/۲	۱۱/۶۶
ایران‌شهر	۱۵۸۷	۳۷/۵۱	۱۰۹/۳۵	۲/۶۷	۴۷	۱۰/۳۹
کنارک چابهار	۱۷۹۳	۳۱/۶	۳۵۹/۶	۳/۹	۴۱/۳۴	۱۰/۳۸
چابهار	۴۹۴	۳۰/۵۳	۶۳۹/۹۵	۳/۵۴	۳۶/۳	۱۴/۸

ضرب همبستگی

نتایج همبستگی متغیرهای اقلیمی و فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران در فصل تابستان نشان می‌دهد که، در بیشتر ایستگاه‌ها بین فراوانی وقوع

طوفان‌های گردوغبار و متغیرهای میانگین سرعت باد و بیشینه سرعت باد ارتباطی قوی و مؤثر وجود دارد. بالاترین ضرایب همبستگی میانگین سرعت باد و فراوانی گردوغبار در سطح معنی داری ($\alpha > 0.05$) به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های کنارک

چابهار با ضریب همبستگی $0/71$ ، ایرانشهر با ضریب همبستگی $0/655$ ، میناب با ضریب همبستگی $0/614$ و شرق اصفهان با ضریب همبستگی $0/591$ است و همچنین ایستگاه‌های ایرانشهر با ضریب همبستگی $0/65$ ، کنارک چابهار با ضریب همبستگی $0/585$ و میناب با ضریب همبستگی $0/466$ با بیشینه سرعت باد نیز بیشترین همبستگی را نشان می‌دهند. متغیر بیشینه دما در ایستگاه‌های قم با ضریب همبستگی $0/389$ ، فسا با ضریب همبستگی $0/319$ و شیراز با ضریب همبستگی $0/325$ و متغیر میانگین دما در ایستگاه اصفهان با ضریب همبستگی $0/307$ یک رابطه معنی‌دار و مثبت را نشان می‌دهند. اما در برخی ایستگاه‌ها فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار با میانگین دما و بیشینه دما دارای همبستگی معکوس هستند. ایستگاه‌های ایرانشهر با ضریب همبستگی $0/62$ - با میانگین دما و با ضریب همبستگی $0/327$ - با بیشینه دما و میناب با ضریب همبستگی $0/461$ - با بیشینه دما همبستگی معکوس دارند. اغلب ایستگاه‌ها با بارش همبستگی معکوس دارند هر چند که مقدار ضریب همبستگی آنها ناچیز است و از نظر آماری معنی‌دار نیست. بالاترین ضرایب همبستگی بین بارش و وقایع گردوغبار به ترتیب به میزان $0/208$ - و $0/175$ - در ایستگاه‌های شرق اصفهان و تربت حیدریه مشاهده شد. جدول (۳) ضریب همبستگی بین متغیرهای اقلیمی و تعداد روزهای همراه با گردوغبار در فصل تابستان را نشان می‌دهد.

به منظور تحلیل منطقه‌ای ضریب همبستگی بین متغیرهای اقلیمی و فراوانی گردوغبار، نقشه پهنه بندی این ضرایب در شکل های ۳ تا ۷ نمایش داده شده اند.

شکل (۳) نقشه ضریب همبستگی متغیر بیشینه دما با فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار در فصل تابستان است و نشان می‌دهد که در بخش‌های مرکزی مناطق خشک کشور به جز در برخی نقاط پراکنده (ایستگاه یزد) و بیشتر ایستگاه‌های شرق و جنوب شرقی (به جز ایستگاه‌های کرمان، کنارک چابهار و میناب)، فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار تحت تأثیر متغیر بیشینه دما بوده ولی در این مناطق مقدار ضریب همبستگی از

نظر آماری معنی‌دار نیست و بیشترین همبستگی مثبت در قسمت‌های شمال غربی و جنوب غربی منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود. در این مناطق مقدار ضریب همبستگی از نظر آماری معنی‌دار است ولی در قسمت‌های جنوب و جنوب شرقی برخی مناطق مثل ایستگاه‌های ایرانشهر و میناب همبستگی معکوس و معنی‌دار را با بیشینه دما نشان می‌دهند. یعنی افزایش دما باعث کاهش طوفان‌های گردوغبار در این مناطق شده است. نقشه ضریب همبستگی میانگین دما نشان‌دهنده همبستگی مثبت با فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار در بخش‌های زیادی از مناطق خشک ایران است و از قسمت‌های مرکزی به سمت بخش‌های شمالی این منطقه شدت این همبستگی بیشتر و از نظر آماری معنی‌دار می‌شود به جز ایستگاه سبزوار که همبستگی معکوس اما با مقدار کم که از لحاظ آماری نیز معنی‌دار نیست را نشان می‌دهد. در قسمت‌های جنوبی برخی از ایستگاه‌ها مانند چابهار و کنارک چابهار همبستگی مثبت و معنی‌داری را با فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار نشان می‌دهند ولی بخش‌هایی از مناطق جنوبی مثل ایستگاه ایرانشهر نشان‌دهنده همبستگی معکوس و معنی‌دار با فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار هستند (شکل ۴). کم فشارهای سطح زمین در ایجاد پدیده‌های غباری در دوره گرم سال مؤثرند (10). علت افزایش فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار در مناطق جنوب و جنوب شرق در فصل تابستان که با افزایش دمای هوا همراه است، وجود یک مرکز کم فشار نسبتاً قوی (به دلیل بالا بودن دمای هوای این مناطق در فصل تابستان) در جنوب شرق ایران و همچنین دو مرکز پر فشار یکی روی دریای خزر و دیگری در ارتفاعات شمال شرقی خارج از کشور (آسیای میانه و شمال افغانستان) است که عامل اصلی به وجود آورنده بادهای 120 روزه است که باعث ایجاد طوفان‌های گردوغبار شدید در این منطقه می‌شود (27) و همچنین استقرار چند روزه ناوه در نواحی دریای خزر در شمال ایران و همچنین وجود ناوه‌ای در شمال دریای سیاه باعث می‌شود که سامانه‌های غربی در برخورد با این پر ارتفاع، مسیر جنوبی‌تری را انتخاب کنند و با حرکت خود از نظر ترمودینامیکی تقویت شوند و ناپایداری در

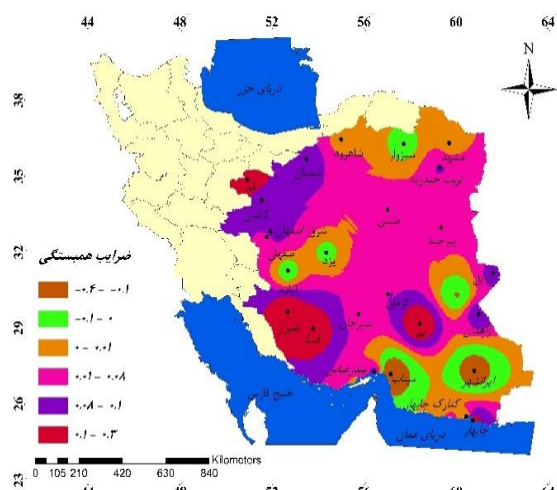
جدول ۳. ضریب همبستگی فصلی (تابستان) بین متغیرهای اقلیمی و تعداد روزهای همراه با گردوغبار

ایستگاه	میانگین دما	مجموع بارش	میانگین سرعت باد	بیشینه دما	بیشینه سرعت باد
اصفهان	۰/۳۷۰**	-۰/۱۵۶	۰/۱۵۱	۰/۰۱۴	-۰/۱۰۱
شرق اصفهان	-۰/۲۰۵	-۰/۲۰۸	۰/۵۹۱**	۰/۱۹۵	۰/۲۵۹*
کاشان	۰/۲۲۸	-۰/۰۵۹	۰/۳۰۶*	۰/۰۹۴	۰/۲۵۰
قم	۰/۱۶۳	-۰/۰۲۶	۰/۲۴۰	۰/۳۸۹**	۰/۶۳۵**
فسا	-۰/۱۸۹	-۰/۰۱۴	۰/۱۹۳	۰/۳۱۹*	۰/۲۹۹*
طبرس	۰/۲۲۷	-۰/۱۳۲	۰/۴۱۳**	۰/۰۷۲	۰/۳۹۳**
شیراز	۰/۱۴۵	-۰/۱۷۳	۰/۱۱	۰/۳۲۵**	۰/۲۱۵
شاهرود	۰/۲۰۲	-۰/۰۹۸	۰/۲	-۰/۰۰۹	-۰/۱۷۱
سیرجان	۰/۰۰۶	-۰/۰۱۸	۰/۳۳۶**	۰/۰۶۵	۰/۰۳۲
سمنان	۰/۱۶۹	۰/۱	۰/۰۳۴	۰/۱۴	-۰/۰۹۱
سبزوار	-۰/۱۶۹	۰/۰۱۱	۰/۶۴۱**	-۰/۱۱۴	۰/۵۰۳**
زاهدان	۰/۲۱۹	-۰/۰۳۹	۰/۱۲۸	۰/۱۶۹	۰/۳۱۷*
آباد	-۰/۱۰۱	۰/۰۲۱	۰/۵۵۶**	-۰/۱۲۸	۰/۲۶۸*
ایران‌شهر	-۰/۶۲۰**	۰/۱۶۰	۰/۶۵۵**	-۰/۳۲۷**	۰/۶۵۰**
بم	۰/۱۳۶	۰/۰۴	۰/۳۱۷*	۰/۳۵۴**	۰/۵۱۲**
بندرعباس	-۰/۵۰۱**	۰/۱۱۲	۰/۱۹۵	۰/۱۰۸	۰/۵۸۰**
بیرجند	۰/۱۱۵	-۰/۰۰۳	۰/۱۹۵	۰/۰۴۹	۰/۰۱۳
زابل	۰/۲۱۹	-۰/۰۳۹	۰/۱۲۸	۰/۱۶۲	۰/۳۱۷**
کرمان	-۰/۰۰۵	-۰/۰۷۴	۰/۲۴۷*	-۰/۱۹۳	-۰/۰۸۸
کنارک چابهار	۰/۱۸۸	-۰/۱۰۲	۰/۷۱۰**	-۰/۰۵۷	۰/۵۸۵**
مشهد	۰/۰۴	-۰/۰۶۵	-۰/۰۶۹	-۰/۰۰۶	-۰/۱۷۱
میناب	-۰/۰۶۲	-۰/۱۴	۰/۶۱۴**	-۰/۴۶۱**	۰/۴۶۶**
یزد	-۰/۰۰۵	-۰/۰۰۸	۰/۰۱۸	-۰/۰۹۶	-۰/۰۶۳
چابهار	۰/۱۳۳	-۰/۱۳۶	۰/۱۹۱	۰/۲۷۶*	-۰/۳۲
تربت حیدریه	۰/۱۲۶	-۰/۱۷۵	۰/۱۹۹	۰/۰۹۱	۰/۱۳۹

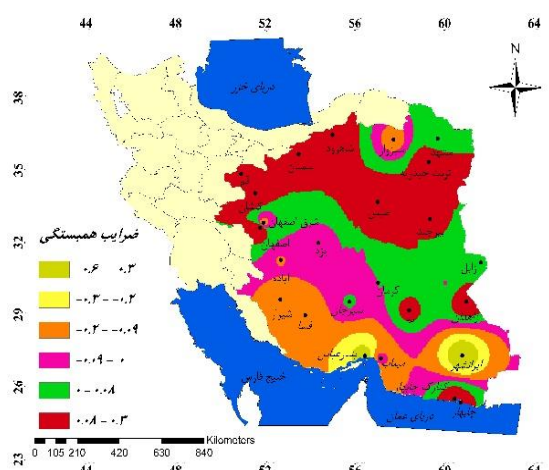
** ضریب همبستگی در سطح ۰/۰۱ و * ضریب همبستگی در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است.

نواحی مرکزی و جنوبی ایران و همچنین طوفان‌های گردوغبار را ایجاد کنند (۱۱). اما افزایش دما در برخی ایستگاه‌ها (به‌ویژه در بخش‌های شمالی منطقه مورد مطالعه و برخی مناطق شرق و جنوب شرقی) باعث کاهش فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار شده است. پرفشاری که آب‌وهوای ایران را کنترل می‌کند و روی مجمع‌الجزایر آزرور مستقر است در فصل تابستان به‌صورت زبانه‌ای از طریق مدیترانه بر بالای خاورمیانه از جمله ایران

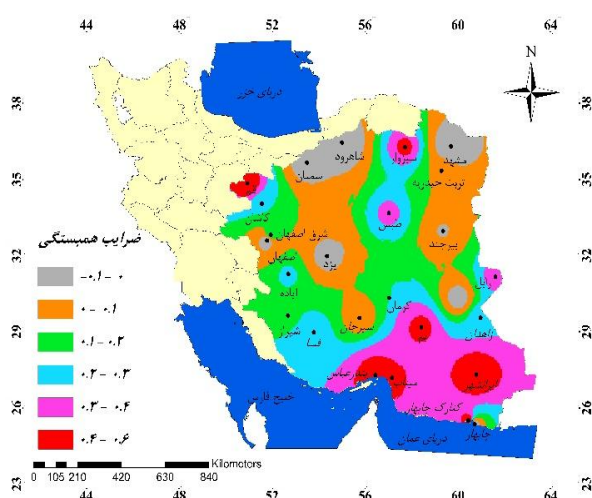
کشیده می‌شود به پرفشار جنب حاره‌ای معروف است. ارتفاع کف پرفشار جنب حاره‌ای در همه جای ایران و از روزی به روز دیگر متغیر است در نواحی غرب ایران به سطح زمین بسیار نزدیک ولی در قسمت‌های جنوب شرق از سطح زمین فاصله دارد و در بعضی از ایام به ۲۰۰۰ یا ۳۰۰۰ متر فاصله پیدا می‌کند و اجازه می‌دهد، هوای گرم و مرطوب زیرین بر اثر عامل همرفتی تا ارتفاع لازم صعود کرده و ابر و باران ایجاد کند



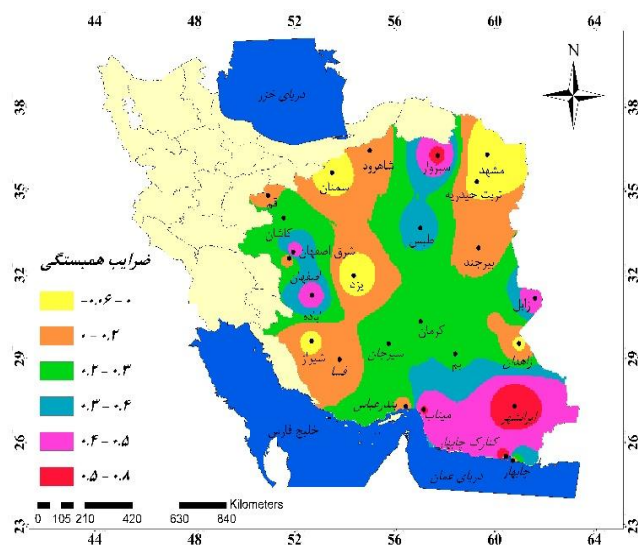
شکل ۳. پهنه بندی ضریب همبستگی متغیر بیشینه دما با فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار در فصل تابستان



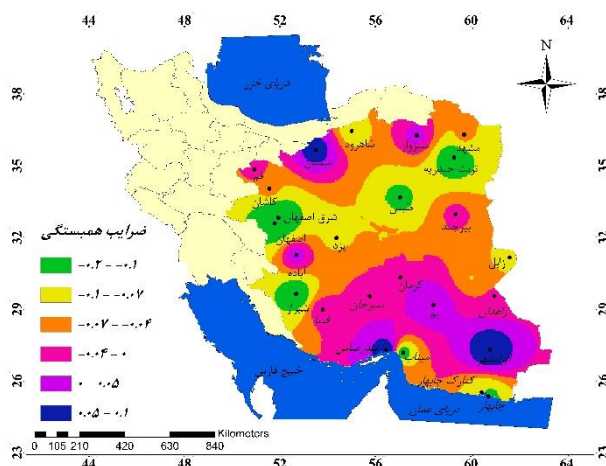
شکل ۴. پهنه بندی ضریب همبستگی متغیر میانگین دما با فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار در فصل تابستان



شکل ۵. پهنه بندی ضریب همبستگی متغیر بیشینه سرعت باد با فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار در فصل تابستان



شکل ۶. پهنه بندی ضریب همبستگی متغیر میانگین سرعت باد با فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار



شکل ۷. پهنه بندی ضریب همبستگی متغیر میانگین بارش با فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار در فصل تابستان

این وضعیت گاهی تا شمال ایران گسترش می‌یابد و سبب نفوذ باران‌های موسمی می‌شود (۱۱). وقوع بارش باعث کاهش طوفان‌های گردوغبار در این مناطق می‌شود. ذوالفقاری و عابدزاده، پرفشار آזור همراه با سیستم‌های مهاجر بادهای غربی را مهم‌ترین عامل سینوپتیک تأثیرگذار بر سیستم‌های گردوغبار منطقه غرب ایران می‌دانند (۲۷).

نقشه ضریب همبستگی متغیر بیشینه سرعت باد نشان‌دهنده همبستگی مثبت و قوی بین فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار با متغیر بیشینه سرعت باد است (شکل ۵). و هر چه به سمت جنوب و جنوب شرق حوضه مورد مطالعه نزدیک می‌شویم این

همبستگی مثبت قوی‌تر و از لحاظ آماری معنی‌دار می‌شود و در ایستگاه‌های میناب، ایرانشهر و بندرعباس بالاترین مقدار همبستگی را دارد. نقشه میانگین سرعت باد نیز نشان‌دهنده همبستگی مثبت با فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار است و در این متغیر هم مناطق جنوب و جنوب شرقی بالاترین همبستگی هستند (شکل ۶). یکی از عواملی که باعث شده است در فصل تابستان بیشترین روزهای غباری در ایران در این منطقه باشد، وزش بادهای ۱۲۰ روزه است که همزمان با بالا بودن درجه حرارت و قطع منابع بارش و خشکی فیزیکی محیط همراه است. این عوامل باعث مهیا شدن شرایط جوی مناسب

وزش بادهای شده و با وجود کاهش رطوبت خاک امکان تغذیه طوفان‌های گردوغبار را فراهم می‌سازد. اختلاف فشار بین افغانستان و دشت سیستان، وجود مراکز فشار قوی در سیبری از عوامل به وجود آورنده و تشدید کننده بادهای طوفان‌های گردوغبار در دشت سیستان هستند. این طوفان‌ها با جهت شمال شمال غربی با سرعت زیاد سطح منطقه را در می‌نوردند، این بادهای در این منطقه در ماه‌های خرداد تا شهریور از نظر شدت و فراوانی اهمیت ویژه‌ای دارند (۳).

نقشه ضریب همبستگی بارش، همبستگی معکوس با فراوانی طوفان‌های گردوغبار را در بخش‌های مرکزی، شمالی و شمال غربی و شرقی حوضه نشان می‌دهد هر چند که مقدار ضریب همبستگی کم و از نظر آماری معنی‌دار نیست (شکل ۷). علت همبستگی معکوس بارندگی با فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار این است که در مناطق خشک کمترین میزان بارندگی مربوط به فصل تابستان است و کم شدن بارندگی باعث از دست رفتن رطوبت خاک می‌شود و شرایط مساعدی را برای جدا شدن ذرات خاک و وقوع پدیده گردوغبار فراهم می‌آورد (۱۶). بخش‌هایی از جنوب مثل ایستگاه بندرعباس و جنوب شرق مانند ایرانشهر همبستگی مثبت و خیلی ضعیف که البته از نظر آماری هم معنی‌دار نیست را نشان می‌دهند، این موضوع را می‌توان دلیلی وقوع طوفان‌های گردوغبار با منشأ خارج در این مناطق دانست. در مورد نقشه‌های فوق نکته قابل ذکر این است که مقدار ضرایب همبستگی در بازه $+0/25$ تا $-0/25$ از نظر آماری معنی‌دار هستند.

مدل‌سازی استفاده شد. جدول ۳ مدل‌های بدست آمده را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج جدول ۴ میزان R^2 نشان می‌دهد که چه مقدار از متغیر وابسته می‌تواند توسط متغیرهای مستقل تبیین شود. بیشترین میزان R^2 در ایستگاه‌های میناب (۷۰ درصد) و زابل (۶۱ درصد) و ایرانشهر (۵۹ درصد) و کنارک چابهار (۵۰ درصد) دیده می‌شود. با توجه به میزان R^2 ، مدل‌های رگرسیونی در ایستگاه‌های میناب، زابل، ایرانشهر و کنارک چابهار بالاترین رابطه را بین فراوانی طوفان‌های گردوغبار و متغیرهای اقلیمی نشان می‌دهد و در سایر ایستگاه‌ها این مدل‌ها ارتباط خوبی را بین وقایع گردوغبار و متغیرهای وارد شده در مدل نشان نمی‌دهد. مدل‌های رگرسیونی نشان می‌دهند که در بهترین حالت متغیرهای اقلیمی تنها ۷۰ درصد از تغییرات فراوانی گردوغبار را تبیین می‌کنند. مدل‌سازی رگرسیون چندمتغیره بین گردوغبار و متغیرهای اقلیمی در فصل تابستان نیز نشان می‌دهد که مهم‌ترین پارامتر تأثیرگذار در وقایع گردوغبار میانگین سرعت باد و سرعت باد بیشینه و میانگین دما است البته لازم به ذکر است که بارش نیز می‌تواند تأثیر مهمی در کاهش وقایع گرد و غبار داشته باشد اما علت این‌که در بیشتر ایستگاه‌ها بارش در مدل رگرسیونی معنی‌دار نبود این است که در مناطق خشک ایران بارش در بیشتر روزها و حتی ماه‌های سال، صفر است و بیشتر بارش‌ها نیز در فصل زمستان است بنابراین در فصل تابستان نمی‌توان ارتباط خوبی بین این پارامتر با وقایع گرد و غبار نشان داد.

نتیجه‌گیری

هدف از این مطالعه، بررسی شدت همبستگی و مدل‌سازی رابطه فراوانی طوفان‌های گردوغبار با متغیرهای اقلیمی همچون سرعت باد، دما و بارش در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. نتایج نشان داد، بالاترین ضریب همبستگی مربوط به متغیر باد است. سرعت باد به عنوان یک عامل مهم و پویا در شکل‌گیری طوفان‌های گردوغبار به رسمیت شناخته می‌شود و در حضور شرایط سطحی مناسب حتی به طور نسبی یک باد ضعیف می‌تواند باعث وقوع این

مدل‌سازی رگرسیون چندمتغیره

برای مدل‌سازی رگرسیونی وقایع گرد و غبار، مجموع تعداد روزهای همراه با گردوغبار به عنوان متغیر وابسته و متغیرهای متوسط دمای ماهانه (X_1)، مجموع بارش (X_2)، متوسط سرعت باد (X_3)، ماکزیمم دمای بیشینه (X_4)، متوسط دمای بیشینه (X_5)، متوسط سرعت باد بیشینه (X_6) و ماکزیمم سرعت باد بیشینه (X_7) به عنوان متغیرهای مستقل برای

جدول ۴. مدل‌سازی رگرسیون چندمتغیره بین گردوغبار و متغیرهای اقلیمی در فصل تابستان

ایستگاه	مدل رگرسیون چند متغیره	R^2	P-Value	متغیرهای اقلیمی وارد شده در مدل
اصفهان	$Y = -17/528 - 4/103X1 - 0/06X2 + 4/357X3 - 3/417X4 + 7/439X5$	0/224	0/046	میانگین سرعت باد، ماکزیمم بیشینه سرعت باد، میانگین دما، مجموع بارش
شرق اصفهان	$Y = -17/352 + 11/839X3$	0/366	0/00	میانگین سرعت باد
کاشان	$Y = 0/630 + 1/493X3$	0/105	0/025	میانگین سرعت باد
قم	$Y = -72/788 + 1/760X5 + 1/828X1$	0/454	0/00	متوسط بیشینه سرعت باد، میانگین دما
آباده	$Y = -10/178 + 6/86X3$	0/333	0/00	میانگین سرعت باد
شیراز	$Y = -262/830 + 7/323X/5$	0/108	0/008	متوسط دمای بیشینه
فسا	$Y = -283/238 + 6/589X4 + 7/525X3$	0/210	0/005	ماکزیمم دمای بیشینه، میانگین سرعت باد
مشهد	$Y = 17/441 + 1/866X1 - 0/193X2 - 2/075X3 + 0/726X4 - 1/789X5 + 0/631X6 + 0/194X7$	0/064	0/798	مدل رگرسیون چندمتغیره معنی دار نشده
سبزوار	$Y = -12/699 + 5/597X3$	0/410	0/00	میانگین سرعت باد
تربت حیدریه	$Y = -53/223 + 1/677X1 - 0/928X3 + 0/155X4 + 0/901X6$	0/149	0/079	متوسط سرعت باد بیشینه، میانگین سرعت باد، میانگین دما
سمنان	$Y = -14/390 + 4/88X3 + 0/026X5 - 16/715 + 2/164X1 + 2/212X3 - 1/039X5 - 0/382X7$	0/097	0/009	میانگین دما، میانگین سرعت باد، متوسط دما بیشینه، ماکزیمم سرعت باد بیشینه
شاهرود	$Y = -0/971 + 0/003X1 - 0/136X2 + 3/413X3 - 0/812X4 + 1/034X5 + 1/436X6 + 2/415X7$	0/133	0/074	مدل رگرسیونی چندمتغیره معنی دار نشده
بیرجند	$Y = 73/534 - 0/634X1 + 0/047X2 + 0/467X3 + 0/227X4 - 1/08X5 - 1/04X6 + 1/38X7$	0/025	0/984	مدل رگرسیونی چندمتغیره معنی دار نشده
یزد	$Y = 8/207 + 2/476X3$	0/174	0/003	میانگین سرعت باد
طبرس	$Y = -4/061 - 0/188X2 + 7/549X3 - 1/07X6$	0/226	0/079	مجموع بارش، میانگین دما، متوسط سرعت باد بیشینه
سیرجان	$Y = -96/827 + 1/513X6 + 2/19X5$	0/554	0/00	متوسط سرعت باد بیشینه، متوسط دمای بیشینه
بم	$Y = 100/447 - 2/324X/4$	0/091	0/016	ماکزیمم دمای بیشینه
کرمان	$Y = 239/819 + 5/074X6 - 7/637X1$	0/408	0/00	میانگین سرعت باد، میانگین دما
بندر عباس	$Y = -2/615 + 3/358X3$	0/322	0/001	میانگین سرعت باد
میناب	$Y = -148/701 + 5/118X3 + 3/741X4$	0/378	0/00	میانگین سرعت باد، ماکزیمم دمای بیشینه
زابل	$Y = -121/541 + 2/485X6 + 4/071X1$	0/164	0/004	میانگین دما، متوسط سرعت باد بیشینه
زاهدان	$Y = 228/405 + 4/456X3 - 6/294X1 + 1/2X6$	0/593	0/00	میانگین سرعت باد، میانگین دما، متوسط سرعت باد بیشینه
ایران شهر	$Y = 0/246 + 15/283X3$	0/507	0/00	میانگین سرعت باد
کنارک	$Y = -17/528 - 4/103X1 - 0/06X2 + 4/357X3 - 3/417X4 + 7/439X5$	0/224	0/046	میانگین دما، مجموع بارش، متوسط سرعت باد بیشینه، ماکزیمم سرعت باد
چابهار				

مناطق می‌شود و باعث مکش گردوغبار به این مناطق می‌شود. بارش با فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار همبستگی معکوس دارد. زیرا می‌تواند رطوبت خاک را افزایش داده و باعث کاهش پتانسیل برداشت مواد سطحی از روی زمین شود. به‌طور کلی نتایج همبستگی و رگرسیون چندمتغیره در مناطق خشک و نیمه‌خشک نشان داد که متغیرهای اقلیمی دما (حداکثر و حداقل)، سرعت باد، (حداکثر و حداقل) در ایستگاه‌های جنوب و جنوب شرق بیشترین تأثیر را در فراوانی طوفان‌های گردوغبار داشتند و گاه همین عوامل اقلیمی باعث مکش گردوغبار به این مناطق شدند.

گونه طوفان‌ها شود. یک ارتباط معنی‌دار مثبت میان سرعت باد و فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار وجود دارد. تغییر دما نیز بر فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار مؤثر است، پژوهش‌ها نشان می‌دهد گرما منجر به افزایش تبخیر از سطح خاک و سستی بیشتر خاک می‌شود که می‌تواند منبعی از ذرات را برای وقوع این‌گونه طوفان‌ها فراهم کند. همچنین کم‌فشارهای سطح زمین در ایجاد پدیده‌های غباری در دوره گرم سال مؤثرند. تشکیل یک سیستم پر دما (کم‌فشار) در این مناطق و یک سیستم کم‌دما در مناطق اطراف و اختلاف دمای شدید این دو دسته باعث ایجاد اختلاف فشار بین دو منطقه مذکور و ایجاد یک جریان گردوغباری به سمت این

منابع مورد استفاده

1. Ansari Renani, M. 2011. Statistical-climatic analysis of zahedan dust in time (1986 - 2005). In: Proceeding of the First International Congress on the phenomenon of dust and dealing with its harmful effects. University of Agriculture and Natural Resources Ramin Ahvaz. (In Farsi).
2. Azadi, S., S. Soltani, A. Faramarzi, R. Soltani Todashki and S. Pormanafi. 2015. Evaluation of the palmer drought index in the central areas of iran. journal of science and technology of agriculture and natural resources. *Soil Science* 19(72): 305 -318. (In Farsi).
3. Ekhtesasi, M. and Z. Gohari. 2013. Determining area affected by dust storms in different wind speeds, using satellite images(case study: Sistan plain, Iran). *Desert* 17:193-202.
4. Esmaeili, A. 2006. Primary zoning of the country's main dust production centers using remote sensing technology. MSc. Thesis, Faculty of Civil Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran. (In Farsi).
5. Farajzadeh, M. and M. Razi. 2011. Investigation of Temporal and spatial distribution of high storms and winds in Iran. *Journal of Watershed Research* 91: 22-32.
6. Fengjin, X., Z. Caiping and L. Yaoming. 2008. Dust storms evolution in Taklimakan Desert and its correlation with climatic parameters. *Journal of Geographical Sciences* 18: 514-425.
7. Fengmei, Y. and E. Chongy. 2010. Correlation analysis between send – dust events and meteorological factors in shapotou, Northern China. *Journal of Environ Earth Sciences* 20(3):49-52.
8. Ghorban, M. 2013. The Economic Geology of Iran: Mineral Deposits and Natural Resources. Springer Science & Business Media.
9. Goudie A. S. and N. J. Middleton. 2001. Dust storm in South West Asia. 2000 GEOGRAPHICA, XXXV,SUPPLEMENTUM, PAG.73-83.
10. Goudie, A. S. and N. J. Middleton. 2006. Desert Dust in the global system. Spipublisher service.
11. <http://f.havajanah.ir>
12. <http://fa.m.wikipedia.org>
13. Jafari Zoj, F., S. Heydari Agha Goli and A. Mazidi. 2015. Dust storm simulation February 28
14. Khosravi, M and M. Saligheh. 2005. Ecological and environmental effects of 120-day-old Sistan winds. Research project of Institute of Geosciences and Geography, Sistan and Baluchestan University Press, 2.
15. Li, X. and W. Song. 2009. Dust storm detection based on Modis Data. In: Proceeding of the International Conference on Geo-spatial Solutions for Emergency Management and the 50th Anniversary of the Chinese Academy of Surveying and mapping. pp: 169-172.
16. Mehrabi, Sh. Soltani and R. Parsley. 2015. Investigation of relationship between climatic parameters and occurrence of microdeletions (case study of Khuzestan Province). *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Soil and Water Sciences* 71(19): 80-69.
17. Movahedi, S., Kh. Hatami Bahman Bigloo and M. Kh. Tangerine Fred. 1393. Spatial and temporal monitoring of climatic phenomena related to dust in Iranian cities. *Journal of Geography and Environmental Studies* (11): 37-47.

18. Naderi, M. and E.Raeisi. 2015. Climate change in a region with altitude differences and with precipitation from various sources, South-Central Iran. *Theoretical and Applied Climatology* 3: 529-540.
19. Rashki, A., D. G. Kaskaoutis, A. S. Goudie and R. A. Kahn. 2013. Dryness of ephemeral lakes and consequences for dust activity: The case of the Hamoun drainage basin, Southeastern Iran. *Journal of Total. Environment Sciences* 434(3): 552-564.
20. Rawling, J. O., S. G. Pantula and D. A. 1998. Applied regression analysis: A research tool: ISBN0-387-98454-2 springer Science –Veriag New York Berlin Heidelberg.
21. Shao, Y., K. H. Wyrwoll, A. Chappell, J. Huang, Z. Lin and G. H. Mctainsh. 2011. Dust cycle: an emerging core theme in Earth system science. *Aeolian Research* 2(4): 181-204.
22. Shojaezadeh, K., R. Drijani and F. Heidary. 2013. Investigation of climate relationship and dust occurrence (Case Study: Mahshahr City). In: Proceeding of the Second International Conference on Environmental Hazards. Kharazmi University of Tehran.
23. Taherzadeh Mosavian, S. M. and K. Taheri Abkenar. 2011. A summary of information obtained from the phenomenon of dust and introducing ways to deal with it in Iran and world. *Journal of Ecology and Environmental Sciences* 2(1):20-26.
24. Tajiki, M., Z. Samaei and S. Tabakhi. 2014. Investigation of temporal changes and interaction of pollutants with climate parameters and micro-management (case study of Tehran). In: Proceeding of the National Conference on Climate Change Engineering and Sustainable Development of Agriculture and Natural Resources. Hamadan Agricultural Jihad Training Center.
25. Takemi, T. and N. Seino. 2005. Dust storms and cyclone tracks over the arid regions in East Asia in spring. *Journal of Geophysical Research* 110.
26. Wang, X. M.; Z. J. Zhou and Z. B. Dong. 2006. Control of dust emissions by geomorphic conditions, wind environments and land use in northern China: an examination based on dust storm frequency from 1960 to 2003. *Geomorphology* 81(3-4):292-308.
27. Zulfikari, H and H. Abedzadeh. 2005. Analysis of Synoptic Dust Systems in Western Iran. *Journal of Geography and Development, Fall and Winter* 187: 173-84.

Modelling the Relationship between the Frequency of Dust Storms and Climatic Variables in the Summer Time in Desert Areas of Iran

S. Ghorbani* and R. Modarres¹

(Received: June 25-2018 ; Accepted: October 29-2018)

Abstract

The purpose of this study was to model the relationship between the frequency of dust storms and climatic variables in desert areas of Iran. For this purpose, climatic data of temperature (maximum and minimum), rainfall, wind speed (maximum and minimum), and their relationship with the number of days with dust recorded in 25 meteorological stations (statistical period since their inception until 2014) in summer using Pearson correlation coefficient and linear regression method multivariate was analyzed in SPSS software. Also, due to regional analysis, correlation coefficient between climatic variables and frequency of drought storms in desert areas of Iran, the mapping of these coefficients was prepared by method of Inverse distance weighting (IDW) in Arc GIS software. The results showed that the stations in the south and southwest of the study area have the highest dust incidence in the summer season. So that Zabul station with (3892 days) has the most frequent occurrence of dust storms. In most stations, there was a significant relationship between the frequency of dust storms and the variables of average wind speed and maximum wind speed. The highest correlation coefficient of the mean wind speed was related to the station of the Chabahar Konarak with correlation coefficient of 0.710 and Iranshahr station with a correlation coefficient of 0.65, showed the highest correlation with maximum wind speed. The maximum temperature variable at Qom station with a correlation coefficient of 0.398 shows a significant and positive relationship. Iranshahr station has a correlation coefficient of -0.620 with a mean temperature and Minab station has a correlation coefficient of -0.446 with maximum temperature. The results of temperature correlation with the frequency of dust storms indicate that ground low pressure is effective in creating the phenomena in the warm course of the year. Most stations have inverse correlation with precipitation. The highest correlation coefficients between precipitation and dust events were observed at -0.208 and -0.185 at east of Isfahan and Torbat Heidariyeh stations, respectively. Multivariate regression modelling between dust and climatic variables in summer also shows that the most important parameter in dust events are average wind speed, maximum wind speed and average temperature. Regression models show that, at the best condition, climate variables explain only 70% of the variation of dust frequency.

Keywords: Dust storm, Climatic, Correlation Coefficients, Regression Multivariate

1. Watershed Management Department, Natural Resources Collage, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

*: Corresponding Author, Email: mrsghorbani67@gmail.com