

مدل‌سازی رابطه طوفان‌های گردوغبار با متغیرهای حدی و متوسط دما در نیمه غربی کشور

مسعود پورغلام آمیچی^۱، محمد انصاری قوجقار^۲، شهاب عراقی نژاد^۳، ایمان بابائیان^{۴*}

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج.

۲- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج.

۳- استادیار پژوهشکده اقلیم‌شناسی، سازمان هواشناسی کشور، مشهد.

چکیده

افزایش وقوع طوفان‌های گردوغبار در چند سال اخیر در غرب و جنوب غرب ایران، اهمیت پیش‌بینی و ارتباط این پدیده با نوسانات اقلیمی را دوچندان کرده است. هدف از این پژوهش، بررسی شدت همبستگی و مدل‌سازی رابطه فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار (FDSD) با متغیرهای حدی و متوسط دما در نیمه غربی کشور می‌باشد. بدین منظور از داده‌های ساعتی گردوغبار و کدهای سازمان جهانی هواشناسی و همچنین داده‌های اقلیمی شامل دمای متوسط، دمای بیشینه و دمای کمینه در مقیاس ماهانه با طول دوره آماری ۲۵ ساله (۲۰۱۴-۱۹۹۰) در ۲۶ ایستگاه سینوپتیک واقع در نیمه غربی کشور استفاده شد. برای ارتباط‌سنجی فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار با متغیرهای حدی و متوسط دما از ضرایب همبستگی پیرسون و اسپیرمن و همچنین روش رگرسیون خطی چندمتغیره در نرم‌افزار SPSS استفاده شد. به منظور تحلیل همبستگی، نقشه پهنه‌بندی ضرایب با روش IDW در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. نتایج نشان داد که بالاترین ضریب همبستگی با شاخص FDSD مربوط به متغیر دمای بیشینه در ایستگاه آبادان با مقدار ۰/۸۷۵ و دمای کمینه در ایستگاه اهواز با مقدار ۰/۸۹۳ بود. همچنین با افزایش شاخص FDSD، مقادیر ضریب همبستگی افزایش یافت؛ به نحوی که در ایستگاه‌های آبادان و اهواز که به ترتیب با ۴۰۱ و ۳۲۱ روز در بازه زمانی ۲۵ ساله، رکورددار بیشترین تعداد روزهای همراه با طوفان گردوغبار بودند، بالاترین ضرایب همبستگی بین متغیرهای حدی و متوسط دما با شاخص FDSD مشاهده شد. مدل‌سازی رگرسیون چند متغیره بین گردوغبار و پارامترهای مختلف دما در نیمه غربی کشور نیز نشان داد که تأثیر متغیرهای حدی دما در وقایع گردوغبار بیشتر از دمای متوسط است. مدل‌های رگرسیونی نیز نشان می‌دهند که در بهترین حالت، متغیرهای حدی دما در آبادان ۸۱/۲ درصد و در بندرماهشهر ۷۹/۳ درصد از تغییرات شاخص FDSD را تبیین می‌کنند.

کلید واژه‌ها: نواحی بحرانی، شاخص FDSD، ضریب همبستگی، نرم‌افزار ArcGIS، رگرسیون خطی چند متغیره.

مقدمه

در بین متغیرهای اقلیمی، دما از اهمیت بسزایی برخوردار بوده و شبیه‌سازی دقیق دما و ارتباط آن با گردوغبار در مطالعات هواشناسی و کشاورزی از اهمیت زیادی برخوردار است. با این وجود شبیه‌سازی دما به دلیل وجود همبستگی درونی بین آن مشکل است (Tanarhte et al., 2012). نتایج علمی مشابهی توسط Hahnenberger and Nicoll (2014) و Herweijer et al. (2007) که نشان دادند با افزایش دما، فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار نیز افزایش می‌یابد، گزارش شده است. همچنین نتایج این تحقیق در ارتباط با همبستگی پارامترهای اقلیمی با طوفان‌های گردوغبار با نتایج مطالعات Xu et al. (2006) و Amgalan et al. (2017) که افزایش دما، افزایش سرعت باد و کاهش بارندگی را از مهم‌ترین دلایل افزایش رخداد پدیده گردوغبار معرفی کرده‌اند، همسو است.

در پژوهشی قربانی و مدرس (۱۳۹۸) به مدل‌سازی رابطه فراوانی طوفان‌های گردوغبار با متغیرهای اقلیمی فصل تابستان در مناطق بیابانی ایران پرداختند. بدین منظور، داده‌های ۲۵ ایستگاه هواشناسی قسمت مرکزی و شرق ایران با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون و روش رگرسیون خطی چندمتغیره مورد پردازش قرار گرفت. نتایج نشان داد که ایستگاه کنارک چابهار با ضریب $0/710$ و ایستگاه ایرانشهر با ضریب همبستگی $0/655$ بیشترین همبستگی را با سرعت بیشینه باد داشتند. متغیر بیشینه دما در ایستگاه قم با ضریب همبستگی $0/389$ یک رابطه معنی‌دار و مثبت را نشان داد و ایستگاه ایرانشهر با ضریب همبستگی $-0/620$ با میانگین دما و میناب با ضریب همبستگی $-0/461$ با بیشینه دما، همبستگی معکوس داشت. مدل‌سازی رگرسیون چندمتغیره بین گردوغبار و متغیرهای اقلیمی در فصل تابستان نیز نشان داد که مهم‌ترین پارامتر تأثیرگذار در وقایع گردوغبار میانگین سرعت باد، سرعت بیشینه باد و میانگین دما هستند. در مطالعه دیگری نیز به تحلیل آماری اقلیمی رابطه اقلیم و پدیده گردوغبار شهر ماهشهر در دوره آماری (۲۰۰۵-۱۹۸۶) پرداخته شد. به این منظور از متغیرهای اقلیمی رطوبت نسبی، حداقل 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

ذرات ریز گردوغبار تحت تأثیر عوامل گوناگونی از جمله شرایط جوی، مشخصات سطح زمین و ویژگی‌های خاک وارد جو می‌شوند (Karegar et al., 2017). همچنین منابع انتشار ذرات گردوغبار به دو دسته طبیعی و انسانی تقسیم می‌شوند که گردوغبار بیشتر از منابع طبیعی آن واقع در نواحی بیابانی، در شرایط ناپایدار و خشک توأم با باد رخ می‌دهد (Alizadeh-Choozari et al., 2014). حجم فراوان ذرات گردوغبار حمل شده به تروپوسفر، بیلان انرژی را هم تحت تأثیر قرار داده و در پی آن شرایط آب‌وهوایی ناحیه مورد نظر نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Kim et al., 2017). این ذرات بر روی شرایط جوی، تولیدات کشاورزی و سلامت انسان و اکوسیستم اثر می‌گذارد (Hahnenberger and Nicoll, 2014). به‌طورکلی سیکل جهانی گردوغبار شامل سه مرحله فیزیکی جدایش ذرات گردوغبار از منطقه منبع، انتقال ذرات در اتمسفر و ترکیب این ذرات در محل رسوب می‌باشد که هرکدام از این فرآیندها قادر به تغییر در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی گردوغبار می‌باشند (Uzan et al., 2018).

وقوع خشک‌سالی در یک منطقه با تأمین آب در آن منطقه رابطه تنگاتنگی دارد و هر چه اقلیم منطقه خشک‌تر باشد، احتمال وقوع خشکی و خشک‌سالی بیشتر شده و رخداد پدیده گردوغبار محتمل‌تر است (شاکر سوره و اسدی، ۱۳۹۸؛ انصاری قوجقار و همکاران، ۱۳۹۹). پدیده گردوغبار یکی از مخاطره‌های طبیعی است و سالانه خسارت‌های زیادی را در غرب، جنوب غرب و جنوب شرق کشور ایجاد می‌کند. گردوغبار یکی از منابع آلوده‌کننده هوای پاک و عاری از آلودگی بوده و علت افزایش طوفان‌های گردوغبار در ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی کشور و نزدیکی با کشورهای همچون عربستان، عراق و سوریه که دارای سطح وسیعی بیابان به دلیل عامل‌های مختلفی مانند کمبود پوشش گیاهی، بارش اندک و دمای بالا هستند، می‌باشد (عبدالشاه نژاد و همکاران، ۱۳۹۹؛ عراقی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۷؛ فتوحی فیروزآباد و مالکی‌نژاد، ۱۳۹۹؛ پورغلام آمیچی و همکاران، ۱۳۹۸).

۳۷ ایستگاه سینوپتیک کشور با طول دوره آماری ۲۵ ساله (۲۰۱۴-۱۹۹۰) پرداختند. نتایج آزمون من-کندال نشان داد که از ۳۷ ایستگاه هواشناسی مورد بررسی، شش ایستگاه اردبیل، بیرجند، مشهد، سبزوار، یزد و سمنان دارای روند نزولی، پنج ایستگاه دارای روند افزایشی معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد و ۲۱ ایستگاه از کل ۳۷ ایستگاه موجود، دارای روند افزایشی معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد بودند. نتیجه آزمون سنس استیمیتور نشان داد که شش ایستگاهی که در روش من-کندال دارای روند نزولی بودند، در این روش روندی نداشته و به ترتیب ۱۱، ۱۰ و ۱۰ ایستگاه دارای روند افزایشی، افزایشی معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد و افزایشی معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد بودند.

شناخت و بررسی روند طوفان‌های گردوغبار در کشور و میزان ارتباط آن با نوسانات اقلیمی یکی از مهم‌ترین راهکارهای کاهش خسارت ناشی از این پدیده است زیرا می‌تواند علاوه بر مشخص نمودن سهم هر یک از متغیرهای اقلیمی در تشدید این وضعیت، در اولویت‌ها و سیاست‌های کلان مدیریتی و قوانین بالادستی جهت جلوگیری و کنترل گردوغبار نقش بسزایی داشته باشد. از آنجایی که در مدل‌های موجود، منطقه غرب آسیا کمتر مورد توجه قرار گرفته است، ارائه مدل منطقه‌ای که قادر به پیش‌بینی و مدل‌سازی مکانی-زمانی طوفان گردوغبار باشد، برای سیستم‌های اخطاردهنده ضروری است. در مطالعات و پژوهش‌های داخلی تحقیقات بسیار محدودی در ارتباط با پیش‌بینی و تأثیرپذیری فراوانی روزهای همراه با طوفان‌های گردوغبار از نوسانات اقلیمی و همچنین تحلیل روند گردوغبار در کل کشور صورت گرفته است. بیشتر مطالعات داخلی مربوط به روند پدیده‌ی گردوغبار در محدوده‌های کوچک، مطالعات سینوپتیکی و ماهواره‌ای آن می‌باشد. از طرف دیگر با توجه به اینکه این پدیده اثرات نامطلوب و پیامدهای منفی در زمینه‌های اجتماعی، اقتصادی و سلامت مردم داشته است، مطالعه آن ضروری است. هدف از این پژوهش، مطالعه رابطه بین فراوانی روزهای همراه با گردوغبار با متغیرهای اقلیمی دماهای حدی (حداقل و حداکثر) و متوسط در نیمه غربی کشور و تعیین موثرترین متغیرهای دمایی در ایستگاه‌های تحت بررسی است. مزیت

مربوط به متغیر باد با ۹۵ درصد و همبستگی معکوس با متغیرهای رطوبت و بارش مشاهده شد (شجاعی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲).

بر اساس داده‌های طوفان گردوغبار شن و ماسه و داده‌های هواشناسی در ۱۲ ایستگاه هواشناسی واقع در اطراف منطقه تکلیمکان در شمال غرب چین، روند تعداد روزهای گردوغبار از سال ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۵ و همچنین همبستگی آن‌ها با متغیرهای دما، بارش، سرعت باد و تعداد روزهای با سرعت متوسط باد (کمتر و مساوی پنج متر بر ثانیه) بررسی شد. سپس بیان شد که وقوع رخداد گردوغبار در منطقه تکلیمکان با گذشت زمان کاهش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که بین تعداد روزهای همراه با گردوغبار و سرعت باد و تعداد روزهای با سرعت متوسط باد پنج متر بر ثانیه، رابطه مثبت و قوی برقرار بود. همچنین باران از عوامل تأثیرگذار بر رخداد گردوغبار بوده و بین بارش و رخداد گردوغبار همبستگی منفی معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد وجود داشت. دما نیز با روزهای همراه گردوغبار همبستگی منفی داشت که در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار شد (Xiao et al., 2008).

در تحقیقی با تحلیل آماررابطه بین وقایع طوفان گردوغبار و متغیرهای هواشناسی (حداقل سرعت باد، بارش، دما و رطوبت نسبی) ایستگاه‌های سینوپتیک شمال چین، در دوره آماری ۱۹۹۸-۱۹۸۸ نتیجه گرفته شد 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 داشته و بارش ماهانه تأثیر نیرومندی بر برخاستن گردوغبار در ماه‌های ژانویه و فوریه داشت (Fengmei and Chongyi, 2010). همچنین Wang et al. (2006) با بررسی ویژگی‌های گردوغبار و شناسایی منابع آن در نواحی خشک و نیمه-خشک چین مشخص کردند که بیابان‌های وسیع عربستان و صحرای شمال آفریقا متأثر از 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.

در پژوهشی عراقی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی تأثیر نوسانات اقلیمی بر فراوانی طوفان‌های گردوغبار در ایران در

اساس دستورالعمل سازمان جهانی هواشناسی در ۱۰۰ کد (۹۹-۰۰) تعریف شده که از این ۱۰۰ کد به‌طور کلی به‌منظور ثبت و گزارش پدیده گردوغبار در ایستگاه‌های مختلف هواشناسی از ۱۱ کد استفاده می‌شود (O'Loingsigh et al., 2014). کدهای مربوط به گردوغبار در جدول (۱) ارائه شده است. با توجه به اینکه داده‌های گردوغبار به‌صورت تفکیک نشده از سایر پدیده‌های هواشناسی از سازمان هواشناسی در اختیار قرار می‌گیرد، بنابراین در وهله اول کدهای مربوط به گردوغبار از سایر پدیده‌های اقلیمی در ساعات مختلف هم‌مدیدی جدا شد (Goudie and Middleton, 2006). بر اساس تعریف سازمان جهانی هواشناسی روزهای همراه با طوفان‌های گردوغبار به روزی گفته می‌شود که حداقل در یکی از هشت سینوپ (گزارش‌های سه‌ساعته دیدبانی)، یکی از کدهای مربوط به گردوغبار (۰۶، ۰۷، ۰۸، ۰۹، ۳۰ تا ۳۵ و ۹۸) در بخش هوای حاضر گزارش شده باشد. البته به شرط اینکه داده‌های دید افقی متناظر با آن کد گردوغبار کمتر از ۱۰۰۰ متر به ثبت رسیده باشد (محمدی، ۱۳۹۴).

مهم این مطالعه استخراج روزهای همراه با گردوغبار بر مبنای کدها و دستورالعمل سازمان جهانی هواشناسی (WMO) است، مسئله‌ای که در اکثر مطالعات گردوغبار از آن غفلت شده است و بر صحت نتایج مطالعه تاثیر خواهد داشت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

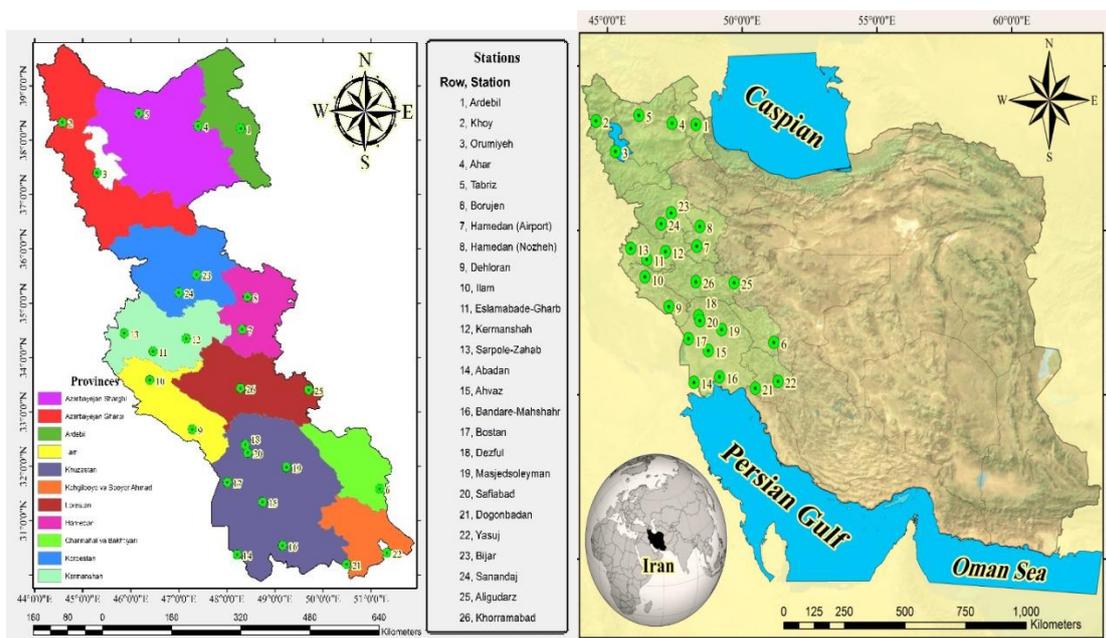
در این پژوهش به بررسی مدل‌سازی رابطه طوفان‌های گردوغبار با متغیرهای حدی و متوسط دما در نیمه غربی کشور (شامل ۲۶ ایستگاه سینوپتیک واقع در ۱۱ استان) با جمعیت آماری بلندمدت ۲۵ ساله (۲۰۱۴-۱۹۹۰) پرداخته شد. بدین منظور از داده‌های ساعتی دید افقی، کدهای سازمان جهانی هواشناسی، متغیرهای حدی شامل دمای بیشینه و دمای کمینه و همچنین دمای متوسط در مقیاس ماهانه استفاده شد. مشاهدات پدیده‌های هواشناسی به فاصله سه ساعت یک‌بار و در مجموع هشت بار در شبانه‌روز ثبت می‌شود. در این مشاهدات، پدیده‌های بصری آب و هوا بر

جدول ۱- کدهای سازمان جهانی هواشناسی مرتبط با پدیده‌های گردوغبار (O'Loingsigh et al., 2014)

کد	توضیحات
۰۶	رخداد طوفان گردوخاک گسترده در خارج از ایستگاه هواشناسی
۰۷	خاک یا شن برخاسته از زمین در محدوده ایستگاه هواشناسی
۰۸	مشاهده گردباد در محدوده ایستگاه هواشناسی یا خارج از آن در زمان دیدبانی یا طی ساعت گذشته
۰۹	طوفان شن یا خاک در زمان دیدبانی در خارج از ایستگاه یا طی ساعت گذشته در محدوده ایستگاه هواشناسی
۳۰	طوفان خفیف یا متوسط شن یا خاک با روند کاهشی طی ساعت گذشته و با سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه یا بیشتر، همراه با کاهش میدان دید به کمتر از ۱۰۰۰ متر اما بیشتر از ۲۰۰ متر
۳۱	طوفان خفیف یا متوسط شن یا خاک بی تغییر شدت طی ساعت گذشته و با سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه یا بیشتر و کاهش میدان دید به کمتر از ۱۰۰۰ ولی بیش از ۲۰۰ متر
۳۲	طوفان خفیف یا متوسط شن یا خاک با افزایش شدت طی ساعت گذشته و با سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه یا بیشتر همراه با کاهش میدان دید کمتر از ۱۰۰۰ متر اما بیشتر از ۲۰۰ متر
۳۳	طوفان شدید شن یا خاک همراه با روند کاهشی طی ساعت گذشته و با سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه یا بیشتر و کاهش دید کمتر از ۲۰۰ متر
۳۴	طوفان شدید شن یا خاک بی تغییر شدت طی ساعت گذشته و با سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه یا بیشتر همراه با کاهش دید به کمتر از ۲۰۰ متر
۳۵	طوفان شدید شن یا خاک با افزایش شدت طی ساعت گذشته و با سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه یا بیشتر و کاهش دید به کمتر از ۲۰۰ متر
۹۸	رعدوبرق بدون بارش همراه با طوفان شن یا خاک (هوب)

روزهای همراه با طوفان گردوغبار (FDSD) پدیده‌ای گسسته است لذا در این پژوهش برای بررسی همبستگی بین متغیرهای حدی و متوسط دما با شاخص FDSD، علاوه بر استفاده از روش همبستگی خطی پیرسون، از روش غیرخطی اسپیرمن نیز استفاده شد و نقشه ضرایب همبستگی به روش معکوس فاصله وزنی (IDW) در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در نیمه غربی کشور را نشان می‌دهد.

تشخیص طوفان‌های گردوخاک در این مطالعه مقید به دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر بوده است. پس از بررسی و کنترل کیفی آمار ایستگاه‌ها و رفع نواقص آماری، همگنی داده‌ها با استفاده از آزمون Run Test ارزیابی و تصادفی بودن داده‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد پذیرفته شد. اغلب برای ارتباط‌سنجی پدیده‌های بصری آب و هوایی از روابط غیرخطی استفاده می‌کنند که روش همبستگی اسپیرمن یکی از روابط غیرخطی برای تحلیل پدیده‌های اقلیمی است (Araghinejad, 2013). با توجه به اینکه متغیر فراوانی



شکل ۱- معرفی ایستگاه‌های مورد مطالعه در پژوهش حاضر

$$t = \frac{\rho \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-\rho^2}} \quad (2)$$

آزمون همبستگی پیرسون

کارل پیرسون یکی از افرادی بود که نحوه محاسبه همبستگی را به صورت فرمول بیان کرد و این روش زمانی کاربرد دارد که مقیاس اندازه‌گیری داده‌ها، فاصله‌ای و یا نسبی باشند و می‌توان طبق فرمول زیر ضریب همبستگی را محاسبه نمود (Pearson, 1897).

$$r_{xy} = \frac{n \sum xy - \sum x \cdot \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} = \frac{COV(x,y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (3)$$

در صورت فرمول، کوواریانس X و Y می‌باشد که با صورت شیب خط رگرسیون برابر است و در مخرج آن دو انحراف

آزمون ضریب همبستگی اسپیرمن

این ضریب در اوایل دهه ۱۹۰۰ توسط چارلز اسپیرمن ابداع گردید. ضریب همبستگی اسپیرمن که آن را با ρ نمایش می‌دهند همواره بین +۱ و -۱ در نوسان است و از لحاظ سطح سنجش نیز ترتیبی و از نوع مقارن می‌باشد (Chok, 2010).

$$\rho = 1 - \frac{6(\sum d_i^2)}{n(n^2 - 1)} \quad (1)$$

که در آن ρ ضریب همبستگی اسپیرمن، n تعداد مشاهده‌ها و $\sum d_i^2$ مجموع مجذور تفاوت دو رتبه است. برای آزمون ضریب همبستگی اسپیرمن از آماره t استفاده شده که بعد از مقایسه آن با t جدول با درجه آزادی $n-2$ در سطح معنی‌داری معین، تصمیم‌گیری انجام می‌شود (Seiler and Seiler, 1989).

نتایج و بحث

فراوانی تعداد روزهای همراه با طوفان گردوغبار

بعد از انتخاب ایستگاه‌ها و بررسی داده‌ها در بازه زمانی ۲۵ ساله (۲۰۱۴-۱۹۹۰)، تعداد روزهای همراه با طوفان گردوغبار (FDSO) برای ۲۶ ایستگاه هواشناسی مورد مطالعه در نیمه غربی کشور با استفاده از داده‌های دید افقی و کدهای سازمان جهانی هواشناسی محاسبه و در جدول (۲) نشان داده شده است. ضمن اینکه ایستگاه هواشناسی در استان مربوطه، تعداد روزهای گردوغباری به ترتیب نزولی، متوسط شاخص FDSO در مقیاس فصلی و میانگین ماهانه متغیرهای حدی و متوسط دما قابل مشاهده است. همان‌طور که مشخص است، ایستگاه‌های آبادان، اهواز و بستان هر سه از استان خوزستان رکورددار بیشترین روزهای همراه با طوفان گردوغباری ثبت شده‌اند. مقدار عددی آن برای ایستگاه‌های آبادان، اهواز و بستان به ترتیب ۴۰۱، ۳۲۱ و ۲۸۲ روز در بازه زمانی ۲۵ ساله به دست آمد. استان‌هایی که حداقل تعداد روزهای همراه با طوفان گردوغبار را داشتند، در قسمت پایین جدول (۲) قابل مشاهده هستند. ایستگاه همدان (فرودگاه) در استان همدان، بروجن از استان چهارمحال و بختیاری و خوی از استان آذربایجان غربی به ترتیب با ۸، ۷ و ۲ روز، کمترین فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار را به خود اختصاص دادند. بر اساس این توضیحات به صورت جغرافیایی می‌توان بیان کرد که هرچه از مناطق مرزی غرب و جنوب غرب به سمت مرکز و شمال غرب کشور حرکت شود، از فراوانی تعداد روزهای گردوغباری کاسته می‌شود زیرا ایستگاه‌هایی که در نقاط غربی و جنوب غربی کشور واقع شده‌اند، در مسیر ورودی طوفان‌هایی با منشأ عراق و عربستان هستند؛ در حالی که ایستگاه‌های مرکزی و شمال غربی کشور فاصله بیشتری از این دو کشور همسایه دارند. بنابراین می‌توان گفت که طوفان‌های گردوغبار از مناطق غربی به سمت مرکز و شمال غرب کشور منشأ محلی پیدا می‌کنند (عراقی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۷؛ انصاری قوجقار و همکاران، ۱۳۹۹). همچنین با توجه به میانگین متغیرهای حدی و متوسط دما، می‌توان گفت که تعداد روزهای گردوغباری در نیمه غربی کشور رابطه‌ای مستقیم با متغیرهای حدی و متوسط دما دارد.

معیار X و Y در هم ضرب شده است. ضریب همبستگی در فاصله -1 تا 0 و از 0 تا $+1$ ($-1 \leq r_{xy} \leq +1$) تغییر می‌کند بنابراین علامت ضریب همبستگی جهت و مقدار آن، شدت ضریب همبستگی را نشان می‌دهد.

رگرسیون خطی چندمتغیره

میزان تغییر یک متغیر به ازای متغیر (های) دیگر را ضریب (های) رگرسیون می‌گویند و به عبارت دیگر، میزان تغییری در متغیر وابسته که بر اثر یک واحد تغییر در متغیر مستقل بروز می‌کند. در این روش یک معادله چند متغیری استفاده می‌شود که با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده، رابطه بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل در یک فرمول خلاصه می‌شود. ضرایب معادله برای هر متغیر، بر اساس اهمیت آن در پیش‌بینی متغیرها ملاک محاسبه و تعیین می‌شود. درجه همبستگی بین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده به وسیله ضرایب، نشان داده می‌شود. برای تعیین رگرسیون در این پژوهش، از رابطه زیر استفاده شده است:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \epsilon \quad (4)$$

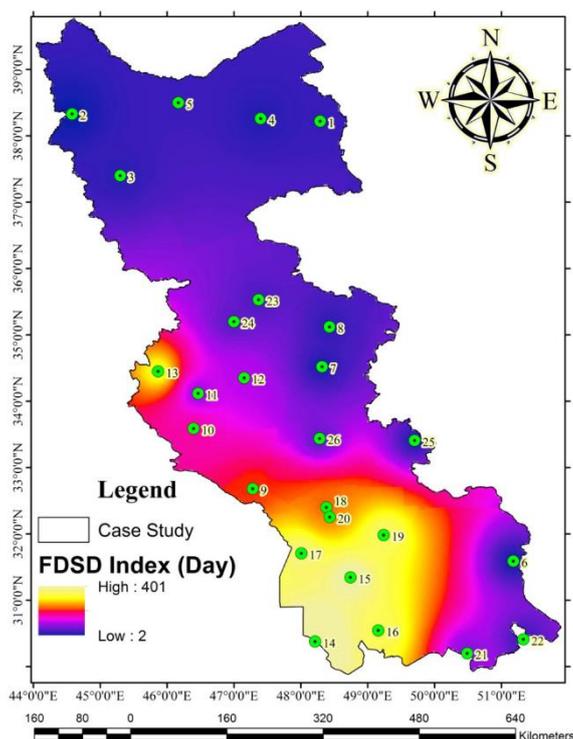
که در آن Y متغیر وابسته، β_0 ضریب ثابت، ϵ میزان خطا و X_1, X_2, \dots, X_n متغیرهای مورد استفاده در مدل‌های به کار گرفته شده در این پژوهش هستند (پورغلام آمیجی و همکاران، ۱۳۹۸). پس از اینکه ارتباط بین دو متغیر بررسی شد، تعیین این ارتباط به شکل یک مدل مفید خواهد بود زیرا می‌توان از آن به عنوان ابزار پیش‌بینی استفاده کرد. به منظور مدل‌سازی رابطه شاخص FDSO با متغیرهای حدی و متوسط دما، داده‌ها با روش رگرسیون خطی چندمتغیره در محیط نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بدین منظور روش‌های مختلف رگرسیون خطی چندمتغیره بررسی شد که در برخی ایستگاه‌ها روش گام به گام و در برخی دیگر روش پس‌رو 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. در این مطالعه، مقادیر مشاهداتی فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار به عنوان متغیر وابسته و داده‌های دمای متوسط و متغیرهای حدی دما به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند.

جدول ۲- میانگین ماهانه متغیرهای حدی و متوسط دما و میانگین فصلی شاخص FDSM در ایستگاه‌های مورد مطالعه (۱۹۹۰-۲۰۱۴)

ردیف	ایستگاه	استان	شاخص FDSM (روز)	متوسط شاخص FDSM (روز)	متوسط دما (°C)	بیشینه دما (°C)	کمینه دما (°C)
۱	آبادان	خوزستان	۴۰۱	۴/۰۱	۲۵/۹	۴۳/۲	۹/۷
۲	اهواز	خوزستان	۳۲۱	۳/۲۱	۲۶/۱	۴۲/۹	۱۰/۳
۳	بستان	خوزستان	۲۸۲	۲/۸۲	۲۴/۸	۴۲/۶	۷/۱
۴	مسجدسلیمان	خوزستان	۲۶۸	۲/۶۸	۲۵/۵	۴۱/۵	۱۰/۳
۵	بندر ماهشهر	خوزستان	۲۵۹	۲/۵۹	۲۷	۴۲/۶	۹/۴
۶	سرپل ذهاب	کرمانشاه	۲۴۱	۲/۴۱	۲۰/۲	۳۸/۵	۳/۱
۷	صفی‌آباد	خوزستان	۱۸۹	۱/۸۹	۲۴/۴	۴۱/۸	۷/۳
۸	دزفول	خوزستان	۱۶۸	۱/۶۸	۲۴/۷	۴۲/۱	۷/۶
۹	دهلران	ایلام	۱۵۶	۱/۵۶	۲۶/۹	۴۲/۳	۱۰/۱
۱۰	ایلام	ایلام	۱۲۳	۱/۲۳	۱۶/۹	۳۲/۳	۱/۲
۱۱	کرمانشاه	کرمانشاه	۸۱	۰/۸۱	۱۵/۶	۳۳/۹	-۳/۱
۱۲	اسلام‌آباد غرب	کرمانشاه	۷۲	۰/۷۲	۱۴	۳۲/۵	-۵/۱
۱۳	دوگنبدان	کهگیلویه و بویر احمد	۵۷	۰/۵۷	۲۳/۳	۳۹/۳	۶/۶
۱۴	خرم‌آباد	لرستان	۳۹	۰/۳۹	۱۶/۸	۳۴/۸	-۰/۲
۱۵	سندج	کردستان	۳۵	۰/۳۵	۱۴	۳۲/۷	-۴/۲
۱۶	بیجار	کردستان	۲۸	۰/۲۸	۱۱/۷	۲۷/۸	-۵/۶
۱۷	یاسوج	کهگیلویه و بویر احمد	۲۳	۰/۲۳	۱۴/۹	۳۱/۴	-۰/۹
۱۸	تبریز	آذربایجان شرقی	۲۰	۰/۲۰	۱۳	۳۰/۱	-۲/۹
۱۹	اردبیل	اردبیل	۱۷	۰/۱۷	۹/۱	۲۸/۸	-۱۰/۱
۲۰	همدان (نوژه)	همدان	۱۴	۰/۱۴	۱۱/۵	۳۰/۶	-۸/۹
۲۱	ارومیه	آذربایجان غربی	۱۳	۰/۱۳	۱۱/۴	۲۸/۶	-۴/۴
۲۲	الیگودرز	لرستان	۱۱	۰/۱۱	۱۳	۲۸/۸	-۴/۸
۲۳	اهر	آذربایجان شرقی	۱۰	۰/۱۰	۱۰/۸	۲۸/۷	-۶/۳
۲۴	همدان (فرودگاه)	همدان	۸	۰/۰۸	۱۱/۸	۳۰/۲	-۷/۷
۲۵	بروجن	چهارمحال و بختیاری	۷	۰/۰۷	۱۲/۴	۲۷/۶	-۸/۳
۲۶	خوی	آذربایجان غربی	۲	۰/۰۲	۱۲/۶	۳۰/۵	-۵/۴

تالاب‌های منطقه جستجو کرد. نتایج این قسمت با مطالعات عراقی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۷)، زینالی (۱۳۹۵)، یارمرادی و همکاران (۱۳۹۷) و Cao et al. (2014) همخوانی دارد. در شکل (۲) مقدار شاخص FDSM برای ایستگاه‌های مورد مطالعه، قابل مشاهده است.

با توجه به جدول (۲)، بیشترین فراوانی شاخص FDSM مربوط به ایستگاه‌هایی با بیشترین مقدار دما است؛ به نحوی که میانگین دمای متوسط، بیشینه و کمینه در ایستگاه آبادان به ترتیب با ۲۵/۹، ۴۳/۲ و ۹/۷ و همچنین در ایستگاه اهواز به ترتیب با ۲۶/۱، ۴۲/۹ و ۱۰/۳ درجه سلسیوس، بالاترین مقادیر عددی در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد. افزایش دما باعث کاهش رطوبت خاک و در نتیجه کاهش چسبندگی ذرات خاک و افزایش فرسایش‌پذیری خاک می‌شود. علت این افزایش دما و خشکی منطقه را می‌توان در مواردی همچون گرمایش جهانی، بیابان‌زایی و خشک‌شدن



شکل ۲- پهنه‌بندی شاخص FDSI در ایستگاه‌های مورد مطالعه

غرب، کرمانشاه، سرپل ذهاب، آبادان، اهواز، بندرماهشهر، بستان و صفی‌آباد در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار شده‌اند. مطابق آنچه که بیان شد، در تمامی ۲۶ ایستگاه مورد مطالعه، بین دمای کمینه و فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار نیز همبستگی مثبتی وجود دارد اما این همبستگی در بعضی ایستگاه‌ها شاخص‌تر بوده و در ایستگاه‌های دهلران، ایلام، کرمانشاه، صفی‌آباد و سنندج در سطح اطمینان ۹۵ درصد و همین‌طور در ایستگاه‌های همدان (فرودگاه)، اسلام‌آباد غرب، آبادان، اهواز بندرماهشهر و بستان در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار شد. ضمن اینکه بالاترین ضریب همبستگی اسپیرمن بین پارامترهای مختلف دما و فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار (FDSI) مربوط به متغیر دمای بیشینه است که در ایستگاه‌های اهواز، آبادان، بستان و بندرماهشهر به ترتیب با ضرایب همبستگی ۰/۵۹، ۰/۵۷، ۰/۵۳ و ۰/۵۱ به ثبت رسیده است. نتایج این تحقیق در ارتباط با همبستگی دما با طوفان‌های گردوغبار با نتایج مطالعات انصاری قوجقار و عراقی‌نژاد (۱۳۹۶)، Xu et al. (2006) و Amgalan et al. (2017) که افزایش دما را یکی از مهم‌ترین دلایل افزایش رخداد پدیده گردوغبار معرفی کرده‌اند، همسو است.

ضریب همبستگی

مقدار همبستگی بین متغیرهای حدی و متوسط دما با تعداد روزهای همراه با طوفان گردوغبار (شاخص FDSI) در جدول (۳) آورده شده است. نتایج همبستگی در نیمه غربی کشور نشان می‌دهد که در بیشتر ایستگاه‌های واقع در غرب و جنوب غرب کشور، بین شاخص FDSI و متغیرهای حدی و متوسط دما ارتباطی قوی و مؤثر وجود دارد. نتایج آزمون اسپیرمن برای داده‌های طوفان گردوغبار در جدول (۳) نشان‌دهنده این موضوع است که بین دمای متوسط و وقوع پدیده گردوغبار به جز ایستگاه خوی، در تمامی ۲۵ ایستگاه باقیمانده همبستگی مثبت وجود دارد. این همبستگی برای ایستگاه‌های سرپل ذهاب، آبادان، اهواز، بستان و دزفول در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار شده است. طبق آزمون همبستگی اسپیرمن، رابطه بین متغیرهای حدی دما و شاخص FDSI در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه مثبت بوده است؛ به نحوی که در مورد همبستگی دمای بیشینه و فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار، ایستگاه‌های دهلران، ایلام، دزفول، مسجدسلیمان، دوگنبدان، بیجار و سنندج در سطح اطمینان ۹۵ درصد و ایستگاه‌های اسلام‌آباد

جدول ۳- نتایج همبستگی شاخص FSDS با متغیرهای حدی و متوسط دما در مقیاس ماهانه (۲۰۱۴-۱۹۹۰)

ردیف	ایستگاه	همبستگی اسپیرمن			همبستگی پیرسون		
		دمای متوسط	دمای بیشینه	دمای کمینه	دمای متوسط	دمای بیشینه	دمای کمینه
۱	اردبیل	۰/۰۰۷	۰/۰۱۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۰۱۷	۰/۰۱۳
۲	خوی	-۰/۰۰۵	۰/۰۴۰	۰/۰۹۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳
۳	ارومیه	۰/۱۲۰	۰/۲۸۰	۰/۲۳۰	۰/۰۰۹	۰/۱۲۵	۰/۱۱۴
۴	اهر	۰/۰۰۹	۰/۱۹۰	۰/۲۱۰	۰/۱۱۵	۰/۱۴۳	۰/۱۲۷
۵	تبریز	۰/۰۱۰	۰/۱۵۰	۰/۱۲۰	۰/۱۲۹	۰/۱۸۲	۰/۱۴۷
۶	بروجن	۰/۰۵۰	۰/۰۰۸	۰/۱۷۰	۰/۱۰۶	۰/۱۱۳	۰/۱۱۸
۷	همدان (فرودگاه)	۰/۱۰۰	۰/۱۷۰	۰/۵۱۰**	۰/۱۳۸	۰/۱۷۱	۰/۳۴۱
۸	همدان (نوژه)	۰/۱۳۰	۰/۲۳۰	۰/۲۱۰	۰/۰۰۹	۰/۱۴۲	۰/۱۲۴
۹	دهلران	۰/۲۰۰	۰/۳۲۰*	۰/۳۷۰*	۰/۱۸۷	۰/۲۷۲	۰/۲۱۵
۱۰	ایلام	۰/۲۷۰	۰/۳۱۰*	۰/۳۴۰*	۰/۳۱۳	۰/۵۱۲*	۰/۵۱۹*
۱۱	اسلام‌آباد غرب	۰/۰۷۰	۰/۴۳۰**	۰/۴۱۰**	۰/۲۷۴	۰/۶۶۲*	۰/۵۹۸*
۱۲	کرمانشاه	۰/۲۱۰	۰/۴۴۰**	۰/۳۹۰*	۰/۲۸۵	۰/۵۹۲*	۰/۵۴۳*
۱۳	سرپل ذهاب	۰/۳۱۰*	۰/۴۹۰**	۰/۲۷۰	۰/۵۷۶*	۰/۷۱۳*	۰/۶۴۹*
۱۴	آبادان	۰/۳۳۰*	۰/۵۷۰**	۰/۴۱۰**	۰/۶۲۱*	۰/۸۷۵**	۰/۸۲۷**
۱۵	اهواز	۰/۳۰۰*	۰/۵۹۰**	۰/۵۰۰**	۰/۷۱۴*	۰/۸۵۹**	۰/۸۹۳**
۱۶	بندرماهشهر	۰/۲۳۰	۰/۵۱۰**	۰/۴۲۰**	۰/۶۹۹*	۰/۸۸۳**	۰/۷۸۸**
۱۷	بستان	۰/۳۴۰*	۰/۵۳۰**	۰/۴۸۰**	۰/۶۴۷*	۰/۸۱۲**	۰/۷۹۴**
۱۸	دزفول	۰/۳۹۰*	۰/۳۷۰*	۰/۲۸۰	۰/۷۱۲*	۰/۸۲۲**	۰/۷۷۲**
۱۹	مسجدسلیمان	۰/۱۹۰	۰/۳۲۰*	۰/۲۴۰	۰/۵۹۳*	۰/۷۸۲**	۰/۷۶۳**
۲۰	صفی‌آباد	۰/۱۱۰	۰/۴۱۰**	۰/۳۳۰*	۰/۵۴۱*	۰/۷۶۱**	۰/۷۵۳**
۲۱	دوگنبدان	۰/۰۸۰	۰/۳۲۰*	۰/۲۷۰	۰/۲۷۱	۰/۶۴۱*	۰/۶۱۱*
۲۲	یاسوج	۰/۱۱۰	۰/۲۷۰	۰/۲۳۰	۰/۳۳۲	۰/۵۶۵*	۰/۵۱۷*
۲۳	بیجار	۰/۱۲۰	۰/۳۱۰*	۰/۲۸۰	۰/۲۷۱	۰/۵۹۲*	۰/۵۳۲*
۲۴	سنندج	۰/۱۱۰	۰/۳۷۰*	۰/۳۱۰*	۰/۱۸۵	۰/۶۲۱*	۰/۶۱۹*
۲۵	الیگودرز	۰/۰۹۰	۰/۲۴۰	۰/۱۱۰	۰/۱۷۶	۰/۵۰۳*	۰/۵۰۱*
۲۶	خرم‌آباد	۰/۰۷۰	۰/۲۷۰	۰/۱۳۰	۰/۲۱۲	۰/۵۷۱*	۰/۵۳۴*

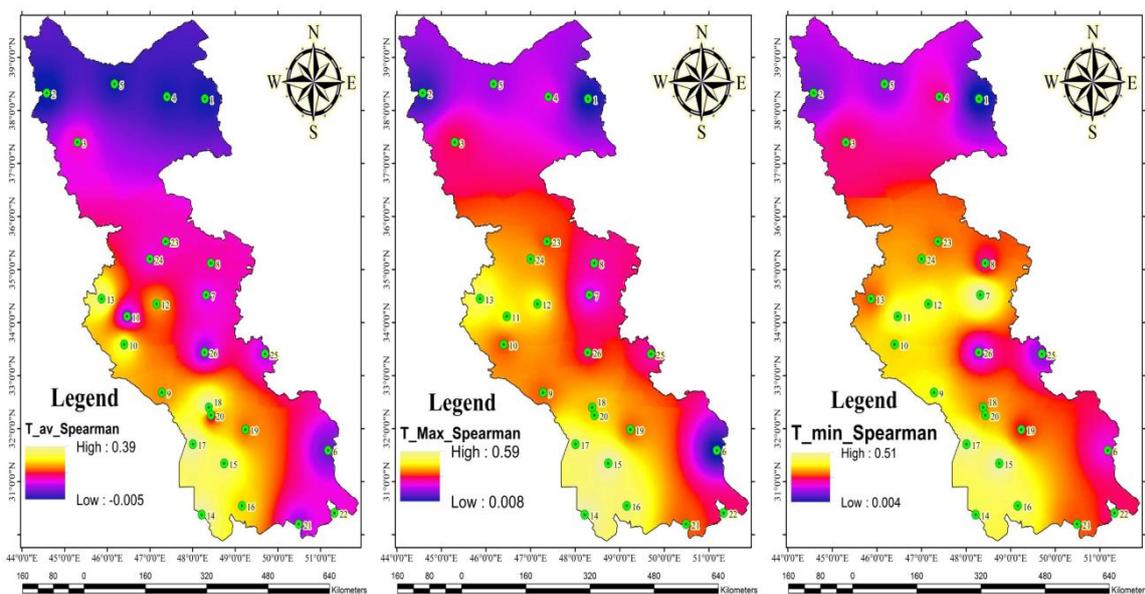
** روند معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد و * روند معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد

کمینه با شاخص FSDS مشابه هم بوده و در ایستگاه‌های ایلام، اسلام‌آباد غرب، کرمانشاه، سرپل ذهاب، دوگنبدان، یاسوج، بیجار، سنندج، الیگودرز و خرم‌آباد در سطح اطمینان ۹۵ درصد و در ایستگاه‌های استان خوزستان (آبادان، اهواز، بندرماهشهر، بستان، دزفول، مسجدسلیمان و صفی‌آباد) در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار شد. بالاترین ضریب همبستگی پیرسون بین پارامترهای دما و فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار مربوط به متغیرهای دمای کمینه و

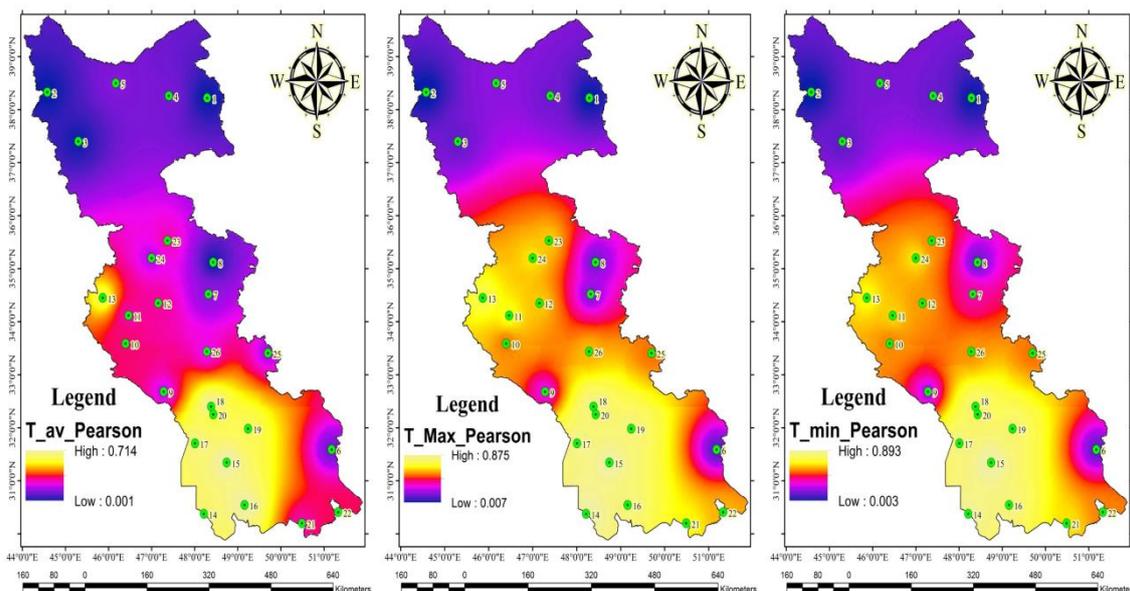
با توجه به جدول (۳)، نتایج همبستگی پیرسون نشان می‌دهد که بین تمامی متغیرهای حدی و متوسط دما با شاخص FSDS، رابطه‌ای مستقیم و مثبت برقرار است؛ به نحوی که همبستگی دمای متوسط و فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار در ایستگاه‌های سرپل ذهاب، آبادان، اهواز، بندرماهشهر، بستان، دزفول، مسجدسلیمان و صفی‌آباد در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار شده است. طبق رابطه خطی پیرسون، همبستگی بین متغیرهای دمای بیشینه و

است که در هر دو روش همبستگی اسپیرمن و پیرسون، دمای متوسط در هیچ یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار نشد و این در حالی است که متغیرهای دمای بیشینه و کمینه در روش همبستگی اسپیرمن به ترتیب ۸ و ۶ بار و در روش همبستگی خطی پیرسون هر یک ۷ بار در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار شده‌اند. این موضوع حاکی از تأثیرپذیری بیشتر فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار از متغیرهای حدی دما نسبت به متغیر دمای متوسط در ایستگاه‌های مورد مطالعه است. نتایج این بخش با مطالعات انصاری قوجقار و عراقی-نژاد (۱۳۹۶)، قربانی و مدرس (۱۳۹۸)، عراقی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۷) و یارمرادی و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت دارد. شکل‌های (۳) و (۴) به ترتیب نقشه‌های ضریب همبستگی اسپیرمن و پیرسون را برای ارتباط‌سنجی بین متغیرهای حدی و متوسط دما با شاخص FDSND نشان می‌دهند.

بیشینه است که به ترتیب در ایستگاه‌های اهواز و آبادان با ضریب همبستگی ۰/۸۹۳ و ۰/۸۷۵ به ثبت رسید. با توجه به جدول (۳)، می‌توان دریافت که ضرایب آزمون همبستگی اسپیرمن و خطی پیرسون به منظور ارتباط‌سنجی متغیرهای حدی و متوسط دما با شاخص FDSND، با افزایش تعداد روزهای همراه با طوفان گردوغبار رابطه مستقیمی دارد؛ بدین معنی که با افزایش فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار، مقادیر ضرایب همبستگی بهبود می‌یابند به طوری که در ایستگاه‌های آبادان و اهواز که به ترتیب با مقادیر ۴/۰۱ و ۳/۲۱ روز، بیشترین مقدار شاخص FDSND را در مقیاس فصلی به خود اختصاص داده بودند، بالاترین ضرایب همبستگی (طبق آزمون اسپیرمن) بین متغیرهای حدی و متوسط دما با فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار مشاهده می‌شود. نتیجه دیگری که از جدول (۳) قابل استنتاج است، همبستگی بیشتر و معنی‌دار اثر متغیرهای حدی دما نسبت به متغیر دمای متوسط با شاخص FDSND



شکل ۳- نقشه ضریب همبستگی اسپیرمن برای ارتباط‌سنجی بین متغیرهای حدی و متوسط دما با شاخص FDSND که T-min-Spearman بیانگر ضریب همبستگی اسپیرمن برای دمای کمینه، T-max-Spearman ضریب همبستگی اسپیرمن برای دمای بیشینه و T-av-Spearman ضریب همبستگی اسپیرمن برای دمای متوسط بوده و High و Low به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار این ضریب را نشان می‌دهد.



شکل ۴- نقشه ضریب همبستگی پیرسون برای ارتباط‌سنجی بین متغیرهای حدی و متوسط دما با شاخص FSDS که T-min-Pearson بیانگر ضریب همبستگی پیرسون برای دمای کمینه، T-max-Pearson ضریب همبستگی پیرسون برای دمای بیشینه و T-av-Pearson ضریب همبستگی پیرسون برای دمای متوسط بوده و High و Low به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار این ضریب را نشان می‌دهد.

ارومیه، اهر، تبریز، بروجن و همدان (نورژه))، این مدل‌ها ارتباط خوبی را بین وقایع گردوغبار و متغیرهای واردشده در مدل نشان نمی‌دهند. مدل‌سازی رگرسیون چندمتغیره بین فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار و پارامترهای دما در نیمه غربی کشور نیز نشان می‌دهد که مهمترین پارامترهای تأثیرگذار از میان متغیرهای واردشده در مدل، متغیرهای حدی دما (دمای بیشینه و کمینه) هستند. لازم به ذکر است که متغیر دمای متوسط نیز می‌تواند تأثیر مهمی در افزایش وقایع گردوغبار داشته باشد اما در مقایسه با متغیرهای حدی دما، تأثیر آن به مراتب کمتر است. علت این موضوع را می‌توان در زمان وقوع طوفان‌های گردوغبار در سینوپ‌های هشت‌گانه جستجو کرد؛ به نحوی که اکثر طوفان‌های گردوغبار در زمان‌هایی حادث می‌شوند که متغیرهای حدی دما نیز در همان زمان رخ داده باشد. نتایج علمی مشابهی توسط Hahnenberger and Nicoll, (2017) Amgalan et al. (2014), Herweijer et al. (2007) و Uzan et al. (2018) گزارش شده که نشان دادند تأثیرپذیری وقوع طوفان‌های گردوغبار از متغیرهای حدی دما نسبت به متغیر دمای متوسط به مراتب بیشتر است.

مدل‌سازی رگرسیون چندمتغیره

برای مدل‌سازی رگرسیونی وقایع گردوغبار، فراوانی روزهای همراه با طوفان گرد و غبار (FSDS) به عنوان متغیر وابسته و متغیرهای متوسط دمای ماهانه (X_1), دمای بیشینه (X_2) و دمای کمینه (X_3) به عنوان متغیرهای مستقل برای مدل‌سازی استفاده شد. جدول (۴)، مدل‌های به‌دست‌آمده برای ۲۶ ایستگاه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج این جدول، مقدار R^2 نشان‌دهنده این موضوع است که چه مقدار از متغیر وابسته می‌تواند توسط متغیرهای مستقل تبیین شود. بیشترین مقدار R^2 در ایستگاه‌های آبادان (۰/۸۱۲)، بندرماشهر (۰/۷۹۳)، اهواز (۰/۷۹۱)، بستان (۰/۷۸۴) و دزفول (۰/۷۸۲) مشاهده می‌شود. با توجه به مقدار R^2 در ایستگاه‌های مورد مطالعه، مدل‌های رگرسیونی در ایستگاه‌های آبادان، بندرماشهر، اهواز، بستان و دزفول که همگی در استان خوزستان واقع شده‌اند، بالاترین رابطه را بین فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار و متغیرهای حدی و متوسط دما نشان می‌دهند که در بهترین حالت پارامترهای مختلف دما، ۸۱/۲ درصد از تغییرات شاخص FSDS را تبیین می‌کنند. همچنین در ایستگاه‌های واقع در شمال غرب کشور (اردبیل، خوی،

جدول ۴- مدل‌سازی رگرسیون چندمتغیره بین شاخص FSDS و متغیرهای حدی و متوسط دما در مقیاس ماهانه (۲۰۱۴-۱۹۹۰)

ایستگاه	مدل رگرسیون خطی چندمتغیره	R ²	P-Value	متغیرهای اقلیمی ورودی به مدل
اردبیل	$Y = -51.113 + 2.121 X_2 + 0.785 X_3$	۰/۰۳۷	۰/۷۹۲	مدل رگرسیون چندمتغیره، معنی‌دار نشد.
خوی	$Y = -57.117 + 0.672 X_1 + 113 X_2 + 1.143 X_3$	۰/۰۴۹	۰/۸۵۷	مدل رگرسیون چندمتغیره، معنی‌دار نشد.
ارومیه	$Y = -32.477 + 0.132 X_1 + 0.756 X_3$	۰/۰۲۱	۰/۹۲۴	مدل رگرسیون چندمتغیره، معنی‌دار نشد.
اهر	$Y = -49.574 + 0.735 X_2$	۰/۰۱۷	۰/۸۷۷	مدل رگرسیون چندمتغیره، معنی‌دار نشد.
تبریز	$Y = 76.925 + 1.235 X_2 + 0.755 X_3$	۰/۰۳۳	۰/۷۹۳	مدل رگرسیون چندمتغیره، معنی‌دار نشد.
بروجن	$Y = -2.425 + 2.115 X_1 + 0.443 X_3$	۰/۰۴۲	۰/۹۵۶	مدل رگرسیون چندمتغیره، معنی‌دار نشد.
همدان (فرودگاه)	$Y = -37.541 + 3.115 X_3$	۰/۳۵۲	۰/۰۷۲	دمای کمینه
همدان (نوزه)	$Y = 59.541 + 0.731 X_1 + 0.247 X_3$	۰/۰۲۲	۰/۸۵۴	مدل رگرسیون چندمتغیره، معنی‌دار نشد
دهلران	$Y = -79.122 + 4.210 X_2 + 3.752 X_3$	۰/۶۴۱	۰/۰۵۷	دمای بیشینه و دمای کمینه
ایلام	$Y = -125.315 + 5.721 X_2 + 4.947 X_3$	۰/۶۱۲	۰/۰۶۵	دمای بیشینه و دمای کمینه
اسلام‌آباد غرب	$Y = -114.721 + 6.113 X_2 + 5.114 X_3$	۰/۳۵۷	۰/۰۷۲	دمای بیشینه و دمای کمینه
کرمانشاه	$Y = 95.421 + 7.119 X_2 + 6.123 X_3$	۰/۶۰۷	۰/۰۶۳	دمای بیشینه و دمای کمینه
سرپل ذهاب	$Y = -150.496 + 6.125 X_1 + 11.124 X_2 + 9.744 X_3$	۰/۶۳۷	۰/۰۵۹	دمای متوسط، دمای بیشینه و دمای کمینه
آبادان	$Y = -142.235 + 7.443 X_1 + 13.921 X_2 + 10.119 X_3$	۰/۸۱۲	۰/۰۰۰	دمای متوسط، دمای بیشینه و دمای کمینه
اهواز	$Y = -73.117 + 7.112 X_1 + 12.948 X_2 + 9.721 X_3$	۰/۷۹۱	۰/۰۰۰	دمای متوسط، دمای بیشینه و دمای کمینه
بندرماهشهر	$Y = -100.129 + 7.103 X_1 + 12.327 X_2 + 8.997 X_3$	۰/۷۹۳	۰/۰۰۰	دمای متوسط، دمای بیشینه و دمای کمینه
بستان	$Y = -78.125 + 6.931 X_1 + 11.241 X_2 + 7.783 X_3$	۰/۷۸۴	۰/۰۰۰	دمای متوسط، دمای بیشینه و دمای کمینه
دزفول	$Y = -102.321 + 5.873 X_1 + 11.293 X_2 + 8.271 X_3$	۰/۷۸۲	۰/۰۰۰	دمای متوسط، دمای بیشینه و دمای کمینه
مسجدسلیمان	$Y = -83.111 + 4.921 X_1 + 8.959 X_2 + 7.121 X_3$	۰/۷۵۱	۰/۰۰۰	دمای متوسط، دمای بیشینه و دمای کمینه
صفی‌آباد	$Y = -67.128 + 5.676 X_1 + 8.593 X_2 + 6.777 X_3$	۰/۷۸۱	۰/۰۰۰	دمای متوسط، دمای بیشینه و دمای کمینه
دوگنبدان	$Y = 80.143 + 5.256 X_2 + 4.783 X_3$	۰/۳۴۶	۰/۰۷۵	دمای بیشینه و دمای کمینه
یاسوج	$Y = 100.128 + 5.942 X_2 + 3.737 X_3$	۰/۲۹۶	۰/۰۸۷	دمای بیشینه و دمای کمینه
بیجار	$Y = 37.424 + 4.323 X_2 + 3.197 X_3$	۰/۵۹۱	۰/۰۶۹	دمای بیشینه و دمای کمینه
سنندج	$Y = -73.114 + 5.121 X_2 + 3.927 X_3$	۰/۶۶۳	۰/۰۵۵	دمای بیشینه و دمای کمینه
الیگودرز	$Y = 103.441 + 4.272 X_2 + 2.928 X_3$	۰/۳۵۹	۰/۰۷۳	دمای بیشینه و دمای کمینه
خرم‌آباد	$Y = 34.178 + 5.196 X_2 + 4.243 X_3$	۰/۶۶۳	۰/۰۵۵	دمای بیشینه و دمای کمینه

نتیجه‌گیری

و ۳۲۱ روز در بازه زمانی ۲۵ ساله (۲۰۱۴-۱۹۹۰)، رکورد بیشترین تعداد روزهای همراه با طوفان گردوغبار را به خود اختصاص داده بودند، بالاترین ضریب همبستگی بین متغیرهای حدی و متوسط دما با شاخص FSDS مشاهده شد. نتایج نشان داد که بالاترین همبستگی بین فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار و پارامترهای دما، مربوط به متغیر حدی دما است. متغیرهای حدی دما به عنوان یک عامل مهم و تأثیرگذار در شکل‌گیری طوفان‌های گردوغبار شناخته می‌شوند زیرا افزایش مقادیر پارامترهای حدی دما منجر به افزایش بیش از حد تبخیر از سطح خاک و سستی

هدف از این پژوهش، بررسی شدت همبستگی و مدل‌سازی رابطه فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار با متغیرهای حدی و متوسط دما در ۲۶ ایستگاه سینوپتیک واقع در نیمه غربی کشور بود. نتایج آزمون همبستگی اسپیرمن و پیرسون که به منظور ارتباط‌سنجی متغیرهای حدی و متوسط دما با شاخص FSDS به کار گرفته شده بود، نشان داد که با افزایش فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار، مقادیر ضریب‌های همبستگی بهبود یافتند؛ به طوری که در ایستگاه‌های آبادان و اهواز که به ترتیب با ۴۰۱

3. Amgalan, G., Liu, G. R., Kuo, T. H., & Tang-Huang, L. (2017). Correlation between dust events in Mongolia and surface wind and precipitation. *TAO: Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 28(1), 2.
 4. Amgalan, G., Liu, G. R., Lin, T. H., & Kuo, T. H. (2017). Correlation between dust events in Mongolia and surface wind and precipitation, *Terr. Journal of Atmospheric & Ocean Science*, 28(1), 23-32.
 5. Ansari Ghojghar, M. & Araghinejad, Sh. (2017). Investigating the Reaction of Temperature extremes Variables of against the Frequency of Days with Dust Storms (Case Study: Lorestan Province), 5th International Congress of Civil Engineering, Architecture and Urban Development, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, 26-29 December.
 6. Ansari Ghojghar, M., Pourgholam-Amiji, M., Bazrafshan, J., Liaghat, A., & Araghinejad, Sh. (2020). Performance Evaluation of Statistical, Fuzzy and Perceptron Neural Network Models in Forecasting Dust Storms in Critical Regions in Iran. *Iranian Journal of Soil and Water Research (Articles in Press)*.
 7. Araghinejad, S. (2013). Data-driven modeling: using MATLAB® in water resources and environmental engineering (Vol. 67). Springer Science & Business Media.
 8. Araghinejad, Sh., Ansari Ghojghar, M., Pourgholam-Amiji, M., Liaghat, A., & Bazrafshan, J. (2019). The Effect of Climate Fluctuation on Frequency of Dust Storms in Iran. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 7(21), 13-32.
 9. Cao, R., Jiang, W., Yuan, L., Wang, W., Lv, Z., & Chen, Z. (2014). Inter-annual variations in vegetation and their response to climatic factors in the upper catchments of the Yellow River from 2000 to 2010. *Journal of Geographical Sciences*, 24(6), 963-979.
 10. Chok, N. S. (2010). Pearson's versus Spearman's and Kendall's correlation coefficients for continuous data (Doctoral dissertation, University of Pittsburgh).
 11. Fengmei, Y., & Chongyi, E. (2010). Correlation analysis between sand-dust events and meteorological factors in Shapotou, Northern China. *Environmental Earth Sciences*, 59(6), 1359-1365.
 12. Fotouhi Firoozabad, F. & Malekinejad, H. (2020). Analysis and Zonation of Maximum 24-Hour Rainfall of Iran Using Wakeby Distribution and Geostatistic Technique. *Desert Management*, 7(14), 75-92.
- بیشتر خاک می‌شوند که می‌تواند منبعی از ذرات را برای وقوع این‌گونه طوفان‌های گردوغبار فراهم کند. البته لازم به ذکر است که متغیر دمای متوسط نیز می‌تواند تأثیر مهمی در افزایش وقایع گردوغبار داشته باشد اما در مقایسه با متغیرهای حدی دما، تأثیر آن به مراتب کمتر است که علت آن را می‌توان در زمان وقوع طوفان‌های گردوغبار در سینوپ‌های هشت‌گانه جستجو کرد؛ به طوری که اکثر طوفان‌های گردوغبار در زمانی حادث شدند که متغیرهای حدی دما نیز در همان زمان‌ها رخ داده‌اند. با افزایش متغیرهای حدی و متوسط دما در نیمه غربی کشور، شرایط اقلیمی منطقه برای وزش بادهای شدید (به ویژه در مناطق مرزی استان خوزستان) مساعد می‌شود. این عوامل به همراه خشک‌بودن خاک و فقدان پوشش گیاهی، شرایط مناسبی را برای فرسایش بادی و وقوع طوفان‌های گردوغبار فراهم می‌کند. همچنین کم‌فشارهای سطح زمین در ایجاد پدیده‌های گردوغباری مؤثرند. تشکیل یک سیستم کم‌فشار در مناطق غربی کشور و اختلاف دمای شدید با مناطق اطراف، باعث ایجاد اختلاف فشار بین دو منطقه مذکور و ایجاد یک جریان گردوغباری به سمت این مناطق می‌شود. با توجه به افزایش شیب روند طوفان‌های گردوغبار در کشور، به ویژه در مناطق غربی و جنوب غربی، ایجاد مانع در برابر جریان باد از طریق روش‌های مکانیکی مانند فنس‌ها، و بادشکن‌ها و شخم‌های شیاری در اراضی شنی، تثبیت دریاچه‌های خشک، احیای تالاب‌های منطقه، کنترل دام و همچنین اصلاح مدیریت اراضی از اقدامات ضروری برای کاهش رخداد گردوغبار به شمار می‌رود.

منابع

1. Abdolshahnejad, M., Khosravi, H., Nazari Samani, A. A., Zehtabian, G. R. & Alambaigi, M. (2020). Determining the Conceptual Framework of Dust Risk Based on Evaluating Resilience (Case Study: Southwest of Iran). *Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 5(1), 33-44.
2. Alizadeh-Choozari, O., Sturman, A., & Zavar-Reza, P. (2014). A global satellite view of the seasonal distribution of mineral dust and its correlation with atmospheric circulation. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 68, 20-34.

24. Seiler, M. C., & Seiler, F. A. (1989). Numerical recipes in C: the art of scientific computing. *Risk Analysis*, 9(3), 415-416.
25. Shaker Sureh, F. & Asadi, E. (2019). Meteorological and hydrological drought communication in Salmas Plain. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 8(22), 89-100.
26. Shojaezadeh, K., Derijani, R. & Heidari, F. (2013). Investigating the Relationship between Climate and Dust Phenomena (Case Study: Mahshahr City), 2nd International Conference on Environmental Hazards, 29 October.
27. Tanarhte, M., Hadjinicolaou, P., & Lelieveld, J. (2012). Intercomparison of temperature and precipitation data sets based on observations in the Mediterranean and the Middle East. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117(D12).
28. Uzan, L., Egert, S., & Alpert, P. (2018). New insights into the vertical structure of the September 2015 dust storm employing eight ceilometers and auxiliary measurements over Israel. *Atmospheric Chemistry & Physics*, 18(5), 3203-3221.
29. Wang, X., Zhou, Z., & Dong, Z. (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.
30. Xiao, F., Zhou, C., & Liao, Y. (2008). Dust storms evolution in Taklimakan Desert and its correlation with climatic parameters. *Journal of Geographical Sciences*, 18(4), 415-424.
31. Xu, X., Levy, J. K., Zhaohui, L., & Hong, C. (2006). An investigation of sand-dust storm events and land surface characteristics in China using NOAA NDVI data. *Global and Planetary Change*, 52 (1-4), 182-196.
32. Xu, X., Levy, J. K., Zhaohui, L., & Hong, C. (2006). An investigation of sand-dust storm events and land surface characteristics in China using NOAA NDVI data. *Global and Planetary Change*, 52(1-4), 182-196.
33. Yarmoradi, Z., Nasiri, B., Mohammadi, Gh. H., & Karampour, M. (2018). Trend analysis of dusty day's frequency in Eastern parts of Iran associated with Climate Fluctuations. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 7(18), 1-14.
34. Zeinali, B. (2016). Investigation of frequency changes trend of days with dust storms in western half of Iran. *Journal of Natural Environment hazards*, 5(7), 100-87.
13. Ghorbani, S. & Moddress, R. (2019). Modelling the Relationship between the Frequency of Dust Storms and Climatic Variables in the Summer Time in Desert Areas of Iran. *Journal of Water and Soil Science*, 23(3), 125-140.
14. Goudie, A. S., & Middleton, N. J. (2006). *Desert dust in the global system*. Springer Science & Business Media.
15. Hahnenberger, M., & Nicoll, K. (2014). Geomorphic and land cover identification of dust sources in the eastern Great Basin of Utah, USA. *Geomorphology*, 204, 657-672.
16. Herweijer, C., Seager, R., Cook, E. R., & Emile-Geay, J. (2007). North American droughts of the last millennium from a gridded network of tree-ring data. *Journal of Climate*, 20(7), 1353-1376.
17. Karegar, M. E., Bodagh Jamali, J., Ranjbar Saadat Abadi, A., Moeenoddini, M. & Goshtasb, H. (2017). Simulation and Numerical Analysis of severe dust storms Iran East. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 3(4), 101-119.
18. Kim, D., Chin, M., Kemp, E. M., Tao, Z., Peters-Lidard, C. D., & Ginoux, P. (2017). Development of high-resolution dynamic dust source function-A case study with a strong dust storm in a regional model. *Atmospheric environment*, 159, 11-25.
19. Mehrabi, Sh., Soltani, S. & Jafari, R. 2015. Investigating the Relationship between Climatic Parameters and the Exposure of Greenhouses (Case Study: Khuzestan Province). *Journal of Water and Soil Science*, 19(71), 69-80.
20. Mohammadi, G. H., (2015). Analysis of Atmospheric Mechanisms in Dust Transport over West of Iran. Ph.D. thesis, Tabriz University, 142 pp.
21. O'Loingsigh, T., McTainsh, G. H., Tews, E. K., Strong, C. L., Leys, J. F., Shinkfield, P., & Tapper, N. J. (2014). The Dust Storm Index (DSI): a method for monitoring broadscale wind erosion using meteorological records. *Aeolian Research*, 12, 29-40.
22. Pearson, K. (1897). Mathematical contributions to the theory of evolution. on a form of spurious correlation which may arise when indices are used in the measurement of organs. *Proceedings of the royal society of London*, 60(359-367), 489-498.
23. Pourgholam-Amiji, M., Ansari Ghojghar, M., Khoshravesh, M. & Liaghat, A. (2020). Trends of Soil Salinity Changes and Its Relation to Climate Variables. *Water Management in Agriculture*, 6(2), 77-90.