

تحلیل روند فراوانی روزهای گردوغباری در نیمه شرقی ایران در ارتباط با نوسانات اقلیمی

زهرا یارمرادی^۱، بهروز نصیری^{۲*}، مصطفی کریمپور^۳، غلام حسن محمدی^۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۴

چکیده

افزایش فراوانی طوفان‌های گردوغبار نمادی از گسترش اکوسیستم بیابانی در هر منطقه است. بدین سبب تحقیق حاضر با هدف مطالعه روند فراوانی روزهای گردوغباری در ارتباط با نوسانات اقلیمی در نیمه شرقی ایران انجام شد. بدین منظور داده‌های تعداد روزهای گردوغباری، دما، بارش و باد ۳۱ ایستگاه هواشناسی گردآوری شده و نوع روند و آهنگ تغییرات توسط آماره‌های ناپارامتری من کندال و سنس استیمیتور محاسبه شد. برای بررسی تأثیرپذیری طوفان‌های گردوغبار از نوسانات اقلیمی، از همبستگی اسپیرمن استفاده شد. نتایج نشان داد فراوانی طوفان‌های گردوغبار در ایستگاه‌های جنوب شرقی همچون زابل، زهک، کنارک و زاهدان به ترتیب با میانگین ۱۶۵، ۱۴۹، ۱۴۲ و ۷۸ روز به‌طور چشمگیری بیشتر از مناطق میانی و شمالی است. نتایج آزمون من کندال روند افزایشی معنی‌دار در ایستگاه‌های زاهدان، ایرانشهر، طبس، گرمسار، چابهار، کاشمر و سرخس نشان داد در مقابل ۷ ایستگاه واقع در شمال منطقه، روند کاهشی معنی‌دار داشتند. نتایج همبستگی حاکی است فراوانی روزهای گردوغباری با بارش، دما و سرعت باد به ترتیب در ۹، ۱۰ و ۱۷ ایستگاه معنی‌دار است، اما با لحاظ داده‌های همه ایستگاه‌ها، ضریب همبستگی پارامترهای فوق‌الذکر با $-۰/۳۶$ ، $۰/۴۳$ و $۰/۷۳$ در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی‌دار است. نتایج این مطالعه می‌تواند در شناخت اثرات تغییرات اقلیمی در مناطق خشک شرق ایران و مهار بیابان‌زایی مفید باشد.

واژه‌های کلیدی: آزمون من کندال، پارامترهای اقلیمی، طوفان گردوغبار، شرق ایران، همبستگی اسپیرمن.

۱. دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، yarmoradi.za@fh.lu.ac.ir

۲. استادیار گروه اقلیم‌شناسی دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، نویسنده مسئول / Nasiri.b@lu.ac.ir

۳. استادیار گروه اقلیم‌شناسی دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، karampoor.m@lu.ac.ir

۴. کارشناس هواشناسی آذربایجان شرقی، تبریز، gh.mohammadi88@gmail.com

مقدمه

۲۰۱۳؛ گادی،^{۱۲} (۲۰۱۴). نیمه شرق کشور به دلیل وجود عرصه‌های بیابانی و بادهای منطقه‌ای، هرساله آسیب‌های زیادی از این مخاطره را تجربه می‌کند (احمدی و همکاران، ۲۰۱۵؛ حمزه و همکاران، ۲۰۱۶).

مطالعات متنوعی در راستای شناخت ابعاد مختلف پدیده گردوغبار در مناطق مختلف جهان شکل گرفته است. از جمله تحقیقاتی که توسط محققان خارجی و داخلی در زمینه گردوغبار صورت گرفته است، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

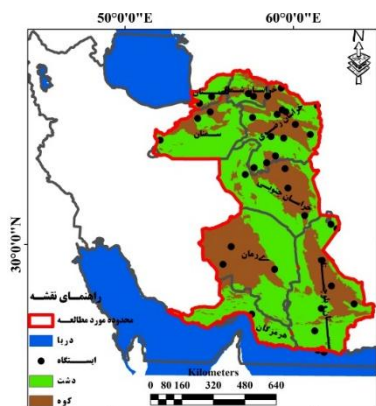
وانگ تیان مینگ^{۱۳} (۲۰۰۹) با بررسی ارتباط با گرمایش جهانی و تغییرات طوفان‌های گردوغباری چین، به این نتیجه رسید که گرمایش جهانی سبب کاهش شیب عرضی دما و در نتیجه کاهش شدت باد می‌شود. نتایج والدهاوسرووا^{۱۴} و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی طوفان‌های گردوغبار شمال شرق نشان داد که بیشترین فراوانی پدیده گردوغبار در دهه‌های ۱۹۵۰، ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ و در ماه‌های ژوئیه و سپتامبر است. کانگ^{۱۵} و همکاران (۲۰۱۶) با مطالعه روند طوفان‌های گردوغبار فلات تبت به این نتیجه دست یافتند که طوفان‌های گردوغبار از دهه ۱۹۷۰ روند کاهشی داشته و کاهش سرعت بادهای سطح زمین یک عامل مهم در کاهش وقوع گردوغبار در منطقه بوده است. زینالی (۲۰۱۶) و ساری صراف و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی روند طولانی‌مدت روزهای گردوغبار در غرب ایران به این نتیجه دست یافتند که فراوانی روزهای گردوغبار از شمال به جنوب و از شرق به غرب ایران افزایش یافته است. در ایران نیز علیجانی و رئیس‌پور (۲۰۱۱)، فرج‌زاده‌اصل و علیزاده (۲۰۱۱)، عزیز و همکاران (۲۰۱۲)، طاووسی و زهرایی (۲۰۱۴)، زنگنه (۲۰۱۴) و راشکی و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی طوفان‌های گردوغبار ایران به این نتیجه رسیده‌اند که بیشینه روزهای همراه با گردوغبار در ماه‌های مه، ژوئن و ژوئیه و در ساعات بعدازظهر به وقت محلی بوده است. با توجه به تغییرپذیری

طوفان گردوغبار از خطرات طبیعی است که هرساله تقریباً ۲۰۰۰ میلیون تن خاک به اتمسفر وارد می‌کند که ۷۵ درصد آن در زمین و ۲۵ درصد آن در اقیانوس‌ها ترسیب می‌شود (شائو^۱ و همکاران، ۲۰۱۱). این ذرات بر روی شرایط جوی، تولیدات کشاورزی، سلامت انسان و اکوسیستم تأثیر می‌گذارند (اخلاق و همکاران، ۲۰۱۲؛ هانبرگر^۲ و همکاران، ۲۰۱۴). بیشترین مقدار تولید این ذرات، حاصل منابع طبیعی و انسانی است (علیزاده چوباری و همکاران، ۲۰۱۴). وقوع این پدیده در مناطق خشک (می^۳ و همکاران، ۲۰۰۸) سبب افزایش ذرات معلق نسبت به آستانه مجاز شده (گرینسکی^۴ و همکاران، ۲۰۱۱؛ جانستون^۵ و همکاران، ۲۰۱۱) که از این راه بر اکوسیستم زمین و چرخه بیوژئوشیمیایی اثر قابل توجهی می‌گذارد (ماهالد^۶ و همکاران، ۲۰۰۳؛ لورنس و نف،^۷ ۲۰۰۹؛ هانزل^۸ و همکاران، ۲۰۱۰؛ والنزولا^۹ و همکاران، ۲۰۱۲).

بر اساس تعریف سازمان جهانی هواشناسی، شدت گردوغبار از نظر میدان دید افقی به چهار طبقه تقسیم می‌شود که عبارت‌اند از: گردوغبار ضعیف با میدان دید افقی بیشتر از ۱۰ کیلومتر، گردوغبار متوسط با میدان دید بین ۱ تا ۱۰ کیلومتر، طوفان شدید با میدان دید بین ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ متر و طوفان خیلی شدید با میدان دید کمتر از ۲۰۰ متر (تان^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۴). این پدیده در سال‌های اخیر توجه فزاینده‌ای را به خود معطوف داشته و همه‌ساله خسارات و تلفات فراوانی در تمام نقاط دنیا به وجود آورده است (می و همکاران، ۲۰۰۸؛ رضازاده و همکاران، ۲۰۱۳). ایران به علت قرار گرفتن در کمربند خشک و نیمه‌خشک در معرض سیستم‌های متعدد گردوغبار محلی و فرامنطقه‌ای است (راشکی^{۱۱} و همکاران،

1. Shao
2. Hahnenberger
3. Mie
4. Grineski
5. Johanston
6. Mahowald
7. Lawrence and Neff
8. Hansell
9. Valenzula
10. Tan
11. Rashki

12. Goudie
13. Wang Tianming
14. Waldhauserova
15. kang



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه به همراه پراکنندگی

ایستگاه‌های هواشناسی

Figure (1): The study with the distribution of weather station

مواد و روش‌ها

به منظور انجام تحقیق حاضر، از داده‌های ساعتی تعداد روزهای توأم با گردوغبار، کد پدیده، دید افقی، دما، بارش و سمت و سرعت باد برای ۳۱ ایستگاه هواشناسی شرق ایران با طول دوره آماری ۶۶ سال (۱۹۵۱ تا ۲۰۱۶) استفاده شد. طبق دستورالعمل سازمان هواشناسی جهانی روز همراه با گردوغبار به روزی گفته می‌شود که حداقل در یکی از ۸ سینوپ (گزارشات سه‌ساعته همدیدی) گزارش شده از ایستگاه هواشناسی، یکی از کدهای مربوط به گردوغبار (شامل کدهای ۰۶، ۰۷، ۳۰ تا ۳۵ و ۹۸) در بخش هوای حاضر گزارش شده باشد (محمدی، ۲۰۱۵). بنابراین در وهله اول کدهای فوق‌الذکر از سایر پدیده‌ها و کدهای هوای حاضر تفکیک و شمارش شدند (جدول ۱).

جدول (۱): کدهای هواشناسی مرتبط با پدیده گردوغبار و شرایط احراز آن‌ها (محمدی، ۲۰۱۵)

Table (1): Meteorological codes related to the phenomenon of dust and their conditions of obtaining (Mohammadi, 2015)

شرایط احراز	کد پدیده
گردوغبار فراگیر و گسترده معلق در هوا که به وسیله باد در ایستگاه یا نزدیکی آن بلند نشده است.	۰۶
گردوغبار یا شنی که در ساعت دیدبانی در اثر وزش باد در ایستگاه یا اطراف آن به هوا بلند شده باشد.	۰۷
طوفان ملایم یا متوسط گردوغبار یا شن که طی ساعت گذشته از شدت طوفان کاسته شده است.	۳۰
طوفان ملایم یا متوسط گردوغبار یا شن که طی ساعت گذشته شدت طوفان تغییری نکرده است.	۳۱
طوفان ملایم یا متوسط گردوغبار یا شن که طی ساعت گذشته بر شدت طوفان افزوده شده است.	۳۲
طوفان شدید گردوغبار یا شن که طی ساعت گذشته از شدت طوفان کاسته شده است.	۳۳
طوفان شدید گردوغبار یا شن که طی ساعت گذشته شدت طوفان تغییری نکرده است.	۳۴
طوفان شدید گردوغبار یا شن که طی ساعت گذشته بر شدت طوفان افزوده شده است.	۳۵
رعدوبرق توأم با طوفان گردوغبار	۹۸

شدید سالانه طوفان‌های گردوغبار، لازم است که تحقیقات بیشتری در دوره‌های زمانی طولانی‌تر برای تحلیل روند و شدت طوفان‌ها انجام شود. آنچه این پژوهش را از سایر تحقیقات علمی انجام شده در ایران متمایز می‌کند، مطالعه نوسانات و روند تغییرات فراوانی پدیده گردوغبار در ارتباط با نوسانات پارامترهای اقلیمی در شرق ایران با بهره‌گیری از کدهای هواشناسی و به‌کارگیری هم‌زمان آماره‌های من‌کنندال و سنس استیمیتور است. نتایج این مطالعه می‌تواند با مشخص ساختن مناطقی که روند افزایشی طوفان‌های گردوغباری دارند، به‌عنوان نواحی در معرض گسترش بیابان‌زایی، در جهت برنامه‌ریزی و تصمیمات مدیریتی جهت مهار بیابان‌زایی مؤثر واقع شود.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل استان‌های خراسان شمالی، خراسان رضوی، خراسان جنوبی، سمنان، گلستان، سیستان و بلوچستان، کرمان و هرمزگان است. این منطقه بین مدار جغرافیایی ۲۵ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۵۲ درجه تا ۶۳ درجه و ۴۵ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. شکل (۱) موقعیت محدوده مورد مطالعه را در کشور ایران نشان می‌دهد.

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 ۰/۰۹۵ پذیرفته شد. همچنین با توجه به اینکه خود همبستگی در سری‌های زمانی می‌تواند موجب بروز خطا در تشخیص روند گردد، وجود آن نیز بررسی شد که نتایج مؤید عدم این ساختار در سری‌های زمانی مورد مطالعه بود (حامید و رائو، ۱۹۹۸). سپس داده‌های مربوط به تعداد روزهای توأم با گردوغبار در مقیاس ماهانه تهیه شد. در مرحله بعد با جمع تعداد روزهای گردوغباری ماهانه در هر سال، فراوانی سالانه آن برای هر یک از ایستگاه‌ها محاسبه شد. با تکمیل داده‌های مذکور فرایندهای مربوط به میانگین‌گیری، بررسی پراکندگی مکانی و نوسانات زمانی فراوانی روزهای توأم با گردوغبار انجام شد. با توجه به ویژگی‌های منطقه، ایستگاه‌های زاهدان، بیرجند، مشهد، شاهرود، گرگان، چابهار، سبزوار، طبس و ایرانشهر به‌عنوان ایستگاه‌های مرجع انتخاب شدند. همچنین برای بررسی روند تغییرات فراوانی روزهای توأم با گردوغبار در منطقه مطالعاتی، از دو آماره ناپارامتری من‌کندال و سنس استیمیتور استفاده شد. روش من‌کندال توسط سازمان جهانی هواشناسی برای بررسی تصادفی بودن و روند سری زمانی داده‌های محیطی (یو^۱ و همکاران، ۲۰۰۲) پیشنهاد شده است. از این روش به‌طور گسترده برای تشخیص روند آزمون‌های ناپارامتریک استفاده می‌شود (گوهاکورتا^۲ و همکاران، ۲۰۱۰؛ اونوز و بیازیت، ۲۰۰۳). سپس برای محاسبه آهنگ تغییرات در مقیاس دهه از میانه^۴ محاسبه‌شده توسط آماره سنس استیمیتور (زینالی، ۲۰۱۶) استفاده گردید. اساس این روش بر محاسبه یک شیب میانه برای سری زمانی و قضاوت کردن در مورد معنی‌داری شیب به‌دست‌آمده در سطوح اعتماد مختلف استوار است (جرج^۵ و همکاران، ۲۰۰۹). مراحل کلی انجام این آزمون بدین شرح است:

محاسبه شیب بین هر جفت داده مشاهده‌ای با استفاده از

رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Q = \frac{X_t - X_s}{t - s} \quad (1)$$

که در آن X_t و X_s به ترتیب داده‌های مشاهده‌ای در زمان‌های t و s که t یک واحد زمانی بعد از زمان s است. با اعمال رابطه بالا برای هر جفت داده مشاهده‌ای، یک سری زمانی از شیب‌های محاسبه‌شده حاصل می‌شود که از محاسبه میانه این سری زمانی شیب خط روند (Qmed) به دست می‌آید که مقدار مثبت Qmed حاکی از روند صعودی و مقدار منفی آن دال بر روند نزولی می‌باشد (کاناروزو^۶ و همکاران، ۲۰۰۶).

بعد از اعمال روش‌های آماری فوق‌الذکر بر روی داده‌های گردوغبار، به‌منظور بررسی ارتباط پارامترهای اقلیمی (میانگین بارش، دما و سرعت باد در مقیاس سالانه) با میزان فراوانی طوفان‌های گردوغبار در منطقه مورد مطالعه از آزمون همبستگی اسپیرمن استفاده شد. ضریب همبستگی اسپیرمن بین +۱ و -۱ تغییر می‌کند (شانگ چوک^۷، ۲۰۱۰). مراحل محاسبه این آزمون به شرح زیر است:

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

که در آن، ρ ضریب همبستگی اسپیرمن، n تعداد مشاهده‌ها و $\sum d_i^2$ مجموع مجذور تفاوت دو رتبه است. در نهایت، از آماره t برای آزمون ضریب همبستگی اسپیرمن استفاده شد که نتایج آن بعد از مقایسه با t جدول و با درجه آزادی $n-2$ تصمیم‌گیری شد (پرس و توکولوسکی^۸، ۱۹۹۲).

نتایج

– نوسانات زمانی روزهای توأم با طوفان‌های گردوغبار

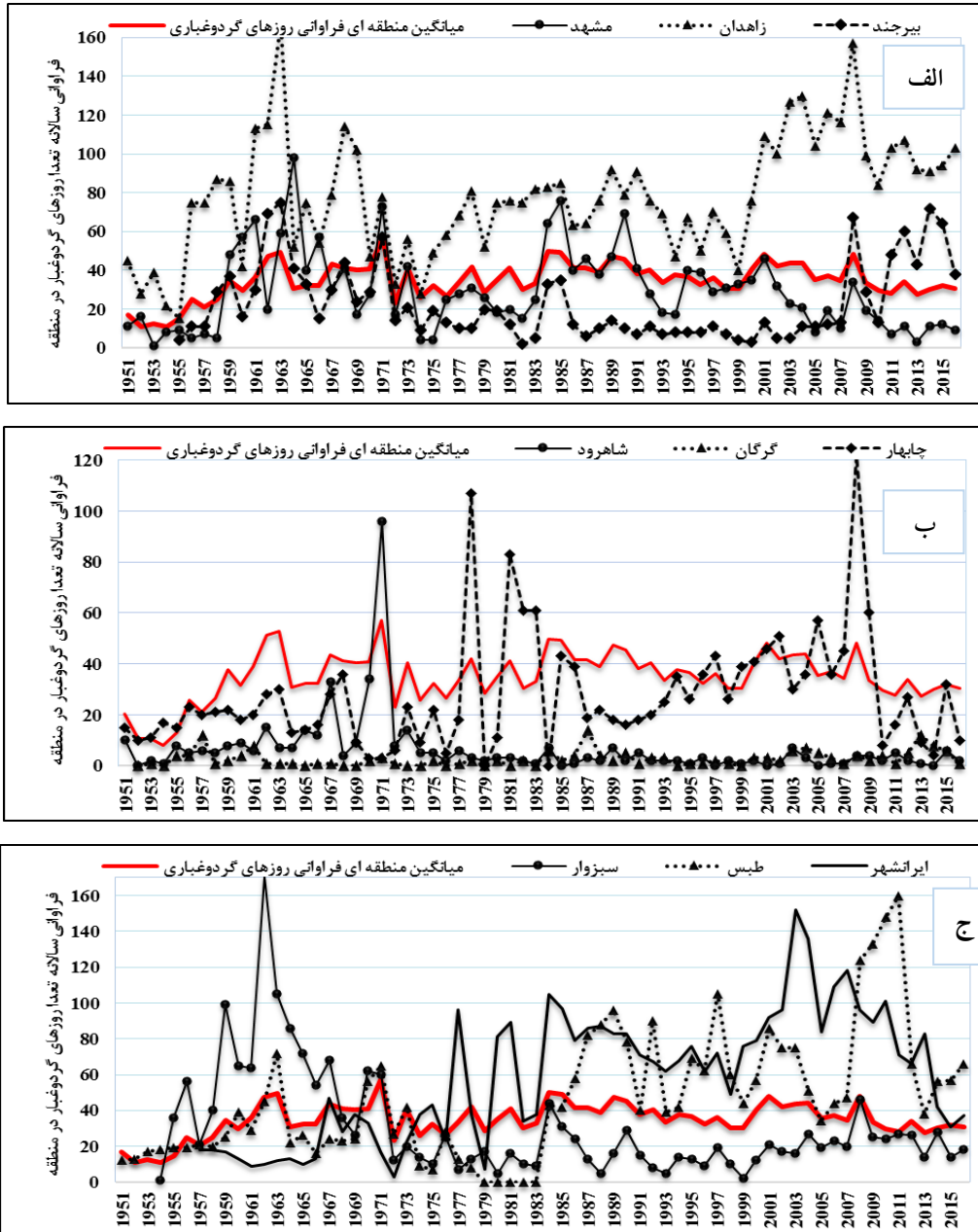
نتایج مربوط به توزیع فراوانی میانگین روزهای همراه با طوفان گردوغبار و تفاوت‌های منطقه‌ای آن در شکل (۲) آورده شده است. نتایج نشان داد سال ۱۹۷۱ با میانگین ۵۸ روز بیشترین فراوانی و سال ۱۹۵۴ با میانگین ۷ روز کمترین فراوانی را داشته است. علی‌رغم وجود تفاوت‌های چشمگیر منطقه‌ای، نوسانات سالانه میانگین روزهای همراه با

6. Cannarozzo
7. Shong Chok
8. Press & Teukolsky

1. Yue
2. Guhathakurta
3. Onoz & Bayazit
4. Qmed
5. Juraj

روزهای همراه با گردوغبار داشته‌اند؛ درحالی‌که ایستگاه‌های جنوب و جنوب شرقی (زاهدان، ایرانشهر و چابهار) با افزایش چشمگیری در فراوانی طوفان‌های گردوغباری مواجه بوده‌اند (شکل ۲ الف، ب و ج).

گردوغبار در شرق ایران مخصوصاً از سال ۱۹۶۰ چندان مشهود نبوده و اغلب حدود 40 ± 8 روز در سال باقی مانده است. طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۹ ایستگاه‌های واقع در شمال، شمال غرب و مرکز منطقه (گرگان، مشهد، بیرجند، سبزواری، شاهرود و طبس) یک دوره کاهشی در تعداد



شکل (۲) الف، ب و ج: نمودار نوسانات سالانه تعداد روزهای همراه با طوفان گردوغبار در نیمه شرق ایران به صورت میانگین منطقه‌ای به همراه ایستگاه‌های مرجع

Figure (2): Diagram of Annual dusty days in eastern part of Iran as a regional average along with reference stations

- تغییرات دهه به دهه تعداد روزهای همراه با طوفان گردوغبار

تغییرات دهه به دهه طوفان‌های گردوغبار به صورت میانگین منطقه‌ای و به تفکیک ایستگاه‌ها در جدول (۲) ارائه شده است. نتایج نشان داد طی دهه ۱۹۵۱ ابتدا تغییرات طوفان‌های گردوغبار در همه ایستگاه‌ها کاهش و سپس در دهه ۱۹۶۱

افزایشی، دهه ۱۹۷۱ کاهش، دهه ۱۹۸۱ افزایشی، دهه ۱۹۹۱ افزایشی و سپس از دهه ۲۰۰۰ به بعد، تغییرات طوفان‌ها در منطقه افزایشی بوده است. ملاحظه می‌شود که تعداد طوفان‌های گردوغبار در کل منطقه از ۲۳ طوفان در دهه ۱۹۵۱ به ۴۴ طوفان در دهه اخیر (۲۰۱۰ تا ۲۰۱۶) رسیده است.

جدول (۲): تغییرات دهه به دهه میانگین روزهای توأم با طوفان‌های گردوغبار در ایستگاه‌های منطقه مطالعاتی

Table (2): variation of Decades dusty days in stations area

نام ایستگاه	۱۹۶۰-۱۹۵۱	۱۹۷۰-۱۹۶۱	۱۹۸۰-۱۹۷۱	۱۹۹۰-۱۹۸۱	۲۰۰۰-۱۹۹۱	۲۰۱۰-۲۰۰۱	۲۰۱۶-۲۰۱۱
مشهد	۱۷	۴۵	۲۷	۴۴	۳۱	۲۳	۹
زاهدان	۸۳	۱۰۲	۵۸	۷۸	۶۵	۱۱۵	۱۳۴
زهمک	۱۱۴	۱۵۷	۱۱۰	۱۲۰	۱۴۰	۱۵۷	۱۵۹
شاهرود	۵	۱۶	۱۴	۳	۲	۲	۳
گرگان	۳	۱	۱	۴	۲	۴	۶
سبزوار	۴۵	۶۰	۱۸	۲۰	۱۱	۲۴	۲۴
بیرجند	۱۸	۳۲	۱۹	۱۴	۷	۱۸	۵۴
تربت حیدریه	۲۰	۱۹	۱۸	۱۳	۷	۵	۲۳
طبس	۳۹	۲۸	۲۰	۵۶	۶۱	۸۲	۸۳
زابل	۹۶	۱۴۹	۱۷۱	۱۹۲	۱۷۴	۱۸۳	۱۸۶
چابهار	۱۹	۲۶	۲۰	۳۶	۳۱	۴۹	۵۰
ایرانشهر	۱۵	۲۶	۳۷	۷۸	۶۸	۱۰۷	۱۱۰
بجنورد	۱۱	۴	۵	۱۶	۱۴	۱۶	۱۸
کنارک	۷۱	۹۳	۹۶	۱۲۱	۱۶۲	۱۸۱	۱۸۹
قوچان	۲	۳	۵	۳	۲	۲	۴
سرخس	۱۱	۱۹	۲۴	۳۶	۴۳	۴۸	۵۰
میناب	۲۰	۳۴	۲۶	۳۸	۱۶	۲۱	۱۹
فردوس	۵	۹	۱۱	۱۷	۱۲	۱۱	۲۲
گرمسار	۳	۳	۲	۱	۳	۴	۱۹
نهبندان	۸	۱۲	۱۷	۲۲	۲۲	۱۷	۴۱
کاشمر	۲	۳	۴	۵	۴	۷	۱۰
خاش	۳۶	۴۹	۵۸	۹۹	۶۰	۷۲	۸۱
سراوان	۲۹	۴۷	۵۱	۷۵	۵۲	۵۷	۶۱
قاین	۲۰	۲۲	۳۵	۵۱	۱۲	۱۷	۱۹
گناباد	۸	۱۱	۲۱	۳۱	۱۹	۲۰	۴۴
گلمکان	۲	۱۴	۲۸	۴۰	۹	۵	۳
بوشرویه	۲	۱۰	۱۳	۲۲	۲۱	۱۳	۶
نیشابور	۶	۸	۷	۱۸	۱۶	۱۲	۳
تربت جام	۵	۷	۵	۱۳	۱۷	۱۱	۱۸
دامغان	۱	۳	۲	۱	۲	۲	۳
فریمان	۲	۶	۸	۱۲	۹	۶	۱۰
میانگین منطقه‌ای	۲۳	۳۳	۳۰	۴۲	۳۶	۴۳	۴۴

به گونه‌ای که شیب تغییرات فراوانی حاصل از آماره سنس استیمیتور در این ایستگاه‌ها نیز افزایشی است. ایستگاه‌های زابل، زهک، بجنورد و گناباد با وجود اینکه تعداد طوفان‌های گردوغبار بیشتری به خود اختصاص داده‌اند، اما دارای روند افزایشی غیرمعنی‌دار ($Z < 0/5$) هستند. در این میان شدیدترین نرخ افزایش طوفان‌های گردوغبار در ایستگاه‌های ایرانشهر، طبس، زاهدان و سرخس به ترتیب با ۱/۳۵، ۰/۹۶، ۰/۷۸ و ۰/۵۲ روز در دهه محاسبه شده است (جدول ۳).

– روند تغییرات فراوانی روزهای همراه با طوفان

گردوغبار در نیمه شرق ایران

در جدول (۳) میانگین فراوانی و روند تغییرات سالانه طوفان گردوغبار در ایستگاه‌های منطقه نشان داده شده است. نتایج آماره من کندال حاکی از روند افزایشی معنی‌دار در سطح اطمینان ۰/۰۱ ($Z > 2.58$) برای ایستگاه‌های زاهدان، ایرانشهر، طبس و گرمسار و در سطح اطمینان ۰/۰۵ ($Z > 1.96$) برای ایستگاه‌های گرگان، چابهار، طبس و سرخس است؛

جدول (۳): میانگین سالانه گردوغبار و روند آزمون‌های من کندال و سنس استیمیتور برای ایستگاه‌های منطقه مطالعاتی

Table (3): The annual mean of dusty days and the trend of Man Kendall and Sens estimator for stations area

نام ایستگاه	تعداد طوفان‌های گردوغبار	من کندال	سنس استیمیتور	نام ایستگاه	تعداد طوفان‌های گردوغبار	من کندال	سنس استیمیتور
شاهرود	۶	-۱۷	-۰/۰۹	قوچان	۲	۰/۲۱	۰
گلمکان	۱۰	** -۴/۹۸	-۰/۵۲	نهندان	۲۵	۰/۲۸	۰/۱۰
نیشابور	۱۱	** -۴/۰۵	-۰/۶۹	زهک	۱۴۹	۰/۵۸	۰/۴
بوشرویه	۱۵	** -۳/۶۹	-۰/۷۸	زابل	۱۶۵	۰/۷۸	۰/۲۷
خاش	۶۵	** -۳/۱۰	-۱/۷۶	گناباد	۲۶	۱/۲۳	۰/۵
ترتیب حیدریه	۱۳	** -۲/۹۰	-۰/۱۸	فریمان	۸	۱/۲۸	۰/۵۷
سبزوار	۳۰	** -۲/۷۸	-۰/۴۰	دامغان	۵	۱/۴۴	۰/۱۱
سراوان	۵۵	** -۲/۵۹	-۰/۹۶	بجنورد	۱۴	۱/۶۴	۰/۲
قائن	۲۰	-۱/۵۳	-۰/۵۰	چابهار	۳۰	* ۲/۲۳	۰/۳۸
میناب	۲۳	-۱/۴۶	-۰/۴۳	کاشمر	۶	* ۲/۳۹	۰/۲
مشهد	۲۹	-۱/۲۳	-۰/۱۸	سرخس	۴۴	* ۲/۵۵	۰/۵۲
بیرجند	۲۳	-۱/۱۵	-۰/۰۹	گرگان	۳	۰/۱۵	۰/۰۲
ترتیب جام	۱۵	-۰/۶۴	-۰/۱۶	طبس	۵۱	** ۳/۸۷	۰/۹۶
کنارک	۱۴۲	-۰/۴۳	-۰/۴۴	ایرانشهر	۶۵	** ۴/۰۱	۱/۳۵
فردوس	۱۳	-۰/۳۰	-۰/۰۵	زاهدان	۷۸	** ۴/۱۳	۰/۷۸
قوچان	۲	۰/۲۱	۰	گرمسار	۷	** ۴/۳۲	۰/۳۵

** روند معنی‌دار در سطح ۰/۰۱؛ * روند معنی‌دار در سطح ۰/۰۵

– همبستگی پارامترهای اقلیمی با تعداد روزهای

همراه با گردوغبار

میزان همبستگی میان پارامترهای اقلیمی و گردوغبار به تفکیک ایستگاه‌های منطقه و به صورت میانگین منطقه‌ای در جدول (۴) آورده شده است. با توجه به نتایج حاصل از برقراری همبستگی در کل منطقه، بین وقوع پدیده گردوغبار

با بارش همبستگی منفی و معنادار در سطح اطمینان ۰/۰۱ با مقدار $-۰/۳۶$ و بین گردوغبار با دما و سرعت باد همبستگی مثبت و معنادار در سطح اطمینان ۰/۰۱ با مقادیر $۰/۴۳$ و $۰/۷۳$ وجود دارد. نتایج حاصل از اجرای همبستگی بین فراوانی گردوغبار با جمع بارندگی سالانه، دما و سرعت باد نیز به تفکیک ایستگاه‌ها در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول (۴): میانگین سالانه پارامترهای اقلیمی (بارش، دما و باد) و ضریب همبستگی آن‌ها با پدیده گردوغبار در ایستگاه‌های منطقه مطالعاتی

Table (4): Annual mean of climatic parameters (rainfall, temperature and wind) and their correlation with the phenomenon dust days in stations area

نام ایستگاه	میانگین بارش	میانگین دما	میانگین طوفان گردوغبار	میانگین سرعت باد	همبستگی بارش و گردوغبار	همبستگی دما و گردوغبار	همبستگی سرعت باد و گردوغبار
مشهد	۲۵۰	۱۴/۲	۲۹	۲/۱	-۰/۱۶	۰/۱۵	-۰/۱۶
زاهدان	۸۷/۱	۱۸/۷	۷۸	۳/۳	*-۰/۳۴	**۰/۵۰۱	۰/۲۸
زهبک	۴۳/۲	۳۶/۲	۱۴۹	۵/۱	*-۰/۴۱۸	*۰/۳۶	۰/۲۹
شاهرود	۱۵۰/۸	۱۴/۸	۶	۲/۲	-۰/۰۷۳	۰/۰۴	**۰/۴۹۲
گرگان	۵۷۴/۳	۱۷/۳	۳	۱/۳	-۰/۱۵	۰/۱۲	*۰/۳۱۱
سبزوار	۱۸۲/۷	۱۷/۷	۳۰	۳/۳	**۰/۳۹۲	۰/۰۰۵	**۰/۶۷۵
بیرجند	۱۵۸/۵	۱۶/۵	۲۳	۲/۵	*-۰/۳۱	۰/۰۶۹	**۰/۴۱۲
ترت حیدریه	۲۵۹/۵	۱۴/۱	۱۳	۲/۱	-۰/۰۸۹	۰/۱۸	**۰/۵۸۹
طبس	۷۷	۲۲/۶	۵۱	۱/۷	-۰/۰۶۸	۰/۰۲۵	*۰/۲۶۶
زابل	۵۳/۹	۲۲/۲	۱۶۵	۵/۸	*-۰/۳۲	*۰/۵۲	**۰/۵۵۴
چابهار	۱۱۳/۳	۲۶/۴	۳۰	۳/۱	-۰/۱۳	*۰/۴۶۹	۰/۲۱۹
ایرانشهر	۱۰۶/۹	۲۷/۱	۶۵	۲/۶	*-۰/۳۲	**۰/۵۱۲	*۰/۳۷۹
بجنورد	۲۵۸/۱	۱۳	۱۴	۲/۵	-۰/۱۴	۰/۲۸	**۰/۵۳۳
کنارک	۱۰۸	۲۶	۱۴۲	۳	*-۰/۳۰	*۰/۳۵	**۰/۶۰۷
قوچان	۳۱۱/۹	۱۲/۸	۲	۲/۱	-۰/۱۸	۰/۱۹	**۰/۴۷۳
سرخس	۱۸۰/۶	۱۸/۶	۴۴	۲/۲	-۰/۲۹	۰/۱۶	**۰/۵۵۸
میناب	۱۹۷	۲۸/۵	۲۳	۱/۴	-۰/۰۷۳	۰/۱۵	**۰/۶۴۰
فردوس	۱۳۷	۱۸/۵	۱۳	۲/۴	-۰/۱۵	۰/۰۰۴	۰/۰۱
گرمسار	۱۱۷/۵	۱۹/۱	۷	۲/۴	-۰/۱۴	۰/۲۸	*۰/۴۳۹
نهبندان	۱۲۱/۲	۲۱/۲	۲۵	۲/۹	-۰/۰۵	۰/۰۰۸	۰/۰۷
کاشمر	۱۸۹	۱۸/۷	۶	۱/۶	-۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۶
خاش	۱۴۹/۹	۲۱/۲	۶۵	۲/۸	*-۰/۳۰	*۰/۴۲۲	**۰/۵۵۹
سراوان	۱۰۹/۳	۲۳	۵۵	۳	-۰/۲۱	۰/۲۴	۰/۳۷
قائن	۱۶۱/۳	۱۶/۱	۲۰	۲/۳	-۰/۱۶	۰/۰۲	۰/۳۶
گناباد	۱۳۱/۹	۱۸/۶	۲۶	۲	*-۰/۳۱	*۰/۳۰	**۰/۷۲۵
گلمکان	۲۰۴/۶	۱۴/۹	۱۰	۳/۲	-۰/۱۰	۰/۲۳	۰/۲۲
بوشرویه	۹۱/۲	۲۰/۹	۱۵	۱/۴	-۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۴
نیشابور	۲۴۱/۴	۱۴/۸	۱۱	۱/۴	-۰/۲۳	۰/۳۷	*۰/۵۱۳
ترت جام	۱۶۴/۹	۱۶	۱۵	۴/۱	*-۰/۴۱	*۰/۴۹۳	۰/۱۶
دامغان	۱۰۴/۳	۱۸	۵	۳/۷	-۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۱۷
فریمان	۲۲۲/۲	۱۴/۷	۸	۴/۶	-۰/۲۸	۰/۰۱	۰/۱۳
کل منطقه	۱۹	۱۹	۳۹	۳/۹	**۰/۳۶	**۰/۴۳	**۰/۷۳

** همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۱؛ * همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵

بحث و نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که نیمه شرقی کشور از لحاظ فراوانی گردوغبار و چگونگی روند آن، دارای نظام همگنی نیست؛ به طوری که از شمال به جنوب و از غرب به شرق بر وقوع آن افزوده می شود. با بررسی تغییرات سال به سال و دهه به دهه فراوانی پدیده گردوغبار در نیمه شرقی ایران، می توان دو دسته متفاوت نوسانات زمانی را تشخیص داد: الف. نوسانات زودگذر و اغلب جزئی (البته بعضاً قابل ملاحظه) که اکثراً در اثر تغییر در فاکتورهای تأثیرگذار موقت مانند تغییر شرایط اقلیمی یا همدیدی فصلی، وقوع خشکسالی، تضعف یا تشدید وزش بادهای شکل می گیرند. ب. نوسانات پایدارتر و نسبتاً طولانی مدت که به صورت دوره های افزایشی (یا کاهش) چندین ساله قابل تشخیص است که نوسانات دسته اول در داخل این دوره ها اتفاق می افتند. در ایستگاه های منطقه مورد مطالعه سه دوره کاهش و سه دوره افزایشی مشخص در فراوانی طوفان های گردوغبار می توان تشخیص داد (بر اساس شکل ۲). این نوع از نوسانات که محمدی (۲۰۱۵) و ساری صراف و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی طوفان های غرب ایران نیز به نتایج مشابه اشاره کرده اند، در اثر تغییر فاکتورهای محیطی ماندگارتر یا عواملی که تأثیر آن ها چندین سال باقی می ماند، شکل می گیرند. ممکن است فعالیت دورپیوندها، فعالیت لکه های خورشیدی، گرایش به خشکی یا وقوع خشکسالی های طولانی مدت یا عوامل ناشناخته دیگر، در شکل گیری این دوره ها نقش داشته باشند. انجام مطالعات تکمیلی با هدف شناسایی دقیق عوامل یادشده، مؤثرترین روش برای پیش بینی تغییرات آتی فراوانی طوفان های گردوغبار است.

بر اساس نتایج به دست آمده ترکیب دو روش میانه سن استیمیتور و معنی داری من کندال در کاوش روند تغییرات بلندمدت مؤثر شناخته شد و این با نتایج لونت^۱ و همکاران (۲۰۰۶)، فنشولت^۲ و همکاران (۲۰۱۲)، کائو^۳ و همکاران

(۲۰۱۴)، کولدیتز^۴ و همکاران (۲۰۱۵) و ژیانگ^۵ و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد. روند افزایشی در اکثر مناطق به صورت پراکنده وجود دارد، اما تمرکز آن در جنوب، جنوب شرقی و مرکز منطقه بیشتر است. افزایش فعالیت طوفان های گردوغبار به عنوان نمادی از حاکمیت اکوسیستم بیابانی، از گسترش بیابانزایی در مناطق مذکور حکایت دارد. این مناطق دارای اقلیم خشک بوده و توپوگرافی هموار، ارتفاع کم و پوشش گیاهی تنک دارند که براساس یافته های پروسپرو^۶ و همکاران (۲۰۱۰) مناطق خشک با توپوگرافی هموار را به عنوان مناطقی که استعداد بیشتری برای فعالیت طوفان های گردوغباری دارند، تأیید می کند. همچنین ایستگاه های دارای روند کاهش معنی دار، اغلب در بخش های شمالی شرق کشور که اکثراً طوفان های گردوغبار کمتری دارند، وجود دارد. دوری از چشمه های گردوغبار و قرار گرفتن در مناطق کوهستانی و همچنین گسترش آبادسازی شهرها (ایستگاه های هواشناسی در حاشیه آن ها تأسیس شده اند) می تواند از عوامل کاهش روزهای همراه با گردوغبار در مناطق شمالی باشد که کانگ و همکاران (۲۰۱۶) نیز بدین نکته اشاره کرده اند. البته در تعدادی از ایستگاه های جنوبی منطقه مورد مطالعه مانند میناب، سراوان و خاش که طوفان های گردوغباری زیادی دارند، نیز روند کاهش محاسبه شد. یافتن علت (یا علل) چنین روند کاهش به بررسی های بیشتری نیاز دارد. موضوع نگران کننده این است که در برخی از مناطق (مانند کاشمر، دامغان و گرمسار) که طوفان های گردوغبار پدیده غالب اقلیمی نیست، ممکن است در سال های آتی با افزایش رخداد طوفان های گردوغبار، به چشم اندازهای اقلیمی آن ها اضافه شود. همچنین در مناطقی که طوفان های گردوغبار با فراوانی نسبتاً زیاد اتفاق می افتد (از جمله چابهار، زاهدان، طبس)، افزایش تعداد طوفان های گردوغبار می تواند مشکلات زیست محیطی مضاعفی را به دنبال داشته باشد.

نتایج اجرای همبستگی بین پارامترهای اقلیمی و تعداد روزهای همراه با گردوغبار نشان داد که بیشترین همبستگی

4. Colditz
5. Jiang
6. Prospero

1. Lunetta
2. Fensholt
3. Cao

سوان^۳ (۲۰۰۰)، لی^۴ و همکاران (۲۰۰۲)، تا^۵ و همکاران (۲۰۰۴)، سینگ گویی^۶ و همکاران (۲۰۰۶) و آمگالان^۷ و همکاران (۲۰۱۷) که افزایش دما، افزایش سرعت باد و کاهش بارندگی را از مهم ترین دلایل افزایش رخداد پدیده گردوغبار معرفی کرده اند، هم سو است. البته باید اشاره کرد که یکی از عوامل محیطی که اختصاصاً در شرق ایران می تواند در افزایش فعالیت طوفان های گردوغبار مؤثر باشد، افزایش سرعت و گستره فعالیت بادهای منطقه ای سیستان از ۱۲۰ روز به ۱۶۵ روز است که در مطالعات راشکی و همکاران (۲۰۱۳)، فرج زاده و علیزاده (۲۰۱۱) و ایرانمنش (۲۰۰۵) بدان اشاره شده است. با توجه به فراوانی زیاد رخداد طوفان های گردوغبار در نیمه جنوب و جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه، ایجاد سطوح مقاوم در مقابل فرسایش بادی از طریق اقدامات مکانیکی از قبیل ایجاد لایه رویی سفت و کبره بسته در خاک و کندن تله حرکتی ماسه با لحاظ جهت غالب وزش باد و ایجاد موانع برای کاهش سرعت باد و همچنین احیای تالاب هامون و کنترل دام از اقدامات ضروری در کاهش رخداد پدیده گردوغبار است.

مربوط به سرعت باد است. بارش، کمترین همبستگی و دما همبستگی بیشتری را با تعداد روزهای همراه با گردوغبار نسبت به بارش نشان داد. با این تفسیر مؤثرترین عامل اقلیمی کنترل کننده فراوانی طوفان های گردوغبار در نیمه شرق کشور، سرعت وزش باد است که تابعی از سامانه های همدیدی و گرادیان فشار و دما در منطقه می باشد. با توجه به اینکه بادهای ۱۲۰ روزه عامل اصلی وقوع طوفان های گردوغبار در منطقه در دوره گرم سال هستند، همچنین گرادیان دمایی در دوره گرم سال بیشتر از دوره سرد سال است، با گرمایش هوا و قطع بارندگی در دوره گرم سال، شرایط اقلیمی منطقه برای وزش بادهای شدید مناسب است. این شرایط به همراه خشک بودن خاک و فقدان پوشش گیاهی، اوضاع مساعدی را برای فرسایش بادی و وقوع طوفان های گردوغبار فراهم می کند. نتایج علمی مشابهی توسط هرویجر^۱ و همکاران (۲۰۱۳) و هاینبرگر و نیکول^۲ (۲۰۱۲) که نشان دادند با افزایش دما، تعداد وقوع طوفان های گردوغبار نیز افزایش می یابد، گزارش شده است. همچنین نتایج این تحقیق در ارتباط با همبستگی پارامترهای اقلیمی با طوفان های گردوغبار با نتایج مطالعات

منابع

- Ahmadi, Z., Doostan, R., Mofidi, A., 2015. An Analysis of Semi-arid of the Year in South Khorasan Province. Natural History Series 8 (29), 61-41. (in Persian)
- Akhlaq, M., Sheltami, T.R., Mouftah, H.T., 2012. A review of techniques and technologies for sand and dust storm detection. Reviews in Environmental Science and Biotechnology 11 (3), 305-322.
- Alizadeh Choobari, O., Zawar-Reza, P., Sturman, A., 2014. The global distribution of mineral dust and its impacts on the climate system: A review. Atmospheric Research 138 (1), 152-165.
- Alijani, B., Raispour, K., 2011. Statistical, Synoptical analysis of Sand Storms in SE Iran (Study Case: Region of Sistan). Journal of Arid Regions Geographics Studies 2 (5), 132-107.
- 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.
- Azizi, Gh., Shamsipour, A.A., Miri, M., Safarrad, T., 2012. Dust analysis in southwestern Iran, Journal of Environmental Studies 38 (3), 134-123.
- Cannarozzo, M., Noto, L.V., Viola, F., 2006. Spatial Distribution of Rainfall Trends in Sicily, Journal of Physics and Chemistry of the Earth 31, 1201-1211.
- 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.

3. Xuan

4. Li

5. Ta

6. Xingui

7. Amgalan

1. Herweijer

2. Hahnenberger & Nicoll

9. Colditz, R.R., Ressler, R.A., Bonilla-Moheno, M., 2015. Trends in 15-year MODIS NDVI time series for Mexico. 8th International Workshop on the Ancestry, France.
10. Farajzadeh Asl, M., Alizadeh, Kh., 2011. Spatial Analysis of Dust storm in Iran. The Journal of Spatial Planning 15 (1), 65-84. (in Persian)
11. Fensholt, R. and Proud, S.R., 2012. Evaluation of earth observation based global long term vegetation trends—Comparing GIMMS and MODIS global NDVI time series. Remote sensing of Environment 119, 131-147.
12. Goudie, A., 2014. Review Desert dust and human health disorders. Journal of Environment International 63 (3), 101-113.
13. Grineski, S. E., Staniswalis, J.G., Bulathsinhala, P., Peng Y., Gill, T.E., 2011. Hospital admissions for asthma and acute bronchitis in El Paso, Texas: do age, sex, and insurance status modify the effects of dust and low wind events, Environmental Research 111 (8), 1148-1155.
14. Guhathakurta, P., Preetha, M., Mazumdar, A.B., Sreejith, O.P., 2010. Changes in extreme rainfall events and flood risk in India during the last century. National Climate Centre, Research Report 3, 1-20.
15. Hahnenberger, M., Nikoul, K., 2014. Geomorphic and land cover identification of dust sources in the eastern Great Basin of Utah, U.S.A. Journal of Geomorphology 204 (2), 657-672.
16. Hamed, K. H., Rao, A. R., 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. Journal of Hydrology 204 (1-4), 182-196.
17. Hamzeh Hossein, N., Fattahi, I., Zoldehdi, M., Ghaffarian, P., Ranjbar, A., 2016. Synoptic and Dynamic Analysis of Dust and its Simulation in Southwest of Iran in the summer of 2005. Spatial Analysis of Environmental Hazards 1, 102-91. (in Persian)
18. Hansell, R.A., Tsay, S.C., Ji, Q., Hsu, C.N., Jeong, M.G., Wang, S.H., 2010. An assessment of the surface long wave direct radioactive effect of airborne Saharan dust during the NAMMA field campaign. Journal of Atmospheric Sciences 67 (4), 1048-1065.
19. Herweijer, C., Seager, R., Cook, K., Geay, E., 2013. North American Droughts of the Last Millennium from a Gridded Network of Tree-Ring Dates, Lamont-Doherty Earth Observatory. Drying Technology: An International Journal 31(15), 134-142.
20. Iranmanesh, F., 2005. Investigation of dust origins and characteristics of their spreading in Sistan's storms, Iran region, using image processing. Pajouhesh & Sazandegi 67, 25-33. (in Persian)
21. Jiang, W., Yuan, L., Wang, W., Cao, R., Zhang, Y., Shen, W., 2015. Spatio-temporal analysis of vegetation variation in the Yellow River Basin. Ecological Indicators 51, 117-126.
22. Johnston, F., Hanigan, I., Henderson, S., Morgan, G., Bowman, D., 2011. Extreme air pollution events from brushfires and dust storms and their association with mortality in Sydney, Australia 1994-2007. Environmental Research 111 (12), 811-816.
23. Juraj M. C., Taha B. M. J. O., 2009. Trends in the Timing and Magnitude of Floods in Canada. Journal of Hydrology 375, 471-480.
24. Kang, L., Huang, J., Chen, S., Wang, X., 2016. Long-term trends of dust events over Tibetan Plateau during 1961-2010. Atmospher Environment 125, 188-198.
25. Lawrence, C.R., Neff, J.C., 2009. The contemporary physical and chemical flux of aeolian dust, A synthesis of direct measurements of dust deposition. Chemical Geology 267, 46-63.
26. Li, X.Y., Wang, J.H., Liu, L.Y., 2002. Wind Tunnel Simulation Experiment on the Erodibility of the Fixed Aeolian Sandy Soil by Wind, Proceedings of ICAR5/GCTE-SEN Joint Conference. International Center for Arid and Semiarid Lands Studies, Texas Tech University, Lubbock, Texas.
27. Lunetta, R.S., Knight, J.F., Ediriwickrema, J., Lyon, J.G., Worthy, L.D., 2006. Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data. Remote sensing of environment 105 (2), 142-154.
28. Mahowald, N.M., Bryant, R.G., Del Corral, J., Steinberger, L., 2003. Ephemeral lakes and desert dust sources. Geophysical Research Letters 30 (2), 1074-1083.
29. Mei, D., Xiushan, L., Lin, S., Ping, W., 2008. A Dust Storm Process Dynamic Monitoring with Multi-Temporal MODIS data. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science 37, 965-970.
30. Mohammadi, G. H., 2015. Analysis of Atmospheric Mechanisms in Dust Transport over West of Iran. Ph.D thesis, Tabriz

- University, 142pp. (in Persian)
31. Onoz, B., Bayazit, M., 2003. The power of statistical tests for trend detection. *Turkish Journal of Engineering Environmental Science* 27, 247-251.
 32. Press, V., Teukolsky, F., 1992. Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing (2nd ed.). *Journal of Simulation* 31 (1), 640.
 33. Prospero, J.M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S.E., Gill, T.E., 2002. Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus 7 totalozone mapping spectrometer absorbing aerosol product. *Reviews of Geophysics*. 40 (1), 2–31.
 34. Rashki, A., Kaskaoutis, D.G., Francois, P., Kosmopoulos, P.G., Legrand, M., 2015. Dust-storm dynamics over Sistan region, Iran: Seasonality, transport characteristics and affected areas. *Aeolian Research* 16, 35–48.
 35. Rashki, A., Kaskaoutis, D.G., Goudie, A.S., Kahn, R.A., 2013. Dryness of ephemeral lakes and consequences for dust activity: The case of the Hamoun drainage basin, southeastern Iran. *Science of the total environment* 434 (3), 552-564.
 36. Rezazadeh, M., Irannejad, P., Shao, Y., 2013. Climatology of the Middle East dust events. *Aeolian Research*, 103-109. (in Persian)
 37. Sari Sarraf, B., Rasouli, A. A., Mohammadi GH.H., Hoseini Sadr, A., 2016. Long-term trends of seasonal dusty day characteristics—West Iran. *Arab Journal Geoscience*, 9 (563), 1-10.
 38. Shao, Y., Wyrwoll, K.H., Chappell, A., Huang, J., Lin, Z., McTainsh, G.H., 2011. Dust cycle: anemerging core theme in Earth system science. *Aeolian Research* 2 (4), 181–204.
 39. Shong Chok.,N., 2010. Pearson's Versus Spearman's and Kendal's Correlation Coefficients For Continuous Data. M.Sc. thesis, University Of Pittsburgh, 43pp.
 40. Ta, W.H., Xiao, J., Xiao, G., Yang, T., Zhang, X., 2004. Measurements of Dust Deposition in Gansu Province China 1986-2000. *Geomorphology* 57, 41-51.
 41. Tan, M., Li, X., Xin, L., 2014. Intensity of dust storms in China from 1980 to 2007: A new definition. *Atmospheric Environment* 85, 215-222.
 42. Tavoosi, T., Zahraei, A., 2014. Sistan and Balouchestan Province Based on Extrapolation of Time Series Curves. *Journal of Management System* 1, pp. 157 -139. (in Persian)
 43. Valenzuela, A., Olmo, F.J., Lyamani, H., Antón, M., Quirantes, A., Alados-Arboledas, L., 2012. Aerosol radiative forcing during African desert dust events (2005–2010) over South-Eastern Spain. *Atmospheric Chemistry and Physics* 12 (3), 593–622.
 44. Waldhauserova, P. D., Arnalds, O., Olafsson, H., 2013. Long-term frequency and characteristics of dust storm events in Northeast Iceland (1949–2011). *Atmospheric Environment* 77, 117–127.
 45. Wang Tianming, L. A., Shichang, K., Pang Deqian, L. A., 2009. On The Relationship between Global Warming and Dust Storm Variation in China, International Conference on Environmental Science and Information Application Technology, Wuhan, China.
 46. Xingkui, Xu., Levy Jason, k., Zhahohui, Lin., Hong, chen., 2006. An Investigation of Sand-Dust Storm Vents and Land Surface Characteristic in China Using NOAA NDVI Data. *Global and Planetary Change* 52, 182-196.
 47. Xuan, J., Gualiang, L., Du, K., 2000. Dust Emission Inventory in Northern China. *Atmospheric Environment*, 34, 4565 70.
 48. Yue, S., Pilon, P., Cavadias, G., 2002. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of. Hydrology* 259, 254–271.
 49. Zanganeh, M., 2014. Climatological Analysis of Dust Storms in Iran. *Applied Climatology* 1 (1), 12-1. (in Persian)
 50. 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. (in Persian).

Trend analysis of dusty days frequency in Eastern parts of Iran associated with Climate Fluctuations

Zahra Yarmoradi¹, Behrooz Nasiri^{2*}, Mostafa Karampour³, Gholam Hassan Mohammadi⁴

Received: 15/03/2018

Accepted: 19/04/2018

Extended abstract

Introduction: The occurrence of dust storms in deserts or arid regions increases the suspended dust particles to more than the allowed threshold, and this has negative effects on atmospheric conditions, human health and agricultural production. Positioning of Iran in the world arid and semi-arid belt is exposed to various types of dust storm systems. Occurrence of severe dust storms in most parts of the world, especially in areas of east and southeast of Iran has disrupted people's lives and caused human and financial losses. As a result, increasing information on the dust storm variation and trend with using long-term observational data and evaluation of its relationship with other climatic parameters in the eastern part of Iran may help identify areas of crisis in terms of the occurrence of this phenomenon in the future, therefore it is useful for taking environmental management decisions and preparing to deal with dust storms.

Materials and Methods: In order to carry out this research, data of number of dusty days, temperature, precipitation, and wind speed of 31 weather stations in eastern Iran with a statistical period of 66 years (1951 to 2016) have been used. According to the World Meteorological Organization, dusty day is defined as the day in which, at least one code related to dust (including codes 06, 07, 30 to 35 and 98) has been reported in the present weather group (WW) among dust 8 SYNOPs reported from weather stations. Considering the above instructions, first data of number of days with dust in annual scale was provided. Then, the processes related to the averaging, spatial distribution and temporal variation of frequency of dusty days were performed. In order to study the decadal variation of dust storms, both regional averages and data of reference stations are divided into six decades and analyzed with averaging and charting processes. In the next step, to evaluate existence of trend in dusty day frequencies in eastern Iran, two non-parametric statistics of Mann-Kendall and Sen's Estimator Slope tests were used. Finally, to investigate the relationship between climate parameters and dusty days frequency in the region, Spearman correlation coefficient test was used.

Results: The highest and lowest activity of dust storms in study area was in 1971 and 1954 years with average of 58 and 7 days respectively during 1951 to 2016. Despite the relatively large regional differences, the annual variation of the average dusty days in eastern Iran has not been significant particularly since 1960, and often remains about 40 ± 8 days per year. Decadal variation of dusty days indicates an increase in the number of storms in current decade, but geographic extent of storm activity is limited to the south east.

The results of Mann-Kendall trend test indicate a significant increase in dusty days of Zahedan, Iranshahr, Tabas, Garmsar, Chabahar, Gorgan, Tabas and Sarakhs stations at 0.01 or 0.05 confidence levels, so that highest increasing rate was calculated in Iranshahr, Tabas, Zahedan, Gorgan and Sarakhs stations with 1.35, 0.96, 0.78 and 0.52 days per decade, respectively. Although Zabul, Zahak, Bojnourd and Gonabad stations have the most frequency of dusty days but they showed nonsignificant increasing trend. Investigating the relationship between dust storm frequencies with precipitation, temperature and wind speed results showed that dust storm in the eastern Iran show negative correlation coefficient on annual precipitation fluctuations. In contrast a direct

1. Ph.D. in Climatology, Lorestan University, Iran, Khorramabad, yarmoradi.za@fh.lu.ac.ir

2. Assistant Professor, Department of Climatology, Lorestan University, Iran, Khorramabad, Corresponding Author, Nasiri.b@lu.ac.ir

3. Assistant Professor, Department of Climatology, Lorestan University, Iran, Khorramabad, karampour.m@lu.ac.ir

4. Meteorological Expert of East Azarbaijan, Tabriz, gh.mohammadi88@gmail.com

significant relationship between dusty days with annual temperature and wind speed at most stations were revealed.

Discussion and Conclusion: The results of this study suggested that the Eastern Iran has no homogeneity in terms of frequency of dust and its process, so that it increases from north to south and from west to east. Based on the results obtained by combining two methods of Sen's Estimator Median and Mann-Kendall, there is an increasing trend in most regions, but its focus is more in South, Southeast and Central regions. Dust storms activity increase is a symbol of the dominance of desert ecosystem and implies the spread of desertification in these areas. These regions have dry climate and flat topography, low altitude and sparse vegetation. Also, stations with a significant downward trend, are mainly located in Northeast Iran, where have less dust storms. Distance from the dust resources and being located in mountainous areas, as well as the expansion of cities (meteorological stations are located on their margins) can be a factor in the reduction of dust days in the northern regions. Of course, in a number of Southern stations, which have a lot of dusty storms, the trend was also downward. Finding the cause of such a downward trend requires further investigation. The worrisome issue is that in some areas (such as Kashmar, Damghan and Garmsar), where dust storm isn't dominant climatic phenomenon, it's likely that in future years, with increasing storm events, dusty storms be added to their climatic landscape. Also, in areas where dust storms occur with a relatively high frequency (including Chabahar, Zahedan and Tabas) increasing number of dusty days may create additional environmental problems. Correlation coefficients of climatic parameters with number of dusty days showed highest relationship with speed wind. With this interpretation, the most effective climatic controller of dust storms frequencies in East Iran is wind speed, which is a function of synoptic systems and regional pressure and temperature gradients. Given that the 120-day winds are the main cause of dust storm in the study area in warm period of year, and also the temperature gradient in this times is more than cold period, as a result, with warming of air and end of rainy season in warm period, climatic conditions is suitable for severe wind flows. These conditions, along with soil dryness and lack of vegetation provide favorable conditions for wind erosion and dust storm. It should be noted that the most effective environmental factor in Eastern Iran dust storms activity, is intensifying of speed and expanding spatial range as well as increasing activity duration of Sistan regional winds from 120 to 165 days.

Keywords: Mann-Kendall Test, Climate Parameters, Dusty days, Eastern part of Iran, Spearman Correlation.