



تحلیل و پهنه بندی طوفان‌های گردوغبار در شرق ایران

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

۱. دانشجوی دکترای اقلیم شناسی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.

۲. دانشیار گروه اقلیم شناسی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.

۳. استادیار گروه اقلیم شناسی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.

۴. کارشناس هواشناسی، تبریز، آذربایجان شرقی، ایران.

* نویسنده مسئول: Nasiri.b@lu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۰۲

چکیده

یکی از پدیده‌های مخرب در مناطق خشک و بیابانی، گردوغبار است که می‌تواند اثرات زیانباری بر روی محیط زیست و زندگی بشر داشته باشد. نیمه شرقی کشور به علت موقعیت جغرافیایی و قرار گیری در مسیر بادهای ۱۲۰ روزه، همواره در معرض این پدیده است. پژوهش حاضر با هدف تحلیل و پهنه‌بندی طوفان‌های گردوغبار در شرق ایران انجام شد. به این منظور داده‌های ساعتی تعداد روزهای همراه با گردو غبار، کد پدیده، دید افقی، سمت و سرعت باد برای ۱۷ ایستگاه هواشناسی شرق ایران طی دوره ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۶ بررسی و با استفاده از کدهای مربوط به پدیده طوفان گردو غبار، تحلیل‌های آماری انجام شد. سپس نوع و مقدار روند به ترتیب توسط آماره‌های من-کندال و سنس استیمیتور تعیین شد. در آخر، با استفاده از نرم افزار WRPLOT View گل‌غبار منطقه ترسیم شد. نتایج نشان داد که فراوانی طوفان‌های گردوغبار در تیرماه بیشترین و در آذرماه کمترین بوده است. شدت و گسترش گردوغبار و روند معنی داری آن در جنوب شرق بیشتر از سایر مناطق است. نتایج گل‌غبار سالانه نیز نشان داد که جهت و سرعت بادهای مولد طوفان گردو غبار در شرق و غرب منطقه متفاوت است. بادهای طوفان‌زا در نیمه شرقی در جهت جغرافیایی ۷۰ تا ۳۰۰ درجه موافق چرخش عقربه‌های ساعت می‌وزند، در حالی که در نوار غربی منطقه، جهت‌های طوفان بین ۲۶۰ تا ۲۸۰ درجه با سرعت بیش از ۱۱ متر بر ثانیه است.

واژگان کلیدی: باد ۱۲۰ روزه؛ گل‌غبار؛ بادهای طوفان‌زا؛ فراوانی

■ مقدمه

یکی از مهم‌ترین پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم طی سالهای اخیر، افزایش وقوع طوفان‌های گردوغباری است که به صورت مستقیم و غیر مستقیم بخش‌های مختلف جوامع را تحت تاثیر قرار داده است (۳۳ و ۱۹). این ذرات بر روی شرایط جوی، تولیدات کشاورزی، سلامت انسان و اکوسیستم تأثیرگذار است (۲ و ۱۲ و ۱۳ و ۳۸). خاورمیانه یکی از پنج منطقه جهان می‌باشد که بیشترین تولید گردوغبار را دارد (۲۸).

ایران به علت قرار گرفتن در کمربند خشک و نیمه خشک در معرض سامانه‌های متعدد گردوغبار محلی و فرا منطقه‌ای می‌باشد (۲۶ و ۹). شرق کشور به دلیل وجود عرصه‌های بیابانی هر ساله آسیب‌های زیادی از این مخاطره را تجربه می‌کند، از جمله فرسایش بادی خسارت‌های فراوانی به منابع زیستی و اقتصادی وارد می‌کند (۱).

دیگر اثرات طوفان‌های گردوغبار شامل نهشت رسوبات، کاهش کیفیت هوا، کاهش بهره‌وری از منابع تجدید پذیر، تغییر در توازن انرژی تابشی جو و شرکت در تسریع روند تغییرات آب و هوایی (۶) بعلاوه تغییر در الگوهای منطقه‌ای مونسون‌ها و شتاب در ذوب یخچال‌ها (۱۰) می‌باشد.

در شرق ایران در سال‌های پرآبی در فصل تابستان مقداری از انرژی گرمایی خورشید صرف تبخیر و تعرق می‌شود و رطوبت نسبی افزایش می‌یابد که با وزش بادهای ۱۲۰ روزه، دما به طور محسوس کاهش می‌یابد. کاهش دما و افزایش رطوبت نسبی موجب کاهش شیب تغییرات فشار می‌شود که به دنبال آن از سرعت بادهای ۱۲۰ روزه کاسته می‌شود. در حالیکه در سال‌های خشک تابش خورشید تبدیل به گرمای محسوس و به دلیل کمبود رطوبت، دما بیشتر از معمول افزایش می‌یابد و به دنبال آن با افزایش شیب تغییرات فشار، بر سرعت بادهای ۱۲۰ روزه افزوده می‌شود. وجود این عوامل موجب افزایش تبخیر و نابودی پوشش گیاهی و فرسایش شدید خاک می‌شود. در طول دوره خشکی، رسوبات کف دریاچه‌ها با افزایش سرعت بادهای ۱۲۰

روزه به هوا برخاسته و خطرات زیستی فراوانی را برای ساکنین منطقه ایجاد می‌کند (۲۹).

مطالعات متنوعی در راستای شناخت ابعاد مختلف پدیده گردوغبار در مناطق مختلف جهان شکل گرفته است. بررسی ساختار طوفان‌های گردوغبار جنوب شرق آسیا نشان داد بیشترین مناطق دارای فعالیت طوفان در مناطق همگرایی مرزهای ایران، افغانستان و پاکستان می‌باشد (۲۱). در پژوهشی طوفان‌های گردوغبار در منطقه عراق در سه تیپ جبهه‌ای، همرفتی و باد شمال دسته‌بندی شد. نتایج نشان داد چه در دوره سرد و چه در دوره گرم سال، وزش باد شمال بیشترین نقش را در وقوع طوفان‌های مقیاس منطقه‌ای داراست (۴۲).

علل وقوع طوفان‌های گردوغبار و اثرات آن‌ها بر آب و هوای چین مطالعه شد. نتایج نشان داد گرمایش زمین در پهنه کشور مغولستان و سرزمین در شمال کشور چین در ایجاد گردوغبار شمال این کشور به خصوص حوضه تاریم مؤثر بوده است (۴۱). مشاهدات مربوط به ۵۶۰ ایستگاه هواشناسی در چین نشان داد که بیشترین فراوانی طوفان‌های شن و گردوغبار در ماه آوریل در شمال چین رخ می‌دهد (۴۳). ارتباط بین گرمایش جهانی و تغییرات طوفان‌های گردوغبار در چین بررسی شد. نتایج نشان داد که گرمایش جهانی موجب کاهش شیب عرضی دما و در نتیجه کاهش شدت باد و کاهش احتمالی فراوانی طوفان‌های گردوغبار طی دوره ۲۰۰۰-۱۹۵۴ بوده است (۴۰). در پژوهشی دیگر، فراوانی طوفان‌های گردوغبار شمال شرق ایسلند در دوره آماری ۲۰۱۱-۱۹۴۱ بررسی شد. نتایج نشان داد در مجموع ۱۰۳۳ رویداد گردوغباری مشاهده شده در منطقه، ۱۴ طوفان گردوغبار با قدرت دید کمتر از ۵۰۰ متر شناسایی شد. همچنین بیشترین فراوانی این پدیده در دهه‌های ۱۹۵۰، ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ و در ماه‌های جولای و سپتامبر گزارش شد (۳۹).

بررسی فصلی وقوع طوفان‌های گردوغبار منطقه سیستان در طول تابستان با استفاده از مشاهدات ماهواره‌ای مودیس و مدل HYSPLIT نشان داد که

با توجه به بررسی‌های انجام شده مشخص می‌شود که تاکنون بررسی جامعی در این زمینه در نیمه شرقی ایران صورت نگرفته، در حالی که این منطقه به علت موقعیت جغرافیایی و اقلیمی آن که در ناحیه خشک و بیابانی واقع شده، به طور دائم در معرض طوفان‌های گردوغبار و بادهای شدید است. این پدیده هر ساله خسارت‌های زیادی به منطقه وارد می‌کند. با توجه به اهمیت این پدیده و مشکلاتی که با حضور آن در مناطق مختلف نیمه شرقی ایجاد می‌شود و از طرف دیگر گسترش وسیع مکانی این پدیده در سال‌های اخیر و تغییرپذیری شدید سالانه طوفان‌های گرد و غبار، هدف از پژوهش حاضر تحلیل و پهنه بندی پدیده گردوغبار در نیمه شرقی ایران در بازه زمانی بلندمدت با بهره‌گیری از کدهای هواشناسی، سمت و سرعت بادهای ایجاد کننده طوفان و بکارگیری همزمان آزمون‌های ناپارامتری است.

نتایج این مطالعه می‌تواند علاوه بر آشکارسازی رفتار طوفان‌های گردوغبار این منطقه در شناسایی نواحی بحرانی از نظر وقوع این پدیده مفید بوده و در جهت برنامه ریزی و تصمیمات مدیریتی و آمادگی برای مقابله با طوفان گردوغبار موثر واقع شود.

■ مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

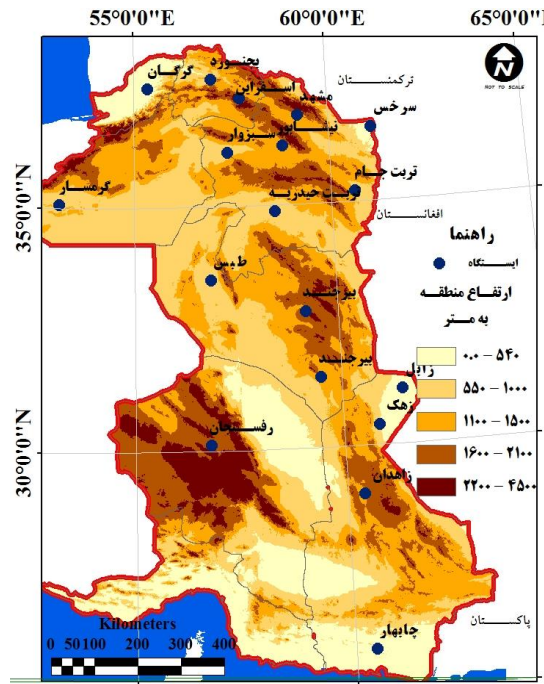
منطقه مورد بررسی در پژوهش حاضر کل نیمه شرقی ایران، شامل استان‌های خراسان شمالی، خراسان رضوی، خراسان جنوبی، سمنان، گلستان، سیستان و بلوچستان، کرمان و هرمزگان می‌باشد (شکل ۱).

این منطقه، بین عرض جغرافیایی $21^{\circ} 25'$ و 17° از 38° استوا و طول جغرافیایی $52^{\circ} 00'$ و $45^{\circ} 43'$ از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است. از خصوصیات مهم اقلیمی این منطقه می‌توان به وزش بادهای 120 روزه، تابش زیاد آفتاب، دامنه زیاد تغییرات دما در شبانه روز، میانگین بارش سالانه کم، زیاد بودن دما نام برد (۲۹).

ماه‌های ژوئن و جولای دارای بیشترین رخداد گردوغبار می‌باشد (۲۷). مطالعه روند طولانی مدت وقوع طوفان‌های گردوغبار فلات تبت طی دوره آماری $2010-1961$ نشان داد که وقوع طوفان‌های گردوغبار از دهه 1970 روند کاهشی قابل ملاحظه‌ای داشته و بیشترین زمان وقوع این پدیده فصل بهار و زمستان تشخیص داده شد (۱۷). نتایج روند طولانی مدت ویژگی‌های فصلی روزهای گردوغبار در غرب ایران طی دوره $2014-1951$ نشان داد فراوانی روزهای گردوغبار از شمال به جنوب و از شرق به غرب ایران افزایش یافته است. بیشترین روزهای گردوغبار در ماه‌های می، ژوئن و جولای در جنوب و جنوب غرب و بیشترین شدت روزهای گردوغبار در مناطق میانی غرب مشاهده شده است (۳۰).

تحلیل آماری و همدیدی طوفان‌های گرد و غبار در جنوب شرق ایران طی دوره آماری ($2008-1979$) با استفاده از روش‌های آماری، سینوپتیک و تصاویر ماهواره‌ای نشان داد فصل تابستان طوفان‌خیزترین و زمستان کم‌طوفان‌ترین فصل منطقه بوده است (۳). نتایج حاصل از بررسی سالانه پدیده گردوغبار نشان داد که ایستگاه زابل با میانگین فراوانی 183 روز بیشترین تعداد روزها را داشته و ایستگاه‌های زاهدان، بوشهر و طبس در رتبه‌های بعدی قرار دارند. در مقیاس ماهانه نیز بیشترین فراوانی مربوط به ماه جولای و کمترین فراوانی مربوط به ماه دسامبر مشخص شده است (۷).

سری زمانی پدیده گردوغبار شهر اهواز با استفاده از آزمون ناپارامتریک نشان داد که غیر از ژانویه در تمامی ماه‌های سال، فصول و همچنین در مقیاس سالانه روند افزایشی معنی‌دار پدیده گردوغبار در سطوح 95 تا 99 درصد مشاهده گردید (۳۵). مطالعه آب و هواشناسی طوفان‌های گردوغبار در ایران نشان داد که بیشینه طوفان گردوغبار در تابستان و کمینه آن در زمستان رخ می‌دهد. تیرماه بیشترین فراوانی و آذرماه کم‌ترین فراوانی را داشته است (۴۶). فراوانی طوفان‌های گردوغبار در نیمه غربی ایران به خصوص جنوب غرب آن در حال افزایش است (۴۷).



شکل ۱. توپوگرافی منطقه مورد مطالعه و پراکندگی ایستگاه‌های هواشناسی

روش پژوهش

ایستگاه هواشناسی شرق ایران (جدول ۱) با طول دوره آماری ۳۰ سال از سال ۱۹۸۶ تا سال ۲۰۱۶ استفاده شد.

به منظور انجام پژوهش حاضر، از داده‌های ساعتی تعداد روزهای همراه با گردوغبار، کد پدیده، دید افقی، سمت و سرعت باد و وضعیت هوای حاضر برای ۱۷

جدول ۱. ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه به همراه طول و عرض جغرافیایی

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	مشهد	۵۹°۱۷'	۳۶°۱۷'
۲	زاهدان	۶۰°۴۷'	۲۹°۲۳'
۳	زهک	۶۱°۴۲'	۳۰°۴۸'
۴	گرگان	۵۴°۲۳'	۳۶°۴۷'
۵	سبزوار	۵۷°۲۳'	۳۶°۵۶'
۶	بیرجند	۵۹°۱۲'	۳۳°۴۷'
۷	ترت حیدریه	۵۹°۵۶'	۳۵°۵۶'
۸	طیس	۵۶°۵۳'	۳۳°۳۰'
۹	زابل	۶۱°۲۳'	۳۱° ۱'
۱۰	چابهار	۶۰°۳۶'	۲۵°۱۱'
۱۱	بجنورد	۵۷°۱۲'	۳۷°۱۲'
۱۲	سرخس	۶۱°۵۶'	۳۶°۳۱'
۱۳	گرمسار	۵۲°۱۲'	۳۵° ۶'
۱۴	نیشابور	۵۸°۴۷'	۳۶°۱۲'
۱۵	ترت جام	۶۰°۳۶'	۳۵°۱۲'
۱۶	اسفراین	۵۷°۳۰'	۳۷° ۴'
۱۷	رفسنجان	۵۶°۲۱'	۳۰°۱۱'

که n تعداد مشاهدات سری، X_i و X_j به ترتیب داده-های i ام و j ام و Z ام سری می‌باشند. تابع $\text{sign}(X_i - X_j)$ با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد:

$$\text{sign}(X_i - X_j) = \begin{cases} 1 & \text{if}(X_i - X_j) > 0 \\ 0 & \text{if}(X_i - X_j) = 0 \\ -1 & \text{if}(X_i - X_j) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

(ب) چون همه ایستگاه‌ها دارای بیش از ۲۰ سال آمار هستند از رابطه ۳ واریانس محاسبه شد:

$$V(S) = 1/18 \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q tp(tp-1)(2tp+5) \right] \quad (3)$$

که n طول سری زمانی، tp بیانگر فراوانی داده‌هایی با ارزش یکسان و q تعداد سری‌هایی که در آن‌ها دست کم یک داده تکراری وجود دارد و S همان تابع sgn است که محاسبه شد.

(ج) استخراج مقدار آماره من-کندال Z (۱۵) یا روند آماری معنی داری به کمک رابطه ۴:

در یک آزمون دو دامنه جهت روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته شد که رابطه زیر برقرار گردید:

$$|Z| \leq Z_{\alpha/2} \quad (4)$$

در این رابطه Z مقدار آماره من-کندال، α سطح معنی داری، Z_{α} آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی داری α می‌باشد که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، از $\alpha/2$ استفاده شده است. در این آزمون سطح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ مورد استفاده قرار گرفت. در صورتی که آماره Z مثبت باشد روند داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن، روند نزولی خواهد بود (۳۷). سپس برای تعیین آهنگ تغییرات در مقیاس دهه از میانه ۱ محاسبه شده توسط آماره سنس استیمیتور (۴۷) استفاده گردید. در روش سنس استیمیتور نیز همانند روش من-کندال از

ابتدا کدهای مربوط به گردوغبار در منطقه شامل کدهای ۰۶ گردوغبار فراگیر، ۰۷ گردوغبار یا شن، ۳۰ تا ۳۵ طوفان شن ملایم و شدید و ۹۸ رعدوبرق توأم با طوفان گردوغبار از سایر پدیده‌ها و کدهای اقلیمی تفکیک شد. در این مرحله به منظور ارائه دیدگاه کلی از شرایط و وقوع گردوغبار در منطقه، نوسانات ماهانه فراوانی وقوع طوفان با استفاده از روش‌های آماری توصیفی، تحلیل و در قالب نمودار ترسیم شد. در مرحله بعد، تعداد روزهای همراه با گردوغبار به همراه طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌های منطقه در سیستم اطلاعات جغرافیایی، به نقشه‌های نقطه‌ای تبدیل و سپس با استفاده از روش میانبایی نقشه رستری ایجاد شد که با توجه به ویژگی‌های منطقه و رخداد طوفان‌های گردوغبار، سه محدوده کلی برای شدت وقوع این پدیده در نظر گرفته شد. به منظور آشکارسازی دوره جهش و روند تغییرات تعداد روزهای همراه با گردوغبار در شرق ایران، از دو آماره ناپارامتریک من-کندال و سنس استیمیتور استفاده شد (۴۷). روش من-کندال توسط سازمان جهانی هواشناسی برای بررسی روند سری زمانی داده‌های محیطی (۴۴) پیشنهاد شده است. از این روش به طور گسترده برای تشخیص روند آزمون‌های ناپارامتریک استفاده می‌شود (۱۱). از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند اشاره نمود. اثر پذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند نیز از دیگر مزایای استفاده از این روش است. فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک دال بر وجود روند در سری داده‌ها است (۴۶). مراحل محاسبه آزمون به شرح زیر است:

(الف) محاسبه اختلاف بین تک تک مشاهدات با همدیگر و اعمال تابع sign و استخراج پارامتر S با استفاده از رابطه ۱:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(X_i - X_j) \quad (1)$$

که N تعداد کل شیب‌های بدست آمده و Ca آماره آزمون نمودن شیب است.

(۴) مرحله نهایی این روش، آزمون کردن حدود اطمینان محاسبه شده است. به این ترتیب که از بین شیب‌های محاسبه شده توسط رابطه (۱)، M1 امین و M2+1 امین شیب‌ها استخراج می‌شوند.

در صورتی که عدد صفر در دامنه بین دو شیب استخراج شده قرار بگیرد فرض صفر پذیرفته می‌شود و بر سری زمانی مورد آزمون نمی‌توان هیچ‌گونه روندی را در سطح اعتماد به کار گرفته شده نسبت داد. در غیر این صورت فرض صفر رد شده و می‌توان پذیرفت که سری زمانی دارای روند معنی‌داری در سطح اعتماد مورد آزمون می‌باشد (۵).

به این ترتیب نتایج به دست آمده از آماره من-کندال و سنس استیمیتور در محیط GIS به کار گرفته شد. برای این کار ابتدا نوع روند در سطوح معنی‌داری متفاوت توسط آماره من کندال به صورت نماد بر روی نقشه مشخص و سپس آهنگ تغییرات آماره سنس استیمیتور به روش IDW درون‌یابی شد.

(۵) در مناطق خشک و بیابانی از جمله شرق ایران، یکی از نتایج بادهای شدید فرسایش خاک، آلودگی هوا، تخریب محیط زیست و طوفان‌های گردوغبار است که از پدیده‌های ناشی از ناپایداری جوی است (۲۵). برای تحلیل وضعیت طوفان‌خیزی منطقه مورد مطالعه از نرم افزار WRPLOT View استفاده شد.

در این مطالعه داده‌های دید افقی (کمتر از ۱۰۰۰ متر)، سمت و سرعت بادهایی که منجر به تولید طوفان-های گردوغبار در سطح منطقه می‌گردند را تفکیک کرده و فراوانی آنها در جهات هشت‌گانه جغرافیایی مورد تحلیل قرار گرفت؛ که برای این منظور از مدل گرافیکی گل‌غبار استفاده شد.

لازم به ذکر است که سرعت آستانه فرسایش بادی در به منظور ترسیم گل‌غبار مورد نیاز است. با استناد به پژوهش‌های پیشین (۳۰)، سرعت آستانه بادهای مولد طوفان‌های گردوغبار، برابر ۶/۵ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد.

تحلیل تفاوت بین مشاهدات یکی سری زمانی بهره گرفته شد. با استفاده از روش تیل (۳۶) و سن (۳۲) که اساس این روش بر محاسبه یک شیب میانه برای سری زمانی و قضاوت کردن در مورد معنی‌داری شیب به دست آمده در سطوح اعتماد مختلف استوار است. مراحل کلی انجام این آزمون به شرح زیر است (۱۶):

(۱) محاسبه شیب بین هر جفت داده‌ی مشاهده‌ای با استفاده از رابطه ۵:

$$Q = \frac{X_t - X_s}{t - s} \quad (5)$$

که در آن Q شیب بین هر دو جفت داده در بازه زمانی t تا s، 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 ۵ برای هر جفت داده مشاهده‌ای، یک سری زمانی از شیب‌های محاسبه شده حاصل می‌شود که از محاسبه میانه این سری زمانی شیب خط روند (Qmed) به دست می‌آید. مقدار مثبت Qmed حاکی از روند صعودی و مقدار منفی آن دال بر نزولی بودن روند می‌باشد.

(۲) مرحله بعد آزمون نمودن شیب بدست آمده در فاصله اطمینان‌های ۰/۰۹۵ و ۰/۰۹۹ است. جهت انجام این آزمون از رابطه ۶ استفاده شد:

$$Ca = Z1 - \partial / 2 \sqrt{\text{Var}(s)} \quad (6)$$

که در آن Ca آماره آزمون نمودن شیب، Z آماره توزیع نرمال استاندارد و $\text{var}(s)$ همان واریانس محاسبه شده در قسمت آزمون من کندال است. این آماره برای سطوح اطمینان ۰/۰۹۵ و ۰/۰۹۹ به ترتیب برابر ۱/۹۶ و ۲/۵۸ در نظر گرفته می‌شود.

(۳) محاسبه حدود اعتماد پایین و بالا (M1 و M2) از طریق رابطه ۷:

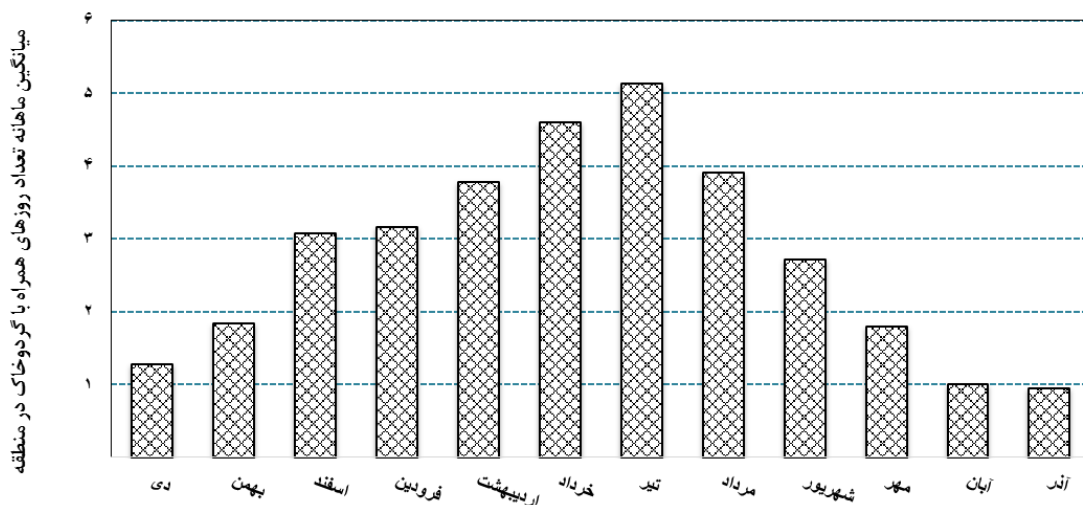
$$\begin{cases} M_1 = \frac{N - C_a}{2} \\ M_2 = \frac{N + C_a}{2} \end{cases} \quad (7)$$

■ نتایج و بحث

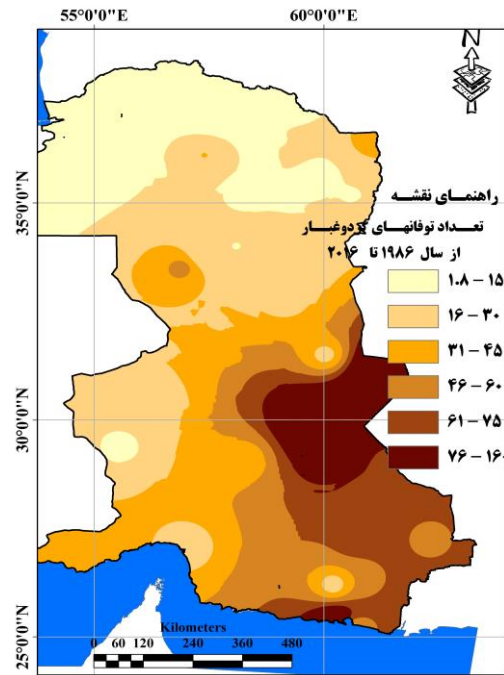
تحلیل زمانی - مکانی طوفان‌های گردوغبار

میانگین ماهانه تعداد روزهای همراه با طوفان گردوغبار شرق ایران بررسی شد (شکل ۲). ماه‌های تیر و خرداد بیشترین و ماه‌های آذر و آبان کمترین میزان فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار را داشته‌اند. با توجه به اینکه تعداد روزهای غباری در ایران با دما رابطه مستقیم و با باران رابطه معکوس دارند (۲۳ و ۱۴) این قاعده در مورد توزیع ماهانه گردوغبار در شرق ایران نیز صادق است. دوره خشک سال در این منطقه از ماه خرداد شروع می‌شود و با آغاز فعالیت برخی بادهای منطقه‌ای، فراوانی طوفان‌های گردوغبار در نیمه شرقی کشور به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش و تا شروع بارش‌های پاییزی ادامه می‌یابد. با توجه به اینکه بادهای ۱۲۰ روزه عامل اصلی وقوع طوفان‌های 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 طوفان‌های گردوغبار فراهم می‌کند. بررسی طوفان‌های غرب ایران (۷) و طوفان‌های کل ایران نیز نشان دهنده نتایج مشابه است (۲۳ و ۳۱).

نتایج پهنه بندی و توزیع پراکندگی طوفان‌های گردوغبار (شکل ۳) نشان می‌دهد که منطقه نیمه شرقی ایران در معرض گسترش مکانی طوفان‌های گردوغبار به سمت مرکز و شمال غرب کشور است، بیشترین شدت طوفان‌های گردوغبار در ایستگاه‌های جنوب شرقی ثبت شده است و به سمت مرکز و شمال غرب منطقه در حال پیشروی است. کمترین مقدار وقوع گردوغبار در ایستگاه‌های شمالی نمایان است. مقادیر ایستگاه‌های جنوب شرقی به عنوان ایستگاه‌های دارای بیشترین فراوانی طوفان گردوغبار بیانگر اختلاف بسیار زیاد با ایستگاه‌های دیگر منطقه است. برای نمونه میانگین تعداد روزهای همراه با گردوغبار در ایستگاه زاهدان بیشتر از ۸۰ روز است در حالیکه در ایستگاه‌های مناطق شمالی کمتر از ۱۵ روز است. هر چه از غرب به سمت مرکز و شرق منطقه می‌رویم بر تعداد وقوع این پدیده افزوده می‌شود. وجود خشکسالی‌های متعدد در این مناطق، کاهش پوشش گیاهی، خشک شدن دریاچه هامون، وجود بیابان‌های مارگو، ریگستان و خاش بین مرز ایران، افغانستان و پاکستان و همچنین بیابان لوت شرایط مناسبی برای فرسایش بادی و وقوع طوفان‌های گردوغبار نیمه شرقی و جنوب شرقی فراهم آورده است. این مسئله در پژوهش‌های مختلف دیگر مورد توجه و اشاره قرار داشته است (۲۷ و ۳ و ۱۴).



شکل ۲. میانگین ماهانه تعداد روزهای همراه با گردوغبار در نیمه شرق ایران



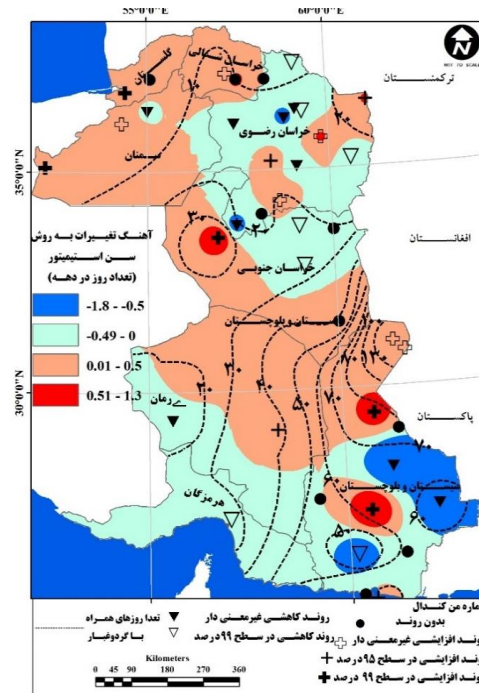
شکل ۳. پهنه بندی طوفان‌های گردوغبار منطقه طی دوره ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۶

بارش‌های مناسب، رطوبت کافی و پوشش گیاهی منطقه است (منطبق با نتایج (۲۲) در ارتباط با طوفان‌های گردوغبار در ایران).

روند تغییرات طوفان‌های گردوغبار

میانگین فراوانی و روند تغییرات سالانه تعداد روزهای همراه با طوفان گردوغبار در شرق ایران بررسی شد (شکل ۴). نتایج حاصل از آزمون من-کندال به صورت نمودار، نتایج حاصل از سنس استیمیتور به صورت پهنه‌های رنگی و فراوانی طوفان‌های گردوغبار به صورت خطوط کنتر بر روی نقشه نمایان شده است. نتایج آماره من-کندال حاکی از روند افزایشی معنی دار در سطح اطمینان ۰/۰۵ و ۰/۰۱ برای ایستگاه‌های جنوب شرقی، جنوبی، به سمت مرکز و شمال غرب و برخی ایستگاه‌های شمال شرقی بوده به گونه ای که شیب تغییرات فراوانی در این ایستگاه‌ها نیز افزایشی است. این درحالیست که روند کاهش اغلب در ایستگاه‌های واقع در بخش‌های شمال و شمالی شرق کشور محاسبه شده است که فراوانی طوفان‌های گردوغبار کمتری نیز دارند. دوری از چشمه‌های گردوغبار و قرار گرفتن در میان ارتفاعات و همچنین گسترش آبادسازی شهرها از عوامل کاهش روزهای همراه

در رابطه با الگوی گسترش طوفان‌های گردوغبار در شرق ایران می‌توان با بهره‌گیری از سه محدوده کلی به تفسیر این نتایج پرداخت. دسته اول که تعداد روزهای بیشتری به خود اختصاص داده‌اند و بیشتر در طبقه ۵ و ۶ قرار گرفتند مربوط به طوفان‌های گردوغباری منطقه سیستان و دریاچه هامون بود که این سطح خشک با رسوبات بسیار ریز؛ به علاوه بادهای شدید منطقه سیستان، وجود خشکسالی‌های پی در پی و تغییرات کاربری اراضی، مجموعه فعالی را به وجود آوردند که موجب شدیدترین و طولانی‌ترین طوفان‌های گردوغبار شدند (۲۲ و ۲۹). دسته دوم شامل مناطق مرکزی کشور است که طبقه ۲ و ۳ و ۴ را به خود اختصاص می‌دهند، این مناطق شامل بخش‌های شرقی استان کرمان، خراسان جنوبی، جنوب خراسان رضوی است که به صورت محلی دارای پتانسیل بالای تولید گردوغبار هستند. این مناطق به دلیل وضعیت خاص توپوگرافی، وجود خشکسالی و رسوبات ریزدانه دارای روند افزایشی گردوغبار هستند (۲۶). دسته سوم مناطق شمال و شمال غرب منطقه مورد مطالعه که طبقه ۱ را به خود اختصاص داده‌اند و نسبت به سایر طبقه‌های ذکر شده، طوفان‌های گردوغبار کمتری دارند که علت آن نزدیکی به دریای خزر، وجود



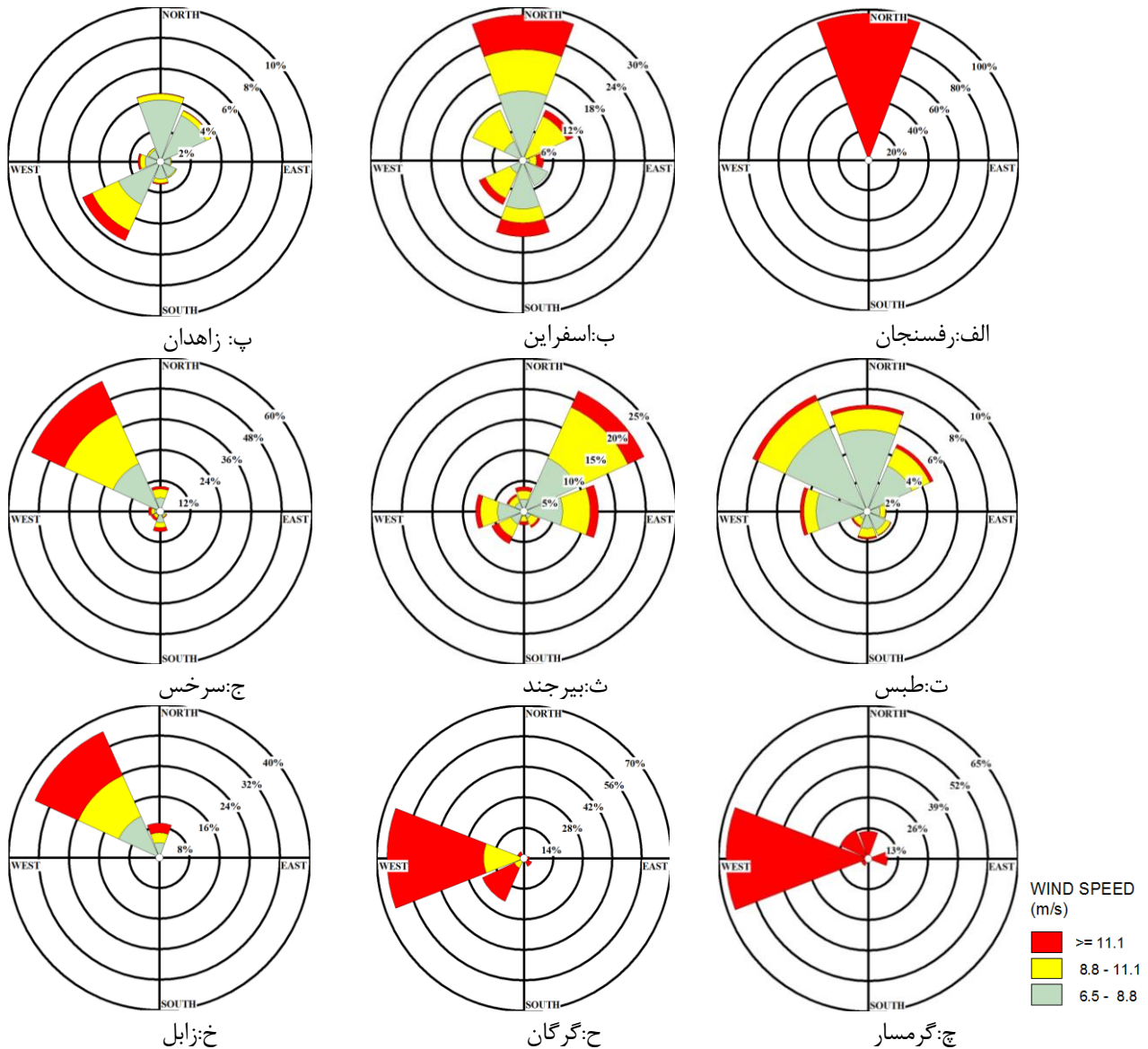
شکل ۴. روند تغییرات طوفان‌های گردوغبار در ایستگاه‌های منطقه

کاهش آستانه فرسایش پذیری خاک سطحی در مقابل باد باشد (۷).

تحلیل گل‌غبارهای منطقه شرق ایران

به منظور بررسی طوفان‌خیزی در یک منطقه از نمودار گرافیکی گل‌غبار استفاده گردید که در آن مقدار سرعت آستانه ایجاد طوفان در منطقه ۶/۵ متر بر ثانیه تعیین شد. گل‌غبار نوعی گلباد است که بین کالبد فضایی باد و زمین پیوند برقرار کرده و با دخالت سرعت آستانه فرسایش‌پذیری خاک، بادهای موثر در شکل‌گیری طوفان-های گردوخاک را نسبت به بقیه بارز می‌سازد؛ به عبارت دیگر گل‌غبار، گلبادی با سرعت بیش از سرعت آستانه فرسایش بادی خاک یا رخساره مورد نظر است (۳۰). بر اساس (شکل ۵) بادهای شکل‌دهنده‌ی طوفان‌های گردوغبار بیشتر در جهت‌های جغرافیایی 30° تا 70° در جهت چرخش عقربه‌های ساعت، شرق ایران را مورد تهاجم خود قرار می‌دهند و در برخی موارد دید افقی را به زیر ۲۰۰ متر کاهش داده و موجب خسارت‌های زیادی به ویژه آلودگی هوا و فرسایش خاک برای مناطق جنوب شرقی می‌شود؛ که با نتایج (۲۰۲۹) مطابقت دارد. در این میان سمت وزش از جهات شمال غرب تا شمال شرق به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از بقیه جهت‌ها است.

با گردوغبار در مناطق شمالی هستند. در برخی از ایستگاه‌های جنوب شرقی با وجود تعداد طوفان‌های گردوغبار بیشتر، روند افزایشی غیرمعنی‌دار از خود نشان دادند. این در حالی است که بیشتر ایستگاه‌های شمالی روند کاهش معنی‌داری را نشان داده‌اند و جهت شیب تغییرات نیز در آنها کاهش است. آهنگ تغییر فراوانی روزهای همراه با گردوغبار سالانه در شرق ایران در مناطق مختلف بین $-1/8$ تا $1/35$ روز در دهه متفاوت بوده است. میدلتون (۱۹۸۶) عقیده دارد منابع اصلی گردوغبار در جنوب غرب آسیا در مناطق مرزی بین ایران، پاکستان و افغانستان وجود دارد، در پژوهش‌هایوی نشان داده شده که از حدود ۸۱ طوفان گردوغبار تولید شده در جنوب غرب آسیا در هر سال بیش از ۳۰ مورد از سیستان بوده است (۲۱). بالاترین سرعت افزایش فراوانی در مناطق شرقی و مرکزی و نیمه‌های شمال غربی منطقه مورد مطالعه است. این موضوع نشان می‌دهد محدوده جغرافیایی فعالیت طوفان‌های گردوغبار در شرق ایران در حال افزایش است و به سمت شمال و مرکز شرق ایران در حال گسترش است. این امر می‌تواند ناشی از گسترش بیابان‌زایی، تغییرات پوشش گیاهی و تغییرات آب و هوایی و هر عامل موثر دیگر در



شکل ۵. گل غبار ایستگاه‌های نیمه شرقی ایران طی دوره ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۶

شهرستان سبزواری (۲۴) و امیدوار و امیدوی (۲۰۱۳) در تحلیل پدیده گرد و غبار در جنوب و مرکز استان فارس مطابقت دارد (۲۵).

نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر افزایش چشمگیر وقوع طوفان‌های گردوغبار به ویژه در شرق و جنوب شرق ایران مشکلات زیادی را برای ساکنین این نواحی ایجاد کرده است، با توجه به اهمیت این موضوع، در پژوهش حاضر برای دستیابی به یک دید کلی از طوفان‌های گردوغبار و پراکندگی تغییرات مکانی و زمانی آنها و همچنین شناخت عوامل موثر در شکل‌گیری آن در نیمه شرقی

ایستگاه‌های واقع در شمال غربی منطقه شامل گرگان و گرمسار (شکل ۵ چ و ج) جهت بادهای طوفان‌زا را متفاوت از سایر ایستگاه‌ها نشان دادند. جهت غبار غالب در ایستگاه گرگان و گرمسار 260° تا 280° در جهت عقربه‌های ساعت می‌باشد که با نفوذ جریان‌های غربی و مدیترانه‌ای و وزش بادهای شدید حامل طوفان به منطقه سازگار است. با توجه به جهت‌های وزش و سرعت بادهای همراه با طوفان‌های گردوغبار در منطقه، ایستگاه‌های منطقه هم از طوفان‌های گردوغباری منتقل شده از چشمه‌های گردوغبار خارج از ایستگاه و هم طوفان‌های شکل گرفته در خود محل برخوردار است که با نتایج امیدوار و نکونام (۲۰۱۱) در بررسی گل غبارهای

شده در بیشتر ایستگاه‌ها اغلب از نوع طوفان‌هایی است که در خود محل شکل می‌گیرند. چراکه بیشتر سرعت باد بیش از ۶ متر بر ثانیه است. همچنین جهت باد غالب در اکثر منطقه شمال غربی تا شمال شرقی می‌باشد که هم-جهت با وزش بادهای ۱۲۰ روزه می‌باشد. شدت وزش این بادهای به قدری زیاد است که به صورت امواج هوایی سریع به حرکت در می‌آید و در مسیر خود باعث قطع درختان، خرابی ساختمان‌ها و فرسایش شدید خاک می‌شوند. یکی از راهکارهای مناسب به منظور مقابله با فرسایش بادی در منطقه مورد مطالعه احداث بادشکن در مسیر بادهای غالب شمال غربی تا شمال شرق منطقه است.

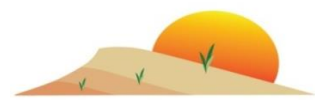
ایران، بررسی‌های آماری انجام گرفت. با توجه به نتایج به-دست آمده، بیشترین رخداد پدیده گردوغبار در ایام گرم سال در ماه‌های تیر و خرداد رخ می‌دهد. از شمال به سمت جنوب و جنوب شرق منطقه مورد مطالعه مقدار و شدت رخداد گردوغبار افزایش می‌یابد. شرایط جغرافیایی نقش تعیین کننده‌ای در کاهش تعداد روزهای گردوغباری منطقه دارد. بحرانی‌ترین منطقه از نظر رخداد گردوغبار، استان سیستان و بلوچستان است. در مقیاس سالانه در پدیده روزهای گردوغباری در جنوب شرق منطقه مورد مطالعه روند افزایشی معنی داری وجود دارد. شواهد بررسی بادهای همراه با طوفان‌های گردوغبار نشان‌دهنده این است که طوفان‌های گردوغبار مشاهده

■ References

- Ahmadi, Z., Doostan, R., & Mofidi. A. (2014). An Analysis of Semi-arid of the Year in South Khorasan Province. *Natural History Series*, 18 (29), 61-41 (in Farsi).
- 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.
- Aljani, B., & Raispour. K. (2011). Statistical, Synoptical analysis of Sand Storms in SE Iran (Study Case: Region of Sistan), *Arid Regions Geographics Studies*, 2(5), 132-107 (in Farsi).
- Cannarozzo, M., Noto, L. V., & Viola. F. (2006). Spatial Distribution of Rainfall Trends in Sicily, *Physics and Chemistry of the Earth*, No. 31, 1201-1211.
- Du, M., Seiichiro, Y., Shen, Z., Shen, Y., Wang, W., & Maki. T. (2002). Wind Erosion Processes during Dust Storm in Dunhuang, China. In the Editorial Committee (Ed.d), *Proceedings 12th International Soil Conservation Organization Conference – Dynamic Monitoring, Forecasting and Evaluation of Soil Erosion Watershed Management and Development Desertification Control*. Tsinghua University, China, 624 – 629.
- Farajzadeh ASI, M., & Alizadeh. Kh. (2011). Spatial Analysis of Dust storm in Iran, *Spatial Planning*, 15(1), 65-84 (in Farsi).
- Ganor, E. Osetinsky, I., Stupp, A., & Pinhas. A. (2010). Increasing trend of African dust, over 49 years, in the eastern Mediterranean. *Geophysical Research: Atmospheres*, D7 (115), 1-7 (in Farsi).
- GanorGoudie, A., (2014). Review Desert dust and human health disorders. *Environment International*, 63(3), 101-113.
- Gautam, R., Liu, Z., Singh, R. P., & Hsu. N, C. (2009). Two contrasting dust-dominant periods over India observed from MODIS and CALIPSO data. *Geophysical Research. Letter*, 36(6), 1-5, L06813, doi: 10.1029/2008GL036967.
- 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 No (3)*, 1-26.

12. Hahnenberger, M., & Kathleen. N. (2014). Geomorphic and land cover identification of dust sources in the eastern Great Basin of Utah, U.S.A. *Geomorphology of Desert Environments*, 204(2), 657-672.
13. 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. *Atmospheric Sciences*, 67(4), 1048-1065.
14. Heidari Naseb, M. (2008). The role of wind in the creation of Sistan landslide windforms, Master's thesis for Climatology, Sistan and Baluchestan University: 178 pages (in Farsi).
15. Hirsch, R.M., Slack, J.R., & Smith. R.A. (1982). Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resources*, 18(1), 107-121.
16. Juraj M. C., & Taha. B. M. J. O. (2009). Trends in the Timing and Magnitude of Floods in Canada, *Hydrology*, 375(3), 471-480.
17. Kang, L., Huang, J., Chen, S., Wang, X. (2016). Long term trends of dust events over Tibetan Plateau during 1961-2010, *Atmospheric Environment*, 125, 188-198.
18. 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(2), 46-63.
19. 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.
20. McMahan, H. (1906). Recent survey and exploration in Seistan. *Geographical*, 28(4), 209-228.
21. Middleton, N.J. (1986). Dust storms in the Middle East. *Arid Environments*. 10, 83-96.
22. Mohammad Khan, Sh. (2016). Investigating the Status and Changes Dust Storm in Iran between 1985 and 2005, *Rangeland and Watershed Management*, 70(2), 514-495.
23. Mohammadi, G. H. (2015). Analysis of Atmospheric Mechanisms in Dust Transport over West of Iran., Ph.D Thesis, Tabriz University, p 142 (in Farsi).
24. Omidvar, K., & Nekounam. Z. (2011), An Application of Wind Rose and Dust Rose in the Analysis of Dust Phenomenon and Determining the Seasonal Regime of Dust Winds (Case Study: Sabzevar City) , *PHysical Geography Research Quarterly*, 76, 104-85.
25. Omidvar, K., & Omid. Z. (2013), The Analysis of Dust Phenomenon in the Southern and Central Fars Province, *Management System*, 1, 114-85 (in Farsi).
26. 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.
27. 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.
28. Rezazadeh, M., Irannejad, P., & Shao. Y. (2013). Climatology of the Middle East dust events. *Aeolian Research*, 10, 103-109.
29. Saligheh, M., Khosravi, M., & Pudineh. I. (2010), The Effects of Local Changes Climate in Lake Hamoon in Sistan, *Fourth International Congress of Geographers of the Islamic World*, Zahedan, 1-15 (in farsi).
30. Saremi Naeini, M. (2016), Estimation of the Frequency of Speed and Direction of the Erosive Winds and Dust storms in the Yazd Province, by Using Windrose, Stormrose and Sandrose, *Desert Management*, 8, 96-106, (in Farsi).
31. Sari Sarraf, B., Rasouli1, A. A., Mohammadi GH. H., & Hoseini Sadr. A. (2016). Long-term trends of seasonal dusty day characteristics—West Iran, *Geoscience*, 9(563), 1-10.
32. Sen, P.K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau, *American Statistical Association*, 63, 1379-1389.

33. Shao, Y., Wyrwoll, K.H., Chappell, A., Huang, J., Lin, Z., & McTainsh, G.H. (2011). Dust cycle: an emerging core theme in Earth system science, *Aeolian Research*, 2(4), 181–204.
34. 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.
35. Tavoosi, T., & Zahraei, A. (2014), Sistan and Balouchestan Province Based on Extrapolation of Time Series Curves, *Management System*, 1(1), 157 -139.
36. Theil, H. (1950). A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis, I. *Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie Wetenschappen*, Series a Mathematical Sciences, 53, 386-392.
37. Topaloglu, F. (2006). Regional trend detection of Turkish river flows. *Nord Hydrology*. 37(2), 165–182.
38. 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.
39. 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.
40. 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*, 59-62.
41. Weihong, Q., Lingshen, Q., & Shaoyin, Sh. (2001). Variations of the dust storm in China and its climatic control. *climate*. 15, 144-168.
42. Wilkerson, W. D. (1991), Dust and Sand Forecasting In Iraq and Adjoining Countries, AWS/TN—91.001, Air Weather Service, Scott Air Force Base, IL, 72 pp. [Available from, USAF Environmental Technical Application Center, Scott Air Force Base, IL 62225 . 5008].
43. Xu, X., Levy, J K..., Zhaohui, L., & Hong, Ch. (2006). An investigation of sand–dust storm events and land surface characteristics in China using NOAA NDVI data, *Global and Planetary Change*, 52, 182–196.
44. Yue, S., Pilon, P., & Cavadias, G. (2002). Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Hydrology*, 259, 254–271.
45. Zaiontz, C. (2015). Real Statistics Using Excel. www.real-statistics.com.
46. Zanganeh, M. (2014), Climatological Analysis of Dust Storms in Iran, *Applied Climatology*, 1(1), 1-12 (in Farsi).
47. Zeinali, B (2016), Investigation of frequency changes trend of days with dust storms in western half of Iran, *Natural Environment hazards*, 5(7), 87-100 (in Farsi).



Analysis and Clustering of Dust Storms in Eastern of Iran

Z.Yarmoradi¹, B.Nasiri^{2*}, M.Karampour³, G. H. Mohammadi⁴

1. Ph.D. in Climatology, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
2. Associate Professor, Department of Climatology, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Climatology, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
4. Meteorological Expert of East Azarbaijan, Tabriz

* Corresponding Author: Nasiri.b@lu.ac.ir

Received date: 23/04/2018

Accepted date: 24/09/2018

Abstract

One of the most common and destructive phenomena in arid and desert regions is dust which can have negative effects on the environment. Eastern half of the country has always been exposed to this phenomenon due to its geographical location and even to 120-day winds. The present study aims analyze and Clustering dust storms in eastern of Iran. For this purpose, hourly data of dusty days, phenomena code, horizontal visibility, wind direction, speed and current weather of 17 weather stations in eastern Iran during period of 1986 to 2016 were used. Dust storm codes were used for statistical analysis. Then, trend type and value were detected using Mann-Kendall (MK) and Sen's estimator tests Using WRPLOT View, dust rose of the area was drawn. Results showed that the frequency of dust storms in July was the highest and the lowest occurred in December. The intensity and distribution of dust in the south-east of the region was more than other regions. Results of MK test suggested a significant increase in southeast, central and northwest stations, while most stations in north part of the region showed a significant decrease. Dust rose results also probes the direction and speed of winds causing dusty storm were different in east and west of the region. The direction of wind causing dusty storm in the eastern half is between 70° to 300°, while in western part of the region, wind blows between 260° to 280° geographic coordinate system at speed of more than 11 m/s.

Keywords: 120 day wind; Dust Rose; storm winds; Frequency