

بررسی تغییرات شدت و دامنه تأثیر طوفان‌های همراه با گردوغبار در دشت

سیستان

محدثه میر^۱، سعیده ملکی^{۲*}، وحید راهداری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۱

چکیده

طوفان‌های همراه با گردوغبار از جمله مهم‌ترین معضلاتی هستند که در سال‌های اخیر بخش بزرگی از کشور را تحت تأثیر قرار داده است. دشت سیستان نیز به شدت تحت تأثیر منفی این طوفان‌هاست. در این مقاله، تغییرات شدت و دامنه تأثیر طوفان‌های گردوغبار، تغییرات سرعت باد و تغییرات پارامترهای اقلیمی به منظور طراحی اقدامات مدیریتی در مقابل طوفان‌های گردوغبار بررسی شده است. شاخص دمای روشنی اجسام برای تعیین محدوده تأثیرگذار طوفان‌ها در سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۸۳، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷ به دست آمد و تغییرات آن مشخص شد. روند تغییرات متوسط بارندگی و دمای سالیانه به‌عنوان پارامترهای اقلیمی در دوره زمانی ۱۳۵۶ تا ۱۳۹۷ توسط آزمون من کندال بررسی شد. نتایج این مطالعه نشان داد که شدت طوفان‌های گردوغبار و محدوده تأثیر طوفان‌ها افزایش یافته است. اما سرعت باد تغییرات زیادی نداشته است. آزمون من کندال نشان داد بارندگی کاهش و دما افزایش یافته است. متوسط سالیانه دما از محدوده ۲۲-۲۳ درجه سانتی‌گراد در دهه ۷۰ به ۲۴-۲۵ درجه سانتی‌گراد در دهه اخیر و متوسط سالیانه بارندگی در دوره مطالعه نصف شده است. علاوه بر این، شدت طوفان‌ها افزایش یافته و فراوانی روزهای دارای گردوغبار دو برابر شده است. از سوی دیگر، محدوده بیشتری تحت تأثیر این ریزگردهاست. نتایج این مقاله بر اهمیت برنامه‌ریزی بلندمدت برای مواجهه با این طوفان‌ها تأکید دارد تا بتوان از زندگی مردم محلی محافظت کرد؛ زیرا با خشک‌تر شدن منطقه، پتانسیل خیزش ذرات ریز همراه با بادهای ۱۲۰ روزه سیستان بیشتر می‌شود.

کلیدواژه‌ها: آزمون من کندال، شاخص دمای روشنی اجسام، میانگین سالیانه دما و بارندگی، سنجش از دور.

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل

۲. استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، نویسنده مسئول؛ smaleki@uoz.ac.ir

۳. استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد است.

مقدمه

طوفان گردوغبار پدیده‌ای است که به مرزهای سیاسی و طبیعی محدود نمی‌شود و منطقه وسیعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این مسئله باعث بروز بیماری‌های تنفسی، تخریب زمین‌های کشاورزی و ایجاد آسیب جدی در زیرساخت‌های مناطق تحت تأثیر این طوفان‌ها می‌شود که علاوه بر خسارت‌های مالی باعث بروز خسارات جانی می‌شود (میدلتون، ۲۰۱۹؛ کیانی و همکاران، ۲۰۱۲). دشت سیستان در شرق ایران از جمله مناطقی است که به شدت تحت تأثیر پیامدهای منفی این طوفان‌ها قرار گرفته است. بادهای ۱۲۰ روزه سیستان که در زمان پرآبی تالاب تعدیل‌کننده گرمای هواست، در زمان خشکی تالاب، تبدیل به ابزاری برای حمل رسوبات ریزدانه و سبک این منطقه و ایجاد معضلات بسیاری نه تنها برای دشت سیستان بلکه منطقه‌ای وسیع شامل استان سیستان و بلوچستان، کشورهای افغانستان، پاکستان و عمان شده است (پیری و همکاران، ۲۰۱۳؛ میری و همکاران، ۲۰۰۹).

پدیده طوفان‌های همراه با گردوغبار از دو جنبه اصلی قابل بررسی است: گروه اول مطالعات به بررسی تغییرات مکانی، زمانی و دفعات و شدت وقوع آن به دلیل اهمیت برای مدیریت تأثیرات منفی آن‌ها می‌پردازد و گروه دوم به بررسی طوفان‌های گردوغبار در ارتباط با پارامترهای اقلیمی؛ که این نتایج به منظور پیش‌بینی وقوع این طوفان‌ها دارای اهمیت است. به دلیل افزایش فراوانی وقوع طوفان‌های همراه با گردوغبار و خسارات ناشی از آن‌ها مطالعات زیادی در این زمینه صورت گرفته است. تغییرات زمانی طوفان‌های گردوغبار خرم‌آباد از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۵ توسط قویدل و همکاران (۲۰۱۸) بررسی شد. نتایج این مطالعه نشان داد که در اغلب ماه‌های سال و سه فصل بهار، تابستان و پاییز و همچنین در بازه سالانه، تغییرات زمانی فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغباری ایستگاه خرم‌آباد معنی‌دار بوده و با شیب نسبتاً زیادی در حال افزایش است. ولی و روستایی (۲۰۱۸) تحلیل روند فرسایش بادی را با استفاده از مقادیر استانداردشده شاخص طوفان گردوغبار شامل طوفان گردوغبار شدید، طوفان گردوغبار متوسط و طوفان محلی در

ایران مرکزی طی ۳۰ سال مطالعه کردند. این مطالعه، تشدید فرسایش بادی در سال‌های اخیر را در مرکز ایران نشان داد. بابایی و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی زمانی و مکانی وقوع طوفان‌های گردوغبار در غرب ایران نشان دادند که اکثر ایستگاه‌ها دارای روند صعودی در فراوانی وقوع گردوغبار هستند و فقط دو ایستگاه قزوین و خرمدره روند نزولی دارند. به منظور مطالعه پارامترهای اقلیمی در ارتباط با طوفان‌های گردوغبار در غرب کشور، ذوالفقاری و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی گردوغبارهای مناطق غربی ایران گزارش کردند که یک سامانه کم‌فشار روی منطقه خاورمیانه باعث تقویت شرایط ناپایداری در سطح بیابان‌ها شده که زمینه‌ساز انتقال ریزگردها به غرب ایران را فراهم می‌آورند. یاراحمدی و همکاران (۲۰۱۲) تأثیر نوسانات آب‌وهوایی بر وقوع طوفان‌های همراه با گردوغبار در غرب و جنوب غرب ایران را بررسی کرده به این نتیجه رسیدند که در سال‌های اخیر، میزان متوسط بارش سالانه، کاهش و میزان دما، سرعت باد و تعداد روزهای گردوغبار افزایش یافته است. خوش‌کیش و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه سینوپتیکی گردوغبارهای لرستان در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ مشخص کردند که در سامانه‌های گردوغبار فصل سرد سال، الگوی همبستگی تراز میانی جو و در سامانه‌های گردوغبار فصل گرم سال، سیستم‌های فشار سطح زمین عامل اصلی وقوع پدیده گردوغبار هستند.

برای مطالعات طوفان‌های گردوغبار در شرق کشور (فرج‌زاده و علیزاده، ۲۰۱۱) با مطالعه تعداد روزهای طوفانی در کشور، نشان دادند که ایستگاه زابل بیشترین تعداد روزهای طوفانی گردوغبار را دارد و پس از آن ایستگاه‌های زاهدان، بوشهر، طبس، بندرعباس، جاسک، ایرانشهر، همدان و اهواز به ترتیب بیشترین فراوانی‌ها را دارند. ارجمند و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی طوفان‌های همراه با گردوغبار در منطقه جازموریان نشان دادند که عمده گردوغبار در منطقه جازموریان در دو فصل بهار و تابستان اتفاق می‌افتد و به ترتیب در فصل زمستان و پاییز از شدت آن کاسته می‌شود.

اهمیت بین‌المللی این طوفان‌ها باعث شده است که این مسئله در سایر نقاط دنیا نیز مورد مطالعه قرار بگیرد. میدلتون و

تغییرات دامنه مناطق تحت تأثیر ریزگردها و همچنین ارتباط این طوفان‌ها با تغییرات پارمترهای اقلیمی مسائلی هستند که در مطالعات قبلی به‌طور همزمان بررسی و در ارتباط با یکدیگر مطالعه نشده‌اند. این تغییرات و ارتباط آن‌ها به‌منظور مدیریت صحیح منطقه برای مواجهه با مشکلات ناشی از طوفان‌های گردوغبار، از اهمیتی ویژه برخوردار است. به همین منظور در این مطالعه، تغییرات منشأ و دامنه طوفان‌های همراه با ریزگردها و همچنین تغییرات شدت طوفان‌های گردوغبار در دشت سیستان، تغییرات سرعت باد و روند تغییرات پارمترهای اقلیمی بررسی شد. در نهایت، این تغییرات با یکدیگر مقایسه شد و الگوی این طوفان‌ها در ارتباط با تغییرات پارمترهای اقلیمی مشخص گردید.

منطقه مورد مطالعه

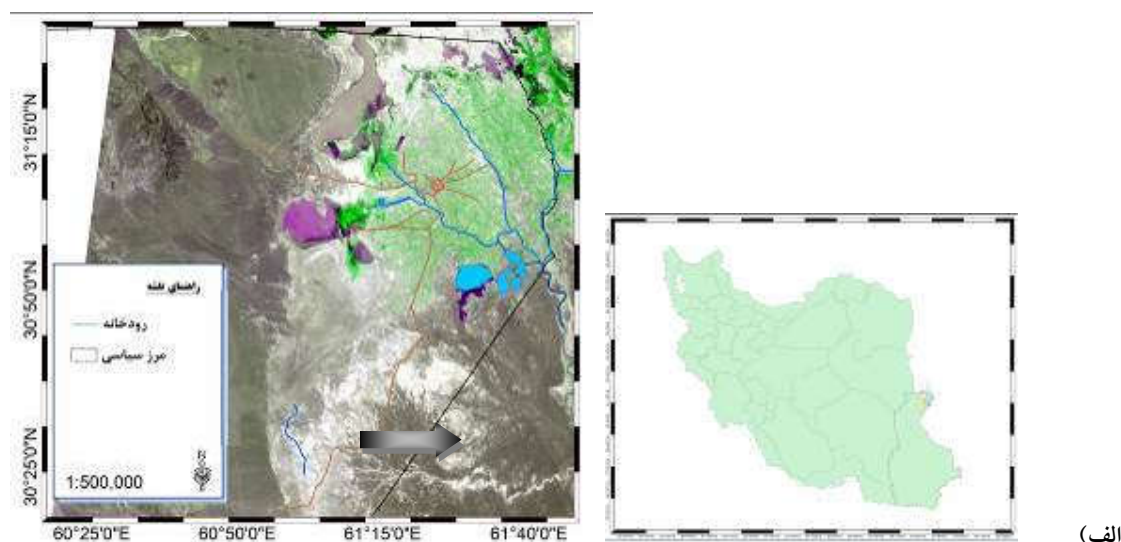
دشت سیستان در شرق ایران در شمال استان سیستان و بلوچستان در محدوده ۱۸' ۳۰° تا ۲۰' ۳۱° عرض شمالی و ۱۰' ۶۱° تا ۵۰' ۶۱° طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). متوسط ارتفاع این دشت از سطح دریا ۴۸۰ متر است. اقلیم منطقه به روش دومارتن فوق خشک است (شامحمدی و ملکی، ۲۰۱۱). میانگین بارش سالانه آن ۵۷ میلی‌متر و دمای آن از ۹/۵- تا ۴۹ درجه سانتی‌گراد متغیر است. مهم‌ترین منبع آب دشت سیستان تالاب هامون است که از سه بخش شامل هامون هیرمند در مغرب و جنوب غربی/هامون صابری در شمال غربی و هامون پوزک در شمال شرقی سیستان است. در زمان خشک شدن تالاب، بستر خشک دریاچه منبع اصلی گردوغبار است. بادهای ۱۲۰ روزه سیستان که به‌طور طبیعی در زمان پرآبی تالاب باعث تعدیل گرمای هوا می‌شود، در زمان خشکسالی رسوبات ریز را از بستر خشک دریاچه‌ها تا مسافت طولانی منتقل می‌کند (میری و همکاران، ۲۰۰۹). سرعت این بادهای به بالاتر از ۱۰۰ کیلومتر در ساعت نیز می‌رسد که حجم زیادی از رسوبات را از سطح دریاچه برداشت کرده و طی غربالگری به‌صورت گردوخاک یا ماسه بر سطح شهر زابل و روستاهای اطراف فرو می‌ریزد که باعث آسیب به مناطق مسکونی و اراضی کشاورزی، تخریب زیرساخت‌ها و آسیب به سیستم حمل و نقل باعث بیماری‌های مختلف در مردم منطقه می‌شود (شکل ۱).

یدچنگ^۱ (۲۰۱۷) کانون‌های اصلی طوفان‌های گردوغبار در دنیا را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که شدت طوفان‌های همراه با گردوغبار در دنیا در حال افزایش است. طوفان‌های گردوغبار در عراق نیز به‌عنوان یکی از کشورهایی که با این مسئله مواجه است، مورد توجه پژوهشگران مختلفی قرار گرفته است که تمامی آن‌ها نشان‌دهنده افزایش شدت و فراوانی این طوفان‌ها در عراق بوده‌اند (سیساکیان و همکاران ۲۰۱۳؛ البرکاتی و لاکشمی، ۲۰۱۹). شریعانی و همکاران (۲۰۱۵) طوفان‌های همراه با گردوغبار را در منطقه خاورمیانه بررسی کردند. در این مطالعه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای طوفان‌های گردوغبار بررسی شد که نتایج نشان‌دهنده افزایش شدت طوفان‌های و تعداد روزهای طوفانی است. ونگ^۲ (۲۰۰۷) طوفان‌های گردوغبار را در مقیاس جهانی مورد مطالعه قرار دادند؛ این مطالعات نیز نشان‌دهنده افزایش طوفان‌ها با کاهش رطوبت و پوشش گیاهی است. آن^۳ و همکاران (۲۰۱۸) ارتباط مثبت بین ارتفاع و گردبادهای قطبی و کاهش شدت طوفان‌ها را نشان دادند.

مسئله طوفان‌های همراه با گردوغبار در دشت سیستان هرساله در زمان خشک بودن تالاب‌ها مونس باعث بروز بیماری‌های تنفسی، آسیب به مناطق مسکونی و اراضی کشاورزی و زیرساخت‌های منطقه شده است. بنابراین مطالعه روند وقوع این طوفان‌ها در ارتباط با پارمترهای اقلیمی از اهمیتی ویژه برخوردار است. میری و همکاران (۲۰۲۱) به مطالعه تغییرات زمانی و فراوانی وقوع این طوفان‌ها در دشت سیستان پرداخته‌اند. راشکی و همکاران (۲۰۱۴) تغییرات زمانی- مکانی این طوفان‌ها را بررسی کردند. گوهری و همکاران (۲۰۰۹) تراکم نسبی غبار را در این منطقه مورد مطالعه کردند. دانش شهرکی و همکاران (۲۰۱۷) تغییرات نسبت گردوغبار حمل‌شده در دشت سیستان و ارتباط میزان گردوغبار با برخی پارمترهای اقلیمی به‌صورت فصلی را مشخص کردند.

اما روند تغییرات فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار، تغییرات سرعت باد، تغییرات کانون‌های برداشت ریزگردها و

1. Middleton and Utchang
2. Wang
3. An



(الف)



(ب)

شکل (۱): الف. منطقه مورد مطالعه: ب. طوفان‌های همراه با گردوغبار در دشت سیستان (تصاویر از محمد دهدشتی)

Figure (1): a. Study area; b. Sand and dust storm and infrastructures in Sistan (photo: Mohammad Dehdashti)

داده‌های جمع‌آوری شده

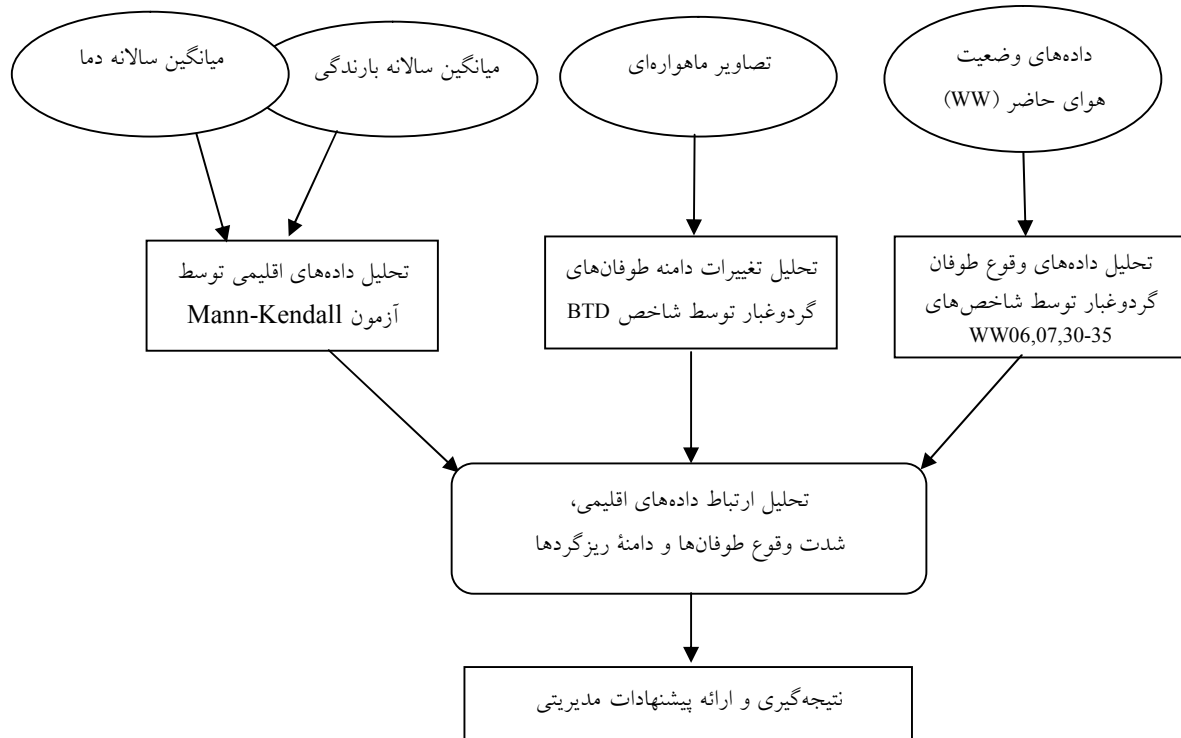
داده‌ها از سایت سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. به‌منظور تهیه نقشه دامنه و مسیر تأثیر طوفان‌های همراه با گردوغبار از تصاویر ماهواره‌ی لندست مربوط به سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۸۳، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷ استفاده شد (جدول ۱). این تصاویر از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکایی (<https://earthexplorer.usgs.gov>) به‌طور رایگان دانلود شد.

داده‌های مورد استفاده شامل داده‌های هواشناسی و تصاویر ماهواره‌ای است. میانگین متوسط بارندگی سالیانه، میانگین متوسط دمای سالیانه، میانگین سرعت باد، داده‌های بلندمدت ساعتی و شدت طوفان‌های همراه با گردوغبار داده‌های هواشناسی هستند که در این مطالعه استفاده شده است. این

روش کار

در این مطالعه به‌منظور بررسی روند تغییرات طوفان‌های همراه با گردوغبار در دشت سیستان، تغییرات شدت طوفان گردوغبار و همچنین پارامترهای اقلیمی در دشت سیستان با استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه زابل بررسی گردید و تغییرات منشأ و دامنه طوفان‌های همراه با ریزگردها در تاریخ‌های مذکور در جدول (۱) برای سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۸۳، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷ مشخص شد. در نهایت تغییرات شدت طوفان‌های گردوغبار و تغییرات دامنه طوفان‌ها با تغییرات پارامترهای اقلیمی مقایسه شد. مراحل انجام این تحقیق به‌صورت زیر است (شکل ۲).

تحلیل داده‌های وقوع طوفان‌های همراه با گردوغبار



شکل (۲): روش کار
Figure (2): Method

جدول (۱): تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این مطالعه

Table (1): Satellite images used in this study

تاریخ برداشت تصویر Acquisition date	ماهواره Satellite	قدرت تفکیک مکانی Spatial resolution	قدرت تفکیک رادیومتریکی Radiometric resolution	قدرت تفکیک طیفی Spectral resolution	قدرت تفکیک زمانی Temporal resolution
۱۳۸۰/۴/۲۷	Landsat-5	۳۰ متر	۸ بیت	۷ بانده	۱۶ روز
۱۳۸۳/۴/۶	Landsat-7	۳۰ متر و ۱۵ متر	۸ بیت	۸ بانده	۱۶ روز
۱۳۹۲/۶/۸	Landsat-8	۳۰ متر و ۱۵ متر	۱۲ بیت	۱۱ بانده	۱۶ روز
۱۳۹۷/۵/۲۱	Landsat-8	۳۰ متر و ۱۵ متر	۱۲ بیت	۱۱ بانده	۱۶ روز

جدول (۲): کدهای هوای حاضر که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت (۱۶)

طوفان گرد و خاک	WW
Sand and dust storm	
گردوغبار معلق در هوا که مسافت زیادی را پوشانده است.	WW=06
گردوغبار یا ماسه‌ای که در محل ایستگاه بلند شده است.	WW=07
طوفان، ملایم یا متوسط گرد و خاک یا شن - طی ساعت گذشته از شدت طوفان کاسته شده است.	WW=30
طوفان، ملایم یا متوسط گرد و خاک یا شن - طی ساعت گذشته شدت طوفان تغییر نکرده است.	WW=31
طوفان، ملایم یا متوسط گرد و خاک یا شن - طی ساعت گذشته بر شدت طوفان افزوده شده است.	WW=32
طوفان شدید، گرد و خاک یا شن - طی ساعت گذشته از شدت طوفان کاسته شده است.	WW=33
طوفان شدید، گرد و خاک یا شن - طی ساعت گذشته شدت طوفان تغییر نکرده است.	WW=34
طوفان شدید، گرد و خاک یا شن - طی ساعت گذشته بر شدت طوفان افزوده شده است.	WW=35

تغییرات دامنه طوفان‌های گردوغبار

سنجش از دور از کارآمدترین روش‌های مطالعه طوفان‌های گردوغبار در محدوده‌های جغرافیایی وسیع است (تگن^۱، ۲۰۰۳). در این مطالعه از تصاویر ماهواره لندست برای مطالعه طوفان‌های گردوغبار استفاده شد. شاخص‌های مختلفی برای این منظور مورد استفاده قرار گرفته اما یکی از پرکاربردترین آن‌ها، دمای روشنی اجسام^۲ (BTD) است که برای تعیین مسیر و کانون‌های انتقال ریزگردها در تالاب هامون انتخاب شد. فرمول مورد استفاده برای این شاخص عبارت است از:

$$BTD = K2 / Ln ((K1/L) + 1) \quad (\text{Shahraiyini et al. 2015})$$

رابطه (۱)

$K1, K2 =$ اعداد ثابت هستند که از متادیتای تصاویر لندست استخراج می‌شود.

$$L = \text{رادیانس باند حرارتی لندست}$$

بر اساس داده‌های به‌دست‌آمده از سازمان هواشناسی و همچنین آرشیو تصاویر ماهواره لندست، روزهای طوفانی در سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۸۳، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷ انتخاب شد. سپس با استفاده از شاخص دمای روشنی اجسام و اعمال طبقه‌بندی مجدد بر روی این شاخص مسیرها و دامنه طوفان تعیین شد. با استفاده از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی تغییرات دامنه این طوفان‌ها مورد مطالعه قرار گرفت.

تحلیل داده‌های اقلیمی

پارامترهای میزان بارندگی سالیانه و میانگین سالانه دما به‌عنوان پارامترهای اقلیمی مورد استفاده قرار گرفت. برای بررسی روند تغییرات بارندگی و میانگین سالیانه دما در طی سال‌های ۱۳۵۶ تا ۱۳۹۷ از آزمون من کندال استفاده شد. آزمون من کندال جزء متداول‌ترین و پرکاربردترین روش‌های ناپارامتریک تحلیل روند سری‌های زمانی به شمار می‌رود. با استفاده از این روش تغییرات داده‌ها شناسایی، نوع و زمان آن مشخص می‌گردد.

آزمون من کندال در بررسی معنی‌داری روند سری‌های اقلیمی در موارد مختلف استفاده شده است. فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در داده‌ها می‌باشد (فوسل و کلین^۳، ۲۰۰۶).

این آزمون به دو روش محاسبه می‌شود: ۱. آزمون آماره (T) من کندال؛ ۲. آزمون نموداری من کندال. در این مطالعه از آزمون نموداری استفاده شد.

آزمون نموداری من کندال (برای تشخیص نقطه جهش): در آزمون من کندال واریانس و آماره، مربوط به هر ردیف برای محاسبه دنباله U استفاده می‌شود. در اینجا معناداری روند در سطح ۰/۹۵ در نظر گرفته می‌شود که معادل $\pm 1/96$ می‌باشد. نمودار U نسبت به سال رسم شده و برای

1. Tegen
2. Brightness temperature degree (BTD)

3. Fussel and Klein

طوفان همراه با گردوغبار محسوب می‌شوند، در شکل (۳) آورده شده است. این نمودار به صورت ماهیانه در طی سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۲ رسم شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود، شدت طوفان همراه با گردوغبار در طی دوره مطالعه افزایش یافته است. در این شکل، سه بخش کلی مشاهده می‌شود. این سه بخش در شکل (۳) عبارت‌اند از ۱۳۷۸-۱۳۸۸ (محدوده سبز)، ۱۳۹۱-۱۳۸۸ (محدوده زرد) و ۱۳۹۲-۱۳۹۱ (محدوده قرمز). در این سه دوره، به طور پلکانی شدت طوفان‌های همراه با گردوغبار افزایش یافته است. بر اساس جدول (۲) و شکل (۳)، در دوره اول طوفان‌های در طبقه طوفان‌های ملایم بوده است. اما در دوره‌های بعدی شدت طوفان‌ها افزایش یافته و در دوره آخر به طوفان‌های شدید که شدت آن در طی روز افزایش می‌یابد، رسیده است. شکل (۴) نشان‌دهنده تعداد روزهای همراه با گردوغبار محلی در یک سال (کدهای ۰۷ و ۰۶ وضعیت هوا) است. همان گونه که این نمودار نشان می‌دهد، تعداد این روزها نیز همانند افزایش شدت گردوغبار افزایش یافته است، به طوری که روزهای دارای غبار محلی در سال‌های اخیر به ۹۰ روز در سال رسیده است. این مسئله به معنای افزایش حتی در تعداد روزهای با گردوغبار ملایم است.

اینکه معنی‌داری روند و نقطه جهش آن به دست آید، دنباله U تعریف می‌شود. مراحل به دست آوردن U همانند U است با این تفاوت که سال‌ها به ترتیب نزولی قرار می‌گیرند. در مواقعی که $1/96 < U < 1/96 +$ باشد، سری تصادفی است و روند خاصی نمی‌توان بر آن تصور کرد. درحالی‌که $1/96 <+ U$ ، نشان‌دهنده روند مثبت و $1/96 - > U$ ، نشان‌دهنده روند منفی است (ساعتچی و همکاران، ۲۰۱۳).

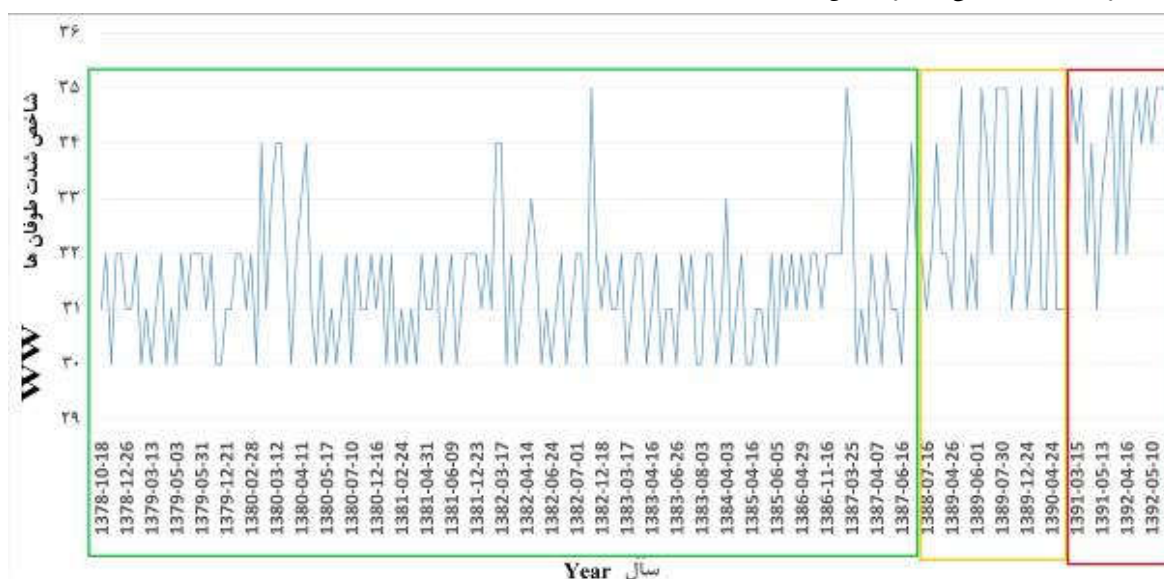
اگر دنباله U و U' بر اساس به صورت نموداری رسم شود، در حالت معناداری روند، دو نمودار در نقطه شروع پدیده در خارج از محدوده $\pm 1/96$ ، یکدیگر را قطع کرده و در خلاف جهت یکدیگر حرکت خواهند کرد. به این نقطه برخورد، جهش گفته می‌شود. درحالی‌که اگر روند وجود نداشته باشد، دو دنباله U و U' تقریباً به صورت موازی حرکت خواهند کرد و یا با چند بار برخورد که به تغییر جهت منجر نشود، عمل خواهند کرد (ساعتچی و همکاران، ۲۰۱۳).

ارتباط داده‌های اقلیمی و میزان ریزگردها

پس از تحلیل داده‌های اقلیمی، شدت طوفان‌های همراه با گردوغبار و تغییرات دامنه مکانی این طوفان‌ها، در ارتباط با تغییرات بارندگی و دما بررسی شد.

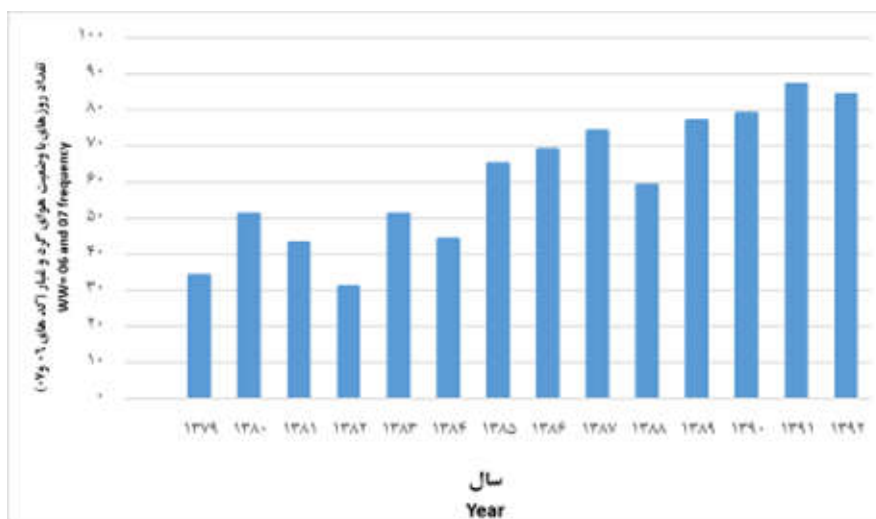
نتایج

نمودار مربوط به روزهایی که بر اساس کدهای جدول (۲)،

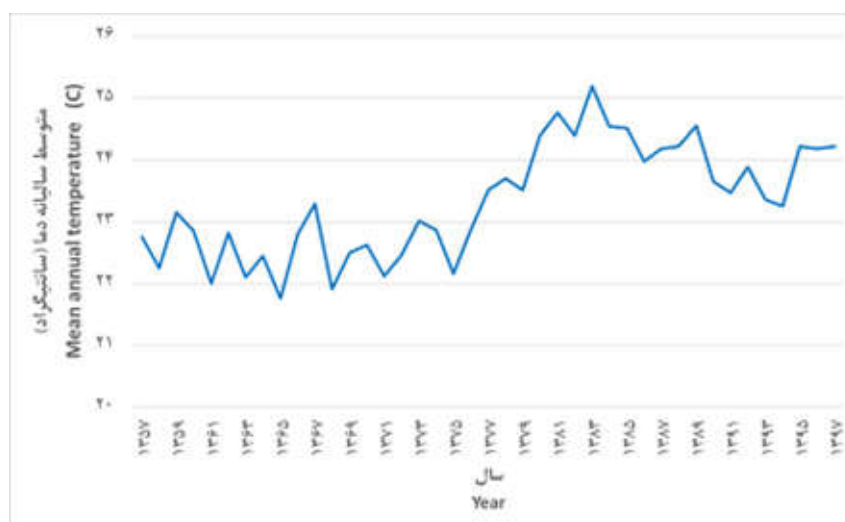


شکل (۳): شدت طوفان همراه با گردوغبار

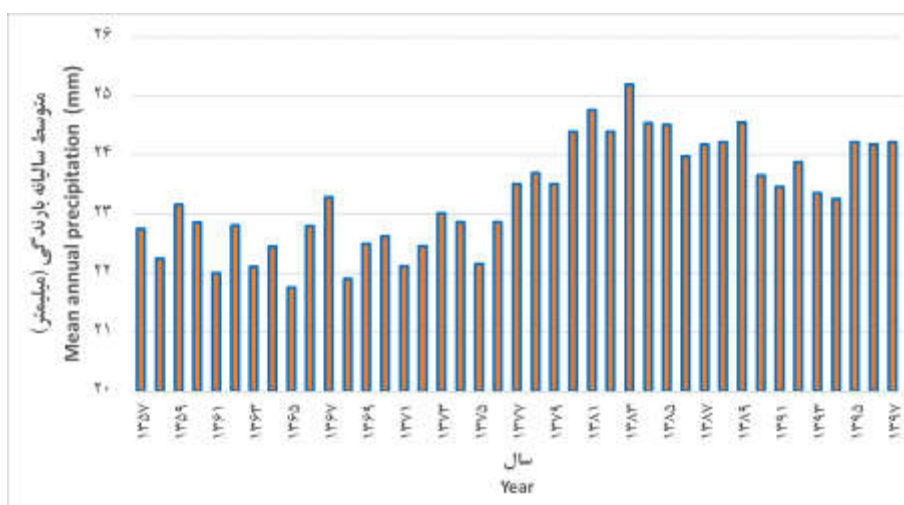
Figure (3): Sand and dust storm intensity for Zabol station



شکل (۴): روزهای دارای طوفان همراه با گردوغبار کدهای ۰۷ و ۰۶
 Figure (4): Sand and dust storm Zabol station (WW=07 and 06)



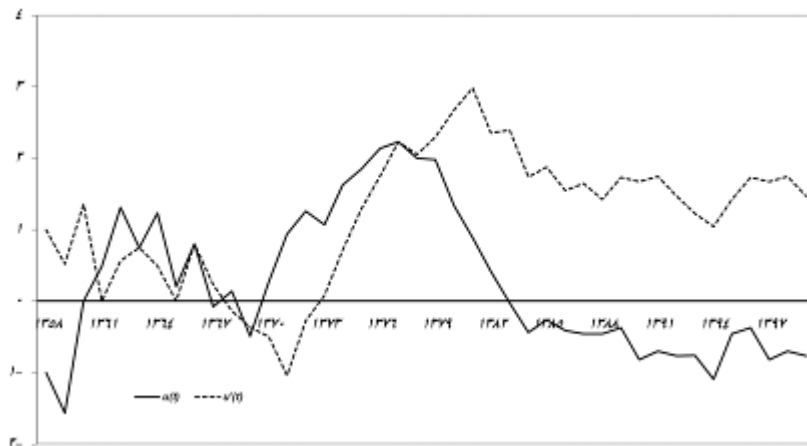
شکل (۵): میانگین سالانه دما در ایستگاه زابل
 Figure (5): Mean annual temperature Zabol station



شکل (۶): میانگین سالانه بارندگی در ایستگاه زابل
 Figure (6): Mean annual precipitation Zabol station

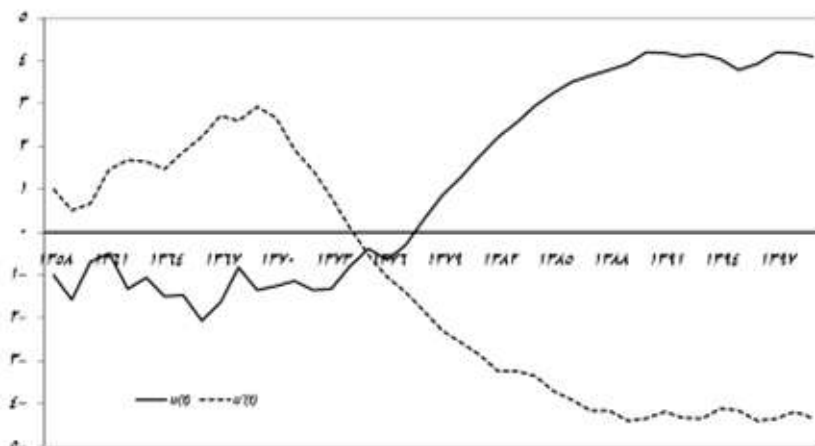
نتیجه آزمون من کندال بر روی داده‌های بارندگی از سال ۱۳۵۶ تا ۱۳۹۷ در شکل (۷) آورده شده است. این نمودار نشان‌دهنده نوسانات بارندگی طی یک دوره ۴۰ ساله می‌باشد. طبق این نمودار که از خطوط U' و U تشکیل شده است، در نقاطی که این دو خط همدیگر را قطع کرده‌اند، نوسانات بارندگی وجود دارد. بنابراین، از سال ۱۳۶۷ تا سال ۱۳۷۴، بارندگی افزایش یافته است. شکل (۸) نشان‌دهنده نتیجه آزمون من کندال بر روی داده‌های دما از سال ۱۳۵۶ تا ۱۳۹۷ می‌باشد. قسمت‌هایی از نمودار که خطوط U' و U همدیگر را قطع کرده‌اند، شروع روند را نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار سال ۱۳۷۳ شروع روند افزایش میانگین سالیانه دماست.

شکل (۵) نمودار میانگین سالیانه دما را در طی دوره ۴۰ ساله در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. این نمودار نشان می‌دهد که دما در این دوره افزایش یافته است. این افزایش از اواسط دهه هفتاد شمسی آغاز شده است. شکل (۶) نمودار میانگین سالیانه بارندگی در طی دوره ۴۰ ساله نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار، بارندگی در سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۹ روند افزایشی داشته است. اما بعد از این دوره و در سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۲ میزان بارندگی کاهش یافته است که نشان‌دهنده خشکسالی در این سال‌هاست. سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۷ بارندگی نسبتاً افزایش یافته اما نسبت به دهه هفتاد بارندگی کمتری در منطقه وجود داشته است. در سال‌های اخیر، افزایش نسبی در بارندگی در اوایل دهه نود وجود دارد اما بعد از آن تا سال ۱۳۹۷ بارندگی کاهش یافته است.



شکل (۷): نتیجه آزمون من کندال بر روی داده‌های بارندگی سالیانه در ایستگاه زابل

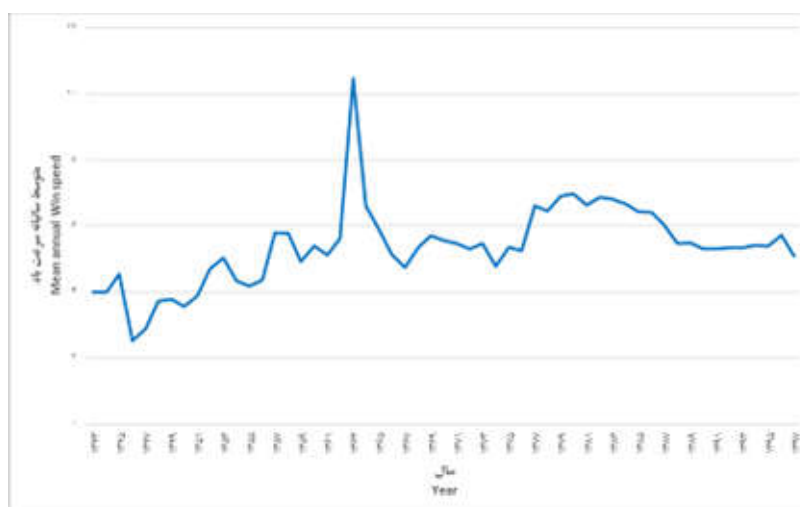
Figure (7): MK test of annual precipitation for Zabol station



شکل (۸): نتیجه آزمون من کندال بر روی میانگین سالیانه دما در ایستگاه زابل

Figure (8): MK test of mean annual temperature for Zabol station

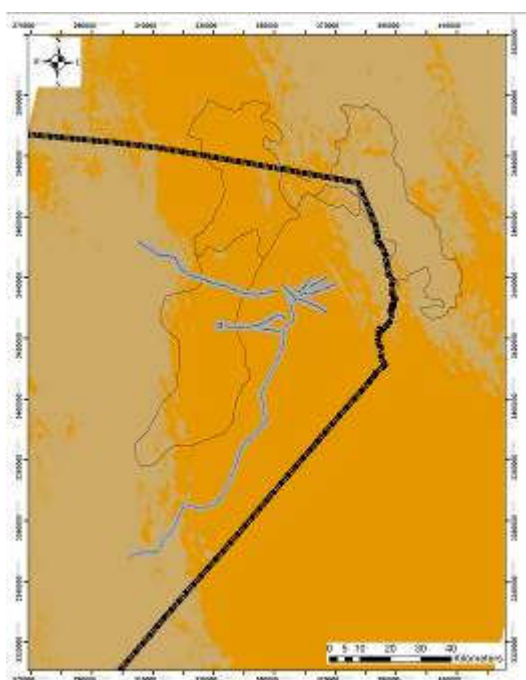
شکل (۹) نشان دهنده تغییرات سالیانه سرعت باد است. بر اساس این شکل، سرعت باد در این دوره ۴۰ ساله تغییرات چشمگیری نداشته و فقط در سال ۱۳۶۲ تا سال ۱۳۶۴ دارای افزایش ناگهانی شده است. اما بعد از آن روند تقریباً یکسانی را داشته است.



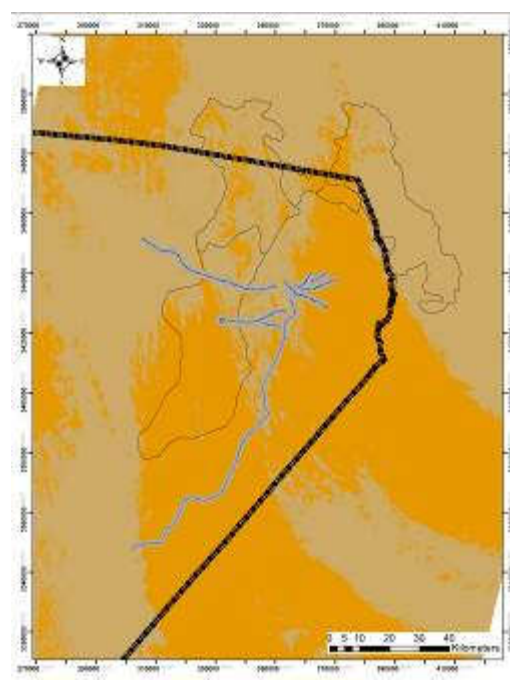
شکل (۹): میانگین سالیانه سرعت باد در ایستگاه زابل
Figure (9): Mean annual wind speed for Zabol station

سالها کمتر بوده است، به نحوی که محل آغاز ریزگردها از بستر تالاب هامون مشخص شده است و همچنین منطقه محدودتری تحت تأثیر ریزگردها قرار دارد. اما در سالهای بعدی، دامنه گسترش و مکانهای برداشت ریزگردها گسترده تر شده است. محدوده های تحت تأثیر این طوفانها در سالهای ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷ منطقه وسیعی در خارج از مرزهای کشور می باشد.

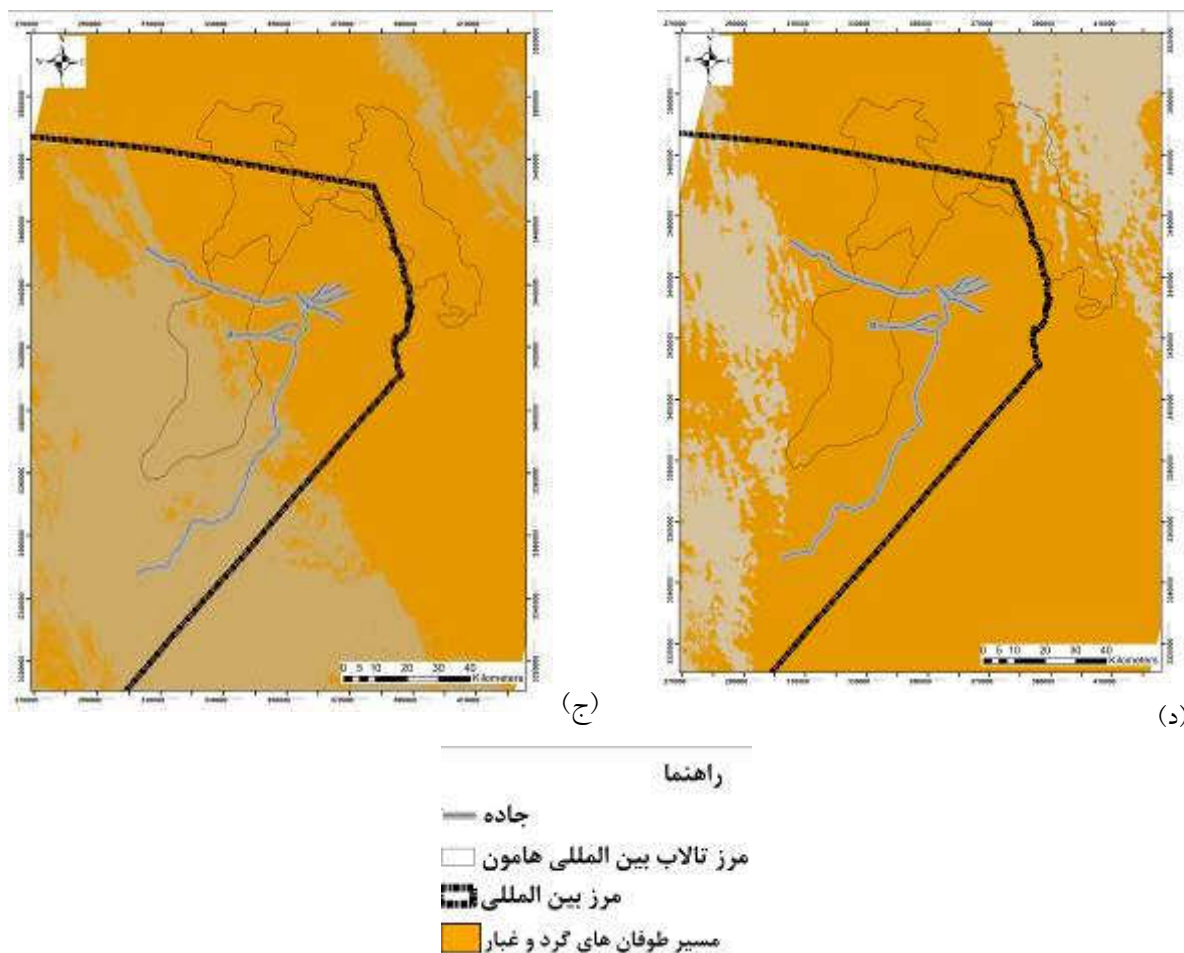
شکل (۱۰) مسیر و دامنه طوفانهای همراه با ریزگردها را در یک روز طوفانی در تاریخهای ۱۳۸۰/۴/۲۷ (الف)، ۱۳۸۳/۴/۶ (ب)، ۱۳۹۲/۶/۸ (ج) و ۱۳۹۷/۵/۲۱ (د) نشان می دهد. محدوده نارنجی رنگ مسیر و دامنه طوفانها را مشخص کرده است. مقایسه مسیر و دامنه تأثیر طوفانهای همراه با ریزگردها نشان می دهد در بین سالهای مورد مطالعه سال ۱۳۸۳، محدوده تأثیرگذاری طوفانها نسبت به سایر



(الف)



(ب)



شکل (۱۰): مسیر و دامنه تأثیر طوفان‌های همراه با ریزگردها در منطقه مورد مطالعه در تاریخ‌های ۱۳۸۰/۴/۲۷ (الف)، ۱۳۸۳/۴/۶ (ب)، ۱۳۹۲/۶/۸ (ج)، ۱۳۹۷/۵/۲۱ (د)

Figure (10): Sand and dust storm in study area: 2001/07/18 (a), 2004/06/26 (b), 2013/08/30 (c), 2018/08/12 (d)

بحث و نتیجه‌گیری

زیادی نداشته است. بنابراین عامل دوم که پارامترهای اقلیمی است مؤثر خواهد بود. نتایج دانش شهری و همکاران (۲۱۰۷) تأییدکننده این تأثیر پارامترهای اقلیمی است. نتایج آزمون من کندال نشان داد روند تغییرات دما و بارندگی سالیانه در طی دوره مطالعه معنی‌دار است. بر اساس این نمودارها، دمای هوا در حال افزایش و میزان بارندگی کاهش یافته است. این مسئله باعث خشک شدن بیشتر منطقه می‌شود و زمینه را برای خیزش ذرات خاک فراهم می‌کند. بنابراین با وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، شدت طوفان گردوغبار افزایش یافته است.

یکی از مهم‌ترین عملکردهای تالاب هامون در دشت سیستان، تثبیت خاک با رطوبت و پوشش گیاهی موجود در تالاب و در نتیجه، کاهش تأثیر ریزگردهای جابه‌جا شده توسط بادهای ۱۲۰ روزه سیستان است. بادهای ۱۲۰ روزه از

در این مطالعه، روند تغییرات شدت و فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار، تغییرات سرعت باد، تغییرات کانون‌های برداشت ریزگردها و تغییرات دامنه مناطق تحت تأثیر ریزگردها و همچنین ارتباط این طوفان‌ها با تغییرات پارامترهای اقلیمی بررسی شد. نتایج مربوط به شدت طوفان‌ها نشان داد که شدت این طوفان‌ها در طی دوره مطالعه افزایش یافته است. این نکته در مطالعات میری (۲۰۲۱) و راشکی (۲۰۱۴) نیز مورد تأکید قرار گرفته است. اما دلیل این مسئله کدام فاکتور محیطی است؟ میدلتون و یدچنگ (۲۰۱۷) دلیل این مسئله را افزایش سرعت باد و یا گرم و خشک شدن پارامترهای اقلیمی منطقه می‌دانند. بررسی سرعت باد نشان داد در طی دوره مطالعه، این پارامتر تغییر

نشان می‌دهد، در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۸۴ شدت این طوفان‌ها کمتر از سال‌های گذشته بوده است. مقایسه این نتایج با داده‌های اقلیمی نشان می‌دهد که در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۸۴ میزان بارندگی بیشتر از سال ۱۳۸۰ بوده است؛ این مسئله می‌تواند باعث بهبود شرایط منطقه از نظر پوشش گیاهی و تثبیت بیشتر خاک در مناطق برداشت شده باشد که در نهایت باعث کمتر شدن میزان ریزگردها در زمان بروز طوفان‌های ۱۲۰ روزه سیستان شده است. اما در سال‌های اخیر نسبت به سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۳ محدوده تأثیرگذاری این طوفان‌ها گسترده‌تر شده است. همان گونه که در این نقشه‌ها مشخص شده است، در سال ۱۳۹۷ علاوه بر بخش گسترده‌ای در داخل ایران، مناطق بیشتری از افغانستان نیز تحت تأثیر این ریزگردها قرار گرفته‌اند. این مسئله با نتایج تغییرات پارامترهای اقلیمی مبنی بر کاهش بارش‌ها و افزایش دما مطابقت دارد؛ زیرا خشک شدن بیشتر منطقه و کاهش رطوبت خاک، باعث خیزش گردوغبار از بخش‌های بیشتری می‌باشد (ملکی و همکاران ۲۰۱۹). محمودآبادی و رجب‌پور (۲۰۱۷) نیز نشان دادند افزایش سرعت باد باعث افزایش رطوبت خاک باعث کاهش میزان فرسایش خاک می‌شود. این نتایج نشان‌دهنده هشدار در مورد گسترش دامنه تأثیرات منفی طوفان‌های همراه با ریزگردها در این منطقه است. چنانچه با این شرایط مدیریت مناسبی برای تثبیت ریزگردها و مدیریت اکوسیستم وجود نداشته باشد، مشکلات ناشی از ریزگردها نیز با گسترش دامنه تأثیر ریزگردها افزایش می‌یابد که لزوم برنامه‌ریزی سیستماتیک برای این منطقه را نشان می‌دهد.

در این مطالعه، تغییرات شدت طوفان گردوغبار، دامنه و مسیر این طوفان‌ها در دشت سیستان و روند تغییرات پارامترهای اقلیمی بررسی شد. در نهایت تغییرات شدت طوفان گردوغبار و مسیر و دامنه گسترش این طوفان‌ها با تغییرات پارامترهای اقلیمی مقایسه شد. به این منظور داده‌ها در دو بخش تحلیل شد: تحلیل داده‌های اقلیمی و تحلیل اطلاعات طوفان‌های گردوغبار. نتایج مربوط به شدت طوفان‌ها نشان داد شدت آن‌ها در طی دوره مطالعه افزایش

اردیبهشت هر سال شروع و تا اواخر شهریور ادامه پیدا می‌کند. طبق گزارش مؤسسه منابع جهانی^۱ (۲۰۰۶) بعد از وقوع پدیده خشکسالی در سال‌های اخیر در منطقه، تخریب پوشش گیاهی و خشک شدن کامل تالاب، اثرات منفی آن بر محیط‌زیست و ساکنان منطقه سیستان نیز به همان نسبت افزایش یافته است. با شروع وزش‌های بادهای شدید ۱۲۰ روزه، خاک سطحی تالاب توسط باد برداشت شده و طوفان‌های شدید گردوغبار را ایجاد می‌کند. با انتخاب تصاویر بدون ابر به خوبی می‌توان منشأ و مسیر طوفان‌های گردوغبار را از روی تصاویر ماهواره‌ای به دست آورد. شکل (۱۰) نتیجه اعمال شاخص روشنی اجسام بر روی تصاویر لندست و سپس جداسازی محدوده تحت تأثیر طوفان‌های همراه با ریزگردهاست. این شکل نشان می‌دهد که شاخص روشنی اجسام این شاخص به خوبی می‌تواند در مطالعات مربوط به طوفان‌های گردوغبار مورد استفاده قرار بگیرد. این مسئله توسط مطالعات قبلی نیز تأیید شده است (العسکری و همکاران ۲۰۰۶). شریعانی و همکاران (۲۰۱۵) استفاده از این شاخص نقشه طوفان گردوغبار غرب ایران را تهیه کرده و این شاخص را مناسب ارزیابی کرده است. می^۲ و همکاران (۲۰۰۸) مطالعه‌ای در زمینه پایش دینامیک فرایند گردوغبار در چین را نیز با کمک شاخص دمای روشنی اجسام انجام دادند. حسینی و همکاران (۲۰۱۵) این شاخص را دارای مزایای دیگری از جمله ارتباط مستقیم با دمای منتقل شده و همچنین سهولت در محاسبات می‌دانند. علاوه بر این به دلیل در نظر گرفتن شاخص‌های رادیومتریک برای تهیه نقشه مناطق طوفانی مناسب است.

مقایسه مسیر و دامنه تأثیر طوفان‌های همراه با ریزگردها بر روی شکل (۱۰) نشان می‌دهد در بین سال‌های مورد مطالعه سال ۱۳۸۳، محدوده تأثیرگذاری طوفان‌ها نسبت به سایر سال‌ها کمتر بوده است، به نحوی که محل آغاز ریزگردها از بستر تالاب هامون مشخص شده است و همچنین منطقه محدودتری تحت تأثیر ریزگردها قرار دارد. همان گونه که نتایج مربوط به شدت گردوغبار (شکل ۹) نیز

1. World resource institute
2. Mei

در اثر خشکی تالاب و همچنین روند خشک‌تر شدن اقلیم منطقه شرایطی را فراهم می‌کند که با وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، رسوبات ریز بیشتری از بستر تالاب و مناطق اطراف به طرف مناطق مسکونی منتقل شود. میانگین سالیانه بارندگی و نقشه‌های مسیر طوفان‌های همراه با گردوغبار در سال ۱۳۸۳ نیز این مسئله را تأیید می‌کند، به این صورت که در این سال بارندگی نسبت به سال‌های قبل بیشتر بوده و دامنه تأثیر و شدت گردوغبار کمتر از سال‌های با بارندگی کمتر بوده است. بنا بر نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه در صورت تداوم کمبود بارش‌ها در دشت سیستان طوفان‌ها در دامنه بیشتری تأثیرگذار خواهند بود که این مسئله لزوم مدیریت شرایط بحرانی حاکم در دشت سیستان را نشان می‌دهد. تمرکز اقدامات حمایتی از مردم ساکن در مسیرهای طوفان‌ها و مدیریت منابع آب سطحی برای حفاظت از پوشش گیاهی این مناطق از جمله راهکارهای پیشنهادی برای مقابله با تأثیرات ریزگردهاست؛ زیرا بر اساس این مطالعه نه‌تنها تعداد دفعات وقوع طوفان‌ها در منطقه افزایش یافته است بلکه شدت و دامنه تأثیرگذار آن نیز افزایش یافته است. لذا بخش بزرگ‌تری از منطقه نیازمند اقدامات حمایتی و تثبیت خاک است.

یافته است. علاوه بر این، نتایج بررسی دامنه تأثیر و مسیر طوفان‌های گردوغبار نشان داد که دامنه تأثیر این طوفان‌ها در سال‌های اخیر گسترده‌تر شده است، به‌نحوی که نه‌تنها بخش زیادی در ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهد بلکه بخش‌های زیادی از کشورهای همسایه را نیز در بر می‌گیرد. این مسئله می‌تواند در اثر افزایش سرعت باد یا گرم و خشک شدن منطقه باشد. بررسی سرعت باد نشان داد در طی دوره مطالعه سرعت باد تغییر زیادی نداشته است. بنابراین عامل دوم که پارامترهای اقلیمی است، مؤثر خواهد بود. نتایج آزمون من کندال نشان داد روند تغییرات دما و بارندگی سالیانه در طی دوره مطالعه معنی‌دار است. بر اساس این نمودارها، دمای هوا در حال افزایش و میزان بارندگی کاهش یافته است. این مسئله باعث خشک شدن بیشتر منطقه می‌شود. با کاهش آب ورودی رودخانه‌های منتهی به تالاب هامون از یک سو و گرم و خشک شدن منطقه در اثر تغییرات پارامترهای اقلیمی از سوی دیگر، شرایط برای وقوع طوفان‌های همراه با گردوغبار فراهم شده است. نتایج این مطالعه نشان داد در صورت خشک ماندن تالاب هامون در سال‌های آینده، شرایط برای وقوع طوفان‌های همراه با گردوغبار بیشتر فراهم می‌شود؛ زیرا کاهش رطوبت خاک و تخریب پوشش گیاهی

منابع

- Albarakat, R. and Lakshmi, V., 2019. Monitoring Dust Storms in Iraq Using Satellite Data. *Sensors*, 19(17), 3687.
- An, L., Che, H., Xue, M., Zhang, T., Wang, H., Wang, Y. and Sun, T., 2018. Temporal and spatial variations in sand and dust storm events in East Asia from 2007 to 2016: Relationships with surface conditions and climate change. *Science of the Total Environment*, 633, 452-462.
- Arjmand, M., Rashki, A. and Sargazi, H., 2015. Spatial and temporal monitoring of dust storm using satellite data in the East of Iran. *Geographical Data (SEPEHR)*. 106(27): 154-168.
- Babaei Fini, O., Safarrad, T. and Karimi, M. 2014. Spatial-Temporal Analysis of Dust Storm Occurrence in West of IRAN. *Journal of Environmental Studies*, 40(2), 375-388.
- Danesh shahraki, M., Shahriari, A., Ganjali, M. and Bameri, A. 2017. Seasonal and Spatial Variability of Airborne Dust Loading Rate over the Sistan plain cities and its Relationship with some Climatic Parameters. *Journal of Water and Soil Conservation*, 23(6), 199-215.
- El-Askary, H., Gautam, R., Singh, R. and Kafatos, M., 2006. Dust storms detection over the Indo-Gangetic basin using multi sensor data. *Advances in Space Research* 37: 728-733.
- Farajzadeh, M. and Alizadeh, Kh., 2010. The Temporal Analysis of Dust Storms in Iran. *The Journal of Spatial Planning*. 15(1). 65-84.
- Fussel, H. and Klein, R. 2006., Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking. *Climate Change*. 75 (3): 301-329.
- Ghavidel, E., Farajzadeh, M. and Lashani, A., 2018. The Temporal Analysis of Dust Storms in Khoramabad Synoptic Station. *Researches in Geographical Sciences*. 18 (51): 87-102.
- Gohari, Z, Ekhtesasi, M., Hosseini, M. and Mobin, H., 2009. Sand and dust storm density zoning in Sistan plain. Conference of sustainable desert wetlands. Arak. Iran.
- Hosseini, M., Rosta, K., Zamani, A. and Teimori, M., 2015. Farmers' Perception of Drought

- Consequences by Phenomenological Approach (Case study: South Khorasan Province). *Agricultural extension and education research*. 10(4): 59-70.
12. Kaskaoutis, D.G., Rashki, A., Houssos, E.E., Goto, D. and Nastos, P.T., 2014. Extremely high aerosol loading over Arabian Sea during June 2008: The specific role of the atmospheric dynamics and Sistan dust storms. *Atmospheric environment*, 94, 374-384.
 13. Kiani, A., Fazelnia, Gh. and Rezaei, B., 2012. Investigation and prioritization of natural risk in Zabol. *Journal of Geography and Environmental Studies*, 1(1), 98-111.
 14. Khoshkish, A., Alijani, B. and Hejazizadeh, Z., 2011. The synoptic analysis of dust storm systems in Lorestan province. *Applicable geographic research*. 11(22): 91-100.
 15. Maleki, S., Koupaei, S.S., Soffianian, A., Saatchi, S., Pourmanafi, S. and Rahdari, V., 2019. Human and Climate Effects on the Hamoun Wetlands. *Weather, Climate, and Society*, 11(3), 609-622.
 16. Mahoudabadi, M. and Rajabpour, H., 2017. Study on the effect of initial soil moisture content on wind erosion rate using a laboratory wind tunnel. *Journal of Water and Soil Conservation*. 24(2), 167-183.
 17. Mei, D., Xiushan, L., Lin, S. and 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 Sciences*. 7: 965-970.
 18. Middleton, N. and Utchang, K., 2017. Sand and Dust Storms: Impact Mitigation. *Sustainability*. 9(1053): 1-22.
 19. Middleton, N.J., 2019. Variability and trends in dust storm frequency on decadal timescales: climatic drivers and human impacts. *Geosciences* 9 (6), 261.
 20. Miri, A., Ahmadi, H., Ekhtesasi, M.R., Panjehkeh, N. and Ghanbarie, A., 2009. Environmental and socio-economic impacts of dust storms in Sistan Region, Iran. *Journal of Environmental Studies*, 66: 343-355.
 21. Miri, A., Maleki, S., and Middleton, N. 2021. An investigation into climatic and terrestrial drivers of dust storms in the Sistan region of Iran in the early twenty-first century. *Science of The Total Environment*, 757, 143952.
 22. Piri, H., Abbaszadeh, M., Rahdari, V. and Maleki, S., 2013. Comparative Evaluation of Four Meteorological Drought Indices using the Cluster Analysis (Case study: Sistan and Baluchestan). *Water engineering journal*. 6:29- 36.
 23. Rashki, A., 2014. Investigation of changes in sand and dust storm sources in Sistan. *Sand and dust storm Conference*. Ahvaz. Iran.
 24. Saatchi, S., Asefi-Najafabadi, S., Malhi, Y., Aragão, L., Anderson, L. and Myneni, R., 2013. Persistent effects of a severe drought on Amazonian forest canopy. *Proceedings of the National Academy of Science*. 110: 565-570.
 25. Sissakian, V., Al-Ansari, N. and Knutsson, S., 2013. Sand and dust storm events in Iraq. *Journal of Natural Science*, 5(10), 1084-1094.
 26. Shamohamadi, Z. and Maleki, S. 2011. *The life of Hamoun*. Jahad daneshgahi. Tehran. Iran
 27. Shahraiyini, H., Karimi, K., Nokhandan, M. and Moghadas, N., 2015. Monitoring of dust storm and estimation of aerosol concentration in the Middle East using remotely sensed images. *Arabian Journal of Geoscience*. 8: 2095-2110.
 28. Tegen, I., 2003. Modeling the mineral dust aerosol cycle in the climate system. *Quaternary Science Reviews*. 22: 1821-1834.
 29. Vali, A. and Roustaei, F., 2018. Investigation of the Wind Erosion Trend in Central Iran using Dust Storm Index in the Last Fifty Years. *JWSS*. 21 (4) :189-200
 30. World Resources Institute (WRI). 2006. *Integrated water resources management for Sistan closed inland delta-Sistan wetlands ecosystems*. Delft Hydraulics. Netherlands. 113 p.
 31. Yarahmadi, D., Nasiri, B., Khoshkikh, A. and Nikbakht, H., 2012. The effect of weather variation on dust storm. *Desert ecosystem engineering journal*. 5: 19-28
 32. Zolfaghari, H., Masoumpour, J., Shayganmehr, Sh. and Ahmadi, M., 2011. A synoptic investigation of dust storms in western regions of Iran during 2005-2010 (a case study of widespread wave in July 2009). *Geography and environmental planning*. 22(3): 17-34.
 33. Wang, W. 2005 A synoptic model on east Asian dust emission and transport. *Atmospheric science and air quality conferences*. Beijing.China 14

Investigating the change in the Sand and Dust Storms' intensity in affected areas in Sistan Plain

Mohadeseh Mir¹, Saeideh Maleki^{2*}, Vahid Rahdari³

Received: 16/03/2020

Accepted: 11/11/2020

Expanded Abstract

Introduction: Sand and dust storms (SDS) are naturally occurring phenomena in arid and semi-arid areas that cause some critical challenges in such areas, whose intensity have increased by drought and water scarcity. Located in eastern Iran, the Sistan plain is affected intensively by the negative effects of such storms, which also affect Afghanistan and Pakistan. This study sought to investigate the extent and range of changes in the effects of dust storms, the variations of the wind velocity, and the changes in climatic factors in the Sistan plain so that managerial measures could be developed for fighting against such storms.

Method: In this study, annual mean temperature and precipitation were selected as climate variables to measure the change in the study area's climate. These data were analyzed for 1977-2014 period, using the Mann-Kendall (M-K) test. The magnitude of slope in the MK test, is applied to determine the tendency of parameters. A positive slope magnitude indicates an increasing trend, while a negative slope magnitude suggests a decreasing trend. The changes in sand and dust storms intensity in Sistan plain was investigated through the Present weather data (WW). Also, the wind speed data during the study period were applied to investigate the changes in this parameter. The brightness temperature degree index was calculated to determine the affected sand and dust storms extend. This affected area was mapped for 2000, 2004, 2013, and 2018 to determine the changes made by sand and dust storms in the area.

Results: The study's findings showed that the intensity of sand and dust storms increased during the study period, and the area under their influence was expanded in recent years especially in years when the precipitation were low. Moreover, the results indicated that while the main hotspot in the Hamoun body was expanded to more distant areas out of Sistan plain especially in Afghanistan, the wind speed did not change significantly. On the other hand, MK test conducted on precipitation and mean annual temperature showed a decreasing trend in precipitation and an increasing trend in annual mean temperature during the study period, indicating that the region's climate had been getting drier and warmer. Furthermore, the intensity of dust storms had increased and the number of dusty days was doubled, and a wider area was affected by such storms. The findings clearly indicate that the extent and intensity of the sand and dust storms in Sistan plain have increased.

Conclusion: The study's findings suggested an increase in the extent and intensity of sand and dust storms was in the Sistan Plain throughout the study period (1977-2014), which could be due to the changes in the wind speed or annual mean temperature and precipitation of the region. In this regard, it was found that while the changes in the wind speed was not significance, there were significant changes in the region's annual mean temperature and precipitation. Moreover, the results of Man-Kendal test showed a decreasing trend in precipitation and an increasing trend in temperature during the study period, indicating that the region had become drier and warmer, which in turn had increased the potentials for the rise of dusts in each storm. Therefore, with the dryness of the region, the soil moisture would decrease, providing the grounds for the occurrence of a dusty day by any wind. Moreover, as the areas affected by sand and dust storms have been expanded, this study emphasizes on long-term planning for protecting local people against such storms.

Keywords: Man-Kendal test, Brightness temperature degree, Mean annual temperature and precipitation, Remote sensing.

1. Msc student, Department of Natural Resources, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol

2. Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol; smaleki@uoz.ac.ir

3. Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol

DOI: 10.22052/deej.2021.10.30.59