ارزیابی تغییرات زمانی- مکانی عناصر اقلیمی مؤثر بر وقوع پدیدهٔ گرد و غبار در مناطق خشک و نیمه‌خشک (مطالعه موردی: تالاب جازموریان)

بهاره جبالباری: *دانشجوی دکتری مدیریت و کنترل بیابان، گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج*
غلامرضا زهتابیان: *استاد گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج*
حسن خسروی*: *دانشیار گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج*
سعید برخوری: *استادیار دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه جیرفت، جیرفت*

مقاله پژوهشی

تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۰۱ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۰۶/۳۱)

چکیده

طوفان گرد و غبار پدیده‌ای است که به مرزهای سیاسی و طبیعی محدود نمی‌شود و منطقهٔ وسیعی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین، هدف از این مطالعه، بررسی روند تغییرات زمانی- مکانی طوفان‌های گرد و غبار در تالاب جازموریان است. در این پژوهش با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای سنجندهٔ مودیس، اطلاعات مربوط به عمق نوری ذرات معلق در هوا (AOD) و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) بررسی شد. سپس با استفاده از داده‌های هواشناسی دریافت شده از سازمان هواشناسی کشور، داده‌های اقلیمی بارندگی، دما، رطوبت نسبی، دید افقی، جهت باد و سرعت باد در بازهٔ زمانی ۱۳۹۹-۱۳۷۹ ارزیابی شد و رابطهٔ همبستگی بین شاخص AOD و سایر پارامترهای اقلیمی به دست آمد. نتایج بررسی عمق نوری نیز نشان داد که بیشترین میزان AOD، از نظر مکانی در قسمت‌های مرکزی تالاب قرار داشت. از سوی دیگر، کمترین میزان پوشش گیاهی، بارندگی، رطوبت نسبی و دید افقی، حداکثر دما، جهت و سرعت باد نیز در این مناطق مشاهده شد. بررسی روند تغییرات پارامترهای مورد بررسی با استفاده از شاخص من کندال و شیب تخمین‌گر سن نشان داد که روند تغییرات متوسط سالانه، در سطح معنی‌داری پنج درصد شاخص‌های سمت باد، سرعت باد و دید افقی با شیب مثبت افزایشی بود. روند تغییرات شاخص‌های بارندگی و دما نیز در سطح معنی‌داری پنج درصد نشان داد که روند این دو پارامتر افزایشی بود که این افزایش در دما محسوس‌تر است. روند تغییرات شاخص رطوبت نسبی نیز شیب منفی و کاهشی داشت. هبستگی بین عمق نوری و سایر پارامترها نشان داد که بیشترین همبستگی شاخص AOD در سطح معنی‌داری پنج درصد با پارامتر جهت باد بود و کمترین همبستگی را با شاخص رطوبت نسبی داشت. بنابراین، افزایش ذرات معلق در هوا به‌شدت به روند تغییرات پوشش گیاهی و شاخص‌های اقلیمی بستگی دارد؛ به نحوی که با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و اقلیمی با قدرت تفکیک مکانی و زمانی مناسب به‌خوبی مطالعه می‌شود.

واژگان کلیدی: آزمون من کندال، پارامترهای اقلیمی، جازموریان، گرد و غبار، همبستگی.

* نویسندهٔ مسئول **hakhosravi@ut.ac.ir**

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.109]

۱ـ مقدمه

گرد و غبار، فرایندی طبیعی در مناطق بیابانی و صحرایی است که در اثر عملکرد بادهای قوی بر سطح خاک ایجاد می‌شود و به معلق شدن ذرات ریز خاک در فضای نزدیک سطح زمین می‌انجامد (Mehri Cherodeh et al, 2020). از طرفی، قرار گرفتن کشور ایران در کمربند بیابانی، بی‌نظمی‌های بارش، خشکسالی‌های متعدد و ضعیف بودن پوشش گیاهی، به افزایش رخداد طوفان‌های گرد و غبار در کشور و تأثیرات نامطلوب زیست محیطی منجر می‌شود (Ebrahimi Khusfi et al, 2021). خاک و هوا دو عنصر ضروری در حیات موجودات کرهٔ زمین است (Marchese et al, 2017). برهم کنش آنها در شرایط خاص می‌تواند به خطرهای فراوانی منجر شود؛ از جمله این خطرها می‌توان به طوفان گرد و غبار اشاره کرد؛ به طوری که در شرایط این طوفان، حجم زیادی از گرد و خاک در هوا پخش می‌شود و دید افقی را به کمتر از هزار متر می‌رساند (Bertrand et al, 2022). طی سال‌های اخیر، عوامل طبیعی و انسان‌ساز به افزایش فراوانی و شدت طوفان‌های گرد و غبار در کشور منجر شده‌است. از دیدگاه عمومی، منشأ اصلی طوفان‌های گرد و غبار در مناطق خشک جهان از قبیل شرق آسیا، خاورمیانه، آمریکای لاتین، استرالیا، بخش‌هایی از اروپا، شرق و جنوب شرق آفریقا، آمریکای شمالی و صحرا واقع شده‌است (Soleimani Sardo et al, 2022).

طوفان گرد و غبار پدیده‌ای است که به مرزهای سیاسی و طبیعی محدود نمی‌شود و منطقهٔ وسیعی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (Mir et al, 2021). این مسئله به بروز بیماری‌های تنفسی، تخریب زمین‌های کشاورزی و ایجاد آسیب جدی در زیرساخت‌های مناطق تحت‌تأثیر این طوفان‌ها منجر می‌شود که علاوه بر خسارت‌های مالی، خسارت‌های جانی نیز به همراه دارد (Middleton, 2019). در چند دههٔ اخیر، عواملی از قبیل تغییرات در پارامترهای اقلیمی دما و بارش، کاهش پوشش گیاهی، افزایش شهرنشینی و به همراه آن رفاه بیشتر انسانی، به تغییراتی در ذرات گرد و غبار منجر شده و این موضوع، توجه و نگرانی‌های بشر را افزایش داده‌است (Dargahian and Lotfi Nasab Asl, 2020).

بنابراین، با توجه به نقش مهم پدیدهٔ گرد و غبار، داشتن درک درستی از چگونگی تغییرات مکانی ـ زمانی و تجزیه و تحلیل روند تغییرات طولانی مدت آنها بسیار ضروری است (Qin et al, 2018). در مطالعات متعدد، پژوهشگران از شاخص‌ها و معیارهای مختلفی برای تحلیل زمانی رخدادهای گرد و غبار در مناطق مختلف استفاده کرده‌اند. همچنین در طول این سال‌ها، روش‌های مختلفی به کمک داده‌های سنجش از دور ماهواره‌ای برای بررسی این پدیده توسعه یافته‌است که این روش‌ها در مقایسه با روش‌های دیگر مزایای بسیاری دارد؛ زمان و هزینهٔ کمتری صرف می‌کند و منطقهٔ بزرگ‌تری را تحت پوشش قرار می‌دهد (Zheng et al, 2020). در این راستا، محققان داخلی و خارجی مطالعات مختلفی را انجام داده‌اند که در زیر به آن اشاره شده‌است.

در دهه‌های اخیر، تغییرات زمانی ذرات معلق جو بر مبنای شاخص عمق اپتیکی آئروسل‌ها در جنوب شرق ایران، همچنین تأثیرپذیری از گرد و غبارهایی چون گرد و غبارهای خوزستان، کویر مرکزی (Saidifar et al, 2020) و کشورهای همسایه مثل عراق (Chubin et al, 2022 & Lakshmi & Albarakat et al, 2019)، حاکی از آن است که سیر روند تغییرات AOD در برخی از ایستگاه‌های سینوپتیک، کاهشی و در برخی دیگر افزایشی است (Mirakbari et al, 2020). این تغییرات عمدهٔ وقایع گرد و غبار در منطقهٔ جازموریان، در دو فصل بهار و تابستان اتفاق می‌افتد (Arjamand et al, 2018) و به ترتیب در فصل زمستان و پاییز از شدت آن کاسته می‌شود که این امر، نتیجهٔ ساخت

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.109]

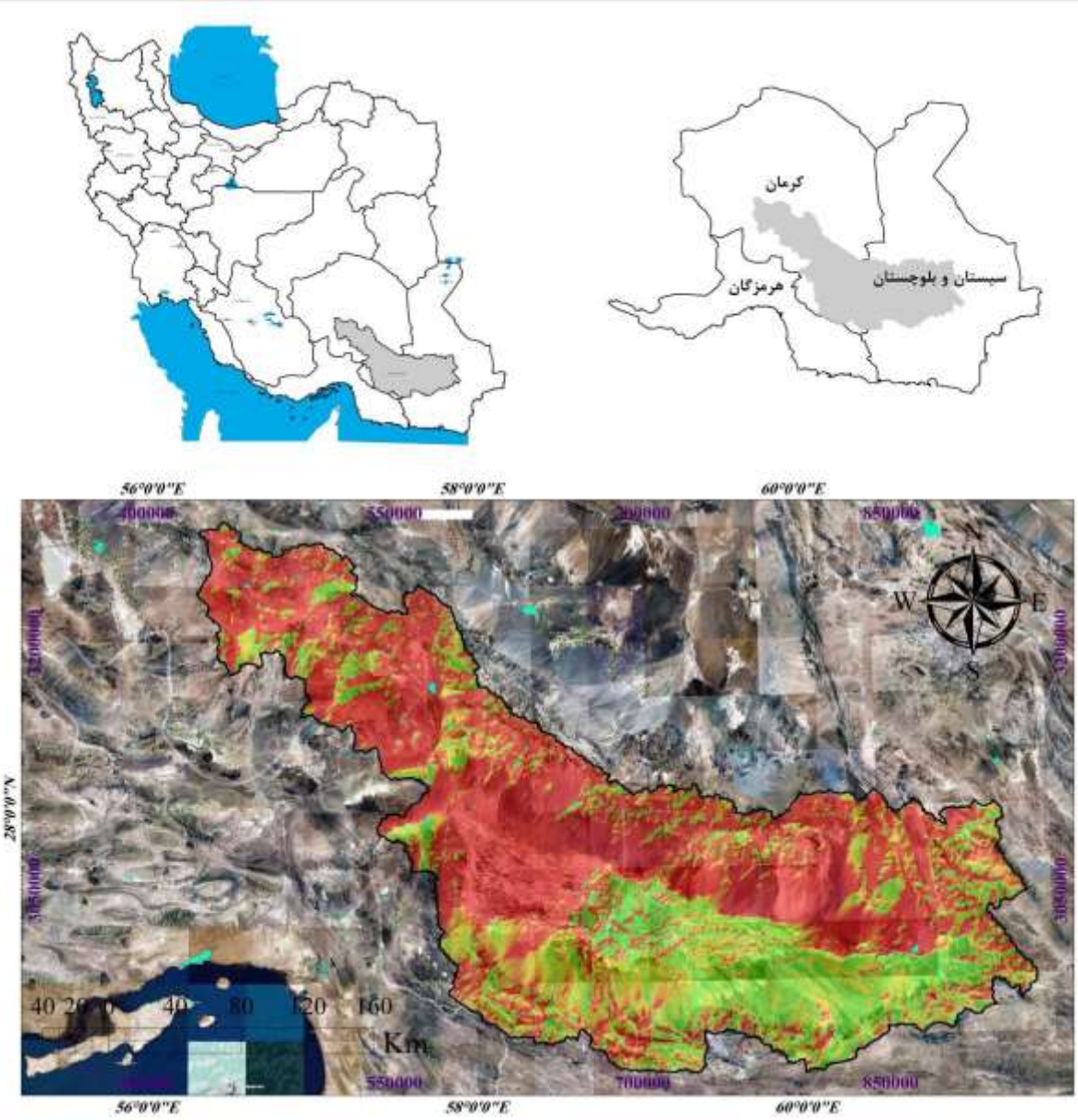
سدهای متعدد بر سر راه رودهای تغذیه کنندهٔ جازموریان و وقوع خشکسالی‌های تدریجی است. در نتیجهٔ تغییرات پوشش گیاهی (Song et al, 2016)، عناصر اقلیمی (مبتنی بر کاهش بارندگی و افزایش دما) و ارتباط بین ژئومورفولوژی و رسوبات (Gherboudj et al, 2017) در این منطقه، رخداد طوفان‌های گرد و غبار افزایش می‌یابد که روند وقوع آن معنی‌دار و با شیب نسبتاً زیادی در حال افزایش است (Qavidel Rahimi et al, 2018 & Mir et al, 2021 & Eskandari Dameneh et al, 2021). بنابراین، می‌توان با اقدامات بیابان‌زدایی و مقابله با فرسایش بادی، حجم قابل توجهی از این طوفان‌ها را کاهش داد و با پیش‌بینی مسیر حرکت ذرات گرد و خاک، به مدیریت حوضهٔ جازموریان در مواقع خشکسالی یا در شرایطی که رطوبت سطحی خاک کاهش یافته‌است، کمک زیادی کرد (Soleimani Sardo et al, 2022)، همچنین می‌توان آن را به عنوان کانون برداشت گرد و غبار جنوب شرق کشور شناسایی کرد. با توجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک قارهٔ آسیا و مستعد بودن از نظر رخداد پدیدهٔ گرد و غبار در زمینهٔ شرایط اتمسفری و پوشش گیاهی (Wang et al, 2020) و تغییرات سرعت بادهای سطحی ناشی از آن در فصول بهار، تابستان و پاییز و تخریب پوشش گیاهی، به عنوان عامل اصلی افزایش رخدادهای گرد و غبار شناخته شد (Khusfi et al, 2021). بنابراین، منطقهٔ جازموریان ــ که در جنوب شرقی ایران بین دو استان کرمان و سیستان و بلوچستان واقع شده‌است ــ به دلیل خشکسالی و سدسازی‌های متعدد، کاملاً خشک و به بیابان تبدیل شد. منشأ طوفان‌های همراه با گرد و غبار در تالاب جازموریان، هر ساله در زمان خشک بودن تالاب به بروز بیماری‌های تنفسی، آسیب به مناطق مسکونی و زمین‌های کشاورزی و زیرساخت‌های منطقه‌ای منجر می‌شود و این منطقه را به یکی از مناطق کلیدی تولید گرد و غبار در کشور تبدیل کرده‌است، اما تاکنون مطالعات محدودی در این منطقه به‌خصوص در زمینهٔ گرد و غبار صورت گرفته‌است. بنابراین هدف از این مطالعه، بررسی روند تغییرات زمانی ــ مکانی طوفان‌های گرد و غبار در زمینهٔ پارامترهای اقلیمی در تالاب جازموریان در بازهٔ زمانی ۱۳۹۹-۱۳۷۹ است که در مدیریت صحیح این منطقه برای مقابله با مشکلات ناشی از وقوع طوفان‌های گرد و غبار اهمیتی ویژه دارد.

۲ـ منطقهٔ مورد مطالعه

تالاب جازموریان در موقعیت عرض جغرافیایی ۲۶ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۳۶ دقیقهٔ شمالی و طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۱۶ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۲۶ دقیقهٔ شرقی، بین استان‌های کرمان و سیستان و بلوچستان واقع شده که از خاور به باختر تقریباً به درازای سیصد کیلومتر و از شمال به جنوب به پهنای صد کیلومتر گسترده شده‌است. مساحت حوضه آبریز این دریاچهٔ فصلی، ۶۹۰۰۰ کیلومتر مربع و ارتفاع آن از سطح دریا سیصد متر است. محدودهٔ آبگیر کامل دریاچه در مواقع پرآبی، ۳۳۰۰ کیلومتر مربع و در مواقع کم آبی به طور متوسط ۲۵۰۰ کیلومتر مربع است. رودخانهٔ بمپور سیستان و بلوچستان و هلیل‌رود ــ که از ارتفاعات مرکزی استان کرمان سرچشمه می‌گیرد ــ اصلی‌ترین مجاری تغذیه‌کنندهٔ این هامون است. میزان بارش سالانه در بلندی‌های شمال حوضهٔ جازموریان نیز میان چهارصد تا پانصد میلی‌متر در نوسان است؛ در حالی که در بخش گسترده و پست جنوبی، میزان بارش از حدود صد میلی‌متر در سال فراتر نمی‌رود. بر پایهٔ داده‌های هواشناسی، در دورهٔ ۵۵ ساله متوسط بارندگی ۱۰۷/۵ میلی‌متر و متوسط دمای میانگین برابر با ۲۷/۵ درجهٔ سانتی‌گراد برآورد شد. میانگین تبخیر سالانه نیز بین ۱۳۰۰ تا ۳۷۵۰ میلی‌متر متغیر بود. رشد جمعیت، استفادهٔ بیش از حد از منابع آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی، احداث سد بر رودخانه‌های ورودی به تالاب، تغییر اقلیم و

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.109]

خشکسالی نیز به خشک شدن این تالاب منجر شد (Eskandari Dameneh et al, 2019). شکل ۱، موقعیت تالاب جازموریان را در کشور ایران نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه

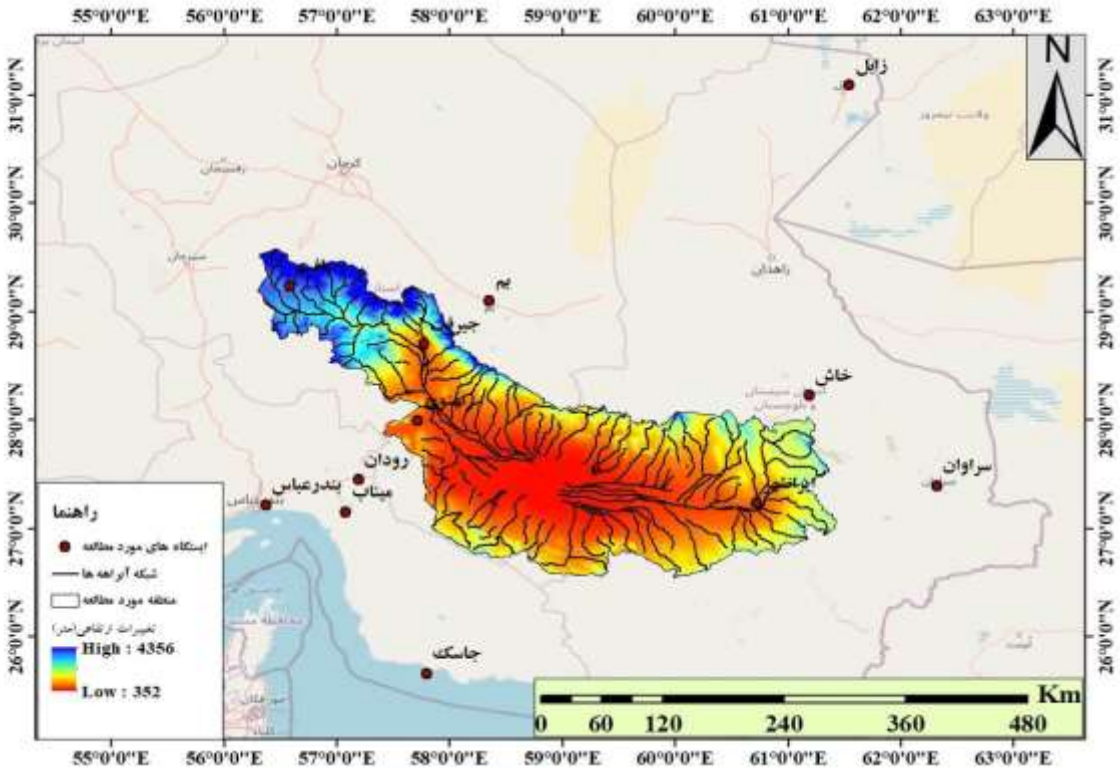
۳ـ مواد و روش

برای اجرای پژوهش حاضر، داده‌های هواشناسی مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در حوضهٔ تالاب جازموریان برای بازهٔ زمانی بیست ساله (۱۳۹۹-۱۳۷۹)، از سازمان هواشناسی ایران دریافت شد. داده‌های اقلیمی استفاده شده در این تحقیق نیز شامل دما، بارش، رطوبت نسبی، سرعت و جهت باد، دید افقی و داده‌های حاصل از سنجش از دور نیز شامل عمق اپتیکی آئروسل‌ها (AOD) و NDVI[1] بود. در انتخاب نوع پارامترهای اقلیمی نیز سعی شد از پارامترهای مهمی استفاده شود که در سایر مطالعات (Soleimani Sardo, 2020) به کار رفته‌است و در ایستگاه‌های موجود در منطقه،

[1] Normalized difference vegetation index

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.109]

اطلاعات کافی در مورد آن وجود دارد. روش تحقیق، ترکیبی از تحلیل‌های آماری، همدیدی و سنجش از دوری است. برای بررسی عمق نوری AOD، از داده‌های ماهانهٔ سنجندهٔ مودیس ماهوارهٔ ترا سطح ۶ با رزولوشن مکانی ده کیلومتر در بازهٔ زمانی ۱۳۹۹-۱۳۷۹ و برای بررسی پوشش گیاهی، از داده‌های ماهانهٔ شاخص پوشش گیاهی NDVI حاصل از سنجندهٔ مودیس با رزولوشن مکانی ده کیلومتر استفاده شد. شاخص NDVI، یک شاخص سلامت پوشش گیاهی است که بر اساس نحوهٔ بازتاب گیاهان محدودهٔ خاصی از طیف الکترومغناطیسی است. به زبان ساده، این شاخص سلامت گیاه را بر اساس نحوهٔ انعکاس امواج نوری مختلف توسط یک گیاه نشان می‌دهد. برای درک سلامت گیاهان، طیف الکترومغناطیسی در نحوهٔ عملکرد شاخص NDVI بسیار مهم است و به ما این امکان را می‌دهد که میزان سلامت گیاه را بر اساس نحوهٔ انعکاس انرژی و نور تعیین کنیم. مقدار شاخص NDVI همیشه بین ۱- و ۱+ است؛ مقادیر بین ۰ و ۱- نیز گیاهان مرده یا اجسام غیر آلی مانند سنگ‌ها، جاده‌ها و خانه‌ها را نشان می‌دهد. مقادیر شاخص NDVI برای گیاهان زنده، بین صفر تا یک است که یک سالم‌ترین و صفر کمترین مقدار سلامت است. داده‌های عمق نوری و شاخص پوشش گیاهی نیز از سایت زمین‌شناسی آمریکا [1] دریافت شد. داده‌های سنجندهٔ مودیس در سال‌های ۱۳۹۹-۱۳۷۹ پس از اجرای تصحیحات و پیش‌پردازش‌ها در افزونهٔ MODIS TOOLKIT در نرم‌افزار ENVI5.3 تهیه شد. در این مطالعه برای شناسایی روند تغییرات زمانی ـ مکانی وقوع گرد و غبار در تالاب جازموریان، از دوازده ایستگاه سینوپتیک ـ که طولانی‌ترین و کامل‌ترین دوره آماری بود ـ استفاده شد. شکل ۲، ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب در تحقیق را نشان می‌دهد. مشخصات مربوط به دوازده ایستگاه سینوپتیک، در جدول ۱ ذکر شده‌است.



شکل ۲: ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب در محدودهٔ مورد مطالعه

[1] https://neo.sci.gsfc.nasa.gov

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.109]

جدول ۱: مشخصات دوازده ایستگاه سینوپتیک منتخب در محدودهٔ مورد مطالعه

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی (درجه دقیقه)	طول جغرافیایی (درجه دقیقه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)
بافت	۲۹ درجه ۱۴ دقیقه	۵۶ درجه ۳۵ دقیقه	۲۲۸۰
بم	۲۹ درجه ۰۶ دقیقه	۵۸ درجه ۲۱ دقیقه	۱۰۶۶/۹
جیرفت	۲۸ درجه ۳۵ دقیقه	۵۷ درجه ۴۸ دقیقه	۶۰۱
کهنوج	۲۷ درجه ۵۸ دقیقه	۵۷ درجه ۴۲ دقیقه	۴۶۹/۷
بندرعباس	۲۷ درجه ۱۳ دقیقه	۵۶ درجه ۲۲ دقیقه	۹/۸
جاسک	۲۵ درجه ۳۸ دقیقه	۵۷ درجه ۴۶ دقیقه	۵/۲
میناب	۲۷ درجه ۰۶ دقیقه	۵۷ درجه ۰۵ دقیقه	۲۹/۶
رودان	۲۷ درجه ۲۸ دقیقه	۵۷ درجه ۱۱ دقیقه	۲۱۹/۶
ایرانشهر	۲۷ درجه ۱۲ دقیقه	۶۰ درجه ۴۲ دقیقه	۵۹۱/۱
خاش	۲۸ درجه ۱۳ دقیقه	۶۱ درجه ۱۲ دقیقه	۱۳۹۴
سراوان	۲۷ درجه ۲۰ دقیقه	۶۲ درجه ۲۰ دقیقه	۱۱۹۵
زابل	۳۱ درجه ۰۲ دقیقه	۶۱ درجه ۲۹ دقیقه	۴۸۹/۲

بررسی روند تغییرات زمانی وقوع گرد و غبار حوضهٔ تالاب جازموریان

یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای بررسی روند تغییرات زمانی، آزمون من کندال است (Mann, 1994). از مزایای مهم این روش، می‌توان به عدم پیروی آن از یک توزیع آماری خاص و فقدان تأثیرپذیری از رخدادهای حدی اقلیمی اشاره کرد؛ به همین دلیل، در بسیاری از مطالعات گذشته برای بررسی روند تغییرات متغیرهای هواشناسی از این آماره استفاده شد (Mallick et al, 2021 & Yarmoradi et al, 2020). فرض صفر و یک این آزمون نیز به ترتیب بر فقدان روند و وجود آن در سری زمانی مورد بررسی دلالت داشت. با در نظر گرفتن یک سری زمانی به صورت $x_1, x_n, \ldots, x$، آمارهٔ آزمون من کندال (Z) با استفاده از روابط زیر محاسبه شد:

رابطهٔ ۱
$$S = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=i+1}^{n} sgn(Y_j - Y_i)}{\sigma_s}$$

رابطهٔ ۲
$$z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{var\ (s)}} when\ s > 0 \\ 0\ when\ s = 0 \\ \frac{s-1}{\sqrt{var\ (s)}}\ when\ s < 0 \end{cases}$$

جایی که در آن σ_s انحراف معیار داده‌ها، n تعداد داده‌ها، Y_j و Y_i مقادیر داده‌ها در دوره‌های متوالی، $sgn(Y_j - Y_i)$ که یا ۱ یا ۰ یا ۱- باشد و این مقادیر به ترتیب حاکی از روند صعودی، فقدان روند و روند نزولی است. همچنین var (s)، واریانسی از آمارهٔ S است. در ادامه برای بررسی و تأیید صحت تغییرات روند بازهٔ زمانی مد

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.109]

نظر، از شیب تخمین‌گر سن استفاده شد که مقادیر مثبت و منفی این شیب به ترتیب بیانگر روند افزایشی و کاهشی، و مقادیر برابر صفر بیانگر فقدان روند بود (Sen, 1968).

بررسی روند تغییرات مکانی وقوع گرد و غبار حوضهٔ تالاب جازموریان

در این مرحله از تحقیق برای درک بهتر از الگوی پراکنش مکانی وقایع گرد و غبار در حوضهٔ تالاب جازموریان، از روش درون‌یابی فاصلهٔ معکوس (IDW) در نرم‌افزار ARCGIS استفاده شد که با موفقیت، از آن در بسیاری از مطالعات مربوط به طوفان‌های گرد و غبار و فرسایش بادی استفاده شده‌است (Eskandari Dameneh et al, 2021). ذکر این امر لازم است که این نقشه‌ها، برای دورهٔ زمانی مشترک بین ایستگاه‌های مطالعاتی تهیه شده‌است. نتایج حاصل از این مرحله می‌تواند درک ما را از مناطق مستعد تولید گرد و غبار افزایش دهد و به شناسایی بهتر مناطق پر خطر از نظر تولید گرد و غبار منجر شود.

تحلیل همبستگی بین متغیرهای مورد بررسی

برای بررسی اثرات متقابل بین شاخص AOD و NDVI، بارندگی، دما، رطوبت نسبی، دید افقی، جهت باد و سرعت باد، از تحلیل همبستگی فضایی استفاده شد. در این مطالعه همبستگی بین داده‌ها به وسیلهٔ ضریب همبستگی پیرسون انجام شد (Soleimani Sardo, 2020).

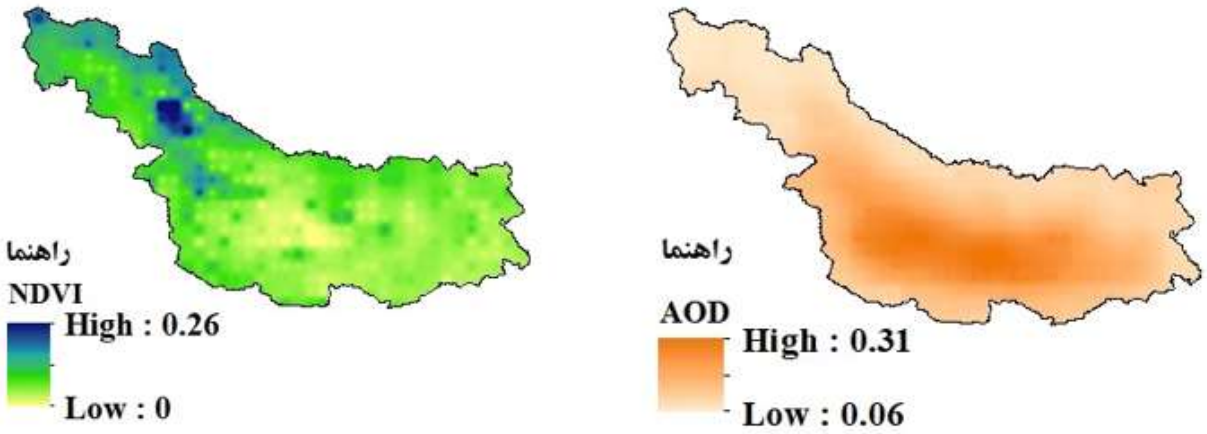
۴ـ یافته‌ها (نتایج)

تغییرات مکانی ـ زمانی متغیرهای مورد بررسی

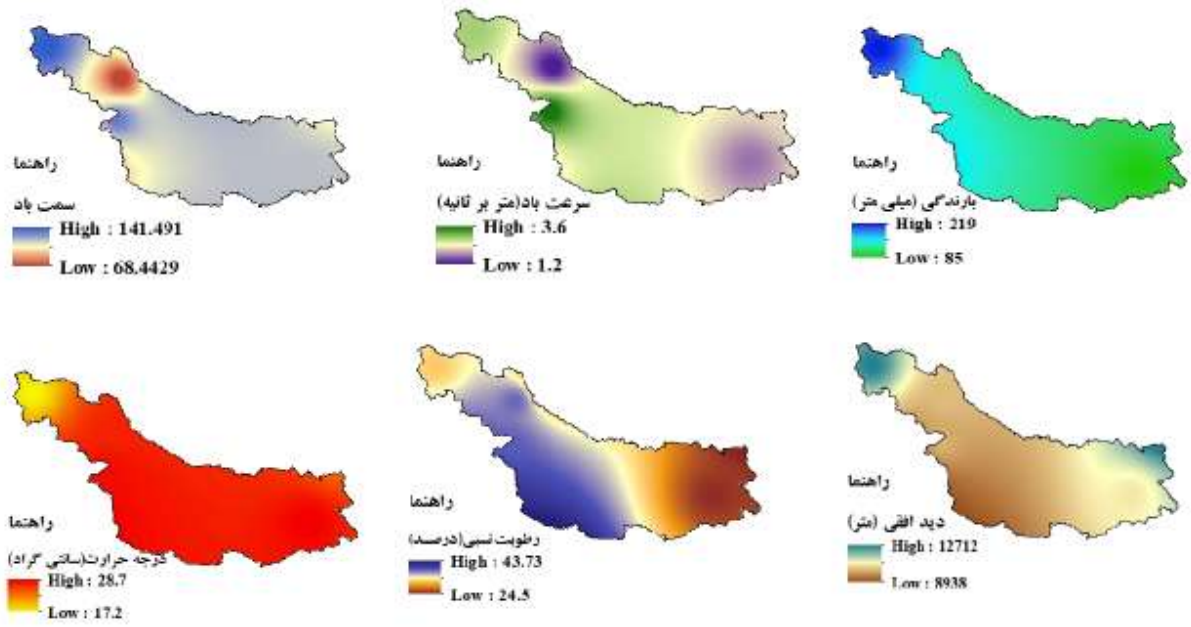
نتایج حاصل از بررسی متوسط بیست سالهٔ (۱۳۹۹-۱۳۷۹) شاخص‌های عمق نوری، پوشش گیاهی NDVI، بارندگی، دما، رطوبت نسبی و سرعت و جهت باد در حوضهٔ تالاب جازموریان، در شکل‌های ۳ و ۴ آورده شده‌است. متوسط بیست سالهٔ عمق نوری نیز نشان می‌دهد که بیشترین مقدار این شاخص در منطقهٔ مورد مطالعه، ۰/۳ (افزایش پوشش گیاهی) است که در بخش مرکزی تالاب دیده می‌شود؛ این در حالی است که حداقل این شاخص، ۰/۰۶ (حاکی از خاک لخت) است که در بیشتر نقاط منطقهٔ مطالعاتی دیده می‌شود. بررسی متوسط بیست سالهٔ شاخص پوشش گیاهی نیز نشان داد که حداکثر مقدار این شاخص، ۰/۲ است که بیشتر قسمت‌های شمالی، شمال غربی و غرب را دربر می‌گیرد. مقدار حداقل این شاخص صفر است که بیشتر در قسمت مرکزی تالاب دیده می‌شود. بررسی روند متوسط بیست سالهٔ بارندگی نیز نشان می‌دهد که حداکثر و حداقل بارندگی در این دوره، به‌ترتیب حدود ۲۱۹ و ۸۵ میلی‌متر است؛ این در حالی است که بررسی متوسط بیست سالهٔ دما نشان می‌دهد که حداکثر و حداقل دما به‌ترتیب ۲۸/۷ و ۱۷/۲ درجهٔ سانتی‌گراد بوده‌است. بر اساس متوسط بیست سالهٔ دما و بارندگی، حداکثر بارندگی با حداقل دما همخوانی دارد؛ به طوری که حداکثر بارندگی در قسمت‌های شمالی و غربی است که با حداقل‌های دمایی در این مناطق هماهنگ است. بررسی متوسط بیست سالهٔ سرعت باد نیز نشان داد که حداکثر سرعت، ۳/۶ متر بر ثانیه است که بیشتر در قسمت‌های مرکزی، غرب و شمال غربی، جنوب و جنوب غربی دیده می‌شود و مقادیر حداقل این شاخص، ۱/۲ متر بر ثانیه است که در قسمت‌های شمال و شرق منطقهٔ تالاب دیده می‌شود. بررسی متوسط بیست سالهٔ شاخص سمت باد نیز نشان داد که کمترین جهت وزش باد، در قسمت‌های شمالی منطقه و بیشترین جهت وزش باد، در سایر نقاط حوضهٔ تالاب

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.109]

جازموریان است. بررسی متوسط بیست سالهٔ شاخص رطوبت نسبی نشان داد که حداکثر رطوبت در منطقهٔ مورد مطالعه ۴۳/۷۳ درصد است که بیشتر در قسمت‌های شمال، شمال غربی، غرب، جنوب و جنوب غربی دیده می‌شود و کمترین مقدار رطوبت، ۲۴/۵ درصد است که بیشتر در قسمت‌های شرقی و مرکزی دیده می‌شود. بررسی متوسط بیست سالهٔ شاخص دید افقی نیز نشان داد که بیشترین دید افقی (۱۲۷۱۲ متر)، در قسمت‌های شمال شرقی و شمال غربی منطقه است و سایر نقاط منطقه نیز کمترین (۸۹۳۸ متر) دید افقی را دارد.



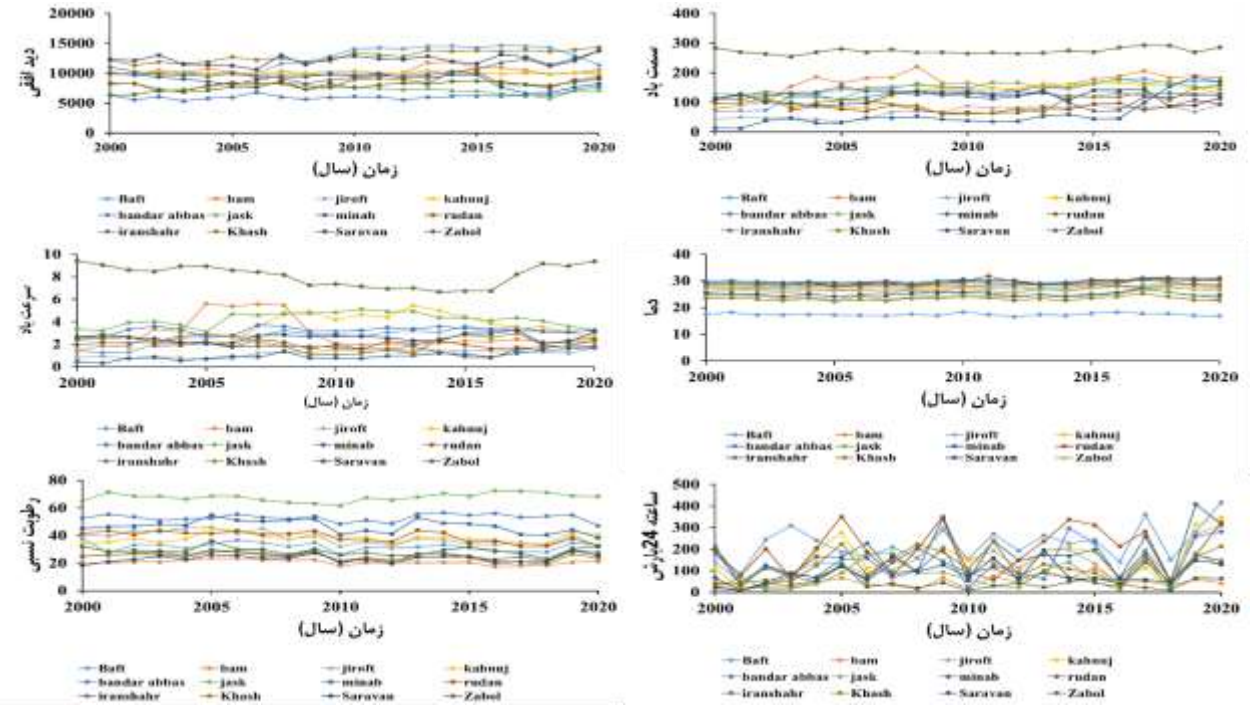
شکل ۳: متوسط بیست سالهٔ شاخص عمق نوری و پوشش گیاهی NDVI در حوضهٔ تالاب جازموریان



شکل ۴: متوسط بیست سالهٔ شاخص‌های جهت باد، سرعت باد، بارندگی، دما، رطوبت نسبی و دید افقی در حوضهٔ تالاب جازموریان

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.109]

نتایج بررسی داده‌های اقلیمی جهت باد، سرعت باد، بارندگی، دما، رطوبت نسبی و دید افقی برای درک روند تغییرات زمانی وقوع پدیدهٔ گرد و غبار بر اساس روش من کندال با مقیاس سالانه در دوازده ایستگاه سینوپتیک موجود در حوضهٔ مطالعاتی، در شکل ۵ نشان داده شده‌است.



شکل ۵: مقادیر داده‌های اقلیمی مربوط به سال‌های مختلف در دوازده ایستگاه سینوپتیک موجود در منطقهٔ مورد مطالعه

(دما: درجهٔ سانتیگراد، رطوبت نسبی: درصد، سرعت باد: متر بر ثانیه، دید افقی: متر، بارش: میلی‌متر، سمت باد: درجه)

نتایج به دست آمده از تحلیل آزمون من کندال برای تغییرات وقوع گرد و غبار در بازهٔ زمانی بیست ساله در ایستگاه‌های مطالعاتی نشان داد که طبق جدول ۲، پارامتر جهت باد در ایستگاه‌های سینوپتیک جیرفت، کهنوج و جاسک در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ دارای روند است. ایستگاه‌های سینوپتیک میناب و بافت نیز در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ دارای روند است. سایر ایستگاه‌های بم، بندرعباس، رودان، ایرانشهر، خاش، سراوان و زابل نیز در پارامتر جهت باد فاقد روند دیده می‌شود.

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.109]

جدول ۲: نتایج حاصل از آزمون من کندال در پارامتر جهت باد (* معنی‌داری در سطح ۰/۰۵، ** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱)

نام ایستگاه	P value	Kendall's tau	Sen's slope	روند
بافت	**۰/۰۰۰****	**۰/۶۳۶**	**۳/۰۹۶**	دارای روند
بم	۰/۰۵۰	۰/۳۵۱	۲/۳۰۶	فاقد روند
جیرفت	**۰/۰۱۹***	**۰/۵۴۱**	**۲/۳۱۷**	دارای روند
کهنوج	**۰/۰۳۱***	**۰/۴۸۱**	**۲/۷۹۴**	دارای روند
بندرعباس	۰/۷۳۵	۰/۰۵۶	۰/۱۲۵	فاقد روند
جاسک	**۰/۰۲۳***	**۰/۴۷۲**	**۲/۱۹۱**	دارای روند
میناب	**۰/۰۰۷****	**۰/۵۹۳**	**۴/۶۵۸**	دارای روند
رودان	۰/۴۴۶	۰/۱۲۲	۰/۴۰۵	فاقد روند
ایرانشهر	۰/۲۵۹	-۰/۱۷۷	-۰/۹۵۰	فاقد روند
خاش	۰/۰۸۲	۰/۳۵۱	۲/۳۱۱	فاقد روند
سراوان	۰/۳۵۲	۰/۱۶۹	۰/۸۲۶	فاقد روند
زابل	۰/۵۳۵	۰/۱۰۰	۰/۱۸۳	فاقد روند

طبق جدول ۳، پارامتر سرعت باد در ایستگاه ایرانشهر در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ دارای روند است و آمارهٔ شیب خط سن نشان داد که سرعت باد در ایستگاه ایرانشهر نیز روند کاهشی دارد. ایستگاه‌های سینوپتیک میناب و بافت نیز در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ دارای روند است. در این دو ایستگاه طبق آمارهٔ شیب خط سن، روند سرعت باد افزایشی است. سایر ایستگاه‌های بم، جیرفت، کهنوج، بندرعباس، جاسک، رودان، خاش، سراوان و زابل نیز در پارامتر سرعت باد فاقد روند است.

جدول ۳: نتایج حاصل از آزمون من کندال در پارامتر سرعت باد (* معنی‌داری در سطح ۰/۰۵، ** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱)

نام ایستگاه	P value	Kendall's tau	Sen's slope	روند
بافت	۰/۰۰۹**	۰/۵۵۰	۰/۵۵۰	دارای روند
بم	۰/۹۵۶	-۰/۰۱۳	-۰/۰۱۳	فاقد روند
جیرفت	۰/۰۹۳	۰/۴۰۳	۰/۴۰۳	فاقد روند
کهنوج	۰/۵۵۷	۰/۱۴۳	۰/۱۴۳	فاقد روند
بندرعباس	۱/۰۰۰	-۰/۰۰۴	-۰/۰۰۴	فاقد روند
جاسک	۰/۹۷۱	۰/۰۱۳	۰/۰۱۳	فاقد روند
میناب	<۰/۰۰۰۱**	۰/۶۸۰	۰/۶۸۰	دارای روند
رودان	۰/۳۲۵	-۰/۱۰۵	-۰/۱۰۵	فاقد روند
ایرانشهر	۰/۰۱۴*	-۰/۵۱۵	-۰/۵۱۵	دارای روند
خاش	۰/۸۰۷	-۰/۰۴۸	-۰/۰۴۸	فاقد روند
سراوان	۰/۳۶۷	۰/۱۴۳	۰/۱۴۳	فاقد روند
زابل	۰/۰۷۳	-۰/۳۸۵	-۰/۳۸۵	فاقد روند

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.109]

طبق جدول ۴، پارامتر بارش در تمام ایستگاه‌های سینوپتیک موجود در منطقهٔ مطالعاتی، فاقد روند است. در دو سطح معنی‌داری ۰/۰۵ و ۰/۰۱، هیچ یک از ایستگاه‌ها روند معنی‌داری ندارد.

جدول ۴: نتایج حاصل از آزمون من کندال در پارامتر بارش (* معنی‌داری در سطح ۰/۰۵، ** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱)

نام ایستگاه	P value	Kendall's tau	Sen's slope	روند
بافت	۰/۴۱۹	۰/۴۱۹	۲/۵۲۱	فاقد روند
بم	۰/۶۱۲	۰/۶۱۲	۰/۶۷۹	فاقد روند
جیرفت	۰/۲۳۶	۰/۲۳۶	۴/۱۸۰	فاقد روند
کهنوج	۰/۴۹۹	۰/۴۹۹	۲/۸۵۷	فاقد روند
بندرعباس	۰/۷۹۳	۰/۷۹۳	۱/۱۰۲	فاقد روند
جاسک	۰/۶۵۲	۰/۶۵۲	۱/۳۲۱	فاقد روند
میناب	۰/۰۶۹	۰/۰۶۹	۳/۳۷۰	فاقد روند
رودان	۰/۷۹۹	۰/۷۹۹	۱/۳۸۲	فاقد روند
ایرانشهر	۰/۲۱۶	۰/۲۱۶	۱/۹۳۵	فاقد روند
خاش	۰/۶۵۲	۰/۶۵۲	۲/۲۵۰	فاقد روند
سراوان	۰/۸۶۶	۰/۸۶۶	-۰/۱۹۶	فاقد روند
زابل	۰/۸۶۶	۰/۸۶۶	۰/۱۶۱	فاقد روند

مطابق خروجی حاصل از آزمون من کندال مربوط به پارامتر دما که در جدول ۵ ارائه شده‌است، در ایستگاه‌های سینوپتیک بافت، جیرفت، ایرانشهر و زابل در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ دارای روند است. آمارهٔ شیب خط سن نیز نشان داد که در ایستگاه جیرفت، روند دما کاهشی و در سه ایستگاه جیرفت، ایرانشهر و زابل، روند دما افزایشی برآورد شده‌است. ایستگاه‌های سینوپتیک جاسک، میناب و رودان نیز در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ دارای روند است. آمارهٔ شیب خط سن نیز نشان داد که در هر سه ایستگاه، روند دما افزایشی است. سایر ایستگاه‌های بم، کهنوج و بندرعباس نیز فاقد روند است.

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.109]

جدول ۵: نتایج حاصل از آزمون من کندال در پارامتر دما (* معنی‌داری در سطح ۰/۰۵، ** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱)

نام ایستگاه	P value	Kendall's tau	Sen's slope	روند
بافت	۰/۰۴۹*	-۰/۰۸۶	-۰/۰۱۵	دارای روند
بم	۰/۰۳۲	۰/۳۴۳	۰/۰۴۸	فاقد روند
جیرفت	۰/۳۱۹*	۰/۱۶۲	۰/۰۱۷	دارای روند
کهنوج	۰/۶۹۵	۰/۰۶۷	۰/۰۱۶	فاقد روند
بندرعباس	<۰/۰۰۰۱	۰/۴۶۷	۰/۰۶۱	فاقد روند
جاسک	۰/۰۰۳**	۰/۴۷۶	۰/۰۴۳	دارای روند
میناب	۰/۰۰۰**	۰/۴۱۹	۰/۰۶۳	دارای روند
رودان	۰/۰۰۸**	۰/۴۶۴	۰/۱۲۶	دارای روند
ایرانشهر	۰/۳۵۱*	۰/۱۱۴	۰/۰۱۱	دارای روند
خاش	۱/۰۰۰**	۰/۰۸۶	۰/۰۱۸	دارای روند
سراوان	۱/۰۰۰**	۰/۰۸۶	۰/۰۱۶	دارای روند
زابل	۰/۲۳۹*	۰/۱۹۰	۰/۰۳۸	دارای روند

خروجی حاصل از آزمون من کندال مربوط به پارامتر رطوبت نسبی در جدول ۶ ارائه شده‌است، در ایستگاه سینوپتیک میناب در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ دارای روند است. آمارهٔ شیب خط سن نیز نشان داد که در ایستگاه میناب روند رطوبت نسبی کاهشی است. ایستگاه‌های سینوپتیک جیرفت، خاش و رودان نیز در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ دارای روند است. آمارهٔ شیب خط سن نیز نشان داد که روند رطوبت نسبی در هر سه ایستگاه کاهشی است. سایر ایستگاه‌های بافت، بم، کهنوج، بندرعباس، جاسک، ایرانشهر، سراوان و زابل نیز فاقد روند است.

جدول ۶: نتایج حاصل از آزمون من کندال در پارامتر رطوبت نسبی (* معنی‌داری در سطح ۰/۰۵، ** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱)

نام ایستگاه	P value	Kendall's tau	Sen's slope	روند
بافت	۰/۱۱۴	-۰/۲۴۷	-۰/۲۰۹	فاقد روند
بم	۰/۰۹۱	-۰/۲۶۴	-۰/۱۲۹	فاقد روند
جیرفت	۰/۰۰۱**	-۰/۵۳۲	-۰/۶۳۰	دارای روند
کهنوج	۰/۸۲۲	-۰/۰۳۹	-۰/۰۳۶	فاقد روند
بندرعباس	۰/۹۱۰	-۰/۰۲۲	-۰/۰۱۹	فاقد روند
جاسک	۰/۶۴۲	۰/۰۹۱	۰/۰۵۶	فاقد روند
میناب	۰/۰۴۸*	-۰/۳۰۷	-۰/۴۲۸	دارای روند
رودان	۰/۰۰۱**	-۰/۵۱۴	-۰/۵۵۸	دارای روند
ایرانشهر	۰/۱۹۵	-۰/۲۰۳	-۰/۱۰۹	فاقد روند
خاش	۰/۰۰۶**	-۰/۴۲۹	-۰/۲۷۶	دارای روند
سراوان	۰/۹۵۵	-۰/۰۱۳	-۰/۰۰۶	فاقد روند
زابل	۰/۲۸۴	-۰/۱۶۹	-۰/۱۷۱	فاقد روند

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.109]

طبق جدول ۷، پارامتر دید افقی در ایستگاه‌های بافت، بندرعباس، جاسک، رودان، خاش و زابل دارای روند است و در ایستگاه‌های دیگر، فاقد روند.

خروجی حاصل از آزمون من کندال مربوط به پارامتر دید افقی در جدول ۶ ارائه شده‌است، در ایستگاه‌های سینوپتیک بافت، بندرعباس و رودان در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ دارای روند است. ایستگاه‌های سینوپتیک جاسک، زابل و رودان نیز در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ دارای روند است. سایر ایستگاه‌های جیرفت، بم، کهنوج ، میناب، ایرانشهر و سراوان فاقد روند است.

جدول ۷: نتایج حاصل از آزمون من کندال در پارامتر دید افقی (* معنی‌داری در سطح ۰/۰۵، ** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱)

نام ایستگاه	P value	Kendall's tau	Sen's slope	روند
بافت	۰/۰۲۶*	۰/۵۳۲	۲۳۳/۹۷۱	دارای روند
بم	۰/۶۵۱	۰/۰۷۴	۱۲/۸۵۲	فاقد روند
جیرفت	۰/۱۴۳	۰/۲۲۹	۱۱/۲۳۴	فاقد روند
کهنوج	۰/۷۷۸	۰/۰۴۸	۰/۸۷۹	فاقد روند
بندرعباس	۰/۰۴۵*	۰/۴۸۱	۳۷/۶۳۷	دارای روند
جاسک	۰/۰**	-۰/۵۶۷	-۷۲/۹۳۷	دارای روند
میناب	۰/۱۵۶	-۰/۳۲۵	-۷۵/۶۱۶	فاقد روند
رودان	۰/۰۴۵*	۰/۳۱۴	۵۹/۰۲۴	دارای روند
ایرانشهر	۰/۱۰۰	۰/۳۹۴	۱۴۶/۳۸۱	فاقد روند
خاش	۰/۰۰۰۱**	۰/۷۰۶	۱۲۸/۹۱۳	دارای روند
سراوان	۰/۳۱۰	۰/۱۶۰	۳۲/۵۶۶	فاقد روند
زابل	۰/۰۰۰۱**	۰/۶۴۵	۱۰۹/۷۸۲	دارای روند

خروجی حاصل از آزمون من کندال مربوط به پارامتر عمق نوری (AOD) در جدول ۸ ارائه شده‌است. ایستگاه‌های سینوپتیک بم، جیرفت، بندرعباس و جاسک در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ دارای روند است. ایستگاه سینوپتیک بافت نیز در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ دارای روند است. سایر ایستگاه‌های کهنوج، میناب، رودان، ایرانشهر، خاش، سراوان و زابل فاقد روند است.

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.109]

جدول ۸: نتایج حاصل از آزمون من کندال در پارامتر عمق نوری (* معنی‌داری در سطح ۰/۰۵، ** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱)

نام ایستگاه	P value	Kendall's tau	Sen's slope	روند
بافت	۰/۰۰۲**	۰/۴۹۵	۰/۰۰۳	دارای روند
بم	۰/۰۲۰*	۰/۳۷۱	۰/۰۰۲	دارای روند
جیرفت	۰/۰۱۴*	۰/۳۹۰	۰/۰۰۲	دارای روند
کهنوج	۰/۱۷۴	۰/۲۱۹	۰/۰۰۳	فاقد روند
بندرعباس	۰/۰۳۲*	۰/۳۴۳	۰/۰۰۵	دارای روند
جاسک	۰/۰۴۳*	۰/۳۲۴	۰/۰۰۵	دارای روند
میناب	۰/۰۶۵	۰/۲۹۵	۰/۰۰۵	فاقد روند
رودان	۰/۱۹۴	۰/۲۱۰	۰/۰۰۲	فاقد روند
ایرانشهر	۰/۰۹۷	۰/۲۶۷	۰/۰۰۳	فاقد روند
خاش	۰/۱۷۴	۰/۲۱۹	۰/۰۰۲	فاقد روند
سراوان	۰/۹۷۶	-۰/۰۱۰	۰/۰۰۰	فاقد روند
زابل	۰/۳۴۹	۰/۱۵۲	۰/۰۰۵	فاقد روند

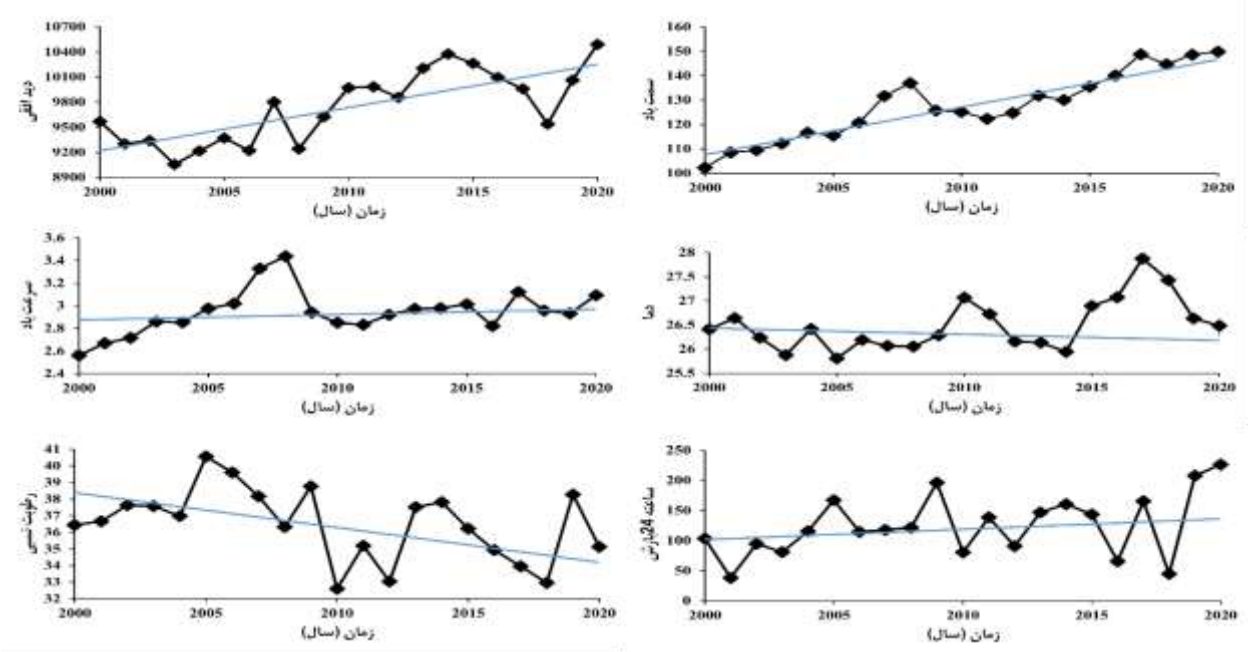
خروجی حاصل از آزمون من کندال مربوط به پارامتر پوشش گیاهی NDVI در جدول ۹ ارائه شده‌است. در ایستگاه‌های سینوپتیک بافت، جیرفت، جاسک و میناب در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ دارای روند است. ایستگاه‌های سینوپتیک رودان، ایرانشهر، خاش، سراوان و زابل نیز در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ دارای روند است. سایر ایستگاه‌های بم، کهنوج و بندرعباس فاقد روند است. آمارهٔ شیب خط سن نیز نشان داد ایستگاه‌هایی که روند معنی‌دار داشته‌است، در جهت روند صعودی است.

جدول ۹: نتایج حاصل از آزمون من کندال در پارامتر پوشش گیاهی NDVI (* معنی‌داری در سطح ۰/۰۵، ** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱)

نام ایستگاه	P value	Kendall's tau	Sen's slope	روند
بافت	۰/۰۲۶*	۰/۴۶۳	۰/۰۰۱	دارای روند
بم	۰/۷۹۶	۰/۰۶۷	۰/۰۰۰	فاقد روند
جیرفت	۰/۰۱۴*	۰/۳۹۰	۰/۰۰۱	دارای روند
کهنوج	۰/۰۷۵	۰/۲۸۶	۰/۰۰۱	فاقد روند
بندرعباس	۰/۴۷۱	۰/۱۵۲	۰/۰۰۰	فاقد روند
جاسک	۰/۰۲۰*	۰/۳۷۱	۰/۰۰۱	دارای روند
میناب	۰/۰۱۷*	۰/۳۸۱	۰/۰۰۲	دارای روند
رودان	<۰/۰۰۰۱**	۰/۶۲۹	۰/۰۰۳	دارای روند
ایرانشهر	<۰/۰۰۰۱**	۰/۸۵۷	۰/۰۰۲	دارای روند
خاش	۰/۰۰۸**	۰/۳۶۸	۰/۰۰۱	دارای روند
سراوان	۰/۰۰۲**	۰/۶۴۸	۰/۰۰۱	دارای روند
زابل	۰/۰۰۰**	۰/۶۱۰	۰/۰۰۳	دارای روند

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.109]

در نهایت، روند تغییرات متوسط داده‌های اقلیمی در حوضهٔ تالاب جازموریان در شکل ۶ نشان داده شده‌است. روند تغییرات متوسط سالانهٔ شاخص‌های سمت باد، سرعت باد و دید افقی با شیب مثبت افزایشی است. روند تغییرات شاخص‌های بارندگی و دما نیز در بازهٔ زمانی ۲۰۲۰-۲۰۰۰ نشان داد که روند این دو پارامتر افزایشی است که این افزایش در دما محسوس‌تر می‌باشد. روند تغییرات شاخص رطوبت نسبی در بازهٔ زمانی بیست ساله، شیب منفی و کاهشی دارد.



شکل ۶: تغییرات متوسط شاخص‌های اقلیمی در حوضهٔ جازموریان

(دما: درجهٔ سانتیگراد، رطوبت نسبی: درصد، سرعت باد: متر بر ثانیه، دید افقی: متر، بارش: میلی‌متر، سمت باد: درجه)

همبستگی فضایی پارامترهای مورد بررسی

رابطهٔ همبستگی بین عمق نوری و شاخص پوشش گیاهی NDVI، پارامترهای اقلیمی جهت و سرعت باد، دما، بارندگی، رطوبت نسبی و دید افقی در دورهٔ زمانی بیست ساله، در جدول زیر نشان داده شده‌است.

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.109]

جدول ۱۰: نتایج حاصل از ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص‌های اقلیمی در ایستگاه‌های موجود در منطقه

متغیر	بارش	رطوبت	دما	سرعت باد	جهت باد	دید افقی	NDVI	AOD
بارش	۱							
رطوبت	۰/۳۶۳	۱						
دما	-۰/۱۵۳	-۰/۶۷۸	۱					
سرعت باد	۰/۳۸۳	۰/۰۷۲	-۰/۱۰۸	۱				
جهت باد	۰/۴۳۲	-۰/۳۳۹	۰/۴۸۰	۰/۶۰۷	۱			
دید افقی	۰/۴۸۰	-۰/۳۲۰	۰/۲۹۱	۰/۱۴۳	۰/۶۲۰	۱		
NDVI	۰/۴۶۶	-۰/۱۸۶	۰/۴۱۰	۰/۲۹۴	۰/۶۶۹	۰/۷۹۴	۱	
AOD	۰/۳۳۱	-۰/۲۴۰	۰/۱۷۷	۰/۱۴۷	۰/۵۶۴	۰/۲۶۷	۰/۰۷۸	۱

بر اساس جدول ۹، بررسی همبستگی (در سطح معنی‌داری پنج درصد) بین عمق نوری (AOD) و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) نشان داد که رابطهٔ همبستگی مثبت بین این دو پارامتر با ضریب ۰/۰۷ معنی‌دار است. همبستگی بارندگی با عمق نوری با ضریب همبستگی ۰/۳۳، روند مثبت و معناداری دارد. همبستگی دما با عمق نوری با ضریب همبستگی ۰/۱۷ مثبت و معنی‌دار است. همبستگی رطوبت با عمق نوری با ضریب ۰/۲۴- منفی و فاقد معناداری است. همبستگی بین دید افقی با عمق نوری نیز نشان داد که رابطهٔ بین این دو پارامتر با ضریب ۰/۲۶، روند معنی‌دار و مثبتی دارد. همبستگی بین سرعت باد با عمق نوری نشان داد که با ۰/۱۴، روند مثبتی دارد و همبستگی جهت باد با عمق نوری نیز نشان داد که رابطهٔ بین این دو پارامتر با ضریب ۰/۵۶ مثبت و معنی‌دار است. به طور کلی، بیشترین همبستگی شاخص عمق نوری با پارامتر جهت باد است و کمترین همبستگی با شاخص رطوبت نسبی.

۵ـ بحث و نتیجه‌گیری

روند رو به رشد انتشار ذرات گرد و غبار ناشی از پدیدهٔ فرسایش بادی در دهه‌های اخیر، نگرانی‌های عمده‌ای را در سطوح مختلف منطقه‌ای، ملی و جهانی ایجاد کرده‌است (Rashki et al, 2021). بنابراین، درک روند تغییرات زمانی ـ مکانی گرد و غبارهای ایجاد شده از این رخدادها به منظور کاهش پیامدهای نامطلوب آنها در مناطق مختلف ضروری است. امروزه استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی با قدرت تفکیک مکانی متفاوت، می‌تواند اطلاعات کافی و مناسبی را برای تحلیل روند تغییرات این ذرات در اختیار کاربران قرار دهد (Eskandari Damaneh et al, 2021). نتایج بررسی عمق نوری نشان داد که بیشترین عمق نوری از نظر مکانی در قسمت‌های مرکزی تالاب جازموریان قرار دارد. از سوی دیگر، در این مناطق کمترین میزان پوشش گیاهی، بارندگی، رطوبت نسبی، دید افقی، حداکثر دما، جهت و سرعت باد دیده می‌شود که این نتایج با مطالعات Yousefi و همکاران (2021)، EskandariDamaneh و همکاران (2019)، Ahmadaali و همکاران (2021) و Mirkarim and Sharafi

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.109]

(2020) مطابقت دارد. آنها به این نتیجه رسیدند که در سطح کشور ایران، بیشترین مقدار تولید و دریافت AOD و بادهای با سرعت بالا در قسمت‌های جنوب شرق، شرق، مرکز، غرب و جنوب غرب کشور دیده می‌شود. برمبنای نتایج بیان شده با توجه به اطلس بیابان‌زدایی ایران، بر اساس شاخص IMDPA با توجه به اینکه متغیرهای متعددی را در زمینهٔ گسترش تخریب زمین نشان داده‌است، نتایج این تحقیق نیز به خودی خود بیانگر آن است که تغییرات اقلیمی رخ داده در این منطقه، به تغییر فصل رشد پوشش گیاهی منجر شده‌است که به تبع آن، با تراکم بیش از پیش دام در این مناطق با توجه به وابستگی اقتصادی و برداشت بیش از حد از سفره‌های آب زیرزمینی، به کاهش رطوبت نسبی خاک (Mohammadpour et al, 2020 & Yousefi et al, 2021)، افزایش گرد و غبار و خشکسالی‌های متعدد ـ که به کاهش سطح آب تالاب می‌انجامد ـ منجر شده‌است؛ بنابراین، این کاهش رطوبت به ایجاد کاهش و افزایش فشار ناشی از گرمایش جهانی می‌انجامد که به ایجاد گردباد و سایر مؤلفه‌هایی که در این پدیده مؤثر هستند، منجر می‌شود که با نتایج Wang و همکاران (2020) و Savari و همکاران (2021) مطابقت دارد. مطالعهٔ آنان نشان داد که بین عمق نوری و پارامترهای اقلیمی همبستگی بالایی وجود دارد؛ به طوری که کاهش بارش و رطوبت نسبی و دمای بالا به افزایش AOD منجر می‌شود. بر این اساس، هر چه دما بالاتر و سرعت باد بیشتر باشد شرایط را برای افزایش انتقال گرد و غبار افزایش می‌دهد که تحقیق Yousefi و همکاران (2021) در غرب کشور نیز این موضوع را تأیید می‌کند. در حالت کلی می‌توان نتیجه گرفت که عمق نوری ذرات معلق در هوا به شدت به عوامل اقلیمی و عوامل محیطی وابسته است که این در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌ویژه در کشور ایران و منطقهٔ تالاب جازموریان دیده می‌شود و در سال‌های اخیر، محدودهٔ تالاب به‌عنوان منابع مولد گرد و غبار عمل کرده‌است. از سوی دیگر، با استفاده از داده‌های سنجش از دور حاصل از سنجندهٔ مودیس و داده‌های اقلیمی می‌توان روند تغییرات گرد و غبار را در واحد زمان و مکان بررسی و تجزیه و تحلیل کرد. در پایان پیشنهاد می‌شود با استفاده از نتایج این پژوهش، مناطق تولید گرد و غبار با عمق نوری بالا به صورت منطقه‌ای مطالعه شود و رابطهٔ آن با سایر عوامل اقلیمی و محیطی در مقیاس ماهانه و فصلی در این مناطق، بررسی و نتایج آن با نتایج این تحقیق مقایسه شود. به طور کلی، نتایج این مطالعه می‌تواند به مدیران و برنامه‌ریزان برای اولویت‌بندی اقدامات مدیریتی و اجرایی در راستای مبارزه با خطر بیابان‌زایی و کاهش اثرات محیط زیستی ناشی از طوفان‌های گرد و غبار در مناطق غبارآلود کمک کرد.

منابع

1. Ahmadaali, K.; Eskandari Damaneh, H.; Ababaei, B.; & H. Eskandari Damaneh, 2021. Impacts of droughts on rainfall use efficiency in different climatic zones and land uses in Iran, *Journal of Arabian Geosciences*, 14, 1-15.

2. Albarakat, R., & V. Lakshmi., (2019). Monitoring Dust Storms in Iraq Using Satellite Data. *Sensors*. 19(17), 3687.

3. Arjamand, M.; Rashki, A.; & H. Sargazi, 2018. Temporal and spatial monitoring of dust phenomenon using satellite data in southeast Iran, with emphasis on Jazmurian region, *Scientific-Research Quarterly of Geographic Information "Sephehr"*, 27(106), 153-168. (in Persian).

4. Bertrand, T.; Kahre, M.; Urata, R.; Mattaanen, A.; Montmessin, F.; Wilson, J.; & M. Wolff, 2022. Impact of the coagulation of dust particles on Mars during the 2018 global dust storm, *Icarus*, 115239.

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.109]

5. Chubin, B.; Sajidi Hosseini, F.; Rahmati, O.; Mehdizadeh Yushanloui, M.; & M. Jalali, 2022. Examining temporal and spatial changes in the number of days of dust occurrence in West Azarbaijan province, determining the influencing factors and identifying the origin, *Journal of Wilderness Management*, 10 (2), 71-86. (in Persian).
6. Dargahian, F., & S. Lotfi Nasab Asl., (2020). Identifying the trend of changes in the climatic areas of the watersheds leading to the dust centers of Khuzestan province (Karun Bozor, Karkheh and Zohra-Jarhari). *Iran Pasture and Desert Research*. 27(2), 320-300. (in Persian).
7. Ebrahimi-Khusfi, Z.; Nafarzadegan, A.; & F. Dargahian, 2021. Predicting the number of dusty days around the desert wetlands in southeastern Iran using feature selection and machine learning techniques, *Ecological Indicators*, 125, 107499.
8. Eskandari Damaneh, H.; Eskandari Damaneh, H.; Khosravi, H.; & H. Gholami, 2019. Drought analysis and monitoring using NDVI vegetation cover index (Case study: West Basin of Jazmurian wetland), *Marta Research Journal, 13 (3), 475-461*. (in Persian).
9. Eskandari Damaneh, H.; Jafari, M.; Eskandari Damaneh, H.; Behnia, M.; Khoorani, A.; & JP. Tiefenbacher, 2021. Testing possible scenariobased responses of vegetation under expected climatic changes in Khuzestan Province, Journal of Air, Soil and Water Research, 14, 13117862212110332.
10. Eskandari Dameneh, H.; Gholami, H.; & M. Telfer, 2021. Desertification of Iran in the early twenty-first century: assessment using climate and vegetation indices, *Journal of Scienfific Report*, 11, 20548.
11. Gherboudj, I.; Beegum, S.; & H. Ghedira, 2017. Identifying natural dust source regions over the Middle-East and North-Africa: Estimation of dust emission potential, *Earth-science reviews*, 165, 342-355.
12. Khusfi, Z.; Khosroshahi, M.; Roustaei, F.; & M. Mirakbari, 2020. Spatial and seasonal variations of sand-dust events and their relation to atmospheric conditions and vegetation cover in semi-arid regions of central Iran, *Geoderma*, 365, 114225.
13. Mallick, J.; Talukdar, S.; Alsubih, M.; Salam, R.; Ahmed, M.; Kahla, N.; & M. Shamimuzzaman, 2021. Analysing the trend of rainfall in Asir region of Saudi Arabia using the family of Mann-Kendall tests, innovative trend analysis, and detrended fluctuation analysis, *Theoretical and Applied Climatology*, 143(1), 823-841.
14. Mann, H., 1994. Nonparametric tests against trend, *Econometrica: Journal of the econometric society*, 245-259.
15. Marchese, F.; Sannazzaro, F.; Falconieri, A.; Filizzola, C.; Pergola, N.; & V. Tramutoli, 2017. An Enhanced Satellite-Based Algorithm for Detecting and Tracking Dust Outbreaks by Means of SEVIRI Data, *Remote Sensing*, 9(6), 537.
16. Mehri Cherodeh, M., & S. Mohammadi Nematabad., (2020). Investigating the factors affecting the dust phenomenon in Iran and providing solutions and suggestions. The fifth international conference on modern accounting, *management and human sciences research in the third millennium*. (in Persian).
17. Middleton, N., 2019. Variability and trends in dust storm frequency on decadal timescales: climatic drivers and human impacts, *Geosciences*, 9 (6), 261.
18. Mir, A.; Maleki, S.; & N. Middleton, 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.
19. Mirakbari, M., & Z. Ebrahimi Khousfi., (2020). Investigating the trend of temporal and spatial changes of atmospheric suspended particles using the optical depth index of aerosols in southeast Iran. *Journal of Remote Sensing and Geographical Information System in Natural Resources*. 11(3), 105-87. (in Persian).

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.109]

20. Mohammadpour, K.; Saligheh, M.; Darvishi Balorani, A.; & T. Rezaei, 2020. Analysis and comparison of satelli te and simulated AOD productions in the analysis of dust in western Iran (2000-2018), *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 7(1), 15-32. (in Persian).
21. O'Loingsigh, T.; McTainsh, E.; Tews, C.; Strong, J.; Leys, Shinkfield, P.; & N. Tapper, 2014. The Dust Storm Index (DSI): a method for monitoring broadscale wind erosion using meteorological records, *Aeolian Research*, 12, 29-40.
22. Qavidel Rahimi, Y.; Farajzadeh, M.; & I. Leshanizand, 2018. Analysis of temporal changes of Khorram Abad dust storms, *Applied Research in Geographical Sciences*, 18(21), 102-87. (in Persian).
23. Qin, W.; Liu, Y.; Wang, L.; Lin, A.; Xia, X.; & H. Che, 2018. Characteristic and driving factors of aerosol optical depth over mainland china during 1980-2017, *Journal of Remote Sensing*, 10, 1064.
24. Rashki, A.; Middleton, N.; & A. Goudie, 2021. Dust storms in Iran–Distribution, causes, frequencies and impacts, Aeolian Research, 48, 100655.
25. Saidifar, Z.; Khosrowshahi, M.; Gohardoost, A.; Ebrahimi Khousfi, Z.; Lotfi Nasab Asl, S.; & F. Dargahian, 2020. Investigating the origin and spatial spread of high dust concentrations and its synoptic analysis in the Gakhkhoni area, *Journal of Remote Sensing and Geographical Information System in Natural Resources*, 11 (4), 47-64. (in Persian).
26. Savari, M.; Eskandari Damaneh, H.; & H. Eskandari Damaneh, 2021. Factors influencing farmers' management behaviors toward coping with drought: evidence from Iran, *Journal of Environmental Planning and Management*, 64(11), 2021-2046.
27. Sen, P. K., 1986. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau, *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379-89.
28. Sharafi, S., & N. Mir Karim., (2020). Investigating trend changes of annual mean temperature and precipitation in Iran. *Journal of Arabian Geosciences*. 13, 759-765.
29. Soleimani Sardo, F.; Mutkan, A. A.; & S. Karami, 2022. Forecasting the movement path of dust particles using HYSPLIT and WRF-Chem models in Jazmurian basin, *Climatology Research Journal*, 13(51), 1-13. (in Persian).
30. Song, H.; Zhang, K.; Piao, Sh.; & Sh. Wan, 2016. Spatial and temporal variations of spring dust emissions in northern China over the last 30 years, *Atmospheric Environment*, 126, 117-127.
31. Temski, E.; Khurani, A.; Darvishi Belorani, A.; & A, Nohagar, 2016. Monitoring and forecasting the occurrence of dust storms using remote sensing data, spatial information system and ground data based on the investigation of changes in vegetation cover and climatic elements (case study: south and southeast of Iran), *Iranian Remote Sensing and GIS Journal*, 7(4), 27-44. (in Persian).
32. Wang, D.; Zhang, F.; Yang, S.; Xia, N.; & M. Ariken, 2020. Exploring the spatial-temporal characteristics of the aerosol optical depth (AOD) in Central Asia based on the moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS), *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*, 192, 383.
33. Yarmoradi, Z.; Nasiri, B.; Mohammadi, G.; & M. Karampour, 2020. Long-term characteristics of the observed dusty days and its relationship with climatic parameters in East Iran, *Arabian Journal of Geosciences*, 13(6), 1-11.
34. Yousefi, R.; Wang, F.; Ge, Q.; Lelieveld, J.; & A. Shaheen, 2021. Aerosol Trends during the Dusty Season over Iran, *Journal of Remote Sensing*, 13, 1045-1065.
35. Zheng, Y.; Davis, S. J.; Persad, G. G.; & K. Caldeira, 2020. Climate effects of aerosols reduce economic inequality, *Journal of Nature Climate Change*, 10, 220-224.

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.109]

Evaluation of Temporal-Spatial Changes of Climatic Elements Affecting the Occurrence of Dust Phenomenon in Arid and Semi-arid Regions (Case Study: Jazmurian Wetland)

Bahareh Jabalbarezi: *Ph.D Candidate, Desert Control and Management, Department of Reclamation of Arid and Mountains Regions, University of Tehran, Tehran, Karaj*
Gholamreza Zehtabian: *Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountains Regions, University of Tehran, Tehran, Karaj*
Hassan Khosravi[1]: *Associate Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountains Regions, University of Tehran, Tehran, Karaj*
Saeed Barkhori: *Assistance Professor, Faculty of Natural Resources, University of Jiroft, Jiroft*

Article History (Received: 2023/06/22 Accepted: 2022/09/22)

Extended abstract

1- Introduction

Soil and air are two essential elements in the life of creatures on the earth. Their interaction in certain conditions can cause many risks; among these dangers, dust storms can be mentioned. Under the conditions of dust storms, a large amount of dust is emitted in the air and the horizontal visibility is reduced to less than 1000 meters. Therefore, due to the important role of the dust phenomenon, it is highly necessary to understand the spatial-temporal changes and to analyze their long-term variations. Jazmurian region, located in the southeast of Iran, between the two provinces of Kerman and Sistan and Baluchistan, has become completely dry and turned into a desert due to drought and construction of numerous dams, and has turned this region into one of the key areas of dust production in the country. Therefore, the purpose of this study is to investigate the temporal-spatial changes of dust storms in relation to climatic parameters in Jazmurian wetland, which is of particular importance in order to properly manage this area to face the problems caused by dust storms.

2- Methodology

In order to carry out the present research, the meteorological data related to the synoptic stations located in the Jazmurian wetland area for a period of 20 years (2000-2020) were received from the Iranian Meteorological Organization. Climatic data used in this research include temperature, precipitation, relative humidity, wind speed and direction, horizontal visibility, and remote sensing data including Aerosol Optical Depth (AOD) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). The research method uses a combination of statistical analysis, observation and remote sensing. In order to check the AOD and NDVI, the monthly data of MODIS sensor was used. In this study, 12 synoptic stations that had the longest and most complete statistical periods were used in order to identify the temporal-spatial changes of dust occurrence in Jazmurian wetlat. The Mann-Kendall test was used to examine the trend of time changes. The slope of the Sen estimator was used to check and confirm the accuracy of the trend changes. In order to better understand the spatial distribution pattern of dust events in the Jazmurian wetland basin, the inverse distance interpolation method (IDW) was used. Also, Pearson's spatial correlation analysis was used to investigate the mutual effects between the indicators.

3- Results

The 20-year average review of the indicators showed that the maximum value of aerosol optical depth in the studied area was 0.3, which is seen in the central part of the wetland. The vegetation index also showed that the maximum value of this index was 0.2, which covers most of the northern, northwestern and western parts. Examining the average rainfall trend showed that the maximum and minimum rainfall in this period are about 219 and 85 mm, respectively. Meanwhile, the 20-year average temperature survey showed that the maximum

[1]. Corresponding Author, Email: hakhosravi@ut.ac.ir

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.109]

and minimum temperatures were 28.7 and 17.2 degrees Celsius, respectively. The fact that the maximum rainfall is in the northern and western part is in harmony with the minimum temperatures in these areas. The examination of the average wind speed showed that the maximum speed was 3.6 m/s, which was mostly in the central, west and northwest, south and southwest parts. The results of the wind direction index showed that the lowest wind direction is in the northern parts of the region and the highest wind direction is in other parts of the Jazmurian wetland basin. The maximum humidity in the studied area is 43.73%, which is mostly seen in the north, northwest, west, south, and southwest parts. Examination of the horizontal visibility index showed that the maximum amount of horizontal visibility was in the northeastern and northwestern parts of the region. Also, the process of changes in the Mann-Kendall test showed that the annual averages of the indicators of wind direction, wind speed and horizontal visibility have been increasing with a positive slope, and the trend of changes in the relative humidity index has a negative slope and indicates a decrease in the period of 20 years. The results of the correlation analysis (at a significance level of 5%) showed that the highest correlation of the optical depth index was with the wind direction parameter and the lowest correlation was with the relative humidity index.

4- Discussion & Conclusions

The growing trend of the emission of dust particles caused by the phenomenon of wind erosion in recent decades has caused major concerns at different regional, national and global levels. Therefore, it is necessary to understand the temporal-spatial changes of the dust caused by these events in order to reduce their adverse consequences in different regions. Accordingly, in this research, with the help of this knowledge, information related to the optical depth of particles in the air (AOD) and the vegetation cover index (NDVI) were investigated using the MODIS sensor satellite data. Using the meteorological data received from the website of the National Meteorological Organization, the climatic data of rainfall, temperature, relative humidity, horizontal visibility, wind direction and wind speed were evaluated in the period of 2000-2020 and finally the correlation between the AOD index and other climate parameters was evaluated. The results of the optical depth investigation showed that the maximum optical depth is located in the central parts of Jazmurian wetland. The trend of changes in rainfall and temperature indicators also showed that the trend of these two parameters was increasing; this increase in temperature is more noticeable. Correlation investigation between optical depth and other parameters showed that the highest correlation of optical depth index was with the wind direction parameter and the lowest correlation was with the relative humidity index. In general, we can conclude that the optical depth of airborne particles is highly dependent on environmental factors, which is more evident in arid and semi-arid areas, especially in Iran and the Jazmurian wetland area. In recent years, the area of the wetland has acted as a source of dust. Therefore, by using the remote sensing data obtained from the MODIS sensor and the climate data, it is possible to examine and analyze the trend of dust changes in the units of time and space.

Key Words: Dust, Jazmurian, Mann-Kendall Test, Climatic Parameters, Correlation

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.109]