



An examination of the correlation between the occurrence of dust storms and temperature variations in southeastern Iran (Case study: Sistan-Baluchistan province)

Maede Nasry¹, Mohammad Rahimi^{2*} , Hadi Jalili³, Fereshteh Tarighat⁴ and Aliakbar Damavandi⁵

1-PhD in Desert Management and Control, Combat to Desertification Department, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran.

2*-Corresponding Author, Prof., Combat to Desertification Department, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran.
E-mail: mrahimi@semnan.ac.ir

3-Assistant Prof., Iranian Space Research Institute, Tehran, Iran.

4-M.Sc. in Remote Sensing, Iranian Space Research Institute, Tehran, Iran.

5-Assistant Prof., Agricultural Education and Extension Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

Received: 05.01.2025

Revised: 13.03.2025

Accepted: 15.03.2025

Abstract

Background and Objectives: Global warming can influence soil health and productivity by accelerating the rate and intensity of erosion. Previous studies have shown that arid and semi-arid regions are at higher risk of wind erosion than other regions due to increased soil surface evaporation and reduced soil moisture. Temperature variations directly affect soil moisture and crop production in plants. For example, high temperatures cause soil drying, which limits plant growth. Drier soils with less vegetation cover are more prone to wind erosion. Furthermore, temperature changes modify the pressure gradient in desert and arid regions, leading to strong and persistent winds, which are among the main causes of dust storms in these areas.

Methodology: This study examined the relationship between the frequency of dust storms and land surface temperature (LST), mean temperature, maximum temperature (Tmax), minimum temperature (Tmin), and vegetation cover in Sistan-Baluchistan Province. These variables were derived from MODIS satellite imagery and meteorological data over a 20-year period (2000–2020). The DSI index was used to analyze the trend of dust storm days. A multilayer Perceptron neural network (MLP) was employed to predict the importance of the studied variables in the frequency of dust storm days. In designing the neural network, the input activation function was sigmoid, while the output activation function was identity. The network was structured with one hidden layer and five neurons. Linear regression was also used to evaluate the trends of variable changes.

Results: The results showed that the trend of changes in the DSI index in the study area was decreasing and statistically significant (P-value = 0.007). The highest and lowest values of this index were 40 and 4, respectively. The LST index and Tmax were the most important variables, while NDVI had the least importance in predicting dust storms in the study area. The highest and lowest values of the LST index were 10°C and 6°C, respectively. The trend of this index has decreased significantly in recent years (P-value = 0.03). Spatially, the highest LST values were recorded at Zabol, Iranshahr, and Saravan stations, while the lowest values were observed at Zahedan, Khash, and Chabahar. The highest and lowest Tmax values were 32°C and 30°C, respectively, and its trend was not statistically significant.

Conclusion: Among the temperature-related variables studied, LST and Tmax had the greatest impact on changes in the dust storm index. In the study area, the average LST and Tmax were measured at 8°C and 31°C, respectively, which can strongly influence other environmental factors such as air pressure, wind, and soil moisture. In contrast, NDVI, mean temperature, and Tmin had the least effect. The spatial variation pattern also confirmed the influence of LST and Tmax on DSI, with the northern part of Sistan-Baluchistan Province experiencing a more critical situation in terms of dust storm frequency. In conclusion, considering the key role of land surface temperature in DSI changes, management and planning in Sistan-Baluchistan should focus on appropriate land use planning and controlling land use changes to reduce surface temperature and limit dust storm sources.

Keywords: Remote sensing, climate change, wind erosion, adaptation, multilayer perceptron neural network

بررسی رابطه بین فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار با متغیرهای دمایی در جنوب شرقی ایران (مطالعه موردی: استان سیستان و بلوچستان)

مائده نصری^۱، محمد رحیمی^{۲*} , هادی جلیلی^۳، فرشته طریقت^۴ و علی اکبر دماوندی^۵

۱-دکتری کنترل و مدیریت بیابان، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۲- نویسنده مسئول، استاد، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران. پست الکترونیک: mrahimi@semnan.ac.ir

۳-استادیار، مرکز تحقیقات پژوهشگاه فضایی ایران، تهران، ایران

۴- کارشناس ارشد سنجش از دور، مرکز تحقیقات پژوهشگاه فضایی ایران، تهران، ایران

۵- استادیار، مؤسسه آموزش و ترویج کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۵

تاریخ اصلاح نهایی: ۱۴۰۳/۱۲/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۶

چکیده

سابقه و هدف: گرمایش جهانی با تأثیر بر سرعت و شدت فرسایش می‌تواند بر روی سلامت و بهره‌وری خاک اثرگذار باشد. مطالعات قبلی در این زمینه نشان داده است، خطر فرسایش بادی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل افزایش تبخیر از سطح خاک و کاهش رطوبت خاک‌دانه‌ها بیشتر از سایر مناطق است. تغییرات دما می‌تواند به صورت مستقیم بر میزان آب خاک و تولید محصول در گیاهان تأثیر بگذارد. به عنوان مثال، دماهای بالا می‌تواند منجر به خشکی خاک و محدود شدن رشد گیاهان شود. خاک‌های خشک‌تر با پوشش گیاهی کمتر مستعد فرسایش بادی هستند. همچنین، تغییرات دمایی با تغییر گرایان فشار در مناطق بیابانی و خشک باعث ایجاد بادهای شدید و دائمی می‌شوند که خود از دلایل اصلی ایجاد طوفان‌های گردوغبار در این مناطق است.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه رابطه بین متغیرهای دمای سطح زمین، دمای میانگین، حداکثر و حداقل و پوشش گیاهی بر روی فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار در استان سیستان و بلوچستان بررسی شد. این متغیرها در یک بازه زمانی ۲۰ ساله از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مادیس و داده‌های هواشناسی تهیه شد. از شاخص DSI برای بررسی روند تغییرات روزهای همراه با گردوغبار استفاده گردید. همچنین، از روش شبکه عصبی پرسپترون چندلایه برای پیش‌بینی اهمیت متغیرهای مورد مطالعه در فراوانی روزهای همراه با گردوغبار استفاده شد. در طراحی شبکه عصبی پرسپترون تابع فعال ورودی برابر با سیگموئید و تابع فعال خروجی تابع همانی بود. شبکه موردنظر با استفاده از یک لایه پنهان و ۵ نورون طراحی شد. از روش رگرسیون خطی نیز برای بررسی روند تغییرات متغیرها استفاده شد.

نتایج و یافته‌ها: نتایج نشان داد، روند تغییرات شاخص DSI در منطقه مورد مطالعه به صورت کاهشی و معنادار است ($P=0/007$). بیشترین و کمترین مقدار این شاخص به ترتیب برابر با ۴۰ و ۴ می‌باشد. نتایج همچنین نشان داد، شاخص LST و دمای حداکثر به ترتیب بیشترین اهمیت و متغیر NDVI کمترین اهمیت را در پیش‌بینی طوفان‌های گردوغبار در منطقه مورد مطالعه دارد. بیشترین و کمترین مقدار شاخص LST برابر با ۱۰ و ۶ درجه سلسیوس مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد، در سال‌های اخیر روند تغییرات این شاخص به صورت کاهشی و معنادار بوده است ($P=0/03$). از نظر تغییرات مکانی بیشترین مقدار شاخص LST در ایستگاه‌های زابل، ایرانشهر و سراوان و در مقابل کمترین مقدار این شاخص در ایستگاه‌های زاهدان، خاش و چابهار مشاهده شد. همچنین، بیشترین و کمترین مقدار شاخص دمای حداکثر برابر با ۳۲ و ۳۰ درجه سلسیوس می‌باشد. روند تغییرات این متغیر معنادار نبود.

نتیجه‌گیری: از بین متغیرهای دمایی مورد مطالعه به ترتیب دمای سطح زمین و دمای حداکثر بیشترین تأثیر را در روند تغییرات شاخص طوفان گردوغبار داشت. در منطقه مورد مطالعه میانگین دمای سطح زمین و دمای حداکثر به ترتیب برابر با ۸ و ۳۱ درجه

سلسیوس اندازه‌گیری شد که از این نظر می‌توانند تأثیرات زیادی را بر روی سایر عوامل محیطی مانند فشار هوا، باد، رطوبت خاک و ... داشته باشند. متغیر پوشش گیاهی، دمای میانگین و دمای حداقل نیز به ترتیب کمترین تأثیر را داشتند. روند تغییرات مکانی نیز نشان‌دهنده تأثیرپذیری روند تغییرات شاخص طوفان گردوغبار از دمای سطح زمین و دمای حداکثر بود و شمال استان سیستان و بلوچستان وضعیت بحرانی‌تری را از نظر مقادیر طوفان گردوغبار تجربه می‌کند. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت، با توجه به نقش و اهمیت دمای سطح زمین در تغییرات شاخص DSI، در منطقه مورد مطالعه، مدیریت و برنامه‌ریزی در استان سیستان و بلوچستان باید در جهت اجرای آمایش سرزمین مناسب و مدیریت تغییرات کاربری اراضی در جهت کاهش دمای سطح زمین و کنترل کانون‌های تولید گردوغبار باید باشد.

واژه‌های کلیدی: سنجش از دور، تغییر اقلیم، فرسایش بادی، سازگاری، شبکه عصبی پرسپترون چندلایه

مقدمه

در حال حاضر، بنابر شواهد علمی مختلف افزایش دمای جهانی، تغییرات منطقه‌ای دما تهدید بزرگ زیست‌محیطی است. دما پارامتری حیاتی است که به‌طور مستقیم، یا غیرمستقیم فرایندهای مختلف سطح زمین را در مقیاس‌های جهانی تا محلی کنترل می‌کند (Salam et al., 2024). دما از نظر تأثیر مستقیم بر متغیرهای آب‌وهوایی مانند فشار هوا، حرکت باد، تشکیل ابر و بارش نیز متغیر مهم اقلیمی محسوب می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد، افزایش دما به همراه کاهش بارندگی و افزایش سرعت باد شرایط ایجاد و تشدید فرایندهای فرسایش بادی و طوفان‌های گردوغبار را تسهیل می‌کند. بررسی روند تغییرات طوفان‌های گردوغبار و اثر متغیرهای دمایی بر آن به ایجاد دیدگاه جامعی از ارتباط بین آنها برای کنترل و مدیریت این پدیده کمک می‌کند. دمای سطح زمین LST (Land Surface Temperature) یک متغیر مهم برای اندازه‌گیری اقلیم یک منطقه است (Zareie et al., 2016) و نقش مهمی در کنترل تبادل حرارتی زمین و جو دارد (Malik & Shukla, 2018). بنابراین، عامل مهمی برای بررسی میزان برهم‌کنش شار انرژی بین زمین و جو است (Wu et al., 2023).

دمای سطح زمین نتیجه انتشار حرارتی سطح زمین است. همچنین، دمای تابشی شامل سطوح مختلف تاج پوشش گیاهی و خاک می‌شود (Hall et al., 1992). ماهیت توپوگرافی، خاک، پوشش گیاهی و ویژگی‌های کاربری

اراضی تغییرات دمای سطح زمین را به‌صورت مکانی و زمانی کنترل می‌کند (Chou bin et al., 2022). بنابراین، دمای سطح زمین متغیر مهمی در کنترل پدیده فرسایش بادی و طوفان‌های گردوغبار است. روش سنتی برای اندازه‌گیری دما مبتنی بر داده‌های ایستگاهی است که محدودیت‌های خاص خود را دارد، ازجمله مهمترین آن این است که در مقیاس‌های بزرگ قابل اندازه‌گیری نیست. با ورود فناوری سنجش از دور، اندازه‌گیری دمای سطح زمین با استفاده از داده‌های مکانی و زمانی با وضوح بالا مبتنی بر پیکسل به جای نقاط روی زمین ممکن شده است (Li et al., 2013). توسعه ایستگاه‌های هواشناسی و جمع‌آوری داده‌های منظم اقلیمی در مناطق دورافتاده و غیرقابل دسترس باعث شده برای مقابله بر چنین مشکلی تخمین دمای سطح زمین و میزان پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های سنجش از دور امکان‌پذیر باشد. از آنجایی که تغییرات پوشش گیاهی بر روی دمای سطح زمین و میزان برداشت ذرات از خاک توسط باد مؤثر است، در این مطالعه روند تغییرات پوشش گیاهی نیز به‌عنوان یکی از متغیرهای مؤثر بر گردوغبار با استفاده از شاخص تفاوت نرمال‌شده پوشش گیاهی یا (Normalized NDVI (Difference Vegetation Index مورد بررسی قرار گرفت.

Ansari ghøjghar و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه خود به بررسی روند فراوانی روزهای همراه با طوفان‌های گردوغبار و ارتباط آن با عناصر اقلیمی پرداختند، نتایج آنان

نشان داد، در ایستگاه‌های استان لرستان به‌ترتیب متغیرهای بیشینه سرعت باد و دمای حداکثر بیشترین همبستگی را دارد.

نتایج مطالعه [Pourgholam-Amiji](#) و همکاران (۲۰۲۱) به‌منظور مدل‌سازی رابطه بین طوفان‌های گردوغبار با متغیرهای دمای متوسط، حداکثر و حداقل در نیمه غربی کشور نشان داد، بالاترین ضریب همبستگی شاخص فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار با متغیر دمای حداکثر است. [Mirmousavi](#) و [Taran](#) (۲۰۲۱) در مطالعه خود به بررسی و تحلیل نوسانهای گردوغبار با دما و بارش در غرب و جنوب غرب ایران پرداختند. نتایج مطالعه آنان نشان داد، پدیده گردوغبار در غرب و جنوب ایران با دما، بارش و روزهای خشک دارای ساختار فضایی است. [Bagherabadi](#) (۲۰۲۱) در مطالعه خود نشان داد، بین رخداد گردوغبار و دما رابطه مستقیم و معنی‌دار مثبت وجود دارد. [Dargahian](#) و [Ashrafi](#) (۲۰۲۳) در مطالعه خود با استفاده از شاخص طوفان گردوغبار یا DSI (Dust Storm Index) نشان دادند، در بخش‌های مرکزی و غربی استان یزد روزهای گردوغباری بیشینه هستند. [Farzanehpuy](#) و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه خود به ارزیابی روند تغییرات گردوغبار و ارتباط آن با دما در استان خوزستان پرداختند و از داده‌های میانگین دمای ماهانه، میانگین دمای سطح زمین و داده‌های عمق نوری استفاده کردند. نتایج مطالعه آنان نشان داد، بیشترین همبستگی بین پارامترهای دمایی و مقادیر شاخص عمق اُپتیکی آئروسول وجود دارد. همچنین نتایج مطالعه آنان نشان داد، دمای سطح زمین نسبت به دمای هوا اهمیت بیشتری در تغییرات شدت گردوغبار دارد.

استان سیستان و بلوچستان در جنوب شرقی ایران به‌عنوان یکی از فعال‌ترین منابع تولید گردوغبار در کشور شناخته می‌شود ([Rami et al., 2022](#)). طوفان‌های گردوغبار در اثر وزش بادهای شدید و نزدیک به سطح زمین رخ می‌دهند و با برداشت حجم زیادی از رسوبات بادی و انتقال آنها عاملی برای نگرانی‌های زیستی و اقتصادی هستند ([Abbas et al., 2021](#)), ذرات خاک پس از

جدا شدن و انتقال در هوا در مسافت‌های طولانی جابه‌جا می‌شوند ([Hamidi & Safareeyeh, 2019](#)). این ذرات با توجه به الگوی باد منطقه تقریباً در تمام طول سال برداشت و انتقال داده می‌شوند، اما وقوع طوفان‌های گردوغبار در ماه‌های گرم سال که همزمان با وزش بادهای ۱۲۰ روزه است، شدت و فراوانی بیشتری دارد. الگوی بادهای ۱۲۰ روزه معروف به لوار نقش مهمی را در برداشت ذرات و فرسایش بادی در سیستان و بلوچستان ایفا می‌کند. این منطقه از کشور دارای توپوگرافی پیچیده، فلات‌های بیابانی و دریاچه هامون است که به‌عنوان زهکش رودخانه هیرمند شناخته می‌شود ([Kaskaoutis et al., 2019](#)). طی سال‌های اخیر با افزایش خشک‌سالی‌ها، دما و کاهش بارش‌ها در کنار تغییرات کاربری اراضی، فراوانی و شدت طوفان‌های گردوغبار افزایش یافته است ([Rashki et al., 2021](#)).

بنابراین، یکی از مسائل چالش‌برانگیز استان سیستان و بلوچستان، مدیریت و کنترل پدیده گردوغبار است. سؤال اصلی این مطالعه این است که کدامیک از متغیرهای دمای سطح زمین، پوشش گیاهی و دمای متوسط، حداکثر و حداقل اهمیت بیشتری بر فراوانی طوفان‌های گردوغبار و روند تغییرات آن در استان سیستان و بلوچستان دارد. بنابراین بررسی اهمیت و ارتباط این متغیرها با طوفان‌های گردوغبار هدف اصلی این مطالعه می‌باشد. نتایج این مطالعه می‌تواند به محققان برای مطالعات آینده و مسئولان در برنامه‌ریزی‌های زیست‌محیطی پایدارتر کمک کند و به کاهش اثرها و توسعه راه‌حل‌های پایدار منجر شود.

مواد و روش‌ها

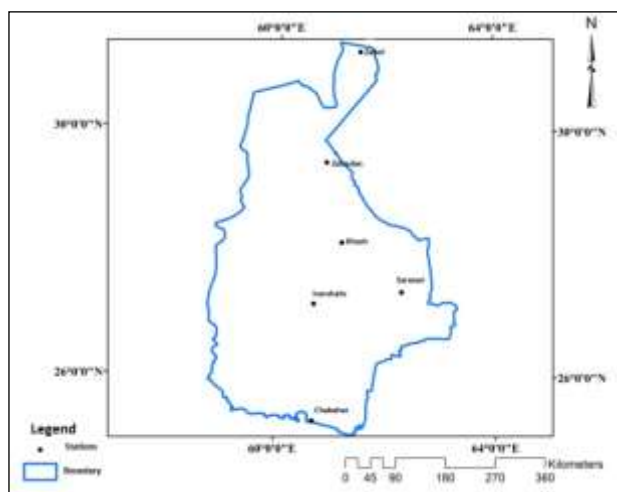
روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

استان سیستان و بلوچستان در جنوب شرقی ایران و در مختصات ۲۵ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی و ۵۸ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۶۳ درجه و ۲۱ دقیقه شرقی قرار دارد. مساحت این استان برابر با ۱۸۰/۷۲۰ کیلومترمربع است. این استان از نظر طبقه‌بندی اقلیمی در

زاهدان در مرز بین اقلیم بیابانی و نیمه‌بیابانی قرار دارد. مناطق سراوان، خاش و چابهار آب‌وهوای نیمه‌بیابانی دارند. طوفان‌های گردوغبار به‌شدت این استان را در تمام طول سال تحت تأثیر قرار می‌دهد. شکل ۱ موقعیت استان سیستان و بلوچستان را نشان می‌دهد.

ناحیه اقلیمی بیابانی و خشک می‌باشد. میانگین بارندگی این استان بین ۷۰-۱۳۰ میلی‌متر است و به‌طور معناداری در زمستان می‌بارد و میانگین دمای سالانه آن برابر با ۲۲ درجه سلسیوس است. در یک تقسیم‌بندی کلی می‌توان گفت، مناطق ایرانشهر و زابل دارای آب‌وهوای بیابانی و ناحیه



شکل ۱- موقعیت منطقه و ایستگاه‌های مورد مطالعه

Figure 1. Location of the study area and stations

در جدول ۱ نشان داده شده است.

ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک انتخاب‌شده در استان سیستان و بلوچستان که دارای دوره آماری ۲۰ ساله هستند،

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

Table 1. Characteristics of the meteorological stations

Year	Latitude	Longitude	Location	Station
2000-2020	25.3	60.7	Sistan and Baluchestan	Chabahar 1
2000-2020	27.2	60.7		Iranshahr 2
2000-2020	28.2	61.2		Khash 3
2000-2020	27.4	62.3		Saravan 4
2000-2020	31.1	61.5		Zabol 5
2000-2020	29.5	60.9		Zahedan 6

۲۰ ساله از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ از ماه فوریه تا اکتبر (طول فصل رویش در منطقه) دانلود شد. در رابطه با تصاویر NDVI به‌طور معمول برای هر ماه دو تصویر وجود دارد. فاصله زمانی هر تصویر ۱۶ روز است. در رابطه با تصاویر

محاسبه شاخص NDVI و LST

برای محاسبه مقادیر شاخص NDVI محصول MOD13Q1 و برای محاسبه مقادیر شاخص LST محصول MOD11A2 تصاویر ماهواره مادیس در یک بازه زمانی

LST برای هر ماه ۴ تصویر داریم و فاصله زمانی هر تصویر ۸ روز است. بعد از جمع‌آوری داده‌ها و تشکیل بانک اطلاعاتی، داده‌ها با کمک نرم‌افزار ArcGIS10.2.2 و 5.3 ENVI تحلیل شد.

محاسبه شاخص طوفان گردوغبار

در این مطالعه از شاخص DSI برای بررسی روند تغییرات و پایش طوفان‌های گردوغبار استفاده شد. این شاخص روش مناسبی برای مطالعه فراوانی و شدت فرسایش بادی توسط داده‌های هواشناسی است. این شاخص ترکیبی از روزهای با گردوغبار شدید، متوسط و محلی است و براساس توان تولید رسوب وزن داده می‌شود. شاخص

DSI بدون بعد است و بدون محدودیت زمانی و مکانی با دقت مناسبی قابل استفاده است. برای محاسبه شاخص DSI، اولین قدم دستیابی به داده‌های دید افقی و کدهای هواشناسی گردوغبار است. براساس فهرست سازمان جهانی هواشناسی، از بین تمامی کدهای مربوط به پدیده‌های هواشناسی کدهای ۰۷-۰۹، ۳۵-۳۱ و ۹۸ می‌توانند برای محاسبه شاخص DSI مورد استفاده قرار بگیرند. در محاسبه DSI از کد ۰۶ استفاده نمی‌شود، زیرا بیانگر گردوغبار است که منشأ محلی ندارد و از خارج ایستگاه به ایستگاه وارد شده است. مقادیر سالیانه DSI برای هر ایستگاه با استفاده از روابط ۱ و ۲ در زیر محاسبه شد (Pouyan et al., 2019).

$$DSI_{monthly} = \sum_{i=1}^n [(0.05 \times LDE) + MDE + (5 \times SDS)] \quad (۱)$$

$$DSI_{annual} = \sum_{i=1}^{12} DSI_{monthly} \quad (۲)$$

در اینجا LDE نمایه روزهای طوفانی با گردوغبار محلی است و براساس کدهای گردوغبار ۰۷، ۰۸ و ۰۹ تعریف می‌شود، MDE نمایه روزهای طوفانی با گردوغبار متوسط است که براساس کدهای ۳۰، ۳۱، ۳۲ و ۹۸ تعریف می‌شود

و SDS نمایه روزهای طوفانی با گردوغبار شدید است که براساس کدهای ۳۳، ۳۴ و ۳۵ تعریف می‌شود که در جدول ۲ نمایش داده شده است (Pouyan et al., 2019).

جدول ۲- کدهای هواشناسی گردوغبار (سازمان جهانی هواشناسی) استفاده‌شده در شاخص DSI

Table 2. World Meteorological Organisation (WMO) recognised 11 weather codes relating to wind erosion

Synopcode	Weather description
07	Raised dust or sand
08	Well developed dust whirls (dust devils)
09	Distant or past dust storm (distant at time of obs or past station in the past hour)
30	DECREASED slight or moderate sand or dust storm with visibility <1000 m but >200 m
31	STABLE slight or moderate sand or dust storm with visibility <1000 m but >200 m
32	BEGUN or INCREASING slight or moderate sand or dust storm with visibility <1000 m but >200 m
33	DECREASED severe dust storm with visibility <200 m
34	Stable severe dust storm with visibility <200 m
35	BEGUN or INCREASING severe dust storm with visibility <200 m
98	Thunderstorm with dust or sand storm

بررسی اهمیت تأثیر پارامترهای سنجش از دور NDVI و LST و دمای حداکثر، حداقل و میانگین بر روی فراوانی

طوفان‌های گردوغبار با استفاده از روش شبکه عصبی پرسپترون در نرم‌افزار SPSS انجام شد.

شبکه عصبی

شبکه‌های عصبی مصنوعی سیستم‌های هوشمندی هستند که از هوش مصنوعی گرفته شده‌اند. این شبکه‌ها با تحلیل داده‌های ورودی ارتباط منطقی بین داده‌ها را تحلیل می‌کنند. هر شبکه عصبی از سه مؤلفه اصلی شامل وزن (W)، ارباب ($Bias$) و تابع انتقال (F) تشکیل شده است. این سه ویژگی برای هر نورون در شبکه منحصربه‌فرد است. در فرایند آموزش شبکه عصبی پارامترهای W و b تا زمان به‌دست‌آمدن بهترین تقریب برای عضو مربوط به ورودی موردنظر تغییر می‌کند (Bagherabadi, 2021). هدف از طراحی مدل پرسپترون چندلایه، حل مسائل غیرخطی است. مدل‌سازی روابط بین متغیرها در شبکه عصبی پرسپترون به‌عنوان یکی از انواع مدل‌های شبکه عصبی، با استفاده از چند لایه نورون متصل به یکدیگر شامل لایه ورودی، پنهان و خروجی انجام می‌شود (Najibzade et al., 2020). این

لایه‌ها از تعدادی نورون به وجود آمده است که وظیفه محاسبات داده‌های ارسالی را برعهده دارد و درنهایت خروجی محاسبات را منتقل می‌کند (Joorabian, Shooshtari et al., 2019). سؤال اصلی این مطالعه این است که از بین ۵ متغیر مستقل ورودی به مدل شبکه عصبی کدامیک بیشترین اهمیت را در پیش‌بینی فراوانی روزهای همراه با گردوغبار دارد. همچنین، پهنه‌بندی متغیرهای مورد مطالعه با استفاده از روش درون‌یابی یا (IDW (Inverse distance weighting) در نرم‌افزار GIS انجام شد. همچنین بررسی روند تغییرات متغیرهای مورد مطالعه به کمک روش رگرسیون خطی انجام گردید. برای این منظور، معنی‌داری شیب به‌دست‌آمده برای هر خط از نظر آماری با استفاده از آماره t آزمون شد. سطح معنی‌داری در این پژوهش ۵ درصد است (Azarakhshi et al., 2013).

جدول ۳- اطلاعات شبکه عصبی پرسپترون

Tabel 3. Multi-layer perceptron neural network

Network Information		
Input Layer	Covariates	1 NDVI
		2 LST
		3 Tmean
		4 Tmax
		5 Tmin
Hidden Layer(s)	Number of Units ^a	5
	Rescaling Method for Covariates	Standardized
	Number of Hidden Layers	1
	Activation Function	Hyperbolic tangent
Output Layer	Dependent Variables	1 DSI
	Number of Units	5
	Rescaling Method for Scale Dependents	Standardized
	Activation Function	Identity
Error Function	Sum of Squares	0.44

نتایج

۷۰ درصد داده‌های وارد شده به مدل پرسپترون چندلایه در گروه نمونه آموزشی و ۳۰ درصد در گروه نمونه آزمایشی قرار گرفت. براین‌اساس، مدل‌های مختلفی بر داده‌ها برازش داده شد و درنهایت مدلی که مجموع مربعات خطای کمتری در مورد نمونه آموزشی داشت، به عنوان مدل نهایی پذیرفته شد. اطلاعات مربوط به مدل انتخاب شده در

جدول ۳ نمایش داده شده است. متغیرهای مستقل وارد شده به مدل شامل شاخص LST، Tmax، Tmean، Tmin و NDVI می‌باشد. متغیر وابسته شاخص DSI است. مجموع مربعات خطای مدل انتخاب شده برابر ۰/۴۵ می‌باشد. تابع فعال ورودی سیگموئیدی و تابع فعال خروجی تابع همانی است. تعداد لایه‌های پنهان شبکه ۱ و تعداد نورون‌ها برابر با ۵ می‌باشد. مقایسه نتایج اهمیت متغیرهای مستقل

پیش‌بینی‌کننده در جدول ۴ نشان داد، شاخص LST و Tmax به ترتیب بیشترین اهمیت و متغیر NDVI کمترین اهمیت را در پیش‌بینی طوفان‌های گردوغبار در منطقه مورد مطالعه دارند.

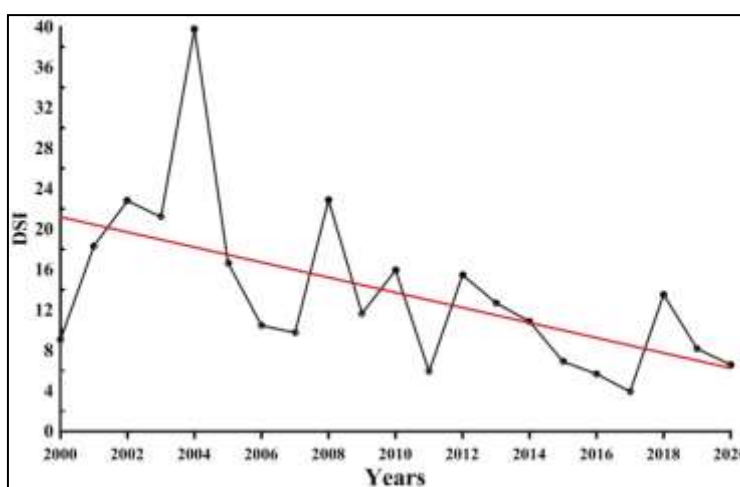
جدول ۴- اهمیت متغیرهای مستقل

Table 4. Independent Variable Importance

	Importance	Normalized Importance
NDVI	0.073	26.4%
LST	0.274	100%
Tmean	0.239	87.2%
Tmax	0.267	97.3%
Tmin	0.147	51.1%

است. بیشترین و کمترین مقدار شاخص DSI در سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۱۷ به ترتیب برابر ۴۰ و ۴ ثبت شده است. روند تغییرات این شاخص به صورت کاهشی و معنادار است (P-value = ۰/۰۰۷).

با توجه به اینکه متغیرهای دمای سطح زمین و حداکثر دما بیشترین تأثیر را در روند تغییرات شاخص DSI دارد، در ادامه روند تغییرات زمانی و مکانی این متغیرها بررسی شد. روند تغییرات شاخص DSI در شکل ۲ نشان داده شده

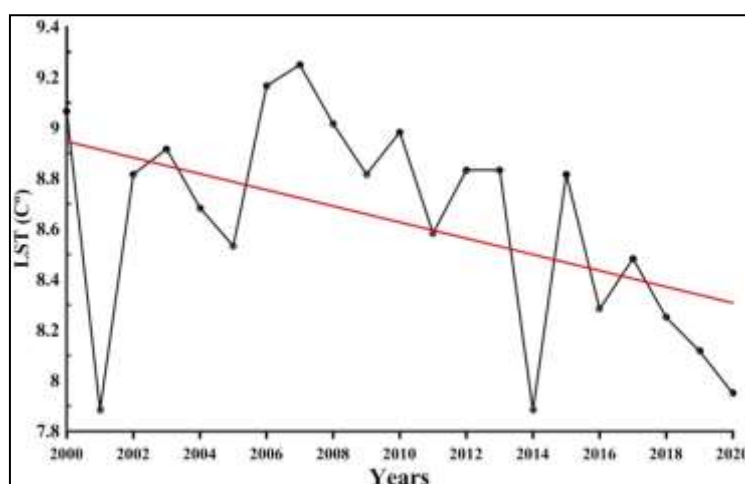


شکل ۲- روند تغییرات سالانه شاخص DSI در استان سیستان و بلوچستان طی دوره مورد مطالعه. $Y = -0.7 * X + 15$

Figure 2. DSI index annual values during the statistical period in Sistan and Baluchistan $Y = -0.7 * X + 15$

درجه سانتی‌گراد ثبت شده است. طی دوره مورد مطالعه، روند تغییرات این شاخص به صورت کاهشی بوده است. روند تغییرات این شاخص به صورت کاهشی و معنادار است (P-value = ۰/۰۳).

شکل ۳ روند تغییرات شاخص LST را در یک دوره زمانی ۲۰ ساله از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. بیشترین و کمترین مقدار شاخص LST در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۴ به ترتیب برابر با ۹/۳ و ۷/۹

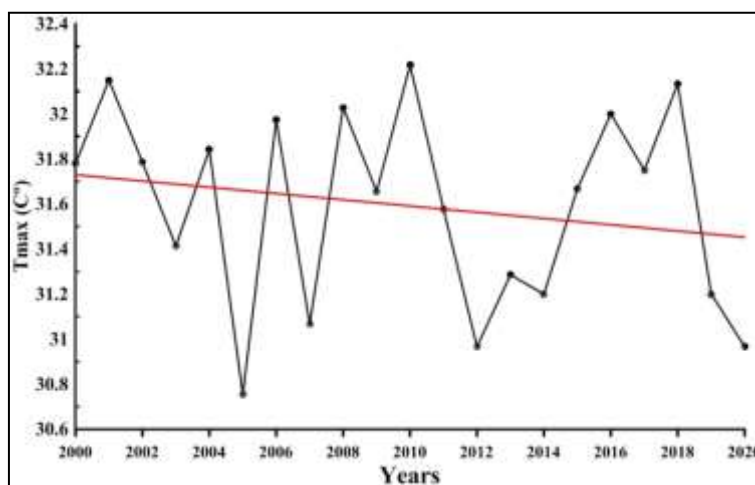


شکل ۳- روند تغییرات سالانه شاخص LST در استان سیستان و بلوچستان طی دوره مورد مطالعه. $Y = -0.03 * X + 72.8$

Figure 3. LST index annual values during the statistical period in Sistan and Baluchistan. $Y = -0.03 * X + 72.8$

شکل ۴ روند تغییرات شاخص دمای حداکثر را نشان می‌دهد. بیشترین و کمترین مقدار شاخص دمای حداکثر در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۰۵ به ترتیب برابر با ۳۲/۲ و ۳۰/۷ درجه سلسیوس ثبت شده است. روند تغییرات این شاخص به صورت کاهشی است و معنادار نیست (P -value = ۰/۳۹).

شکل ۴ روند تغییرات شاخص دمای حداکثر را نشان می‌دهد. بیشترین و کمترین مقدار شاخص دمای حداکثر در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۰۵ به ترتیب برابر با ۳۲/۲ و ۳۰/۷ درجه سلسیوس ثبت شده است. روند تغییرات این شاخص به صورت کاهشی است و معنادار نیست (P -value = ۰/۳۹).

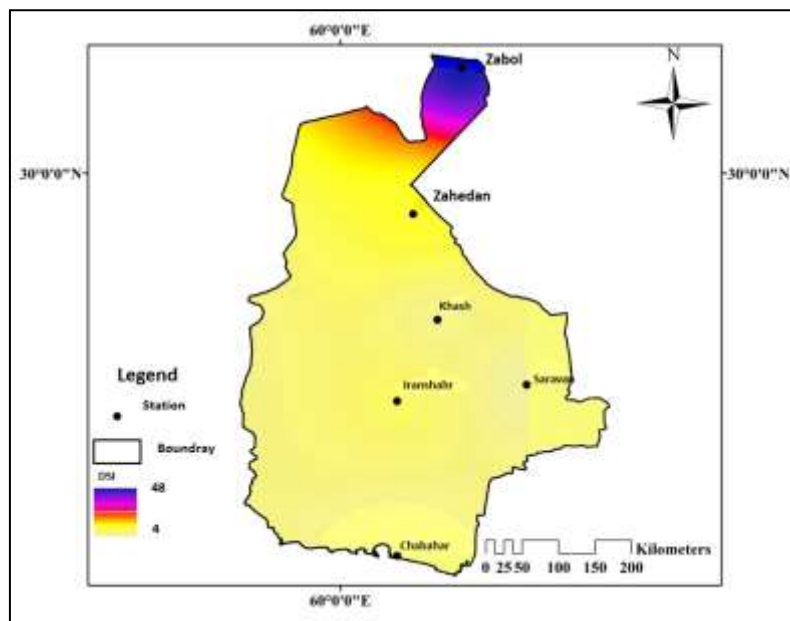


شکل ۴- روند تغییرات سالانه دمای حداکثر در استان سیستان و بلوچستان طی دوره مورد مطالعه. $Y = -0.05 * X + 4.8$

Figure 4. Tmax annual values during the statistical period in Sistan and Baluchistan. $Y = -0.05 * X + 4.8$

شاخص DSI کاهش پیدا می‌کند. در ایستگاه زابل بیشترین مقدار این شاخص مشاهده می‌شود. اما مقدار این شاخص در ایستگاه‌های زاهدان، خاش، ایرانشهر، سراوان و چابهار کاهش پیدا می‌کند که با رنگ زرد مشخص شده است.

روند تغییرات مکانی متغیرهای LST، DSI و دمای حداکثر روند تغییرات مکانی شاخص DSI، LST و دمای حداکثر با استفاده از نقشه نشان داده شده است. شکل ۵ روند تغییرات مکانی شاخص DSI را نشان می‌دهد. با حرکت از شمال به جنوب منطقه مورد مطالعه، مقدار

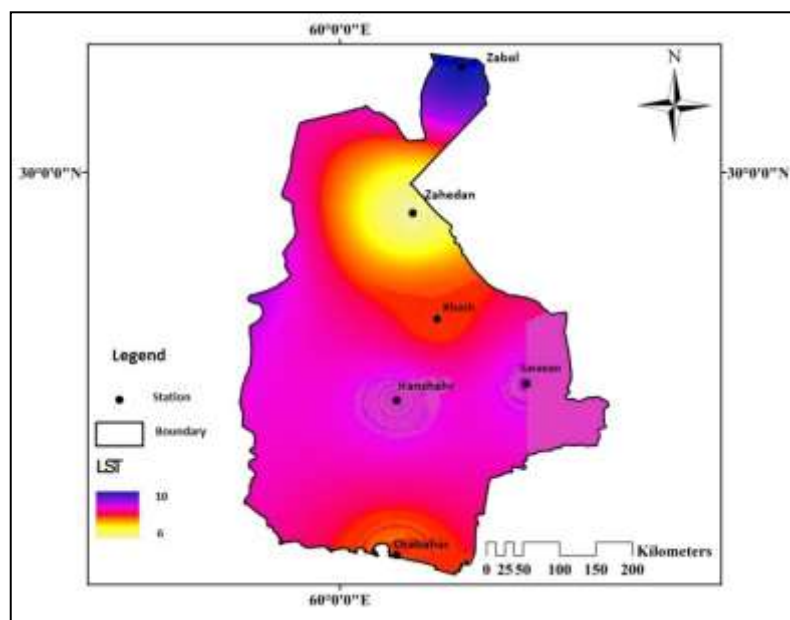


شکل ۵- روند تغییرات مکانی شاخص DSI در منطقه مورد مطالعه

Figure 5. Spatial variations of the DSI index in the study area

مشاهده شد، در مقابل کمترین مقدار این شاخص نیز در ایستگاه‌های زاهدان، خاش و چابهار ثبت شده است.

شکل ۶ روند تغییرات مکانی شاخص LST را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار شاخص LST در ایستگاه‌های زابل

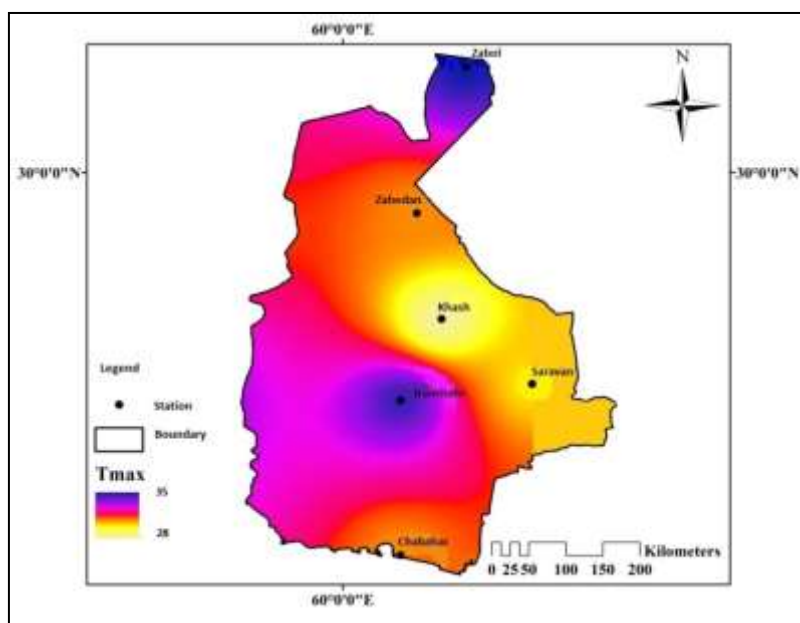


شکل ۶- روند تغییرات مکانی شاخص LST در منطقه مورد مطالعه

Figure 6. Spatial variations of the LST index in the study area

در ایستگاه‌های خاش، زاهدان، سراوان و چابهار مشاهده گردید.

شکل ۷ روند تغییرات مکانی دمای حداکثر را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار دمای حداکثر در ایستگاه‌های زابل و ایرانشهر مشاهده شد، در مقابل کمترین مقدار دمای حداکثر



شکل ۷- روند تغییرات مکانی دمای حداکثر

Figure7. Spatial variations of the Tmax in the study area

بحث

فرسایش‌پذیری خاک در مناطق بالادست شهر زابل شده است که با وزش بادهای شمالی باعث خیزش گردوغبار می‌شود. [Maleki](#) و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه خود بیان می‌کنند، دشت سیستان به شدت تحت تأثیر منفی طوفان‌های گردوغبار قرار دارد.

روند تغییرات شاخص LST طی دوره مورد مطالعه، نزولی و معنادار بود و بیشترین مقدار آن در ایستگاه‌های زابل و در مقابل کمترین مقدار در ایستگاه‌های زاهدان مشاهده شد. شاخص LST یک شاخص مرجع مهم در فرایندهای فیزیک سطح زمین است که از آن می‌توان برای بررسی برخی رخداد‌های مهم طبیعی ازجمله گردوغبار استفاده کرد ([Yan et al., 2020](#)). [Ahmadi](#) و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه خود نشان دادند، روند منفی در تغییرات شاخص LST برای مناطق خشک کم‌ارتفاع و داخلی واقع در شرق و جنوب‌شرق ایران و چاله‌های داخلی ایران قابل

روند تغییرات شاخص DSI در منطقه مورد مطالعه نزولی و معنادار بود. طی یک دوره ۲۰ ساله بیشترین و کمترین مقدار شاخص طوفان‌های گردوغبار به ترتیب در ایستگاه زابل و چابهار مشاهده شد. دلیل اصلی بالا بودن مقدار شاخص DSI در ایستگاه زابل می‌تواند نزدیکی به دریاچه هامون و خشکی این دریاچه طی سال‌های اخیر و تبدیل آن به یکی از مناطق اصلی برداشت ذرات خاک و تغذیه طوفان‌های گردوغبار باشد. [Khodam](#) و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه خود نشان دادند، در طی یک دوره ۳۰ ساله، روند تغییرات شاخص طوفان گرد و خاک طی ۱۵ سال اخیر به صورت معنی‌دار کاهش پیدا کرده است. همچنین، بیشینه مقدار شاخص طوفان گردوغبار در شهر زابل مشاهده شد. آنان براساس نتایج مطالعه خود بیان می‌کنند که خشک شدن دریاچه هامون و خشک‌سالی‌های اخیر باعث افزایش

طوفان‌های گردوغبار باشد، اما برخی دیگر از متغیرها بیشتر از سایرین اثرگذار هستند. اگرچه نتایج مدل شبکه عصبی اثر مهمترین متغیرهای مؤثر را نشان می‌دهد و اثر این متغیرها بر فراوانی گردوغبار قطعی است، اما این تأثیرات دارای نوسانهای زیاد در طول دوره آماری در ایستگاه‌های مختلف است. این همبستگی در مناطق مختلف متفاوت است و تحت تأثیر شرایط محلی نیز قرار می‌گیرد. به همین دلیل روند تغییرات فراوانی گردوغبار با روند تغییرات دمای سطح زمین و دمای حداکثر در همه سال‌ها و مناطق همخوانی ندارد یا از نظر آماری معنی‌دار نیست.

نتیجه‌گیری

چالش اصلی این مطالعه بررسی روند تغییرات متغیرهای دمایی و اثر آن بر روی روند تغییرات گردوغبار در استان سیستان و بلوچستان بود. روند تغییرات کاهشی شاخص طوفان گردوغبار در منطقه مورد مطالعه از روند کاهشی متغیرهای دمای سطح زمین و دمای حداکثر پیروی می‌کند، زیرا شاخص دمای سطح زمین و دمای حداکثر بیشترین اثرگذاری را بر روی شاخص DSI داشتند. از نظر مکانی نیز با حرکت از شمال به جنوب می‌توان این الگوی کاهشی را در ارتباط با شاخص DSI، LST و دمای حداکثر مشاهده کرد. برنامه‌ریزی بلندمدت برای کاهش اثرهای طوفان‌های گردوغبار به‌ویژه در شمال استان سیستان و بلوچستان مانند شهر زابل می‌تواند از زندگی مردم محلی محافظت کند، زیرا با خشک‌تر شدن تالاب هامون زمینه برای وقوع طوفان‌های همراه با گردوغبار بیشتر فراهم می‌شود. افزایش دمای سطحی به دلیل کاهش رطوبت خاک و تخریب پوشش گیاهی در اثر خشکی شرایطی را فراهم می‌کند که با وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان و بلوچستان رسوبات ریز بیشتری از بستر تالاب و مناطق اطراف به طرف مناطق مسکونی منتقل شود. توجه به اینکه در این مقاله فقط تأثیر عوامل دمایی بر روند تغییرات گردوغبار بررسی شده است، بنابراین لازم است عوامل دیگری مانند عوامل انسانی از جمله روند تغییرات کاربری اراضی در مطالعات بعدی

توجه است. توجه به اینکه براساس نتایج مدل شبکه عصبی پرسپترون چندلایه، از بین عوامل مورد مطالعه، شاخص LST یکی از مهمترین عوامل تأثیرگذار در فراوانی طوفان‌های گردوغبار است، بنابراین مدیریت و برنامه‌ریزی در استان سیستان و بلوچستان باید در جهت اجرای آمایش سرزمین مناسب و مدیریت تغییرات کاربری اراضی در جهت کاهش دمای سطح زمین و کنترل کانون‌های تولید گردوغبار باشد.

براساس نتایج این مطالعه دمای حداکثر در مرتبه دوم اهمیت در تغییرات شاخص DSI قرار دارد. در منطقه مورد مطالعه روند تغییرات دمای حداکثر به‌صورت نزولی بود و معنادار نبود. از نظر مکانی بیشترین مقدار دمای حداکثر در ایستگاه‌های زابل و ایرانشهر مشاهده شد، در مقابل کمترین مقدار دمای حداکثر در ایستگاه‌های خاش، زاهدان، سراوان و چابهار مشاهده گردید. دما در ایجاد اختلاف فشار و تغییر سرعت آستانه فرسایش بادی نقش دارد. از سویی، تغییرات دمای حداکثر می‌تواند بر روی پوشش گیاهی و میزان تبخیر از سطح زمین تأثیرگذار باشد که از این طریق بر میزان زبری سطح و مقاومت خاک‌دانه‌های خاک مؤثر است. همچنین [Motavallizadeh Naeini](#) و [Modarre](#) (۲۰۲۲) در مطالعه خود نشان دادند، متغیرهای دمای حداکثر بیشترین تأثیرگذاری را بر فراوانی گردوغبار در منطقه خشک و نیمه‌خشک ایران مرکزی دارند و این موضوع می‌تواند با افزایش خشکی سطح همراه باشد.

با توجه به نقش و اهمیت دمای سطح زمین در تغییرات شاخص DSI پیشنهاد می‌شود، در منطقه مورد مطالعه به عواملی که بر روی دمای سطح زمین اثرگذار هستند (مانند تغییرات کاربری اراضی) توجه بیشتری شود. شاخص NDVI کمترین همبستگی را با تغییرات طوفان‌های گردوغبار داشت. این منطقه از کشور با توجه با شرایط اقلیمی و توپوگرافی از پوشش گیاهی تنک و ضعیفی برخوردار است که به‌شدت نسبت به تغییرات شدید محیطی مانند خشک‌سالی‌ها و دماهای بالا آسیب‌پذیر است. پوشش گیاهی می‌تواند متغیری تأثیرگذار بر روند تغییرات

فصلی برای بررسی تأثیر متغیرهای دمای استفاده شود.

Reference

- Abbas, A., He, Q., Jin, L., Li, J., Salam, A., Lu, B. and Yasheng, Y., 2021. Spatial-Temporal Changes of Land Surface Temperature and the Influencing Factors in the Tarim Basin, Northwest China. *Remote Sensing*, 13: 3792. <https://doi.org/10.3390/rs13193792>
- Ahmadi, M., Mirzaei, Z.S. and Dadashiroudbari, A., 2021. Investigation of seasonal distribution and abnormal trend of day and night surface temperature in Iran using MODIS sensor data. *Physical Geography Research*, 53(3): 351-364 (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jphgr.2021.323144.1007615>
- Ansari ghoghghar, M., Araghinejad, S., Bazrafshan, J. and Hoorfar, A., 2020. Trend Analysis of Dusty Days Frequency and its Correlation with Climatic Variables (Case Study: Lorestan Province). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(9): 2289-2301 (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijswr.2018.259959.667940>
- Azarakhshi, M., Farzadmehr, J., Eslah, M. and Sahabi, H., 2013. An Investigation on Trends of Annual and Seasonal Rainfall and Temperature in Different Climatologically Regions of Iran. *Journal of Range and Watershed Managment*, 66(1): 1-16 (In persian). <https://doi.org/10.22059/jfwp.2013.35337>
- Bagherabadi, R., 2021. Analysis the Change Trend dust events and its relationship with SPI index (Case Study: Ahvaz). *Geography and Human Relationships*, 4(3): 224-237 (In persian). <https://doi.org/20.1001.1.26453851.1400.4.3.14.0>
- Chou bin, B., Sajedi Hosseini, F., Rahmati, O., Mehdizadeh Youshanloei, M. and Jalali, M., 2022. Temporal and Spatial Variations of Dust Days in Western Azerbaijan Province, Determination of the Influencing Factors and Source of Events. *Desert Management*, 10(22): 71-86 (In Persian). <https://doi.org/10.22034/jdmal.2022.550729.1378>
- مورد بررسی قرار گیرند. درضمن، از آنجایی که تمامی متغیرهای اقلیمی در این مقاله به صورت سالانه محاسبه شده‌اند، بهتر است از مقیاس کوچک‌تر مانند ماهانه یا
- Dargahian, F. and Ashrafi, S., 2023. Investigation of dust storm intensity potential using comparison of horizontal visibility data and DSI index in Yazd province. *Journal of Climate Research*, 1401(52): 183-192 ((In Persian)).
- Farzanehpey, F., Ranjbar-Fordoe, A., Khosravi, H. and Mosavi, S.H., 2024. Evaluation of dust changes and its relationship with temperature (Case study: Khuzestan province). *Integrated Watershed Management*, 4(1):16-29 (In Persian). <https://doi.org/10.22034/iwm.2024.2014553.1112>
- Hall, D.K., Williams, J.R. and Bayr, K.J., 1992. Glacier recession in Iceland and Austria. *Advancing Earth and Space Sciences*. 24(3): 129-141. <https://doi.org/10.1029/91EO00104>
- Hamidi, H. and Safareeyeh, M., 2019. A Model to Analyze the Effect of Mobile Banking Adoption on Customer Interaction and Satisfaction: A Case Study of m-Banking in Iran. *Telematics and Informatics*, 38: 166-181. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2018.09.008>
- Joorabian Shooshtari, S., Esmaili-Sari, A., Hosseini, S.M. and Gholamalifard, M., 2019. Application of Multilayer Perceptron Neural Network Method in Land Use Change Modeling in the East of Mzandaran Province. *Geography and Environmental Planning*, 29(4): 125-144 (In Persian). <https://doi.org/10.22108/gep.2019.97390.0>
- Kaskaoutis, D.G., Dumka, U.C., Rashki, A., Psiloglou, B.E., Gavriil, A., Mofidi, A., Petrinoli, K., Karagiannis, D. and Kambezidis, H.D., 2019. Analysis of intense dust storms over the eastern Mediterranean in March 2018: Impact on radiative forcing and Athens air quality. *Atmospheric Environment*, 209 (15): 23-39. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.04.025>
- Khodam, N., Tajbakhsh, S., Beydokhti, A., Sehat, S. and Ranjbar, A., 2020. Dust Storm Climatology in Sistan and Baluchestan Province over a 30-year period (1987-2016). *Journal of Climate Research*, 1398(40): 81-89 (In Persian).

- Li, Z.L., Tang, B., Wu, H. and Sobrino, J., 2013. Satellite-Derived Land Surface Temperature: Current Status and Perspectives. *Remote Sensing of Environment*, 131: 14-37. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.008>
- Malik, M.S and Shukla., J.P., 2018. Retrieving of Land Surface Temperature Using Thermal Remote Sensing and GIS Techniques in Kandaihimmat Watershed, Hoshangabad, and Madhya Pradesh. *Journal of the Geological Society of India*, 12 (9): 298-304. <https://doi.org/10.1007/s12594-018-1010-y>
- Maleki, S., Mir, M. and Rhdari, V., 2022. Investigating the change in the Sand and Dust Storms intensity in affected areas in Sistan Plain. *Desert Ecosystem Engineering*, 10(30): 111-125 (In Persian). <https://doi.org/10.22052/deej.2021.10.30.59>
- Mirmousavi, S.H. and Taran, Z., 2021. Investigation and analysis of the relationship between dust fluctuations and temperature and precipitation fluctuations in western and southwestern Iran. *Journal of Geography and Planning*, 25(77): 245-259 (In Persian). <https://doi.org/10.22034/gp.2021.41606.2694>
- Motavallizadeh Naeini, M and Modarres, R., 2022. Dust Storm Frequency in Connection with Climatic Change in the Arid Region of Iran. *Journal of Water and Soil Science*, 25 (4):239-252 (In Persian). <https://doi.org/10.47176/jwss.25.4.43231>
- Najibzade, N., Qaderi, K. and Ahmadi, M.M., 2020. Rainfall-Runoff modeling using Support Vector Regression and Artificial Neural Network Models (Case study: SafaRoud Dam Watershed). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 13(6): 1709-1720 (In Persian). <https://doi.org/20.1001.1.20087942.1398.13.6.15.1>
- Pouyan, S., Zare, M. and Ekhtesasi, M.R., 2019. Regional distribution and clustering of dust storm index (DSI) using linear moments approach. *Journal of Range and Watershed Management*, 72(1): 29-43 (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jrwm.2018.249574.1216>
- Pourgholam-Amiji, M., ansarighojghar, M., Araghinejad, S. and Babaeian, I., 2021. Modeling the Relationship between Dust Storms and Extreme and Average Temperature Variables in the Western Half of Iran. *Journal of Climate Research*, 1400(45): 113-126 (In Persian).
- Rami, A., Hamidi, M. and Navayi Neya, B., 2022. Atmospheric analysis of dust storms in Sistan region. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 227 (2022): 105800. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2021.105800>
- Rashki, A., Middleton, N.J. and Goudie, A.S., 2021. Dust storms in Iran-Distribution, causes, frequencies and impacts. *Aeolian Research*, 48: 100655. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2020.100655>
- Salam, M., Salam, M.K., Jahan, I. and Chowdhury, M.A., 2024. Assessing the impacts of vegetation loss and land surface temperature on Surface Urban Heat Island (SUHI) in Gazipur District, Bangladesh. *Computational Urban Science*, 4(24): 215-240. <https://doi.org/10.1007/s43762-024-00136-y>
- Wu, L., Zhao, C., Li, J., Yan, Y., Han, Q., Li, C. and Zhu, J., 2023. Impact of extreme climates on land surface phenology in Central Asia. *Ecological Indicators*, 146 (2023): 109832. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109832>
- Yan, Y., Mao, K., Shi, J., Piao, S., Shen, X., Dozier, J., Liu, Y., Ren, H. and Bao, Q., 2020. Driving forces of land surface temperature anomalous changes in North America in 2002–2018. *Scientific Reports*, 10: 6931. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63701-5>
- Zareie, S., Khosravi, H., Nasiri, A. and Dastorani, M., 2016. Using Land sat Thematic Mapped (TM) sensor to detect change in land surface temperature in relation to land use change in Yazd, Iran. *Solid Earth Journal*, 7(6): 1551-1564. <https://doi.org/10.5194/se-7-1551-2016>