

Research Paper



Analysis of the Trend of the Dust Storm Index in the Lake Uromia Playa



Jamshid Yarahmadi¹, Mohammad Khosroshahi²

1. Assistant Professor, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran
2. Professor of Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. j.yarahmadi@areeo.ac.ir

Keywords

Wind erosion, DSI Index, Lake Urmia Playa, Northwest of Iran

Receive Date: 2023/12/25

Accept Date: 2024/04/08

Available: 2024/07/14

ABSTRACT

The extended periods of drought, decrease in vegetation, and enlargement of the salt playa at Lake Urmia have resulted in the formation of local dust hotspots on the periphery of Lake Urmia in East Azarbaijan province. The objective of this study was to examine the spatial and temporal distribution of wind erosion in East Azarbaijan province using the DSI index. To achieve this, a set of weather data recorded over the past 30 years at specific codes in meteorological stations was compiled. Subsequently, the Mann-Kendall test was employed to assess the presence of a trend in the data series. Following this, the frequency of dust storms was calculated using the DSI index, and a spatial distribution map was generated in the GIS. The results of the Mann-Kendall test indicated that the slope of the trend for both local and extra-local dust storms in the province is on the rise. However, only the trend in extra-local dust storms is statistically significant at the 95% confidence level. The findings of the research revealed that the majority of the observed dust storms originate from outside the local area in East Azarbaijan province. Nevertheless, there has been a relative increase in the frequency of local dust storms in recent years, which can be attributed to the prolonged droughts resulting in reduced vegetation and the expansion of the playa of Lake Urmia. In this context, the highest frequency of dust storms has been observed at the Tabriz, Sahand, and Maragheh meteorological stations near Lake Urmia.

*Corresponding Author: Jamshid Yarahmadi

E-mail: j.yarahmadi@areeo.ac.ir

How cite to this article: Yarahmadi, Jamshid; Khosroshahi, mohammad. (2024). Analysis of the Trend of the Dust Storm Index in the Lake Uromia Playa. *Hydrogeomorphology*, 11(39): 41 – 58.

DOI: [10.22034/HYD.2024.59713.1718](https://doi.org/10.22034/HYD.2024.59713.1718)



Copyright: ©2024 by the authors.

Publisher: University of Tabriz

Introduction:

Wind erosion is a natural process that has been shaping the Earth's semi-arid and arid landscapes for thousands of years. However, the increase in population density has accelerated this process, leading to the loss of valuable topsoil, reduced soil fertility, and decreased soil moisture-holding capacity. This has negative effects on human health and local transportation due to reduced visibility. Therefore, governments in semi-arid and arid countries are working toward sustainable land management to reduce wind erosion.

While advances in regional to global-scale remote sensing, field measurements, and modeling techniques have provided much-improved data at moderate to high spatial scales, they do not provide a long temporal record to understand how changes in climate over decadal and longer timescales affect wind erosion rates and processes. Nowadays, dust storm data (DSI) observed at meteorological stations, which indicate a reduction in the horizontal field of view and are recorded in specific codes, are utilized for monitoring and evaluating wind erosion.

With its dry and semi-arid climate, Iran experiences local and extra-local dust systems. Prolonged droughts, reduced vegetation, and expansion of the salt playa in Lake Urmia have created local dust hotspots around the lake in East Azarbaijan. This article aims to use the DSI index to monitor wind erosion over a 30-year period, with an average annual erosion rate and regional spatial resolution based on meteorological observations in East Azarbaijan province.

Methodology

This study aimed to examine the spatial and temporal distribution of wind erosion in East Azarbaijan province using the DSI index. To achieve this, a set of weather data recorded over the past 30 years at specific codes was compiled in meteorological stations. Subsequently, the Mann-Kendall test was employed to assess the presence of a trend in the data series. The frequency of dust storms was then calculated using the DSI index, and a spatial distribution map was generated in the GIS.

Results and Discussion

The results of the Mann-Kendall test indicate that the slope of the trend for both local and extra-local dust storms in the province is on the rise. However, only the trend in extra-local dust storms is statistically significant at the 95% confidence level. The findings reveal that the majority of the observed dust storms originate from outside the local area in East Azarbaijan province. Nevertheless, there has been a relative increase in the frequency of local dust storms in recent years, which can be attributed to prolonged droughts resulting in reduced vegetation and the expansion of the playa of Lake Urmia. In this context, the highest frequency of dust storms has been observed at the Tabriz, Sahand, and Maragheh meteorological stations near Lake Urmia.

Conclusions

Despite significant advances in remote sensing technology, field measurements, and modeling techniques, accurate data for assessing wind erosion at medium to large spatial scales have not been consistently available. However, none of these methods provide the necessary historical data to understand how climate change affects wind erosion rates and processes over extended periods. Nowadays, meteorological stations use specific codes to record dust storm data (DSI) for monitoring and evaluating wind erosion. In the present study, the DSI index was used to analyze the frequency and trend of dust storms in East Azarbaijan province. The results indicate that the border areas of Lake Urmia have the potential to be hotspots for local dust generation in this region. While studies based on meteorological records offer valuable insights into the spatial characteristics of dust storms, the accuracy of spatial maps may be compromised if the distribution of meteorological stations is inadequate.

مقاله پژوهشی



تحلیل روند شاخص طوفان‌های گرد و غبار در ارتباط با پلایای دریاچه ارومیه

جمشید یاراحمدی^۱ و محمد خسروشاهی^۲

۱- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، تبریز، ایران j.yarahmadi@areeo.ac.ir
 ۲- استاد موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران، ایران khosromk@yahoo.com

چکیده

ایران در قلمرو اقلیمی خشک و نیمه خشک واقع شده و در معرض سامانه‌های متعدد گرد و غبار محلی و فرامحلی است. تداوم خشکسالی‌ها، کاهش پوشش گیاهی و گسترش پلایای نمکی دریاچه ارومیه، ایجاد کانون‌های گرد و غبار محلی در حاشیه دریاچه ارومیه در استان آذربایجان شرقی را محتمل ساخته است. تحقیق حاضر با هدف بررسی توزیع مکانی-زمانی فرسایش بادی با کاربرد شاخص غبارناکی (DSI) در سطح استان آذربایجان شرقی اجرا شده است. برای این منظور، ابتدا سری داده‌های غبارناکی که بصورت کدهای اختصاصی در ایستگاه‌های هواشناسی ثبت شده، در بازه زمانی ۳۰ سال اخیر تهیه و سپس، وجود روند در سری داده‌های یاد شده با استفاده از آزمون من-کندال بررسی گردید. در ادامه، فراوانی وقوع طوفان‌های گرد و غبار براساس شاخص DSI محاسبه شده و توزیع مکانی آنها در محیط GIS بصورت نقشه تهیه گردید. نتایج آزمون من-کندال برای متوسط سالانه پدیده گرد و غبار با منشاء محلی و فرامحلی نشان داد که شیب روند هر دو دسته از طوفان‌های گرد و غبار محلی و فرامحلی در سطح استان افزایشی است؛ ولی تنها روند موجود در طوفان‌های گرد و غبار فرامحلی در سطح ۹۵٪ معنی‌دار می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که قسمت عمده طوفان‌های گرد و غبار مشاهداتی در سطح استان آذربایجان شرقی با منشاء فرامحلی هستند؛ با این وجود، فراوانی گرد و غبارهای محلی در سال‌های اخیر از افزایش نسبی برخوردار بوده و این مسئله در ارتباط با تاثیر تداوم خشکسالی‌ها بر کاهش پوشش گیاهی و گسترش پلایای دریاچه ارومیه قابل توجه است. در همین ارتباط، بیشترین مقدار شاخص طوفان‌های گرد و غبار (DSI) در حوزه دریاچه ارومیه در ایستگاه‌های هواشناسی تبریز، سهند و مراغه مشاهده شده است.

کلیدواژه‌ها

فرسایش بادی،
شاخص DSI، پلایای
دریاچه ارومیه، شمالغرب
ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۴/۲۴

نویسنده مسؤل: جمشید یاراحمدی

رایانامه: j.yarahmadi@areeo.ac.ir

ارجاع به این مقاله: یاراحمدی، جمشید؛ خسروشاهی، محمد. (۱۴۰۳). تحلیل روند شاخص

طوفان‌های گرد و غبار در ارتباط با پلایای دریاچه ارومیه. هیدروژئومورفولوژی، ۱۱ (۳۹): ۵۸-۴۱.

DOI:10.22034/HYD.2024.59713.1718



Copyright: ©2024 by the authors.

Publisher: University of Tabriz

مقدمه

فرسایش بادی خاک، یا بادرفتها، یک فرآیند ژئومورفیک طبیعی بوده که مناظر نیمه خشک و خشک کره زمین را برای هزاران سال شکل داده است. با افزایش تراکم جمعیت و تشدید فشار بر کاربری های زمین، این فرآیند طبیعی ژئومورفیک تسریع و منجر به حذف خاک سطحی با ارزش، کاهش حاصلخیزی خاک و ظرفیت نگهداری رطوبت خاک شده است (لیز^۲، ۲۰۰۲). اثرات آبی این پدیده شامل اثرات نامطلوب بر سلامت انسان و اختلال در حمل و نقل محلی از طریق کاهش دید است (سپیر^۳، ۲۰۱۳). از این رو، همه دولت های کشورهای نیمه خشک و خشک جهان تلاش می کنند تا از طریق کاهش فرسایش بادی، به مدیریت پایدار زمین دست پیدا کنند.

علیرغم اینکه پیشرفت های چشمگیر در تکنولوژی دورسنجی، اندازه گیری های میدانی و تکنیک های مدل سازی، داده های بسیار دقیقی از ارزیابی فرسایش بادی در مقیاس های مکانی متوسط تا کلان ارائه کرده اند؛ اما هیچ کدام از این روش ها، سابقه زمانی لازم برای درک چگونگی تاثیر تغییرات آب و هوایی بر نرخ ها و فرآیندهای فرسایش بادی در اشل زمانی طولانی تر ارائه نمی کنند (او. لوینگسای^۴ و همکاران، ۲۰۱۴).

امروزه، یکی از روش های معمول در اندازه گیری فراوانی و شدت فعالیت فرسایش بادی، استفاده از شاخص DSI^5 است؛ این شاخص، یک اندازه گیری ترکیبی بر اساس مشاهدات کاهش دید افقی ناشی از غلظت گرد و غبار در هر یک از انواع رویدادها: گرد و غبار محلی (LDE)، طوفان های گرد و غبار متوسط (MDE) و طوفان های گرد و غبار شدید (SDE) را ارائه می دهد. این شاخص برای اولین بار در پروژه ملی مشارکتی در مورد شاخص های کشاورزی پایدار (NCPISA⁶) استفاده شده و از سال ۲۰۰۷ برای پایش فرسایش بادی در تمام گزارش های ملی محیط زیست، گزارشات کوئینزلند^۷ و سیستم اطلاعات مراتع استرالیا (ACRIS⁸) استفاده شده است (McTainsh et al. 2011).

کمالی و همکاران، ارتباط بین شاخص غبارناکی (DSI) با ویژگی های اقلیمی، پوشش گیاهی و تیپ های اراضی منطقه یزد-اردکان در بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ را بررسی کرده و نتایج آنها نشان داد که با افزایش غبارناکی (DSI)، مقادیر درصد پوشش گیاهی (NDVI) کاهش می یابد؛ همچنین با کاهش میانگین بارش سالانه و رطوبت نسبی و افزایش دما، شاخص غبارناکی در منطقه مورد مطالعه افزایش یافته است (کمالی و همکاران، ۲۰۲۳). الگوی زمانی-مکانی پدیده گرد و خاک در خاورمیانه با استفاده از شاخص DSI در بازه زمانی ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ در تحقیق رهنما و همکاران بررسی شده است؛ میانگین فصلی و سالانه شاخص یاد شده نشان داد که در بیشتر کشورهای مورد مطالعه، این شاخص کاملاً به طوفان های گرد و خاک محلی وابسته بوده و طوفان های گرد و خاک فرامرزی تاثیر کمتری بر روی این کشورها دارند. توزیع مکانی این پدیده نشان می دهد که نیمه غرب و جنوب غرب کشور در سال های ۲۰۰۹، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ با شدت بیشتری تحت تاثیر پدیده گرد و خاک با منشاء غیر محلی بوده است (رهنما و همکاران، ۲۰۲۱).

جبالی و همکاران، با استفاده شاخص طوفان های گرد و غبار (DSI) و شاخص پایش آلودگی هوا ناشی از غبارناکی (PDSI) و با تحلیل کدهای اختصاصی هواشناسی ۱۱ ایستگاه همدید، فرسایش بادی و فراوانی طوفان های گرد و غبار استان یزد را در بازه زمانی (۲۰۰۰-۲۰۱۷) بررسی کرده اند. نتایج ارزیابی شاخص های DSI و $PDSI$ بیانگر افزایش قابل توجه (حدود ده برابر) در فرسایش بادی و آلودگی هوا در سال های اخیر بوده است. ایشان افزایش شدید آلودگی هوای منطقه را ناشی از ضعف مدیریت زمین و وجود گرد و غبار در فضای بیان کرده اند (جبالی و همکاران، ۲۰۲۱).

تان^۹ رابطه بین پوشش گیاهی و DSI را با استفاده از داده های آرشیوی شش ساله ۱۸۶ ایستگاه هواشناسی چین تجزیه و تحلیل کرده است؛ در این تحقیق، نتایج رگرسیون چندگانه نشان داد که رابطه بین تغییرات پوشش گیاهی و واریانس در DSI ، از ناحیه اقلیمی معتدله مرطوب به منطقه معتدله خشک تحت تاثیر کاهش میزان شاخص گیاهی نرمال شده (NDVI) ضعیف تر می شود (تان، ۲۰۱۶).

1. Aeolian
2. Leys
3. Speer
4. O'Loingsigh
5. Dust Storm Index

6. National Collaborative Project on Indicators for Sustainable Agriculture (NCPISA)
7. Queensland
8. Australian Rangeland Information System (ACRIS)
9. Tan

ابراهیمی خوسفی و همکاران، همبستگی بین شاخص غبارناکی (DSI) با متغیرهای هواشناسی و شاخص نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) مناطق خشک ایران مرکزی را در بازه زمانی (۲۰۰۰-۲۰۱۴) با استفاده از آزمون رگرسیونی بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که بیشترین فعالیت فرسایش بادی در فصل بهار ($DSI > 1$) اتفاق افتاده است؛ همچنین، نتایج تحلیل رگرسیون نشان داد که تنها تغییرات درجه حرارت تاثیر مثبت معنی دار بر تغییرات شاخص DSI در دوره اول دارد. ولی در دوره دوم، کاهش بارندگی و افزایش شدت باد، مهمترین فاکتورهای تاثیر گذار بر تغییرات شاخص DSI بوده اند (ابراهیمی خوسفی و همکاران، ۲۰۲۰).

شهبازی و همکاران، شدت و فراوانی شاخص طوفان های گرد و غبار استان کرمانشاه را در بازه زمانی ۱۹۹۲-۲۰۱۷ براساس داده های ایستگاه های هواشناسی این استان بررسی کرده و نتایج آنها نشان داد که بیشترین مقدار شاخص DSI در ایستگاه های اسلام آباد، کرمانشاه و کنگاور ثبت شده که مربوط به سال ۲۰۰۸ بوده است؛ کمترین مقدار هم در سال های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۳ ثبت شده است. براساس این نتایج، بیشترین وزش باد با بیش از 6 m/Sec و جهت غالب غربی و جنوب غربی در غرب استان ثبت شده است؛ از این رو، گرد و غبار سالانه عمدتاً در سمت غرب استان مشاهده شده است. همچنین بیشترین میزان گرد و غبار با ۱۷۵ روز در ایستگاه سرپل ذهاب (غرب استان) رخ داده که عمدتاً مربوط به فصول بهار و تابستان است (شهبازی و همکاران، ۲۰۲۲).

این مقاله، با هدف کاربست شاخص DSI برای پایش فرسایش بادی در بلندمدت (۳۰ ساله)، با تفکیک زمانی متوسط (متوسط نرخ فرسایش سالانه) و در تفکیک فضایی منطقه ای، بر اساس مشاهدات هواشناسی در سطح استان آذربایجان شرقی ارائه شده است.

مواد و روش ها

معرفی منطقه مورد مطالعه:

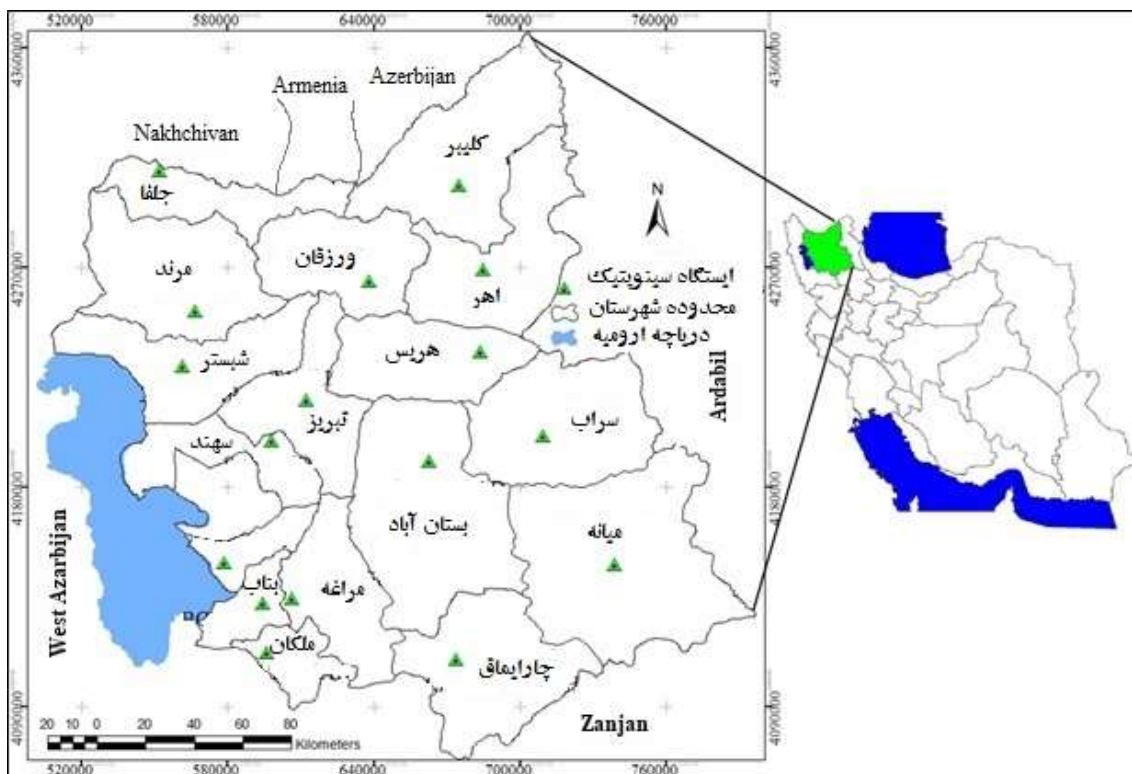
استان آذربایجان شرقی با وسعتی معادل ۴۶۹۲۹/۹ کیلومترمربع در شمال غربی ایران واقع شده و از شمال به وسیله رود ارس با جمهوری آذربایجان، ارمنستان و نخجوان، از غرب به دریاچه ارومیه، از جنوب به زنجان و از شرق به استان اردبیل محدود است.

براساس اطلاعات حاصل از اداره کل هواشناسی استان آذربایجان شرقی، تعداد ۱۹ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک فعال در سطح این استان موجود است شکل (۱). بررسی اطلاعات ثبتی این ایستگاه ها نشان داد که تنها هفت ایستگاه سینوپتیک از ایستگاه های هواشناسی مذکور دارای دوره آماری بلند مدت ۳۰ ساله (۱۹۹۰-۲۰۲۰) بوده و سه ایستگاه سینوپتیک نیز دارای طول دوره آماری ۲۱ ساله هستند. بقیه ایستگاه ها بخاطر کوتاه بودن دوره آماری از ادامه بررسی ها حذف شدند. در نهایت، داده های ۱۰ ایستگاه هواشناسی منتخب مطابق جدول (۱) در بازه زمانی ۳۰ ساله اخیر برای انجام این تحقیق انتخاب شدند.

جدول (۱): مشخصات ایستگاه های هواشناسی منتخب استان

Table (1): Specifications of the Selected Meteorological Stations of the Province

ردیف	ایستگاه	مختصات جغرافیایی		ارتفاع (متر)
		عرض	طول	
۱	اهر	۶۶۲۷۶۲	۴۱۹۰۷۸۵	۱۳۹۰
۲	بناب	۵۹۴۴۹۳	۴۱۳۲۳۸۵	۱۳۸۱
۳	جلفا	۵۵۲۰۰۴	۴۳۰۹۵۵۰	۷۴۶
۴	کلیبر	۶۷۴۹۶۲	۴۳۰۳۹۱۳	۱۳۲۷
۵	مراغه	۶۰۶۲۸۲	۴۱۳۴۳۷۵	۱۳۸۳
۶	مرند	۵۶۶۹۲۹	۴۲۵۲۳۲۵	۱۳۷۶
۷	میانه	۷۳۸۸۳۵	۴۱۴۸۲۱۸	۱۱۴۵
۸	سهند	۵۹۸۱۳۱	۴۱۹۹۰۰۶	۱۵۶۷
۹	سراب	۷۰۹۴۵۴	۴۲۰۱۰۹۷	۱۶۶۷
۱۰	تبریز	۶۱۲۵۴۸	۴۲۱۵۸۳۹	۱۳۸۰



شکل (۱): نقشه موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی منتخب در سطح استان آذربایجان شرقی
 Fig (1): The Location Map of Selected Weather Stations in East Azarbaijan Province

روش پژوهش:

در تحقیق حاضر، بعد از تهیه داده‌های مربوط به سری داده‌های گرد و غبار، خلاء آماری موجود در داده‌ها، از طریق آزمون همبستگی پیرسون تکمیل شده و در ادامه، همگنی سری داده‌های هواشناسی با استفاده از آزمون ناپارامتریک ران تست^۱ براساس انتخاب میانه داده‌ها در محیط نرم‌افزار SPSS بررسی شد. معیار همگنی داده‌ها براساس مقدار P_value ارزیابی شده، بطوریکه مقدار P کمتر از سطح معنی‌داری ۰/۰۵، نشان دهنده رد فرض صفر یا رد تصادفی بودن داده‌ها بوده است. در ادامه، وجود روند در سری داده‌ها از طریق آزمون من-کندال بررسی و شیب خط روند نیز براساس روش سن^۲ تعیین شده است. مراحل محاسبه مقدار آماره این آزمون به شرح زیر است:

- محاسبه اختلاف بین تک تک مشاهدات با یکدیگر و اعمال تابع علامت^۳ و استخراج پارامتر S مطابق با رابطه زیر:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_i - x_k) \tag{1}$$

که در آن: n تعداد مشاهدات سری، x_i و x_k به ترتیب داده‌های زام و k ام سری می‌باشند.

- محاسبه تابع علامت (sgn) که به شرح زیر قابل محاسبه است:

$$\text{Sgn} = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \tag{2}$$

- محاسبه واریانس (S) توسط یکی از روابط زیر محاسبه می‌شود؛ اگر تعداد داده‌های سری زمانی بزرگتر از ۱۰ مورد باشد از رابطه (۳) و اگر کمتر از ۱۰ مورد باشد، از رابطه (۴) محاسبه خواهد شد:

1. Run Test
 2. Sen

3. Sign Function

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (۳)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (۴)$$

که در آن n تعداد داده‌های مشاهداتی و m معرف تعداد سری‌هایی است که در آنها حداقل یک داده تکراری وجود دارد. در اینجا، t بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان است.

- استخراج آماره Z به کمک رابطه زیر محاسبه شده است:

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (۵)$$

بنابراین، در آزمون دو طرفه، اگر رابطه $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$ در سطح اطمینان ۹۵٪ برقرار باشد، باید فرضیه H_0 (قبول تصادفی بودن سری داده‌ها) را پذیرفت و در غیر این صورت باید فرضیه H_1 (وجود روند) در سری داده‌ها را قبول کرد. مقادیر مثبت Z روند صعودی و مقادیر منفی Z روند نزولی سری داده‌ها را نشان می‌دهد (گوهری و معماریان، ۲۰۲۰).

اگر روند در سری داده‌ها مشاهده شد، شیب واقعی (میزان تغییر در واحد زمان) را می‌توان با استفاده از روش ناپارامتریک ساده‌ای که توسط سن توسعه داده شده برآورد نمود. برای این منظور، ابتدا باید شیب هر جفت داده متوالی در سری زمانی را از رابطه (۶) بدست آورد (محمدی، ۲۰۱۱).

$$Q_i = \frac{(x_i - x_k)}{j - k} \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, n \quad (۶)$$

که در این رابطه x_i و x_k به ترتیب مقادیر داده‌ها در زمان‌های i و k است که باهم یک واحد زمانی اختلاف دارند. Q_i مقدار میانه برآورد شده شیب نمودار سن است؛ اگر n فرد باشد برآورد کننده شیب سن به صورت زیر محاسبه خواهد شد.

$$Q_i = Q_{(n+2)/2} \quad (۷)$$

و اگر n زوج باشد، برآورد کننده شیب سن از این رابطه بدست می‌آید:

$$Q_i = (Q_{(n/2)} + Q_{(n+2)/2})/2 \quad (۸)$$

برای مطالعه فرکانس و شدت پدیده گرد و غبار از روش شاخص غبارناکی (DSI) استفاده شده است. شاخص DSI روشی مناسب برای پایش فرسایش بادی در مقیاس وسیع با استفاده از سوابق هواشناسی است که نمایه‌ای از فرکانس و شدت طوفان گرد و غبار در منطقه را محاسبه می‌کند. این شاخص در سال ۱۹۹۸ ارائه شده که ترکیبی از سه نمایه‌ی روزهای طوفانی با گرد و غبار محلی LDE، روزهای طوفانی با گرد و غبار متوسط MDS و روزهای طوفانی با گرد و غبار شدید SDS است؛ این شاخص بر مبنای تعداد دفعات ثبت کدهای پدیده گرد و غبار در ایستگاه‌های سینوپتیک بر اساس کاهش میدان دید محاسبه می‌شوند (مک تاینش^۱ و همکاران، ۲۰۰۷).

تفکیک گرد و غبارهای محلی و فرامحلی براساس کدهای مندرج در جدول (۲) انجام می‌گیرد. در اینجا کد (۰۷) برای گرد و غبار محلی و کد (۰۶) برای گرد و غبار فرامحلی در نظر گرفته می‌شود؛ مبنای این تفکیک، میدان دید افقی در ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی در هنگام ثبت پدیده گرد و غبار است؛ میدان دید افقی برای گرد و غبار فرامحلی (۰۶) کمتر از ۵۰۰ متر و در گرد و غبار محلی (۰۷) بیش از ۱۰۰۰ متر در نظر گرفته می‌شود (میری، ۲۰۲۰ و رهنما، ۲۰۲۱).

مقادیر سه نمایه فوق‌الذکر، بر اساس کدهای ثبت شده در ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی و در قالب تعاریف مندرج در جدول (۲) استخراج و محاسبه شده است:

جدول (۲): کدهای مختلف هواشناسی برای بیان انواع طوفان های گرد و غبار

Table (2): Different Meteorological Codes to Express the Types of Dust Storms

کد هواشناسی	نام علمی	توضیحات
۰۶	گرد و غبار معلق	گرد و خاک معلق در هوا که در اثر توفان شن و خاک نقاط خارج از ایستگاه به ایستگاه آمده است.
۰۷	گرد و خاک	گرد و خاک یا شنی که به وسیله باد در ایستگاه و یا در نزدیکی آن در ساعت دیده بانی بلند شده است.
۰۸	گرد باد	گرد و خاک تکامل یافته در خود ایستگاه یا اطراف آن
۰۹	توفان	توفان گرد و خاک در ساعت دیده بانی در اطراف ایستگاه
۳۰	توفان ملایم تا متوسط	گرد و خاک یا شن - طی ساعت گذشته از شدت توفان کاسته شده است
۳۱	توفان گرد و خاک با ماسه ملایم	توفان ملایم یا متوسط گرد و خاک یا شن طی ساعت گذشته شدت توفان تغییری نکرده است
۳۲	توفان گرد و خاک با ماسه ملایم	توفان ملایم یا متوسط گرد و خاک یا شن طی ساعت گذشته بر شدت توفان افزوده شده است
۳۳	توفان گرد و خاک با ماسه شدید	توفان شدید گرد و خاک یا شن - طی ساعت گذشته از شدت توفان کاسته شده است
۳۴	توفان گرد و خاک با ماسه شدید	توفان شدید گرد و خاک یا شن - طی ساعت گذشته شدت توفان تغییری نکرده است
۳۵	توفان گرد و خاک با ماسه شدید	توفان شدید گرد و خاک یا شن - طی ساعت گذشته بر شدت توفان افزوده شده است

برای محاسبه شاخص DSI از رابطه (۹) استفاده شده است:

$$DSI = \sum_{i=1}^n [(5 * SDS) + MDS + (0.05 * LDE)] i \quad (9)$$

SDS = روزهای طوفانی با گرد و غبار شدید، مجموع مشاهدات کدهای گرد و غبار حداکثر روزانه کدهای ۳۴، ۳۳ و ۳۵

MDS = روزهای طوفانی با گرد و غبار متوسط، مجموع مشاهدات کدهای گرد و غبار حداکثر روزانه ۳۰، ۳۱، ۳۲ و ۳۳

LDE = روزهای با گرد و غبار محلی، مجموع مشاهدات کدهای گرد و غبار حداکثر روزانه ۰۷ و ۰۸

DSI = شاخص طوفان گرد و غبار در n ایستگاه که در آنها رویداد گرد و غبار در یک بازه زمانی مشخص ثبت و مشاهده شده است.

در این تحقیق شاخص DSI برای ایستگاه های مختلف در دوره زمانی مورد مطالعه به صورت سالانه محاسبه شده و سپس، مقدار کل شاخص برای هر منطقه نیز از مجموع شاخص های برآورد شده به صورت سالانه محاسبه شده است. در ادامه، به منظور پایش روند تغییرات در محدوده زمانی مورد مطالعه، به صورت روند ماهانه و سالانه مورد آنالیز آماری قرار گرفته است.

- تحلیل مکانی DSI در محیط GIS

توزیع مکانی متغیرهای اقلیمی و شاخص DSI در سطح استان، با انجام تحلیل های مکانی بر مبنای الگوریتم های درون یابی موجود در محیط نرم افزاری ArcGIS صورت گرفته است.

نتایج و بحث:

نتایج تحلیل آزمون من-کندال جهت آشکارسازی وجود روند در سری داده های مشاهداتی مربوط به گرد و غبار محلی (کد ۰۷) و فرامحلی (کد ۰۶) جدول (۳) ارائه شده است. همانطوریکه پیداست، براساس مقادیر p-value، وجود روند در سری داده های طوفان های گرد و غبار با منشاء فرامحلی (کد ۰۶) در ایستگاه های جلفا، اهر، سهند، سراب، میانه و مراغه در سطح ۰/۰۵ معنی دار بوده و وجود روند در داده های گرد و غبار فرامحلی این ایستگاه ها تایید می شود. داده های مربوط به این پدیده در سایر ایستگاه ها هم دارای روند بوده ولی معنی دار نیستند. مقادیر شیب خط سن نیز بیانگر روند افزایشی در همه ایستگاه های استان در ارتباط با گرد و غبارهای فرامحلی است. حال آنکه، وجود روند در سری داده های گرد و غبار محلی (کد ۰۷) فقط در ایستگاه های جلفا و سهند در سطح ۰/۰۵ معنی دار است؛ مقادیر شیب خط سن بیانگر وجود روند افزایشی در داده های گرد و غبار محلی در تمامی ایستگاه های هواشناسی باستثناء ایستگاه های جلفا، اهر، مرند و بناب است.

جدول (۳): نتایج آزمون من-کندال در سری داده‌های گرد و غبار با منشأ محلی (۰۷) و فرامحلی (۰۶)

Table (3): The Results of Mann-Kendall Test in Dust Data Series with Local (07) and Extra-local (06) Origin

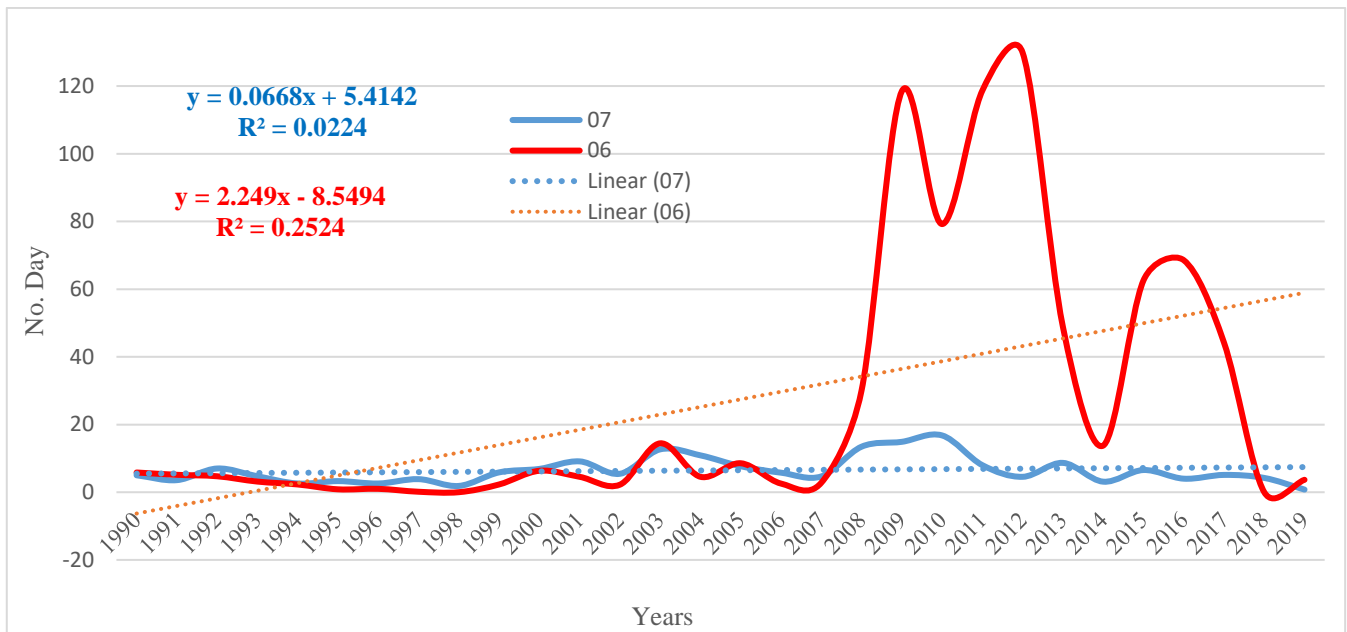
Series\Test	Code	Kendall's tau	p-value	Sen's slope
Tabriz	06	0.255	0.053	1.667
	07	0.086	0.52	0.136
Jolfa	06	0.353	0.012	0.077
	07	-0.431	0.002	-0.118
Ahar	06	0.345	0.012	0.5
	07	-0.268	0.058	-0.042
Sahand	06	0.334	0.013	1
	07	0.301	0.022	0.417
Sarab	06	0.444	0.002	0.375
	07	0.113	0.42	0
Mianeh	06	0.347	0.012	0.348
	07	-0.234	0.101	0
Maragheh	06	0.426	0.002	1.527
	07	-0.018	0.91	0
Marand	06	0.204	0.227	0.969
	07	-0.116	0.512	-0.071
Bonab	06	0.08	0.649	0.67
	07	-0.123	0.489	-0.031

نتایج آزمون من-کندال که در ارتباط با متوسط سالانه پدیده گرد و غبار با منشأ محلی (۰۷) و فرامحلی (۰۶) برای کل استان آذربایجان-شرقی محاسبه شده در جدول (۴) ارائه شده است؛ همانطوریکه پیداست شیب روند هر دو دسته گرد و غبار (محلی و فرامحلی) در سطح استان افزایشی بوده ولی تنها در مورد گرد و غبار با منشأ فرامحلی (۰۶) وجود روند در سطح ۹۵٪ معنی دار است. نمودار تغییرات سالانه گرد و غبار محلی و فرامحلی در شکل (۲) ارائه شده است.

جدول (۴): نتایج آزمون من-کندال در سری داده‌های گرد و غبار با منشأ محلی و فرامحلی کل استان

Table (4): The Results of Mann-Kendall Test in the Series of Dust Data with Local and Extra-local Origin of the Entire Province

Series\Test	Kendall's tau	p-value	Sen's slope
06	0.318	0.014	0.770
07	0.087	0.509	0.053



شکل (۲): روند تغییرات متوسط سالانه پدیده گرد و غبار در کل استان آذربایجان شرقی

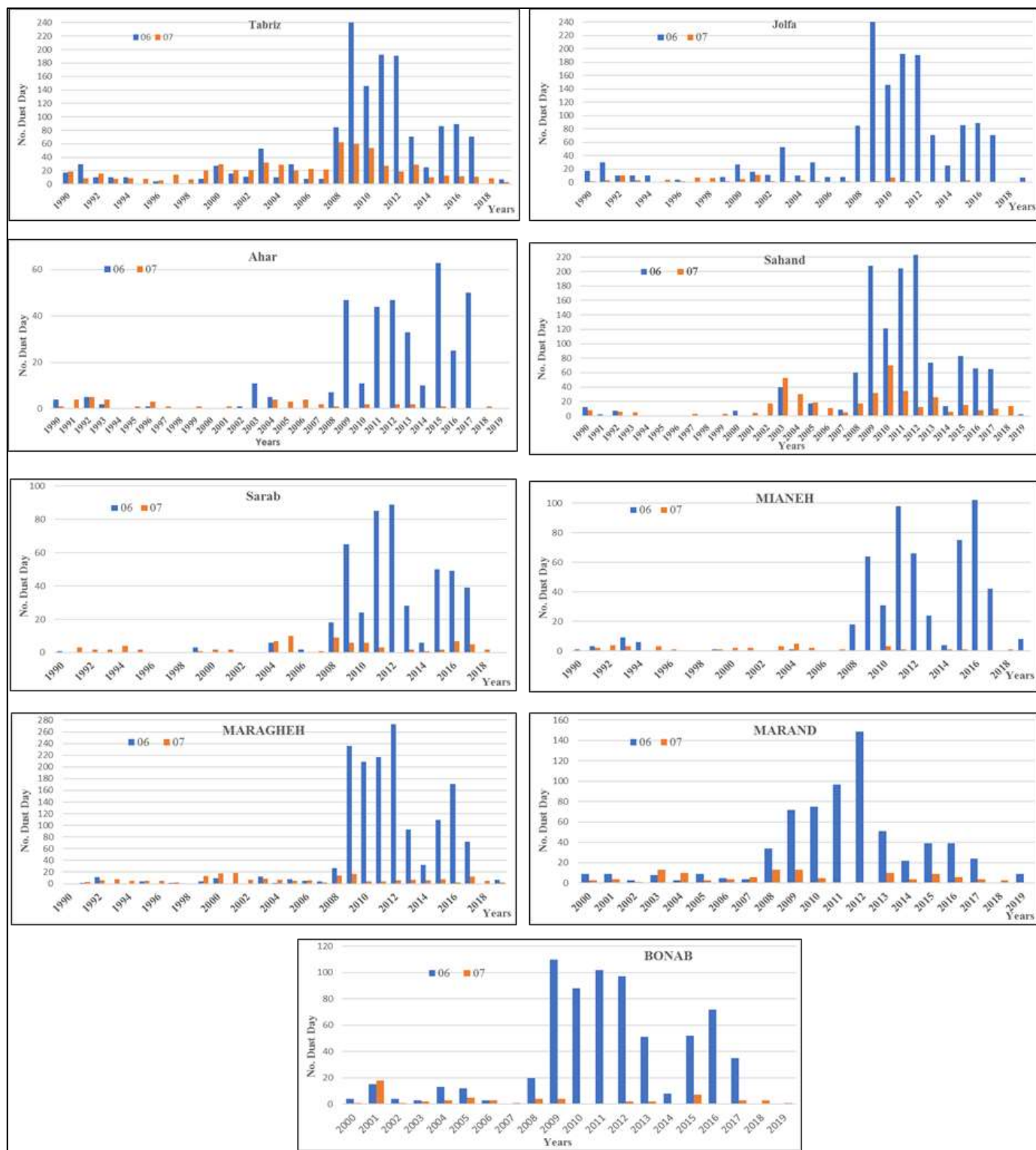
Fig (2): The Trend of Annual Average Changes in the Dust Phenomenon in the Entire East Azarbaijan Province

برای ارزیابی تاثیر تداوم خشکسالی‌ها، کاهش پوشش گیاهی، خشک شدن دریاچه ارومیه و گسترش پلایای نمکی اطراف آن در وقوع احتمالی طوفان‌های گرد و غبار در استان، داده‌های مشاهداتی ۳۰ سال اخیر مربوط به منشاء گرد و غبارهای محلی و فرامحلی به ترتیب با کدهای (۰۷) و (۰۶) ایستگاه‌های هواشناسی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت؛ نتیجه محاسبات مربوط به فراوانی گرد و غبارهای مشاهداتی با منشاء فرامحلی (کد ۰۶) و محلی (۰۷) در سطح ایستگاه‌های منتخب در جدول (۵) ارائه شده است، همچنین توزیع پدیده غبارناکی در ارتباط با منشاء ایجاد آنها، به تفکیک هر یک از ایستگاه‌های هواشناسی در شکل (۳) نشان داده شده است؛ همانطوریکه پیداست، فراوانی گرد و غبارهای مشاهداتی با منشاء محلی و فرامحلی در دهه آخر دوره بررسی نسبت به دهه‌های قبلی از افزایش نسبی برخوردار است؛ از طرف دیگر، نزدیک به ۸۵٪ از پدیده گرد و غبار مشاهداتی فرامحلی هستند، حال آنکه تنها ۱۵٪ از آنها با منشاء محلی در خود ایستگاه‌ها پدید آمده‌اند. همین مسئله اهمیت پایش مسمترگرد و غبارها با منشاء محلی متاثر از تداوم خشکسالی‌ها، کاهش درصد پوشش گیاهی حوزه‌های آبخیز استان و همچنین احتمال ایجاد کانون‌های گرد و غبار ناشی از گسترش بستر خشک دریاچه ارومیه در سطح استان را دو چندان می‌کند. ایجاد کانون‌های گرد و غبار محلی تحت تاثیر خشک شدن دریاچه ارومیه و گسترش پلایای نمکی اطراف آن در نتایج گزارش پژوهشی (ارحمی و همکاران، ۲۰۱۶) ارائه شده است. همچنین راون و همکاران وجود عناصر سدیم (Na)، منیزیم (Mg) و کلسیم (Ca) در نمونه ذرات معلق هوای محدوده ۴۰ کیلومتری اولیه مناطق ساحلی دریاچه ارومیه را با منشاء یکسان و دریایی این عناصر دانسته که تحت تاثیر باد از بستر خشک دریاچه ارومیه به مناطق حاشیه انتقال یافته است (راوان و همکاران، ۲۰۱۹). نقشه تغییرات مکانی پدیده گرد و غبار به تفکیک محلی یا فرامحلی بودن آنها در سطح ایستگاه‌های هواشناسی در محیط GIS تهیه شده و نتایج آن در شکل (۴) ارائه شده است.

جدول (۵): تعداد روزهای گرد و غبار (کدهای ۰۶ و ۰۷) مشاهداتی در سطح ایستگاه‌های هواشناسی استان

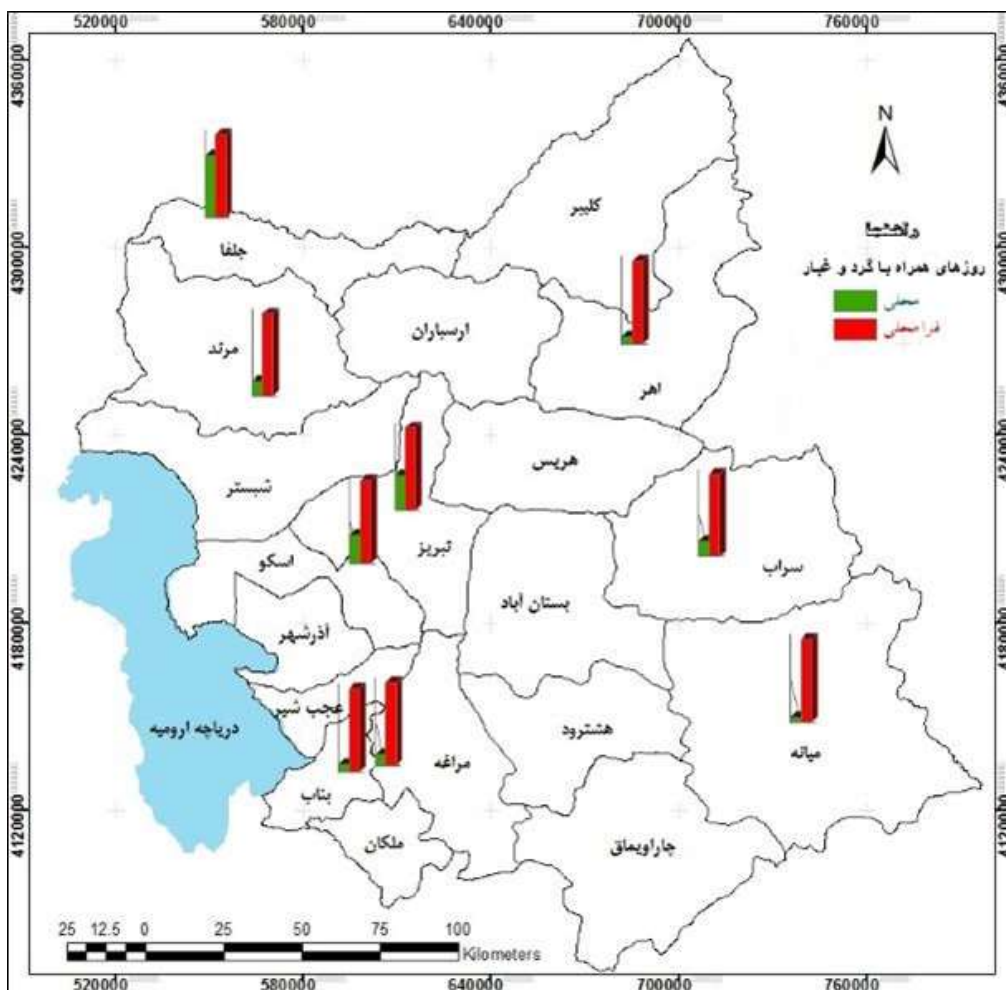
Table (5): The Number of Days of Dust (Codes 06 and 07) Observed at the Meteorological Stations of the Province

YEARS	TABRIZ		JOLFA		AHAR		SAHAND		SARAB		MIANEH		MARAGHEH		MARAND		BONAB	
	06	07	06	07	06	07	06	07	06	07	06	07	06	07	06	07	06	07
1990	17	19	0	2	4	1	12	8	1	0	1	0						
1991	30	9	0	3	0	4	2	1	0	3	3	2	1	3				
1992	10	16	0	10	5	5	7	6	0	2	0	4	11	6				
1993	10	8	0	3	2	4	1	5	0	2	9	3	0	8				
1994	10	9	0	0	0	0	0	0	0	4	6	0	0	5				
1995	1	8	1	4	0	1	0	0	0	2	0	3	4	5				
1996	4	6	2	2	1	3	0	1	0	0	1	0	5					
1997	0	14	0	7	0	1	0	3	0	0	0	0	1	2				
1998	0	7	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1999	8	20	0	2	0	1	0	3	3	1	1	1	4	13				
2000	27	30	0	5	0	0	7	1	0	2	0	2	10	18	9	3	4	1
2001	16	21	0	11	0	1	1	4	0	2	0	2	0	19	9	4	15	18
2002	11	21	1	2	1	0	0	17	0	0	0	0	7	3	1	4	1	
2003	53	32	3	2	11	0	40	53	0	0	0	3	12	9	8	13	3	2
2004	10	29	2	3	5	4	0	30	6	7	1	5	1	7	3	10	13	3
2005	30	20	1	2	0	3	17	19	0	10	0	2	8	5	9	3	12	5
2006	8	23	0	1	0	4	0	11	2	0	0	0	5	6	5	4	3	3
2007	8	22	0	2	0	2	9	5	0	1	0	1	4	2	4	6	0	1
2008	85	62	1	1	7	1	60	17	18	9	18	0	27	14	34	13	20	4
2009	240	60	24	2	47	0	208	32	65	6	64	0	236	17	72	13	110	4
2010	146	54	8	7	11	2	121	70	24	6	31	3	209	4	75	5	88	0
2011	192	27	29	2	44	0	204	35	85	3	98	1	217	4	97	0	102	0
2012	191	19	34	0	47	2	223	12	89	0	66	0	273	6	149	0	97	2
2013	71	29	15	0	33	2	74	26	28	2	24	0	93	7	51	10	51	2
2014	25	10	3	0	10	0	14	6	6	1	4	1	32	6	22	4	8	0
2015	86	13	6	3	63	1	83	15	50	2	75	1	109	8	39	9	52	7
2016	89	12	4	1	25	0	66	8	49	7	102	0	171	2	39	6	72	0
2017	71	11	0	1	50	0	65	10	39	5	42	0	72	12	24	4	35	3
2018	0	9	0	0	0	1	0	14	0	2	0	1	0	5	0	3	0	3
2019	7	3	0	0	0	0	2	1	0	0	8	0	7	2	9	0	0	1



شکل (۳): نمودار فراوانی طوفان های گرد و غبار در ایستگاه های هواشناسی استان

Fig (3): The Graph of the Frequency of Dust Storms at the Meteorological Stations of the Province



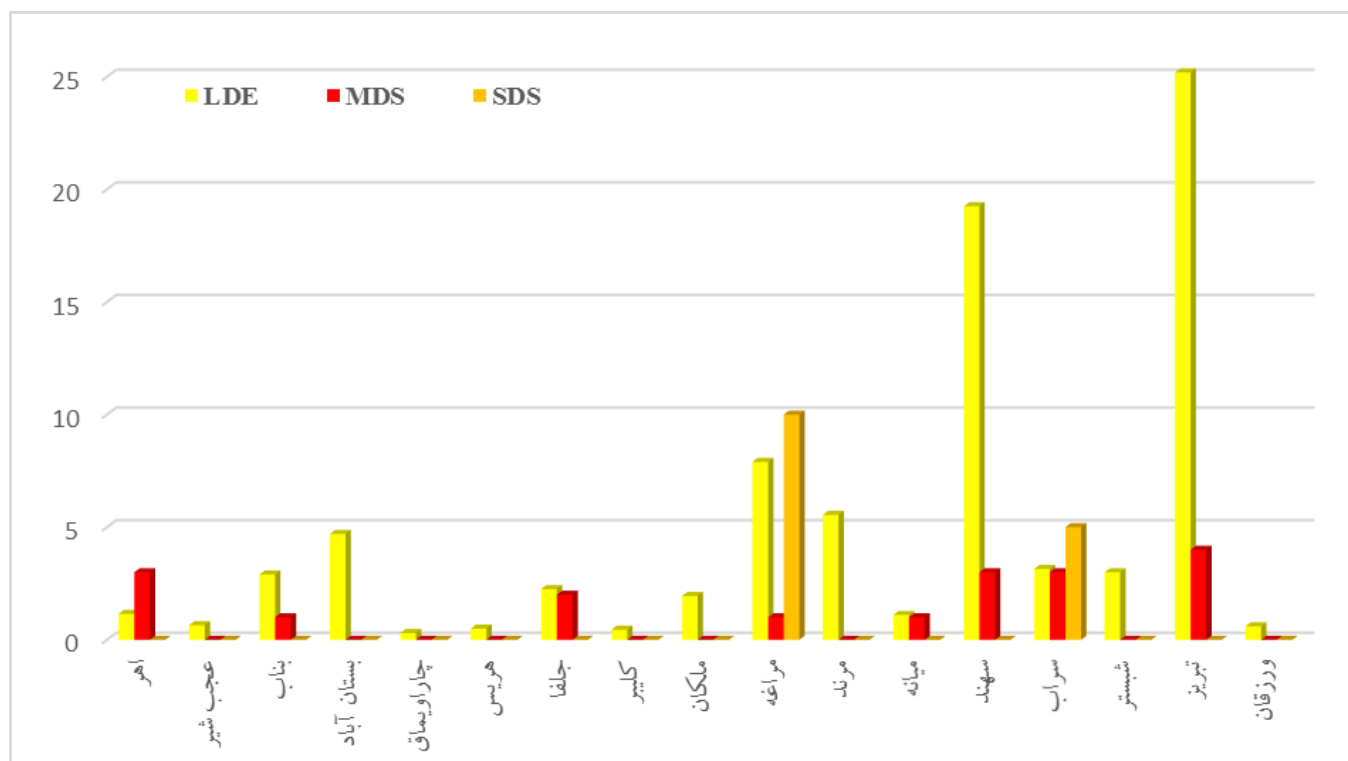
شکل (۴): نقشه توزیع مکانی تعداد روزهای همراه با پدیده گرد و غبار در سطح استان
 Fig (4): Spatial Distribution Map of the Number of Days with Dust Phenomenon in the Province

نتایج محاسبات غبارناکی (DSI)

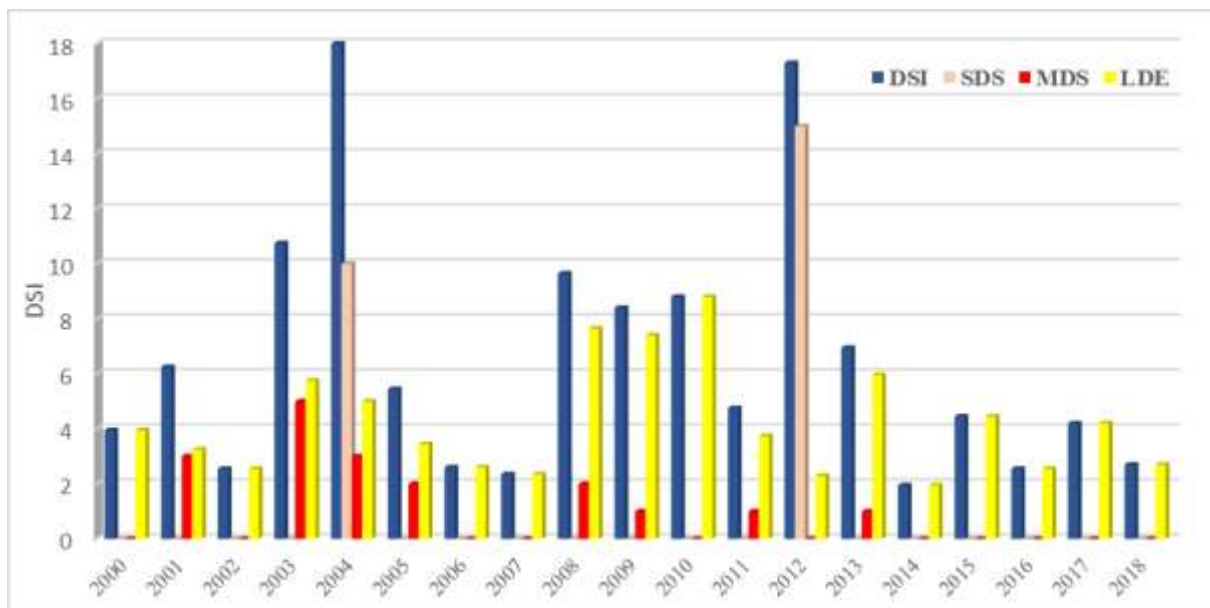
نتایج محاسبات نمایه‌های مربوط به شاخص طوفان‌های گرد و غبار (DSI) در جدول (۶) ارائه شده است. همانطوریکه پیداست، بیشترین سهم مربوط به روزهای طوفانی با گرد و غبار محلی (کدهای ۰۷) مربوط به ایستگاه‌های تبریز و سهند به ترتیب با ۵۰۴ و ۳۸۵ روز است. در این میان، بیشترین تعداد روزهای همراه با طوفان‌های شدید گرد و غبار (SDS) در ایستگاه‌های هواشناسی سراب و مراغه مشاهده شده است. فراوانی وقوع طوفان‌های گرد و غبار در ایستگاه‌های هواشناسی استان در شکل (۵) نشان داده شده است. از نظر توزیع زمانی، طوفان‌های شدید گرد و غبار در سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۰۴ مشاهده شده و طوفان‌های متوسط نیز مربوط به سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ بوده است. تغییرات زمانی نمایه‌های مورد بحث در شکل (۶) ارائه شده است.

جدول (۶): نتایج محاسبات شاخص DSI در ایستگاه های هواشناسی استان
 Table (6): The Results of DSI Index Calculations in Meteorological Stations of the Province

DSI	LDE	MDS	SDS	کد پدیده							نام ایستگاه
				35	34	32	31	30	07	06	
2.15	1.15	1	0	0	0	1	2	0	23	354	اهر
0.65	0.65	0	0	0	0	0	0	0	13	84	عجب شیر
2.9	2.9	0	0	0	0	0	1	0	58	685	بناب
4.7	4.7	0	0	0	0	0	0	0	94	421	بستان آباد
0.3	0.3	0	0	0	0	0	0	0	6	33	چاراویماق
0.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0	10	380	هریس
2.25	2.25	0	0	0	0	0	2	0	45	131	جلفا
0.45	0.45	0	0	0	0	0	0	0	9	24	کلپیر
1.95	1.95	0	0	0	0	0	0	0	39	607	ملکان
13.9	7.9	1	5	1	1	1	0	0	158	1479	مراغه
5.55	5.55	0	0	0	0	0	0	0	111	652	مرند
2.1	1.1	1	0	0	0	1	0	0	22	525	میانه
21.25	19.25	2	0	0	0	1	1	1	385	1192	سهند
11.15	3.15	3	5	1	0	1	0	2	63	461	سراب
3	3	0	0	0	0	0	0	0	60	505	شبهستر
27.2	25.2	2	0	0	0	2	2	0	504	1359	تبریز
0.6	0.6	0	0	0	0	0	0	0	12	90	ورزقان



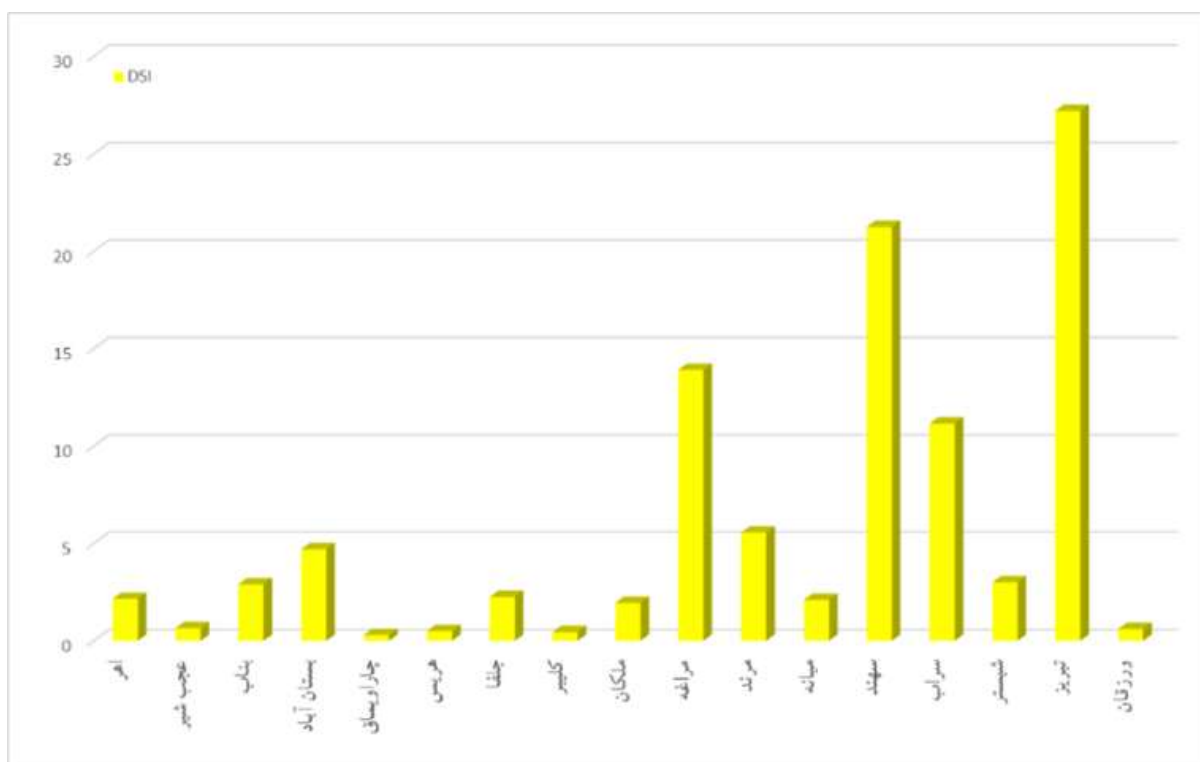
شکل (۵): نمودار پارامترهای شاخص طوفان های گرد و غبار در ایستگاه های هواشناسی استان
 Fig (5): The Graph of Dust Storm Index Parameters in Meteorological Stations of the Province



شکل (۶): نمودار توزیع زمانی شاخص طوفان‌های گرد و غبار در ایستگاه‌های هواشناسی استان

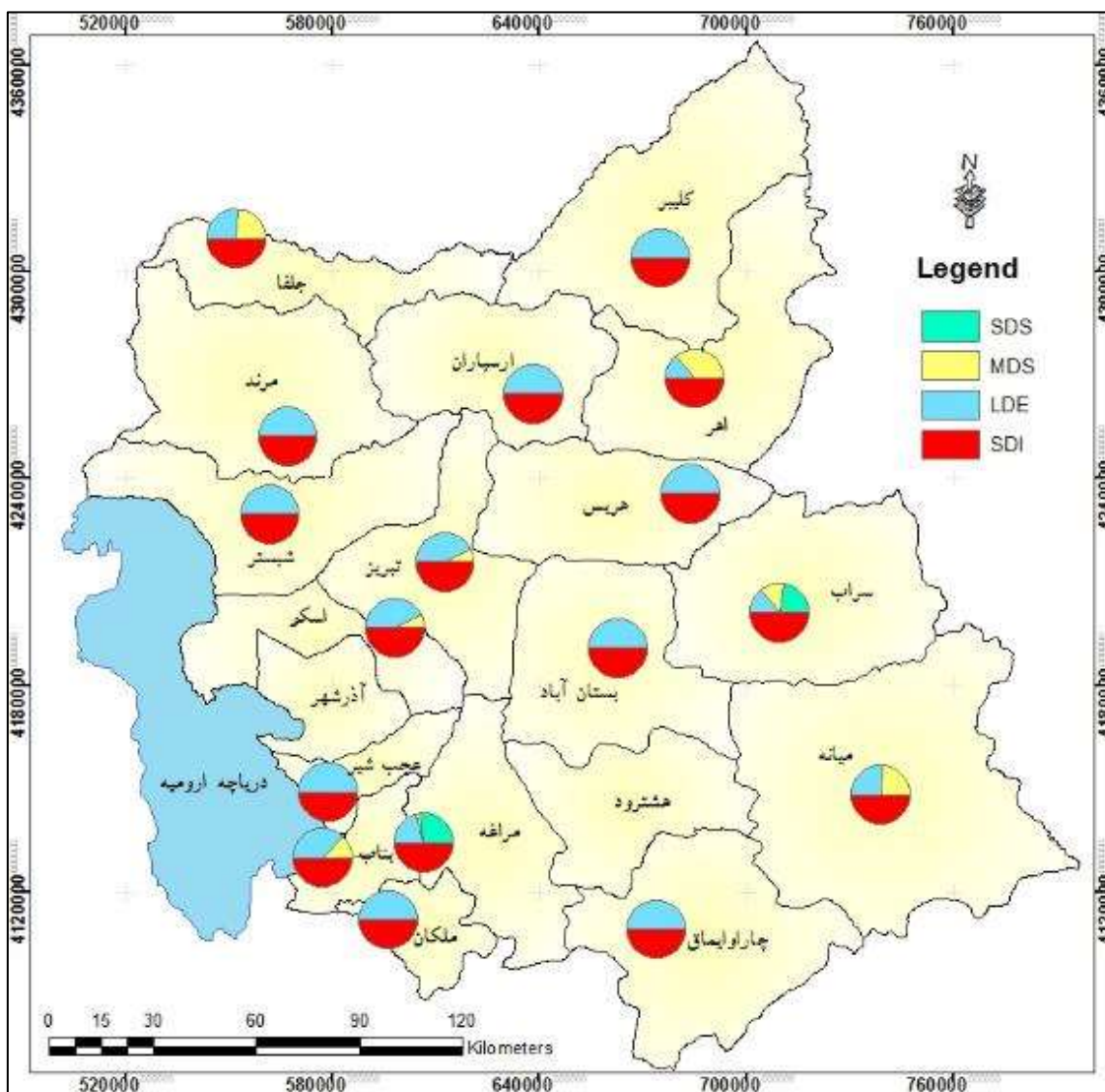
Fig (6): Spatial Distribution Chart of Dust Storm Index in Weather Stations of the Province

بر مبنای مقادیر نمایه‌های سه‌گانه، شاخص طوفان‌های گرد و غبار (DSI) به تفکیک ایستگاه‌های هواشناسی منتخب محاسبه شده و نتیجه آن در جدول (۶) ارائه شده است؛ همانطوریکه پیداست، بیشترین مقدار این شاخص مربوط به ایستگاه‌های تبریز و سهند به ترتیب با ۲۷ و ۲۱ می‌باشد. توزیع شاخص طوفان‌های گرد و غبار در سطح ایستگاه‌های هواشناسی در شکل (۷) و توزیع مکانی مقادیر نمایه‌های سه‌گانه و شاخص طوفان‌های گرد و غبار در گستره استان آذربایجان شرقی که در محیط GIS تهیه شده در شکل (۸) نشان داده شده است.



شکل (۷): نمودار فراوانی مقادیر شاخص (DSI) در ایستگاه‌های هواشناسی استان منتخب

Fig (7): The Chart of DSI Index Frequency in Selected Weather Stations of the Province



شکل (۸): نقشه توزیع مکانی مقادیر شاخص DSI در سطح استان آذربایجان شرقی
 Fig (8): Spatial Distribution Map of DSI Index Values in East Azarbaijan Province

نتیجه گیری

طوفان های گردوغبار، یکی از مهمترین مخاطرات محیطی است که امروزه، اهمیت مطالعه آن در ارتباط با تداوم خشکسالی ها، کاهش پوشش گیاهی تحت تاثیر تغییر اقلیم و اثرات مستقیم و نامطلوب بر سلامت انسان ها و اختلال در حمل و نقل از طریق کاهش دید، دو چندان شده است. بطوریکه کنترل فرسایش بادی جزء سیاست های اصلی دستیابی به توسعه پایدار زمین در کشورهای واقع در مناطق خشک و نیمه خشک می باشد. علیرغم اینکه پیشرفت های چشمگیر در تکنولوژی دورسنجی (ابراهیمی خوسفی و روستایی، ۲۰۲۲، گلریحان و همکاران، ۲۰۲۱ و رایگانی و همکاران، ۲۰۱۹)، اندازه گیری های میدانی (گلی و همکاران، ۲۰۱۹، عباسی، ۲۰۱۹، آلفردو و گومز، ۲۰۰۱ و سو^۲ و همکاران، ۲۰۰۹) و تکنیک های مدل سازی (بوتلر^۳ و همکاران، ۲۰۱۲، دستورانی و جعفری، ۲۰۱۹ و پویان و همکاران، ۲۰۱۹)، داده های بسیار دقیقی از ارزیابی های فرسایش بادی در مقیاس های مکانی متوسط تا کلان ارائه کرده اند؛ اما هیچ کدام از این روش ها، سابقه زمانی لازم برای درک چگونگی تاثیر تغییرات آب و هوا در مقیاس های زمانی طولانی تر بر نرخ ها و فرآیندهای

¹ . Alfaro and Gomes

² . Sow

³ . Butler

فرسایش بادی ارائه نمی‌کنند. از این‌رو، امروزه از داده‌های طوفان‌های گرد و غبار (DSI) که بر مبنای کاهش میدان دید افقی و در قالب کدهای اختصاصی در ایستگاه‌های هواشناسی ثبت می‌شوند، بطور گسترده در پایش و ارزیابی فرسایش بادی استفاده می‌گردد. در تحقیق حاضر، از این روش استفاده شده و نتایج آن در آشکارسازی فراوانی وقوع و روند طوفان‌های گرد و غبار در سطح استان آذربایجان شرقی و مناطق حاشیه دریاچه ارومیه ارائه شده است. کارآیی این روش پیشتر در مطالعات متعددی (میری، ۲۰۲۰، پویان و همکاران، ۲۰۱۹، رهنما و همکاران، ۲۰۲۱، شریفی، ۲۰۲۱، ولی و روستایی، ۲۰۱۸ و زهتابیان و همکاران، ۲۰۱۹) گزارش شده است.

البته، علیرغم اینکه مطالعات مبتنی بر سوابق هواشناسی، اطلاعات ارزشمندی در خصوص جنبه‌های فضایی وقوع طوفان‌های گرد و غبار ارائه می‌دهند، اما در صورت توزیع نامناسب پراکنش مکانی ایستگاه‌های هواشناسی، نقشه‌های مکانی تهیه شده از دقت لازم برخوردار نخواهند بود. همچنین، باید در نظر داشت که پروتکل‌های مشاهدات هواشناسی برای نظارت بر فرسایش بادی طراحی نشده و از این‌رو، این قبیل داده‌ها دارای محدودیت‌های در این زمینه بوده که برخی از آن‌ها توسط (آ. لوینگسای و همکاران، ۲۰۱۰) بحث شده است.

تقدیر و تشکر

مقاله حاضر مستخرج از نتایج گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی با شماره فروست ۶۰۸۹۲ به تاریخ ۱۴۰۰/۱۰/۱۸ بوده که با حمایت مالی موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی اجرا شده است؛ بدین‌وسیله از مساعدت کلیه همکاران این دو واحد تحقیقاتی تقدیر به عمل می‌آید.

References

- Abbasi, H. (2019) Sand Dune Systems in Iran - Distribution and Activity. Wind Regimes, Spatial and Temporal Variations of the Aeolian Sediment Transport in Sistan Plain (East Iran), Philipps-Universität Marburg, Germani.
- Alfaro, S. and Gomes, L. (2001) Modeling mineral aerosol production by wind erosion: emission intensities and aerosol size distributions in source areas. *J. Geophys. Res.* 106(16), 18075–18084.
- Arhami, M., Mardi, A.H., sharafebafi, s., Karimi, N., Yoneszadeh, s. and Hedari, P. (2016) Identification and prioritization of dust generation foci in Urmia lake bed. Arhami, M. (ed), p. 381, RSRC, Sharif University of Technology. (In Persian)
- Butler, H.J., McTainsh, G.H. and Hogarth, W.L. (2012) Simulations of spatial variability in particle-size emissions during wind erosion events. *Earth Surf. Proc. Land.* 37(13), 1362–1375.
- Dastorani, M. and Jafari, M. (2019) Analysis of the Trend of Dust Changes in Ardestan Region, Iran. *Desert Ecosystem Engineering, Journal* 8(3), 45-54.
- Ebrahimi Khusfi, Z., Roustaei, F., Ebrahimi Khusfi, M. and Naghavi, S. (2020) Investigation of the relationship between dust storm index, climatic parameters, and normalized difference vegetation index using the ridge regression method in arid regions of Central Iran. *Arid Land Research and Management*, 34, 239 - 263.
- Ebrahimi-Khusfi, Z. and Roustaei, F. (2022) Dust storm index anomaly for sand-dust events monitoring in western Iran and its association with the NDVI and LST anomalies. *Environ Sci Pollut Res Int.*, 29(8), 11101-11115.
- Goli, T., Kaviani, H., Kadkhodayi Ilkhchi, R. and Nouri Mokhoori, A. (2019) The Determination of the Sedimentologic and Geomorphologic Parameters of Sand Dunes of Qom Tapeh Using Geological and Meteorological Data, Northwest of Tabriz (Sufian). *Hydrogeomorphology.* 6(19), 19-36. (In Persian).
- Golreyhan, F., Valizadeh Kamran, K., Mokhtari, D. and Rasouli, A. A. (2021) Examining the Effect of Salt Dust Storms of Lake Urmia on Vegetation. *Journal of Hydraulic Structures*, 7(2), 60-71.
- Jebali, A., Zare, M., Ekhtesasi, M.R. and Jafari, R. (2021) Detection of areas prone to wind erosion and air pollution using DSI and PDSI indices. *Natural Hazards*, 108(1), 1221-1235.
- Kamali, P., Tazeh, M., Kalantari, S., Fehrest, M. and Jebali, A. (2023) Investigating the Relationship Between Dust Storm Index and Some Climatic Parameters, Vegetation Index and Land Form Types (Yazd-Ardakan Plain), *J. Desert Management.* 10(4), 93-108. (In Persian)
- Leys, J.F. (2002) Erosion by wind, effects on soil quality and productivity, *Encyclopedia of Soil Science*, Marcel Dekker Inc., New York.
- McTainsh, G., O'Loingsigh, T. and Strong, C. (2011) Update of Dust Storm Index (DSI) maps for 2005 to 2010, p. 29, Atmospheric Environment Research Centre, Griffith University, Brisbane, Queensland, Queensland, Australia.
- McTainsh, G., Tews, K., Leys, J. and Bastin, G. (2007) Spatial and temporal trends in wind erosion of Australian rangelands during 1960 to 2005 using the Dust Storm Index (DSI), pp. 1-25, Griffith University, Australian
- Miri, A. (2020) Dust storms analysis in the Sistan region using DDI and DSI indices and wind speed, visibility and

- PM10 parameters. *J. of Water and Soil Conservation*, 27(1), 1-23. (In Persian)
- Mohammadi, B. (2011) Trend Analysis of annual rainfall over Iran. *Geography and Environmental Planning* 22(3), 95-106. (In Persian)
- O’Loingsigh, T., McTainsh, G.H., Tapper, N.J. and Shinkfield, P. (2010) Lost in code: A critical analysis of using meteorological data for wind erosion monitoring. *Aeolian Research* 2(1), 49-57.
- O’Loingsigh, T., McTainsh, G.H., Tews, E.K., Strong, C.L., Leys, J.F., Shinkfield, P. and Tapper, N.J. (2014) The Dust Storm Index (DSI): A method for monitoring broadscale wind erosion using meteorological records. *Aeolian Research* 12, 29-40.
- 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)
- Rahnama, M., Sehatkashani, S., Khoddam, N., Karami, S., tajbakhsh, s. and Ranjbar, A. (2021) The analysis of Dust Storm Index (DSI), Frequency of dust events and horizontal visibility in the West Asian, *Journal of Climate Research* 1400(47), 57-70(In Persian).
- Ravan, P., Ahmady-Birgani, H. and Sorooshian, A. (2019) Spatial Mapping of Elemental Variabilities of Atmospheric Particulates throughout the Lake Urmia Basin. 45(3), 667-686. (In Persian)
- Rayegani, B., Barati Ghahfarokhi, S. and Khoshnava, A. (2019) Dust & Sand Source Identification Using Remotely Sensed Data: a comprehensive Approach, *Journal of Range and Watershed Management* 72(1), 83-105. (In Persian)
- Shahbazi, K., Khosroshahi, M., Heshmati, M. and Saieedifar, Z. (2022) Effects of Climate Change on Dust Storm Occurrence in Kermanshah Province, Iran. *ECOPERSIA* 10(2), 121-131.
- Sharifi, R. (2021) Monitoring DSI and Lancaster Indices for Study Dust and Sand Storm In Meteorological Mehrabad Station of Tehran. *International Journal of Fundamental Physical Sciences* 11(2), 30-42.
- Sow, M., Alfaro, S., Rajot, J. and Marticorena, B. (2009) Size resolved dust emission fluxes measured in Niger during 3 dust storms of the AMMA experiment. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* 9, 5549–5581.
- Speer, M.S. (2013) Dust storm frequency and impact over Eastern Australia determined by state of Pacific climate system. *Weather and Climate Extremes* 2, 16-21.
- Tan, M. (2016) Exploring the relationship between vegetation and dust-storm intensity (DSI) in China. *Journal of Geographical Sciences* 26, 387-396.
- Vali, A. and Roustaei, F. (2018) Investigation of the Wind Erosion Trend in Central Iran using Dust Storm Index in the Last Fifty Years. *J. Water and Soil Sci (Sci. & Technol. Agric. & Natur. Resour.)*, 21(4), 189-200. (In Persian)
- Zehtabian, G., Jafari, M., Ahamadi, H., Mesbahzadeh, T. and Noroozi, A.A. (2019) Analyzing the Synoptic Systems and Study the Change Trend in Dust (Case Study: Ardestan), *J. Environmental Researches.* 10(19), 281-292. (In Persian)