



The impact of recent droughts on the occurrence of dust in East Azerbaijan province

Jamshid Yarahmadi^{1✉} | Hoshang Behravan² | Mehdi Eslahi³

1. Corresponding Author, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran. J.yarahmadi@areeo.ac.ir

2. East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran. h.behravan@areeo.ac.ir

3. East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran. m.eslahi@areeo.ac.ir

Article Information

Research Paper

Vol: 15
No: 58
P: 35-51
Received: 2023-12-19
Revised: 2024-01-10
Accepted: 2024-01-15
Published: 2025-02-01

Keywords:

- Drought
- Dust
- Correlation
- East Azarbijan

Cite this Article:

Yarahmadi, Jamshid., Behravan, Hoshang & Eslahi, Mehdi. (2025). The impact of recent droughts on the occurrence of dust in East Azerbaijan province. *Journal of Arid Regions Geographic Studies* 15(58): 35-51.
doi: 10.22034/jargs.2024.429716.1078

Publisher: Hakim Sabzevari University

© The Author(s)



[10.22034/jargs.2024.429716.1078](https://doi.org/10.22034/jargs.2024.429716.1078)

Abstract

Aim: Investigation of the relationship between droughts and the number of days associated with dust in East Azerbaijan Province.

Material & Method: First, using the correlation equation, the missing value of the number of days with dust of the synoptic stations was completed in the last 30 years. Then, the trend of this data was checked using the Mann-Kendall test. The frequency and severity of droughts were calculated using the SPEI method in the R program. The impact of droughts on the occurrence of dust was evaluated through the Spearman correlation test.

Finding: The presence of a trend in the data series at a significant level of 0.05 has been confirmed, and the slope is increasing. The results of the SPEI index show that drought periods are expanding, especially in the second half of the selected period in the region. On the other hand, there was a significant correlation at the 0.01 level between the number of days with dust and the SPEI-6 drought index.

Conclusion: The playa of Urmia Lake is the main focus of local dust generation, and this fact is confirmed based on the correlation between the dust and the SPEI index and the observation of suspended particles with lake origin in the air of the stations near this lake.

Innovation: This research aims to reveal the correlation between the occurrence of dust phenomena in connection with the continuation of droughts and the expansion of the playa of Lake Urmia, which has calculated the SPEI index based on the latest statistics of meteorological stations. Conducting such research is necessary to evaluate the tempo-spatial distribution of wind erosion, identify areas at risk of desertification, and formulate control strategies for these areas.

Extended Abstract

1. Introduction

Dust storms are meteorological phenomena triggered by turbulent winds that remove loose sand from exposed dry topsoil in arid and semi-arid areas, causing the movement of sand dunes or airborne dust. Dust storms have a linear correlation with climate variables, and today, with the acceptance of climate change, its frequency and intensity are expected to increase in countries located in the arid and semi-arid belt. The issue of atmospheric dust has garnered growing attention in recent years and has resulted in significant damage and casualties worldwide annually. The phenomenon of dust and the movement of quicksand are considered important processes of land destruction and serious challenges in the world. Climatic factors also play a significant role in these phenomena. Therefore, investigating and recognizing these factors and their impact on the mobility of quicksand and the intensification of dust phenomena is an undeniable necessity to prevent the escalation of environmental crises in the future. The recent droughts have exacerbated the drying of Lake Urmia, leading to a significant expansion of its dry bed. This situation has increased the possibility of wind erosion and dust storms in the Lake Urmia basin. In this study, we aimed to investigate the impact of drought frequency and severity on dusty days in the East Azerbaijan province over the past 30 years (1990-2020). Conducting this research is essential for evaluating the temporal-spatial distribution of wind erosion, identifying areas at risk of desertification, and developing control strategies for these areas.

2. Materials and methods

The studied area is East Azerbaijan province, located northwest of Iran. Based on the archival information of East Azarbaijan Province Meteorological Department, from the total of 19 active synoptic stations in this province, 10 meteorological synoptic stations that have long-term statistics in the last 30 years (1990-2020) were selected for use in this research. First, using the correlation equation, the missing value of the number of days with dust of the synoptic stations was completed in the last 30 years. The homogeneity of the meteorological data series was assessed using the non-parametric run test, which involved selecting the median of the data in the SPSS software environment. The homogeneity of the data was assessed using the P-value. A P-value less than the significance level of 0.05 indicates rejection of the null hypothesis or rejection of the randomness of the data. Then, the trend of this data was checked using the Mann-Kendall test. The frequency and severity of droughts were calculated using the SPEI method in the R program. Then, the impact of droughts on the occurrence of dust was evaluated through the Spearman correlation test.

3. Discussion and results

The missing data of the number of days with dust in the selected stations was completed based on the Spearman correlation test between the data series of these stations and linear regression calculation for the recent 30-year period (1999-2020). The run test results showed that the null hypothesis was confirmed at a significance level of 0.05 in four stations as Jolfa, Maragheh, Sarab, and Kalibar. In the rest of the stations, the number of days with dust data is not homogeneous. A trend in the data series at a significant level of 0.05 has been confirmed, and the Mann-Kendall's slope values also indicate that this trend is increasing. The results of the SPEI index show that drought periods are expanding, especially in the second half of the selected period in the region. On the other hand, there was a significant correlation at the 0.01 level between the number of days with dust and the SPEI-6 drought index.

4. Conclusion

The playa of Urmia Lake is the main focus of local dust generation, and this fact is confirmed based on the correlation between the dust and the SPEI index, as well as the observation of suspended particles with lake origin in the air of the stations near this lake. However, demonstrating the impact of prolonged droughts and the enlargement of the dry bed of Lake Urmia on local dust requires ongoing and precise monitoring of the quantitative and qualitative attributes of wind deposits at all meteorological stations in this area.

5. Acknowledgment & Funding

This work was supported by the Research Institute of Forests and Rangelands (RIFR) of IRAN. The authors are thankful to all interview participants for supporting this research.

6. Conflict of Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

تأثیر خشکسالی‌های اخیر بر وقوع گرد و غبار در استان آذربایجان شرقی

جمشید یاراحمدی^۱✉، هوشنگ بهروان^۲، مهدی اصلاحی^۳

۱- نویسنده مسئول، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، ایران. J.yarahmadi@areeo.ac.ir

۲- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، ایران. h.behrawan@areeo.ac.ir

۳- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، ایران. m.eslahi@areeo.ac.ir

چکیده:

هدف: بررسی ارتباط خشکسالی‌ها با تعداد روزهای همراه با پدیده گرد و غبار در استان آذربایجان شرقی.

روش و داده: ابتدا با استفاده از معادله همبستگی، خلأ آماری داده‌های مشاهداتی تعداد روزهای همراه با گرد و غبار ایستگاه‌های سینوپتیک استان در بازه زمانی ۳۰ سال اخیر تکمیل گردید. سپس، وجود روند این داده‌ها با استفاده از آزمون من-کندال بررسی گردید. فراوانی و شدت خشکسالی‌های هواشناسی به روش SPEI در محیط برنامه R محاسبه شده و در ادامه، تأثیر خشکسالی‌ها بر وقوع پدیده گرد و غبار از طریق آزمون همبستگی اسپیرمن ارزیابی شد.

یافته‌ها: وجود روند در سری داده‌های تعداد روزهای همراه با گرد و غبار در سطح معنی‌دار ۰/۰۵ در ایستگاه‌های هواشناسی منتخب استان تأیید شده و مقادیر شیب سن نیز بیانگر افزایشی بودن این روند است. نتایج شاخص SPEI نشان می‌دهد که دوره‌های خشکی، بالاخص در نیمه دوم بازه آماری، در منطقه در حال گسترش است. از طرف دیگر، وجود همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ بین تعداد روزهای همراه با گرد و غبار با شاخص خشکسالی SPEI-6 مشاهده گردید؛ این رابطه حالت عکس داشته، بدین معنی که با کاهش مقدار شاخص خشکسالی، به تعداد روزهای همراه با گرد و غبار در سطح استان آذربایجان شرقی افزوده می‌شود.

نتیجه‌گیری: پلايای دریاچه ارومیه به عنوان کانون‌های اصلی ایجاد گرد و غبار محلی بوده و این واقعیت بر اساس همبستگی موجود بین تعداد روزهای همراه با گرد و غبار با شاخص SPEI و نیز مشاهده ذرات معلق با منشأ دریاچه‌ای در هوای ایستگاه‌های مناطق مجاور این دریاچه، مورد تأیید است.

نوآوری و کاربردها: این تحقیق درصدد آشکارسازی همبستگی بین وقوع پدیده گرد و غبار در ارتباط با تداوم خشکسالی‌ها و گسترش پلايای دریاچه ارومیه بوده که بر اساس جدیدترین آمار ایستگاه‌های هواشناسی، شاخص SPEI را محاسبه کرده است. انجام این قبیل تحقیقات برای ارزیابی توزیع زمانی-مکانی فرسایش بادی، شناسایی مناطق در معرض خطر بیابان‌زایی و تدوین استراتژی‌های کنترل این مناطق بسیار ضروری است.

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی

شماره:

۱۵

دوره:

۵۸

صفحه:

۳۵-۵۱

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۰۹/۱۹

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۲/۱۰/۲۰

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۱۰/۲۵

تاریخ انتشار:

۱۴۰۳/۱۱/۱۳

کلیدواژه‌ها:

- خشکسالی
- گرد و غبار
- همبستگی
- استان آذربایجان شرقی

نحوه ارجاع به این مقاله:

یاراحمدی، جمشید، بهروان، هوشنگ، اصلاحی، مهدی. (۱۴۰۳). تأثیر خشکسالی‌های اخیر بر وقوع گرد و غبار در استان آذربایجان شرقی. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۱۵(۵۸): ۳۵-۵۱.

doi: 10.22034/jargs.2024.429716.1078

ناشر: دانشگاه حکیم سبزواری



© نویسنده(گان).



10.22034/jargs.2024.429716.1078

۱- مقدمه

طوفان‌های گرد و غبار از جمله پدیده‌های هواشناسی هستند که بر اثر وزش بادهای شدید در مناطق خشک و نیمه خشک ایجاد شده و با کندن ماسه از لایه‌های بالایی سطح زمین، سبب جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای و طوفان‌های گرد و غبار اتمسفری می‌شود (Hamzeh et al., 2021). طوفان‌های گرد و غبار همبستگی خطی با متغیرهای اقلیمی داشته و امروزه با قبول رخداد تغییرات اقلیمی، انتظار می‌رود فراوانی و شدت آن در کشورهای واقع در کمربند خشک و نیمه خشک افزایش یابد. گرد و غبار ناشی از فرسایش بادی، یکی از مهم‌ترین مخاطرات و چالش‌های جدی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان بوده که با تغییرات آب و هوایی در سال‌های اخیر تشدید یافته است (Goudie, 2014). این در حالی‌ست که مناطق خشک جهان ۴۱ درصد از سطح زمین و ۲ میلیارد نفر از جمعیت جهان (که ۹۰٪ آن‌ها در کشورهای در حال توسعه زندگی می‌کنند) به خود اختصاص داده است (Teng et al., 2021). اخیراً به دلیل تغییرات آب و هوایی و کمبود آب، زمین‌های کشاورزی متروکه با پوشش گیاهی فقیر به یکی از کانون‌های اصلی برای ایجاد گرد و غبار جوی در سراسر جهان تبدیل شده است (Hamzeshpour et al., 2022). پدیده گرد و غبار جوی در سال‌های اخیر توجه فزاینده‌ای را به خود معطوف داشته و همه ساله خسارات و تلفات فراوانی در تمام نقاط جهان به وجود آورده است. از آنجا که پدیده گرد و غبار و حرکت ماسه‌های روان به عنوان یکی از فرایندهای مهم تخریب سرزمین و یک چالش جدی در جهان به شمار می‌رود و عوامل اقلیمی نیز در این پدیده نقش بسزایی دارند از این‌رو بررسی و شناخت این عوامل از جنبه تأثیر آن‌ها بر تحرک‌پذیری ماسه‌های روان و بروز تشدید پدیده گرد و غبار برای جلوگیری از تشدید بحران‌های زیست‌محیطی در آینده یک ضرورت انکارناپذیر است.

بروغنی و همکاران با محاسبه خشکسالی به روش شاخص بارش استاندارد شده (SPI)^۱، ارتباط آن را با پدیده گرد و غبار در بازه زمانی (۲۰۱۰-۲۰۰۱) در خراسان رضوی بررسی کردند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که بین پدیده گرد و غبار و خشکسالی ارتباط مستقیم وجود داشته و با افزایش شدت خشکسالی‌ها، تعداد وقوع گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه نیز افزایش یافته است (Boroghani et al., 2019). بررسی ارتباط بین طوفان‌های گرد و غبار با افزایش خشکسالی در استان نینوا عراق موضوع تحقیق یحیی و همکاران بوده و نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که افزایش فراوانی گرد و غبارهای منطقه نینوا در بازه زمانی (۱۹۹۲-۲۰۱۷)، ناشی از گسترش حدود ۲/۲ درصد از مساحت قلمروهای خشکی و بیابانی در این منطقه بوده است (Yahya and Seker, 2018). زهتابیان و همکاران تغییرات تعداد وقوع گرد و غبار ایستگاه اردستان در بازه زمانی (۲۰۰۰-۲۰۱۳) و ارتباط آن با خشکسالی‌ها به روش شاخص SPI را بررسی کرده و به منظور آشکارسازی روند در سری زمانی داده‌های مورد استفاده، از آزمون‌های ناپارامتریک من-کندال و سن استیمیتوری استفاده نمودند. نتایج آزمون من-کندال بیانگر وجود روند در سری داده‌های سالانه گرد و غبار در سطح معنی‌داری ۱٪ بوده و وجود همبستگی مستقیم بین پدیده گرد و غبار با خشکسالی‌ها در ایستگاه اردستان تأیید شده؛ به طوری که همزمان شدت خشکسالی‌ها، بر تعداد وقوع پدیده گرد و غبار نیز افزوده می‌شود (Zehtabian et al., 2019). تحلیل همبستگی بین فراوانی رخداد‌های گرد و غبار با وضعیت خشکسالی‌های به روش شاخص SPEI استان کرمان در بازه زمانی (۱۹۹۰-۲۰۱۸) موضوع پژوهش ابراهیمی خوسفی و همکاران بوده که در آن از آزمون‌های پیرسون و من-کندال، به ترتیب برای ارزیابی همبستگی و وجود روند در سری داده‌ها استفاده کرده‌اند. نتایج تحلیل روند داده‌ها نشان داد که خشکسالی‌های استان کرمان روند افزایشی معنی‌دار داشته، در حالی که در داده‌های رخداد‌های گرد و غبار، روند کاهشی بوده است؛ هرچند که تشدید شرایط خشکی در ماه نوامبر بر افزایش فراوانی گرد و غبار در استان کرمان اثر معنی‌داری داشته است (Ebrahimi-Khusfi et al., 2022). غلامی و همکاران ارتباط بین نوسانات زمانی-مکانی خشکسالی‌های هواشناسی به روش شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI)^۲ و گرد و غبار استان خوزستان را با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون بررسی کرده و نتایج حاصله بیانگر وجود همبستگی مستقیم و معنی‌دار این دو پدیده داشته است؛ همچنین نتایج متقاطع نیز نشان داد که رویداد گرد و غبار با تاخیر یکماهه از وقوع دوره‌های خشکی مشاهده می‌شود (Gholami et al., 2021).

بررسی روند تغییرات فراوانی روزهای همراه با طوفان‌های گرد و غباری و ارتباط آن با شاخص بارش استاندارد شده (SPI) موضوع تحقیق انصاری قوجقار و همکاران (۲۰۲۰) بوده که در آن از آزمون‌های ناپارامتریک کلموگروف-اسمیرنوف و من-کندال به

1. Standard Precipitation Index

2. The Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index

ترتیب برای بررسی نرمال بودن و وجود روند در سری داده‌های گرد و غبار مشاهداتی استفاده کردند؛ نتایج این تحقیق بیانگر وجود همبستگی معنی‌دار بین SPI با فراوانی روزهای همراه با طوفان‌های گرد و غبار در بیشتر ایستگاه‌های هواشناسی منتخب، بالاخص در ایستگاه‌های دزفول، بستان و مسجدسلیمان بود (Ansari Ghoghghar et al., 2021). جوادیان و همکاران ارتباط بین رخداد خشکسالی‌های عراق با طوفان‌های گرد و غبار در منطقه جنوب غربی ایران را در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ با مدل HYSPLIT انجام دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که مناطق مرکزی و جنوبی عراق از مراکز اصلی طوفان‌های گرد و غبار مناطق جنوب غربی ایران بوده است (Javadian et al., 2019). راهی و همکاران روند تغییرات فراوانی روزهای همراه با گرد و غبار (DSI) را بر مبنای کدهای هواشناسی ۰۷ و ۰۶ تحلیل کرده و ارتباط آن با شاخص خشکسالی (SPEI) را در بازه زمانی ۳۰ ساله (۱۹۸۹-۲۰۱۸) برای استان بوشهر انجام دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که شاخص DSI با افزایش شدت خشکسالی‌ها کاهش داشته و همبستگی این دو در بازه زمانی یاد شده در سطح استان بوشهر معنی‌دار نبوده است (Rahi et al., 2022).

وقوع خشکسالی‌های اخیر باعث تشدید روند خشک شدن دریاچه ارومیه شده و به تبع آن، بستر خشک این دریاچه گسترش زیادی یافته است. این وضعیت، احتمال تشدید فرسایش بادی و وقوع طوفان‌های گرد و غبار در حوضه دریاچه ارومیه را افزایش داده است. در همین راستا، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر فراوانی و شدت خشکسالی‌ها بر وقوع روزهای همراه با گرد و غبار در گستره استان آذربایجان شرقی در بازه زمانی ۳۰ سال اخیر (۱۹۹۰-۲۰۲۰) انجام گرفته است. انجام این قبیل تحقیقات برای ارزیابی توزیع زمانی-مکانی فرسایش بادی، شناسایی مناطق در معرض خطر بیابان‌زایی و تدوین استراتژی‌های کنترل این مناطق بسیار ضروری است.

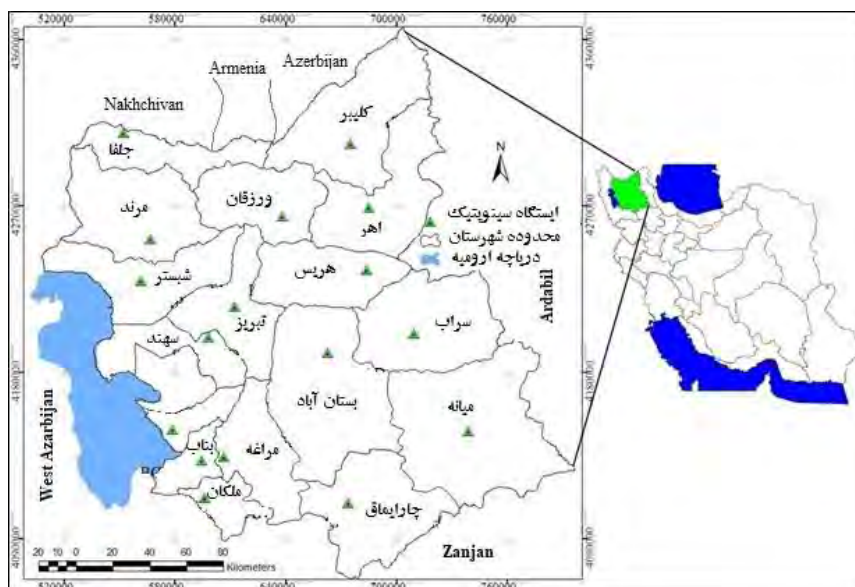
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه:

استان آذربایجان شرقی با وسعتی معادل ۴۶۹۲۹/۹ کیلومترمربع در شمال غربی ایران قرار دارد که 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. بر اساس اطلاعات حاصل از اداره کل هواشناسی استان آذربایجان شرقی، مشخص شد که تعداد ۱۹ ایستگاه سینوپتیک فعال در سطح این استان موجود است (شکل ۱). بررسی اطلاعات ثبتی این ایستگاه‌ها نشان داد که تنها هفت ایستگاه سینوپتیک از ایستگاه‌های 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 ایستگاه‌ها به خاطر کوتاه بودن دوره آماری از ادامه بررسی‌ها حذف شدند. در نهایت، داده‌های ۱۰ ایستگاه هواشناسی منتخب مطابق جدول (۱) در بازه زمانی ۳۰ ساله اخیر (۱۹۹۰-۲۰۲۰) برای این تحقیق انتخاب شدند.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی منتخب استان

ردیف	ایستگاه	مختصات جغرافیایی		ارتفاع (متر)	دوره آماری
		عرض	طول		
۱	اهر	۶۶۲۷۶۲	۴۱۹۰۷۸۵	۱۳۹۰	(۱۹۹۹-۲۰۲۰)
۲	بناب	۵۹۴۴۹۳	۴۱۳۲۳۸۵	۱۳۸۱	(۲۰۰۰-۲۰۲۰)
۳	جلفا	۵۵۲۰۰۴	۴۳۰۹۵۵۰	۷۴۶	(۱۹۹۹-۲۰۲۰)
۴	کلیبر	۶۷۴۹۶۲	۴۳۰۳۹۱۳	۱۳۲۷	(۲۰۰۰-۲۰۲۰)
۵	مراغه	۶۰۶۲۸۲	۴۱۳۴۳۷۵	۱۳۸۳	(۱۹۹۹-۲۰۲۰)
۶	مرند	۵۶۶۹۲۹	۴۲۵۲۳۲۵	۱۳۷۶	(۱۹۹۹-۲۰۲۰)
۷	میانه	۷۳۸۸۳۵	۴۱۴۸۲۱۸	۱۱۴۵	(۲۰۰۰-۲۰۲۰)
۸	سهند	۵۹۸۱۳۱	۴۱۹۹۰۰۶	۱۵۶۷	(۱۹۹۹-۲۰۲۰)
۹	سراب	۷۰۹۴۵۴	۴۲۰۱۰۹۷	۱۶۶۷	(۱۹۹۹-۲۰۲۰)
۱۰	تبریز	۶۱۲۵۴۸	۴۲۱۵۸۳۹	۱۳۸۰	(۱۹۹۹-۲۰۲۰)



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی منتخب در سطح استان آذربایجان شرقی

۲-۲- روش پژوهش

در تحقیق حاضر، بعد از تهیه داده‌های مربوط به تعداد روزهای همراه با گرد و غبار، خلأ آماری سری داده‌ها از طریق آزمون همبستگی تکمیل شده و در ادامه، همگنی سری داده‌های هواشناسی با استفاده از آزمون ناپارامتریک ران تست^۱ و بر اساس انتخاب میانه داده‌ها در محیط نرم‌افزار SPSS بررسی شد. معیار همگنی داده‌ها بر اساس مقدار P-Value ارزیابی شده، به طوری که مقدار P کمتر از سطح معنی‌داری ۰/۰۵، نشان‌دهنده 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 بر اساس 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:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_i - x_k) \quad (\text{رابطه ۱})$$

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

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

$$\text{Sgn} = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (\text{رابطه ۲})$$

- محاسبه واریانس (S) توسط یکی از روابط زیر بوده به طوری که اگر تعداد داده‌های سری زمانی بزرگتر از ۱۰ مورد باشد از رابطه (۳) و اگر کمتر از ۱۰ باشد از رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

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

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

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:

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

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 (Gohari et al., 2020).

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) به دست آورد (Mohammadi, 2011):

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

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

$$Q_i = Q_{(n+2)/2} \quad (\text{رابطه ۷})$$

و اگر n زوج باشد، برآوردکننده شیب سن از این رابطه به دست می‌آید:

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

در پژوهش حاضر، از شاخص SPEI منظور تعیین سال‌های خشک و تر استفاده شده است. با توجه به اینکه این شاخص علاوه بر بارش، تبخیر و تعرق را نیز مدنظر قرار می‌دهد؛ لذا مناطقی با ناهنجاری مثبت دما، حتی در صورت بارش مناسب، ممکن است در محدوده مناطق خشکسالی قرار بگیرند. از این رو، شاخص SPEI یک تعادل آبی اقلیمی را در مقادیر زمانی مختلف (K) استفاده می‌کند که بر مبنای اختلاف میزان بارش با میزان تبخیر و تعرق است. این شاخص به صورت رابطه (۹) محاسبه می‌شود:

$$Di = Pi - PET_i \quad (\text{رابطه ۹})$$

Pi = میزان بارش بر حسب میلیمتر و PET = میزان تبخیر و تعرق پتانسیل به میلیمتر است

در اینجا برای تبخیر و تعرق پتانسیل از روش هارگریوز بر مبنای میانگین حداقل و حداکثر دمای هوا محاسبه شده و گام زمانی ۶ ماهه آن (SPEI-6) به عنوان نمونه جهت بررسی‌های بعدی انتخاب گردید. کلیه محاسبات مربوط تبخیر و تعرق، بیان آبی و نهایتاً تعیین دوره‌های تر و خشک بر مبنای شاخص SPEI در محیط برنامه R انجام و طبقه‌بندی شدت خشکسالی‌ها در شاخص SPEI مطابق جدول (۲) صورت گرفته است.

جدول ۲. مقیاس طبقه‌بندی شدت ترسالی و خشکسالی در روش شاخص SPEI

ردیف	طبقه‌بندی خشکسالی	مقدار عددی شاخص
۱	ترسالی بسیار شدید	بیشتر از ۲
۲	ترسالی شدید	۱/۱ تا ۵/۹۹
۳	ترسالی متوسط	۱/۱ تا ۴۹
۴	سال نرمال	-۰/ تا ۹۹/۹۹
۵	خشکسالی متوسط	-۱/ تا ۴۹
۶	خشکسالی شدید	-۱/ تا ۵/۹۹
۷	خشکسالی بسیار شدید	کمتر از -۲

در تحقیق حاضر، برای بررسی ارتباط بین شاخص SPEI با تعداد روزهای همراه با گرد و غبار در سطح ایستگاه‌های هواشناسی استان از آزمون همبستگی پیرسون در محیط نرم‌افزار SPSS استفاده شده است.

۳- یافته‌ها

خلاً آماری داده‌های تعداد روزهای همراه با گرد و غبار ایستگاه‌های منتخب، بر مبنای آزمون همبستگی اسپیرمن موجود بین داده‌های این ایستگاه‌ها و محاسبه رگرسیون خطی برای بازه زمانی ۳۰ ساله اخیر (۱۹۹۹-۲۰۲۰) تکمیل گردید. نتایج آزمون ران تست در جدول (۳) ارائه شده است. همان طوری که مشخص است در چهار ایستگاه جلفا، مراغه، سراب و کلیبر بر اساس مقادیر P -value، داده‌های تعداد روزهای همراه با گرد و غبار در سطح معنی‌داری ۰/۰۵، فرض صفر مورد تأیید و در بقیه ایستگاه، داده‌های تعداد روزهای همراه با گرد و غبار همگن نیستند.

جدول ۳. نتایج آزمون همگنی داده‌های تعداد روزهای همراه با گرد و غبار در ایستگاه‌های هواشناسی منتخب استان

نام ایستگاه	Test Value ^a	Cases < Test Value	Cases >= Test Value	Total Cases	Number of Runs	Z	Asymp. Sig. (2-tailed)
تبریز	۱۹	۱۴	۱۷	۳۱	۱۰	-۲/۱۶۰	۰/۰۳۱
جلفا	۳	۹	۲۲	۳۱	۱۶	۰/۷۷۱	۰/۴۴۱
مراغه	۱۲	۱۵	۱۶	۳۱	۱۱	-۱/۸۲۳	۰/۰۶۸
اهر	۴	۱۴	۱۷	۳۱	۸	-۲/۸۹۸	۰/۰۰۴
میانه	۳	۱۳	۱۸	۳۱	۷	-۳/۲۲۸	۰/۰۰۱
سراب	۳	۱۰	۲۱	۳۱	۱۲	-۰/۸۶۰	۰/۳۹۰
سهند	۱۳	۱۴	۱۵	۲۹	۷	-۳/۰۲۳	۰/۰۰۳
مرند	۱۲	۱۰	۱۱	۲۱	۵	-۲/۶۸۲	۰/۰۰۷
بناب	۱۲	۱۰	۱۱	۲۱	۶	-۲/۲۳۴	۰/۰۲۶
کلیبر	۱	۱۰	۱۱	۲۱	۹	-۰/۸۸۷	۰/۳۷۵

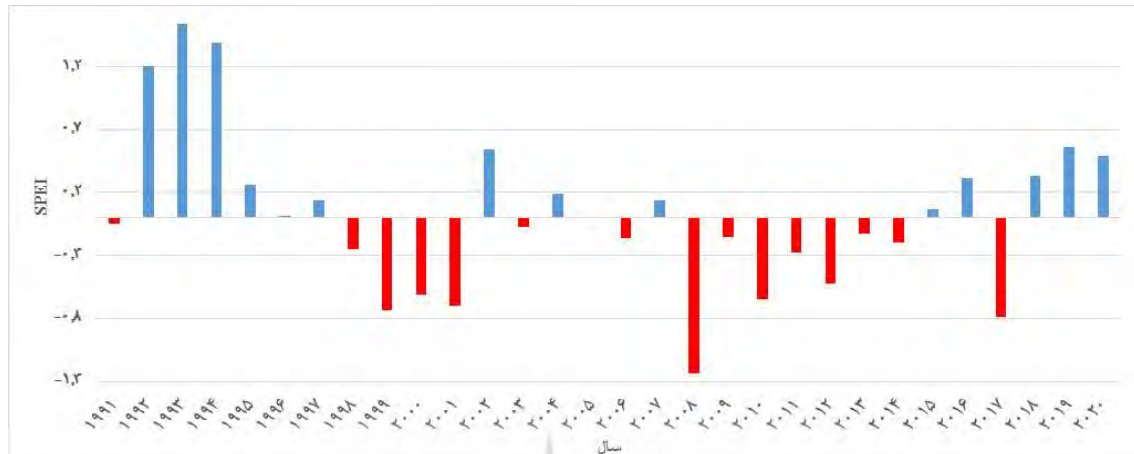
نتایج آزمون من-کندال که به منظور بررسی وجود روند در داده‌های مجموع سالانه تعداد روزهای همراه با پدیده گرد و غبار در ایستگاه‌های هواشناسی منتخب استان در بازه زمانی ۳۰ سال اخیر انجام شده در جدول (۴) ارائه شده است. مطابق اطلاعات مقادیر شیب سن موجود در این جدول، به غیر از ایستگاه‌های هواشناسی جلفا و کلیبر، تعداد روزهای همراه با گرد و غبار در بقیه ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی دارد؛ البته روند موجود در داده‌های تعداد روزهای همراه با گرد و غبار، تنها در ایستگاه‌های هواشناسی مراغه، اهر، میانه، سراب، سهند و مرند در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار بوده و در بقیه ایستگاه‌ها روند مشاهداتی در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار نیستند.

جدول ۴. نتایج آزمون من-کندال داده‌های تعداد روزهای همراه با گرد و غبار در ایستگاه‌های هواشناسی منتخب

نام ایستگاه	Kendall's tau	p-value	Sen's slope
تبریز	۰/۱۹۷	۰/۱۲۶	۰/۵۶۳
جلفا	-۰/۱۴۶	۰/۲۲۷	-۰/۰۵۶
مراغه	۰/۳۳۴	۰/۰۱۲	۰/۷۲۲
اهر	۰/۲۶۴	۰/۰۴۵	۰/۲۶۱
میانه	۰/۴۵۷	۰/۰	۰/۳۷۵
سراب	۰/۳۰۵	۰/۰۲۰	۰/۳۳۳
سهند	۰/۳۳۷	۰/۰۰۹	۰/۷۵۵
مرند	۰/۲۸۰	۰/۰۳۰	۰/۲۷۹
بناب	۰/۲۳۱	۰/۰۷۴	۰/۳۷۲
کلیبر	-۰/۰۰۹	۰/۹۵۸	۰/۰

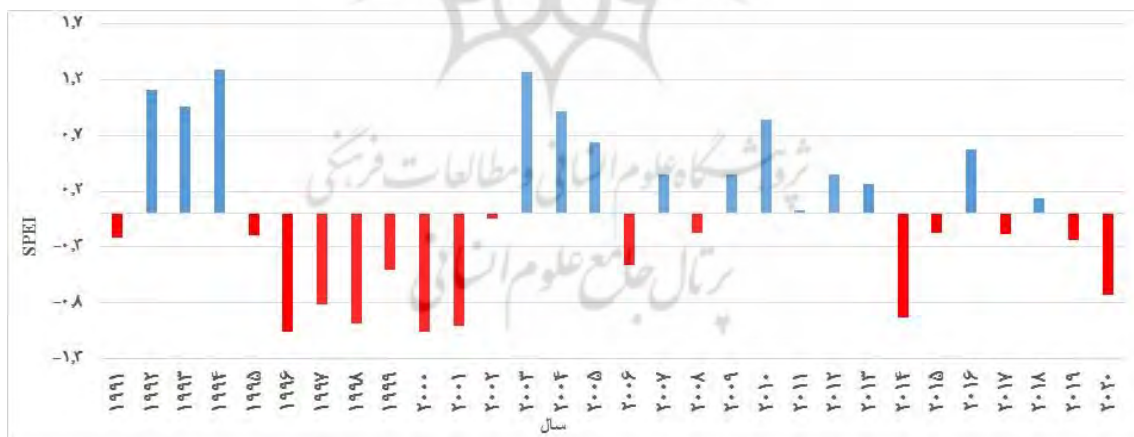
محاسبات مربوط به تبخیر و تعرق پتانسیل، فراوانی و تداوم وقوع پدیده خشکسالی‌های هواشناسی با استفاده از شاخص SPEI در گام‌های زمانی مختلف به تفکیک ایستگاه‌های منتخب استان انجام گرفته و نتایج آن در گام زمانی ۶ ماهه برای تمامی ایستگاه‌ها در نظر گرفته شده که نتایج آن در ادامه ارائه شده است.

نتایج محاسبات فراوانی و تداوم دوره‌های خشکی در گام زمانی شش ماهه با روش SPEI ایستگاه سینوپتیک تبریز در جدول (۵) ارائه شده است. همان طوری که پیداست در اکثر دوره‌های آماری ۳۰ ساله اخیر، شاخص SPEI در وضعیت نرمال با گرایش به سمت خشکسالی قرار داشته و تنها، ابتدا دوره آماری (۱۳۹۲-۱۳۹۴) و انتهای آن (۲۰۱۹) در وضعیت ترسالی قرار داشته‌اند. در میان سال‌های مورد بررسی، فقط سال ۲۰۰۸ در وضعیت خشکسالی شدید قرار داشته است. توزیع شاخص خشکسالی SPEI در گام زمانی ۶ ماهه در شکل (۲) نشان داده شده است.



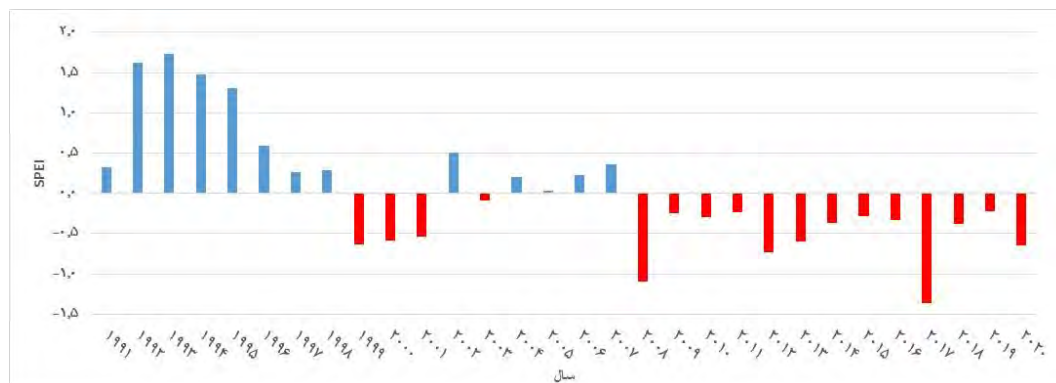
شکل ۲. نمودار شاخص SPEI در گام زمانی ۶ ماهه ایستگاه‌های هواشناسی تبریز

نتایج محاسبات فراوانی و تداوم دوره‌های خشکی در ایستگاه جلفا در جدول (۵) ارائه شده است. همان طوری که پیداست ۱۷ سال از بازه ۳۰ ساله آماری منتخب، در وضعیت نرمال با گرایش به خشکی قرار داشته و دو دوره خشکی نیز در این ایستگاه قابل تشخیص بوده که اولی در سال ۱۹۹۶ اتفاق افتاده و دوره خشکی دوم با تداوم دو ساله در بازه زمانی (۲۰۰۱-۲۰۰۲) رخ داده است. ترسالی‌ها با تداوم سه ساله، در ابتدای دوره آماری (۱۳۹۲-۱۳۹۴) قرار گرفته است. توزیع شاخص خشکسالی SPEI در گام زمانی ۶ ماهه در شکل (۳) نشان داده شده است.



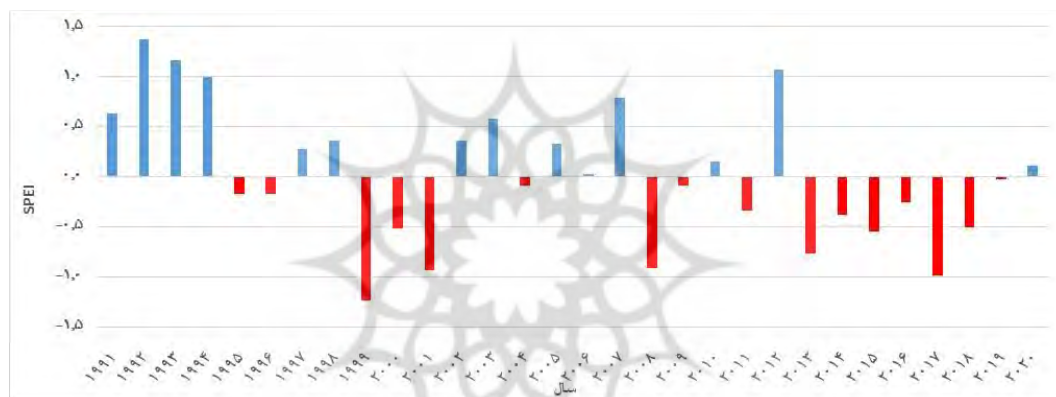
شکل ۳. نمودار شاخص SPEI در گام زمانی ۶ ماهه ایستگاه‌های هواشناسی جلفا

نتایج محاسبات فراوانی و تداوم دوره‌های خشکی در ایستگاه مراغه در جدول (۵) ارائه شده است. همان طوری که پیداست، دو دوره خشک و مرطوب کاملاً مشخص بوده که دوره خشکی با تداوم ۱۳ ساله از سال ۲۰۰۸ شروع شده و تا انتهای دوره آماری ادامه داشته است. در این میان، دو دوره خشکی شدید در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۷ رخ داده است. توزیع شاخص خشکسالی SPEI در گام زمانی ۶ ماهه در شکل (۴) نشان داده شده است.



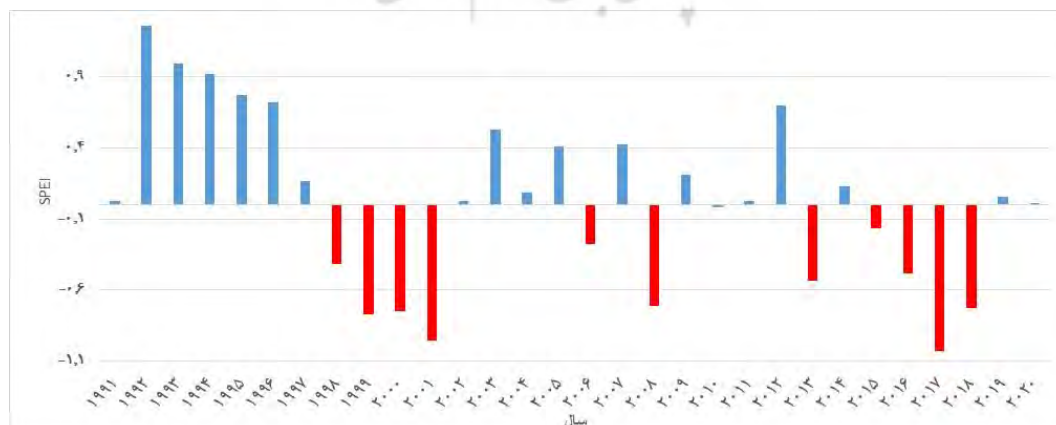
شکل ۴. نمودار شاخص SPEI در گام زمانی ۶ ماهه ایستگاه‌های هواشناسی مراغه

نتایج محاسبات فراوانی و تداوم دوره‌های خشکی در ایستگاه میانه در جدول (۵) ارائه شده است. همان طوری که پیداست، چندین دوره متوالی خشکسالی در منطقه مشاهده می‌شود؛ اولین دوره به مدت سه سال (۱۹۹۹-۲۰۰۱) رخ داده و طولانی‌ترین دوره خشکی از سال ۲۰۰۸ شروع شده و تا ۲۰۱۹ ادامه داشته است؛ هرچند که این دوره با تر سال‌های منقطع شده است. توزیع شاخص خشکسالی SPEI در گام زمانی ۶ ماهه در شکل (۵) نشان داده شده است.



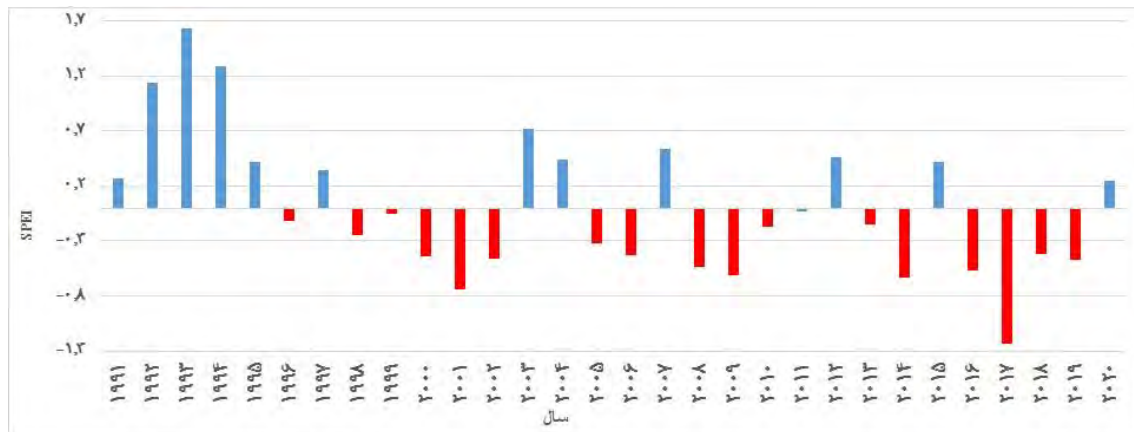
شکل ۵. نمودار شاخص SPEI در گام زمانی ۶ ماهه ایستگاه‌های هواشناسی میانه

نتایج محاسبات فراوانی و تداوم دوره‌های خشکی در ایستگاه سراب در جدول (۵) ارائه و توزیع شاخص خشکسالی SPEI در گام زمانی ۶ ماهه این ایستگاه در شکل (۶) نشان داده شده است. همان طوری که پیداست، چندین دوره متوالی خشکسالی در منطقه مشاهده می‌شود که اولین دوره به مدت چهار سال (۱۹۹۸-۲۰۰۱) رخ داده و دومین دوره خشکی نیز از سال ۲۰۱۳ شروع شده و تا ۲۰۱۹ طول کشیده است.



شکل ۶. نمودار شاخص SPEI در گام زمانی ۶ ماهه ایستگاه‌های هواشناسی سراب

نتایج محاسبات فراوانی و تداوم دوره‌های خشکی ایستگاه اهر در جدول (۵) ارائه و توزیع شاخص خشکسالی SPEI در گام زمانی ۶ ماهه آن نیز در شکل (۷) نشان داده شده است. بر اساس این اطلاعات، طولانی‌ترین دوره خشکی در منطقه از سال ۱۹۹۶ شروع شده و تا انتهای دوره آماری ادامه داشته است؛ هرچند که این دوره با میان دوره‌های یک یا دو ساله منقطع شده، ولی روند کلی آن وضعیت نرمال با گرایش منفی رو به خشکی بوده است.



شکل ۷. نمودار شاخص SPEI در گام زمانی ۶ ماهه ایستگاه‌های هواشناسی اهر

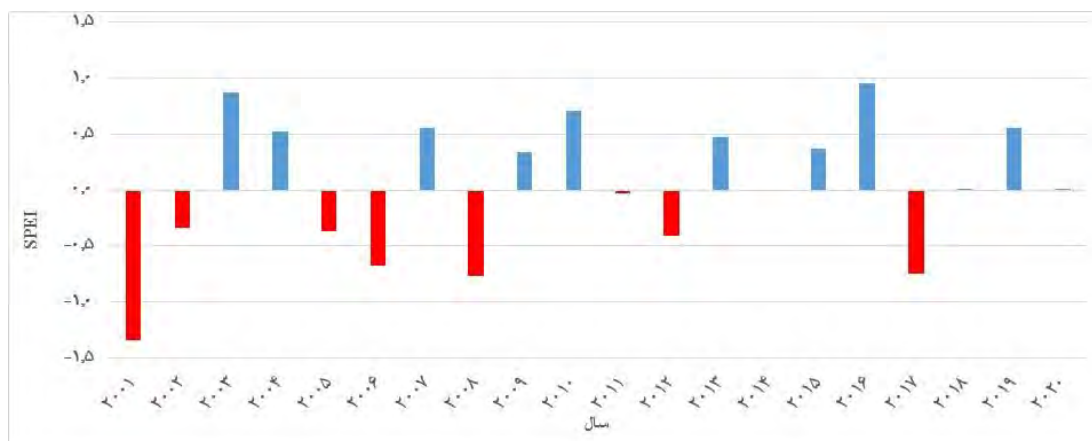
نتایج محاسبات فراوانی و تداوم دوره‌های خشکی در ایستگاه بناب در جدول (۵) ارائه شده است. بر اساس اطلاعات موجود در این جدول، یک دوره خشکسالی شاخص در منطقه مشاهده می‌شود که از سال ۲۰۰۸ شروع شده و تا سال ۲۰۱۷ ادامه داشته است. این دوره از نظر شاخص SPEI را وضعیت منفی مشخص شده که بیانگر حالت نرمال رو به خشکی است. توزیع شاخص خشکسالی SPEI در گام زمانی ۶ ماهه در شکل (۸) نشان داده شده است.



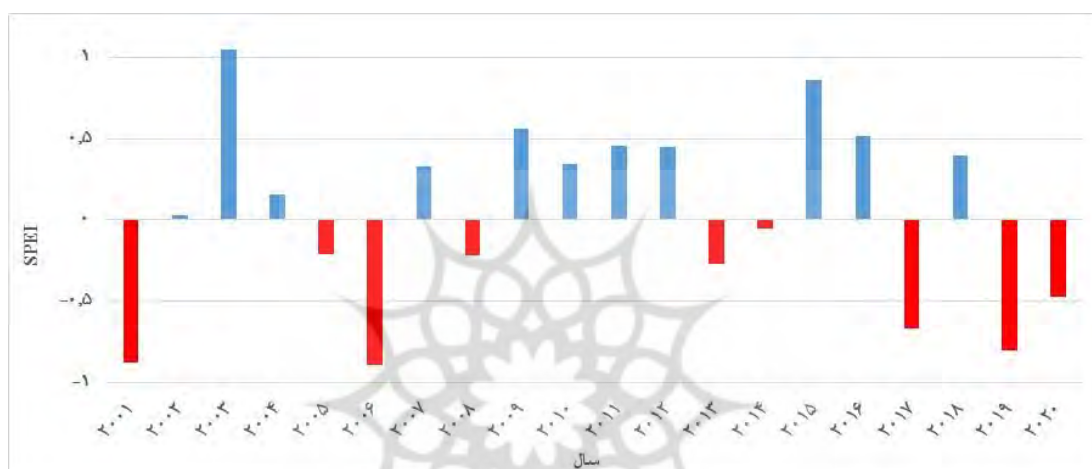
شکل ۸. نمودار شاخص SPEI در گام زمانی ۶ ماهه ایستگاه‌های هواشناسی بناب

نتایج محاسبات فراوانی و تداوم دوره‌های خشکی در ایستگاه مرند در جدول (۵) ارائه شده است. بر اساس اطلاعات موجود در این جدول، سال ۲۰۰۱ خشک‌ترین سال دوره آماری است؛ در حالی که، سال ۲۰۱۶ نیز ترسالی متوسط به حساب می‌آید. در بقیه سال‌های دوره آماری، توالی دوره‌های تر و خشک قابل مشاهده است؛ هرچند که همه این دوره‌ها از نظر شاخص SPEI نرمال در نظر گرفته می‌شوند. توزیع شاخص خشکسالی SPEI در گام زمانی ۶ ماهه در شکل (۹) نشان داده شده است.

نتایج محاسبات فراوانی و تداوم دوره‌های خشکی در ایستگاه کلیبر در جدول (۵) ارائه شده است. بر اساس نتایج موجود، تنها سال ۲۰۰۳ ترسالی متوسط بوده و بقیه سال‌ها از نظر شاخص SPEI نرمال هستند؛ هرچند که گرایش منفی در شاخص یاد شده نشانگر تمایل این سال‌ها به طرف خشکسالی است. توزیع شاخص خشکسالی SPEI در گام زمانی ۶ ماهه در شکل (۱۰) نشان داده شده است.

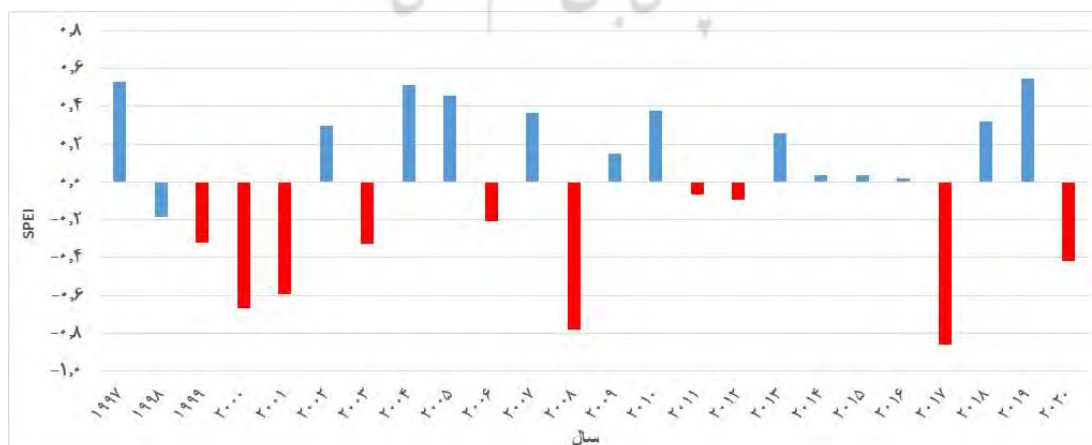


شکل ۹. نمودار شاخص SPEI در گام زمانی ۶ ماهه ایستگاه‌های هواشناسی مرند



شکل ۱۰. نمودار شاخص SPEI در گام زمانی ۶ ماهه ایستگاه‌های هواشناسی کلبر

نتایج محاسبات فراوانی و تداوم دوره‌های خشکی در ایستگاه سهند در جدول (۷) ارائه شده است. بر اساس نتایج موجود، علی‌رغم اینکه از نظر شاخص SPEI تمامی سال‌های مورد بررسی در وضعیت نرمال قرار دارند؛ با این وجود، از سال ۱۹۹۹ تا سال ۲۰۰۱ وضعیت شاخص منفی بوده و گرایش به رخداد خشکسالی دارد. این توالی در بقیه سال‌ها همچنان ادامه داشته ولی در هیچ سالی وضعیت به ترسالی یا خشکسالی متوسط تبدیل نشده است. توزیع شاخص خشکسالی SPEI در گام زمانی ۶ ماهه در شکل (۱۱) نشان داده شده است.



شکل ۱۱. نمودار شاخص SPEI در گام زمانی ۶ ماهه ایستگاه‌های هواشناسی سهند

در جدول ۵ نتایج شاخص SPEI در ایستگاه‌های هواشناسی منتخب استان ارائه شده است؛ در این جدول، علامت (+) گرایش به حالت تر سالی و (-) گرایش به وضعیت خشکسالی است. N وضعیت نرمال، MD بیانگر خشکسالی متوسط، MW عبارت است از ترسالی متوسط و SW بیانگر ترسالی شدید است.

روابط همبستگی موجود بین تعداد روزهای همراه با گرد و غبار به عنوان متغیر وابسته با شاخص خشکسالی SPEI-6 به عنوان متغیر مستقل، با استفاده از روش همبستگی پیرسون بررسی شده و نتیجه آن در جدول (۶) ارائه شده است. همان طوری که پیداست، بر اساس مقادیر P-value وجود همبستگی بین تعداد روزهای همراه با گرد و غبار یا شاخص خشکسالی SPEI-6 در سطح کل استان آذربایجان شرقی در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است؛ در این میان، همبستگی بین این دو متغیر در سطح ایستگاه‌های هواشناسی استان در سطح ۰/۰۱ و ۰/۰۵ معنی‌دار بوده، حال آن که در برخی ایستگاه‌ها از جمله: جلفا، اهر، مرند، سه‌پند و کلیبر رابطه همبستگی معنی‌دار مشاهده نگردید.

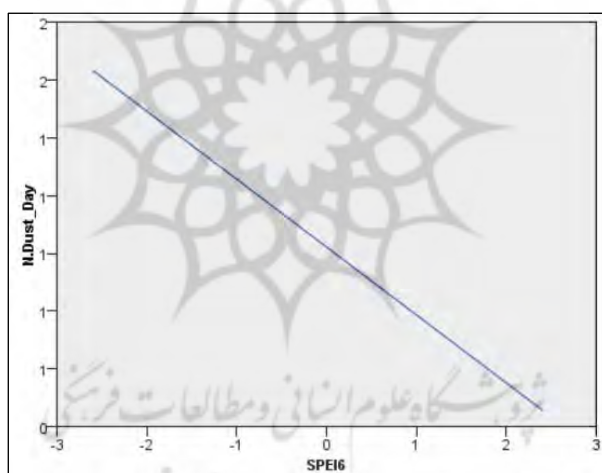
جدول ۵. نتایج شاخص SPEI در ایستگاه‌های هواشناسی منتخب استان

سال	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰
۱۳۹۱	N+	N+	N-	N+	N+	N+				
۱۳۹۲	MW	MW	MW	SW	MW	MW				
۱۳۹۳	MW	SW	MW	SW	MW	MW				
۱۳۹۴	MW	MW	MW	SW	MW	N+				
۱۳۹۵	N+	N+	N-	MW	N-	N+				
۱۳۹۶	N+	N-	MD	N+	N-	N+				
۱۳۹۷	N+	N-	N-	N+	N+	N+	N+			
۱۳۹۸	N-	N-	MD	N+	N+	N-	N-			
۱۳۹۹	N-	N-	N-	N-	MD	N-	N-			
۱۴۰۰	N-	N-	MD	N-	N-	N-	N-			
۱۴۰۱	N-	N-	MD	N-	N-	MD	N-	MD	N-	N-
۱۴۰۲	N-	N-	N+	N+	N+	N+	N+	N-	N+	N+
۱۴۰۳	N-	N+	MW	N-	N+	N+	N-	N+	N+	MW
۱۴۰۴	N-	N+	N+	N+	N-	N+	N+	N+	N+	N+
۱۴۰۵	N-	N-	N+	N+	N+	N+	N+	N-	N+	N-
۱۴۰۶	N-	N-	N-	N+	N+	N-	N-	N+	N+	N-
۱۴۰۷	N+	N+	N+	N+	N+	N+	N-	N+	N+	N+
۱۴۰۸	MD	N-	N-	MD	N-	N-	N-	N-	N-	N-
۱۴۰۹	N-	N-	N+	N-	N-	N+	N+	N+	N+	N+
۱۴۱۰	N-	N-	N+	N-	N+	N+	N+	N+	N-	N+
۱۴۱۱	N-	N+	N+	N-	N-	N+	N-	N+	N+	N+
۱۴۱۲	N-	N+	N+	N-	MW	N+	N-	N-	N-	N+
۱۴۱۳	N-	N-	N+	N-	N-	N-	N+	N+	N-	N-
۱۴۱۴	N-	N-	N-	N-	N-	N+	N+	N+	N+	N-
۱۴۱۵	N+	N+	N-	N-	N-	N-	N+	N+	N-	N+
۱۴۱۶	N+	N-	N+	N-	N-	N-	N+	MW	N-	N+
۱۴۱۷	N-	MD	N-	MD	MD	MD	N-	N-	N-	N-
۱۴۱۸	N+	N-	N+	N-	N-	N-	N+	N+	N+	N+
۱۴۱۹	N+	N-	N-	N-	N+	N+	N+	N+	N+	N-
۱۴۲۰	N+	N+	N-	N-	N+	N+	N-	N+	N+	N-

جدول ۶. همبستگی موجود بین شاخص SPEI و تعداد روزهای همراه با گرد و غبار در ایستگاه‌های هواشناسی منتخب استان

نام ایستگاه	Correlation	شاخص SPEI	نام ایستگاه	Correlation	شاخص SPEI
تبریز	Pearson Correlation	-.235**	مرند	Pearson Correlation	-0.101
	p value	0.000		p value	0.12
سراب	Pearson Correlation	-.130*	سهند	Pearson Correlation	-0.067
	p value	0.013		p value	0.259
جلفا	Pearson Correlation	-0.098	کلبر	Pearson Correlation	-0.101
	p value	0.063		p value	0.118
اهر	Pearson Correlation	-0.036	بناب	Pearson Correlation	-.193**
	p value	0.501		p value	0.003
مراغه	Pearson Correlation	-.281**	میانه	Pearson Correlation	-.110*
	p value	0.000		p value	0.038
کل استان	Pearson Correlation	-.137**			
	p value	0.000			

رابطه بین تعداد روزهای همراه با گرد و غبار و شاخص خشکسالی SPEI-6 در سطح کل استان آذربایجان شرقی در شکل (۱۲) نشان داده شده است؛ همان طوری که پیداست، رابطه بین این دو متغیر معکوس است، به عبارت دیگر، با کاهش مقدار شاخص SPEI-6، تعداد روزهای همراه با گرد و غبار افزایش می‌یابد و بالعکس.



شکل ۱۲. نمودار همبستگی بین شاخص SPEI-6 و تعداد روزهای همراه با گرد و غبار در سطح استان

۴- بحث و نتیجه‌گیری

وقوع پدیده گرد و غبار عمدتاً در قلمروهای اقلیمی خشک و نیمه خشک مشاهده می‌شود و افزایش طوفان‌های گرد و غبار نشان‌دهنده حاکمیت اکوسیستم بیابانی در هر منطقه است. این پدیده همبستگی مستقیمی با متغیرهای اقلیمی داشته و امروزه با قبول رخداد تغییر اقلیم، انتظار می‌رود فراوانی و شدت طوفان‌های گرد و غبار در کشورهای واقع در کمربند نیمه خشک افزایش یابد. پژوهش حاضر با هدف بررسی ارتباط بین فراوانی و شدت خشکسالی‌ها و تأثیر آن بر وقوع پدیده گرد و غبار در سطح استان آذربایجان شرقی انجام گرفته است؛ نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که وقوع پدیده گرد و غبار در طول ۳۰ سال اخیر در کلیه ایستگاه‌های هواشناسی استان آذربایجان شرقی روند افزایشی دارد. این افزایش روند در تعداد روزهای همراه با گرد و غبار در دیگر ایستگاه‌های کشور از طرف عراقی‌نژاد و همکاران نیز گزارش شده است (Araghinejad et al., 2020). از طرف دیگر، وجود همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ بین تعداد روزهای همراه با گرد و غبار در سطح استان آذربایجان شرقی و شاخص خشکسالی SPEI-6 مشاهده گردید؛ این رابطه حالت معکوس داشته به طوری که با کاهش مقدار شاخص خشکسالی، به تعداد روزهای همراه با گرد و غبار در

سطح استان آذربایجان شرقی افزوده می‌شود. این یافته با نتایج تحقیقات انصاری قوجقار و همکاران، حمزه‌پور و همکاران، مدرس و محیط اصفهانی و راهی و همکاران مطابقت دارد (Ansari Ghojghar et al., 2021, Hamzeh et al., 2021, Modarres and Mohit Esfahani 2021, Rahi et al., 2022). اکثر مطالعات انجام گرفته، علت عمده افزایش طوفان‌های گرد و غبار در کشور را تغییرات اقلیمی، خشک شدن تالاب‌ها و دریاچه‌ها، عدم مدیریت صحیح منابع آب و خاک و گسترش مکانی-زمانی خشکسالی‌ها و فقر پوشش گیاهی می‌دانند؛ خشک شدن دریاچه ارومیه و گسترش پلایای نمکی حاشیه شرقی آن باعث شده تا مناطق شرقی دریاچه از کانون‌های اصلی گرد و غبار محلی در این منطقه قلمداد گردد (Arhami et al., 2016)؛ این موضوع جزء نتایج تحلیل‌های مربوط با و فراوانی روزهای همراه با گرد و غبار و خشکسالی‌های ایستگاه سینوپتیک تبریز واقع در شرق دریاچه ارومیه بوده که برای اولین بار در تحقیق حاضر گزارش شده است. تداوم خشکسالی‌ها و فقر پوشش گیاهی در حاشیه دریاچه ارومیه باعث شده تا بستر خشک شده این دریاچه به عنوان یکی از کانون‌های اصلی گرد و غبار محلی تبدیل شود. نتایج تحقیق بروغنی و همکاران نیز که بر اساس تفسیر سری زمانی داده‌های دورسنجی در بازه زمانی (۲۰۱۷-۲۰۲۰) انجام گرفته، بستر دریاچه ارومیه را به عنوان کانون اصلی گرد و غبار محلی تأیید می‌کند (Boroughani et al., 2020). راوان و همکاران در تحقیقات خود، وجود عناصر سدیم (Na)، منیزیم (Mg) و کلسیم (Ca) در نمونه‌های آزمایشگاهی محدوده ۴۰ کیلومتری اولیه مناطق ساحلی دریاچه ارومیه را با منشأ یکسان و دریایی این عناصر دانسته که تحت تأثیر باد از بستر خشک دریاچه ارومیه مناطق حاشیه انتقال یافته است (Ravan et al., 2019). با این وجود، اثبات تأثیر تداوم خشکسالی‌ها و گسترش بستر خشک دریاچه ارومیه بر گرد و غبار محلی، نیازمند پایش مستمر و دقیق خصوصیات کمی و کیفی رسوبات بادی در سطح کلیه ایستگاه‌های هواشناسی موجود در این منطقه بوده و لازم است.

۵- سپاس‌گزاری

مقاله حاضر مستخرج از نتایج گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی با شماره فروست ۶۰۸۹۲ به تاریخ ۱۴۰۰/۱۰/۱۸ بوده که با حمایت مالی مؤسسه 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.

۶- منابع

- ابراهیمی خوسفی، زهره، ابراهیمی، محسن، میراکبری، مریم و سلیمانی ساردو، مجتبی. (۱۴۰۰). بررسی تأثیر خشکسالی بر رویداد گردوغبار استان کرمان با استفاده از داده‌های هواشناسی و تصاویر ماهواره‌ای. خشک بوم، ۱۱(۲)، ۱۳۳-۱۵۱. doi: 10.29252/aridbiom.2023.18595.1894
- ارحامی، محمد؛ حسین مردی، علی؛ شرف بافی، شیرین؛ کریمی، نیما؛ یونس‌زاده، سهیلا و حیدری، پریسا. (۱۳۹۵). شناسایی و اولویت‌بندی کانون‌های ایجاد گرد و غبار در بستر و حریم دریاچه ارومیه، گزارش سوم پروژه تحقیقاتی مرکز تحقیقات سنجش از دور (RSRC) دانشگاه صنعتی شریف، ص ۳۸۱
- انصاری قوجقار، محمد؛ پورغلام آمیجی، مسعود و عراقی نژاد، شهاب. (۱۳۹۹). بررسی رابطه بین خشک‌سالی و روند فراوانی طوفان‌های گردوغبار در غرب و جنوب غرب کشور، مجله تحقیقات آب و خاک ایران (مجله علوم کشاورزی سابق)، ۱۱(۵۱)، ۲۸۳۹-۲۸۵۱. 10.22059/IJSWR.2020.304439.668648
- بروغنی، مهدی؛ مرادی، حمیدرضا؛ زنگنه اسدی، محمدعلی و پورهاشمی، سیما. (۱۳۹۸). ارزیابی نقش خشکسالی در فراوانی وقوع گرد و غبار در استان خراسان رضوی، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست. ۲۱(۵)، ۱۰۹-۱۲۱. https://sanad.iau.ir/Journal/jest/Article/836678
- راوان، پریسا، احمدی بیرگانی، حسام و سروشیان، آرمین. (۱۳۹۸). پهنه‌بندی مکانی تغییرات عناصر موجود در ذرات گرد و غبار حوضه آبریز دریاچه ارومیه، فیزیک زمین و فضا، ۳(۴۵)، ۶۶۷-۶۸۶. 10.22059/JESPHYS.2019.281978.1007122
- راهی، غلامرضا؛ بحرینی، فاطمه؛ خسروشاهی، محمد و بیابانی، لیلا. (۱۴۰۱). تأثیر خشکسالی‌ها بر فراوانی وقوع پدیده گرد و غبار (مطالعه موردی: استان بوشهر)، پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۹(۱)، ۳۱-۵۱. 10.22069/JWSC.2022.19677.3511

- زهتابیان، غلامرضا، جعفری، مهدی، احمدی، حسن، مصباحزاده، طیبه و نوروزی، علی اکبر. (۱۳۹۸). تحلیل سیستم‌های سینوپتیک و بررسی روند تغییرات گرد و غبار (مطالعه موردی: اردستان). پژوهش‌های محیط زیست. ۱۰(۱۹)، ۲۸۱-۲۹۲.
https://www.iraneiap.ir/article_102355.html?lang=fa
- عراقی نژاد، شهاب؛ انصاری قوجقار، محمد؛ بذرافشن، جواد و هورفر، عبدالحسین. (۱۳۹۸). بررسی روند فراوانی روزهای همراه با طوفان‌های گرد و غبار و ارتباط آن با عناصر اقلیمی (مطالعه موردی: استان لرستان)، مجله تحقیقات آب و خاک ایران (مجله علوم کشاورزی سابق)، ۹(۵۰)، ۲۲۸۹-۲۳۰. 10.22059/IJSWR.2018.259959.667940
- غلامی، فاطمه، مصباح زاده، طیبه و زهتابیان، غلامرضا. (۱۴۰۰). بررسی خشکسالی با استفاده از شاخص SPEI و ارتباط آن با وقوع گردوغبار (مطالعه موردی: استان خوزستان). تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۸(۱)، ۱۱-۲۰. doi: 10.22092/ijrdr.2021.123847
- گوهری، زهرا؛ آرا، هاید؛ و معماریان خلیل‌آباد، هادی. (۱۳۹۸). بررسی تطبیقی شاخص‌های اقلیمی و ماهواره‌ای در روند تغییرات پهنه‌های ماسه‌ای شهرستان سرخس، پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۴(۳۶)، ۵۲-۶۹. 20.1001.1.22517812.1398.9.4.3.3
- محمدی، بختیار. (۱۳۹۰). تحلیل روند بارش سالانه ایران، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳(۴۳)، ۹۵-۱۰۶.
https://gep.ui.ac.ir/article_18508.html
- یارمرادی، زهرا؛ نصیری، بهروز؛ کرم‌پور، مصطفی و محمدی، غلامحسین. (۱۳۹۷). تحلیل روند فراوانی روزهای گرد و غباری در نیمه شرقی ایران در ارتباط با نوسانات اقلیمی، مهندسی اکوسیستم بیابان، ۷(۱۸)، ۱-۱۴. 10.22052/DEEJ.2018.7.18.1

References

- Ansari Ghojghar, M., Pourgholam-Amiji, M. and Araghinejad, S. (2021) Investigating the Relationship between Drought and Trend of the Frequency of Dust Storms in the West and Southwest of Iran Iranian Journal of Soil and Water Research 51(11), 2839-2852. 10.22059/IJSWR.2020.304439.668648 [in Persian]
- Araghinejad, S., Ansari ghojghar, M., Bazrafshan, j. and Hoorfar, A.H. (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. 10.22059/IJSWR.2018.259959.667940 [in Persian]
- Arhami, M., Mardi, A.H., sharaafbafi, 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]
- Boroghani, M., Moradi, H., Zangane Asadi, M. and Pourhashemi, S. (2019) Evaluation of the role of drought in frequency of dust in Khorasan Razavi province. Journal of Environmental Science and Technology 21(5), 109-121. <https://sanad.iau.ir/Journal/jest/Article/836678> [in Persian]
- Boroughani, M., Hashemi, H., Hosseini, S.H., Pourhashemi, S. and Berndtsson, R. (2020) Desiccating Lake Urmia: A New Dust Source of Regional Importance. IEEE GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING LETTERS 17(9), 1483-1487.
- Ebrahimi-Khusfi, Z., Ebrahimi-Khusfi, M., Mirakbari, M. and Soleimani-Sardoo, M. (2022) Investigating the impact of drought on dust events in Kerman province using meteorological and satellite data Journal of Arid Biome 11(2), 133-151. doi: 10.29252/aridbiom.2023.18595.1894 [in Persian]
- Ferguson, L., Polito, V., Kallsen, C.J.P.p.m., 4th ed. Davis, CA, USA, University of California Fruit and Center, N.R.I. (2005) The pistachio tree; botany and physiology and factors that affect yield. 31-39.
- Gholami, F., Mesbahzadeh, T. and Zehtabian, G. (2021) Drought investigation using SPEI Index and its relationship with dust (Case Study of Khuzestan Province) Iranian Journal of Range and Desert Research 28(1), 11-20. doi: 10.22092/ijrdr.2021.123847 [in Persian]
- Gohari, Z., Ara, H. and Memarian, H. (2020) Comparative Study of Climate and Satellite Indices in the Process of Sandy Zones Change in Sarakhs %J Quarterly Journal of Environmental Erosion Research. Environmental Erosion Research Journal 9(4), 52-69. 20.1001.1.22517812.1398.9.4.3.3 [in Persian]
- Goudie, A. (2014) Review Desert dust and human health disorders. Environment International 63(3), 101-113.
- Hamzeh, N.H., Kaskaoutis, D.G., Rashki, A. and Mohammadpour, K. (2021) Long-Term Variability of Dust Events in Southwestern Iran and Its Relationship with the Drought. Atmosphere 12(10).
- Hamzhepour, N., Marcolli, C., Klumpp, K., Thöny, D. and Peter, T. (2022) The Urmia Playa as source of airborne dust and ice nucleating particles – Part 2: Unraveling the relationship between soil dust composition and ice-nucleation activity. Atmos. Chem. Phys. Discuss.

- <https://acp.copernicus.org/articles/22/14931/2022/acp-22-14931-2022-discussion.html>.
- Javadian, M., Behrangi, A. and Sorooshian, A. (2019) Impact of drought on dust storms: a case study over Southwest Iran. *Environmental Research Letters* 14(12). <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab574e>
- Modarres, R. and Mohit Esfahani, P. (2021) Dust storm frequency in relation to extreme droughts in arid regions of Iran, pp. EGU21-1810. <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU21/EGU21-1810.html>.
- Mohammadi, B. (2011) Trend Analysis of annual rainfall over Iran. *Geography and Environmental Planning* 22(3), 95-106. https://gep.ui.ac.ir/article_18508.html [in Persian]
- Rahi, G., Bahreini, F., Khosroshahi, M. and Biabani, L. (2022) The Effect of Drought on Dust Storm Frequency (Case study: Bushehr Province). *Journal of Water and Soil Conservation* 29(1), 31-51. 10.22069/JWSC.2022.19677.3511 [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. 10.22059/JESPHYS.2019.281978.1007122 [in Persian]
- Teng, Y., Zhan, J., Liu, W., Sun, Y., Agyemang, F.B., Liang, L. and Li, Z. (2021) Spatiotemporal dynamics and drivers of wind erosion on the Qinghai-Tibet Plateau, China. *Ecological Indicators* 123. 10.1016/j.ecolind.2021.107340
- Yahya, B.M. and Seker, D.Z. (2018) The Impact of Dust and Sandstorms in Increasing Drought Areas in Nineveh Province, North-western Iraq. *Journal of Asian and African Studies* 54(3), 346-359. 10.1177/0021909618812913
- Yarmoradi, Z. , Nasiri, B. , Karampour, M. and Mohammadi, G. H. (2022). Trend analysis of dusty days frequency in Eastern parts of Iran associated with Climate Fluctuations. *Desert Ecosystem Engineering*, 7(18), 1-14. doi: 10.22052/deej.2018.7.18 [in Persian]
- Zehtabian, G., Jafari, M., Ahmadi, 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. https://www.iraneiap.ir/article_102355.html?lang=en [in Persian]

