

## Original Article



# Analyzing the Trend of Changes in the Dust Storm Index (DSI) and Its Relationship with the Meteorological Drought in the Arid Climate (Case Study: Semnan Province)

Received: 2024.01.13

Accepted: 2024.03.04

Ebrahim Yousefi Mobarhan,<sup>1\*</sup>  Ali Khaleghi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Semnan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Semnan, Iran

<sup>2</sup> Department of Desertification, Faculty of Desertology, Semnan University, Semnan, Iran

## EXTENDED ABSTRACT

**Introduction:** Dust is a common phenomenon in arid and semi-arid regions. One of the factors that play a role in the occurrence of this phenomenon is the change in weather conditions, which leads to drought, and the drying of lakes and rivers has caused crises such as sandstorms. This phenomenon leads to negative effects on agriculture, water and soil pollution, and respiratory diseases, as well as environmental and social challenges such as reduced visibility and road accidents. The purpose of this research is to investigate the relationship between the DSI dust index and SPI standardized precipitation drought index in Semnan Province.

**Material and Methods:** The studied area of Semnan Province is located in the southern region of the Alborz Mountain range. To investigate the effect of drought on the amount of dust, the daily data of dust, monthly rainfall, temperature, relative humidity and evapotranspiration of five synoptic stations of Semnan Province within a period of 15 years (2003-2017) were used on an annual scale. During a 15-year period, the drought storm index (DSI) was determined for the synoptic stations using the dust storm index, and then the cumulative DSI index was calculated. Afterwards, statistical and experimental evaluations were done on annual fluctuations to identify potential trends. Also, experiment and linear regression analysis were used to evaluate the correlation of standard precipitation index and dust storms, and Arc GIS software was used for zoning.

**Results and Discussion:** The results showed that the average annual temperature in the region has increased from 2003 to 2017. This rapid warming has caused drought and as a result, temperature, evaporation and transpiration have also increased and led to a decrease in rainfall. A month-by-month survey of wind speed in different stations showed that there is a possibility of dust in the province in the months of June and July when the maximum wind speed prevails. On the contrary, the months of December and January experienced the least occurrence of dust. The annual changes of DSI (2003 to 2017) showed an irregular shape and do not have a trend. Thus, in 2011, the intensity of dust was high and decreased in the following year, and the same was observed in 2016. According to the SPI index, Semnan Province was in the normal drought category with a score of 0.59. The in-depth analysis of the correlation chart between the standardized rainfall indices and DSI showed that the DSI has increased along with the severity of drought during the study period and there is a good correlation between the DSI index and the meteorological drought in the region, so that when there was a drought period, the value of DSI decreased and when it was a drought period, the value of the dust index increased. However, there is no significant relationship between these two indicators ( $p = 0.07$  and  $R^2 = 0.22$ ) during the 15-year research period.

**Conclusion:** Our findings indicated an increase in dust from the west to the east of the province due to the increase in average dust storm days. Correlation results between SPI and DSI index showed that although DSI index increased during the analyzed period along with the severity of drought, the correlation between the two was not significant. However, the DSI index trend pattern was consistent with the drought pattern trend. Finally, the correlation between drought and DSI has always fluctuated according to droughts.

**Keywords:** Standard Precipitation Index, Normal drought, Linear regression, Climate change

**How to cite this article:** Yousefi Mobarhan, E. and Khaleghi, A., 2024. Analyzing the Trend of Changes in the Dust Index (DSI) and Its Relationship with the Meteorological Drought in the Arid Climate (Case Study: Semnan Province). *Environ. Sci.* 22(2): 289-304

\* Corresponding Author Email Address: e.yusefi@areeo.ac.ir

DOI: 10.48308/envs.2024.1369



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

# بررسی روند تغییرات شاخص گردوغبار (DSI) و ارتباط آن با وضعیت خشکسالی هواشناسی در اقلیم خشک کشور (مطالعه موردی: استان سمنان)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۴

ابراهیم یوسفی مبرهن<sup>۱\*</sup>، علی خالقی<sup>۲</sup>

## چکیده مبسوط

**سابقه و هدف:** گرد و غبار پدیده‌ای رایج در مناطق خشک و نیمه خشک است. از عواملی که در بروز این پدیده نقش دارد، تغییر شرایط آب و هوایی است که منجر به خشکسالی می‌شود و خشک شدن دریاچه‌ها و رودخانه‌ها باعث ایجاد بحران‌هایی مانند طوفان‌های ماسه‌ای شده است. این پدیده منجر به اثرات منفی بر کشاورزی، آلودگی آب و خاک، بیماری‌های تنفسی و همچنین چالش‌های زیست محیطی و اجتماعی مانند کاهش دید و تصادفات جاده‌ای نیز می‌گردد. از آنجایی که خشکسالی‌های متعدد تأثیر بسزایی در پیدایش و تشدید گردوغبار داشته است، از این رو مطالعات مربوط به آن مهم محسوب شده است. هدف این پژوهش بررسی رابطه بین شاخص گردوغبار DSI با شاخص خشکسالی بارندگی استاندارد شده SPI در استان سمنان است.

<sup>۱</sup> بخش حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سمنان، ایران

<sup>۲</sup> گروه آموزشی بیابان‌زایی، دانشکده کویر شناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

**مواد و روش‌ها:** استان سمنان در منطقه جنوبی رشته کوه‌های البرز قرار دارد. برای بررسی تأثیر خشکسالی بر میزان گردوغبار از داده‌های روزانه گردوغبار، بارندگی ماهانه، دما، رطوبت نسبی و تبخیر و تعرق پنج ایستگاه سینوپتیک استان سمنان با طول دوره آماری ۱۵ ساله (۲۰۱۷-۲۰۳۰) در مقیاس سالانه استفاده شد. در طی یک دوره ۱۵ ساله، شاخص شدت خشکسالی (DSI) برای ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در استان سمنان با استفاده از شاخص طوفان گرد و غبار تعیین گردیده و سپس شاخص تجمعی DSI برای استان سمنان محاسبه شده است. پس از آن، ارزیابی‌های آماری و تجربی بر روی نوسانات سالانه برای شناسایی روندهای بالقوه انجام شده است. در نهایت، داده‌ها بر اساس نتایج بدست آمده، دسته‌بندی شده‌اند. همچنین از تجزیه و تحلیل رگرسیون خطی برای ارزیابی همبستگی شاخص بارش استاندارد و طوفان‌های گرد و غبار استفاده شد در ادامه جهت پهنه‌بندی از نرم افزار ArcGIS استفاده گردیده است.

**نتایج و بحث:** نتایج نشان داد که میانگین دمای سالانه در منطقه طی یک دوره ۱۵ ساله از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ افزایش یافته است. این گرم شدن سریع باعث خشکسالی شده و در نتیجه افزایش دما، تبخیر و تعرق نیز افزایش یافته و منجر به کاهش بارندگی گردیده است. بررسی ماه به ماه سرعت باد در ایستگاه‌های مختلف نشان داد که احتمال وقوع گرد و غبار در استان در ماه‌های ژوئن و جولای که حداکثر سرعت باد غالب است وجود دارد. برعکس، ماه‌های دسامبر و ژانویه کم‌ترین وقوع گرد و غبار را تجربه می‌کنند. تغییرات سالیانه‌ی DSI (۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷) شکل نامنظمی از خود نشان داده و دارای روند نیست بطوریکه در سال ۲۰۱۱ شدت گرد و غبار بالا بوده و در سال بعد کاهش داشته و مشابه آن در ۲۰۱۶ مشاهده گردید. بر اساس شاخص بارندگی استاندارد شده SPI، استان سمنان با امتیاز ۰/۵۹ در رده خشکسالی نرمال قرار دارد. تجزیه و تحلیل عمیق نمودار همبستگی بین شاخص‌های بارندگی استاندارد شده و DSI نشان می‌دهد که DSI همزمان با شدت خشکسالی در طول دوره مطالعه افزایش یافته است و هم‌خوانی به نسبت مناسبی بین شاخص DSI و خشکسالی هواشناسی در منطقه وجود دارد بطوریکه هرگاه دوره ترسالی بوده، مقدار DSI به دنبال آن کاسته شده و هرگاه دوره خشکسالی بوده، مقدار شاخص گرد و غبار افزایش یافته است. با این حال، ارتباط معنی‌داری بین این دو شاخص ( $R^2 = 0.22$  و  $P\text{-Value} = 0.07$ ) در طول مدت ۱۵ سال تحقیق وجود ندارد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج همبستگی بین شاخص خشکسالی و شاخص DSI در استان سمنان نشان داد که اگرچه شاخص DSI در طول دوره مورد تجزیه و تحلیل همراه با شدت خشکسالی افزایش یافته است، اما همبستگی بین این دو معنی دار نبوده است. با این حال، الگوی روند شاخص DSI با روند الگوی خشکسالی هم‌خوانی داشت. در نهایت میزان ارتباط خشکسالی و شاخص DSI همواره با توجه به خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها، نوسان داشته است.

**واژه‌های کلیدی:** شاخص بارش استاندارد، خشکسالی نرمال، رگرسیون خطی، تغییرات اقلیمی

*استناد به این مقاله: یوسفی مبرهن، ا. و ع. خالقی. ۱۴۰۳. بررسی روند تغییرات شاخص گردوغبار (DSI) و ارتباط آن با وضعیت خشکسالی هواشناسی در اقلیم خشک کشور (مطالعه موردی: استان سمنان). فصلنامه علوم محیطی. ۳۰۴-۲۸۹ (۲): ۲۲*

\* Corresponding Author Email Address: e.yusefi@areeo.ac.ir

DOI: 10.48308/envs.2024.1369



(Philip *et al.*, 2018). در دهه‌های اخیر، خشکسالی تأثیر شدیدی بر محیط زیست و اقتصادهای سراسر جهان داشته است (Mishra and Singh, 2010; Jiang *et al.*, 2020). بویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، خشکسالی جدی حتی تهدیدی طولانی‌مدت برای معیشت انسان ایجاد می‌کند (Liebmann *et al.*, 2014; Shen *et al.*, 2019; Yousefi Mobarhan and Karimi Sangchini, 2021). با این حال، رویدادهای خشکسالی بطور قابل توجهی در قرن ۲۱ افزایش می‌یابد (Sheffield and Wood, 2008; Shujun, 2012; Cook *et al.*, 2014). با توجه به ویژگی‌های آن، معمولاً خشکسالی به انواع زیر تقسیم می‌شود: هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی و اجتماعی - اقتصادی (Mishra and Singh, 2010; Tran *et al.*, 2019; Danandeh Mehr and Vaheddoost, 2020). در این میان خشکسالی هواشناسی یک رویداد شدید اقلیمی است که شهودی‌ترین علت آن کاهش بارندگی است و سه نوع خشکسالی دیگر جنبه انسانی و اجتماعی بیشتری دارند. می‌توان گفت که خشکسالی هواشناسی منجر به سه نوع خشکسالی دیگر می‌شود (Wang *et al.*, 2019; Zhang and Jia, 2013). به دلیل پیچیدگی و شدت خشکسالی، شناسایی و ارزیابی خصوصیات خشکسالی بسیار چالش برانگیز است (Wang *et al.*, 2018; Tirivarombo *et al.*, 2020). بنابراین، در دهه‌های اخیر، تعداد زیادی شاخص خشکسالی برای ارزیابی و پایش رویدادهای خشکسالی ایجاد شده است (Vicente-Serrano *et al.*, 2012; Wable *et al.*, 2019). این‌ها شامل شاخص بارش استاندارد (SPI) (McKee *et al.*, 1993)، شاخص خشکسالی پالمر (PDSI) (Palmer, 1965)، شاخص استاندارد شده تبخیر و تعرق بارندگی (SPEI) (Vicente-Serrano *et al.*, 2010) و شاخص خشکسالی هواشناسی ترکیبی (CI) (Guo *et al.*, 2017) می‌باشد. افزایش فعالیت طوفان‌های گرد و غبار در نیمه

امروزه طوفان‌های گردوغبار به یکی از مخاطرات طبیعی در دنیا بخصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک تبدیل شده‌اند (Middelton, 2017). این پدیده در مناطقی مشهود است که خشکسالی‌های ممتد، بارش اندک و کاهش رطوبت، خاک سست و حساس به فرسایش، پوشش گیاهی اندک و وزش بادهای شدید را تجربه می‌کنند (Goudie, 2018). از آنجاییکه ایران بر روی کمربند بیابان‌زایی و فرسایش بادی قرار گرفته و بیش از ۳۰ درصد مساحت آن را مناطق خشک و نیمه‌خشک تشکیل داده است مستعد برای وقوع این پدیده می‌باشد (Yousefi Mobarhan and Zandifar, 2023). خشکسالی یک خطر طبیعی است که اثرات معنی داری بر نظم فعالیت‌های انسانی، کاهش تولید محصولات زراعی و کمبود آب دارد. خشکسالی با شدت بارندگی، میزان وقوع بارش و مقیاس زمانی بین دو فصل مرطوب مرتبط است (Bong and Richard, 2020). خشکسالی‌های چندساله اخیر سبب شده است مناطق وسیعی از ایران درگیر طوفان‌های گردوغبار گردند. این طوفان‌ها در شرق و غرب از شدت و فراوانی بالایی نسبت به سایر مناطق ایران برخوردارند بطوریکه جنوب شرق کشور بعنوان یکی از منابع اصلی گرد و غبار در جهان شناخته شده است (Miri *et al.*, 2009; Rashki *et al.*, 2013a; Rashki *et al.*, 2013b; Fiedler *et al.*, 2014; Arami *et al.*, 2018; Miri, 2020). شاخص‌های خشکسالی مانند SPI را می‌توان برای ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر خشکسالی کوتاه‌مدت و میان‌مدت در یک منطقه استفاده کرد (Lee *et al.*, 2017). این غیرقابل انکار است که آب و هوای جهانی در حال گرم شدن است و رویدادهای شدید آب و هوایی همراه (از جمله دمای بالا، طوفان باران و خشکسالی) بطور فزاینده‌ای تکرار می‌شوند (Cook *et al.*, 2016; Fang *et al.*, 2014). خشکسالی برای مدت طولانی ادامه دارد و جدی‌ترین فاجعه هواشناسی است

DSI در طول دوره اول داشت ( $P < 0.05$ ;  $b \frac{1}{4} p 0.38$ ). برای دوره دوم، کاهش بارندگی و افزایش سرعت باد بعنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تغییرات DSI شناسایی شدند. (Vali and Roustaei (2018) با استفاده از شاخص DSI به بررسی روند فرسایش بادی در ایران مرکزی در بازه زمانی ۲۰۱۴-۱۹۶۵ پرداختند بنابراین بررسی و شناخت این عوامل از جنبه تاثیر آن‌ها بر بروز و تشدید پدیده گرد و غبار برای جلوگیری از تشدید بحران‌های زیست محیطی در آینده یک ضرورت انکار ناپذیر است. بر اساس مطالعه دیگر مشاهده شد که همبستگی زیادی بین شاخص اقلیمی SPI و فراوانی روزهای همراه با طوفان‌های گردوغبار در ایستگاه‌های سینوپتیک غرب و جنوب غرب وجود دارد به نحوی که بیشترین همبستگی در ایستگاه‌های دزفول، بستان و مسجدسلیمان وجود داشت، اگرچه ناهماهنگی‌های زمانی بین SPI و SPEI، به‌ویژه در بازه‌های زمانی ۶ و ۱۲ ماهه وجود دارد. با در نظر گرفتن SPEI، نتایج حاکی از یک روند نزولی جزئی در رویدادهای خشکسالی مشاهده شده بود. با این حال، SPI با الگوی مشابه مطابقت ندارد (Ansari et al., 2020). با توجه به تحقیقاتی که در این زمینه انجام شده است می‌توان گفت که پهنه‌بندی طوفان گرد و غبار در استان سمنان با استفاده از واکاوی پارامترهای اقلیمی و هواشناسی انجام نشده و از آنجاییکه پدیده گرد و غبار بعنوان یکی از فرآیندهای مهم تخریب سرزمین و یک چالش جدی در ایران و مخصوصاً استان سمنان به شمار می‌رود و عوامل اقلیمی نیز در این پدیده نقش بسزایی دارند بدین منظور، در این تحقیق تلاش می‌شود با استفاده از داده‌های اقلیمی از پنج ایستگاه سینوپتیک استان سمنان در جهت ارزیابی و پهنه‌بندی مکانی پدیده گرد و غبار استان مورد بررسی قرار گیرد. بنابراین هدف از این پژوهش واکاوی روند تغییرات شاخص گردوغبار (DSI) و ارتباط آن با وضعیت خشکسالی هواشناسی (SPI) در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ در استان سمنان است.

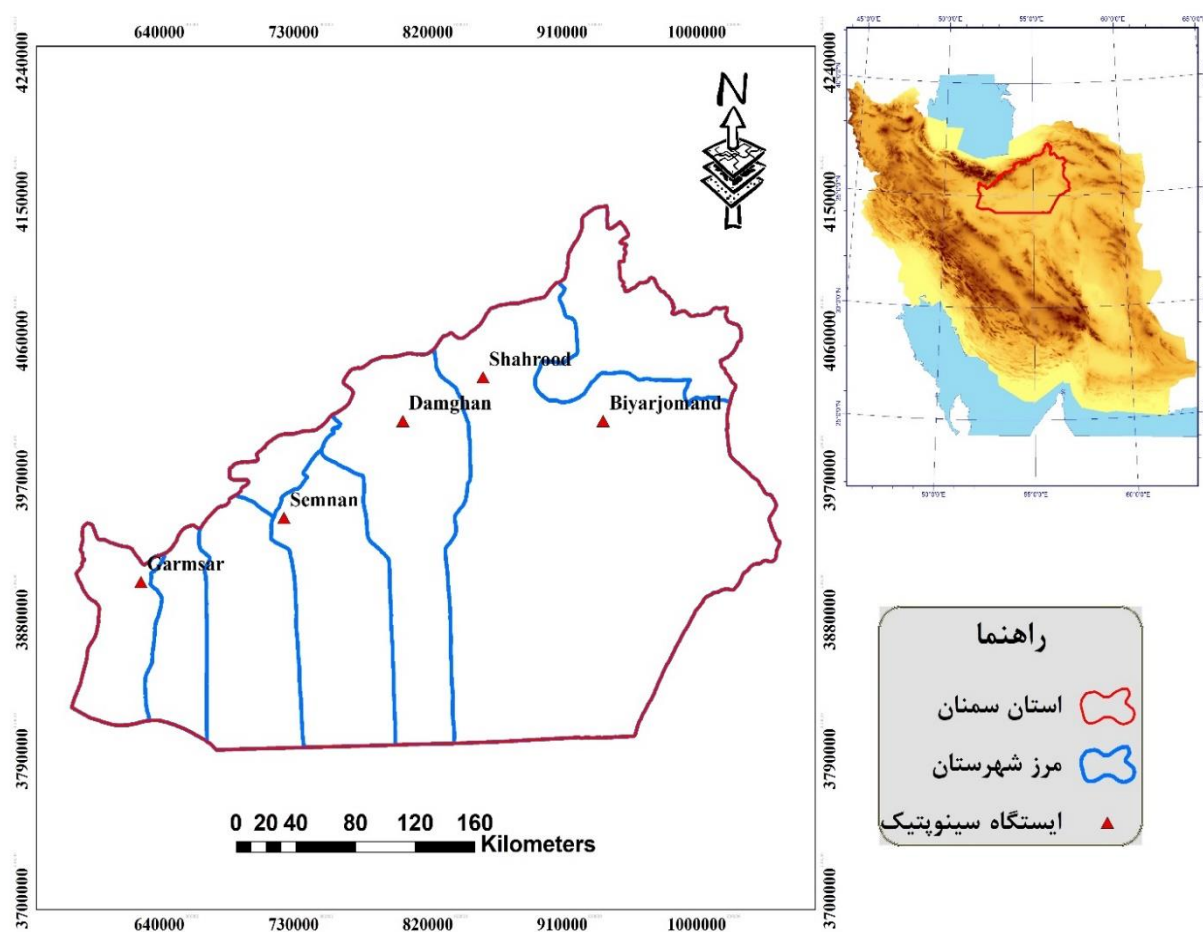
غربی ایران ناشی از تغییرات دمای هوا بین دریای مدیترانه و صحرای سوریه بود (Amanollahi et al., 2015). افزایش سرعت باد سطحی، کاهش بارندگی و خشک شدن دریاچه‌ها و تالاب‌های موقتی بعنوان عوامل اصلی فرسایش خاک در ایران مرکزی شناخته شده است (Rashki et al., 2013a; Vali et al., 2016; Khusfi et al., 2017). DSI مناسب‌ترین شاخص برای پایش فرسایش بادی در بلندمدت با تفکیک زمانی متوسط و تفکیک مکانی منطقه‌ای بر اساس مشاهدات هواشناسی است. این شاخص بیشتر شدت فرسایش بادی و طوفان‌های گرد و غبار را در مناطق مختلف جغرافیایی نشان می‌دهد (O'Loingsigh et al., 2015). در مطالعه (Khusfi (2020) همبستگی قوی بین سرعت باد تابستانی و بارش زمستانی و شاخص طوفان گرد و غبار (DSI) و یک رابطه ضعیف بین دما و شاخص پوشش گیاهی تقویت شده (EVI) در سایر فصول در مناطق نیمه خشک مرکز ایران گزارش شده است. چندین روش علمی ثابت برای شناسایی و پیش‌بینی وقوع خشکسالی وجود دارد، مانند شاخص بارش استاندارد شده (SPI)، شاخص شدت پالمر، شاخص رطوبت محصول و شاخص خشکسالی احیا، که معمولاً برای تعیین شاخص‌های خشکسالی استفاده می‌شوند. این مقادیر شاخص خشکسالی شامل هزاران داده می‌شود. برخی از شاخص‌ها برای مصارف خاص مناسب‌تر از سایر شاخص‌ها هستند، لازم به ذکر است که هیچ یک از شاخص‌های اصلی، برتری نسبت به بقیه شاخص‌ها ندارند. هر کدام از شاخص‌ها بسته به نیازی که ایجاد می‌شود به روشی متفاوت عمل می‌کند (Othman et al., 2016). در مطالعه (Khusfi et al., 2020) با استفاده از روش رگرسیون پشته با هدف بررسی رابطه بین این پارامترها و شاخص طوفان گرد و غبار (DSI) در مناطق خشک ایران مرکزی طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ انجام شد. تجزیه و تحلیل RR نشان داد که فقط تغییرات دمای هوا تأثیر مثبت معنی‌داری بر تغییرات

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

استان سمنان در مساحت تقریبی ۹۸۰۰۰ کیلومتر مربع و بین ۵۸ درجه و ۵۱ درجه تا ۵۸ درجه و ۵۷ درجه طول شرقی و ۱۷ درجه و ۳۴ درجه تا ۳۷ درجه عرض شمالی قرار دارد. در دامنه جنوبی رشته کوه البرز واقع شده و بیش از نیمی از سطح استان را با دشت‌های کویری پوشانده است. هر چه از شمال به جنوب پیش می‌رویم ارتفاع استان با

اختلاف ارتفاعی بیش از ۳۰۰۰ متر به تدریج کاهش می‌یابد. ارتفاع متوسط این استان از سطح دریا ۱۰۶۷ متر است و به سه منطقه کوهستانی، کوهپایه‌ای و دشت تقسیم می‌شود. حداقل و حداکثر دما در استان به ترتیب ۱۲/۸ درجه و ۲۳/۷ درجه سانتیگراد اندازه گیری شده است در حالیکه میانگین بارندگی سالیانه در حدود ۱۳۶ میلی متر است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های سینوپتیک استان را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه نسبت به کشور

Fig. 1- Geographical location of the studied area in relation to the country

## داده‌های اقلیمی

برای ارزیابی متغیرهای اقلیمی و جابجایی تپه‌های ماسه‌ای در منطقه، داده‌های سینوپتیک ایستگاه‌های بیارجمند، دامغان، گرمسار، سمنان و شاهرود واقع در منطقه مورد مطالعه بر اساس در دسترس بودن داده‌ها و ارتباط آن‌ها با

اهداف مطالعه در طول دوره ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ براساس پارامترهای بارش، دما، سرعت سالانه باد، تبخیر و تعرق و همچنین پتانسیل از سازمان هواشناسی سمنان تهیه گردید. جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های انتخابی را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک استان سمنان  
Table 1. Specifications of synoptic stations of Semnan Province

ردیف Row	نام ایستگاه Station name	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	ارتفاع از سطح دریا (متر) Height above sea level (meters)	متوسط بارندگی (میلیمتر) Average rainfall (mm)
1	بیارجمند Biyarjmand	55/81	36/09	1099	122
2	دامغان Damghan	54/32	36/15	1155	107
3	سمنان Semnan	53/42	35/59	1127	136
4	شاهرود Shahrood	54/93	36/38	1325	164
5	گرمسار Garmsar	52/36	35/24	899	184

### تعیین شاخص طوفان گرد و غبار (DSI)

در طی یک دوره ۱۵ ساله، شاخص شدت خشکسالی (DSI) برای ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در استان سمنان با استفاده از رابطه ۱ تعیین شد (O'Loingsigh *et al.*, 2014) و سپس شاخص تجمعی DSI برای استان سمنان محاسبه شد. پس از آن، ارزیابی‌های آماری و تجربی بر روی نوسانات سالانه برای شناسایی روندهای بالقوه انجام شد. در نهایت، داده‌ها بر اساس نتایج بدست آمده، دسته‌بندی شدند.

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

SDS = روزهای طوفانی همراه با گرد و غبار شدید، کل مشاهدات کدهای گرد و غبار، حداکثر کد روزانه ۳۳-۳۵  
MDS = روزهای طوفانی یا گرد و غبار متوسط، مجموع مشاهدات کدهای گرد و غبار، حداکثر کد روزانه ۳۰، ۳۲ و ۹۸  
LDE = روزهای طوفان یا گرد و غبار محلی، مجموع مشاهدات کدهای گرد و غبار، حداکثر کد روزانه ۰۷ و ۰۹  
شاخص شدت طوفان‌های گرد و غبار (DSI) که در n ایستگاه در یک بازه زمانی مشخص ثبت و گزارش شده است محاسبه می‌شود. رویکرد تحلیل روند برای بررسی تأثیر خشکسالی بر ریزگردها مورد استفاده قرار می‌گیرد. یک مدل رگرسیون خطی با استفاده از روش حداقل مربعات برای ارزیابی روند این دو متغیر اعمال می‌شود و سری‌های زمانی اقلیمی مربوطه از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ در تجزیه و تحلیل استفاده

می‌شوند (Yousefi Mobarhan *et al.*, 2023).

### تعیین شاخص بارش استاندارد (SPI)

برای اندازه‌گیری کمی پدیده خشکسالی از شاخص‌های خشکسالی استفاده می‌شود. یکی از این شاخص‌ها، شاخص بارش استاندارد (SPI) است که برای اندازه‌گیری میزان کم-باری در بازه‌های زمانی از یک تا ۴۸ ماه طراحی شده است (Mc Kee *et al.*, 1993). شاخص بارش استاندارد (SPI) فقط بارندگی را محاسبه می‌کند و دو فرض را فرض می‌کند: اول اینکه تغییرپذیری بارش بسیار بیشتر از متغیرهای دیگر مانند تبخیر و تعرق بالقوه و دما است. ثانیاً، متغیرهای دیگر دارای روندهای زمانی بی‌اهمیت هستند. این شاخص یکی از پرکاربردترین شاخص‌هایی است که در پایش خشکسالی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شاخص بعنوان یک شاخص نظارت بر خشکسالی طبقه بندی می‌شود و تنها شاخصی است که مقیاس زمانی را شامل می‌شود. SPI بر اساس میانگین مقادیر بلند مدت در منطقه خاص مورد نظر محاسبه می‌شود. از این رو، مقدار صفر شرایطی نزدیک به میانگین منطقه‌ای را نشان می‌دهد. در نتیجه، در حالی که بارش برای تعیین شاخص بارش استاندارد (SPI) استفاده می‌شود، فقط در یک دوره سه ماهه در مقیاس زمانی انتخاب شده محاسبه می‌شود. معادله ۲ برای محاسبه شاخص SPI استفاده می‌شود که سپس بر اساس دو مقدار نشان داده شده در یک جدول طبقه بندی می‌شود، برای تعیین میزان

$$SPI = \frac{X_{ik} - \bar{X}_i}{\delta i} \quad (2)$$

که در آن SPI: شاخص بارش استاندارد  
 $\delta i$ : انحراف معیار داده‌های i ایستگاه  
 $\bar{X}_i$ : متوسط بارندگی ایستگاه‌ها (mm)  
 $X_{ik}$ : مقادیر بارندگی برای i ایستگاه و k مشاهده (mm)

شاخص استاندارد بارندگی از دوره زمانی سه ماهه استفاده گردید، در ادامه جهت تعیین ارتباط بین دو شاخص ذکر شده از روش رگرسیون خطی استفاده گردید، رگرسیون خطی ساده نوعی تحلیل رگرسیون است که در آن تعداد متغیرهای مستقل یک است و بین متغیر مستقل (x) وابسته (y) رابطه خطی وجود دارد.

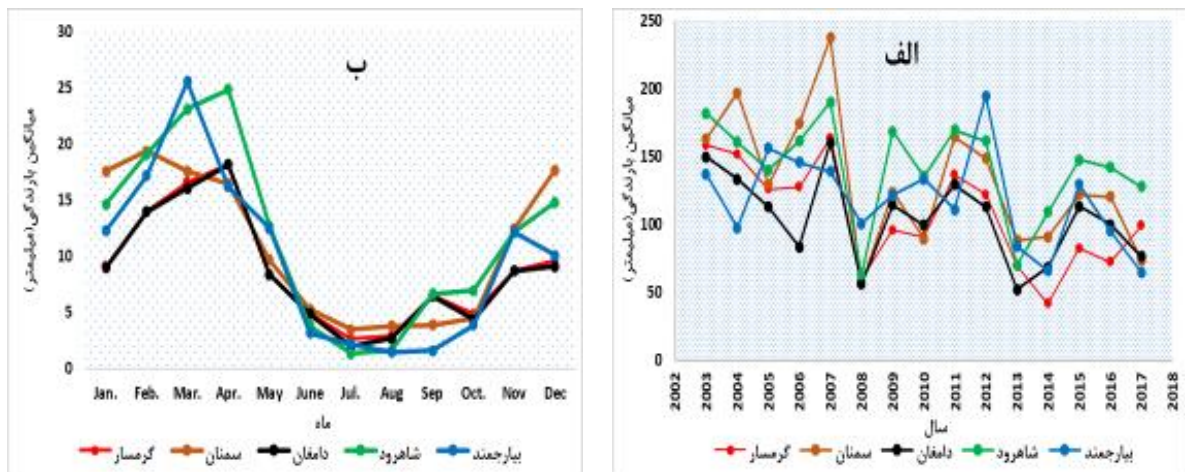
جدول ۲- طبقه بندی شاخص SPI  
 Table 2. Classification of the SPI index

SPI	شدت خشکسالی Severity of drought
<2	ترسالی حاد Very severe wet
1.5 تا 1.99	ترسالی شدید Intense wetness
1 تا 1.49	ترسالی متوسط Medium wetting
0 تا 0.99	نرمال Normal
0 تا -0.99	خشکسالی متوسط Moderate drought
-1 تا -1.49	خشکسالی شدید Severe drought
-1.5 تا -1.9	خشکسالی حاد Very severe drought

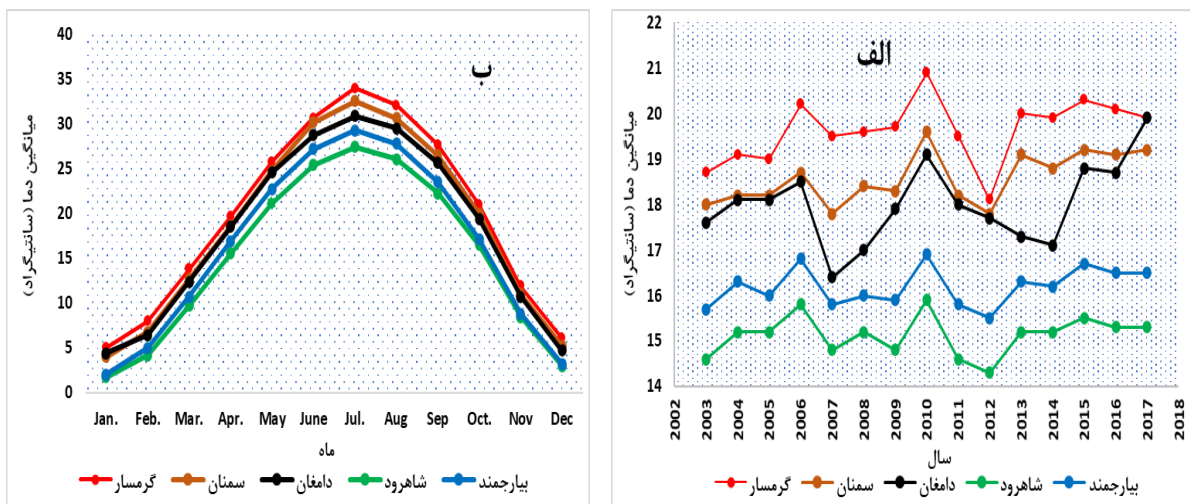
سمنان ماه‌های خرداد و تیرماه بیشترین سرعت باد سطحی را در بین اکثر ایستگاه‌های سینوپتیک به صورت ماهانه داشتند. بطور خاص، همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است، در ماه ژوئن سرعت باد ۴/۳ متر بر ثانیه و در تیرماه ۲/۴ متر بر ثانیه بود. که در ماه جولای، زمانی که دما در اوج خود بود، میزان تبخیر و تعرق بالقوه در مقایسه با ماه‌های دیگر بالاترین میزان بود. طبق نظر علیجانی (۱۴۰۰) همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است، وجود یا عدم وجود رطوبت یک عامل اساسی در ایجاد گرد و غبار در کنار هوای ناپایدار است. (Saavedra et al. (2012) ، یک بررسی همبستگی بین میانگین ماهانه دما و رطوبت نسبی با شاخص گرد و غبار انجام داد. نتایج آن‌ها نشان داد که یک رابطه مستقیم بین میانگین دمای ماهانه و شاخص گرد و غبار وجود دارد، اما رابطه معکوس بین میانگین رطوبت نسبی ماهانه و شاخص گرد و غبار وجود دارد.

## نتایج و بحث

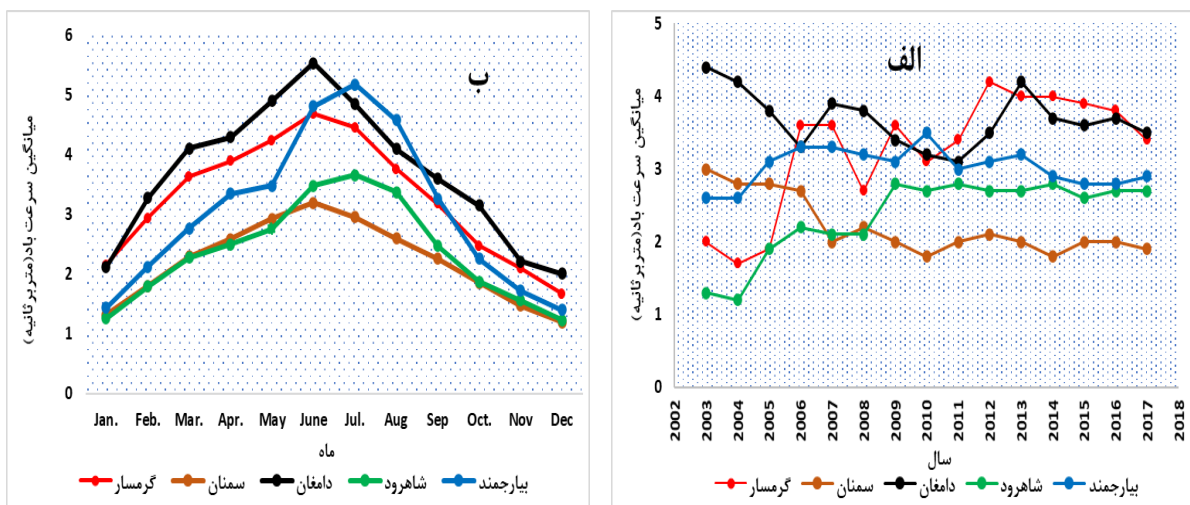
برای جمع‌آوری داده‌های جامع وضعیت روزهای گرد و غبار و تحرک ماسه در محل تحقیق، از داده‌های آماری یک دوره ۱۵ ساله (۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷) استفاده شد. نمودارهای ۳، ۴، ۵ و ۶ روندهای بلندمدت بارش، دما، سرعت سالانه باد، تبخیر و تعرق و همچنین پتانسیل سالانه و ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک در استان سمنان را نشان می‌دهد. استان سمنان بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ بیشترین میزان بارندگی سالانه را در سال ۲۰۰۷ تجربه کرده است و بیشترین بارندگی ماهانه در مارس و آوریل رخ داده است. این اطلاعات در شکل ۳ نشان داده شده است. بعلاوه، شکل ۴ نشان می‌دهد که میانگین، حداکثر و حداقل دما در ماه‌های جولای و آگوست بالاترین و در ژانویه کمترین دما بوده است. همچنین رویدادهایی که بیشترین و کمترین مقدار را داشتند به ترتیب در تابستان و زمستان به صورت فصلی رخ دادند. در استان



شکل ۲- نمودار تغییرات بلندمدت بارش سالانه (الف) و ماهانه (ب) ایستگاه‌های سینوپتیک استان سمنان  
 Fig. 2- Chart of long-term changes of annual (a) and monthly (b) precipitation of synoptic stations of Semnan Province

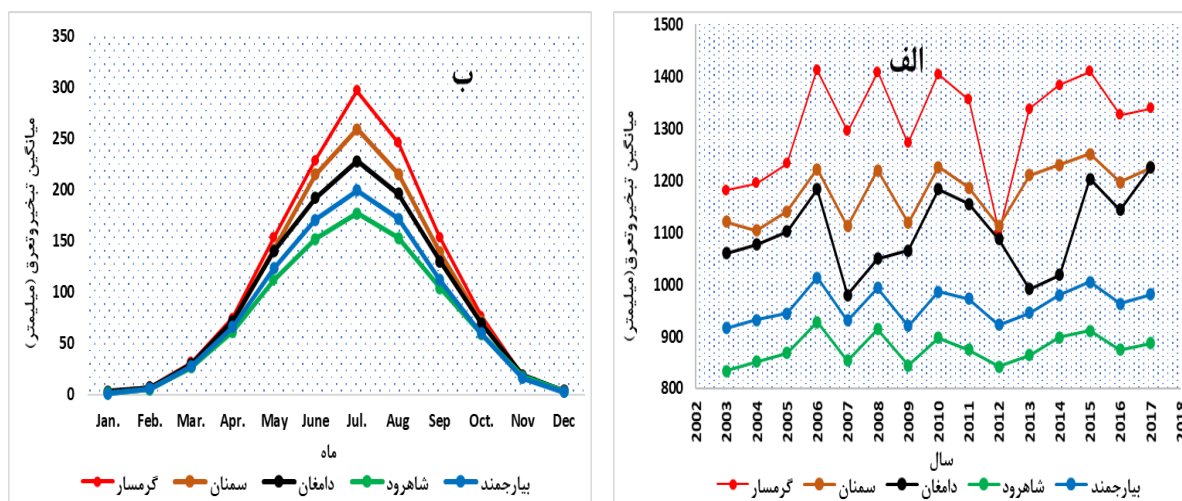


شکل ۳- نمودار تغییرات بلندمدت دما سالانه (الف) و ماهانه (ب) ایستگاه‌های سینوپتیک استان سمنان  
 Fig. 3- Chart of long-term changes in annual (a) and monthly (b) temperature of synoptic stations of Semnan Province



شکل ۴- نمودار تغییرات بلندمدت سرعت باد غالب سالانه (الف) و ماهانه (ب) ایستگاه‌های سینوپتیک استان سمنان  
 Fig. 4- Chart of long-term changes in annual (a) and monthly (b) prevailing wind speed of synoptic stations in Semnan Province





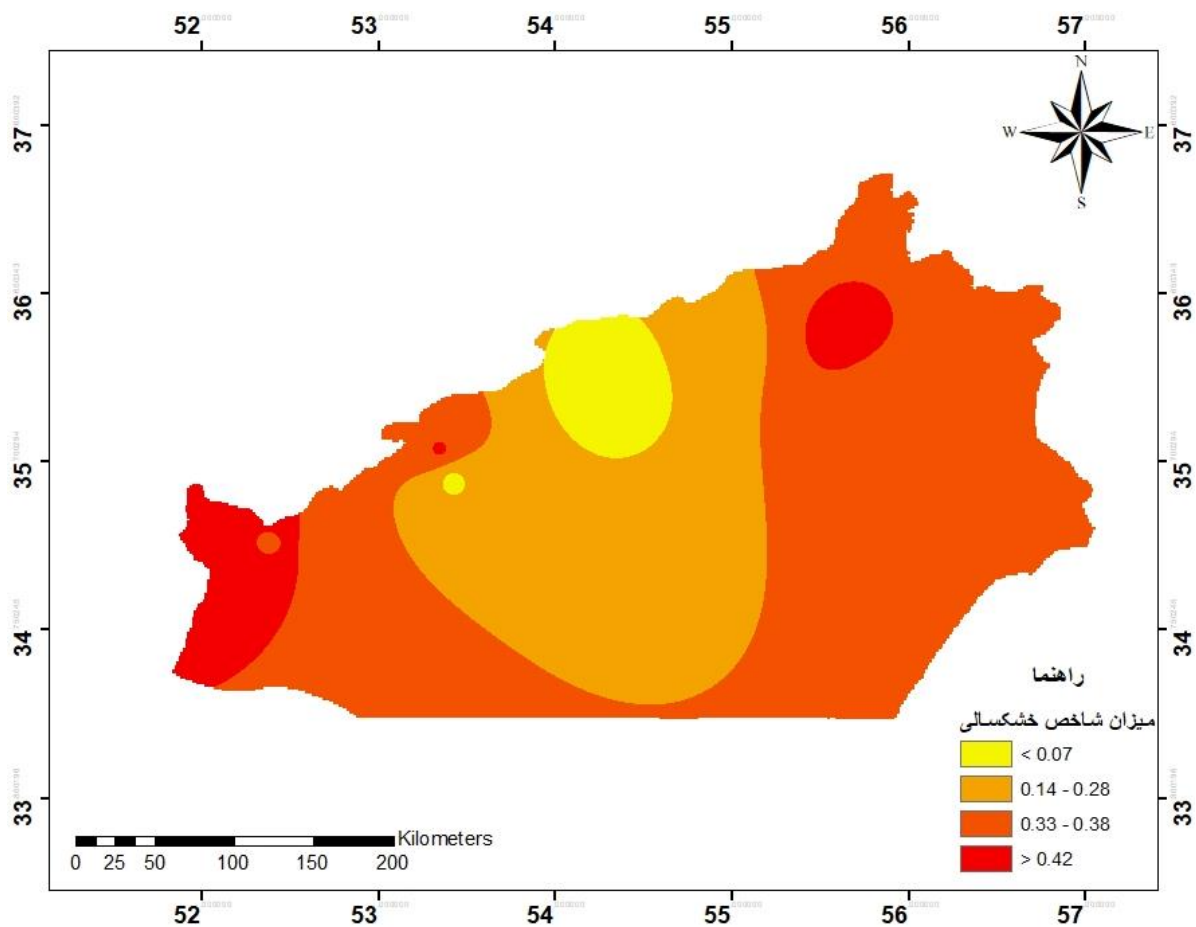
شکل ۵- نمودار تغییرات بلندمدت تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه (الف) و ماهانه (ب) ایستگاه‌های سینوپتیک استان سمنان  
 Fig. 5- Chart of long-term changes of annual (a) and monthly (b) evapotranspiration potential of synoptic stations of Semnan Province

بیارجمند با مقدار شاخص ۱/۱۵ بر اساس شاخص استاندارد بارندگی در جدول شماره ۳ دارای بارندگی متوسط طبقه بندی شدند، اما بین شاخص DSI و استاندارد بارندگی (SPI) همبستگی نامطلوبی وجود دارد. با ضریب همبستگی ۰/۴۶ یافته‌ها نشان داد که خشکسالی هواشناسی بر طوفان‌های گرد و غبار تأثیری ندارد، همانطور که در نتایج مصطفی زاده و ذبیحی (۱۳۹۵) نشان داده شد که شاخص استاندارد شده بارندگی با گرد و غبار هم راستا می‌باشند، همچنین نتایج بروغنی و همکاران (۱۳۹۹) نشان داد که بیشترین وقوع گرد و غبار در دوره‌های خشکسالی است.

**وضعیت شاخص استاندارد شده بارندگی (SPI)**  
 با استفاده از شاخص استاندارد شده بارندگی (SPI)، استان سمنان در رده خشکسالی نرمال دارای رتبه ۰/۵۹ طبقه بندی شده است. شکل ۷ نقشه پراکنش خشکسالی استان را بر اساس تغییرات SPI و اطلاعات به دست آمده را نشان می‌دهد، یافته‌های تحقیق حاکی از آن است که ایستگاه دامغان با شاخص  $SPI = -0.15$  در رده خشکسالی متوسط قرار می‌گیرد. از سوی دیگر، ایستگاه‌های گرمسار، سمنان و شاهرود به ترتیب دارای شاخص‌های SPI، ۰/۷۷، ۰/۹۱ و ۰/۲۶ هستند که در رده خشکسالی نرمال قرار می‌گیرند. کلاس نرمال و ایستگاه

جدول ۳- طبقه بندی خشکسالی براساس ایستگاه‌های استان سمنان  
 Table 3. Classification of drought based on stations in Semnan province

طبقه خشکسالی Drought class	SPI	نام ایستگاه Station name	ردیف Row
ترسالی متوسط Medium wetting	1.15	بیارجمند Biyarjomand	1
خشکسالی متوسط Medium drought	-0.15	دامغان Damghan	2
نرمال Normal	0.77	گرمسار Garmsar	3
نرمال Normal	0.91	سمنان Semnan	4
نرمال Normal	0.26	شاهرود Shahrood	5

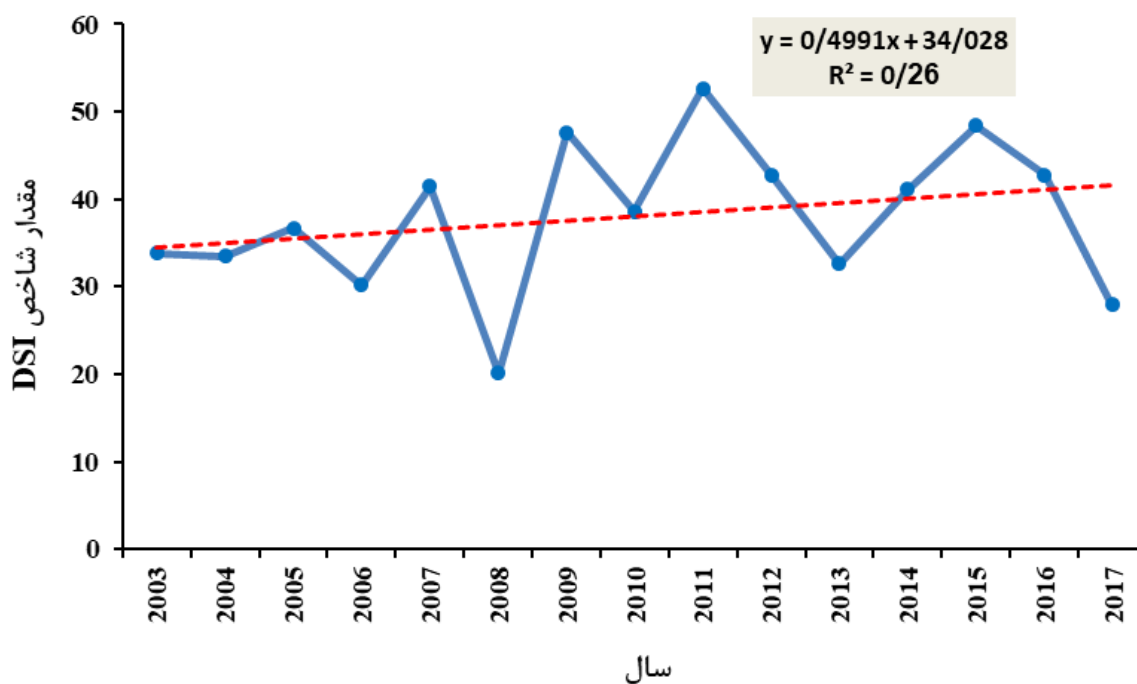


شکل ۶- نقشه پراکندگی خشکسالی استان سمنان در بازه زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۳  
 Fig. 6- Drought distribution map of Semnan Province in the period of 2003-2017

### وضعیت شاخص طوفان گرد و غبار (DSI)

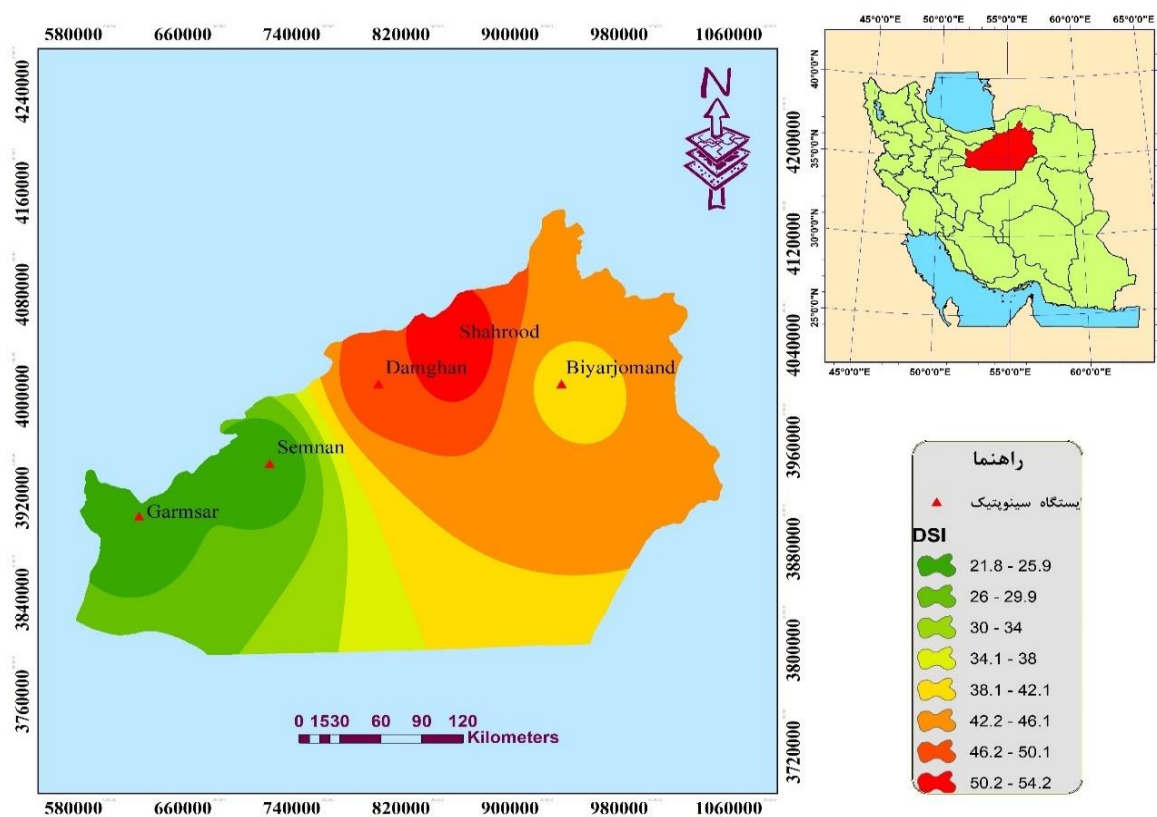
این مطالعه روند شاخص DSI را برای چندین سال در ایستگاه‌های مختلف مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که ایستگاه‌های گرمسار، سمنان، دامغان و شاهرود همبستگی مثبتی بین شاخص DSI و متغیر زمان دارند. این نشان می‌دهد که با گذشت زمان فراوانی گرد و غبار در آن مناطق افزایش یافته است. اما در ایستگاه بیارجمند، رابطه معکوس بین این متغیرها وجود داشت که نشان می‌دهد با گذشت زمان از شدت و فراوانی گرد و غبار کاسته می‌شود. علاوه بر این، روند شاخص DSI در استان سمنان (شکل ۸) افزایش کلی در طول زمان را نشان داد که بالاترین مقدار در سال ۲۰۱۱ و کم‌ترین آن در سال ۲۰۰۸ نشانی جامع از تغییرات در منطقه بود. این شاخص با استفاده از روش‌های مختلف محاسبه شده و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS به

زون‌ها تقسیم شده است. نقشه‌ای که تغییرات شاخص DSI را در طی ۱۵ سال به تصویر می‌کشد ایجاد شده است که هم کاهش و هم افزایش را نشان می‌دهد (شکل ۹). در نهایت، این نقشه کاهش طوفان‌های گرد و غبار در منطقه را نشان می‌دهد. در نقشه، نقاط سبز در درجه اول نشان دهنده کاهش گرد و غبار است، در حالی که نقاط قرمز و نارنجی نشان دهنده افزایش گرد و غبار در یک دوره ۱۵ ساله است. آنچه که از غرب به شرق استان قابل تشخیص است، افزایش فراوانی روزهای طوفان گرد و غبار متوسط (MDS) و در نتیجه افزایش کلی گرد و غبار است، بطوریکه نتایج یوسفی میرهن و همکاران (۱۴۰۱) نشان داد شاخص طوفان‌های گرد و غبار روند افزایشی دارد، همچنین نتایج ابراهیمی خوسفی و همکاران (۱۳۹۵) نشان داد که اثر خشک‌سالی بر طوفان‌های گرد و غبار مثبت است.



شکل ۷- روند شاخص طوفان گرد و غبار (DSI) در طول سال‌های مورد مطالعه در استان سمنان

Fig. 7- Trend of dust storm index (DSI) during the studied years in Semnan Province

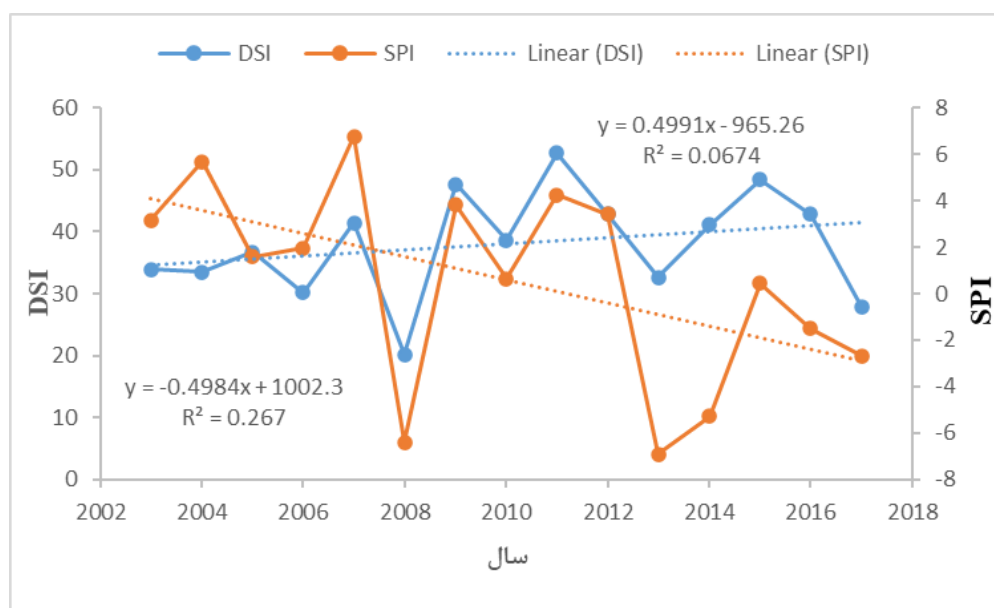


در مناطق مختلف استان در دوره آماری ۱۵ ساله (۲۰۰۳-۲۰۱۷) DSI شکل ۸- پهنه‌بندی وضعیت تغییرات شاخص

Fig. 8- Regionalization of DSI index changes in different regions of the province in the 15-year statistical period (2003-2017)

در این زمینه وجود ندارد. بطور کلی، در دوره‌های بارندگی قابل توجه، ارزش DSI کاهش می‌یابد، درحالی‌که در دوره‌های خشکسالی، مقدار شاخص گرد و غبار افزایش می‌یابد، براساس یافته‌های (Yar Moradi et al., 2018)، (Alipour et al., 2018) و (Gholami et al., 2021) هم راستا بوده است، بر طبق یافته‌های (Zandifar et al., 2022) رخدادهای گردوغبار به خشکسالی هواشناسی با تأخیر یک‌ساله در شهرستان معلم کلایه در سطح اطمینان ۹۰٪ معنی‌دار است. این در حالی است که در سایر شهرستان‌های استان قزوین، ارتباط معنی‌داری بین دو پدیده رخداد گرد و غبار و خشکسالی هواشناسی مشاهده نشد، یافته‌های (Azizi et al., 2011) و (Nabavi et al., 2019) با نتایج مشاهده شده در این مطالعه همسو هستند.

با تجزیه و تحلیل دقیق‌تر نمودار رابطه‌ی همبستگی شاخص‌های استاندارد بارندگی و DSI در پنج ایستگاه سینوپتیک مشخص شد که در طول بازه زمانی تحت بررسی، شاخص DSI همراه با تشدید شدت خشکسالی افزایش یافت. علاوه بر این، ارتباط بین DSI و SPI در یک دوره ۱۵ ساله بی‌اهمیت بود (با  $P\text{-Value} = 0.07$  و  $R^2 = 0.22$ )، در حالی که الگوی روند شاخص DSI با شاخص استاندارد بارندگی مطابقت داشت که مشابه یافته‌های مطالعه راهی و همکاران در سال ۱۳۹۹ است، همچنین این نتایج با یافته‌های (Yousefi Mobarhan et al., 2023) همسو بوده و با نتایج (Asghari Podeh et al., 2015) نیز مطابقت دارد. نمودار ارائه شده در زیر نشان می‌دهد (شکل ۱۰) که یک همبستگی قوی بین شاخص‌های DSI و SPI



شکل ۹- رابطه همبستگی بین شاخص‌های DSI و SPI در استان سمنان  
Fig. 9- Correlation relationship between SPI and DSI indices in Semnan Province

میانگین دمای سالانه در منطقه طی ۱۵ سال (۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷) افزایش داشته و بررسی ماه به ماه سرعت باد در ایستگاه‌های مختلف استان نشان داد که احتمال وقوع گرد و غبار در استان در ماه‌های ژوئن و جولای که حداکثر سرعت باد غالب است وجود دارد. برعکس، ماه‌های دسامبر و ژانویه کم‌ترین وقوع گرد و غبار را تجربه می‌کنند. شاخص خشکسالی برای منطقه مورد بررسی، خشکسالی بسیار

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش تمرکز بر استان سمنان، یکی از این مناطق خشک در ایران بود. تحقیق حاضر با هدف بررسی روند تغییرات شاخص تجربی طوفان گرد و غبار (DSI) و رابطه آن با شاخص خشکسالی بارندگی استاندارد شده (SPI) در استان خشک سمنان صورت گرفت. سپس با استفاده از رگرسیون خطی بین این دو شاخص همبستگی گرفته شد.

مداوم تحت تأثیر اقلیم قرار دارد. با این حال، همبستگی بین خشکسالی و شاخص DSI بر اساس شدت خشکسالی متمایل به نوسان است. علاوه بر این، پارامترهای مختلف آب و هوایی درجات متفاوتی بر میزان گرد و غبار موجود تأثیر می‌گذارند. در نظر گرفتن سایر منابع گرد و غبار به غیر از فعالیت‌های انسانی مانند الگوهای باد بسیار مهم است. به منظور کنترل طوفان‌های گرد و غبار، توصیه می‌شود. مطالعات گسترده‌تر صورت گیرد، همچنین با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و بررسی داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک در استان‌های همجوار و تحلیل آن‌ها در خصوص بروز طوفان‌های گرد و غبار صورت پذیرد. نتایج این تحقیق می‌تواند در بحث پایش و برنامه‌های بیابان‌زدایی و جلوگیری از گسترش بیابان و نیز آمادگی در برابر طوفان‌های گردوغبار مفید واقع شود.

### سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از حمایت‌های متخصصان موسسه جنگل‌ها و مراتع کشور، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری همچنین مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان اعلام می‌دارند.

### References

- Alijani, B., 2021. Iran's Weather. Payam Noor University Press, Tehran, Iran.
- Alipour, N., Mesbahzadeh, T., Ahmadi, H., Malekian, A. and Jafari, M., 2018. Synoptic analysis of dust events and its relation with drought in Alborz and Qazvin provinces. *Geography (Regional Planning)*. 8(30), 59-68. (In Persian with English abstract).
- Amanollahi, J., Kaboodvandpour, S., Qhavami, S. and Mohammadi, B., 2015. Effect of the temperature variation between Mediterranean Sea and Syrian deserts on the dust storm occurrence in the western half of Iran. *Atmospheric Research*. 154, 116-125. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.11.003>.
- 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*

شدید با خطر بالای بیابان‌زایی را نشان می‌دهد. تجزیه و تحلیل روند شاخص طوفان گرد و غبار برای کل استان سمنان حاکی از افزایش قابل توجه با سطح اطمینان ۹۵ درصد است. با این حال، عدم اهمیت تغییرات در دهه اخیر حاکی از آن است که طبق گزارش Asghari Podeh *et al.* (2015)، عوامل مختلفی در ایجاد زمینه گرد و غبار در منطقه نقش داشته‌اند. تغییرات سالیانه‌ی DSI (۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷) شکل نامنظمی از خود نشان داده و دارای روند نیست؛ بطوریکه در سال ۲۰۱۱ شدت گرد و غبار بالا بوده و در سال بعد کاهش داشته و مشابه آن در ۲۰۱۶ مشاهده گردید، در طی یک دوره آماری ۱۵ ساله، تغییراتی در پهنه-بندی DSI (شاخص طوفان گرد و غبار) در مناطق مختلف یک استان مشاهده شد. تجزیه و تحلیل‌ها حاکی از افزایش گرد و غبار از غرب به شرق استان به دلیل افزایش روزهای طوفان گرد و غبار متوسط است. همبستگی بین خشکسالی و شاخص DSI در استان سمنان بررسی شد. اگرچه شاخص DSI در طول دوره مورد تجزیه و تحلیل همراه با شدت خشکسالی افزایش یافته است، اما همبستگی بین این دو معنی دار نبود. با این حال، الگوی روند شاخص DSI با روند الگوی خشک همخوانی داشت.

بر اساس نتایج، مشهود است که وضعیت گرد و غبار به طور

### منابع

- Journal of Soil and Water Research. 51(11), 2839-2852. (In Persian with English abstract).
- Arami, S.A., Ownegh, M., Mohammadian Behbahani, A., Akbari, M. and Zarasvandi, A., 2018. Statistical analysis of spatio-temporal pattern of dust storms in west and southwest of Iran. *Journal of Water and Soil Conservation*. 25(1), 61-83.
- Asghari Podeh, Z., Shafiiizadeh, M., Fakharan, S. and Gilani, A., 2014. evaluation and zoning of spatio-temporal changes of dust storms using DSI index in Khuzestan province, the second national conference on climate change and development engineering Stable Agriculture and Natural Resources, Tehran, <https://civilica.com/doc/437359>. (in Persian with English abstract).
- Asghari Podeh, Z., Shafieizadeh, M., Fakhran, S. and Gilani, A., 2015. Evaluation and zoning of spatio-temporal changes of dust storms using DSI

- index in Khuzestan province. In Second National Conference on Sustainable Development of Agriculture and Natural Resources Engineering. Year of International Conferences of Shahid Beheshti University. (in Persian with English abstract).
- Azizi, Q., Shamsipour, A., Miri, M. and Safarrad, T., 2011. Collaborative statistical analysis of dust phenomenon in the western half of Iran. *Environmental Science*. 38(3), 123-134. (in Persian with English abstract).
- Bong, C.H.J. and Richard, J., 2020. Drought and climate change assessment using standardized precipitation index (SPI) for Sarawak River Basin. *Journal of Water and Climate Change*. 11(4), 956-965. <https://doi.org/10.2166/wcc.2019.036>.
- 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://doi: 10.22034/jest.2019.10464>. (in Persian with English abstract).
- Cook, B.I., Smerdon, J.E., Seager, R. and Coats, S., 2014. Global warming and 21st century drying. *Climate dynamics*, 43, 2607-2627. <https://doi: 10.1007/s00382-014-2075-y>
- 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(3), 239-263. <https://doi: org/10.1080/15324982.2019.1694087>
- Ebrahimi, Z., vali, A., khosroshahi, M. and ghazavi, R., 2017. Investigation of the role of bed dried Gavkhooni wetland on the production of the internal dust using remote sensing and dust storms (Case study: Isfahan province)., 24(1), 152-164. <https://doi: 10.22092/ijrdr.2017.109857>. (in Persian with English abstract).
- Fang, S., Qi, Y., Yu, W., Liang, H., Han, G., Li, Q. and Shi, G., 2017. Change in temperature extremes and its correlation with mean temperature in mainland China from 1960 to 2015. *International Journal of Climatology*. 37(10), 3910-3918. <https://doi: org/10.1002/joc.4965>
- Fiedler, S., Schepanski, K., Knippertz, P., Heinold, B. and Tegen, I., 2014. How important are atmospheric depressions and mobile cyclones for emitting mineral dust aerosol in North Africa. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 14(17), 8983-9000. <https://doi: org/10.5194/acp-14-8983-2014>
- Gholami, F., Mesbahzadeh, T. and Zehtabian, G. H., 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). (in Persian with English abstract). <https://doi:/ 10.22092/IJRDR.2021.123847>
- Goudie, A., 2018. Dust storms and ephemeral lakes. *Desert*, 23(1), 153-164. <doi/10.22059/JDESERT.2018.66370>
- Guo, E., Liu, X., Zhang, J., Wang, Y., Wang, C., Wang, R. and Li, D., 2017. Assessing spatiotemporal variation of drought and its impact on maize yield in Northeast China. *Journal of Hydrology*. 553, 231-247. <https://doi: org/10.1016/j.jhydrol.2017.07.060>
- Jiang, W., Wang, L., Feng, L., Zhang, M. and Yao, R., 2020. Drought characteristics and its impact on changes in surface vegetation from 1981 to 2015 in the Yangtze River Basin, China. *International Journal of Climatology*. 40(7), 3380-3397. <https://doi:org/10.1002/joc.6403>
- Karimi Sangchini, E., Ownegh, M., Sadoddin, A. and Yousefi Mobarhan, E., 2020. Predicting the Impacts of Land Cover Management Scenarios on the Run-off Volume and River Pollutants Using the L-THIA Model for the Hablehrud basin. *Watershed Management Research Journal*. 33(3), 36-52. <https://doi: org/ 10.22092/WMEJ.2019.127488.1251>
- Khusfi, Z. E., Vali, A. A., Khosroshahi, M. and Ghazavi, R., 2017. The role of dried bed of Gavkhooni wetland on the production of the internal dust using remote sensing and storm roses (case study: Isfahan Province). *Iranian Journal of Range and Desert Research*. 24 (1), 152-63.
- Khusfi, Z.E., Khosroshahi, M., Roustaei, F. and Mirakbari, M., 2020. Spatial and seasonal variations of sand-dust events and their relation to atmospheric conditions and vegetation cover in semi-arid regions of central Iran. *Geoderma*. 365, 114225. <https://doi: org/10.1016/j.geoderma.2020.114225>
- Lee, S.H., Yoo, S.H., Choi, J.Y. and Bae, S., 2017. Assessment of the impact on drought characteristics in the Hwanghae Plain, North Korea using time series SPI and SPEI: 1981-2100. <https://doi: org/10.3390/w9080579>
- Liebmann, B., Hoerling, M. P., Funk, C., Bladé, I., Dole, R. M., Allured, D. and Eischeid, J. K., 2014. Understanding recent eastern Horn of Africa rainfall variability and change. *Journal of Climate*. 27(23), 8630-8645. <https://doi: org/10.1175/JCLI-D-13-00714.1>
- McKee, T.B., Doesken, N. J. and Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183).
- Middleton, N.J. 2017. Desert dust hazards: a global review. *Aeolian Res*. 24: 53-63. <https://doi: org/10.1016/j.aeolia.2016.12.001>
- Miri, A., 2020. Dust storms analysis in the Sistan

- region using DDI and DSI indices and wind speed, visibility and PM10 parameters. *Journal of Water and Soil Conservation*, 27(1), 1-23. doi.org/10.22069/JWSC.2020.16883.3225
- Miri, A., Ahmadi, H., Ekhtesasi, M.R., Panjehkeh, N. and Ghanbari, A., 2009. Environmental and socio-economic impacts of dust storms in Sistan Region, Iran. *International Journal of Environmental Studies*. 66(3), 343-355. doi.org/10.1080/00207230902720170
- Mishra, A.K. and Singh, V.P., 2010. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*. 391(1-2), 202-216. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012
- Mostafazadeh, R. and Zabihi, M., 2016. Comparison of SPI and SPEI indices to meteorological drought assessment using R programming (Case study: Kurdistan Province). *Journal of the Earth and Space Physics*. 42(3), 633-643. (In Persian with English abstract).
- Nabavi, S.S., Moradi, H. and Shrifikia, M., 2019. Evaluation of dust storm temporal distribution and the relation of the effective factors with the frequency of occurrence in Khuzestan Province from 2000 to 2015. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 28(111), 191-203. (in Persian with English abstract). https://doi:10.22131/sepehr.2019.37518.
- O'Loingsigh, T., McTainsh, G.H., Parsons, K., Strong, C.L., Shinkfield, P. and Tapper, N.J., 2015. Using meteorological observer data to compare wind erosion during two great droughts in eastern Australia; the World War II Drought (1937–1946) and the Millennium Drought (2001–2010). *Earth Surface Processes and Landforms* 40 (1):123–30. https://doi: 10.1002/esp.3668.
- 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. https://doi: org/10.1016/j.aeolia.2013.10.004
- Othman, M., Ash'aari, Z. H., Muharam, F. M., Sulaiman, W.N.A., Hamisan, H., Mohamad, N.D. and Othman, N.H., 2016. Assessment of drought impacts on vegetation health: a case study in Kedah. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 37, No. 1, p. 012072). IOP Publishing.
- Palmer, W. C. 1965. *Meteorological drought* (Vol. 30). US Department of Commerce, Weather Bureau.
- Philip, S., Kew, S., Jan van Oldenborgh, F., Otto, G., O'Keefe, F., Haustein, S. and Cullen, H., 2018. Attribution analysis of the Ethiopian drought of 2015. *Journal of Climate*, 31(6), 2465-2486. https://doi: org/10.1175/JCLI-D-17-0274.1
- Rahi, G. Khosrowshahi, M. Bahraini, F. and Kolbi, S., 2019. Investigation of drought pattern and dust storm index in Bushehr province. The fourth national conference on soil protection and watershed management with a focus on dust, Tehran soil protection and watershed management research institute. (in Persian).
- Rahi, G. R., Bahraini, 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. https://doi: 10.22069/jwsc.2022.19677.3511. (in Persian with English abstract).
- Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Goudie, A. S., and Kahn, R. A., 2013a. Dryness of ephemeral lakes and consequences for dust activity: the case of the Hamoun drainage basin, southeastern Iran. *Science of the total environment*, 463, 552-564. https://doi: org/10.1016/j.scitotenv.2013.06.045
- Rashki, A., Rautenbach, C. D., Eriksson, P. G., Kaskaoutis, D. G., and Gupta, P., 2013b. Temporal changes of particulate concentration in the ambient air over the city of Zahedan, Iran. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 6, 123-135. https://doi: org/10.1007/s11869-011-0152-5
- Saavedra, S., Rodríguez, A., Taboada, J. J., Souto, J. A., and Casares, J. J., 2012. Synoptic patterns and air mass transport during ozone episodes in northwestern Iberia. *Science of the Total Environment*, 441, 97-110. https://doi: org/10.1016/j.scitotenv.2012.09.014
- Sheffield, J., and Wood, E. F., 2008. Projected changes in drought occurrence under future global warming from multi-model, multi-scenario, IPCC AR4 simulations. *Climate dynamics*, 31, 79-105. https://doi: 10.1007/s00382-007-0340
- Shen, Z., Zhang, Q., Singh, V. P., Sun, P., Song, C., and Yu, H., 2019. Agricultural drought monitoring across Inner Mongolia, China: Model development, spatiotemporal patterns and impacts. *Journal of Hydrology*. 571, 793-804. https://doi: org/10.1016/j.jhydrol.2019.02.028
- Shujun, G., 2012. The meteorological disaster risk assessment based on the diffusion mechanism. *Journal of Risk Analysis and Crisis Response*, 2(2).
- Tirivarombo, S., Osupile, D. and Eliasson, P., 2018. Drought monitoring and analysis: standardised precipitation evapotranspiration index (SPEI) and standardised precipitation index (SPI). *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 106, 1-10. https://doi: org/10.1016/j.pce.2018.07.001
- Tran, T.V., Tran, D.X., Myint, S.W., Latorre-Carmona, P., Ho, D.D., Tran, P.H. and Dao, H.N., 2019. Assessing spatiotemporal drought dynamics and its related environmental issues in the Mekong River Delta. *Remote Sensing*, 11(23), 2742. https://doi: org/10.3390/rs11232742
- Vali, A. and Roustaei, F., 2018. Investigation of the

wind erosion trend in central Iran using dust storm index in the last fifty years. JWSS-Isfahan University of Technology. 21(4), 189-200. <https://doi.org/10.29252/jstnar.21.4.189>

Vali, A., Ebrahimi, Z., Khosroshahi, M. and Ghazavi, R., 2016. Determination of the importance of hydro-climate parameters on drying in Gavkhooni wetland using artificial neural network and remote sensing data. Desert Ecosystem Engineering Journal 5 (12):79-94.

Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S. and López-Moreno, J.I., 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. Journal of Climate. 23(7), 1696-1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>

Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., Lorenzo-Lacruz, J., Camarero, J.J., López-Moreno, J.I., Azorin-Molina, C. and Sanchez-Lorenzo, A., 2012., Performance of drought indices for ecological, agricultural, and hydrological applications. Earth Interactions. 16(10), 1-27. <https://doi.org/10.1175/2012EI000434.1>

Wable, P.S., Jha, M.K. and Shekhar, A., 2019. Comparison of drought indices in a semi-arid river basin of India. Water resources management, 33, 75-102. DOI: 10.1007/s11269-018-2089-z

Wang, X., Zhuo, L., Li, C., Engel, B. A., Sun, S. and Wang, Y., 2020. Temporal and spatial evolution trends of drought in northern Shaanxi of China: 1960-2100. Theoretical and Applied Climatology, 139, 965-979. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-03024-2>

Wang, Y., Liu, G. and Guo, E., 2019. Spatial distribution and temporal variation of drought in Inner Mongolia during 1901-2014 using Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. Science of the Total Environment, 654, 850-862. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.425>

Yar Moradi, Z., Nasiri, B., Karmaup, M. and Mohammadi, G.H., 2018. An analysis of the frequency of dusty days in the Middle East of Iran in relation to climate fluctuations. Journal of Ecosystem of the Desert, 7(18), 1-14. <https://doi.org/10.22052/deej.2018.7.18.1>(in Persian with English abstract).

10.22052/deej.2018.7.18.1(in Persian with English abstract).

Yousefi Mobarhan, E., Ghodrati, M. and Khosroshahi, M., 2023., Correlation analysis of temporal-spatial pattern of drought and dust storm index in arid regions (Semnan province, Iran). Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards; 9 (4) :195-210. <http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-3298-fa.html> (in Persian with English abstract).

Yousefi Mobarhan, E. and Zandifar, S., 2023. Zoning of changes in the decreasing groundwater table and temporal monitoring of drought in the Ghorove-Dehgolan plain. Journal of Rainwater Catchment Systems; 11 (1), 17-35 <http://jircsa.ir/article-1-498-fa.html> (in Persian with English abstract).

Yousefi Mobarhan, E. and Karimi Sangchini, E., 2021. Continuous Rainfall-Runoff Modeling Using HMS-SMA with Emphasis on the Different Calibration Scale. Journal of Chinese Soil and Water Conservation. 52 (2), 112-119. [https://doi.org/10.29417/JCSWC.202106\\_52\(2\).0005](https://doi.org/10.29417/JCSWC.202106_52(2).0005).

Yousefi Mobarhan, E. and zandifar, S., 2023. Investigating and Temporal Monitoring of GRI Index on the Fluctuations of Groundwater Table (Case Study: Zanzan Plain). Journal of Water and Soil Resources Conservation. 12(4), 87-99. <https://doi.org/10.30495/wsrj.2023.72140.11361> (in Persian with English abstract).

Zandifar, S., Khosrowshahi, M. and Ebrahimi Khosofi, Z., 2022. Analysis of the effect of drought on dust occurrences in different regions of Qazvin province. Natural Geography, 15(56), 97-110. (in Persian with English abstract).

Zhang, A. and Jia, G., 2013. Monitoring meteorological drought in semiarid regions using multi-sensor microwave remote sensing data. Remote sensing of Environment, 134, 12-23. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.02.023>.

