

Vulnerability analysis and identification of meteorological drought risk zones (Case study: North Khorasan Province)

Alireza Eslami^{*1} | Seyed Javad Mirisoliman² | Marziye Rashidi Joshaqan³

1. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Soil Conservation and Watershed, Razavi Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Mashhad, Iran. E-mail: ar.eslami@areeo.ac.ir
2. Researcher, Dept. of Forests and Rangelands, North Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Bojnurd, Iran.
3. M.Sc. Graduate of Soil Science, North Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Bojnurd, Iran.

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 02.18.2021
Revised: 08.12.2021
Accepted: 10.04.2021

Keywords:
Drought hazard,
Meteorological drought,
North Khorasan province,
Risk management,
Vulnerability index

ABSTRACT

Background and Objectives: Nowadays, decision-makers consider the integrated management of crisis and risk management in the face of drought. So far, the North Khorasan Province has suffered a lot of damage due to the drought risk. Therefore, in this case study, determining drought vulnerability and type of meteorological drought risk condition are major research problem in the last three decades, especially.

Materials and Methods: In this research, the Deciles Index (DI) was used to determine meteorological drought conditions. Firstly the monthly rainfall statistics were collected and tested for accuracy, precision and homogeneity of data from 27 selected meteorological and rain gauge stations during the period from 1990 to 2015. Accordingly, the factor of percentage of droughts occurrence and were determined with yearly time scale for each station, and then the Drought Hazard Index (DHI) was extracted for each of the different intensities. Then, the drought hazard index was extracted by assigning weights and degrees to each drought class based on drought severity. Meteorological drought vulnerability was also calculated using physical and socio-economic indicators. Subsequently, vulnerable areas of drought were identified. Finally, drought Risk quantification was calculated based on two factors: potential drought hazards and vulnerability rate, and then drought risk areas were specified.

Results: The results of research on drought conditions showed that the most severe droughts occurred in the region in 1990, 1995, 2001 and 2008. Based on the drought hazard index, the results showed that the south western area and part of the northeast of the region, equal to 41.13% of the province, is a region that is prone to severe droughts. The largest of area (64.36% of the area) that located in the eastern part of the province has had severe drought vulnerability. Generally, about 85 percent of the total area of North Khorasan province has been affected by severe to moderate drought vulnerability. Also, about 75 percent of the entire area of the province has a moderate to severe drought risk.

Conclusion: The results of this study indicate that the hazards and vulnerabilities caused by meteorological drought seriously threaten North Khorasan province. The meteorological drought risk maps can be

a helpful alert tool at risk reduction plans for all policy makers, managers and stakeholders in the research area. This issue is of particular importance in the planning of agricultural activities, the optimal use of water resources and green water management, especially in this province, where the livelihood of its agricultural also depends on rain-fed agriculture.

Cite this article: Eslami, Alireza, Mirisoliman, Seyed Javad, Rashidi Joshaqan, Marziye. 2022. Vulnerability analysis and identification of meteorological drought risk zones (Case study: North Khorasan Province). *Journal of Water and Soil Conservation*, 28 (3), 191-205.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2022.18841.3434

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تحلیل آسیب‌پذیری و تعیین پهنه‌های ریسک‌پذیر خشک‌سالی هواشناسی (منطقه مورد مطالعه: استان خراسان شمالی)

علیرضا اسلامی^{۱*} | سید جواد میری سلیمان^۲ | مرضیه رشیدی جوشقان^۳

۱. نویسنده مسئول، استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران. رایانامه: ar.eslami@areeo.ac.ir
۲. پژوهشگر، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان شمالی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بجنورد، ایران.
۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد خاکشناسی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان شمالی، بجنورد، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: امروزه تصمیم‌گیران در مواجهه با خشک‌سالی، نگاه مدیریت تلفیقی مدیریت بحران و خطرپذیری را به‌صورت توأمان مدنظر دارند. تاکنون استان خراسان شمالی خسارت زیادی را از ناحیه مخاطره خشک‌سالی متحمل شده است. از این رو در منطقه مورد پژوهش، تعیین میزان آسیب‌پذیری و نوع وضعیت خطرپذیری خشک‌سالی هواشناسی به‌ویژه در سه دهه اخیر، مسأله اصلی مورد این پژوهش هست.
تاریخ دریافت: ۹۹/۱۱/۳۰	مواد و روش‌ها: به‌منظور تعیین وضعیت خشک‌سالی هواشناسی، در این پژوهش از شاخص دهک‌ها (Deciles Index; DI) استفاده شد. ابتدا آمار بارندگی ماهانه مربوط به ۲۷ ایستگاه هواشناسی منتخب در منطقه جمع‌آوری و مورد آزمون صحت، دقت و همگنی داده‌ها طی دوره مشترک ۲۰۱۵-۱۹۹۰ قرار گرفت. برای هر یک از ایستگاه‌های موردنظر، عامل درصد فراوانی وقوع خشک‌سالی‌های هواشناسی در مقیاس زمانی سالانه تعیین شد. سپس شاخص خطر خشک‌سالی (Drought Hazard Index; DHI) با اختصاص اوزان و درجات برای هر یک از شدت‌های مختلف استخراج گردید. هم‌چنین میزان آسیب‌پذیری خشک‌سالی هواشناسی با استفاده از شاخص‌های فیزیکی و اقتصادی - اجتماعی محاسبه شد و به دنبال آن پهنه‌های آسیب‌پذیر خشک‌سالی نیز تعیین گردید. در نهایت براساس دو عامل استعداد خطر خشک‌سالی و میزان آسیب‌پذیری، میزان ریسک خشک‌سالی (Drought Risk quantification) محاسبه شد و سپس پهنه‌های خطرپذیر خشک‌سالی هواشناسی تعیین گردید.
تاریخ ویرایش: ۰۰/۰۵/۲۱	
تاریخ پذیرش: ۰۰/۰۷/۱۲	
واژه‌های کلیدی: استان خراسان شمالی، خشک‌سالی هواشناسی، خطر خشک‌سالی، شاخص آسیب‌پذیری، مدیریت ریسک	
	یافته‌ها: نتایج پژوهش در خصوص وضعیت‌های خشک‌سالی نشان داد که شدیدترین خشک‌سالی‌ها در سال‌های ۱۹۹۰، ۱۹۹۵، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ در منطقه به وقوع پیوسته است. براساس شاخص خطر خشک‌سالی، نتایج نشان داد که پهنه جنوب‌غربی منطقه و قسمتی از

شمال شرقی آن به گستره‌ای معادل ۴۱/۱۳ درصد از مساحت استان خراسان شمالی، مستعد خطر وقوع خشک‌سالی هواشناسی شدید است. بیش‌ترین وسعت منطقه (۶۴/۳۶ درصد مساحت) واقع در بخش وسیعی از شرق استان، آسیب‌پذیری خشک‌سالی شدید داشته است. به‌طور کلی حدود ۸۵ درصد از کل سطح استان خراسان شمالی تحت‌تأثیر آسیب‌پذیری شدید تا متوسط قرار گرفته است. هم‌چنین تقریباً در حدود ۷۵ درصد از کل سطح استان، دارای ریسک خشک‌سالی متوسط تا شدید بوده است.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش بیانگر آن است که خطرات و آسیب‌پذیری ناشی از خشک‌سالی هواشناسی استان خراسان شمالی را به‌طور جدی تهدید می‌کند. نقشه‌های خطرپذیری خشک‌سالی هواشناسی می‌تواند به‌عنوان ابزار مناسب هشداردهنده در برنامه اقدامات کاهش خطر برای همه سیاست‌گذاران، مدیران و ذینفعان منطقه مورد پژوهش باشد. این موضوع، در برنامه‌ریزی فعالیت‌های کشاورزی، استفاده بهینه از منابع آب و مدیریت آب سبز، به‌ویژه در این استان که معیشت بهره‌برداران کشاورزی آن به زراعت دیم نیز وابسته است، اهمیت خاصی دارد.

استناد: اسلامی، علیرضا، میری‌سلیمان، سید جواد، رشیدی جوشقان، مرضیه (۱۴۰۰). تحلیل آسیب‌پذیری و تعیین پهنه‌های ریسک‌پذیر خشک‌سالی هواشناسی (منطقه مورد مطالعه: استان خراسان شمالی). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۸ (۳)، ۲۰۵-۱۹۱.

DOI: 10.22069/jwsc.2022.18841.3434



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

خشک‌سالی پدیده‌ای طبیعی، پیچیده و مخرب با شدت‌های مختلف است که هر ساله در بخش‌های مختلفی از جهان به‌طور مستقیم و غیرمستقیم تأثیر می‌گذارد (۷). خشک‌سالی از جنبه تأثیرگذاری بر بافت محیطی زمین در بین بسیاری از رویدادهای اقلیمی، شاید بیش‌ترین ارتباط را با بیابانزایی داشته باشد (۳). امروزه در جهان، تصمیم‌گیران در مواجهه با خشک‌سالی با نگاه مدیریت خطرپذیری به مسأله نگرسته و در کنار آن در مواقع مختلف تلفیقی از مدیریت بحران و خطرپذیری را به‌صورت توأمان مدنظر دارند (۱۹). در این ارتباط از منظر تحلیلی، مشخصه‌هایی مانند شدت، مدت، فراوانی و پهنه‌های مکانی وقوع خشک‌سالی از اهمیت خاصی برخوردارند (۱، ۶، ۱۳ و ۱۷). به‌طور کلی، لازمه سیستم مدیریتی جامع‌نگر خشک‌سالی، داشتن اطلاعات کافی در سطح منطقه و شناخت کافی از خطرها و اثرات زیان‌بار خشک‌سالی و هم‌چنین میزان آسیب‌پذیری مناطق مورد بررسی است. در این راستا پهنه‌بندی خطر خشک‌سالی و تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری خشک‌سالی، از جمله نخستین گام‌های اجرا و پیاده‌سازی مدیریت جامع‌نگر خشک‌سالی است (۲).

در پژوهش قاسمی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۴) در استان اصفهان با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و ضمن استخراج نقشه درصد وقوع خشک‌سالی در هر یک از شدت‌ها، نقشه شاخص خطر خشک‌سالی به‌دست آمد. تحلیل آسیب‌پذیری از طریق شاخص‌های اقتصادی و اجتماعی (تراکم جمعیت، درصد شاغلین بخش کشاورزی) و شاخص‌های فیزیکی (ظرفیت آب قابل‌استفاده خاک و کاربری اراضی) انجام شد و در نهایت شاخص خطرپذیری خشک‌سالی از تلفیق دو شاخص خطر خشک‌سالی و آسیب‌پذیری به‌دست آمد

(۵). شهید و بهروان (۲۰۰۸) از شاخص SPI در محیط GIS برای نقشه‌سازی محدوده مکانی خطر خشک‌سالی در دوره‌های مختلف زمانی در قسمت غربی بنگلادش استفاده کردند. آن‌ها هم‌چنین برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری خشک‌سالی از چندین عامل فیزیکی (مانند ظرفیت آب قابل‌استفاده در خاک، مقدار تولید در واحد سطح و درصد زمین‌های تحت آبیاری) و اقتصادی- اجتماعی (مانند تراکم جمعیت، نسبت جمعیت زنان به مردان و درصد شاغلین بخش کشاورزی) استفاده کردند. در نهایت نقشه ریسک از تلفیق نقشه شاخص خطر آسیب‌پذیری حاصل شد (۱۶). کمالی و همکاران (۲۰۱۷) به ارزیابی خطر خشک‌سالی بر اساس تغییرات عامل‌های آب و هوایی حوزه رودخانه کرخه پرداختند. در پژوهش برای محاسبه شاخص خطرپذیری خشک‌سالی به ترتیب از شاخص بارش استاندارد شده (SPI)، شاخص رواناب (SRI) و شاخص رطوبت خاک استاندارد شده (SSWI) استفاده شد. سپس شدت خشک‌سالی و احتمال وقوع خشک‌سالی در هر شاخص محاسبه و در نهایت شاخص خطر خشک‌سالی (DHI) تعیین گردید (۸). راجسختار و همکاران (۲۰۱۵) تأثیرات احتمالی تغییرات اقلیمی را در خصوص انواع خشک‌سالی در منطقه تگزاس بررسی کردند. در این پژوهش با در نظر گرفتن عوامل مختلف اجتماعی و اقتصادی (تراکم جمعیت، تقاضای آب در بخش‌های شهری، صنعت و معدن، دام و نیاز آب آبیاری) آسیب‌پذیری خشک‌سالی محاسبه شد و با اعمال شاخص خطر خشک‌سالی، ریسک خشک‌سالی مورد ارزیابی قرار گرفت (۱۵). محمدیان و همکاران (۲۰۱۰) در پایش خشک‌سالی استان خراسان شمالی با استفاده از شاخص SPI، DI و PNI نشان دادند که وسیع‌ترین و شدیدترین خشک‌سالی‌ها در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۱ به وقوع پیوسته است و طولانی‌ترین خشک‌سالی مربوط به دوره ۱۹۹۷-۱۹۹۴ می‌باشد

آسیب‌پذیری و ریسک خشک‌سالی مناطق مورد پژوهش به‌ویژه در سه دهه اخیر، مسئله مهم مورد این پژوهش است.

مواد و روش‌ها

از نظر موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی (استان خراسان شمالی) دارای وسعتی معادل ۲۸/۷۳۵ کیلومتر مربع است که بین عرض جغرافیایی "۳۶°۴۲" و "۳۸°۱۴" شمالی و طول جغرافیایی "۳۰°۵۶" و "۳۰°۵۸" شرقی در شمال‌شرقی ایران واقع شده است. ارتفاع متوسط محدوده نیز از سطح دریا ۱۳۲۶ متر سطح دریاهای آزاد و متوسط بارندگی سالانه استان ۲۶۵ میلی‌متر است.

به‌منظور انجام این پژوهش داده‌های بارش روزانه تعداد ۲۷ ایستگاه هواشناسی منتخب (سینوپتیک، کلیماتولوژی و باران‌سنجی) در بازه زمانی ۲۶ ساله (۲۰۱۵-۱۹۹۰) مورد استفاده قرار گرفت. سپس با استفاده از شاخص دهک‌ها^۱ (DI) به‌عنوان یکی از شاخص‌های بسیار مناسب (۴ و ۹)، وضعیت‌های مختلف خشک‌سالی تعیین گردید. جدول ۱ طبقه‌بندی خشک‌سالی‌ها را براساس این شاخص نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که تعیین وضعیت‌های مختلف خشک‌سالی و تحلیل آن‌ها برای مقیاس زمانی سالانه از طریق به‌کارگیری نرم‌افزار^۲ (DIP) صورت گرفت. در مرحله بعد فراوانی وقوع هریک از وضعیت‌های متوسط، شدید و خیلی شدید خشک‌سالی محاسبه شد. به‌منظور تعمیم منطقه‌ای نتایج و تعیین پهنه وضعیت‌های مختلف خشک‌سالی و نیز مقادیر درصد فراوانی وقوع خشک‌سالی‌ها مبتنی بر نقاط ایستگاه‌ها، نقشه پهنه‌بندی خشک‌سالی با استفاده از روش درون‌یابی^۳ IDW در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردید.

(۱۲). نصری و مدرس (۲۰۰۸) در منطقه اردستان در شمال شرق استان اصفهان تحلیل ناحیه‌ای خشک‌سالی را با استفاده از دو شاخص مهم بارش استاندارد و دهک‌ها مورد بررسی قرار دادند. نکته قابل توجه در این بررسی آن بود که با حرکت به شرق و نزدیک شدن به شرایط اقلیمی خشک‌تر، ریسک خشک‌سالی نیز افزایش می‌یابد (۱۴). ماکیونی و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از سه شاخص SPEI، SPI و RDI و داده‌های بارندگی و دما، خشک‌سالی‌ها را در مقیاس زمانی ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه در حوزه رودخانه تیبر (Tiber) واقع در ایتالیا مرکزی محاسبه و در نهایت شاخص خطر خشک‌سالی (DHI) محاسبه و نقشه پهنه‌بندی را تهیه کردند (۱۱). در پژوهش خادمی‌پور و همکاران (۲۰۱۸) پس از تحلیل خشک‌سالی هواشناسی با استفاده از شاخص SPI، علاوه بر شاخص خطر خشک‌سالی، سطح آسیب‌پذیری استان کرمان با توجه به شاخص‌های اجتماعی و اقتصادی محاسبه و در نهایت ریسک خشک‌سالی براساس شاخص‌های خطر و آسیب‌پذیری، تحلیل شد (۱۰).

خراسان شمالی دارای آب‌وهوای مدیترانه‌ای معتدل تا خشک با زمستان‌های نسبتاً سرد و با چهار فصل مشخص است، بنابراین محیط مناسبی برای فعالیت‌های بخش کشاورزی به‌خصوص کشت دیم فراهم است، ولی عدم توزیع مناسب بارندگی از نظر مکانی و زمانی وقوع خشک‌سالی‌های متناوب را در استان موجب گردیده که خسارات جدی را در بخش منابع آب و کشاورزی استان به دنبال دارد. به‌عنوان مثال میزان خسارت حوادث طبیعی به بخش کشاورزی در این استان در سال زراعی ۹۶ در مقایسه با مدت مشابه سال گذشته افزایش قابل‌توجهی داشته است. در این میان خسارات عمده مربوط به خشک‌سالی بوده است که بیش‌ترین درصد خسارت نیز به بخش کشاورزی وارد شده است. از این‌رو چگونگی وضعیت و پراکنش پهنه‌های در معرض

1- Deciles Index
2- Drought Indices Package
3- Inverse Distance Weighted

جدول ۱- طبقه‌بندی خشک‌سالی با استفاده از شاخص دهک‌ها (Deciles Index).

Table 1. Classification of droughts using the Deciles Index.

وضعیت خشک‌سالی Drought situation	دهک‌ها Deciles	رتبه rank	وضعیت خشک‌سالی Drought situation	دهک‌ها Deciles	رتبه rank
ترسالی ضعیف Weak wetness	60-70%	7	خشک‌سالی خیلی شدید Very severe drought	<10%	1
ترسالی متوسط Average wetness	70-80%	8	خشک‌سالی شدید Severe drought	10-20%	2
ترسالی شدید severe wetness	80-90%	9	خشک‌سالی متوسط Medium drought	20-30%	3
ترسالی خیلی شدید Very severe wetness	90-100%	10	خشک‌سالی ضعیف Weak drought	30-40%	4
			نرمال Normal	40-60%	5,6

$$DHI = (MDr \times MDw) + (SDr \times SDw) + (VSDr \times VSDw) \quad (1)$$

که در آن، DHI شاخص خطر خشک‌سالی، MDr درجه مربوط به حالت خشک‌سالی متوسط، MDw وزن مربوط به حالت خشک‌سالی متوسط، SDr درجه مربوط به حالت خشک‌سالی شدید، SDw وزن مربوط به حالت خشک‌سالی شدید، VSDr درجه مربوط به حالت خشک‌سالی خیلی شدید، VSDw وزن مربوط به حالت خشک‌سالی خیلی شدید.

تعیین شاخص خطر خشک‌سالی^۱ (DHI): برای هر یک از وضعیت‌های خشک‌سالی متوسط، شدید و خیلی شدید، براساس جداول استاندارد خطرپذیری خشک‌سالی روش مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) و همچنین استفاده از منابع جدید علمی معتبر اوزان^۲ و درجات^۳ متناسب مطابق جدول ۲ استخراج شد (۵) و (۱۹). در مرحله بعد شاخص خطر خشک‌سالی با استفاده از جدول ۲ و رابطه ۱ برای مقیاس‌های زمانی سالانه محاسبه شد. در انتها پهنه‌های خطر خشک‌سالی هواشناسی برای عرصه‌های مختلف منطقه مورد پژوهش در محیط GIS و با استفاده از روش IDW درون‌یابی گردید. در این خصوص طبقه‌بندی DHI با اقتباس از پژوهش‌های ویل‌هایت و وان‌یارخو (۲۰۰۰) مطابق جدول ۳ کلاس‌بندی شد (۱۸).

- 1- Drought hazard index
- 2- Weights
- 3- Rates

جدول ۲- وزن‌ها و درجات مربوط به نقشه‌های شدت خشک‌سالی (۱۵ و ۲۰).

Table 2. Weights and Degrees Related to Drought Intensity Maps (15, 20).

درجه Degrees	فراوانی وقوع Frequency of occurrence	وزن Weight	وضعیت خشک‌سالی Drought situation
1	<3	1	خشک‌سالی متوسط Medium drought
2	3-5		
3	5-8		
4	8-12		
5	>12		
1	<3	2	خشک‌سالی شدید severe drought
2	3-4		
3	4-5		
4	5-6		
5	>6		
1	<1	3	خشک‌سالی خیلی شدید Very severe drought
2	1-2		
3	2-3		
4	3-4		
5	>4		

جدول ۳- کلاس‌بندی شاخص خطر خشک‌سالی برای تعیین خطر خشک‌سالی (۱۸).

Table 3. Classification of drought hazard index for drought hazard determination (18).

کلاس Class	مقدار DHI DHI value
بدون خطر No risk	<10
خطر کم Low risk	10-15
خطر متوسط Medium risk	15-20
خطر زیاد High risk	20-25
خطر خیلی زیاد Very high risk	>25

با محل باید انتخاب شوند. در این پژوهش، به‌منظور ارزیابی آسیب‌پذیری پهنه‌ها از دو دسته شاخص‌های فیزیکی شامل: آب قابل‌دسترس (MW)، کاربری اراضی (Lu)، درصد وزنی مواد آلی خاک (OC) و

ارزیابی آسیب‌پذیری خشک‌سالی (DVA¹): شاخص‌های آسیب‌پذیری بستگی به منطقه مورد بررسی دارد و برای محاسبه شاخص‌های آسیب‌پذیری عوامل مرتبط

1- Drought vulnerability assessment

$$A_i = \sum_j W_j X_{ij} \quad (2)$$

محاسبه شاخص ریسک خشکسالی^۲ (DRI): به منظور محاسبه شاخص ریسک خشکسالی از رابطه ۳ استفاده شد (۲۰):

$$DRI = DHI \times DVI \quad (3)$$

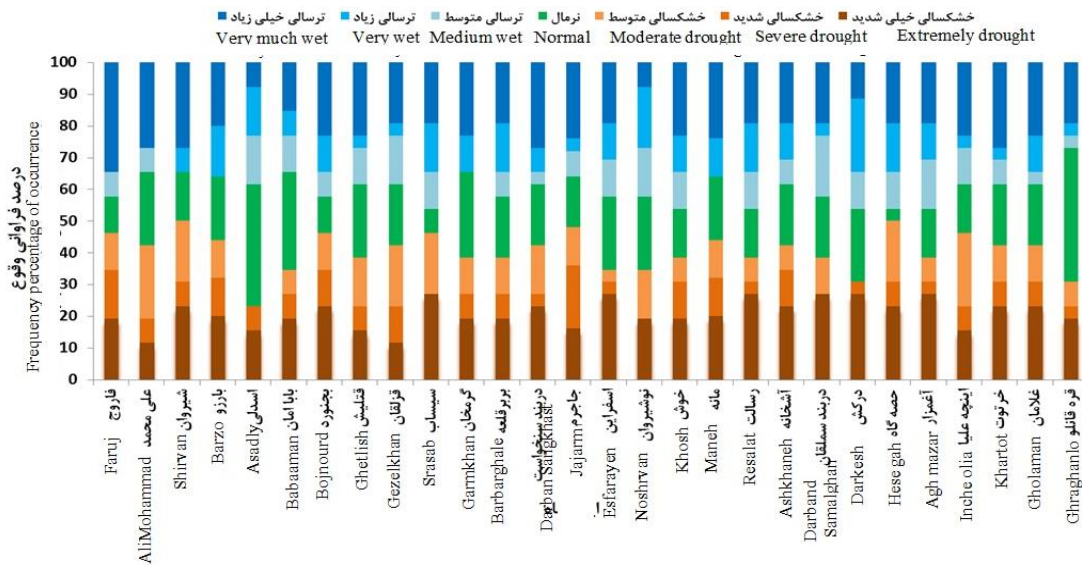
که در آن، DRI شاخص ریسک، DHI شاخص خطر و DVI شاخص آسیب پذیری خشکسالی است که بر این اساس نقشه ریسک خشکسالی به دست آمد. لازم به ذکر است برای نقشه به دست آمده، طبقه بندی براساس نقاط شکست به چهار کلاس ریسک کم، متوسط، بالا و خیلی بالا تقسیم بندی شد.

نتایج و بحث

درصد فراوانی وقوع هر یک از وضعیت‌های خشکسالی در ایستگاه‌ها برای مقیاس سالانه در نمودار ستونی شکل ۱ آورده شده است. بیشترین درصد فراوانی وقوع خشکسالی خیلی شدید سالیانه با ۲۶/۹ درصد در ایستگاه‌های سیسپاب، رسالت، اسفراین، درکش، دربند سملقان، آغمزار و کمترین آن‌ها در ایستگاه‌های قزلقان و علی محمد با ۱۱/۵۴ درصد اتفاق افتاده است. بیشترین درصد فراوانی وقوع خشکسالی شدید در ایستگاه جاجرم با ۲۰ درصد و کمترین در ایستگاه آغمزار، درکش، اسفراین، رسالت، دربند سنخواست و قره قانلو با ۳/۵۸ درصد فراوانی بوده است. بیشترین درصد فراوانی وقوع خشکسالی متوسط با ۲۳/۰۸ درصد در ایستگاه‌های اینچه علیا و علی محمد و کمترین با ۳/۸۵ درصد در ایستگاه اسفراین اتفاق افتاده است.

شاخص اجتماعی و اقتصادی تراکم جمعیت به تفکیک شهرستان استفاده شد. به منظور تهیه لایه ظرفیت آب قابل استفاده خاک و درصد وزنی مواد آلی خاک از نقشه خاک تهیه شده توسط پایگاه داده‌های خاک جهانی فانو (HWSD v 1.21) و برای نقشه کاربری اراضی از نقشه تهیه شده توسط مؤسسه خاک و آب کشور و تراکم جمعیت از آمارنامه سال ۱۳۹۵ استفاده شد. در این پژوهش از روش ترکیب خطی- وزنی که رایج‌ترین فن در تحلیل ارزیابی چندمعیاره است، استفاده شد. این روش بر مبنای مفهوم میانگین وزنی استوار است. هم‌چنین از روش فازی برای استانداردسازی شاخص‌ها استفاده شد. در این روش همه مقادیر و ارزش‌های لایه‌های نقشه‌ای به دامنه یکسان بین صفر تا یک تبدیل شد. به‌عنوان مثال با افزایش تراکم جمعیتی تو حساسیت کاربری، آسیب پذیری افزایش می‌یابد (تابع خطی افزایشده) ولی با افزایش ظرفیت آب قابل استفاده در خاک و درصد وزنی مواد آلی خاک، آسیب پذیری کاهش می‌یابد (تابع خطی کاهنده) خروجی این مرحله از کار، نقشه‌های استاندارد شده‌ای خواهد بود که مقادیر و ارزش‌های آن‌ها بین صفر تا ۲۵۵ یا صفر تا یک خواهد بود. در نهایت به منظور وزن دهی از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی^۱ (AHP) استفاده گردید. در این روش در نهایت پس از وزن دهی به معیارهای آسیب پذیری مطابق رابطه ۲ که فرمول ترکیب خطی وزنی است هر یک از نقشه‌های استاندارد شده در وزن مربوطه ضرب شده و در نهایت عملیات اجتماع بین لایه‌های به دست آمده انجام می‌گیرد که این نقشه نهایی همان نقشه DVI یا شاخص آسیب پذیری به خشکسالی است.

در رابطه زیر مقدار X_{ij} مقدار i امین آلترناتیو با j امین خصیصه و W_j یک وزن استاندارد شده و مجموع وزن‌ها برابر یک باید باشد (رابطه ۲).

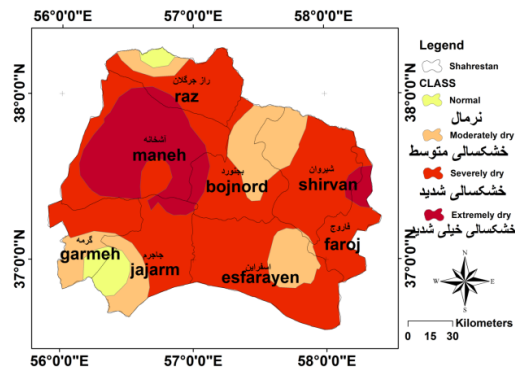


شکل ۱- نمودار ستونی درصد فراوانی وقوع وضعیت‌های خشک‌سالی سالانه در ایستگاه‌ها.

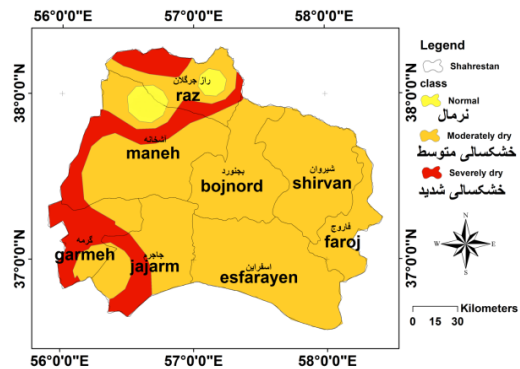
Figure 1. Column diagram of the percentage of annual drought occurrence in the stations.

خشک‌سالی خیلی شدید در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ بر بیش‌ترین گستره استان حاکم بوده است. شکل‌های ۲ تا ۵ پهنه وضعیت‌های مختلف را در سال‌های ۱۹۹۰، ۱۹۹۵، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ نشان می‌دهد.

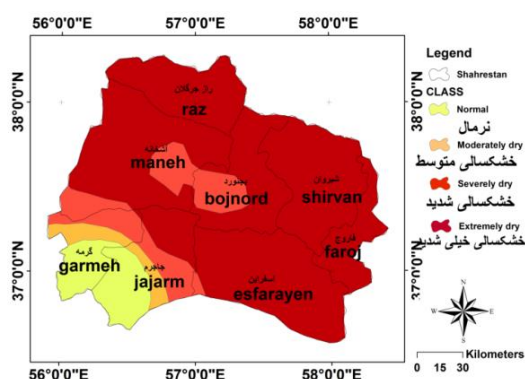
بررسی و تحلیل خشک‌سالی سالیانه: براساس محاسبات و استخراج پهنه‌های خشک‌سالی، بیش‌ترین خشک‌سالی با وضعیت متوسط در سطح استان در سال‌های ۱۹۹۰ و ۱۹۹۲ به وقوع پیوسته است. خشک‌سالی با وضعیت شدید در سال ۱۹۹۵ و



شکل ۳- پهنه‌بندی وضعیت‌های مختلف خشک‌سالی در سال ۱۹۹۵. Figure 3. Zoning of different drought condition in the province in 1995.

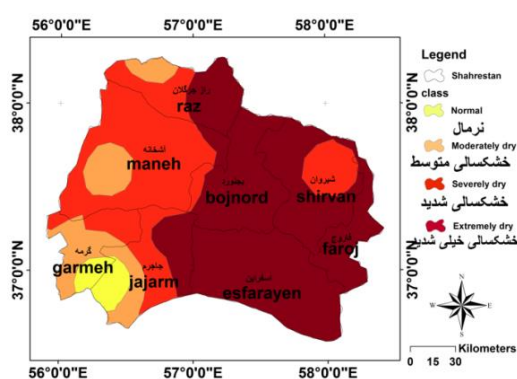


شکل ۲- پهنه‌بندی وضعیت‌های مختلف خشک‌سالی استان در سال ۱۹۹۰. Figure 2. Zoning of different drought condition in the province in 1990.



شکل ۵- پهنه‌بندی وضعیت‌های مختلف خشک‌سالی استان در سال ۲۰۰۸.

Figure 5. Zoning of different drought condition in the province in 2008.

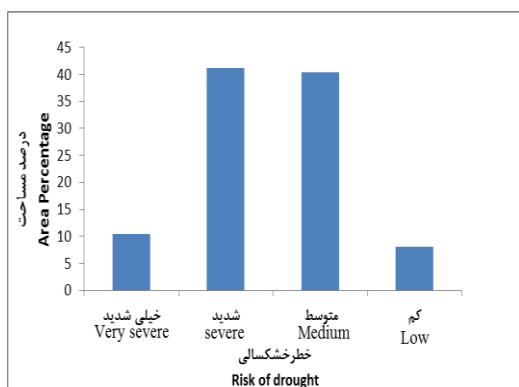


شکل ۴- پهنه‌بندی وضعیت‌های مختلف خشک‌سالی استان در سال ۲۰۰۱.

Figure 4. Zoning of different drought condition in the province in 2001.

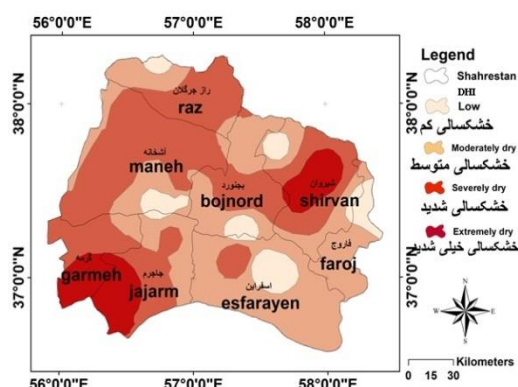
ارزیابی نقشه آسیب‌پذیری خشک‌سالی سالیانه: نتایج حاصل از استانداردسازی نشانگرهای اقتصادی اجتماعی و فیزیکی نشان داد (شکل ۸) که متراکم‌ترین شهرستان‌های استان به ترتیب بجنورد، شیروان و کم‌تراکم‌ترین جمعیت در شهرستان‌های جاجرم و گرمه است. از لحاظ کاربری‌ها، بخش وسیعی از استان شامل بخش غربی و جنوبی شهرستان بیش‌ترین حساسیت به خشک‌سالی را دارند (شکل ۹). ظرفیت آب قابل‌استفاده در سطح وسیعی از استان پایین است. (شکل ۱۰) بیش‌ترین درصد وزنی مواد آلی خاک در غرب شهرستان‌های فاروج، شیروان، بخش شرقی شهرستان آشخانه و قسمت شمالی شهرستان گرمه و جاجرم قرار دارد (شکل ۱۱).

ارزیابی خطر خشک‌سالی در مقیاس زمانی سالیانه (ADH): نتایج ارزیابی شاخص خطر خشک‌سالی در مقیاس زمانی سالیانه نشان داد که منطقه مورد مطالعه تاکنون هر یک از وضعیت‌های مختلف خشک‌سالی از کم تا خیلی شدید را به خود اختصاص داده است. بیش‌ترین وسعت منطقه (۴۱/۱۳ درصد مساحت) واقع در جنوب‌غربی و بخشی از شمال‌شرقی، خطر خشک‌سالی شدید را تجربه کرده است (شکل ۶). در کل در حدود ۸۰ درصد از کل سطح استان طی دوره آماری موردنظر، تحت سیطره خطر خشک‌سالی شدید و متوسط قرار گرفته است. هم‌چنین ۱۰/۳۹ درصد مساحت استان (شهرستان شیروان و بخش جنوب‌غربی استان شامل بخش‌هایی از شهرستان گرمه و جاجرم) نیز در معرض وقوع خطر خشک‌سالی خیلی شدید واقع گردیده است. در نهایت تنها سطح بسیار کمی از استان خطر خشک‌سالی کم را تجربه کرده است (شکل ۷).



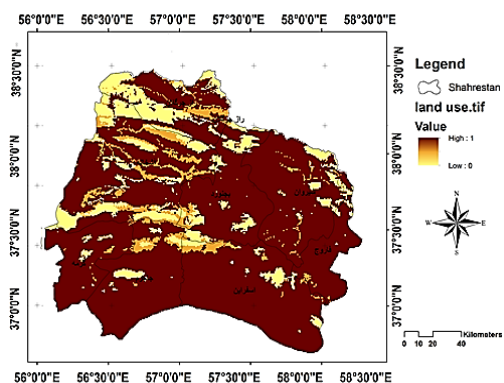
شکل ۷- درصد مساحت شاخص خطر خشک‌سالی در استان خراسان شمالی.

Figure 7. Percentage of drought risk index area in North Khorasan province.



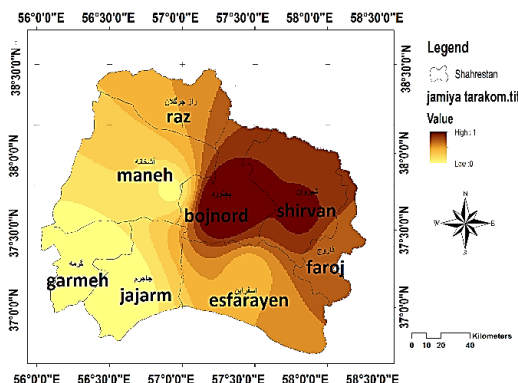
شکل ۶- نقشه مناطق مستعد خطر خشک‌سالی سالیانه در استان خراسان شمالی.

Figure 6. Map of drought prone areas in the annual period of drought in North Khorasan Province.



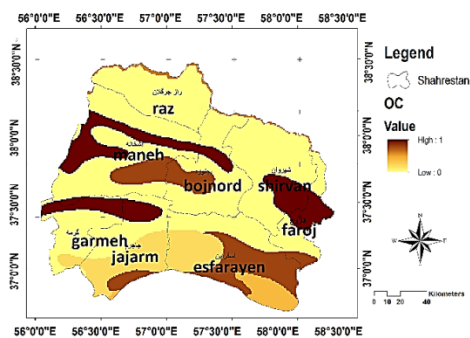
شکل ۹- نقشه استاندارد شده حساسیت کاربری اراضی به خشک‌سالی.

Figure 9. Standardized map of land use susceptibility to drought.



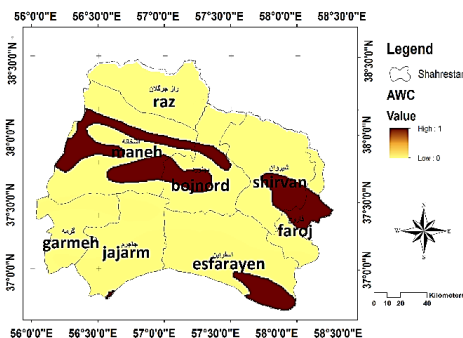
شکل ۸- نقشه استاندارد شده تراکم جمعیت در استان.

Figure 8. Standardized population density map in the province.



شکل ۱۱- نقشه استاندارد شده درصد وزنی مواد آلی خاک در استان.

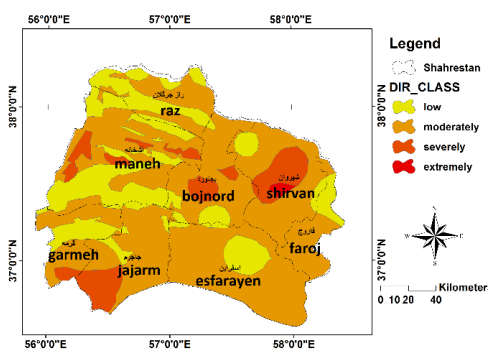
Figure 11. Standardized weight percentile map of soil organic matter in the province.



شکل ۱۰- نقشه استاندارد شده ظرفیت آب قابل استفاده در خاک (عمق ۰-۱۰۰ سانتی‌متری).

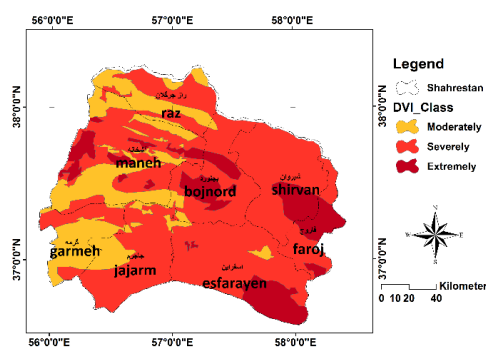
Figure 10. Standardized Map of Soil Usable Water Capacity (0-100 cm Depth).

ارزیابی نقشه ریسک (خطرپذیری) خشکسالی سالیانه: نتایج بررسی ارزیابی نقشه ریسک (خطرپذیری) در مقیاس سالیانه (شکل ۱۳) نشان داد که این نوع ریسک در سطح منطقه از وضعیت پایین تا خیلی بالا نوسان دارد. بیشترین وسعت منطقه ۶۵/۲۱ درصد مساحت) تحت ریسک خشکسالی متوسط است. حدود ۱۰ درصد از مساحت استان مستعد خطرپذیری خشکسالی شدید است. ریسک خشکسالی خیلی شدید تنها در بخشی از شهرستان شیروان مشاهده شد. بر این اساس در حدود ۷۵ درصد از کل سطح استان، درجات متوسط تا شدید ریسک خشکسالی را به خود اختصاص داده‌اند و مابقی در درجه پایینی از نظر ریسک خشکسالی قرار دارد که بیش‌تر در بخش غربی استان واقع شده است.



شکل ۱۳- نقشه ریسک خشکسالی سالانه در استان خراسان شمالی.
Figure 13. Annual drought risk map in North Khorasan province.

بررسی نتایج حاصل از آسیب‌پذیری خشکسالی در استان نشان داد (شکل ۱۲) که سطح آسیب‌پذیری در منطقه از وضعیت متوسط تا خیلی شدید نوسان دارد. بیش‌ترین وسعت منطقه (۶۴/۳۶ درصد مساحت) واقع در بخش وسیعی از شرق استان، دارای وضعیت آسیب‌پذیری خشکسالی شدید است. آسیب‌پذیری خشکسالی متوسط با ۲۱/۳۶ درصد مساحت استان شامل بخش‌های غربی استان (بخش‌هایی از شهرستان گرمه، جاجرم، آشخانه، راز و جرگلان و بخش کوچکی از شهرستان اسفراین) بوده است. همچنین ۱۴/۲۹ درصد مساحت استان (شامل بخش جنوب شرقی شهرستان اسفراین، بخش شرقی شهرستان فاروج و شیروان، بخش‌های مرکزی شهرستان بجنورد و بخش‌های غربی شهرستان آشخانه) نیز در معرض آسیب‌پذیری خیلی شدید خشکسالی قرار گرفته است (شکل ۱۲).



شکل ۱۲- نقشه آسیب‌پذیری خشکسالی در استان خراسان شمالی.
Figure 12. Drought vulnerability map in North Khorasan Province.

توجه به کمیت و کیفیت منابع طبیعی تولید از جمله کمبود آب (وقوع خشکسالی) و وضعیت خاک (درصد وزنی مواد آلی خاک و ظرفیت آب قابل‌استفاده)، حساسیت کاربری اراضی و نیز نشانگر اقتصادی اجتماعی (پرکنش و تراکم جمعیت)، پهنه وسیعی از استان (حدود ۷۵ درصد مساحت)، نسبت به وقوع خشکسالی با درجات متوسط تا شدید

نتیجه‌گیری کلی

براساس نتایج حاصل از تعیین شاخص خطر خشکسالی هواشناسی حدود ۸۰ درصد از کل سطح استان، با خطر وقوع خشکسالی شدید تا متوسط مواجه شده است. به لحاظ آسیب‌پذیری سالانه حدود ۸۵ درصد از گستره استان درجه آسیب‌پذیری متوسط تا شدید را به خود اختصاص داده است؛ بنابراین و با

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

مشارکت نویسندگان

علیرضا اسلامی: تدوین طرح و روش‌شناسی، مشارکت در آنالیزها، نظارت تحقیق، بازبینی، اصلاح و نهایی‌سازی مقاله

سید جواد میری سلیمان: تهیه پیش‌نویس مقاله، مشارکت در انجام محاسبات
مرضیه رشیدی جوشقان: تهیه و آماده‌سازی داده‌ها، مشارکت در انجام محاسبات

اصول اخلاقی

نویسندگان مقاله حاضر اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی به‌طور کامل رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌ها می‌باشد.

حمایت مالی

هزینه‌های انجام مراحل مختلف روش تحقیق مقاله حاضر (برگرفته از طرح خاص پژوهشی مصوب پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری)، از محل اعتبارات پژوهشی و توسعه فناوری دستگاه اجرایی (سازمان جهاد کشاورزی استان خراسان شمالی) تامین شده و مورد حمایت مالی قرار گرفته است.

خطرپذیر می‌باشد. این بدان معناست که عملاً خطرات و آسیب‌پذیری ناشی از پیامدهای پدیده خشک‌سالی به‌ویژه با شدت‌های زیاد، استان خراسان شمالی را به‌طور جدی تهدید می‌کند. اهمیت این موضوع در برنامه‌ریزی فعالیت‌های کشاورزی و استفاده بهینه از منابع طبیعی به‌خصوص در این استان که معیشت بهره‌برداران کشاورزی آن به زراعت دیم نیز وابسته است، دوچندان می‌نماید.

تقدیر و تشکر

پژوهش حاضر با حمایت و پشتیبانی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان شمالی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و نیز مساعدت سازمان جهاد کشاورزی استان خراسان شمالی انجام شده است. بدین‌وسیله از مسئولین محترم و متصدیان دستگاه‌های فوق تشکر و قدردانی می‌شود.

داده‌ها و اطلاعات

داده‌ها و اطلاعات مورداستفاده در این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی مصوب کمیته علمی و فنی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، اجراشده طی سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ است. در این خصوص مجری طرح مذکور نویسنده اصلی این مقاله و سایر نویسندگان نیز همکاران طرح پژوهشی بوده‌اند.

منابع

1. Behyar, M.B., and Parandeh Khozani, A. 2008. Statistical Study of Isfahan Drought. Journal of Isfahan University of Humanities. 27: 6. 111-125. (In Persian)
2. Ekrami, M., Ekhtesasi, M.R., and Malekinezhad, H. 2013. The Effects and Consequences of Climatic Drought on Time Delay and the Change in Water Discharge of Springs and Qanats (Case study: Yazd - Ardakan Plain). Iran Water Resources Research. 9: 2. 19-26. (In Persian)
3. Ensafi Moqaddam, T. 2007. An Investigation and assessment of climatological indices and determination of suitable index for climatological droughts in the Salt Lake Basin of Iran. Iranian Journal of Rangeland and Desert Research. 14: 2. 271-288.

4. Eslami, A.R., and Shokohi, A.R. 2013. Comparison of Meteorological Drought Performance in Sub-Mediterranean Regions (Case Study: Mazandaran Watersheds). Proceedings of the Third National Conference on Comprehensive Water Resources Management. University of Mazandaran-Sari. 289p. (In Persian)
5. Ghaseminejad, S., Soltani, S., and Soffianian, A. 2014. Drought Risk Assessment in Isfahan Province. JWSS- Journal of Water and Soil Science. 18: 68. 213-225. (In Persian)
6. Gibbs, W.J., and Maher, J.V. 1976. Rainfall Deciles as Drought Indicators. Australian Bureau of Meteorology. Bulletin / Bureau of meteorology; no. 48. Melbourne, Australia, 33p.
7. Hisdal, H., and Tallaksen, L. 2003. Estimation of regional meteorological and hydrological drought characteristic: a case study for Denmark, Journal of Hydrology, 281: 230-247.
8. Kamali, B., HoushmandKouchi, D., Yang, H., and Abbaspour, K. 2017. Multilevel Drought Hazard Assessment under Climate Change Scenarios in Semi-Arid Regions, A Case Study of the Karkheh River Basin in Iran, Water, 9:241.1-17. Doi: 10.3390/w9040241.
9. Keyantash, J., and Dracup, J.A. 2002. The Quantification of Drought: An Evaluation of Drought Indices. Bulletin of the American Meteorological Society, pp. 1167-1180.
10. Khademipour, G., Saberi Anari, S.M., Nekoyi Moghadam, M., Masoudi, A., and Jafari Baghini, R. 2018. Comprehensive Assessment and Zonation of Drought Risk and Vulnerability in Kerman Province. Health in Emergencies and Disasters Quarterly (HDQ). 3: 2. 113-120.
11. Maccioni, P., Kossida, M., Brocca, L., and Moramarco, T. 2014. Assessment of the Drought Hazard in the Tiber River Basin in Central Italy and a Comparison of New and Commonly Used Meteorological Indicators, ASCE, 05014029-1.
12. Mohammadian, A., Kouhi, M., Adineh Baigi, A., Rasouli, S.J., and Bazrafshan, B. 2010. Comparison of drought monitoring using SPI, DI and PNI indices and their zoning (Case study: North Khorasan Province). Journal of Soil and Water Conservation Research. 17: 1. 177-184.
13. Mohan, S., and Sahoo, P.K. 2008. Stochastic simulation of droughts, Hydrological Processes, 22: 854-862.
14. Nasri, M., and Modarres, R. 2008. Regional drought analysis of Ardestan region based on two drought indices. Journal of Research and Construction in Natural Resources. 76: 3. 167-176. (In Persian)
15. Rajsekhar, D., Singh, V.P., and Mishra, A.K. 2015. Integrated drought causality, hazard, and vulnerability assessment for future socioeconomic scenarios: An information theory perspective. Journal of Geophysical Research-Atmospheres, 120: 6346-6378. Doi: 10.1002/2014JD022670. (Publisher: American Geophysical Union and Wiley).
16. Shahid, S., and Behravan, H. 2008. Drought risk assessment in the western part of Bangladesh. Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards. 46: 3. 391-413.
17. Singh, V.P. 2013. Entropy Theory and its Applications in Water and Environmental Engineering, John Wiley, Hoboken, N. J., USA. 640p.
18. Wilhite, D.A., and Vanyarkho, O.V. 2000. Chapter 18 Drought: Pervasive Impacts of a Creeping Phenomenon. Drought Mitigation Center Faculty Publications. I: 71: 245-255.
19. Wu, H., Leen-Kiat, S., Samal, A., and Chen, X.H. 2007. Trend analysis of streamflow drought events in Nebraska. Water Resources Management, 22: 2. 145-164.
20. Zhao, J., Zhang, Q., Zhu, X., Shen, Z., and Yu, H. 2020. Drought risk assessment in China: Evaluation framework and influencing factors. Geography and Sustainability J. 1: 220-228.

