



Drought Risk Analysis using Drought Risk Assessment Indices The Case Study of Khorasan Razavi Province

Mahdi Zarei ^a , Mahnaz Naeemi Tabar ^b , Rahman Zandi ^c 

^a. Research Center of Social Studies and Geographical Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

(Corresponding Author) Email: m.zarei@hsu.ac.ir

^b. Department of Geomorphology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

^c. Department of RS & GIS, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

ARTICLE INFO

Keywords:

Drought,
Vulnerability,
Drought Risk Index,
Razavi Khorasan Province

Article History:

Received:

27 March 2023

Received in revised form:

30 May 2023

Accepted:

1 July 2023

Available online:


6 August 2023

pp. 133-150

ABSTRACT

Considering the persistence of drought and its destructive effects on various socio-economic sectors of Khorasan-Razavi province, this study is aimed at investigating the spatial-temporal changes of drought risk in the province and assessing the vulnerability to it. For this purpose, from the set of meteorological data during the 70-year period (1950-2020) and drought indices such as Standard Precipitation Index (SPI), Rainfall Index (RAI) and Z-Index (ZSI) in order to evaluate the drought situation of the region in four-time scales. 3, 6, 12 and 24 months were used. Then, drought risk and vulnerability were evaluated using four drought risk indices (DHI), drought exposure index (DEI), drought vulnerability index (DVI) and combined drought risk index (DRI). According to the results of the DHI index, severe and very severe droughts correspond to the eastern, central and southern parts, which can be due to the increase in water consumption due to population development, agricultural and industrial development, as well as climate change. According to the results of DVI and DRI indicators, the regions correspond to severe and very severe droughts in the southern, western and central parts. The DEI index showed that in the central, eastern and southern parts of the province, the agricultural sector is the first sector to be affected by the destructive effects of drought due to excessive dependence on soil moisture reserves. Drought risk maps indicate the possibility of the region facing very dry conditions and affecting the water resources of the region in the short and medium term.

Citation: Zarei, M., Naeemi Tabar, M., & Zandi, R. (2023). Drought Risk Analysis using Drought Risk Assessment Indices The Case Study of Khorasan Razavi Province. *Geographical planning of space quarterly journal*, 13 (2), 133-150.

 <http://doi.org/10.30488/GPS.2023.387240.3622>



© The Author(s)

This is an open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Publisher: Golestan University Press

Extended Abstract

Introduction

Drought is a natural disaster that occurs slowly and can continue for a long time and involve large parts of the land. This phenomenon can occur in all climatic regions, and only its characteristics are different from one region to another. Compared to other natural disasters, this natural disaster is very important in terms of intensity and frequency, spatial extent, and the amount of damage it causes. The purpose of the present research is 1- to determine and analyze the intensity and duration of dry and wet periods using standard precipitation indices (SPI), rainfall index (RAI), and index (ZSI), 2- analysis of the risk of drought and damage, adaptability using four indexes such as (DHI), (DEI), (DVI), and (DRI).

Methodology

In the present study, after reviewing the statistics and information of 226 rain gauge and synoptic stations received from the National Meteorological Organization, the rainfall statistics of 176 stations were used during the common statistical period of 70 years (1950-2020). After determining the common statistical period, the meteorological data were analyzed using SPSS software, and the statistical defects were reconstructed using the difference and ratios method. Then, SPI, RAI, and ZSI indices were exerted to determine the drought status of the province using DIP software, and a map of areas affected by drought was prepared using interpolation in ArcGIS software. To quantify and prepare the drought risk index, weight is given to each class of drought in such a way that the class of normal drought is given a weight of one, and a very severe drought, which creates the most significant risk when it occurs, is given a weight of four. Then, the severity map of the drought classes is classified into four classes based on the percentage probability of drought using the natural breakdown method.

Results and discussion

The comparison of SPI index values in 3, 6, 12, and 24 months shows that a significant

change in rainfall occurred in 56% of the study period. The values of the RAI index in 3 and 6 months show that in all stations, the number of normal periods is more than wet and dry periods, and the number of dry events is more than wet events. The values of the ZSI index in 3 and 6-month periods show that the severity and frequency of drought in the northern and eastern regions is more than in the western regions of the province. According to the DHI drought risk map, the probability of a severe 3-month drought is less in the southwestern regions (Khalilabad, Ferdous, and Gonabad basins), as well as parts of the center (Torbat Heydarieh and Kashmar basins) and the east of the province (Torbat Jam and Taybad basins) are exposed to severe drought. DEI's drought risk assessment shows that a 12-month severe drought generally includes the eastern regions (Torbat Jam and Taibad basins) and the southeast (Khaf and Rashtkhar basins) and has the highest probability of drought and the northwestern regions (basin Quchan and Chenaran), northeast (Kalat and Sarkhs basins) to parts of the center (Mashhad and Freeman basins) have the lowest probability of 12-month severe drought. Also, the scattered parts from the northwest to the southeast have the highest probability and the parts from the west and east to the northeast have the lowest probability of an average drought of 12 months. The spatial distribution of the index (DVI) in a 3-month time step shows that parts of the province from the north to the northeast have the highest and the west and southwest parts have the lowest 3-month drought risk index. The spatial distribution of the drought risk index in a 12-month time step shows that there is the highest risk from west to east, and the northeastern parts of the region have the lowest risk of a 12-month drought. The index (DRI) evaluation indicates that the highest percentage of severe drought occurs in the southern and eastern parts of the province, and the lowest percentage of severe drought occurs in the western part. In general, the areas prone to severe drought are mainly concentrated in the central part of the province, and the western and northeastern areas are prone to

severe drought.

Conclusion

The results of using drought indices show that these three indices do not differ much from each other in determining drought periods. However, the ZSI index has a significant difference in trend with them, which is probably due to considering the median of the data instead of their average, which the results of Karimi et al.'s study (2010) regarding the low correlation of this index with other drought indices are consistent. Risk assessment with the DHI drought risk index showed that very severe drought (38%) is reserved for the east, center, and south of the province, and the rest of the basins of the province have experienced less than 21% of severe drought periods. The DEI drought risk index shows that the drought in the south, northeast, southeast, and southwest parts is more than 18%, and the northern regions of the province have experienced more than 60% of the entire average drought period. According to the DVI index, very severe droughts are observed in the center and south of the province. Then there is the

east, southeast, center, and northeast, where the maximum number of severe droughts in the entire period is 36 percent. Therefore, according to the spatial zoning of the intervals, it can be concluded that the east, northeast, south, southeast, and center of the province had the most severe and moderate droughts.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work declaration of competing interest none.

Conflict of Interest



Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.



تجزیه و تحلیل خطر خشک‌سالی با استفاده از شاخص‌های ارزیابی ریسک خشک‌سالی مطالعه موردی: استان خراسان رضوی

مهدی زارعی^۱ ✉، مهناز نامعی تبار^۲ , رحمان زندی^۳ 

۱- نویسنده مسئول، گروه پژوهشی جغرافیا، مرکز پژوهشی علوم جغرافیایی و مطالعات اجتماعی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
Email: hfarahani@znu.ac.ir

۲- گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
۳- گروه سنجش ارض، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

با توجه به تداوم خشک‌سالی و اثرات مخرب آن بر بخش‌های مختلف اقتصادی-اجتماعی استان خراسان رضوی این مطالعه به منظور بررسی تغییرات مکانی-زمانی خطر خشک‌سالی در استان و ارزیابی آسیب‌پذیری در برابر آن هدف‌گذاری شده است. بدین منظور از مجموعه داده‌های هواشناسی طی دوره ۷۰ ساله (۱۹۵۰-۲۰۲۰) و شاخص‌های خشک‌سالی همچون شاخص بارش استاندارد (SPI)، شاخص بارندگی (RAI) و شاخص Z (ZSI) به منظور ارزیابی وضعیت خشک‌سالی منطقه در چهار مقیاس زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه استفاده گردید. سپس خطر خشک‌سالی و آسیب‌پذیری با استفاده از چهار شاخص مخاطره خشک‌سالی (DHI)، شاخص مواجهه با خشک‌سالی (DEI)، شاخص آسیب‌پذیری خشک‌سالی (DVI) و شاخص خطر خشک‌سالی ترکیبی (DRI) مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج شاخص DHI خشک‌سالی‌های شدید و خیلی شدید منطبق بر قسمت‌های شرق، مرکز و جنوب می‌باشد که می‌تواند به دلیل افزایش مصرف آب ناشی از توسعه جمعیت، توسعه کشاورزی و صنایع و همچنین تغییرات آب و هوایی باشد. بر اساس نتایج شاخص‌های DVI و DRI مناطق منطبق بر خشک‌سالی‌های شدید و خیلی شدید در قسمت‌های جنوبی، غربی و مرکزی است. شاخص DEI نشان داد که در قسمت‌های مرکزی، شرقی و جنوبی استان بخش کشاورزی به دلیل وابستگی بیش از حد به ذخیره رطوبتی خاک، نخستین بخشی است که تحت تأثیر اثرات مخرب خشک‌سالی قرار می‌گیرد. نقشه‌های خطر خشک‌سالی نشان‌دهنده احتمال مواجهه منطقه با شرایط بسیار خشک بوده و منابع آب منطقه را در کوتاه‌مدت و میان‌مدت تحت تأثیر قرار می‌دهد.

واژگان کلیدی:

خشک‌سالی،
آسیب‌پذیری،
شاخص خطر خشک‌سالی،
استان خراسان رضوی.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۰۱/۰۷

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۲/۰۳/۰۹

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۲/۰۴/۱۰

تاریخ چاپ:

۱۴۰۲/۰۵/۱۵

صص. ۱۵۰-۱۳۳

استناد: زارعی، مهدی؛ نامعی تبار، مهناز و زندی، رحمان. (۱۴۰۲). تجزیه و تحلیل خطر خشک‌سالی با استفاده از شاخص‌های ارزیابی ریسک خشک‌سالی مطالعه موردی: استان خراسان رضوی. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۱۳ (۲)، ۱۵۰-۱۳۳.

 <http://doi.org/10.30488/GPS.2023.387240.3622>



مقدمه

خشک‌سالی از جمله بلایای طبیعی می‌باشد که به آهستگی به وقوع می‌پیوندد و می‌تواند برای مدتی طولانی تداوم یابد و قسمت‌های وسیعی از سرزمین را درگیر کند (Fleig et al., 2006: 3). خشک‌سالی طی یک دوره نسبتاً طولانی، عدم امکان تعیین دقیق زمان شروع و خاتمه و وسعت جغرافیایی تأثیر آن می‌باشد. از طرف دیگر نبود تعریف دقیق و قابل‌قبول جهانی از خشک‌سالی به پیچیدگی و سردرگمی این پدیده افزوده است (زارع و همکاران، ۱۳۸۳: ۲). خشک‌سالی از جمله مهم‌ترین و مخرب‌ترین مخاطرات طبیعی است که با توجه به گستردگی، شدت و تداوم آن، تعداد قابل‌توجهی از انسان‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (انصاری و همکاران، ۱۳۸۶: ۸). خشک‌سالی وضعیتی گذرا و برگشت‌پذیر از اقلیم است که بسیاری به‌اشتباه آن را واقعه‌ای تصادفی و نادر می‌پندارند (حمزه نژاد و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۱). این پدیده می‌تواند در تمامی مناطق اقلیمی به وقوع بپیوندد و تنها خصیصه‌های آن از یک منطقه به منطقه دیگر متفاوت باشد (بذرافشان و همکاران، ۱۳۹۵: ۱). این بلای طبیعی در مقایسه با سایر بلای طبیعی هم از نظر شدت و فراوانی و هم از نظر وسعت مکانی و میزان خسارتی که به بار می‌آورد، اهمیت به‌سزایی دارد (مظفری، ۱۳۸۵: ۲). پراکندگی جغرافیایی خشک‌سالی در نواحی جنوبی و شرقی کشور از گستردگی زیادتری نسبت به سایر نقاط کشور برخوردار است و هر چه از بخش‌های جنوبی و شرقی کشور فاصله گرفته شود، شدت و فراوانی خشک‌سالی‌ها نیز کاهش پیدا می‌کند (یزدانی و همکاران، ۱۳۹۲: ۳). آسیب‌پذیری خشک‌سالی مفهوم پیچیده‌ای محسوب می‌شود که شامل محرک‌های بیوفیزیکی و اجتماعی-اقتصادی تأثیر خشک‌سالی است که ظرفیت مقابله با خشک‌سالی را تعیین می‌کند (Smit et al., 1999: 18; Brooks et al., 2005: 4; Adger, 2006: 16; Fussler., 2007: 11). هدف از ارزیابی ریسک خشک‌سالی، شناسایی اقدامات مناسب به‌منظور کاهش آسیب‌های بالقوه می‌باشد. در نتیجه ارزیابی ریسک خشک‌سالی، تصمیم‌سازان می‌توانند خطر را درک کرده و آسیب‌های وارده به بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی و منابع طبیعی را پیش‌بینی نمایند. ارزیابی ریسک خشک‌سالی، بررسی اثرات این پدیده بر روی فعالیت‌های انسانی، سیستم‌های اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی است (زانگ و همکاران، ۱۹۹۷: ۱۲). خشک‌سالی و پیامدهای نامطلوب آن برای منابع طبیعی، تولیدات کشاورزی، توسعه اقتصادی و اجتماعی یکی از چالش‌های اساسی ایران و سایر مناطق مستعد خشک‌سالی است و با توجه به فراوانی وقوع و گستره قابل‌توجه آن، ارائه ساز کارهای جهت‌دار برای مقابله با آن ضروری است (سواری و همکاران، ۲۰۱۹: ۳). خشک‌سالی از نظر تعداد وقوع و همچنین شدت، مدت، گستردگی، تلفات انسانی و آثار منفی تاریخی و اقتصادی در رتبه اول بلایای طبیعی قرار دارد (خانی، ۱۳۸۴: ۲). با توجه به وابستگی پارامترهایی همچون شروع، شدت، تداوم، درجه و پایان خشک‌سالی، به مقیاس زمانی، ارزیابی و مدیریت ریسک خشک‌سالی نیاز به تعیین مقیاس زمانی دارد (McKee et al., 1997: 21). متداول‌ترین راه برای اندازه‌گیری و پایش خشک‌سالی استفاده از شاخص‌های خشک‌سالی است (Chu et al., 1993: 16). تعیین یک شاخص مناسب جهت رصد خشک‌سالی، یکی از اقدامات مهم و اساسی در مطالعه، ارزیابی و برنامه‌ریزی در جهت کنترل وضعیت شرایط است (Barooty et al., 2013: 18). دلایلی از جمله پراکنش زیاد، فراوانی مکانی و زمانی پدیده خشک‌سالی همچنین متعدد بودن پارامترهای تأثیرگذار بر این پدیده، ارائه یک تعریف واحد و جامع را برای خشک‌سالی مشکل ساخته است (Heim., 2002: 11). شاخص‌های خشک‌سالی مقادیر کمی وضعیت را ارائه می‌دهد و درکی از توسعه‌یافتگی یا به‌اصطلاح گسترش خشک‌سالی در منطقه ندارد. بنابراین، نیاز است در یک مطالعه خشک‌سالی علاوه بر استفاده از شاخص‌های مناسب، از روش‌های تقریب استاتیک و عدم وابسته به زمان استفاده شود (عیوضی و همکاران، ۲۰۱۱: ۵). شاخص‌های

خشک‌سالی ابزار مهمی برای پایش و ارزیابی خشک‌سالی هستند و ارتباط دقیقی بین بسیاری از پارامترهای اقلیمی برقرار می‌کنند. اطلاعات به‌دست‌آمده از شاخص‌ها می‌تواند برای برنامه ریزان، طراحان و مدیران منابع آب مفید باشد (هایس، ۲۰۱۰: ۱۴).

قاسمی نژاد و همکاران (۱۳۹۲) جهت ارزیابی ریسک خشک‌سالی در استان اصفهان با استفاده از مدل‌های روش توابع فازی و روش تحلیل ساختار سلسله مراتبی (AHP) به این نتایج دست یافتند که قسمت‌های شمالی استان در ریسک بالای خشک‌سالی قرار دارند. حیدری زادی و همکاران (۱۴۰۱) به ارزیابی خسارت خشک‌سالی در استان ایلام پرداختند. نتایج بیانگر آن است که دو شهرستان در معرض خسارت خشک‌سالی خیلی شدید، چهار شهرستان در معرض خسارت زیاد و چهار شهرستان در معرض خطر خشک‌سالی متوسط و کم قرار دارند. (Bella et al (2006) آسیب‌پذیری به خشک‌سالی در جنوب غربی مجارستان را با استفاده از مجموعه داده‌های خاک، کاربری اراضی، سطح آب زیرزمینی و ژئومورفولوژی منطقه، مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها ابتدا نقشه ترکیب سه پارامتر اصلی بارش، خاک و آب زیرزمینی را تهیه کردند سپس نقشه به‌دست‌آمده را با نقشه کاربری اراضی و نقشه ژئومورفولوژی ترکیب کردند که در نهایت نقشه آسیب‌پذیری به خشک‌سالی به دست آمد. Wu et al (2011) به بررسی ویژگی‌ها فضایی آسیب‌پذیری به خشک‌سالی در چین پرداختند. سه فاکتور نشان‌دهنده آسیب‌پذیری به خشک‌سالی در این تحقیق کاهش رطوبت فصلی محصول، ظرفیت نگهداری آب در خاک و آبیاری در نظر گرفته شد. این مطالعه نشان داد که در مقیاس منطقه‌ای، بخش‌های جنوبی و شرقی چین آسیب‌پذیری کم تا متوسطی به خشک‌سالی دارند در حالی که بالاترین آسیب‌پذیری در بخش‌های شمالی و غربی منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود. (Naumann et al (2014) در بررسی آسیب‌پذیری خشک‌سالی در آفریقا با استفاده از شاخص ترکیبی آسیب‌پذیری خشک‌سالی (DVI) به این نتایج رسیدند که ارتباط مناسبی بین نقشه‌های آسیب‌پذیری خشک‌سالی و تعداد افراد متأثر از خشک‌سالی مشاهده شده است. از دیگر پژوهش‌های صورت گرفته می‌توان به مطالعات (Haro et al (2014) در اریگو اسپانیا، (Zhao et al (2017) رودخانه ویبه در چین، (Tingsanchali et al (2018) در تایلند، (Jiang et al (2018) در چین، (Hou et al (2021) در استان یوننان چین، (Wu et al (2021) در چین اشاره کرد. با توجه به اینکه در سال‌های اخیر خشک‌سالی در استان خراسان رضوی افزایش یافته و اثرات آن بر بخش‌های مختلف اقتصادی و اجتماعی شدت یافته است، ضرورت ارزیابی آسیب‌پذیری دو چندان می‌شود. ارزیابی ریسک خشک‌سالی یک اقدام ضروری برای مقابله با خشک‌سالی و شناخت و درک سطح آسیب‌پذیری می‌شود که در سال‌های اخیر کمتر به آن در استان خراسان رضوی پرداخته شده است. هدف از پژوهش حاضر ۱- تعیین و تحلیل شدت و تداوم دوره‌های خشک و مرطوب با استفاده از شاخص‌های بارش استاندارد (SPI)، شاخص بارندگی (RAI) و شاخص (ZSI)، ۲- تجزیه و تحلیل خطر خشک‌سالی و آسیب‌پذیری با استفاده از چهار شاخص^۱ (DHI)، شاخص^۲ (DEI)، شاخص^۳ (DVI) و شاخص^۴ (DRI) می‌باشد.

روش پژوهش

در مطالعه حاضر پس از بررسی آمار و اطلاعات ۲۲۶ ایستگاه باران‌سنجی و سینوپتیک دریافتی از سازمان هواشناسی

1. Drought hazard index
2. Drought exposure index
3. Drought vulnerability index
4. Drought Risk Index

کشور از آمار بارندگی ۱۷۶ ایستگاه طی دوره آماری مشترک ۷۰ ساله (۱۹۵۰-۲۰۲۰) استفاده شده است. پس از تعیین دوره آماری مشترک، داده‌های هواشناسی با استفاده از نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و نواقص آماری با استفاده از روش تفاضل و نسبت‌ها بازسازی گردید. سپس از شاخص‌های (SPI)، (RAI) و (ZSI)، به منظور تعیین وضعیت خشک‌سالی استان با استفاده از نرم‌افزار DIP استفاده و نقشه پهنه‌های تحت تأثیر خشک‌سالی با استفاده از درون‌یابی در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردید. به منظور کمی‌سازی و تهیه شاخص خطر خشک‌سالی به هر طبقه خشک‌سالی وزن داده می‌شود، به این صورت که به طبقه خشک‌سالی نرمال وزن یک و به خشک‌سالی خیلی شدید که بیشترین خطر را هنگام وقوع ایجاد می‌کند وزن چهار داده می‌شود. سپس نقشه شدت طبقات خشک‌سالی بر اساس مقادیر درصد احتمال وقوع خشک‌سالی به چهار طبقه با استفاده از روش شکست طبیعی^۱ طبقه‌بندی می‌شود. این روش بر اساس یک الگوریتم محاسباتی، سعی در به حداقل رساندن اختلاف بین داده‌ها در هر طبقه و به حداکثر رساندن اختلاف بین طبقات می‌کند. در واقع این الگوریتم برای ایجاد طبقات از متوسط هر دامنه استفاده می‌کند تا توزیع داده‌ها در طول هر دامنه از یکنواختی بیشتر برخوردار باشد (حیدری علمدارلو و همکاران: ۱۳۹۶: ۷). در تحقیق حاضر به منظور ارزیابی خطر و میزان آسیب‌پذیری خشک‌سالی از شاخص‌های مختلف، شاخص خطر خشک‌سالی (DHI)، شاخص مواجهه با خشک‌سالی (DEI)، شاخص آسیب‌پذیری خشک‌سالی (DVI) و شاخص خطر خشک‌سالی ترکیبی (DRI) استفاده و نقشه تغییرات فضایی خطر و آسیب‌پذیری تهیه گردید.

شاخص بارش استاندارد (SPI)

این شاخص برای هر منطقه بر اساس ثبت بارندگی‌های طولانی‌مدت محاسبه می‌شود (جان بزرگی و همکاران: ۱۴۰۰: ۶). روش SPI در هر مقیاس زمانی و مکانی قابلیت تحلیل خشک‌سالی‌ها را دارد. این شاخص اساساً در مقیاس‌های ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه کاربرد دارد (McKee et al., 1993: 28). داده‌های اصلی شاخص فوق در پژوهش را داده‌های بارندگی ماهانه ایستگاه‌های باران‌سنجی تشکیل می‌دهند. پس از اطمینان از همگن و تصادفی بودن داده‌های ماهانه، سری زمانی در بازه‌های زمانی (۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه) تشکیل گردید و سری زمانی آن با توزیع گاما برازش داده می‌شود. در پژوهش حاضر با توجه به برتری تابع توزیع پیرسون تیپ سه (تابع سه پارامتری)، از این توزیع به جای تابع گاما استفاده گردید.

شاخص بارندگی (RAI)

شاخص فوق در ماه‌های گرم و کم باران سال، وضعیت یکنواختی را از شدت خشک‌سالی نشان می‌دهد. در مقایسه با نمایه SPI ۶ و ۱۲ ماهه که توانسته‌اند وضعیت‌های مختلف را در هر سال به خوبی تعیین می‌کنند، این نمایه قادر به بررسی خشک‌سالی در ماه‌های کم باران سال نمی‌باشد. در مقابل هم به علت کاهش شدید باران در فصل گرم سال با رخداد ۱ میلی‌متر بارندگی، وضعیت ترسالی بسیار شدید را نشان می‌دهد که حاکی از عدم توانایی در بررسی ماه‌های کم باران سال توسط این نمایه است (حجازی زاده و همکاران، ۱۴۰۰: ۵). فرمول شاخص فوق بدین صورت است:

$$RAI = \pm 3 \frac{P - \bar{P}}{\bar{E} - P} \quad \text{رابطه (۱)}$$

P: بارندگی واقعی، \bar{P} : بارش میانگین، \bar{E} : میانگین ۱۰ مورد از شدیدترین ناهنجاری‌های مثبت و منفی به دست آمده از

شاخص ناهنجاری بارش. برای ناهنجاری مثبت، پیشوند مثبت است و \bar{E} متوسط ۱۰ مورد بیشترین مقادیر بارش می‌باشد. برای ناهنجاری منفی پیشوند منفی بوده و ۱۰ مورد از کمترین مقادیر بارش محاسبه نشده است.

شاخص نمره Z (ZSI)

شاخص ZSI نیازی به تبدیل داده‌های برازش توزیع‌هایی همچون گاما و یا پیرسون نوع سوم مانند آنچه در SPI انجام می‌گیرد را ندارد (پودینه و همکاران، ۱۳۹۹: ۶). اساس این شاخص انحراف معیار از میانگین نسبت به انحراف معیار اطلاعات آماری می‌باشد و با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌گردد:

$$ZSI = \frac{P_{ij} - \bar{P}}{\sigma_i} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

J: ماه مورد نظر، P_{ij} بارندگی ماه J برای دوره i ، \bar{P} میانگین و انحراف معیار بارندگی در هر مقیاس.

شاخص مخاطره خشک‌سالی DHI

شاخص فوق با استفاده از رابطه ۱ در گام‌های زمانی ۶ و ۱۲ ماهه محاسبه می‌شود.

$$DHI = (MD_r \cup MD_w + (SD_r \cup SD_w) + (VSD_r \cup VSD_w)) \quad \text{(رابطه ۱)}$$

MD_r ، SD_r و VSD_r به ترتیب رتبه‌های داده‌شده به خشک‌سالی نرمال، متوسط، شدید و خیلی شدید هستند و MD_w ، SD_w و VSD_w به ترتیب وزن‌های اعمال‌شده به خشک‌سالی نرمال، متوسط، شدید و خیلی شدید می‌باشند. با توجه به رابطه ۱، شاخص DHI می‌تواند ارزشی بین حداقل ۶ تا حداکثر ۲۴ داشته باشد (حیدری علمدارلو و همکاران، ۱۳۹۶).

شاخص مواجهه با خشک‌سالی (DEI)

شاخص DEI شامل درصد مساحت زمین‌های کشاورزی و تراکم جمعیت کشاورزی است و از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$DEI = \sum_{i=1}^n z_i \frac{1}{n} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

n تعداد شاخص‌های مواجهه با خشک‌سالی است و z_i شاخص‌های استاندارد شده خشک‌سالی است (لی و همکاران، ۲۰۲۱).

شاخص آسیب‌پذیری خشک‌سالی (DVI)

شاخص فوق ارتباط نزدیکی با شرایط اجتماعی-اقتصادی منطقه دارد و شاخص بالقوه‌ای جهت اندازه‌گیری میزان آسیب‌پذیری در برابر خشک‌سالی است (Dabanli et al., 2018: 13).

$$Dvi = \sum_{i=1}^n z_i \frac{1}{n} \quad \text{(رابطه ۳)}$$

n تعداد شاخص‌های آسیب‌پذیری است و z_i شاخص‌های آسیب‌پذیری استاندارد شده می‌باشد.

شاخص خطر خشک‌سالی ترکیبی (DRI)

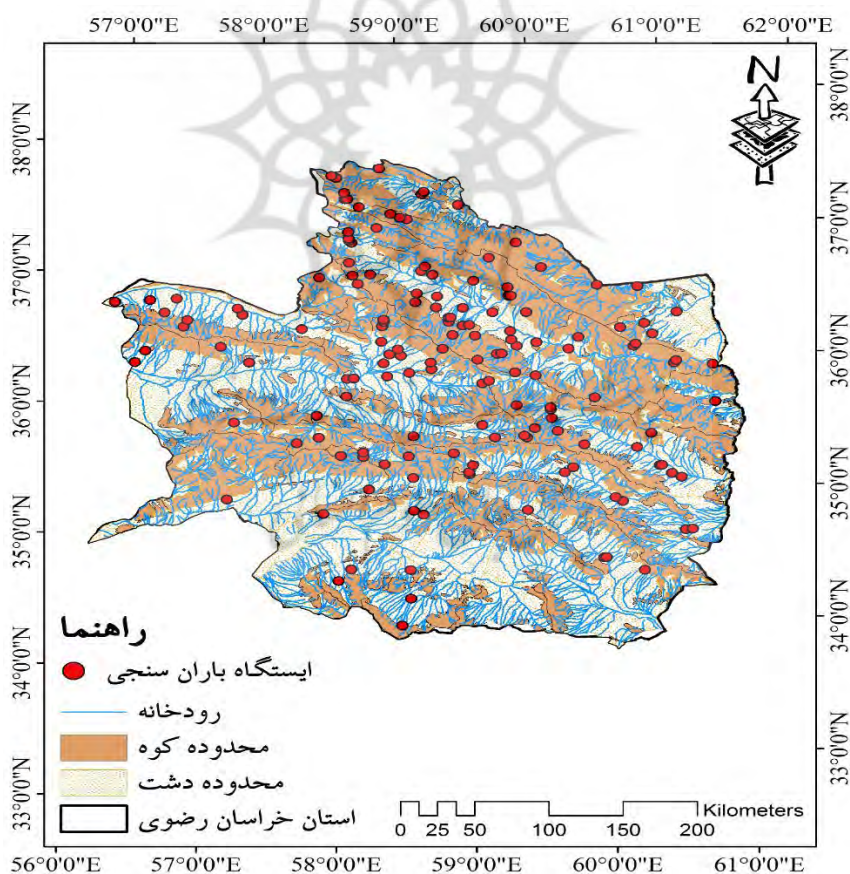
شاخص خطر خشک‌سالی (DRI) به صورت ضرب بین DEI، DHI و DVI محاسبه می‌شود. مقادیر بالای DVI یا DHI منجر به افزایش خطر ناشی از خشک‌سالی می‌شود (Sun et al., 2020: 7).

رابطه ۴)

$$DRI = (DHI + DEI + DVI) / 3$$

محدوده مورد مطالعه

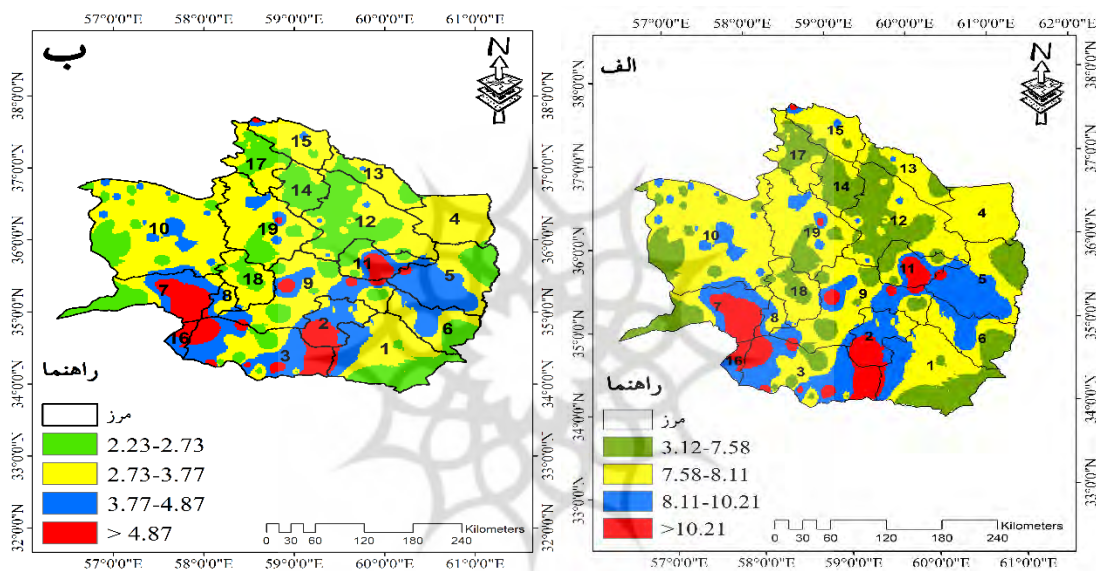
استان خراسان رضوی با وسعت ۱۲۷ هزار کیلومترمربع می‌باشد که بین مدار جغرافیایی 33° و 52° تا 37° و 42° عرض شمالی از خط استوا و 56° و 19° تا 61° و 16° طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است و شامل زیر حوضه ۱ (خواف)، زیر حوضه ۲ (رشتخوار)، زیر حوضه ۳ (گناباد)، زیر حوضه ۴ (سرخس)، زیر حوضه ۵ (تربت جام)، زیر حوضه ۶ (تایباد)، زیر حوضه ۷ (بردسکن)، زیر حوضه ۸ (خلیل آباد)، زیر حوضه ۹ (تربت حیدریه)، زیر حوضه ۱۰ (سبزوار)، زیر حوضه ۱۱ (فریمان)، زیر حوضه ۱۲ (مشهد)، زیر حوضه ۱۳ (کلات)، زیر حوضه ۱۴ (چناران)، زیر حوضه ۱۵ (درگز)، زیر حوضه ۱۶ (فردوس)، زیر حوضه ۱۷ (قوچان)، زیر حوضه ۱۸ (کاشمر) و زیر حوضه ۱۹ (نیشابور) می‌باشد. استان خراسان رضوی از تنوع اقلیمی برخوردار است، اما به‌طور کلی جزو مناطق نیمه‌خشک به شمار می‌رود و بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن نواحی جنوبی استان دارای اقلیم نیمه‌خشک می‌باشد (شکل ۱). بلندترین نقطه استان در ارتفاعات بینالود در شمال نیشابور با ارتفاع ۳۲۱۱ متر از سطح دریا و پست‌ترین نقطه استان، دشت سرخس با ارتفاع ۳۰۰ متر از سطح دریا و در حاشیه مرز ایران و ترکمنستان قرار دارد. میانگین بارش سالیانه مناطق مختلف استان خراسان رضوی بین ۷۵ تا ۳۹۰ میلی‌متر متغیر است (بروغنی و همکاران: ۱۳۹۴: ۳).



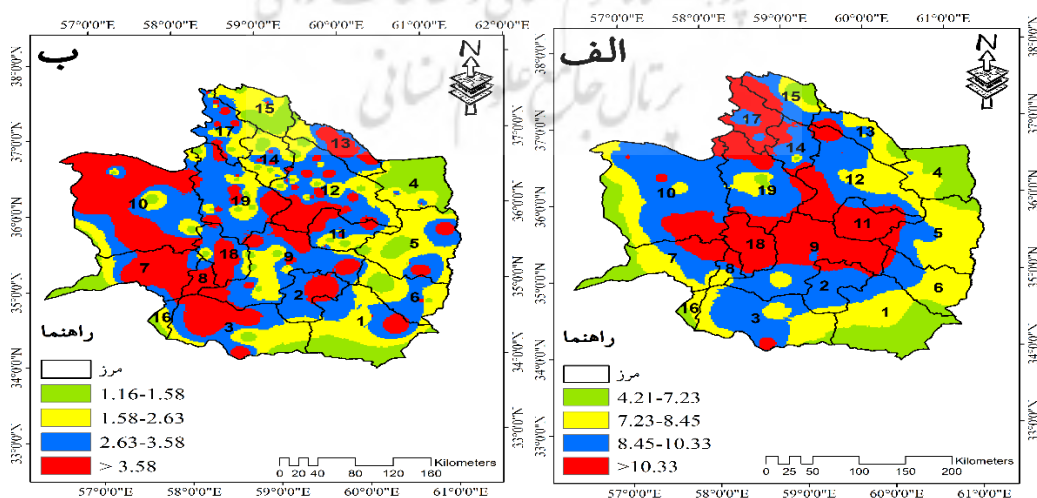
شکل ۱. منطقه مورد مطالعه موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی

یافته‌ها

مقایسه مقادیر شاخص SPI در بازه‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه نشان می‌دهد که در ۵۶ درصد از دوره مطالعاتی، تغییر قابل توجهی در شرایط بارشی رخ داده است. با توجه به اینکه استان خراسان رضوی جزو مناطق کم باران می‌باشد، حتی با وجود ترسالی در سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۲۰ همچنان خشک‌سالی نمود پیدا کرده است. طبقه خشک‌سالی شدید ۲۱ درصد حوضه‌های مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است (شکل ۲ و ۳). شاخص ذکر شده در مقیاس زمانی ۳ و ۶ ماهه در بیشتر سال‌های دوره آماری با اعداد مشابه و نزدیک به صفر مواجه بوده که به دلیل کاهش بارندگی در ماه‌های گرم می‌باشد. اما در مقیاس ۱۲ و ۲۴ ماهه در ماه‌های مختلف سال و حتی ماه‌های خشک و کم بارش عملکرد بهتری را نشان داده است و توانایی ارزیابی و مقایسه شدت خشک‌سالی در ایستگاه‌های مختلف وجود دارد. با توجه به موارد ذکر شده می‌توان نتیجه گرفت که عامل حرارتی و برودتی نقش تعیین‌کننده‌ای در خشک‌سالی دارد.

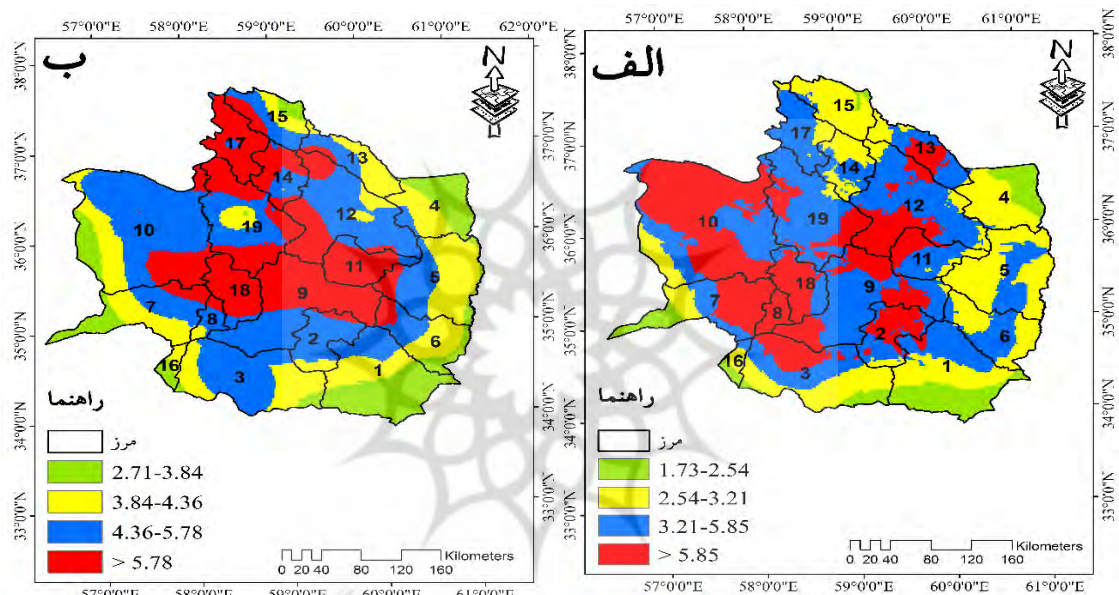


شکل ۲. الف، شاخص SPI در دوره زمانی ۳ ماهه، ب، شاخص SPI در دوره زمانی ۶ ماهه

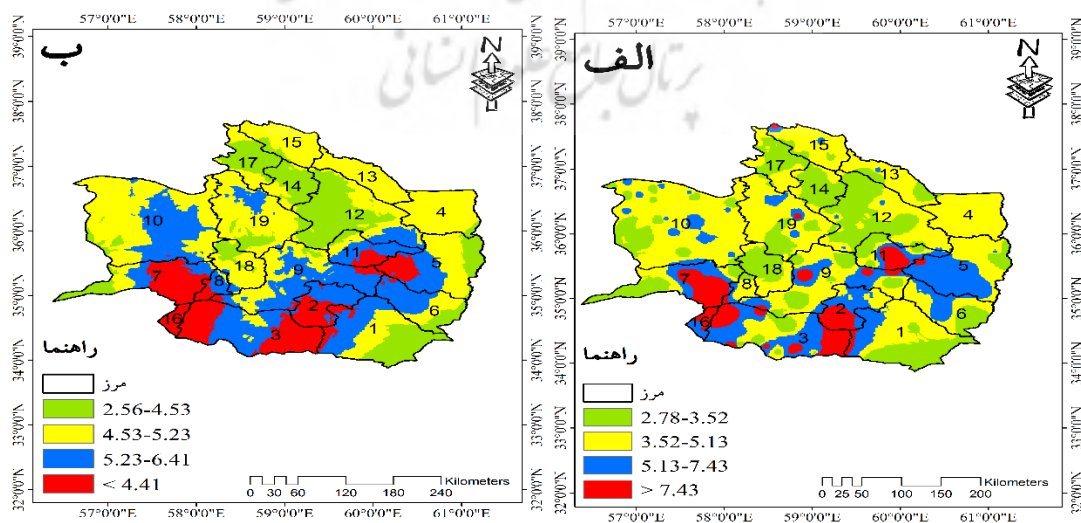


شکل ۳. الف، شاخص SPI در دوره زمانی ۱۲ ماهه، ب، شاخص SPI در دوره زمانی ۲۴ ماهه

مقادیر شاخص RAI در بازه‌های زمانی ۳ و ۶ ماهه بیانگر این مطلب است که در همه ایستگاه‌ها تعداد دوره‌های نرمال، بیشتر از دوره‌های تر و خشک و تعداد رویدادهای خشک بیشتر از رویدادهای تر می‌باشد. دوره‌های خشک و نرمال در ایستگاه‌های منطقه دارای تداوم مختلف هستند، برخی از این دوره‌ها کوتاه‌مدت و برخی بلندمدت هستند که آثار مهمی بر جای می‌گذارند. با بررسی سری زمانی ۱۲ و ۲۴ ماهه می‌توان پی برد که طول دوره خشک، تر و نرمال در کدامیک از حوضه‌ها بیشتر است. توزیع مکانی خشک‌سالی در شمال و شمال غرب استان کمتر و از سمت غرب به شرق و جنوب شرق استان احتمال خشک‌سالی بیشتر می‌شود. توزیع مکانی خشک‌سالی در استان نشان می‌دهد احتمال گذر از حالت خشک به حالت تر در کل استان کمتر از ۵ درصد بوده و روند این حالت نیز از نواحی شمال استان به سمت جنوب حالت افزایشی دارد. حوضه‌های شمال و شمال شرق شانس بیشتری از نظر گذر از حالت خشک به تر را دارا می‌باشد. احتمال ماندن در وضعیت خشک‌سالی در نواحی مرکزی، جنوبی و جنوب شرق استان بیشتر از نواحی شمالی استان می‌باشد و بیش از ۶۰ درصد استان در حالت خشک‌سالی بسر می‌برد (شکل ۴ و ۵).

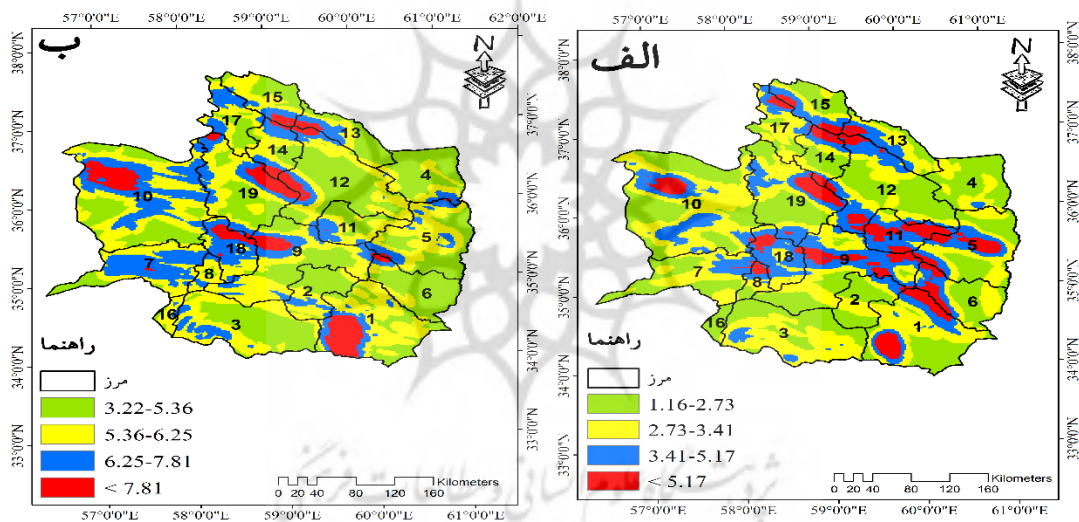


شکل ۴. الف، شاخص RAI در دوره زمانی ۳ ماهه شکل ۴. ب، شاخص RAI در دوره زمانی ۶ ماهه

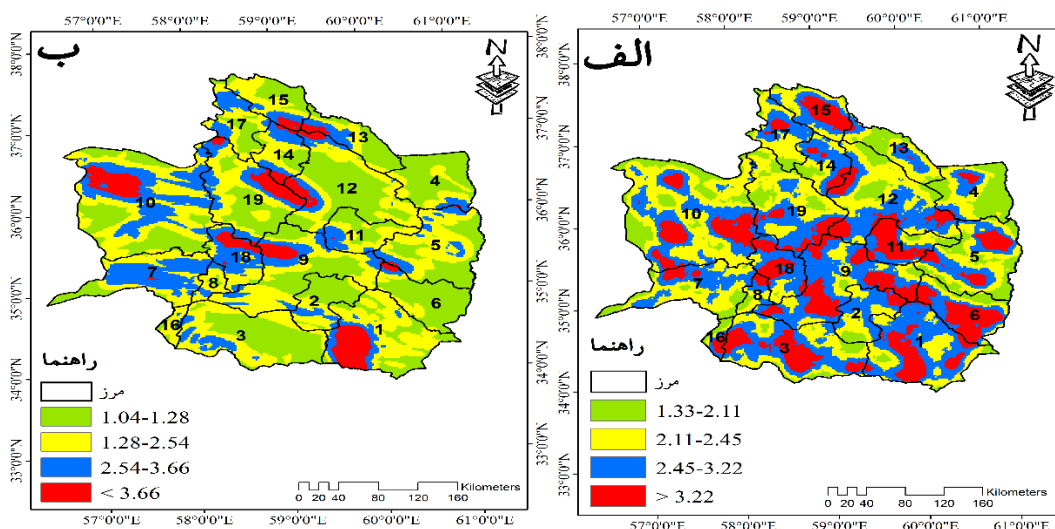


شکل ۵. الف، شاخص RAI در دوره زمانی ۱۲ ماهه شکل ۵. ب، شاخص RAI در دوره زمانی ۲۴ ماهه

مقادیر شاخص ZSI در دوره‌های زمانی ۳ و ۶ ماهه نشان‌دهنده آن است که شدت خشک‌سالی و فراوانی خشک‌سالی در مناطق شمالی و شرقی بیشتر از مناطق غربی استان است. به عبارت دیگر، مناطق مختلف استان استعداد متفاوتی نسبت به خشک‌سالی دارند. بر اساس نتایج پراکندگی فراوانی نسبی طبقات خشک‌سالی‌های شدید بازه ۳ ماهه از یک الگوی مداری (عرض جغرافیایی) تبعیت می‌کند. بیشترین فراوانی خشک‌سالی‌ها در محدوده جنوب و جنوب غرب مشاهده می‌شود که مقدار آن به ۵۸ درصد می‌رسد. در نواحی جنوبی و شرقی استان فراوان‌ترین درصد خشک‌سالی مشاهده شده و این مناطق دچار خشک‌سالی بسیار شدید شده‌اند. در بازه زمانی ۱۲ و ۲۴ ماهه نواحی شمال و شمال غرب استان تعداد بسیار کمی از خشک‌سالی‌های بسیار شدید را تجربه کرده‌اند و روند تغییرات خشک‌سالی‌های شدید از الگوی خشک‌سالی‌های بسیار شدید تبعیت می‌کند. در این بازه زمانی قسمت‌های مرکزی خشک‌سالی‌های بیشتری را تجربه کرده در صورتی که فراوانی بیشتر خشک‌سالی‌های متوسط به شمال استان محدود شده است. در واقع در بازه ۲۴ ماهه حوضه‌های غربی استان مدت‌زمان بیشتری با خشک‌سالی مواجه بوده‌اند، به عبارت دیگر شرایط اقلیمی استان از نظر بارش دچار نوسانات بیشتری می‌باشد. خشک‌سالی‌های ملایم عمدتاً در نواحی شمالی استان مشاهده می‌شوند (شکل ۶ و ۷).



شکل ۶. الف، شاخص ZSI در دوره زمانی ۳ ماهه شکل ۶. ب، خشک‌سالی شاخص ZSI در دوره زمانی ۶ ماهه



شکل ۷. الف، شاخص ZSI در دوره زمانی ۱۲ ماهه شکل ۷. ب، شاخص ZSI در دوره زمانی ۲۴ ماهه

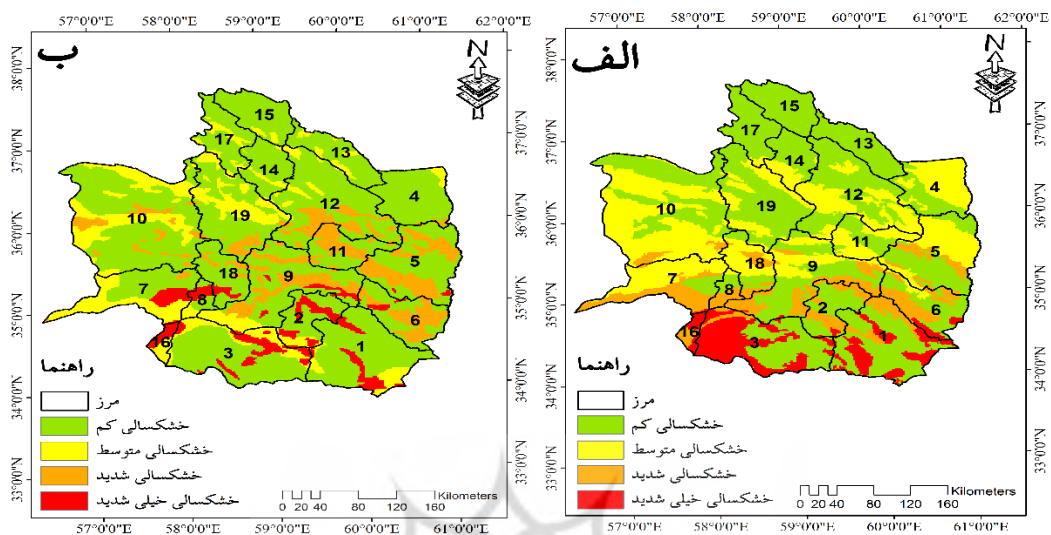
با توجه به جدول ۱ شاخص خشک‌سالی برای هر سال محاسبه و مقدار شاخص خشک‌سالی ترکیبی تهیه می‌شود. سپس احتمال وقوع برای هر پیکسل به‌طور مشابه برای هر زیر حوضه به دست آمد و پس‌از آن فراوانی طبقات خشک‌سالی محاسبه می‌شود و با تقسیم فراوانی وقوع خشک‌سالی در هر طبقه خشک‌سالی در تمامی موارد احتمالی خشک‌سالی، احتمال وقوع به دست می‌آید. احتمال وقوع با استفاده از روش شکست طبیعی به چهار درجه طبقه‌بندی می‌شود (پورطاهری و همکاران، ۲۰۱۳: ۱۱، ۱۸؛ Kim et al., 2015).

جدول ۱. وزن و رتبه اعمال شده به طبقات شدت خشک‌سالی

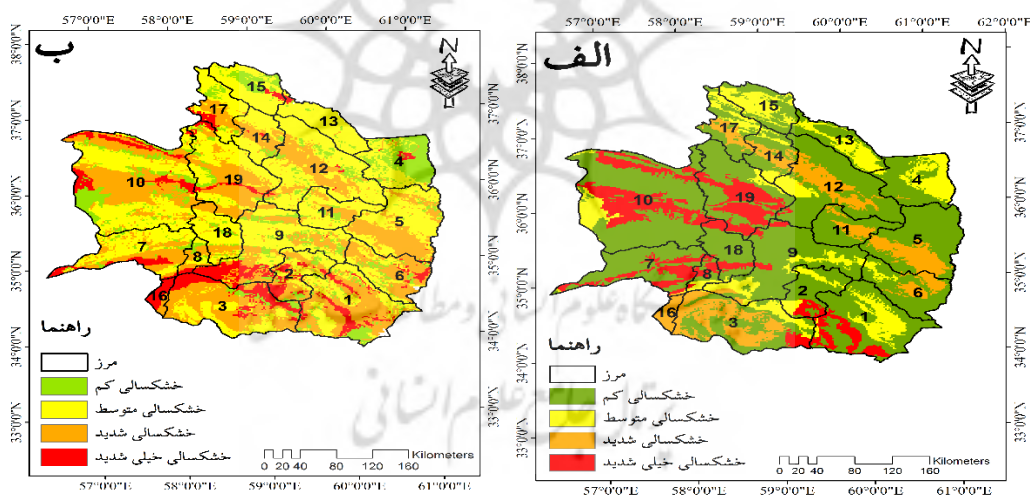
رتبه	درصد احتمال وقوع	وزن	شدت
۱	$7/58 \leq$	۱	کم
۲	$7/58 - 8/25$		
۳	$8/25 - 10/23$		
۴	$10/23 \geq$		
۱	$2/78 \geq$	۲	متوسط
۲	$2/78 - 4/41$		
۳	$4/41 - 5/63$		
۴	$5/63 \leq$		
۱	$3/52 \geq$	۳	شدید
۲	$3/52 - 5/44$		
۳	$7/81 - 5/44$		
۴	$7/81 \leq$		
۱	$2/69 \leq$	۴	خیلی شدید
۲	$2/69 - 2/81$		
۳	$4/63 - 2/81$		
۴	$4/63 \geq$		

اشکال (۸ و ۹) نقشه احتمال وقوع خشک‌سالی‌های کم، متوسط، شدید و خیلی شدید برای گام‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه ۲۴ ماهه نمایش می‌دهد. با توجه به نقشه خطر خشک‌سالی DHI احتمال وقوع خشک‌سالی خیلی شدید ۳ ماهه در

مناطق جنوب غربی (حوضه‌های خلیل‌آباد، فردوس و گناباد) کمتر و همچنین بخش‌هایی از مرکز (حوضه‌های تربت‌حیدریه و کاشمر) و شرق استان (حوضه‌های سرخس، تربت‌جام و تایباد) در معرض خشک‌سالی خیلی شدید قرار دارد.



شکل ۸. الف، ارزیابی مخاطره خشک‌سالی شاخص DHI شکل ۸ ب، ارزیابی مواجهه خشک‌سالی شاخص DEI



شکل ۹. الف، ارزیابی آسیب‌پذیری خشک‌سالی شاخص DVI شکل ۹ ب، ارزیابی ریسک خشک‌سالی شاخص DRI

جهت بررسی بین شاخص‌های ریسک خشک‌سالی از ضریب همبستگی استفاده شده است. نتایج ضرایب همبستگی آماری برای شاخص‌های خشک‌سالی در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد زوج شاخص‌ها ضریب همبستگی بسیار بالایی دارند به جز شاخص DEI که با شاخص‌های دیگر رابطه همبستگی ضعیفی دارد.

جدول ۲. نتایج ضرایب تعیین (R^2) شاخص‌های ارزیابی ریسک خشک‌سالی

شاخص	R^2
DHI	۰/۹۳
DEI	۰/۶۳
DVI	۰/۷۹
DRI	۰/۸۱

بحث

کمینه شاخص RAI در مقیاس ماهانه در فصل گرم سال در تمام ایستگاه‌های موردبررسی نزدیک به یک است که نشانگر عدم وقوع بارندگی در حوضه‌های جنوبی و مرکزی استان می‌باشد. به عبارتی کثرت مقادیر یک سبب شباهت سال‌های آماری از نظر شدت خشک‌سالی گردیده است که با نتایج پژوهش‌های اصغری کلشانی و همکاران (۱۴۰۰)، میر یعقوب زاده و همکاران (۱۳۹۸) و منتصری و همکاران (۱۳۹۵) مطابقت دارد. با بررسی نتایج حاصل از شکل‌های ۶ و ۷ می‌توان نتیجه گرفت که نیمه شمالی استان کمتر دچار بحران بوده و خشک‌سالی ملایم و نواحی جنوبی و مرکزی بحران‌های خشک‌سالی شدید را تجربه کرده‌اند. نمایه ZSI توانایی بررسی خشک‌سالی در ماه‌های سرد و مرطوب سال را دارد اما در ماه‌های خشک به دلیل تشابه اعداد و برخورد با عدد صفر توانایی پایش خشک‌سالی را ندارد. نمایه فوق در بیشتر سال‌های دوره آماری طی ماه‌های کم باران خشک‌سالی بسیار شدید را نشان داده است و در ماه‌های پر باران توانسته تمامی رده‌های خشک‌سالی و ترسالی را نشان دهد که نشان از کارایی شاخص در فصول مرطوب سال است. تحقیق حاضر با پژوهش‌های جهان تیغ و همکاران (۱۳۹۸)، حجازی زاده و همکاران (۱۴۰۰)، بالویی (۱۴۰۰) مطابقت دارد. با توجه به شکل ۸ احتمال وقوع خشک‌سالی شدید ۶ ماهه در نواحی شرقی (حوضه‌های تربت‌جام و تایباد) بیش‌تر از سایر نواحی می‌باشد. همچنین نتایج حاصل از بررسی خشک‌سالی متوسط ۱۲ ماهه نشان می‌دهد که در مناطق جنوب غرب (حوضه بردسکن) و شمال شرقی (حوضه‌های درگز و سرخس) احتمال وقوع خشک‌سالی متوسط بیش‌تر می‌باشد و هر چه به طرف بخش مرکزی (حوضه‌های کاشمر و خلیل‌آباد) پیش می‌رویم این احتمال افزایش می‌یابد. ارزیابی خطر خشک‌سالی DEI نشان می‌دهد که خشک‌سالی شدید ۱۲ ماهه به‌طور کلی شامل نواحی شرقی (حوضه‌های تربت‌جام و تایباد) و جنوب شرقی (حوضه‌های خواف و رشت‌خوار) است و دارای بیشترین احتمال وقوع خشک‌سالی و نواحی شمال غربی (حوضه‌های قوچان و چناران)، شمال شرقی (حوضه‌های کلات و سرخس) تا قسمت‌هایی از مرکز (حوضه‌های مشهد و فریمان) دارای کمترین احتمال وقوع خشک‌سالی شدید ۱۲ ماهه هستند. همچنین قسمت‌های پراکنده‌ای از شمال غرب تا جنوب شرق دارای بیش‌ترین احتمال و قسمت‌های غرب و شرق تا شمال شرق دارای کمترین احتمال وقوع خشک‌سالی متوسط ۱۲ ماهه هستند. توزیع مکانی شاخص ذکرشده در گام زمانی ۶ ماهه نشان می‌دهد که قسمت‌هایی از شرق به طرف مرکز و جنوب شرق دارای بیش‌ترین و قسمت‌های غرب و جنوب غرب دارای کمترین مقدار شاخص خطر خشک‌سالی ۶ ماهه هستند. در بازه زمانی ۳ ماهه تقریباً درصد زیادی از کل استان در طبقه‌های خطر شدید و خیلی شدید قرار گرفته و کمترین درصد مساحت نیز مربوط به طبقه خطر کم می‌باشد. در گام زمانی ۲۴ ماهه شرق تا غرب و همچنین قسمت‌هایی از جنوب غرب و مرکز دارای بیشترین خطر خشک‌سالی و قسمت‌های شمال استان دارای خطر خشک‌سالی متوسط ۲۴ ماهه هستند. توزیع مکانی شاخص (DVI) در گام زمانی ۳ ماهه نشان می‌دهد که قسمت‌هایی از شمال استان به طرف شمال شرق دارای بیش‌ترین و قسمت‌های غرب و جنوب غرب دارای کمترین مقدار شاخص خطر خشک‌سالی ۳ ماهه هستند. توزیع مکانی شاخص خطر خشک‌سالی در گام زمانی ۱۲ ماهه نشان می‌دهد از

غرب تا شرق دارای بیشترین خطر و نیز قسمت‌های شمال شرقی منطقه دارای کمترین خطر خشک‌سالی ۱۲ ماهه هستند. بر اساس درصد وقوع خشک‌سالی در گام زمانی ۲۴ ماهه، بخش‌های جنوبی و شرقی استان بیشترین درصد وقوع خشک‌سالی متوسط را نشان می‌دهد. ارزیابی شاخص (DRI) حاکی از آن است که بیشترین درصد وقوع خشک‌سالی شدید در بخش جنوب و شرق استان وجود دارد و کمترین درصد وقوع خشک‌سالی شدید در قسمت غرب دیده می‌شود. به‌طور کلی مناطق مستعد نسبت به وقوع خشک‌سالی بسیار شدید عمدتاً در قسمت مرکزی استان متمرکز شده است و مناطق غرب و شمال شرق استان به خشک‌سالی شدید استعداد زیادی دارند. مناطق جنوب غربی استان نیز به خشک‌سالی متوسط مستعدتر از سایر مناطق است. بر اساس نتایج کمترین ریسک خشک‌سالی در غرب و شمال استان و بیشترین آن در قسمت‌های شرقی و جنوب شرقی مشاهده می‌شود. از تحلیل نتایج به دست آمد که میزان ریسک خشک‌سالی در استان خراسان رضوی تابعی از تغییرات اقلیمی می‌باشد. در بازه زمانی ۱۲ ماهه حدود ۷۸ درصد مساحت استان در طبقه ریسک بالا و متوسط قرار دارد، یکی از دلایل این امر وجود تعداد زیاد شاغلین بخش کشاورزی در این مناطق می‌باشد. حوضه‌های شمال با وجود تراکم زیاد جمعیتی، ریسک پایین خشک‌سالی را نشان می‌دهد که به دلیل وجود هسته بیشینه نرمال در این بخش می‌باشد. حوضه‌های مرکز، شرق و جنوبی استان نیز به‌واسطه تعداد زیاد شاغلین بخش کشاورزی ریسک بالایی را نشان می‌دهد، به‌طور کلی در حوضه‌هایی که فعالیت‌های کشاورزی انجام می‌شود بیشتر در معرض خطر خشک‌سالی قرار دارند. نقشه شاخص آسیب‌پذیری خشک‌سالی نشان می‌دهد که حوضه‌های مرکزی و شرقی بیشترین آسیب‌پذیری را نسبت به خشک‌سالی دارند که به دلیل وابستگی شدید به فعالیت‌های کشاورزی است و به دلیل شرایط نامناسب اجتماعی-اقتصادی سازگاری بیشتری با خشک‌سالی دارد. در مقابل، حوضه‌هایی که از لحاظ خشک‌سالی کمتر آسیب‌پذیر می‌باشند در مناطق شمال و شمال غرب قرار دارند که از لحاظ اقتصادی توسعه‌یافته می‌باشند. در بازه زمانی ۱۲ ماهه نیمه جنوبی استان زمان‌های بیشتری دچار خشک‌سالی بوده، به‌عبارت‌دیگر شرایط اقلیمی استان از نظر بارش دچار نوسانات بیشتری شده است. پراکندگی فراوانی طبقات خشک‌سالی‌های بازه ۳ ماهه در نواحی شمالی مشاهده می‌شود. نواحی خشک جنوبی بیشترین خشک‌سالی‌های بسیار شدید را تجربه نموده‌اند به‌گونه‌ای که در این نواحی در بازه زمانی ۲۴ ماهه دچار خشک‌سالی بسیار شدید شده‌اند زیرا کمبود بارندگی و وقوع خشک‌سالی نیز با ارتفاعات منطقه مورد مطالعه مرتبط می‌باشد و به علت برخورداری از زمین‌های کشاورزی وسیع، آسیب‌پذیری بسیار بالایی در برابر رویدادهای خشک‌سالی دارند. نواحی شمالی نیز به دلیل تراکم جمعیت آسیب‌پذیری بالایی دارد. ویژگی مشترک شهرستان‌های با آسیب‌پذیری کم تا متوسط را می‌توان به زمین‌های کشاورزی و تولید محصولات کشاورزی نسبت داد.

نتیجه‌گیری

خشک‌سالی یکی از بلاهای طبیعی ناشی از فرآیندهای آب و هوایی است که از فراوانی و گستردگی قابل‌ملاحظه‌ای برخوردار است. جهت ارزیابی خشک‌سالی در منطقه مطالعاتی از سه شاخص بارش استاندارد (SPI)، شاخص بارندگی (RAI) و شاخص (ZSI) در چهار دوره ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه و جهت ارزیابی خطر خشک‌سالی از چهار شاخص خطر خشک‌سالی (DHI)، (DEI)، (DVI) و (DRI) استفاده گردید. نتایج استفاده از شاخص‌های خشک‌سالی نشان می‌دهد که این سه شاخص برای تعیین دوره‌های خشک‌سالی تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند ولی شاخص ZSI با

آن‌ها تفاوت فاحشی در روند دارد که احتمالاً به دلیل در نظر گرفتن میانه داده‌ها به جای میانگین آن‌ها باشد که با نتایج مطالعه کریمی و همکاران (۲۰۱۰) مبنی بر همبستگی پایین این شاخص با دیگر شاخص‌های خشک‌سالی، مطابقت دارد. ارزیابی ریسک با شاخص خطر خشک‌سالی DHI نشان داد که خشک‌سالی بسیار شدید (۳۸ درصد) به شرق، مرکز و جنوب استان اختصاص دارد و بقیه حوضه‌های استان کمتر از ۲۱ درصد دوره خشک‌سالی شدید را تجربه کرده‌اند. شاخص خطر خشک‌سالی DEI نشان می‌دهد که خشک‌سالی در قسمت‌های جنوب، شمال شرق، جنوب شرق و جنوب غرب بیش از ۱۸ درصد می‌باشد و مناطق شمالی استان بیشتر از ۶۰ درصد کل دوره خشک‌سالی متوسط را تجربه کرده‌اند. با توجه به شاخص DVI خشک‌سالی‌های بسیار شدید در مرکز و جنوب استان مشاهده می‌شود. سپس شرق، جنوب شرق، مرکز و شمال شرق قرار دارد که حداکثر خشک‌سالی‌های بسیار شدید در کل دوره ۳۶ درصد است. بیشتر حوضه‌های استان خشک‌سالی کمتر از ۱۰ درصد را تجربه کرده‌اند و از لحاظ پهنه‌بندی فضایی پهنه یکنواختی را نشان می‌دهند. خشک‌سالی‌های کم به‌طور عمده در نواحی شمال و شمال غربی مشاهده می‌شوند که به دلیل وجود هسته بیشینه نرمال در این بخش می‌باشد. نتیجه شاخص DRI نشان می‌دهد قسمت‌های جنوبی، شرقی و مرکزی استان خشک‌سالی بسیار شدید را تجربه کرده‌اند و حوضه‌های شمال غرب کمترین خشک‌سالی را داشته‌اند. ضریب همبستگی بین شاخص‌های خشک‌سالی در هر چهار بازه زمانی نشان می‌دهد که ضریب همبستگی در شاخص DHI در سطح یک درصد معنادار می‌باشند. بنابراین با توجه به پهنه‌بندی مکانی بازه‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که شرق، شمال شرق، جنوب شرق و مرکز استان بیشترین خشک‌سالی‌های شدید و متوسط را داشته‌اند. بنابراین پژوهش در پایش و تحلیل خشک‌سالی برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب در بخش‌های مختلف به‌خصوص در مناطق خشک ضروری می‌باشد. به‌طور کلی نتایج حاصل از ارزیابی ریسک خشک‌سالی استان خراسان رضوی نشان داد که بخش زیادی از مساحت استان در طبقه ریسک بالا خشک‌سالی قرار می‌گیرد.

پیشنهادها

از جمله اقداماتی که می‌توان برای کاهش ریسک خشک‌سالی انجام داد می‌توان به کشت گیاهان مقاوم در برابر خشک‌سالی و شوری، استفاده از روش پیش - آبیاری عمیق برای ذخیره رطوبت، بهبود عملیات بهره‌برداری و نگهداری تأسیسات آب، استفاده از شیوه‌های نوین آبیاری و مصرف بهینه آب بر اساس نیاز گیاه، پخش سیلاب و تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی، جلوگیری از حفر چاه‌های غیرمجاز و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، پخش سیلاب و تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی، ذخیره نزولات آسمانی با احیای سیستم‌های سنتی سطوح آبرگیر باران و مهار سیلاب به کمک سدهای کوتاه و متوسط اشاره نمود.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از اداره کل هواشناسی استان خراسان رضوی و اداره جهاد کشاورزی سبزوار بابت حمایت‌های معنوی و ارائه اطلاعات موردنیاز تقدیر تشکر می‌نمایند. ضمناً مقاله حاضر حامی مالی نداشته است.

منابع

اختیاری خواجه، شیوا، نگهبان خواجه، فهیمه و دین‌پژوه، یعقوب. (۱۳۹۸). مقایسه عملکرد پایش خشک‌سالی با شاخص‌های تک معرفه و چند معرفه (مطالعه موردی: ایستگاه‌های هواشناسی مختلف ایران). نشریه علوم آب‌و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۳ (۲)، ۴۴۶-۴۴۶

۴۳۳. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.24763594.1398.23.2.17.5>

- اصغری کلشانی، فاطمه و ستاریان اصیل، کتابون. (۱۴۰۰). بررسی تطبیقی شاخص SSI و RAI در غرب حوزه آبخیز ارومیه در سال ۱۳۹۸ با استفاده از GIS. *نشریه علمی دانشجویی حفاظت آب، خاک و هوا (انجمن علمی دانشجویی اکوهیدرولوژی دانشگاه تهران)*، ۱(۲)، ۳۸-۴۶.
- انصاری، حسین و داوری، کامران. (۱۳۸۶). پهنه‌بندی دوره‌های خشک‌سالی با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد در محیط جی ای اس، (استان خراسان). *نشریه پژوهش‌های جغرافیایی موسسه جغرافیایی دانشگاه تهران*، ۳۹(۶۰)، ۹۷-۱۰۸.
- بالویی، فاطمه. (۱۴۰۰). پهنه‌بندی و پایش مکانی و زمانی خشک‌سالی هواشناسی استان ایلام با استفاده از شاخص ZSI و CZI. *سومین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت محیط‌زیست*.
- بذرافشان، ام‌البین؛ محمودزاده، فوزیه و بذرافشان، جواد (۱۳۹۵). ارزیابی روند تغییرات خشک‌سالی بر اساس شاخص بارش استاندارد شده و شاخص تبخیر - تعرق استاندارد شده در سواحل جنوبی ایران. *مدیریت بیابان*، ۴(۸)، ۶۹-۵۴. <https://doi.org/10.22034/jdmal.2017.24662>
- بروغنی، مهدی؛ مرادی، حمیدرضا و زنگنه اسدی، محمدعلی. (۱۳۹۴). پهنه‌بندی و تعیین بهترین شاخص خشک‌سالی در استان خراسان رضوی. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۵(۱۹)، ۷۰-۸۴.
- پودینه، محمدرضا؛ حیدری نیا، محمد؛ موسوی، سید روح‌الله و دوستی مقدم، حسین. (۱۳۹۹). پایش شاخص‌های خشک‌سالی در شهر زاهدان در بازه‌های زمانی مختلف. *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، ۱۳(۴۷)، ۱۳۳-۱۳۳. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085656.1399.13.47.8.0>
- پورطاهری، مهدی، رکن‌الدین افتخاری، عبدالرضا و کاظمی، نسربین. (۱۳۹۲). نقش رویکرد مدیریت ریسک خشک‌سالی در کاهش آسیب‌پذیری اقتصادی - اجتماعی کشاورزان روستایی (از دیدگاه مسئولان و کارشناسان) مطالعه موردی: دهستان سولدوز، آذربایجان غربی. *فصلنامه پژوهش‌های روستایی*، ۴(۱)، ۲۲-۱. <https://doi.org/10.22059/jrur.2013.31969>
- جهان تیغ، حسین؛ امیر اسماعیلی، وحید رضا و داوری، ابوالفضل. (۱۳۹۸). ارزیابی و مدیریت خشک‌سالی. *فصلنامه جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای*، ۹(۳۷)، ۳۱۳-۳۲۷. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.22286462.1398.10.37.17.6>
- حمزه‌نژاد، سولماز؛ همدی، نرگس؛ نظرنژاد، حبیب و خرمی، کیوان. (۱۳۹۷). پهنه‌بندی خشک‌سالی حوزه آبخیز قره‌سو با استفاده از شاخص SPI و IDW. *سیندزهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری و سومین همایش ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط‌زیست*. ۱۰ و ۱۱ مهر ۱۳۹۷، دانشگاه محقق اردبیلی.
- حیدری علمدارلو، اسماعیل؛ نسب پور، سحر و کشتکار، حمیدرضا. (۱۳۹۶). داده‌کاوی احتمال وقوع خشک‌سالی در ایران. *نشریه مدیریت بیابان*، ۵(۹)، ۱-۱۴. <https://doi.org/10.22034/jdmal.2017.27856>
- حیدریزادی، زاهده؛ اوقن، مجید و بایرام کمکی، چوقی. (۱۴۰۱). ارزیابی خسارت خشک‌سالی با استفاده از شاخص‌های ماهواره‌ای خشک‌سالی و فاکتورهای آسیب‌پذیری (مطالعه موردی: استان ایلام). *نشریه علمی تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۲۹(۴)، ۵۴۲-۵۶۱. [Doi:10.22092/ajdr.2022.128077](https://doi.org/10.22092/ajdr.2022.128077)
- خانی، مهدی. (۱۳۸۴). نگاهی کلی به مدیریت ریسک و لزوم آن در مدیریت خشک‌سالی. *مجله عمران شریف*، ۳۴، ۵۸-۶۰.
- زارع ایبانه، حمید؛ محبوبی، علی‌اصغر و نیشابوری، محمدرضا. (۱۳۸۳). بررسی وضعیت خشک‌سالی و روند آن در منطقه همدان بر اساس شاخص‌های آماری خشک‌سالی. *مجله پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی*، ۶۴، ۳-۷.
- عیوضی، معصومه و مساعدی، ابوالفضل. (۱۳۹۰). پایش و تحلیل مکانی خشک‌سالی هواشناسی در سطح استان گلستان با استفاده از روش‌های زمین‌آمار. *نشریه مرتع و آبخیزداری*، *مجله منابع طبیعی ایران*، ۱(۶۴)، ۷۸-۶۵.
- قاسمی نژاد، سعیده؛ سلطانی، سعید و سفیانیان، علیرضا. (۱۳۹۲). ارزیابی ریسک خشک‌سالی استان اصفهان. *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، *علوم آب‌و خاک*، ۱۸(۶۸)، ۲۱۳-۲۲۵. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.24763594.1393.18.68.19.4>
- کریمی، ولی‌الله، حبیب نژاد روشن، محمود و آبکار، علیجان. (۱۳۹۰). بررسی شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی در ایستگاه‌های سینوپتیک مازندران. *فصلنامه مهندسی آبیاری و آب*، ۲(۵)، ۲۵-۱۵.
- مظفری، غلامعلی. (۱۳۸۵). عدم تطابق خشک‌سالی هواشناسی و خشک‌سالی هیدرولوژیکی در دو حوزه آبریز همجوار در دامنه شمالی شیرکوه یزد. *برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، ۱(۱)۱۰، ۱۹۰-۱۷۳.
- منتصری، مجید؛ امیر عطایی، بابک و خلیلی، کیوان. (۱۳۹۵). تحلیل روند تغییرات زمانی و مکانی دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی شمال غرب کشور بر اساس دو شاخص خشک‌سالی SPI و RAI. *نشریه آب‌و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۲، ۶۵۵-۶۷۱. <https://doi.org/10.22067/jsw.v30i2.39679>
- وخشوری، علی؛ جعفرپور، زین‌العابدین و کردوانی، پرویز. (۱۳۹۶). تعیین مناسب‌ترین شاخص برای خشک‌سالی‌های مناطق بارشی ایران. *فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای*، ۷(۲۸)، ۲۰۱-۲۰۱. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.22516735.1396.7.28.16.5>
- یزدانی، وحید؛ داوری، کامران؛ قهرمان، بیژن و زارع ایبانه، حمید. (۱۳۹۲). اعتبارسنجی چهار نمایه خشک‌سالی هواشناسی بر اساس حلقه‌های رشد درختان غیرمثمر (مطالعه موردی مشهد). *مهندسی منابع آب*، ۲۳، ۱۲-۰۱. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20086377.1392.6.18.2.2>

میر یعقوب زاده، میرحسین؛ خسروی، سید امین و ذبیحی، مصطفی. (۱۳۹۸). مروری بر شاخص‌های خشک‌سالی و بررسی عملکرد آن‌ها. نشریه آب و توسعه پایدار، ۶(۱)، ۱۰۳-۱۱۲. Doi:10.22067/jwsd.v6i1.74428

References

- Adger, W. N. (2006). Vulnerability, *Global Environ. Change*, 16, 268–281.
- Ansari, H., & Davari, K. (2007). Zoning of drought periods using standard rainfall index in GAS environment, (Khorasan province). *Journal of Geographical Researches of Geographical Institute of Tehran University*, 108, 60-97. [In Persian].
- Asghari kaleshani, F., & Sataryan Asil, K. (2021). Comparative study of SSI and RAI index in the west of Urmia watershed in 2019 by using of GIS. *Student Scientific Journal of Water, Soil and Air Protection*. 2, 38-46. [In Persian].
- Baloei, F. (2021). The third national conference on environmental engineering and management. Article code EEMCONF03_015, 8-1. [In Persian].
- Bazrafshan, J., Mahmudzadeh, F., Bazrafshan, O. (2017). Evaluation of temporal trends of the SPI and SPEI drought indices in the Southern Coast of Iran. *Desert Management*, 8, 54-69. <https://doi.org/10.22034/jdmal.2017.24662> [In Persian].
- Bella, S. Z., & Nemath, A. (2006). Application of gis tools: drought vulnerability in Somogy county, Hungary. In: *2nd Gottingen gis and remote sensing Gottingen, Portugal*.
- Boroghani, M., Moradi, H. R., Zanghaneh Asadi, M. A. (2015). Zoning and determination of the best drought index in Razavi Khorasan province. *Geographical studies of dry areas*, 5, 70-84. [In Persian].
- Brooks, N., Neil Adger, W., Mick Kelly, P. (2005). The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environ. Change*, 15, 151– 163. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.12.006>
- Chu, P. S., Nash, A. J., Porter, F.Y. (1993). Diagnostic studies of two contrasting rainfall episodes in Hawaii: Dry 1981 and wet 1982. *Journal of Climate*, 6 (7), 1457-1462. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1993\)006<1457:DSOTCR>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1993)006<1457:DSOTCR>2.0.CO;2)
- Dabanli, I. (2018). Drought Risk Assessment by Using Drought Hazard and Vulnerability Indexes. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.* <https://doi.org/10.5194/nhess-2018-129>.
- Eivazi, M., & Mosaedi, A. (2011). Monitoring and spatial analysis of meteorological drought in Golestan Province using geostatistical methods. *Journal of Range and Watershed Management*, 64 (1), 65-78. [In Persian].
- Ekhtiary Khajeh, S., Negahban, F., Dinpashoh, Y. (2019). Comparing univariate and multivariate indices in drought monitoring. *Journal of Hydrology and Soil Science*, 23 (2), 433-446. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.24763594.1398.23.2.17.5> [In Persian].
- Fleig, A. K., Tallaksen, L. M. and Hisdal, H. (2006). "Drought Indices Suitable to Study the Linkages to Large-Scale Climate Drivers in Regions with Seasonal Frost Influence." *IAHS PUBLICATION*, 308, 169.
- Füssel, H. M. (2007). Vulnerability: a generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global Environ. Change*, 17, 155–167.
- Ghaseminejad, S., Soltani, S., Sofianian, A. R (2012). Assessing drought risk in Isfahan province, *Journal of Agricultural Sciences and Techniques and Natural Resources. Water and Soil Sciences*, 213-225. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.24763594.1393.18.68.19.4> [In Persian].
- Hamze Nejad, S., Hamdami, N., Nazarnejad, H., Khorami, K. (2017). Drought zoning of Qarasu watershed using SPI and IDW index. *The 13th National Watershed Science and Engineering Conference and the 3rd National Conference on Protection of Natural Resources and Environment. Mohaghegh Ardabili University*. [In Persian].
- Haro, D., Abel, S., Javier, P., Joaquín, A. (2014). Methodology for drought risk assessment in within- year regulated reservoir systems: Application to the Orbigo, River System (Spain). *Water Resources Management*, 28 (11), 3801-3814. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-014-0710-3>

- Hayes, M. J. (2010). What is drought? National Drought Mitigation Center (NDMC), <http://www.drought.unl.edu/>.
- Heim J. R.R. (2002). A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83 (8), 1149-1166.
- Heydari Alamdarlou, I., Nesabpour, S., Keshtkar, H.R. (2016). Data mining of probability of drought in Iran. *Desert Management Journal*, 1-14. <https://doi.org/10.22034/jdml.2017.27856> [In Persian].
- Heydarizadi, Z., Onogh, M., Bayram Kokami, Ch. (2022). Assessing drought damage using drought satellite indicators and vulnerability factors (case study: Ilam province). *Scientific Journal of Pasture and Desert Research in Iran*, 29, 542-561. [Doi:10.22092/ijdr.2022.128077](https://doi.org/10.22092/ijdr.2022.128077) [In Persian].
- Hou, W., Yan, P., Feng, G., Zuo, D. (2021). A 3D Copula Method for the Impact and Risk Assessment of Drought Disaster and an Example Application. *Frontiers in Physics*, 9, 156.
- Ishak, Y. M., Musa, E. (2021). Drought monitoring in Ceyhan Basin, Turkey. *Journal of Applied Water Engineering and Research*, <https://doi.org/10.1080/23249676.2021.1932616>
- Jahan Tigh, H., Amir Ismaili, V. R., Davari, A. (2018). Drought assessment and management. *Regional Geography and Planning Quarterly*, 313-327. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.22286462.1398.10.37.17.6> [In Persian].
- Jiang, S., Yang, R., Cui, N., Zhao, L. (2018). Analysis of drought vulnerability characteristics and risk assessment based on information distribution and diffusion in Southwest China. *Atmosphere*, 9 (7), 2-39. <https://doi.org/10.3390/atmos9070239>
- Karimi, V. A., Habibnejad Roshan, M., Abkar, A. J. (2010). Investigation of meteorological drought indices in Mazandaran synoptic stations. *Irrigation and water engineering*, 2 (5), 15-25.
- Khani, M. (1995). An overview of risk management and its necessity in drought management. *Omran Sharif Journal*, 34, 58-60. [In Persian].
- Kim, H., Park, J., Yoo, J. and Kim, T.W. (2015). Assessment of drought hazard, vulnerability, and risk: a case study for administrative districts in South Korea. *Journal of Hydro-environment Research*, 9 (1), 28-35. <https://doi.org/10.1016/j.jher.2013.07.003>
- Le, T., Sun, C. H., Choy, S., Kuleshov, Y. (2021). Regional drought risk assessment in the Central Highlands and the South of Vietnam, Geomatics. *Natural Hazards and Risk*, 12 (1), 3140-3159. <https://doi.org/10.1080/19475705.2021.1998232>
- McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *preprints Eighth Conference on Applied Climatology*, 179-184.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. (1997). The Relationship of drought frequency and duration to time scales. *Preprints th conference on applied climatology*, 17-22 January. Anaheim .CA. 379-384.
- Mozafari, Gh. A. (2006). Incompatibility of meteorological drought and hydrological drought in two adjacent watersheds in the northern slope of Shirkuh Yazd. *Space planning and preparation*. [In Persian].
- Muntsari, M., Amir Atai, B., Khalili, K. (2015). Analysis of temporal and spatial changes in the periods of drought and drought in the northwest of the country based on two drought indices, SPI and RAI. *Water and Soil Journal (Agricultural Sciences and Industries)*, 2, 655-671. <https://doi.org/10.22067/jsw.v30i2.39679> [In Persian].
- Naumann, G., Barbosa, P., Garrote, L., Iglesias, A., Vogt, J. (2014). Exploring drought vulnerability in Africa: an indicator based analysis to be used in early warning systems. *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 18, 1591-1604, www.hydrol-earth-syst-sci. <https://doi.org/10.5194/hess-18-1591-2014>
- Poortaheri, M., Eftekhari, A. and Kazemi, N. (2013). The role of drought risk management approach in reducing social—economic vulnerability of farmers and rural regions case study: Sulduz Rural District, Azerbaijan Gharbi. *Journal of Rural Research*, 4 (1), 1-12. <https://doi.org/10.22059/jrur.2013.31969> [In Persian].
- Pudine, M. R., Heydarinia, M., Mousavi, S. R., Dosti Moghadam, H. (2019). Monitoring

- drought indicators in Zahedan city in different time frames. *Natural Geography Quarterly*, 12, 133-143. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085656.1399.13.47.8.0> [In Persian].
- Savari, M., Eskandari damaneh, H. (2019)0 “The Role of Participatory Management in Empowering Local Communities in Coping with Droughts in Southern Kerman Province”. *The Journal of Spatial Planning*, 23 (2), 123-171. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.16059689.1398.23.2.5.8> [In Persian].
- Smit, B., Burton, I., Klein, R. J., Street, R. (1999). The science of adaptation: a framework for assessment. *Mitig. Adapt. Strat. Global Change*, 4, 199-213. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1009652531101>
- Sun, C., Choy, S., Chua, Z., Aitkenhead, I., Kuleshov, Y. (2020). Geographic information system for drought risk mapping in Australia, Drought risk analyser web app. *Int Arch Photogramm Remote Sens Spatial Inf,Sci*, XLIV-3/W1, 139-1. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIV-3-W1-2020-139-2020>
- Tingsanchali, T., & Piriya Wong, T. (2018). Drought Risk Assessment of Irrigation Project Areas in a River Basin. *Engineering Journal*, 22 (1), 280-286. <https://doi.org/10.4186/ej.2018.22.1.279>
- Vakhshuri, A., Jafarpour, Z. A., Kardavani, P. (2016). Determining the most appropriate index for droughts in the rainy regions of Iran. *Regional Planning Quarterly*, 7 (28), 201-201. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.22516735.1396.7.28.16.5> [In Persian].
- Wu, C., Yeh, P. J. F., Chen, Y. Y., Lv, W., Hu, B. X., Huang, G. (2021). Copula-based risk evaluation of global meteorological drought in the 21st century based on CMIP5 multimodel ensemble projections. *Journal of Hydrology*, 598, 126265. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126265>
- Wu, J., He, B., Liu, M., zhao, L. (2011). Quantitative assessment and spatial characteristic analysis of agriculture drought vulnerability in china. *Natur. Hazards*, 56 (3), 785-801. <https://doi.org/10.1007/s11069-010-9591-9>
- Mriyaqubzadeh, M. H., Khosravi, S. A., Zabihi, M. (2018). An overview of drought indicators and their performance. *Journal of water and sustainable development*, 1, 103-112. [Doi: 10.22067/jwsd.v6i1.74428](https://doi.org/10.22067/jwsd.v6i1.74428) [In Persian].
- Yazdani, V., Davari, K., Ghahraman, B., Zare Abianeh, H. (2012). Validation of four meteorological drought profiles based on growth rings of unfruitful trees (Mashhad case study). *Water Resources Engineering*, 23. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20086377.1392.6.18.2.2> [In Persian].
- Zare Abianeh, H., Mahboubi, A. A., Nishaburi, M. R. (2004). Investigating the drought situation and its trend in Hamedan region based on drought statistical indicators. *Journal of Research and Development in Agriculture and Horticulture*, 64, 3-7. [In Persian].
- Zhang, F., Wang, D., Qiu, B (1997). China's agricultural phrenology atlas. Science Press, Beijing.
- Zhao, P., Lü, H., Fu, G., Zhu, Y., Su, J., & Wang, J. (2017). Uncertainty of hydrological drought characteristics with copula functions and probability distributions: a case study of Weihe River, China. *Water*, 9 (5), 334. <https://doi.org/10.3390/w9050334>