

"Research Paper"

Monitoring the Meteorological and Hydrological Drought Trend in Tajan watershed, Mazandaran province

Ali Habibzadeh Tilami¹, Kaka Shahedi² and Mahmoud Habibnejad Roshan²

1- Ph.D. Student, Department of Watershed Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

2- Professor, Department of Watershed Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran (Corresponding author: k.shahedi@sanru.ac.ir)

Received: 30 January, 2023

Accepted: 8 May, 2023

Extended Abstract

Introduction and Objective: Drought as a climatic phenomenon is considered as one of the most important natural hazards, which is known for its slow onset and may have multiple effects on hydrology, agriculture and socio-economic conditions. Drought monitoring includes its severity, spatial distribution, and duration, and becomes an essential input for establishing drought risk management and mitigation plans. Many drought indicators have been introduced and applied in recent decades in regions with different climatic characteristics.

Material and Methods: In this study, the meteorological and hydrological drought of Tajan watershed in Mazandaran province was evaluated and monitored using standardized precipitation index (SPI) and standardized streamflow index (SSI). For this purpose, firstly, the data of six stations Rain gauges and eight hydrometric stations were used in the period of 1990-2020, after removing the statistical deficiencies and completing the data of rainfall, flow rate, homogeneity and normality of the data. Finally, the meteorological and hydrological drought process was analyzed with the mentioned two indicators using Mann-Kendall test and Sen slope estimator in MAKESENS software.

Results: The results showed that the SPI index has the highest response to rainfall on a one-month scale, so that its lowest value was at Kordkheil station with a value of -3.31, the most severe drought that occurred in April 2011. On the other hand, droughts have occurred in all rain gauge stations and their intensity has increased over time. According to the SSI index, hydrological drought has also occurred in all hydrometric stations with different intensities. The trend of these indicators also shows the increase in intensity and frequency of drought with the passage of time in the studied watershed.

Conclusion: In Darabkola and Kordkheil stations, the SPI index has the highest number of years of occurrence and the highest intensity of drought. In Darabkola station, the frequency of moderate, severe and very severe droughts are relatively high. Very, very severe drought in Edareh Sari station has the highest amount in terms of frequency, which indicates that there is the greatest risk of drought occurrence in the plains and plains of the basin. The results of the trend with the Mann-Kendall test indicate an increase in drought and a decrease in rainfall in the Tajan watershed. Due to climate changes, increase in demand due to increase in population and decrease in rainfall, the occurrence of drought in the future may occur with more frequency and intensity, which can cause great damage to agriculture and other parts of the region. The SSI index in hydrometric stations indicates the decrease in flow and the occurrence of hydrological drought in the basin.

Keywords: Drought Index, Mann-Kendall Test, SPI, SSI, Tajan Watershed



"مقاله پژوهشی"

پایش روند خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه تجن استان مازندران

علی حبیبزاده تیلیمی^۱، کاکا شاهدی^۲ و محمود حبیبزاد روشن^۲^۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران^۲- استاد، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران،

(نویسنده مسؤول: k.shahedi@sanru.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۸

صفحه: ۱۲۴ تا ۱۳۳

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: خشکسالی به عنوان یک پدیده اقلیمی از جمله مهمترین مخاطرات طبیعی به شمار می رود که با شروع آهسته شناخته می شود و ممکن است اثرات متعددی بر هیدرولوژی، کشاورزی و شرایط اجتماعی-اقتصادی داشته باشد. پایش خشکسالی شامل شدت آن، توزیع مکانی و مدت آن است و به یک ورودی ضروری برای ایجاد مدیریت ریسک خشکسالی و برنامه کاهش آن تبدیل می شود. شاخص های خشکسالی زیادی در دهه های اخیر در مناطقی با ویژگی های اقلیمی متفاوت معرفی و به کار گرفته شده اند.

مواد و روش ها: در این مطالعه، خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی حوضه آبریز تجن در استان مازندران با استفاده از شاخص های بارش استاندارد شده (SPI) و جریان سطحی استاندارد شده (SSI) مورد ارزیابی و پایش قرار گرفت، به این منظور، داده های شش ایستگاه باران سنجی و هشت ایستگاه هیدرومتری در دوره زمانی ۱۳۹۹-۱۳۶۹، رفع نواقص و تکمیل شدند سپس آزمون همگنی و نرمال بودن روی آنها انجام شد. در نهایت روند خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با دو شاخص مذکور بر مبنای آزمون من-کندال و تخمین گر شیب سن در نرم افزار MAKESENS تحلیل شد.

یافته ها: نتایج نشان داد که شاخص SPI در مقیاس یک ماهه دارای بیشترین عکس العمل نسبت به بارش است به طوریکه کمترین میزان آن در ایستگاه کردخیل با مقدار ۳/۳۱- شدیدترین خشکسالی بوده که در فروردین ماه سال ۱۳۷۱ رخ داده است. از طرفی، همه ایستگاه های باران سنجی پدیده خشکسالی در آنها رخ داده و از نظر زمانی با گذر زمان شدت آن افزایش یافته است. با توجه به شاخص SSI، خشکسالی هیدرولوژیکی نیز در همه ایستگاه های هیدرومتری با شدت های مختلف رخ داده است. روند این شاخص ها نیز بیانگر افزایش شدت و فراوانی خشکسالی با گذشت زمان در حوضه آبریز مورد مطالعه بوده است.

نتیجه گیری: در ایستگاه های دارابکلا و کردخیل شاخص SPI دارای بیشترین تعداد سال های وقوع و بیشترین شدت خشکسالی است. در ایستگاه دارابکلا فراوانی خشکسالی متوسط، شدید و خیلی شدید نیز نسبتاً بالا می باشد. خشکسالی خیلی خیلی شدید در ایستگاه اداره ساری از نظر فراوانی دارای بیشترین مقدار بوده که نشان می دهد بیشترین خطر وقوع خشکسالی در مناطق دشتی و جلگه ای حوضه وجود داشته است. نتایج روند با آزمون من-کندال بیانگر افزایش خشکسالی و کاهش بارندگی در حوضه آبریز تجن می باشد. با توجه به تغییرات اقلیمی، افزایش تقاضا به دلیل افزایش جمعیت و کاهش بارندگی، رخداد خشکسالی در آینده ممکن است با فراوانی و شدت بیشتری رخ دهد که می تواند خسارات زیادی برای کشاورزی و سایر بخش های منطقه داشته باشد. شاخص SSI در ایستگاه های هیدرومتری نشان دهنده کاهش جریان و وقوع خشکسالی هیدرولوژیکی در حوضه است.

واژه های کلیدی: آزمون من کندال، تجن، شاخص خشکسالی، SSI، SPI

مقدمه

بشر همواره با بلایای طبیعی نظیر خشکسالی، سیل و زلزله دست به گریبان بوده است و تحقیقات و مطالعات زیادی برای پیش بینی، کنترل و برنامه ریزی هایی برای جلوگیری از خسارات این پدیده ها انجام شده است (Mavedat & Maleki, 2014). در دهه های اخیر در بین بلایای طبیعی که جمعیت های بشری را تحت تأثیر قرار داده است اثرات پدیده خشکسالی از نظر درجه شدت، مدت، سطح تحت پوشش، تلفات جانی، خسارات مالی و اثرات اجتماعی دراز مدت در جامعه بیشتر از سایر بلایای طبیعی بوده است (Banglapedia, 2003; Dobrovolski, 2015). از طرفی تمایز این پدیده با سایر پدیده های طبیعی در این است که برخلاف سایر بلایا، خشکسالی به تدریج و در یک دوره زمانی نسبتاً طولانی عمل کرده و اثرات آن ممکن است پس از چندسال و با تأخیر بیشتری نسبت به سایر حوادث طبیعی به صورت مستقیم و غیرمستقیم ظاهر شود (Chiang et al., 2021; Gampe et al., 2021). خشکسالی هرساله به طور متوسط شش میلیارد دلار خسارت در مقیاس جهانی به بخش های مختلف وارد می کند و نسبت به سایر مخاطرات

طبیعی افراد بیشتری را تحت تأثیر قرار می دهد (Mishra & Singh, 2010). خشکسالی در چهار دسته هواشناسی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اقتصادی-اجتماعی طبقه بندی می شود (Patel et al., 2007). زمانی که مقدار بارش طی دوره ای کمتر از مقدار متوسط آن باشد، خشکسالی هواشناسی اتفاق می افتد و با شاخص های مبتنی بر بارش، مانند SPI¹، SIAP²، PNPI³ و RAI⁴ ... سنجیده می شود (Hayes et al., 1999). خشکسالی هواشناسی اولین نوع از خشکسالی است که رخ می دهد و در صورت تداوم به وقوع دیگر خشکسالی ها منجر می شود. به همین دلیل بین انواع خشکسالی ها رابطه علت و معلولی برقرار است (Zhang et al., 2022). خشکسالی هیدرولوژیکی هنگامی روی می دهد که جریان آب های سطحی، سطح آب دریاچه ها و منابع آبی کاهش یابد (Kang & Sridhar, 2018; Mann, 1945). معمولاً خشکسالی هواشناسی با تأخیر زمانی در یک منطقه، به خشکسالی هیدرولوژیکی منجر می شود (Zabihi et al., 2017). رابطه زمانی بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی بستگی به ویژگی های فیزیوگرافی آبخیز، نوع کاربری اراضی،

1- Standard Precipitation Index

2- Standard Index of Annual Precipitation

3- Precipitation Index Percent of Normal

4- Rainfall Anomaly Index

شدید با طول دوره طولانی را تا سال ۱۳۸۰ تجربه کرده است. این موضوع در حالی است که در سال‌های بین ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ شرایط با نوسان بین دوره ترسالی و خشکسالی حالت طبیعی‌تری را گذرانده است. از سال ۱۳۹۵ دوره‌های ترسالی با شدت کم‌تر و طول دوره کوتاه‌تر و برعکس دوره‌های خشکسالی با شدت و طول دوره بیش‌تری را تجربه کرده است. هاریسوسنو به مقایسه شاخص استاندارد بارش (SPI) و شاخص ناهنجاری بارندگی (RAI) همراه با شاخص جریان سطحی استاندارد شده (SSI) در حوضه رودخانه پیکان اندونزی پرداخت. تجزیه و تحلیل ارتباط آماری شامل همبستگی پیرسون (r)، کندال تاو (τ) و اسپیرمن (rs) برای بررسی میزان سازگاری بین شاخص خشکسالی ماهانه و سالانه SPI و RAI انجام شد. نتایج نشان داد که مشخصه شاخص خشکسالی سالانه بین SPI و RAI شباهت الگو را نشان می‌دهد که با ضریب همبستگی بالا بین آنها نشان داده می‌شود (Harisuseno, 2020). علاوه بر این، تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای در هر سال آبی نشان داد که SPI و RAI همبستگی بسیار خوبی داشتند و الگوی مشابهی را با SSI نشان دادند. به‌طور کلی، SPI عملکرد بهتری نسبت به RAI برای تخمین مشخصه خشکسالی به‌صورت ماهانه یا سالانه نشان می‌دهد. بایر آلتین و آلتین به بررسی اثرات خشکسالی هواشناسی بر خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص‌های SPI و SSI در حوزه مدیریتانه شرقی ترکیه در بازه زمانی ۲۰۱۷-۱۹۶۷ پرداختند. آنها از ضریب همبستگی پیرسون برای نشان دادن همبستگی بین مقادیر شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص جریان سطحی استاندارد شده (SSI) در مقیاس‌های زمانی مختلف استفاده کردند. همبستگی بین SSI و SPI نشان داد که در پاسخ به خشکسالی هواشناسی، خشکسالی هیدرولوژیکی تجربه یک تأخیر سال پس از آن در سال بعد رخ می‌دهد. از اواسط دهه ۱۹۹۰ این امر در همه ایستگاه‌ها مشهودتر است. عامل اصلی خشکسالی هیدرولوژیکی، کم بارشی طولانی‌مدت یا وجود یک سال به‌خصوص خشک است. همچنین نتایج نشان داد که در یک دوره طولانی (۱۲ ماه)، خشکسالی هیدرولوژیکی در قسمت بالایی نسبت به قسمت پایینی زیرحوضه‌ها طولانی‌تر و شدیدتر است (Bayer Altin & Altin, 2021). مطالعات انجام شده نشان از اهمیت موضوع خشکسالی دارد، که استفاده از شاخص‌های معرفی شده راهکاری مناسب در نیل به اهداف است. در مطالعات انجام شده ضمن بررسی مقیاس زمانی خشکسالی‌ها بر اساس شاخص‌های موجود و بررسی ارتباط آنها وجود روند را مورد بررسی قرار نگرفته است. در این مطالعه ضمن بررسی مقیاس‌های زمانی شاخص‌های خشکسالی و بررسی همبستگی بین آنها، وجود روند در خشکسالی بر اساس هر کدام از شاخص‌ها مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. این مطالعه در حوضه آبریز تجن انجام شده است که به‌عنوان یکی از حوضه‌های آبریز مهم شمال کشور که در تأمین آب مورد نیاز کشاورزی و صنعت در شهرستان‌های ساری و میاندرواد استان مازندران نقش مهمی ایفا می‌کند. این حوضه

تراکم زهکشی، نفوذ آب و نوع سازندها دارد (Eskandari, 2016). به‌دنبال خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی، خشکسالی کشاورزی رخ می‌دهد (Vicente-Serrano et al., 2012). در نهایت نتیجه انواع خشکسالی‌ها به‌صورت خشکسالی اقتصادی-اجتماعی قابل مشاهده و تعریف می‌باشد. کشور ایران به‌عنوان یکی از مناطق خشک جهان در دهه‌های گذشته خشکسالی‌های متعددی را تجربه کرده است. بررسی روند بلند مدت بارش سالیانه نشان می‌دهد که در برخی از مناطق وقایع خشکسالی دارای دوره بازگشت پنج تا هفت سال هستند درحالی‌که برای مقیاس ملی بین بیست تا سی سال است. از این‌رو خشکسالی به‌عنوان یک پدیده نرمال از شرایط اقلیمی ایران محسوب می‌شود (Keshavarz et al., 2013). یکی از مهمترین و کارآمدترین ابزارهای در دسترس برای شناسایی و پایش کیفی و کمی خشکسالی، شاخص‌های خشکسالی هستند (Mohit Esfahani et al., 2020). از مهمترین این شاخص‌ها برای بررسی خشکسالی هواشناسی می‌توان به شاخص بارش استاندارد شده (SPI) اشاره داشت. این شاخص منعطف بوده و قابلیت آنرا دارد که برای هر مقیاس زمانی محاسبه شود (Hayes et al., 1999). شاخص SPI برای هر منطقه بر اساس ثبت بارندگی‌های طولانی مدت آن محاسبه می‌شود (Khan et al., 2008). همچنین شاخص جریان سطحی استاندارد شده^۱ (SSI) نیز به‌منظور بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی کاربرد وسیعی داشته است.

جهانگیری و موسوی به مطالعه تطبیقی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی SPI و هیدرولوژیکی SSI در استان تهران پرداختند. آنها ضمن بررسی توابع توزیع تجمعی به پایش خشکسالی ۵ ایستگاه در بازه زمانی ۱۳۹۵-۱۳۶۴ در مقیاس سالانه پرداختند. نتایج آنها نشان داد که مناسب‌ترین تابع توزیع تجمعی در ایستگاه درکه تابع لوگ لجستیک، در فیروزکوه و آبعلی تابع گاما، در نمرود تابع فتیگ لایف^۲ و در شریف آباد تابع بتا بوده است. ایستگاه درکه با بیشترین مقدار P-Value و کمترین مقدار RMSE بهترین برازش را با تابع لوگ لجستیک داشته است. همچنین وجود تشابه در روند خشکسالی‌های منتج از دو شاخص مختلف نشان داد که شاخص هواشناسی و هیدرولوژیکی کاملاً بر هم منطبق می‌باشند، به‌عبارت دیگر منابع آب سطحی در استان تهران به‌شدت از بارش تاثیرپذیر است (Jahangir & Koleshani, 2022). به پایش خشکسالی غرب حوضه ارومیه (Mousavi, 2020). در دوره ۱۳۹۸-۱۳۶۸ با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص جریان سطحی استاندارد شده (SSI) پرداختند. نتایج آنها نشان داد که عملکرد تطبیقی دو شاخص SPI و SSI با یکدیگر رابطه مستقیم دارند. همچنین شاخص SPI برای پیش‌بینی شروع خشکسالی و شاخص SSI برای سنجش شدت و تداوم خشکسالی بهتر هستند. بر اساس دو شاخص SPI و SSI منطقه مورد مطالعه پس از سال ۱۳۶۸ در یک روند خشکسالی

1- Standardized Streamflow Index

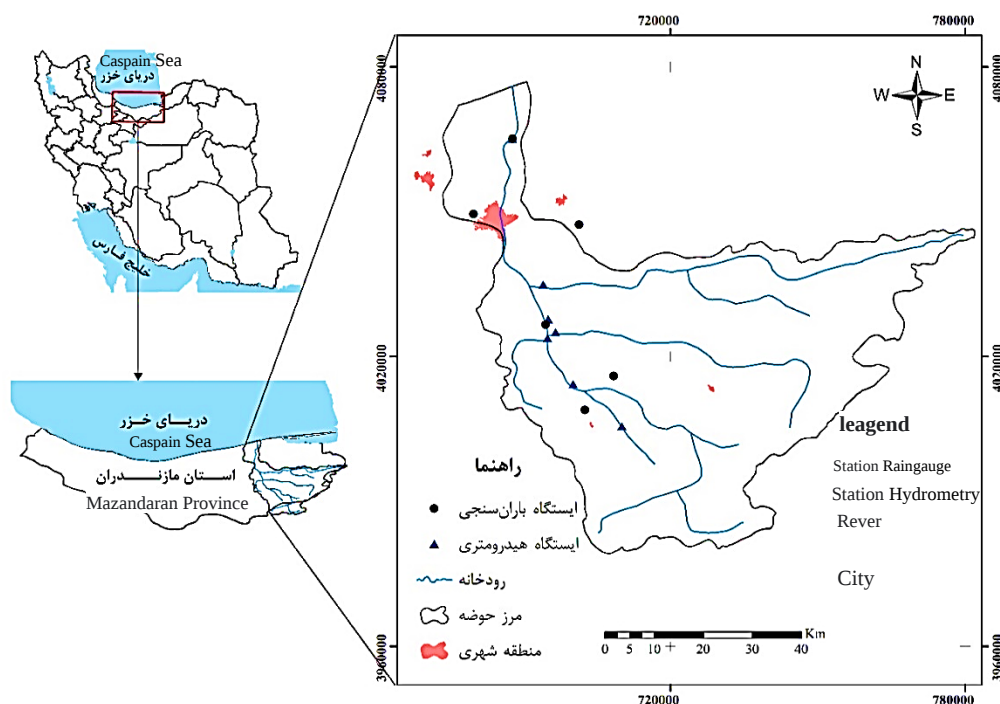
2- Fatigue life

طول شرقی $53^{\circ} 04' 57''$ تا $53^{\circ} 18' 26''$ و عرض شمالی $36^{\circ} 09' 17''$ تا $36^{\circ} 29' 49''$ قرار دارد. بیش از ۶۰ درصد حوضه را مناطق کوهستانی و حدود ۲۵ درصد آن را جلگه‌های ساحلی و بقیه آنرا تراس‌های رودخانه‌ای، اراضی کوهپایه‌ای و تپه ماهورها تشکیل می‌دهند. مرتفع‌ترین نقطه حوضه تجن در جنوب شرقی آن با ارتفاع ۳۶۷۰ متر و پست‌ترین نقطه در خروجی حوضه با ارتفاع ۲۶- متر از سطح دریا واقع شده است. میانگین سالانه دما حدود ۱۵ درجه سلسیوس با آب و هوای گرم و مرطوب، و میانگین بارش ۸۳۶ میلی‌متر در سال است (Rajaei et al., 2020). در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی حوضه تجن در کشور نشان داده شده است.

توسط رودخانه‌ی تجن و سرشاخه‌های مهم آن از جمله ظالم‌رود زهکشی می‌شود. با توجه به تغییرات اقلیمی و کمبود منابع آبی کشور و وقوع خشکسالی‌ها در کشور این حوضه از این قاعده مستثنی نبوده است. هدف این مطالعه بررسی پدیده خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص‌های بارش استاندارد شده (SPI) و جریان سطحی استاندارد شده (SSI) و همچنین بررسی تطبیقی این شاخص‌ها می‌باشد.

مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

حوضه تجن در استان مازندران و در محدوده جغرافیایی



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه مورد مطالعه
Figure 1. Geographical Location of the Studied Basin

نرمال بودن آنها مورد آزمون قرار گرفت و در نهایت وضعیت خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی به‌ترتیب با استفاده از شاخص‌های بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص جریان سطحی استاندارد شده (SSI) تحلیل شد. به‌منظور تعیین روند خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی از آزمون ناپارامتری من کندال و تخمین‌گر شیب سن در نرم‌افزار MAKESENS استفاده شد.

روش تحقیق

به‌منظور رسیدن به اهداف تحقیق، بعد از اخذ داده‌های مناسب بارندگی و دبی جریان ایستگاه‌های باران‌سنجی و هواشناسی (جدول ۱) از اداره کل هواشناسی و شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران، نواقص آماری با استفاده از روش همبستگی ایستگاه‌ها رفع گردید و در مرحله بعد همگنی و

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های استفاده شده در این مطالعه

Table 1. Characteristics of the stations used in this study

Geographical coordinates مختصات جغرافیایی		Station Type نوع ایستگاه	Station Name نام ایستگاه
Latitude عرض	Longitude طول		
36° 32' 06"	53° 15' 00"	Raingaug باران‌سنجی	Darabkola دارابکلا
36° 34' 26"	53° 00' 37"	Raingauge باران‌سنجی	Edareh Sari اداره ساری
36° 42' 36"	53° 06' 17"	Raingauge باران‌سنجی	Kordkhail کردخیل
36° 14' 16"	53° 14' 38"	Raingauge باران‌سنجی	Shahid Rajaei شهید رجایی
36° 21' 54"	53° 11' 15"	Raingauge باران‌سنجی	Rigcheshmeh ریگ چشمه
36° 12' 01"	53° 15' 16"	Raingauge باران‌سنجی	Telaram تلارم
36° 10' 21"	53° 20' 05"	Hydrometry هیدرومتری	Aliabad آباد علی
36° 26' 17"	53° 09' 54"	Hydrometry هیدرومتری	Garmroud گرمرود
36° 42' 36"	53° 06' 17"	Hydrometry هیدرومتری	Kordkhail کردخیل
36° 22' 31"	53° 10' 31"	Hydrometry هیدرومتری	Rigcheshmeh ریگ چشمه
36° 15' 12"	53° 13' 41"	Hydrometry هیدرومتری	Solaimantangeh سلیمان تنگه
36° 20' 57"	53° 11' 21"	Hydrometry هیدرومتری	Varand ورنده
36° 20' 18"	53° 10' 36"	Hydrometry هیدرومتری	Vastan واستان

شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

همچنین ماهیت توزیع احتمالاتی، نقش مهمی در محاسبه این شاخص دارند (Mishra & Singh, 2010). مقادیر شاخص SPI برای هر ایستگاه در مقیاس‌های ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۴۸ و سالانه در نرم‌افزار DIP محاسبه شد. شاخص SPI با استفاده از رابطه ۱ قابل محاسبه است و طبقه‌بندی حالت‌های مختلف خشکسالی بر اساس این شاخص به صورت جدول ۲ می‌باشد.

$$SPI = \frac{X_i - \bar{X}}{SD} \quad (1)$$

که در آن X_i : بارندگی در مقیاس زمانی، $\bar{X}$: میانگین بارندگی در مقیاس زمانی، SD: انحراف معیار بارندگی در مقیاس زمانی می‌باشد.

این شاخص اولین بار در سال ۱۹۹۳ توسط (et al., 1993) McKee et به‌منظور پایش خشکسالی اقلیمی ابداع شد. شاخص SPI براساس ثبت بارش‌های طولانی‌مدت بنیان گذاشته شده است و جهت برآورد آن ابتدا بایستی مقادیر بارندگی بر اساس توزیع احتمال گاما برازش داده شوند، زیرا به عقیده برای محاسبه این شاخص، تابع چگالی گاما مناسب‌ترین تابع می‌باشد ولی ممکن است در ایران این تابع توزیع در برخی ایستگاه‌ها مناسب‌ترین نباشد که همانطور که گفته شد باید ابتدا بهترین توزیع احتمال برای هر شاخص تعیین شود. از مزیت‌های این شاخص برآورد آن در مقیاس‌های مختلف زمانی است و مهمترین محدودیت آن اینست که طول دوره ثبت داده‌ها و

جدول ۲- طبقه‌بندی خشکسالی هواشناسی به‌روش شاخص SPI (Lloyd - Hughes & Saunders, 2002)

Table 2. Meteorological Drought Classification using SPI Index (Lloyd - Hughes & Saunders, 2002)

Range محدوده	Drought Situation وضعیت خشکسالی	Status حالت
$SPI \geq +2$	Extremely wet خیلی مرطوب	0
$1.5 \leq SPI < 2$	Very wet خیلی مرطوب	1
$1 \leq SPI < 1.5$	Moderately wet مرطوب متوسط	2
$-1 \leq SPI < 1$	Near normal نزدیک به نرمال	3
$-1.5 \leq SPI < -1$	Moderately dry خشکسالی متوسط	4
$-2 \leq SPI < -1.5$	Severely dry خیلی خشک	5
$SPI < -2$	Extremely dry خیلی خیلی خشک	6

شاخص جریان سطحی استاندارد شده (SSI)

$$W = \sqrt{-2 \ln p} \quad (3)$$

$$P \leq 0.5 \quad P = 1 - F(x) \quad (4)$$

$$P > 0.5 \quad P = F(x) \quad (5)$$

در رابطه (۵) علامت نهایی SSI برعکس می‌شود. مقادیر نهایی SSI نرمال است به‌صورتی که میانگین آنها برابر با صفر و انحراف معیار آن برابر یک می‌باشد (Zhang et al., 2011). که در آن؛ P : احتمال تجاوز از مقدار X ، $C_0=2.515517$ ، $C_1=0.802853$ ، $C_2=0.010328$ ، $d_1=1.432788$ ، $d_2=0.189269$ ، $F(x)$: تابع X و $\ln$: لگاریتم طبیعی (Vicente-Serrano et al., 2012).

این شاخص بر اساس محاسبات شاخص بارش استاندارد توسط ویسنته سرانو و همکاران به‌کار گرفته شد و برای تجزیه و تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی با داده‌های دبی رودخانه استفاده می‌شود (Vicente-Serrano et al., 2012). این شاخص بر اساس تابع توزیع تجمعی (تابع چگالی گاما) برای داده‌های دبی ماهانه می‌باشد. طبقه‌بندی خشکسالی بر اساس شاخص SSI به‌صورت جدول ۳ می‌باشد. رابطه محاسبه شاخص خشکسالی جریان سطحی استاندارد شده (SSI) به‌صورت روابط ۲ الی ۵ می‌باشد:

$$SSI = W - \frac{C_0 + C_1W + C_2W^2}{1 + d_1W + d_2W^2 + d_3W^3} \quad (2)$$

جدول ۳- طبقه‌بندی خشکسالی هیدرولوژیکی براساس شاخص SSI

SSi	وضعیت Situation
$1.46 \leq$	ترسالی شدید Very humid
$0.52 - 1.46$	ترسالی ملایم Humid
$-0.52 - 0.52$	نرمال Normal
$-1.46 - -0.52$	خشکسالی ملایم Dry
$-1.46 \geq$	خشکسالی شدید Extremely dry

در یک آزمون دو دامنه جهت روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که رابطه ۱۰ برقرار باشد.

(۱۰) $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$
 که α سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و $Z_{\alpha/2}$ آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری α می‌باشد که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، از $\frac{\alpha}{2}$ استفاده شده است. در صورتیکه آماره Z مثبت باشد روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود. از تخمین‌گر شیب سن نیز جهت تحلیل سری‌های زمانی استفاده گردید. این روش نیز همانند روش من-کندال از تحلیل متفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی بهره می‌گیرد. اساس این روش بر محاسبه یک شیب میانه برای سری زمانی و قضاوت نمودن در مورد معنی‌داری شیب به‌دست آمده در سطوح اعتماد مختلف می‌باشد. برای محاسبه شیب بین هر جفت داده مشاهده‌ای از طریق رابطه ۱۱ عمل می‌شود:

$$Q = \frac{x_t - x_s}{t - s} \quad (11)$$

که در آن x_t و x_s به‌ترتیب داده‌های مشاهده‌ای در زمان‌های t و s ، و t یک واحد زمانی بعد از زمان s می‌باشد. با اعمال رابطه ۷ برای هر دو جفت داده مشاهده‌ای، یک سری زمانی از شیب‌های محاسبه شده حاصل می‌آید که از محاسبه میانه این سری زمانی شیب خط روند (Q_{med}) به‌دست می‌آید. مقدار مثبت Q_{med} حاکی از صعودی بودن روند و مقدار منفی آن دال بر نزولی بودن روند می‌باشد.

نتایج و بحث

دوره‌های خشکسالی هواشناسی بر اساس شاخص SPI
 بررسی خشکسالی هواشناسی بر اساس شاخص SPI در مقیاس‌های ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه در شش ایستگاه هواشناسی در حوضه انجام شد. بر این اساس، شاخص SPI در مقیاس یک ماهه دارای بیشترین عکس‌العمل نسبت به بارش است به‌طوری‌که کمترین میزان آن در ایستگاه کردخیل با مقدار ۳/۳۱- شدیدترین مقدار بوده که در فروردین ماه سال ۱۳۷۱ رخ داده است (جدول ۴).

جدول ۴- وضعیت خشکسالی هواشناسی بر اساس شاخص SPI در ایستگاه‌های مورد مطالعه

Drought Years سال‌های خشکسالی	The most severe duration in the month and year شدیدترین تداوم در ماه و سال	The most severe SPI value شدیدترین مقدار SPI	Time Scale (Monthly) مقیاس زمانی (ماهانه)	نام ایستگاه Station Name
1370, 1380, 1387, 1389, 1390, 1397	آذر 1370	-3.07	6	دارابکولا Darabkola
1370, 1390, 1393, 1394, 1397	آبان 1393 آذر 1394	-3.25	18	اداره ساری Edareh Sari
1371, 1374, 1385, 1386, 1390, 1398	فروردین 1371	-3.31	1	کردخیل Kordkhail
1371, 1378, 1388, 1390	دی 1388	-3.1	1	شهید رجایی Shahid Rajaei
1371, 1373, 1393	آذر 1393	-3.29	1	ریگ چشمه Rigcheshmeh
1370, 1371, 1373, 1387, 1388	خرداد 1370	-3.14	3	تلارم Telarm

آزمون من-کندال و تخمین‌گر شیب سن

این آزمون ابتدا توسط من ارائه و سپس توسط کندال توسعه یافت (Serrano et al., 1999; Kendall, 1975; Mann, 1945). این آزمون به‌طور متداول در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی به‌کار گرفته می‌شود (Lettenmaier et al., 1994). فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. آزمون من کندال با محاسبه اختلاف بین تک مشاهدات با همدیگر و اعمال تابع علامت و استخراج آماره S به‌شکل رابطه ۶ تعریف می‌شود.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (6)$$

که در آن x_i و x_j به‌ترتیب داده‌های i ام و j ام سری می‌باشند. n : تعداد مشاهدات سری، تابع علامت نیز با رابطه ۷ قابل محاسبه است.

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \Rightarrow (X_i - X_k) > 0 \\ 0 & \Rightarrow (X_i - X_k) = 0 \\ -1 & \Rightarrow (X_i - X_k) < 0 \end{cases} \quad (7)$$

واریانس نیز به‌وسیله یکی از روابط ۸ محاسبه می‌شود:

$$\text{رابطه (۸) اگر } n > 10: \quad \text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18}$$

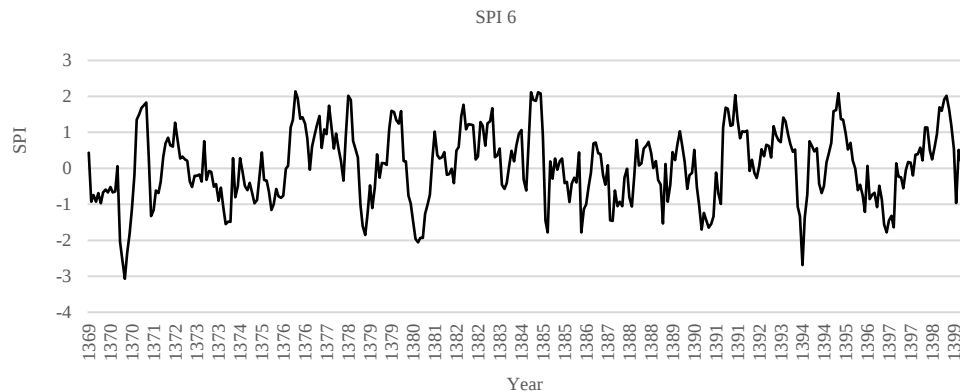
$$\text{اگر } n \leq 10 \text{ باشد:} \quad \text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18}$$

که n تعداد داده‌های مشاهده‌ای و m معرف تعداد سری‌هایی است که در آنها حداقل یک داده تکراری وجود دارد. T نیز بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان می‌باشد. مقدار نمره استاندارد شده Z از رابطه ۹ قابل محاسبه است:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (9)$$

همچنین از نظر مقیاس زمانی شدیدترین مقادیر SPI در اغلب ایستگاه‌ها مربوط به SPI یک ماهه می‌باشد. بر این اساس در ایستگاه اداره ساری تداوم خشکسالی به SPI ۱۸ ماهه نیز دیده می‌شود. بیشترین سال‌های وقوع شدیدترین خشکسالی بر اساس شاخص SPI نیز در ایستگاه‌های دارابکلا و اداره ساری قابل مشاهده است. نمودار شکل ۲ تغییرات شاخص SPI در مقیاس زمانی شش ماهه برای ایستگاه دارابکلا را نشان می‌دهد.

بر اساس جدول شماره ۴، در همه ایستگاه‌های باران‌سنجی پدیده خشکسالی رخ داده است. با توجه به شدیدترین مقادیر شاخص SPI که در طبقه خیلی خیلی خشک گروه‌بندی خشکسالی قرار می‌گیرد، مشخص گردید که در دوره مورد مطالعه وقوع خشکسالی در سه ایستگاه کردخیل، ریگ چشمه و اداره ساری نسبت به بقیه ایستگاه‌ها بیشتر بوده است. نظر به تغییرات اقلیم در سطح جهانی انتظار می‌رود که این تغییرات در وقوع و شدت خشکسالی در منطقه تأثیر داشته است.



شکل ۲- تغییرات شاخص SPI در مقیاس زمانی ۶ ماهه در ایستگاه دارابکلا
Figure 2. SPI Index Variations in 6-Month Scale in Darabkola Station

طبقه در نظر گرفتند (Lloyd - Hughes & Saunders, 2002). بر اساس این طبقه‌بندی فراوانی وقوع هر طبقه در ایستگاه‌های مورد بررسی مشخص شد (جدول ۵).

فراوانی وقوع خشکسالی هواشناسی بر اساس شاخص SPI
برای خشکسالی هواشناسی بر اساس شاخص SPI هفت

جدول ۵- فراوانی وقایع خشکسالی هواشناسی بر اساس شاخص SPI

Extremely wet خیلی خیلی مرطوب	Very wet خیلی مرطوب	Moderately wet مرطوب متوسط	Near normal نزدیک به نرمال	Moderately dry خشکسالی متوسط	Severely dry خیلی خشک	Extremely dry خیلی خیلی خشک	Station ایستگاه
31	20	41	226	40	20	3	Darabkola دارابکلا
15	16	34	263	12	19	15	Edareh Sari اداره ساری
3	19	51	225	37	24	2	Kordkhail کردخیل
10	10	36	249	27	25	4	Shahid Rajaei شهید رجایی
8	18	44	230	39	20	2	Rigcheshmeh ریگ چشمه
7	41	18	242	27	18	8	Telarem تلارم

ایستگاه اداره ساری اتفاق افتاده است.

روند خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص SPI
بررسی روند خشکسالی بر اساس بهترین مدل برازش شده برای داده‌های هر ایستگاه پیش‌بینی شد و سپس شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی ماهانه محاسبه شد (جدول ۶).

بر اساس جدول شماره ۵ بیشترین فراوانی خشکسالی در کلاس نزدیک به نرمال است. وقوع خشکسالی هواشناسی بر اساس شاخص SPI در طبقات مختلف متوسط، خیلی خشک و خیلی خیلی خشک در حوضه رخ داده است. بیشترین فراوانی شدیدترین خشکسالی و خشکسالی نزدیک به نرمال که به نوعی آستانه وقوع خشکسالی نیز در نظر گرفته می‌شود در

جدول ۶- روند خشکسالی هواشناسی بر اساس شاخص SPI

Table 6. Meteorological Drought Trend Based on SPI Index

Telarem تالارم		Rigcheshmeh ریگ چشمه		Shahid Rajaei شهید رجایی		Kordkhail کردخیل		Edareh Sari اداره ساری		Darabkola دارابکلا		Month ماه
Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	
0.042	1.43	0.045	1.52	0.049	1.87*	0.024	0.98	-0.022	-1.14	0.022	0.79	Oct مهر
0.046	1.59	0.40	1.52	0.045	1.87*	0.023	0.93	-0.022	-1.50	0.019	1.00	Nov آبان
0.037	1.77*	0.046	1.93*	0.043	1.87*	0.018	0.70	-0.027	-1.43	0.017	0.52	Dec آذر
0.040	1.64	0.046	1.94*	0.044	1.73*	0.016	0.54	-0.040	-1.48	0.014	0.46	Jan دی
0.039	1.86*	0.052	2.02*	0.046	1.94*	0.012	0.66	-0.033	-1.66*	0.016	0.62	Feb بهمن
0.026	1.86*	0.025	1.55	0.023	1.87*	0.006	0.48	-0.019	-1.62	0.007	0.66	Mar اسفند
0.029	1.41	0.030	1.64	0.043	1.59	0.020	0.86	-0.032	-1.37	0.025	1.14	Apr فروردین
0.030	1.46	0.030	1.39	0.037	1.93*	0.020	0.77	-0.018	-0.82	0.028	1.28	May اردیبهشت
0.032	1.14	0.038	1.20	0.032	1.25	0.024	0.75	-0.005	-0.27	0.020	0.77	Jun خرداد
0.031	1.55	0.031	1.28	0.036	1.57	0.018	0.68	-0.024	-1.34	0.019	0.73	Jul تیر
0.027	1.61	0.036	1.21	0.046	1.96*	0.014	0.73	-0.016	-0.79	0.017	0.59	Aug مرداد
0.035	2.59	0.037	2.73**	0.043	2.04*	0.020	0.84	-0.019	-1.34	0.017	0.75	Sep شهریور

The significance level is 95%

* سطح معنی داری ۹۵ درصد است.

The significance level is 99%

** سطح معنی داری ۹۹ درصد است.

به دست آمد. روند این نوع خشکسالی نیز در جدول شماره ۷ قابل مشاهده است.

روند خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص SSI
خشکسالی هیدرولوژیکی نیز بر اساس شاخص SSI برای دوره زمانی ماهانه برای ایستگاههای هیدرومتری در حوضه

جدول ۷- روند خشکسالی هیدرولوژیکی بر اساس شاخص SSI

Table 7. Hydrological Drought Trend Based on SSI Index

Solaimantangeh سلیمان تنگه		Rigcheshmeh ریگ چشمه		Kordkhail کردخیل		Garmrood گرمروود		Aliabad علی آباد		Month ماه
Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	
-0.081	-4.14**	-0.046	-2.28*	-0.031	-1.36	-0.027	-1.43	-0.014	-0.62	Oct مهر
0.044	2.18*	0.30	1.28	-0.034	-1.50	-0.037	-1.68*	0.007	0.48	Nov آبان
0.045	2.71*	0.055	2.14*	-0.036	-1.94*	-0.042	1.75*	0.002	0.11	Dec آذر
0.063	2.91*	0.064	3.39**	-0.032	-1.41	-0.066	-2.71*	0.018	1.39	Jan دی
0.026	1.18	0.044	1.52	-0.032	-1.28	-0.036	-1.68*	0.052	2.32*	Feb بهمن
-0.078	-3.64**	-0.042	-2.09*	-0.049	-2.41*	-0.007	-0.30	-0.035	-2.07	Mar اسفند
-0.063	-3.55**	-0.048	-2.25*	-0.044	-1.82*	-0.008	-0.25	-0.063	-2.80**	Apr فروردین
-0.069	-3.27**	-0.036	-1.48	-0.34	-1.55	-0.045	-2.05*	-0.045	-2.05*	May اردیبهشت
-0.061	-3.73**	-0.048	-2.18*	-0.036	-1.77*	-0.009	-0.39	-0.069	-2.57*	Jun خرداد
-0.045	-2.41*	-0.039	-2.46*	-0.42	-1.96*	-0.010	-0.41	-0.037	-1.68*	Jul تیر
-0.039	-2.45*	-0.025	-1.14	-0.018	-1.18	0.008	0.32	-0.026	-1.00	Aug مرداد
-0.056	-2.93**	-0.029	-0.66	-0.030	-1.20	-0.035	-1.39	0.023	1.07	Sep شهریور

The significance level is 95%

* سطح معنی داری ۹۵ درصد است

The significance level is 99%

** سطح معنی داری ۹۹ درصد است

تجن با استفاده از شاخصهای بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص جریان سطحی استاندارد شده (SSI) بوده است. نتایج نشان می دهد که بر اساس شاخص SPI خشکسالی هواشناسی در ایستگاههای دارابکلا و کردخیل دارای بیشترین تعداد سالهای وقوع آن بوده و دارای بیشترین شدت نیز می باشد. از طرفی ایستگاه دارابکلا از نظر فراوانی خشکسالی متوسط را

با توجه به تغییرات اقلیمی که مسئله ای جهانی می باشد و در اکثر مناطق دنیا موجب بهم خوردن تعادل سیستم طبیعی و عوامل اقلیمی شده است. در ایران نیز این اثرات تغییر اقلیم در سالهای اخیر به وضوح قابل لمس است. خشکسالی ها نیز یکی از اثرات این پدیده جهانی می باشد. هدف این مطالعه پایش و بررسی روند خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه

نشان از شدت کاهش جریان و وقوع خشکسالی هیدرولوژیکی بر اساس شاخص SSI می‌باشد. بنابراین بر اساس جدول ۶ و وجود تشابه در روند خشکسالی‌های به‌دست آمد از شاخص‌های SPI و SSI می‌توان نتیجه گرفت که شاخص هواشناسی و هیدرولوژیک بر هم منطبق بوده یا به عبارت دیگر جریان آب سطحی در حوضه مورد مطالعه به‌شدت از بارش تأثیرپذیر می‌باشد که با نتایج جهانگیری و موسوی؛ وو و همکاران و بایر آلتین و آلتین مطابقت دارد (Jahangir & Mousavi, 2020; Wu et al., 2016; Altin, 2021). با توجه به موقعیت حوضه تجن و نظر به اینکه در قسمت پایین دست حوضه دشت ساری واقع شده که کاربری کشاورزی و باغات و مسکونی در آن واقع است، وجود خشکسالی‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی در سال‌های آتی ممکن است خسارات زیادی به این مناطق وارد سازد. بنابراین مدیریت بهینه جریان‌های سطحی، استفاده از روش‌های جمع‌آوری و استحصال آب باران از جمله آب‌بندان، نفوذ به درون خاک و تقویت آب‌های زیرزمینی راهکارهایی است که باید بیش از پیش در نظر گرفته شود تا در آینده امکان تقلیل خسارات فراهم گردد.

بیشتر تجربه کرده است و خشکسالی شدید و خیلی شدید نیز نسبتاً بالا می‌باشد. خشکسالی خیلی خیلی شدید در ایستگاه اداره ساری از نظر فراوانی دارای بیشترین مقدار بوده که نشان می‌دهد بیشترین خطر وقوع خشکسالی در مناطق دشتی و جلگه‌ای حوضه وجود داشته است. همچنین در ایستگاه اداره ساری طبقه خشکسالی نزدیک به نرمال دارای بیشترین فراوانی است که نشان دهنده این است که بیشترین وقوع خشکسالی در این ایستگاه بوده است. همچنین از طرفی روند خشکسالی در منطقه نیز به‌سوی افزایشی بوده است که نشان از کاهش بارندگی در حوضه مورد مطالعه می‌باشد. بنابراین با توجه به تغییرات اقلیمی، افزایش تقاضا به دلیل افزایش جمعیت و کاهش بارندگی رخداد خشکسالی در آینده که ممکن است با فراوانی و شدت بیشتری رخ دهد می‌تواند موجب خسارات زیادی شود. خشکسالی هیدرولوژیکی نیز بر اساس شاخص SSI در ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در حوضه نشان دهنده آنست که کاهش جریان در اغلب ایستگاه‌ها وجود داشته و وقوع خشکسالی هیدرولوژیکی بر اساس این شاخص در حوضه رخ داده است. مقدار شاخص SSI در دو ایستگاه سلیمان تنگه و واستان در سطح ۹۹ درصد دارای تفاوت معنی‌داری بوده که

منابع

- Banglapedia, F. (2003). National Encyclopedia of Bangladesh, Islam, S. In *Banglapedia: Asiatic Society of Bangladesh*.
- Bayer Altin, T., & Altin, B. N. (2021). Response of hydrological drought to meteorological drought in the eastern Mediterranean Basin of Turkey. *Journal of Arid Land*, 13(5), 470-486.
- Chiang, F., Mazdiyasi, O., & Agha Kouchak, A. (2021). Evidence of anthropogenic impacts on global drought frequency, duration, and intensity, *Nature Communications*, 12, 2754.
- Dobrovolski, S. (2015). World droughts and their time evolution: agricultural, meteorological, and hydrological aspects. *Water Resources*, 42, 147-158.
- Eskandari Damaneh, H., Zehtabian, G. R., Khosravi, H., & Azareh, A. (2016). Investigation and analysis of temporal and spatial relationship between meteorological and hydrological drought in Tehran province. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 24(96), 113-120. (In Persian)
- Gampe, D., Zscheischler, J., Reichstein, M., O'Sullivan, M., Smith, W. K., Sitch, S., & Buermann, W. (2021). Increasing impact of warm droughts on northern ecosystem productivity over recent decades. *Nature Climate Change*, 11(9), 772-779.
- Harisuseno, D. (2020). Comparative study of meteorological and hydrological drought characteristics in the Pekalen River basin, East Java, Indonesia. *Journal of Water and Land Development*, 45: 19-41.
- Hayes, M. J., Svoboda, M. D., Wihite, D. A., & Vanyarko, O. V. (1999). Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80(3), 429-438.
- Jahangir, M. H., & Koleshani, F. A. (2022). Comparative study of drought meteorological (SPI) and hydrological (SSI) indices based on the best cumulative distribution function for Urmia Basin. *Water and Soil Management and Modeling*, 2(4): 53-63. (In Persian)
- Jahangir, M. H., & Mousavi, M. (2020). A Comparative Study of Meteorological (SPI) and Hydrological Drought Index (SSI) Based on the Best Cumulative Distribution Function in Tehran Province. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 14(48), 1-10. (In Persian)
- Kang, H., & Sridhar, V. (2018). Improved drought prediction using near real-time climate forecasts and simulated hydrologic conditions. *Sustainability*, 10(6), 1799.
- Kendall, M. G. (1975). Rank correlation methods. Griffin, London. 202 pp.
- Keshavarz, M., Karami, E., & Vanclay, F. (2013). The social experience of drought in rural Iran. *Land use Policy*, 30(1), 120-129.
- Khan, S., Gabriel, H., & Rana, T. (2008). Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on watertables in irrigation areas. *Irrigation and Drainage Systems*, 22, 159-177.
- Lettenmaier, D. P., Wood, E. F., & Wallis, J. R. (1994). Hydro-climatological trends in the continental United States, 1948-88. *Journal of Climate*, 7(4), 586-607.
- Lloyd-Hughes, B., & Saunders, M. A. (2002). A drought climatology for Europe. *International Journal of Climatology*, 22(13), 1571-1592.

- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 245-259.
- Mavedat, E., & Maleki, D. S. (2014). Classification and Spatial Measurement of Social-Physical damages of the Cities Against Earthquakes by Using VIKOR Technique and GIS, Case Study: Yazd City. *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 4(11), 85-103.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, 17-22 January 1993, 179-184
- Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of hydrology*, 391(1-2), 202-216.
- Mohit Esfahani, P., Soltani, S., Modarres, R., & Pourmanafi, S. (2020). Assessment of Multivariate Standardized Drought Index (MSDI) and Meteorological-Agricultural Drought Monitoring in Chaharmahal and Bakhtiari Province. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 24(3), 33-47. (in Persian)
- Patel, N., Chopra, P., & Dadhwal, V. (2007). Analyzing spatial patterns of meteorological drought using standardized precipitation index. *Meteorological Applications*, 14(4), 329-336.
- Rajaei, F., Esmaili Sari, A., Salmanmahiny, A., Delavar, M., & Massah Bavani, A. R. (2020). Assessment of Land Changes in Tajan River Watershed with Emphasis on Landscape Metrics. *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(1), 351-366 (In Persian).
- Serrano, A., Mateos, V., & Garcia, J. (1999). Trend analysis of monthly precipitation over the Iberian Peninsula for the period 1921–1995. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 24(1-2), 85-90.
- Vicente-Serrano, S. M., López-Moreno, J. I., Beguería, S., Lorenzo-Lacruz, J., Azorin-Molina, C., & Morán-Tejeda, E. (2012). Accurate computation of a streamflow drought index. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(2), 318-332.
- Wu, J., Chen, X., Gao, L., Yao, H., Chen, Y., & Liu, M. (2016). Response of hydrological drought to meteorological drought under the influence of large reservoir. *Advances in Meteorology*, 2016.
- Zabihi, M., Mostafazadeh, R., & Sharari, M. (2017). Analysis of wet and dry spells intensity and duration using precipitation-based and evapotranspiration influenced indices. *Journal of Watershed Management Research*, 8(15), 125-136 (In Persian).
- Zhang, Q., Zhou, Y., Singh, V. P., & Chen, Y. D. (2011). Comparison of detrending methods for fluctuation analysis in hydrology. *Journal of hydrology*, 400(1-2), 121-132.
- Zhang, X., Manzanedo, R. D., Lv, P., Xu, C., Hou, M., Huang, X., & Rademacher, T. (2022). Reduced diurnal temperature range mitigates drought impacts on larch tree growth in North China. *Science of The Total Environment*, 848, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157808>.