Sari Agriculture Sceinces and Natural Resources University

Journal of Watershed Management Research, Vol. 14, No.28, Winter 2023 p: 124-133

"Research Paper"

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

Ali Habibzadeh Tilami[1], Kaka Shahedi[2] and Mahmoud Habibnejad Roshan[2]

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

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.124]

"مقاله پژوهشی"

پایش روند خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه تجن استان مازندران

علی حبیب‌زاده تیلمی[۱]، کاکا شاهدی[۲] و محمود حبیب‌نژاد روشن[۲]

۱ـ دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران
۲ـ استاد، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران،
(نویسنده مسوول: 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 به‌عنوان یک پدیده اقلیمی از جمله مهمترین مخاطرات طبیعی به‌شمار می‌رود که با شروع آهسته شناخته می‌شود 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 می‌شود. شاخص‌های خشکسالی زیادی در دهه‌های اخیر در مناطقی با ویژگی‌های اقلیمی متفاوت معرفی و به‌کار گرفته شده‌اند.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه، خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی حوضه آبریز تجن در استان مازندران با استفاده از شاخص‌های بارش استاندارد شده (SPI) و جریان سطحی استاندارد شده (SSI) مورد ارزیابی و پایش قرار گرفت، به این منظور، داده‌های شش ایستگاه باران‌سنجی 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 تخمین‌گر شیب سن در نرم‌افزار MAKESENS تحلیل شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که 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 خشکسالی بوده که در فروردین ماه سال ۱۳۷۱ رخ داده است. از طرفی، همه ایستگاه‌های باران‌سنجی 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 ایستگاه‌های هیدرومتری با شدت‌های مختلف رخ داده است. روند این شاخص‌ها نیز بیانگر افزایش شدت و فراوانی خشکسالی با گذشت زمان در حوضه آبریز مورد مطالعه بوده است.

نتیجه‌گیری: در ایستگاه‌های دارابکلا و کردخیل شاخص SPI دارای بیشترین تعداد سال‌های وقوع و بیشترین شدت خشکسالی است. در ایستگاه دارابکلا فراوانی خشکسالی متوسط، 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. نتایج روند با آزمون من–کندال بیانگر افزایش خشکسالی و کاهش بارندگی در حوضه آبریز تجن می‌باشد. با توجه به تغییرات اقلیمی، افزایش تقاضا به‌دلیل افزایش جمعیت و کاهش بارندگی، رخداد خشکسالی در آینده ممکن است با فروانی و شدت بیشتری رخ دهد که می‌تواند خسارات زیادی برای کشاورزی و سایر بخش‌های منطقه داشته باشد. شاخص SSI در ایستگاه‌های هیدرومتری نشان دهنده کاهش جریان و وقوع خشکسالی هیدرولوژیکی در حوضه است.

واژه‌های کلیدی: آزمون من کندال، تجن، شاخص خشکسالی، SPI، SSI

مقدمه

بشر همواره با بلایای طبیعی نظیر خشکسالی، سیل و زلزله دست به گریبان بوده است و تحقیقات و مطالعات زیادی برای پیش‌بینی، کنترل و برنامه‌ریزی‌هایی برای جلوگیری از خسارات این پدیده‌ها انجام شده است (Mavedat & Maleki, 2014). در دهه‌های اخیر در بین بلایای طبیعی که جمعیت‌های 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 پدیده‌های طبیعی در این است که برخلاف سایر بلایا، خشکسالی به‌تدریج 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 به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم ظاهر شود (Chiang et al., 2021; Gampe et al., 2021). خشکسالی هرساله به‌طور متوسط شش میلیارد دلار خسارت در مقیاس جهانی به بخش‌های مختلف وارد می‌کند و نسبت به سایر مخاطرات طبیعی افراد بیشتری را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Mishra & Singh, 2010). خشکسالی در چهار دسته هواشناسی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اقتصادی–اجتماعی طبقه‌بندی می‌شود (Patel et al., 2007). زمانی‌که مقدار بارش طی دوره‌ای کمتر از مقدار متوسط آن باشد، خشکسالی هواشناسی اتفاق می‌افتد و با شاخص‌های مبتنی بر بارش، مانند SPI[1]، SIAP[2]، PNPI[3]، RAI[4] و ... سنجیده می‌شود (Hayes et al., 1999). خشکسالی هواشناسی اولین نوع از خشکسالی است که رخ می‌دهد و در صورت تداوم به وقوع دیگر خشکسالی‌ها منجر می‌شود. به‌همین دلیل بین انواع خشکسالی‌ها رابطه علت و معلولی برقرار است (Zhang et al., 2022). خشکسالی هیدرولوژیکی هنگامی روی می‌دهد که جریان آب‌های سطحی، سطح آب دریاچه‌ها و منابع آبی کاهش یابد (Kang & Sridhar, 2018; Mann, 1945). معمولاً خشکسالی هواشناسی با تأخیر زمانی در یک منطقه، به خشکسالی هیدرولوژیکی منجر می‌شود (Zabihi et al., 2017) رابطه زمانی بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی بستگی به ویژگی‌های 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

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.124]

تراکم زهکشی، نفوذ آب و نوع سازندها دارد (Eskandari Damaneh et al., 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 پدیدهٔ 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[1] (SSI) نیز به‌منظور بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی کاربرد وسیعی داشته است.

جهانگیری و موسوی به مطالعه تطبیقی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی SPI و هیدرولوژیک 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[2] 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 هیدرولوژیک کاملاً بر هم منطبق می‌باشند، به‌عبارت دیگر منابع آب سطحی در استان تهران به‌شدت از بارش تاثیرپذیر است (Jahangir & Koleshani, 2022؛ Jahangir & Mousavi, 2020). به پایش خشکسالی غرب حوضهٔ ارومیه 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 وSSI منطقهٔ مورد مطالعه پس از سال ۱۳۶۸ در یک روند خشکسالی شدید با طول دورهٔ طولانی را تا سال ۱۳۸۰ تجربه کرده است. این موضوع در حالی است که در سال‌های بین ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ شرایط با نوسان بین دورهٔ ترسالی و خشکسالی حالت طبیعی‌تری را گذرانده است. از سال ۱۳۹۵ دوره‌های ترسالی با شدت کم‌تر و طول دورهٔ کوتاه‌تر و برعکس دوره‌های خشکسالی با شدت و طول دورهٔ 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 پکالن 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). علاوه‌بر 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 مدیترانه 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 هرکدام 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 میاندرود استان مازندران نقش مهمی ایفا می‌کند. این حوضه

1- Standardized Streamflow Index
2- Fatigue life

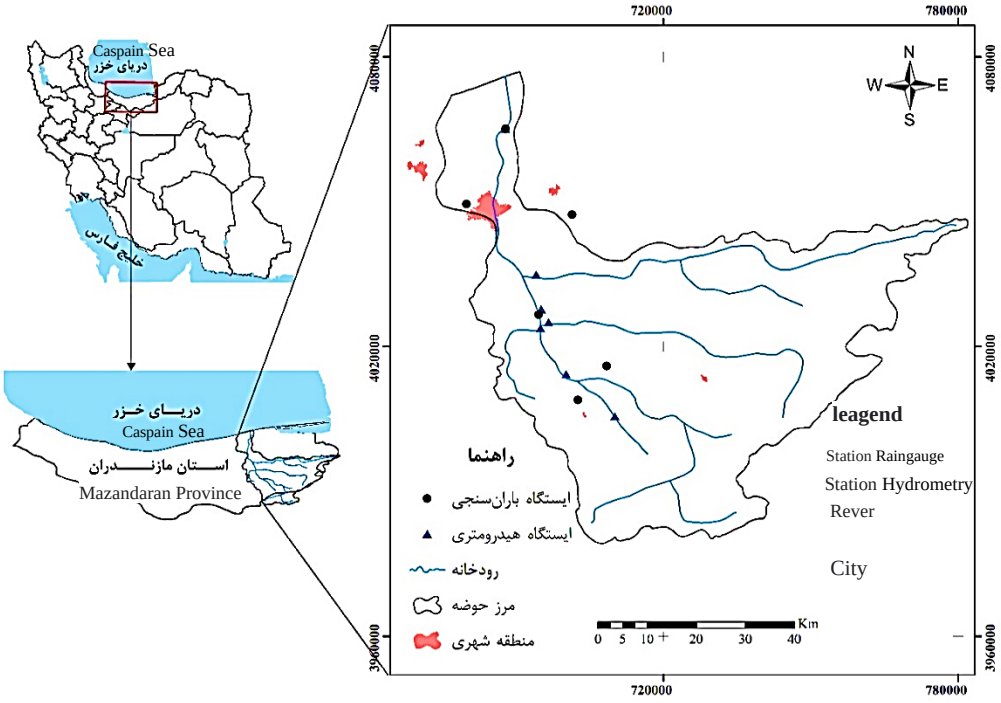
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.124]

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 طول شرقی ''۵۷ '۰۴ °۵۳ تا ''۲۶ '۱۸ °۵۳ و عرض شمالی''۱۷ '۰۹ °۳۶ تا ''۴۹ '۲۹ °۳۶ 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.



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

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 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.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.124]

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های استفاده شده در این مطالعه

Table 1. Characteristics of the stations used in this study

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

شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

این شاخص اولین بار در سال ۱۹۹۳ توسط (McKee et al., 1993) 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 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.

$$SPI = \frac{X_i - \overline{X}}{SD} \qquad (۱)$$

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

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

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

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

شاخص جریان سطحی استاندارد شده (SSI)

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:

$$SSI = W - \frac{C0 + C1W + C2W^2}{1 + d1w + d2w^2 + d3w^3} \qquad (۲)$$

$$W = \sqrt{-2\ln p} \qquad (۳)$$

$$P \le 0.5 \qquad P = 1 - F(x) \qquad (۴)$$

$$P > 0.5 \qquad P = F(x) \qquad (۵)$$

در رابطه (۵) علامت نهایی SSI برعکس می‌شود. مقادیر نهایی SSI نرمال است به‌صورتی‌که 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).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.124]

جدول ۳- طبقه‌بندی خشکسالی هیدرولوژیکی براساس شاخص SSI
Table 3. Hydrological Drought Classification using SSI Index

وضعیت Situation	SSI
ترسالی شدید Very humid	1.46 ≤
ترسالی ملایم Humid	0.52 – 1.46
نرمال Normal	-0.52 – 0.52
خشکسالی ملایم Dry	-1.46 – -0.52
خشکسالی شدید Extremely dry	-1.46 ≥

آزمون من-کندال و تخمین‌گر شیب سن

این آزمون ابتدا توسط من ارائه و سپس توسط کندال توسعه یافت (Mann, 1945؛ Kendall, 1975؛ Serrano et al., 1999). 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 تک مشاهدات با همدیگر و اعمال تابع علامت و استخراج آماره S به‌شکل رابطه ۶ تعریف می‌شود.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1}\sum_{j=k+1}^{n} sgn(x_j - x_i) \qquad (۶)$$

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

$$sgn(x) = \begin{cases} +1 \Rightarrow (X_i - X_k) > 0 \\ 0 \Rightarrow (X_i - X_k) = 0 \\ -1 \Rightarrow (X_i - X_k) < 0 \end{cases} \qquad (۷)$$

واریانس نیز به‌وسیله یکی از روابط ۸ محاسبه می‌شود:
رابطه (۸) اگر n>10 باشد:

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^{m} t(t-1)(2t+5)}{18}$$

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

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:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} if S > 0 \\ 0 if S = 0 \\ \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} if S < 0 \end{cases} \qquad (۹)$$

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

$$|Z| \leq Z_{\frac{\alpha}{2}} \qquad (۱۰)$$

که α سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و Zα 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 زوند 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:

$$Q = \frac{x_t - x_s}{t - s} \qquad (۱۱)$$

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 (Qmed) به‌دست می‌آید. مقدار مثبت Qmed 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 ۱۳۷۱رخ داده است (جدول ۴).

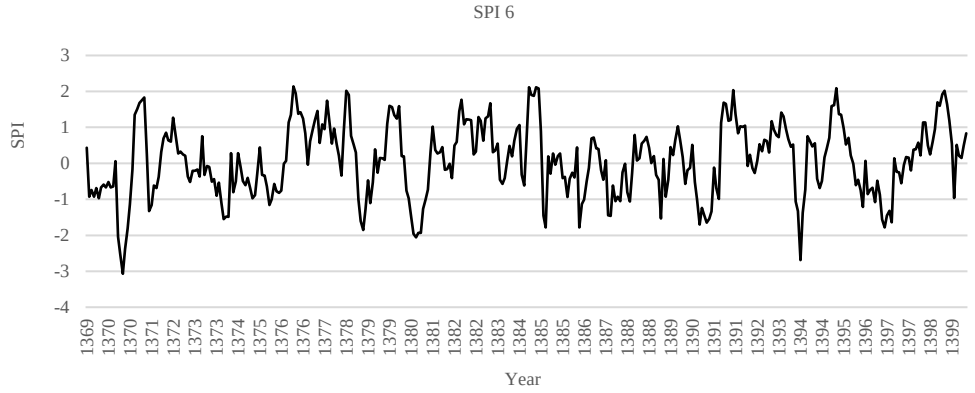
جدول ۴- وضعیت خشکسالی هواشناسی بر اساس شاخص SPI در ایستگاه‌های مورد مطالعه
Table 4. Meteorological Drought Situation Based on SPI Index in Studied Stations

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

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.124]

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. 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.



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

فراوانی وقوع خشکسالی هواشناسی بر اساس شاخص SPI

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

جدول ۵- فراوانی وقایع خشکسالی هواشناسی بر اساس شاخص SPI
Table 5. Meteorological Drought Events Frequency based on SPI Index

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 ریگ‌چشمه
7	41	18	242	27	18	8	Telarem تلارم

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 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).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.124]

جدول ۶- روند خشکسالی هواشناسی بر اساس شاخص SPI

Table 6. Meteorological Drought Trend Based on SPI Index

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

* سطح معنی‌داری ۹۵ درصد است. The significance level is 95%

** سطح معنی‌داری ۹۹ درصد است. The significance level is 99%

روند خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص SSI

خشکسالی هیدرولوژیکی نیز بر اساس شاخص SSI برای دوره زمانی ماهانه برای ایستگاه‌های هیدرومتری در حوضه به‌دست آمد. روند این نوع خشکسالی نیز در جدول شماره ۷ قابل مشاهده است.

جدول ۷- روند خشکسالی هیدرولوژیکی بر اساس شاخص SSI

Table 7. Hydrological Drought Trend Based on SSI Index

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

Vastan واستان		Varand ورند		ماه Month
Sen	Z	Sen	Z	
-0.011	-061	-0.013	-0.66	مهر Oct
-0.040	-1.53	-0.012	-0.41	آبان Nov
-0.078	-3.21**	-0.033	-1.48	آذر Dec
-0.056	-2.69**	-0.027	-1.71*	دی Jan
-0.061	-2.37*	-0.015	-0.98	بهمن Feb
-0.064	-2.78**	-0.028	-0.98	اسفند Mar
-0.076	-2.91**	0.019	1.02	فروردین Apr
-0.029	-0.98	0.009	0.61	اردیبهشت May
-0.041	-1.61	000	0.00	خرداد Jun
-0.048	-4.09**	-0.008	-0.46	تیر Jul
-0.027	-1.66*	0.006	0.39	مرداد Aug
-0.035	-1.12	0.001	0.12	شهریور Sep

* سطح معنی‌داری ۹۵ درصد است The significance level is 95%

** سطح معنی‌داری ۹۹ درصد است The significance level is 99%

با توجه به تغییرات اقلیمی که مسئله‌ای جهانی می‌باشد 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 به‌وضوح قابل لمس است. خشکسالی‌ها نیز یکی از اثرات این پدیده جهانی می‌باشد. هدف این مطالعه پایش و بررسی روند خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه تجن با استفاده از شاخص‌های بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص جریان سطحی استاندارد شده (SSI) بوده است. نتایج نشان می‌دهد که بر اساس شاخص SPI خشکسالی هواشناسی در ایستگاه‌های دارابکلا و کردخیل دارای بیشترین تعداد سال‌های وقوع آن بوده و دارای بیشترین شدت نیز می‌باشند. از طرفی ایستگاه دارابکلا از نظر فراوانی خشکسالی متوسط را

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.124]

بیشتر تجربه کرده است و خشکسالی شدید و خیلی شدید نیز نسبتا 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 به‌دلیل افزایش جمعیت و کاهش بارندگی رخداد خشکسالی در آینده که ممکن است با فروانی 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 نشان از شدت کاهش جریان و وقوع خشکسالی هیدرولوژیکی بر اساس شاخص SSI می‌باشد. بنابراین بر اساس جداول ۶ و ۷ 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 به‌عبارت 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؛ Bayer Altin & 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.

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., Mazdiyasni, 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., Wiihite, D. A., & Vanyarkho, 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.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.124]

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 Usjing 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 Meteoro-Agricultural Drought Monitoring in Chaharmahal and Bakhtiari Porvince. *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.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.124]