

## Statistical Analysis of Long-Term Changes in Precipitation, Discharge, and Land Use (Case Study: Tajan Watershed, Northern Iran)

Ghasem Alizadeh<sup>1</sup>, Seiyed Mossa Hosseini<sup>2\*</sup>

1- Graduate Student, Physical Geography Department, University of Tehran, Tehran, Iran.

2- Associate Professor, Physical Geography Department, University of Tehran, Tehran, Iran.

\*Corresponding Author: smhosseini@ut.ac.ir

(Received: 23 May 2023

Revised: 15 June 2023

Accepted: 16 July 2023)

### Extended Abstract

**Introduction:** Water stresses are one of the most important issues that the world is facing today. Following the increase in population, climate, and land use change, Iran is also facing serious challenges in achieving sustainable water management on basin scale. In recent decades, climate and land use changes at the level of watersheds have had adverse effects on socio-environmental and economic issues. The case considered in this study is the Tajan watershed, located in Mazandaran province, northern Iran. This watershed is crucial in terms of ecosystem services (runoff generation, sediment delivery) for the residents living in the area and the Caspian Sea, which consists of the terminal part of the watershed. Temporal analysis of trends in hydro-climatic data is important to increasing our knowledge about the variations of such variables over time.

**Materials and methods:** Tajan watershed with an area of 3,970 square kilometers is located in the northern part of Iran, which discharges the generated runoff into the Caspian Sea. Contrary to other watersheds, the amount of rainfall decreases with increasing altitude (i.e., the gradient of precipitation is negative with the change in altitude). An analysis of the temporal trend of the precipitation and discharge was conducted using the long-term monthly data (50 years from 1971 to 2021) collected in four rain gauges and two hydrometric stations. The rescaled adjusted partial sums (RAPS) index, non-parametric Mann-Kendall test, and Sen's slope method were adopted to reveal the changes in precipitation and discharge data. Moreover, the state of land use changes in 37 years (1984-2021) were extracted using the Maximum Likelihood Classification method on the satellite images.

**Results and Discussion:** The results of this study showed that the trend of discharge does not match the rainfall, because during the 30 years of 1969-1999, the rainfall data of the studied stations had a decreasing trend with an average slope of -0.463 mm/year, while the discharge in watershed outlet indicates an increasing trend with an average slope of +1.02 cubic meters per second per year. On the other hand, during the period between 1999-2021, despite the positive trend of precipitation data with an average slope of +0.343 mm per year, the discharge shows a decreasing trend with an average slope of -2.249 cubic meters per second per year. By examining the state of land use changes in 1984 and 2021, the results indicate a decrease of 16 and 11 percent of areas for pasture and forestlands and an increase of 110 and 670 percent of irrigated lands and urban areas. The findings of this research showed that the trend of temporal changes in the discharge of sub-basins does not follow the rainfall, and the main factor in reducing the runoff generated in the Tajan watershed is the land use changes over the studied catchment.

**Conclusion:** The following conclusion could be drawn upon an evaluation of the temporal changes in rainfall and runoff data in the Tajan watershed: 1) the change of land use in the study area from forest to agricultural and urban areas caused an increase in the volume of runoff generated in the watershed. 2) The construction of the Shahid Rajaei reservoir dam in the study area has caused a change in the discharge trend of the mainstream. This affects the region's ecosystem as well as the morphology of the river channel that passes through the city of Sari. 3) The hydrological response of the studied watershed is not only influenced by climatic factors, the human activities (e.g., land use change and damming) has significant contribution. The authors suggest future researchers conduct more extensive research on the effect of dams on the hydromorphological characteristics of the downstream river.

**Keywords:** Ecosystem Service, Human Activities, Mann-Kendal Test, Surface runoff, Tajan Watershed

Citation: Alizadeh, G., & Hosseini, S. M. (2023). Statistical Analysis of Long-Term Changes in Precipitation, Discharge, and Land Use (Case Study: Tajan Watershed, Northern Iran). *Integrated Watershed Management*, 3(2), 47 -66. doi: 10.22034/iwm.2023.2002956.1080

#### Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).





## تحلیل آماری تغییرات بلندمدت بارش، دبی و کاربری اراضی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز تجن، شمال ایران)

قاسم علیزاده<sup>۱</sup>، سید موسی حسینی<sup>۲\*</sup>

۱- فارغ‌التحصیل کارشناسی جغرافیای دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران، تهران، ایران

\*نویسنده مسئول: smhosseini@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۲

### چکیده

رواناب تولیدشده حوضه آبریز تجن در استان مازندران، به دلیل فعالیت‌های شدید انسان‌ساخت (تغییرات کاربری و ساخت سد) در سطح حوضه زهکشی آن، روند نزولی را نشان می‌دهد و این موضوع می‌تواند در بلندمدت بقای اکوسیستم دریای خزر و پایداری منابع آب حوضه را دچار مخاطره نماید. لذا بررسی روند تغییرات زمانی دبی حوضه می‌تواند کمک شایانی به مدیران در راستای برنامه‌ریزی جهت حفظ تعادل اکولوژیک و خدمات اکوسیستمی حوضه آبریز نماید. به‌عنوان هدف اصلی انجام این پژوهش، روند تغییرات ماهانه ۴ ایستگاه هیدرومتری و ۶ ایستگاه باران‌سنجی در سطح حوضه آبریز تجن طی دوره ۵۰ ساله ۱۳۵۰-۱۳۹۹ موردبررسی قرارگرفته است. به‌منظور آشکارسازی روند تغییرات متغیرها، از آزمون ناپارامتریک من-کندال، شاخص شیب سن و شاخص مقادیر تجمعی استانداردشده استفاده شد و نتایج حاکی از بروز اغتشاشات در روند دبی زیرحوضه‌ها و عدم پیروی آن از بارش است. به‌طوری‌که طی دوره ۳۰ ساله ۱۳۷۷-۱۳۴۸ داده‌های بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه با شیب متوسط ۰/۴۶۳- میلی‌متر در سال دارای روند کاهشی بودند و در مقابل دبی خروجی با شیب متوسط ۱/۰۲ مترمکعب بر ثانیه در سال، روند افزایشی داشته است. متقابلاً طی دوره زمانی بین سال‌های ۱۳۷۷-۱۳۹۹ به‌رغم وجود روند مثبت داده‌های بارش با شیب متوسط ۰/۳۴۳ میلی‌متر در سال، دبی با شیب متوسط ۲/۲۴۹- مترمکعب بر ثانیه در سال روند کاهشی را نشان می‌دهد. با بررسی وضعیت تغییرات کاربری اراضی در مقاطع زمانی ۱۳۶۳ و ۱۴۰۰، نتایج حاکی از کاهش ۱۶ و ۱۱ درصدی اراضی مرتع و جنگل و افزایش ۱۱۰ و ۶۷۰ درصدی اراضی کشت آبی و نواحی شهری در سال ۱۴۰۰ نسبت به سال ۱۳۶۳ است. یافته‌های این تحقیق نشان داد که روند تغییرات زمانی دبی زیرحوضه‌ها از بارش تبعیت نمی‌کند و عامل اصلی کاهش خدمات اکوسیستمی حوزه آبریز تجن در قالب تولید رواناب، تأثیر فعالیت‌های انسانی در قالب تغییرات کاربری و ساخت سد در حوضه آبریز مورد مطالعه است.

واژه‌های کلیدی: آزمون من کندال، حوزه آبخیز تجن، خدمات اکوسیستمی، رواناب سطحی، فعالیت‌های انسان‌ساخت

استناد: علیزاده، ق؛ و حسینی، س، م. (۱۴۰۲). تحلیل آماری روند تغییرات بلندمدت بارش، دبی و کاربری اراضی در حوزه آبخیز تجن. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۳(۲)، ۴۷-۶۶.

### حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس است.

## مقدمه

تعیین روند داده‌ها وجود دارد که معمول‌ترین آن‌ها روش‌های ناپارامتریک هستند و برای بررسی روندهای معنادار در سری‌های زمانی هیدرومتئورولوژی<sup>۱</sup> توصیه می‌شوند زیرا این روش‌ها برای داده‌هایی که توزیع نرمال ندارند عملکرد مناسب‌تری دارند (Da Silva *et al.*, 2015). بر همین اساس متناسب با هر یک از تغییرات پله‌ای یا روند و یا حتی انواع پیچیده‌تری که در داده‌های اقلیمی صورت می‌گیرد، باید آزمون مناسبی نیز در نظر گرفته شود. برای مثال بررسی روند داده‌ها از طریق اعمال آزمون‌های من-کندال، رگرسیون و رتبه‌ای اسپیرمن صورت می‌پذیرد (Serrano *et al.*, 1999). قابل ذکر است که پیش‌تر نیز بررسی رابطه میان مؤلفه‌های بارش و دبی موردتوجه محققین حوزه مطالعات آب بوده است زیرا تشخیص روند دبی و بارندگی می‌تواند این امکان را برای پژوهشگران فراهم می‌آورد که بتوانند واکنش یکپارچه از حوزه رودخانه را در پژوهش‌های هیدرومتئورولوژیک لحاظ کنند تا بر مبنای آن برنامه‌ریزی‌های مدیریتی نیز با دقت بیشتری صورت پذیرد (Gautam & Acharya, 2012). در ادامه به‌مرور برخی از این پژوهش‌ها خواهیم پرداخت.

Koulaian و همکاران در سال (۲۰۱۶) روند دبی رودخانه‌های مازندران را با استفاده از آزمون من کندال در دوره‌های ۳۰، ۴۰ و ۶۰ ساله بررسی کردند و درنهایت نتایج نشان داد که به دنبال تغییر در رژیم بارشی زمستانه، دبی در این فصل وضعیت افزایشی داشته اما به‌طور کلی دبی در اکثر ایستگاه‌ها دارای وضعیت کاهش یافته است و این وضعیت ناشی از اثرات افزایش گازهای

تنش‌های آبی که عمدتاً ناشی از تغییرات اقلیمی هستند از مهم‌ترین مسائلی است که امروزه جهان با آن روبروست و ایران نیز به دنبال موقعیت مکانی خود، بیش از سایرین با این مسئله مواجه است (Khatami *et al.*, 2022). بخصوص که کشور ایران به دنبال افزایش جمعیت نیز با مسائل جدی در بحث مدیریت پایدار آب روبروست (Loni *et al.*, 2022). همچنین با توجه به شاخص‌های اقلیمی ایران و اهمیت بارش در تأمین منابع آب ایران، مطالعه‌ی رفتار بارش به‌شدت ضروری است (Ahmadi & Dadashi, 2016)، از سویی دیگر دبی رودخانه نیز از متغیرهای حیاتی هیدرولوژیک و منابع آب به شمار می‌رود که تابع عناصر اقلیمی است؛ بنابراین بررسی تغییرات دبی رودخانه در یک دوره می‌تواند وضعیت تغییر یا عدم‌تغییر شرایط آب و هوایی یک منطقه را آشکار سازد (Ansari *et al.*, 2017).

در همین راستا لزوم دستیابی به مدیریت پایدار منابع آبی حوزه جهت حفظ خدمات اکوسیستمی حوزه آبریز به دنبال دبی و رسوب حاصل از آن امری ضروری است که در بقای اکوسیستم منطقه به‌ویژه نوار ساحلی دریا مؤثر است و با تحلیل دقیق بیلان آب و مدیریت صحیح منابع موجود، می‌توان بدان دست‌یافت.

از روش‌های معمول در تحلیل سری زمانی داده‌های اقلیمی و هیدرولوژیک، بررسی وضعیت روند در داده‌هاست که می‌تواند ناشی از تغییرات تدریجی طبیعی، تغییرات اقلیمی و یا تأثیرات فعالیت‌های انسانی باشد (Maroufi & Tabari, 2018). در مطالعه تغییرات میان سری‌های زمانی مختلف، روش‌های متعدد آماری برای

(۲۰۲۰) در حوزه آبریز لکشا نکارود روند دبی و عناصر اقلیمی را با استفاده از مدل HEC-HMS بررسی نمودند و دریافتند که تغییرات کاربری اراضی و تخریب اراضی جنگلی منجر به افزایش دبی طی دوره زمانی ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۲ شده است. Adib Taleghani و Khoshmanesh در سال (۲۰۲۰) برای بررسی روند تغییرات بارش، تبخیر و تعرق و دبی حوزه آبخیز کن از داده‌های مربوط به سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۴ استفاده کردند و درنهایت در این تحقیق روند پارامترهای مذکور با استفاده از آزمون من-کندال و رگرسیون خطی موردبررسی قرار گرفت که نتیجه حاکی از کاهش دبی به دنبال کاهش اندک بارش و افزایش تبخیر و تعرق بوده است. همچنین نگارندگان پیشروی کند تغییرات اقلیمی در دوره آماری را برای منطقه مورد مطالعه گزارش می‌کنند. Dastourani و Yazdanpanah در سال (۲۰۲۰) در یک مطالعه به بررسی روند بارندگی و دبی در حوزه آبریز ارس پرداختند. آن‌ها با استفاده از آزمون من-کندال و همچنین شیب سن، ۹ ایستگاه هیدرومتری و ۵ ایستگاه باران‌سنجی را واکاوی کردند و درنهایت دریافتند که به‌رغم افزایشی بودن روند بارش در منطقه مورد مطالعه، اکثر ایستگاه‌ها دارای روند نزولی برای دبی هستند که گزارش شده است این شرایط ممکن است ناشی از بهره‌برداری بیشتر انسان از منابع آب به دنبال افزایش جمعیت و همچنین تغییرات اقلیمی باشد. Jha و Sahoo در سال (۲۰۲۰) طی پژوهشی با استفاده از آزمون من-کندال به بررسی روند دبی‌های کم در حوزه رودخانه ماهاندی هندوستان پرداختند و دریافتند که در اکثر ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه، یک روند افزایشی از دبی‌های حداقل وجود دارد که این حالت ممکن است با فعالیت‌های انسانی در حوزه مرتبط باشد. Mohammadi و همکاران در سال

گلخانه‌ای و همچنین تغییرات اقلیمی بوده است. Abera و همکاران در سال (۲۰۱۷) طی پژوهشی، یک حوزه فرامرزی در قسمت شمال غرب اتیوپی بنام تکزه را موردبررسی قرار دادند. آن‌ها با استفاده از آزمون من-کندال روند بارش و جریان رودخانه را به دست آوردند و دریافتند که روند بارش حوزه شامل فازهای کاهشی و افزایشی متعددی است اما در مقابل به دنبال ساخت سد، مقدار رژیم آبدهی رودخانه دائماً کاهشی بوده است. Jain و همکاران در سال (۲۰۱۷) روند بارش و رواناب هفت حوزه رودخانه اصلی در هندوستان را موردبررسی قرار دادند. آن‌ها با استفاده از آزمون من-کندال و شیب سن برای ۳۰ سال داده‌ی رواناب و ۶۱ سال داده‌ی بارش، دریافتند که فعالیت‌های انسانی اعم از ساخت مخازن ذخیره‌سازی آب، شهرنشینی، تغییرات کاربری می‌تواند بر تولید دبی‌های اوج در رودخانه‌های هند تأثیرگذار باشد. Mojerloo و همکاران در سال (۲۰۱۸) طی پژوهشی با استفاده از مدل IHACRES رابطه میان دبی و عناصر اقلیمی نظیر دما و بارش را در سطح حوزه آبریز تجن بررسی کردند و نتایج نشان داد که طبق سناریوهای تعریف‌شده، دبی آبراهه حوزه آبریز رودخانه تجن تا ۲۱/۷ درصد به دنبال بروز آثار تغییرات اقلیمی و افت بارش، نسبت به سال پایه کاهش می‌یابد. Majidi و همکاران در سال (۲۰۱۹) آبدهی رودخانه‌های استان همدان در ایران را با استفاده از آزمون من کندال و برآوردگر شیب سن در ۱۷ ایستگاه هیدرومتری با سری زمانی یکسان موردبررسی قرار دادند و نتایج تحقیق نشان داد که در داده‌ها روند منفی وجود دارد و این وضعیت ناشی از کاهش بارش نیست بلکه افزایش برداشت از جریان‌های رودخانه‌ای و تغییر حالت بارش زمستانه از برف به باران سبب بروز آن شده است. Reiahi و همکاران در سال

موردنیاز با استفاده از نقشه‌ی مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر که از درگاه [earthexplorer.usgs.gov](http://earthexplorer.usgs.gov) استخراج شد، مورد تحلیل قرار گرفت و با سیستم تصویر UTM بر مبنای WGS1984 رقومی گردید. سپس با به‌کارگیری داده‌های ذکرشده، زیرحوزه‌های حوزه آبریز تجن بر اساس موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری (جدول ۱) که اطلاعات آن از طریق شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران به دست آمد، تعیین شدند. در این رابطه، داده‌های دبی، به‌جز دو ایستگاه ریگ چشمه و کردخیل که دارای طول دوره آماری ثبت‌شده ۵۰ ساله (۱۳۹۹-۱۳۵۰) بوده‌اند، در باقی ایستگاه‌ها داده‌های ۲۱ ساله (۱۳۹۹-۱۳۷۹) موجود بوده است. به همین جهت این تحقیق در دو مقیاس پنجاه‌ساله و بیست‌و یک‌ساله دنبال شد. داده‌های مربوط به ایستگاه‌های باران‌سنجی نیز از طریق دفتر مطالعات پایه شرکت مطالعات آب ایران به دست آمد همچنین اطلاعات دو ایستگاه سینوپتیک چاشم و کیاسر از سازمان هواشناسی کشور دریافت گردید.

محدوده مورد مطالعه حدفاصل دریای مازندران و ارتفاعات البرز بین طول شرقی ۵۳ درجه و ۴ دقیقه و ۵۷ ثانیه الی ۵۳ درجه و ۱۸ دقیقه و ۲۰ ثانیه و عرض شمالی ۳۶ درجه و ۹ دقیقه و ۱۷ ثانیه الی ۳۹ درجه و ۲۹ دقیقه و ۸۰ ثانیه واقع شده است که با مساحت ۳۹۷۰ کیلومتر مربع بر اساس تقسیمات وزارت نیرو به‌عنوان حوزه درجه سوم در نظر گرفته می‌شود (شکل ۱).

سرچشمه رودخانه تجن از دامنه کوه‌های علی‌خانی و سرکوه در فاصله تقریباً ۸۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر ساری و تقریباً ۳۰ کیلومتری شرق کیاسر نشات می‌گیرد و جریان آب پس از عبور از کانالی در جوار شهر ساری،

(۲۰۲۲) روند دبی جریان حوزه گرگان رود را در ۸ ایستگاه موردبررسی قراردادند و با استفاده از آزمون من کندال دریافتند که در تمام ایستگاه‌ها وضعیت کاهش بر روند حاکم است و نتیجه گرفتند این وضعیت می‌تواند ناشی از تغییرات اقلیمی و یا تغییر در کاربری اراضی باشد.

بنابراین از پیشینه پژوهش چنین به نظر می‌رسد که برای بررسی رابطه میان دبی و عناصر اثرگذار بر آن پژوهشی مؤثر در سطح کل حوزه آبریز مورد مطالعه به‌طور یکپارچه صورت نگرفته است تا با استفاده از آن وضعیت روند دبی در سطح منطقه مورد مطالعه بررسی گردد و این در حالی است که حوزه آبریز تجن به حوضه رسوبی دریای مازندران ختم می‌گردد و رواناب حاصل از محدوده تجن می‌تواند در بقای اکوسیستم این حوضه مؤثر باشد. به همین جهت این تحقیق با توجه به اهمیت تغییرات مشهود دبی بر منابع آب در دسترس و همچنین سلامت اکوسیستم دریای مازندران، به بررسی مؤلفه مذکور در سطح کل حوزه آبریز تجن می‌پردازد تا با انتشار یافته‌ها بتوان اغتشاشات موجود در روند را به تغییرات اقلیمی یا فعالیت‌های انسانی نسبت داد و همچنین با توجه به تأثیر خصوصیات فیزیوگرافی و تغییرات کاربری اراضی بر جریان رودخانه، دو مؤلفه مذکور نیز در سطح حوزه مطالعه شد تا بدین ترتیب امکان برنامه‌ریزی در خصوص مواجهه صحیح و به‌هنگام با مخاطرات احتمالی مرتبط با جریان رودخانه را فراهم نمود.

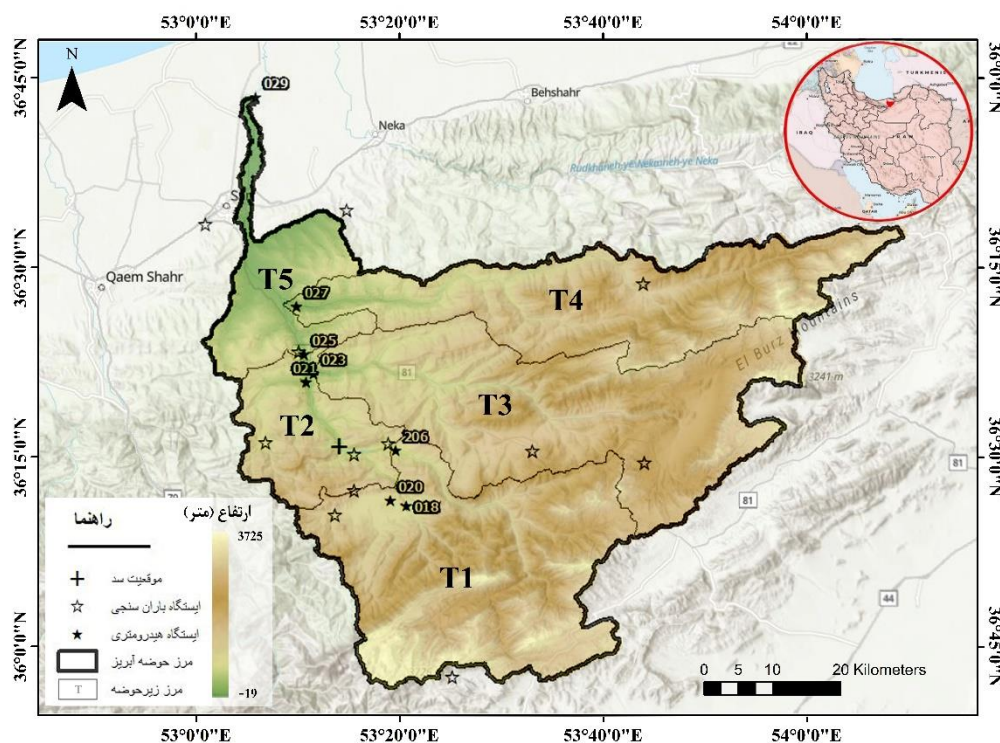
## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه و داده‌های اولیه

به‌منظور تعیین محدوده حوزه آبریز مورد مطالعه، با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS10.5 لایه‌های اطلاعاتی

می‌بارد که بیشترین بارش منطقه مورد مطالعه در فصل پائیز رخ می‌دهد و ماه آبان به‌طور متوسط با ۷۴ میلی‌متر بارش، مرطوب‌ترین ماه در سطح حوزه آبریز تجن است. خشک‌ترین فصل سال نیز تابستان است. از سوی دیگر دبی آبراهه اصلی حوزه آبریز تجن، در اسفندماه به اوج خود با ۲۵ مترمکعب بر ثانیه می‌رسد و این در حالی است که به‌طور متوسط سالانه ۱۰ مترمکعب بر ثانیه دبی جریان رودخانه اصلی است. بیشترین شیب تغییرات بلندمدت (۱۳۷۹-۱۳۹۹) بارش ماهانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داده‌شده در نمودار شکل ۲ برابر ۰/۱۳ میلی‌متر افزایش (ایستگاه P2) در ماه است درحالی‌که بیشترین شیب تغییرات دبی بلندمدت ماهانه برابر ۰/۱۱ مترمکعب (ایستگاه Q-020) کاهش در ماه است.

نهایتاً به دریای مازندران می‌پیوندد. دمای متوسط سالانه منطقه ۱۵/۹ درجه سانتی‌گراد است و بر اساس تقسیمات اقلیمی دومارتن، شرایط اقلیمی مدیترانه‌ای بر منطقه مستولی است (Sheidaeian *et al.*, 2015). همچنین به‌منظور بررسی رژیم بارشی حاکم بر منطقه مورد مطالعه، ابتدا بر اساس میانگین بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی و ارتفاع هرکدام، رگرسیون خطی محاسبه شد و نهایتاً طبق محاسبات، نقشه شکل ۳ ترسیم شد که نتایج حاکی از استیلای شرایط خاص در خصوص بارش منطقه مورد مطالعه است به‌طوری‌که برخلاف انتظار، با افزایش ارتفاع از میزان بارش کاسته می‌شود و به عبارتی دشت‌ها در حوزه آبریز تجن، سهم بیشتری از بارش دارند. بر اساس اطلاعات مستخرج از نمودارهای شکل ۲ به‌طور میانگین ۶۳۶ میلی‌متر بارش در سطح حوزه آبریز تجن



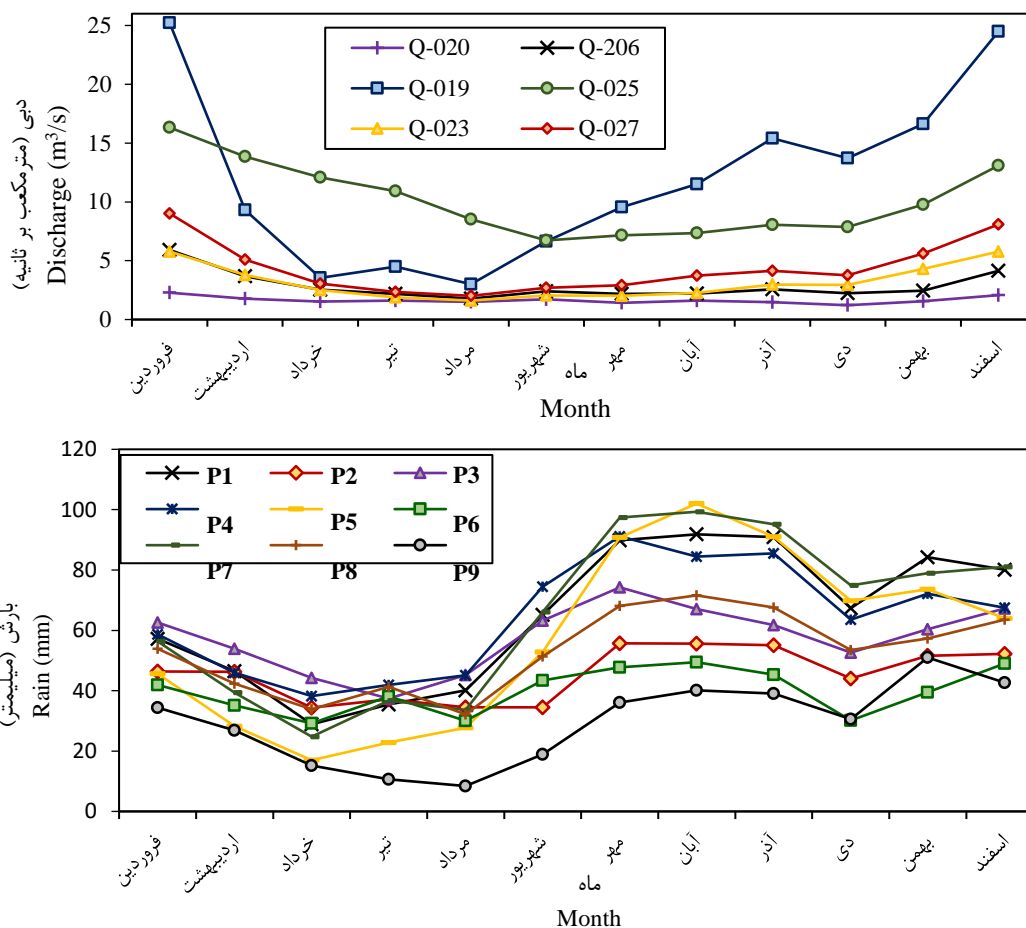
شکل ۱ - موقعیت حوزه آبریز تجن بر اساس داده‌های ارتفاعی دیجیتالی با دقت ۳۰ متر.

Figure 1 - The location of Tajan watershed based on Digital Elevation Model with 30-meter accuracy.

جدول ۱ - مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

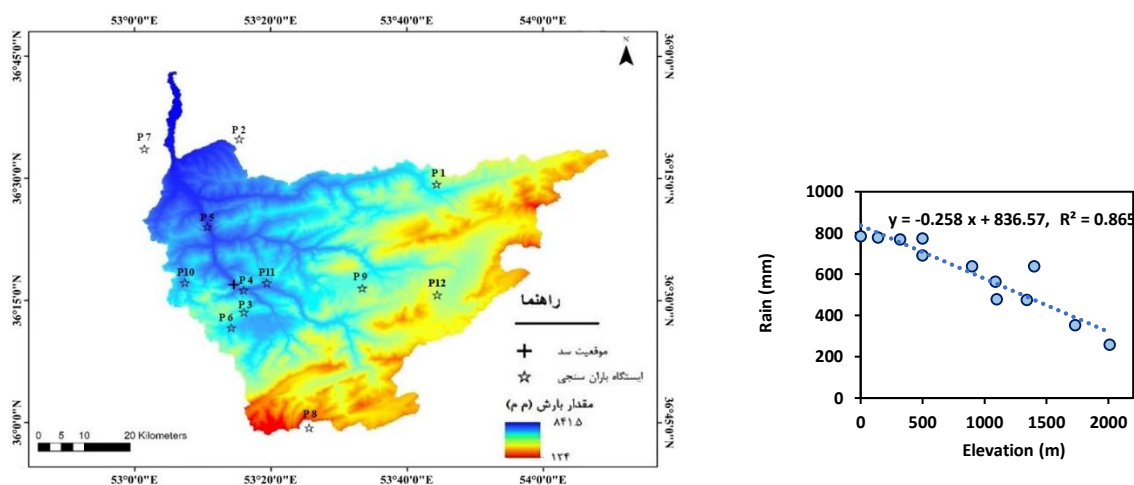
Table 1 - Characteristics of the studied stations

نوع ایستگاه Type	ارتفاع (متر) Height (meter)	عرض جغرافیایی latitude	طول جغرافیایی Longitude	نام ایستگاه Name	کد Code	نام اختصاری Short name	دوره زمانی داده‌ها Period
هیدرومتری Hydrometric	669	36-10-21	53-20-05	علی‌آباد - دودانگه Aliabad - Dodangeh	13-018	Q-018	1379-1399
هیدرومتری Hydrometric	648	36-10-47	53-18-35	کرچا - دودانگه Karcha - Dodangeh	13-020	Q-020	1379-1399
هیدرومتری Hydrometric	248	36-20-18	53-10-36	واستان Vastan	13-021	Q-021	1379-1399
هیدرومتری Hydrometric	252	36-20-57	53-11-21	ورند Varan	13-023	Q-023	1379-1399
هیدرومتری Hydrometric	223	36-22-31	53-10-31	ریگ چشمه Rig Chashmeh	13-025	Q-025	1350-1399
هیدرومتری Hydrometric	170	36-26-17	53-09-54	گرمروود Garmrood	13-027	Q-027	1379-1399
هیدرومتری Hydrometric	-18	36-42-36	53-06-17	کردخیل Kordekheil	13-029	Q-029	1350-1399
هیدرومتری Hydrometric	506	36-14-45	53-19-09	پروریج آباد Parvarij Abad	13-206	Q-206	1379-1399
باران‌سنجی Rain Gauge	1402	36-27-19	53-43-20	برما Berma	311029	P1	1379-1399
باران‌سنجی Rain Gauge	140	36-33-41	53-15-06	دارابکلا Darabkola	313023	P2	1350-1399
باران‌سنجی Rain Gauge	1090	36-12-02	53-14-54	تلارم Telarm	313012	P3	1350-1399
باران‌سنجی Rain Gauge	500	36-14-30	53-15-09	سلیمان تنگه Soleyman tangeh	311010	P4	1350-1399
باران‌سنجی Rain Gauge	223	36-22-31	53-10-31	ریگ چشمه Rig Cheshmeh	313007	P5	1350-1399
باران‌سنجی Rain Gauge	1100	36-11-59	53-16-35	فریم صحرا Farim Sahra	311002	P6	1379-1399
باران‌سنجی Rain Gauge	0	36-35-04	53-14-55	اداره ساری Sari Office	313002	P7	1379-1399
سینوپتیک Synoptic	2010	35-54-33	53-14-55	چاشم Chashem	-	P8	1379-1399
سینوپتیک Synoptic	1341	36-14-30	53-32-22	کیاسر Kiasar	-	P9	1379-1399
باران‌سنجی Rain Gauge	750	36-15-48	53-06-29	لاجیم Lajim	313009	P10	1379-1399
باران‌سنجی Rain Gauge	650	36-14-45	53-19-09	پروریج آباد Parvarijaba d	313016	P11	1379-1399
باران‌سنجی Rain Gauge	1737	36-13-01	53-43-00	تلمادره Telmadareh	311021	P12	1379-1399



شکل ۲ - نمودارهای میانگین بلندمدت ماهیانه (۱۳۷۹-۱۳۹۹) دبی و بارش ایستگاه‌های حوزه آبریز تجن

Figure 2- Long-term average monthly variations of discharge and precipitation in the stations located in Tajan watershed



شکل ۳ - نقشه هم‌باران حوزه آبریز مورد مطالعه که بر اساس معادله گرادیان بارش نشان داده شده در نمودار به دست آمده است.  
Figure 3- Distribution of average annual precipitation over the studied watershed (based on the precipitation gradient equation shown on the figure).

## شاخص RAPS

شاخص مقادیر تجمعی استاندارد شده (RAPS) به منظور نشان دادن روند تغییرات یک متغیر در درازمدت مورد استفاده قرار می‌گیرد. با استفاده از این شاخص، می‌توان از طریق ارزش‌گذاری مجدد متغیرهایی با واحدهای مختلف آن‌ها را با یکدیگر مقایسه و مطالعه نمود (Geravand et al., 2022). در این مطالعه دو سری از داده‌های بارش و دبی با سری زمانی یکسان مورد مطالعه قرار می‌گیرند و به همین جهت نیاز است تا تغییرات نسبت به میانگین در هر کدام، با شاخصی که بتوان آن‌ها را با یکدیگر نیز مقایسه کرد امکان‌پذیر باشد. در این راستا گابرش و هرناندز در سال ۱۹۹۴ رابطه‌ای را تحت عنوان شاخص RAPS توسعه دادند که از طریق فرمول‌های (۱) و (۲) برای دبی (Q) و بارش (P) محاسبه می‌گردد (Gabrecht & Fernandez, 1994).

$$RAPS_P(k) = \sum_{i=1}^{k \leq n} \frac{P_i - \bar{P}}{S_P} \quad (1)$$

$$RAPS_Q(k) = \sum_{i=1}^{k \leq n} \frac{Q_i - \bar{Q}}{S_Q} \quad (2)$$

در روابط فوق  $n$  تعداد داده‌ها در سری‌های مورد بررسی است و  $k$  شمارنده حدود جمع را نشان می‌دهد. همچنین  $P_i$  و  $Q_i$  نیز به ترتیب مقادیر بارش و دبی می‌باشند،  $\bar{P}$  و  $\bar{Q}$  نیز به ترتیب میانگین بارش و میانگین دبی در طول دوره آماری است. مقادیر به ازای  $S_P$  و  $S_Q$  نیز به ترتیب عدد مربوط به انحراف از معیار بارش و انحراف از معیار دبی می‌باشند.

## آزمون ناپارامتری من-کندال

یکی از روش‌هایی که برای بررسی تغییرات متغیر در سری‌های زمانی یکسان وجود دارد، به‌کارگیری روش‌های ناپارامتریک است که در این بین آزمون من-کندال به‌عنوان یکی از روش‌های ناپارامتریک مورد توجه است (Tabari et al., 2015). این آزمون ابتدا توسط Mann در سال ۱۹۴۵ و سپس توسط Kendall در سال ۱۹۷۵ بر اساس ارزش داده‌هایی با سری زمانی یکسان گسترش داده شده است. همچنین این روش در همان سال‌ها مورد توجه سازمان هواشناسی جهانی قرار گرفت و همانند سایر آزمون‌های آماری، بر مبنای مقایسه فرض صفر و یک بوده به طوری که فرض صفر این آزمون مبتنی بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها است و پذیرش فرض یک دال بر وجود روند در سری داده‌ها است که مراحل محاسبه آماره این آزمون به شرح زیر است (Hirsch et al., 1993):

ابتدا باید اختلاف میان تمامی مشاهدات با یکدیگر محاسبه گردد، سپس تابع علامت  $\text{sgn}$  اعمال گردد و از طریق رابطه (۳) پارامتر  $S$  محاسبه شود.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (3)$$

که در این رابطه  $n$  تعداد مشاهدات و  $x_i$  و  $x_k$  به ترتیب داده‌های  $k$  ام و  $j$  ام سری‌اند. تابع  $\text{sgn}$  نیز توسط رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (4)$$

در مرحله بعدی نیاز است تا واریانس داده‌ها از طریق اعمال رابطه (۵) محاسبه شود:

$$\text{Var} = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^p t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (5)$$

در معادله فوق شیب خط روند محاسبه گردید به طوری که  $j > k$  و  $X_i$  برابر با داده‌های مشاهداتی در واحد زمانی  $i$  است و  $X_k$  برابر با داده‌های مشاهداتی در واحد زمانی  $k$  است و به همین ترتیب پس از اعمال رابطه، برای هر جفت داده یک شیب حاصل می‌گردد. در مرحله بعد نیازمند مقدار میانه سری زمانی مورد مطالعه است که ابتدا باید  $n$  تعداد از مقادیر  $Q_i$  را از کوچک به بزرگ مرتب کنیم و سپس با استفاده از یکی از روش‌های زیر مقدار میانه سری به دست می‌آید.

$$Q_{med} = \begin{cases} Q_{[(n+1)/2]} & \text{اگر داده‌ها فرد باشند} \\ \frac{Q_{[n/2]} + Q_{[(n+2)/2]}}{2} & \text{اگر داده‌ها زوج باشند} \end{cases} \quad (۸)$$

بدین ترتیب شیب خط روند ( $Q_{med}$ ) حاصل می‌گردد که مثبت بودن آن حاکی از وجود روند صعودی و منفی بودن آن نیز ناشی از نزولی بودن روند داده‌هاست. در این مرحله باید فاصله اطمینان در مورد شیب زمانی در سطوح اعتماد آماری محاسبه گردد که به روش رابطه (۹) اقدام می‌شود (Gilbert, 1987):

$$C_\alpha = Z_{1-\alpha/2} \sqrt{\text{Var}(S)} \quad (۹)$$

در رابطه‌ی فوق  $Z_1$  آماره نرمال استاندارد و  $\frac{\alpha}{2}$  سطح معناداری برای سطوح مختلف است. در گام بعدی نیاز است تا حدود اعتماد بالایی و پایینی استنتاج گردد که مقدار آن از رابطه (۱۰) حاصل می‌گردد:

$$\begin{cases} M_1 = \frac{(n - C_\alpha)}{2} \\ M_2 = \frac{(n + C_\alpha)}{2} \end{cases} \quad (۱۰)$$

در رابطه فوق  $n$  به تعداد شیب‌های محاسبه شده تعلق دارد و همچنین  $M_1$  و  $M_2$  به حد پایین و بالای محدوده مورد اطمینان هستند که در مرحله آخر باید  $M_1$  و  $M_2$  1 آمین شیب‌ها از بین شیب‌های محاسبه شده استخراج کرد و چنانچه عدد صفر در دامنه دو شیب استخراج شده قرار گیرد، فرض  $H_0$  مورد پذیرش قرار می‌گیرد و وجود روند

که در نهایت  $p$  معرف تعداد سری‌هایی که در آن حداقل یک داده تکراری وجود داشته باشد و  $t$  نیز معرف داده‌های با ارزش یکسان است.

برای مرحله آخر نیز باید مقدار آماره  $Z$  به واسطه یکی از حالات رابطه (۶) معین گردد.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (۶)$$

در چنین حالتی اگر مقدار  $Z$  عددی مثبت بود، حاکی از وجود روند مثبت است و اگر هم به ازای  $Z$  عددی منفی حاصل شد، نشان‌دهنده وجود روند منفی در داده‌هاست؛ بنابراین تا این مرحله آزمایش روند در سطح معنی‌دار  $\alpha$  صورت پذیرفت و در صورتی که  $|Z| > Z_{1-\alpha/2}$  برقرار باشد،  $H_0$  رد می‌شود و وجود روند محرز می‌گردد که در این معادله مقدار  $Z_{1-\alpha/2}$  از جدول توزیع نرمال استاندارد به دست می‌آید. در این تحقیق  $\alpha = 0.05$  در نظر گرفته شد و فرضیه عدم وجود روند در صورتی که رابطه  $|Z| > 1.96$  برقرار باشد رد می‌شود (Kendall, 1975).

### برآوردگر شیب سن

سن در سال ۱۹۶۸ روشی ناپارامتریک را به جهت تخمین شیب روند در  $n$  تعداد داده را گسترش داد که اولین بار این روش را تیل در سال ۱۹۵۰ ارائه کرده بود. این روش از یک مدل خطی برای تخمین شیب روند بهره می‌برد و مانند باقی آزمون‌های ناپارامتریک مشاهدات را در یک سری زمانی واحد مقایسه می‌کند تا تفاوت‌های آن‌ها را آشکار سازد. بدین منظور برای محاسبه شیب خط روند، ابتدا شیب هر جفت داده با رابطه (۷) محاسبه می‌شود (Sen, 1968):

$$Q_i = \frac{X_i - X_k}{j - k} \quad \text{for } i = 1, \dots, n \quad (۷)$$

پس انجام فرآیندهای مذکور به جهت بررسی صحت داده‌ها از ضریب کاپا استفاده شد چراکه لزوم استفاده از اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای آگاهی از میزان دقت و درستی آن است (Zubiri & Majd, 2013; Alavi Panah, 2012). شاخص کاپا بیانگر اختلاف میان توافق واقعی در داده‌های مرجع و یک طبقه‌بندی خودکار و توافق احتمالی بین داده‌های مرجع و طبقه‌بندی تصادفی است که بر اساس تغییرات بین صحت واقعی در ماتریس خطا و تغییرهای صحت که به‌وسیله مجموع سطر و ستون نشان داده شده است (Hasan zadeh *et al.*, 2022) که این ضریب برای نقشه‌های ۱۴۰۰ و ۱۳۶۳ (شکل ۵) به ترتیب عدد ۹۱ درصد و ۸۶ درصد بوده است. در پایان، بررسی نقشه‌های کاربری اراضی از طریق تفاضل مساحت هر کلاس بین دوره‌ها در منطقه مورد مطالعه صورت گرفت.

## نتایج و بحث

### ویژگی‌های ژئومورفیک محدوده مطالعاتی

به‌منظور مطالعه دقیق‌تر و اشراف بر عوامل مؤثر بر دبی حوزه آبریز تجن، ویژگی‌های فیزیوگرافی منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل رقومی شده ارتفاع با دقت سی متر در نرم‌افزار ArcGIS 10.5 محاسبه و بر اساس موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری، منطقه مورد مطالعه جهت ارائه اطلاعات بیشتر در خصوص تغییرات مکانی متغیرها به ۵ واحد هیدرولوژیکی مهم (شکل ۱) تقسیم شد. نتایج نشان داد مساحت حوضه بالغ بر ۳۹۷۰ کیلومتر مربع و محیط آن نیز ۴۳۲ کیلومتر است (جدول ۲). در بررسی شکل حوزه آبخیز، ضریب گراولیوس برابر با ۱/۹۲ و شاخص هورتون و شیوم به ترتیب، ۰/۴۴ و ۰/۷۵ محاسبه شد که با توجه به اینکه در تمامی زیرحوضه‌ها

در داده‌ها انکار می‌گردد و در غیر این صورت، فرض پیش‌فرض رد می‌شود و  $H_1$  مورد پذیرش قرار می‌گیرد که بر همین اساس وجود روند در سطح مورد اطمینان آزمون، تأیید می‌شود (Gocic & Tajovic, 2013).

### تغییرات کاربری اراضی

جهت ارزیابی تغییرات کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای لندست استفاده شد که از درگاه [Earthexplore.usgs.gov](http://Earthexplore.usgs.gov) برای دو تاریخ مرداد ۱۳۶۳ (کالکشن ۲ از لول ۲ لندست ۵ با سنجنده TM) و مرداد ۱۴۰۰ (کالکشن ۲ از لول ۲ لندست ۸ با سنجنده OLI) دریافت شدند و با نرم‌افزار ENVI 5.3 تصحیحات اتمسفری برای تصاویر اعمال شد (Khavarian *et al.*, 2020) تا بدین ترتیب ارزش موجود به ازای هر باند برابر با بازتاب خالص از سطح زمین باشد و جهت افزایش قدرت طبقه‌بندی در تصویر لندست ۸، تلفیق با باند پانکروماتیک صورت گرفت تا دقت تصویر از ۳۰ متر به ۱۵ متر به ازای هر پیکسل افزایش یابد. در این مرحله به‌منظور تهیه نقاط Training samples نقشه با ترکیب رنگی RGB با استفاده از باندهای قرمز، سبز و آبی ایجاد شد. نهایتاً به‌منظور طبقه‌بندی با توجه به تصاویر رنگ طبیعی و بازدید میدانی منطقه مورد مطالعه، کلاس‌های مورد نیاز در ۷ رده انتخاب شدند و برای هر رده تعداد ۵۰ نمونه Training samples با رعایت پراکندگی مناسب برای هر کاربری مورد استفاده قرار گرفتند و بر اساس الگوریتم Maximum Likelihood Classification، طبقه‌بندی نظارت‌شده تصاویر صورت پذیرفت زیرا میانگین و ماتریس کوواریانس Training samples در این روش، نتایج دقیق‌تری را نسبت به روش‌های کمترین فاصله و طبقه‌بندی متوازی‌السطوح نشان دادند.

ضریب گراولییوس بزرگ‌تر از ۱/۱۲ است، می‌توان از روش مستطیل معادل نیز در بررسی شکل حوزه‌ها استفاده کرد. همچنین زمان تمرکز حوزه‌های کوچک و پرشیب، کوتاه‌تر از زمان تمرکز حوزه‌های بزرگ و کم شیب محاسبه شدند و حوزه‌های دایره‌ای شکل زمان تمرکز کوتاه‌تری نسبت به حوزه‌های کشیده داشتند.

جدول ۲ - ویژگی‌های ژئومورفیک زیرحوضه‌های حوزه آبریز تجن.

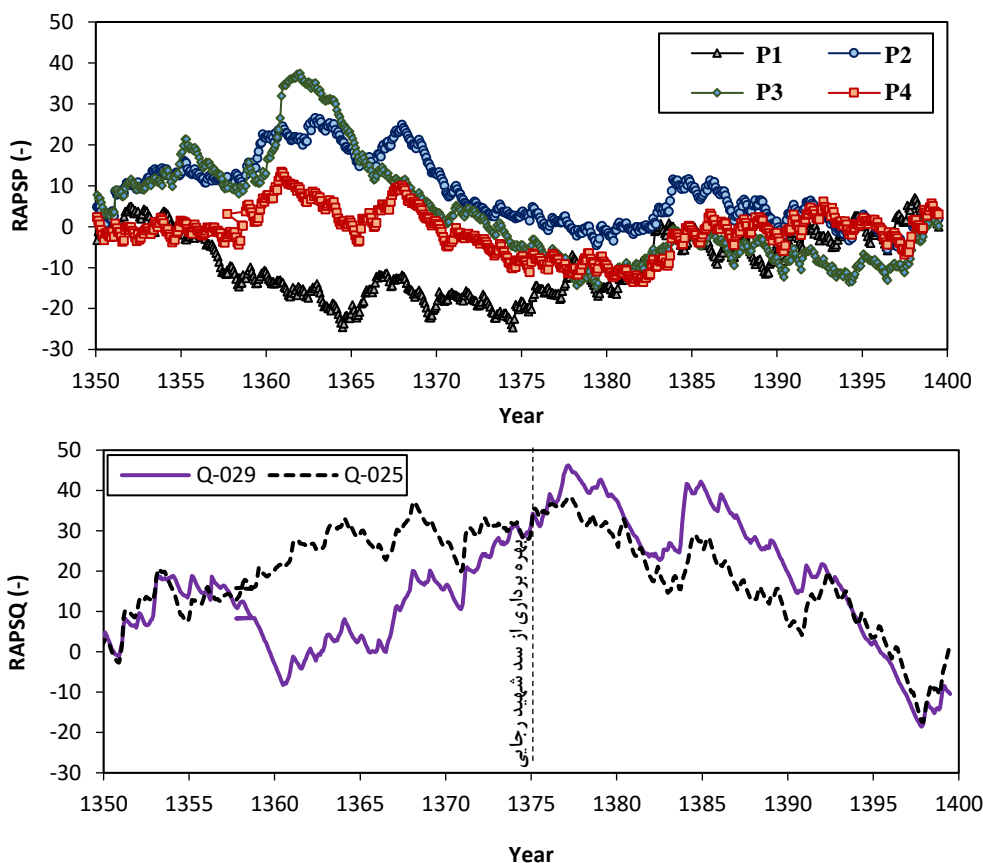
Table 2- Geomorphic characteristics of the sub-watersheds in the Tajan watershed.

کل حوضه All (T)	زیرحوضه ۵ Sub-basin 5 (T5)	زیرحوضه ۴ Sub-basin 4 (T4)	زیرحوضه ۳ Sub-basin 3 (T3)	زیرحوضه ۲ Sub-basin 2 (T2)	زیرحوضه ۱ Sub-basin 1 (T1)	پارامترها (واحد) Parameters (unit)	ردیف No.
0.44	0.17	0.11	0.24	0.38	0.52	ضریب هورتون Horton's Coefficient	1
0.74	0.46	0.37	0.55	0.69	0.81	ضریب شیوم Schumm's Coefficient	2
1.92	2.16	2.32	2.01	1.86	1.67	ضریب گراولییوس Gravelious Coefficient	3
0.27	0.21	0.18	0.24	0.28	0.35	ضریب میلر Miller's Coefficient	4
20.26	4.51	7.74	10.6	6.38	13.54	عرض مستطیل معادل Equivalent Rectangle Width	5
195.98	57.9	116.54	114.14	56.86	91.2	طول مستطیل معادل Equivalent Rectangle Length	6
128.75	35.17	97.72	82.98	25.28	68.31	طول آبراهه اصلی (km) Length of Main Stream	7
2787.91	192.5	2287.21	2178.32	420.61	2787.91	ارتفاع حداکثر آبراهه (m) Maximum Altitude of Stream	8
-13.52	-13.52	192.5	274.69	192.5	420.61	ارتفاع حداقل آبراهه (m) Minimum Altitude of Stream	9
2801.43	206.02	2094.71	1903.63	228.11	2367.31	اختلاف ارتفاع آبراهه (m) Difference of Stream Altitude	10
3970.18	261.35	901.51	1209.49	362.81	1235.02	مساحت (km <sup>2</sup> ) Area	11
432.48	124.83	248.55	249.47	126.49	209.48	محیط (km) Perimeter	12
95.5	39.4	91	71.6	31	48.7	طول حوضه (km) Length of Watershed	13
1337	209	1364	1481	692	1730	ارتفاع میانه (m) Median Altitude	14
12.21	7.45	9.93	8.53	4.89	6.27	زمان تمرکز، روش کرپیچ (h) Time of Concentration, Kirpich Method	15
11.33	6.96	9.23	7.93	4.57	5.83	زمان تمرکز، روش چاو (h) Time of Concentration, Chow Method	16
2.18	0.59	2.14	2.29	0.9	3.47	شیب متوسط آبراهه (%) Average Slope of River	17
24.3	7.57	24.82	22.14	20.62	30.66	شیب متوسط وزنی حوضه (%) Average Watershed Slope	18
0.09	0.09	0.14	0.075	0.19	0.21	دبی ویژه (MCM/km <sup>2</sup> .year) Specific Discharge	19

## تغییرات متوسط بلندمدت ماهانه بارش و دبی

در این تحقیق داده‌های دبی مجموعاً ۸ ایستگاه هیدرومتری و داده‌های بارش ۱۲ ایستگاه باران‌سنجی مورد بررسی گرفتند که با توجه به ماهیت مطالعه، سری‌های زمانی داده‌های بارش و دبی با طول یکسان در نظر گرفته شدند. همچنین لازم به ذکر است که برای برخی ایستگاه‌های موجود محدودیت داده‌برداری وجود داشت، به طوری که به جز برای ایستگاه‌های هیدرومتری Q-025 و Q-029 و ایستگاه‌های باران‌سنجی P4, P3, P2 و P5، در مابقی ایستگاه‌ها صرفاً داده‌های ۲۱ سال اخیر

ثبت شده‌اند. به همین جهت مطالعات در دو بازه ۵۰ ساله و ۲۱ ساله انجام شد. در ادامه به منظور مطالعه‌ی روند بارش و دبی، ابتدا سری زمانی ۵۰ ساله برای داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری Q-029 و Q-025 و ایستگاه‌های باران‌سنجی P4, P3, P2 و P5 در نظر گرفته شدند و سپس مورد بررسی قرار گرفتند و مطالعات بر روی آن‌ها با استفاده از شاخص RAPS انجام شد. شکل ۴ مقادیر ایستگاه‌های در نظر گرفته شده را به ازای مقدار شاخص RAPS نشان می‌دهد.



شکل ۴ - نمودار تغییرات شاخص RAPS بارش ( $RAPS_P$ ) و دبی ( $RAPS_Q$ ) در ایستگاه‌های هیدرومتری و باران‌سنجی حوزه آبریز تاجن که دارای دوره آماری ۵۰ ساله هستند.

Figure 4 - Variations of RAPS index of precipitation ( $RAPS_P$ ) and discharge ( $RAPS_Q$ ) in the hydrometric and rain gauge stations in the Tajan watershed based on a statistical period of 50 years.

همان‌طور که در نمودار شکل ۴ مشخص است، با وجود تغییرات متعدد شیب در سری داده‌های بارش و دبی، هم در داده‌های بارش و هم در داده‌های دبی می‌توان یک نقطه شکست واحد در روند کلی موجود میان داده‌ها تعیین نمود به طوری که هر دو گروه به دو سری قبل از جدول ۳ - نتایج آزمون من-کندال برای ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری منتخب در حوزه آبریز تجن که دارای دوره آماری ۵۰ ساله هستند.

**Table 3 - Results of the Mann-Kendall test for trend analysis of rain and discharge in the selected stations including 50-year recorded data over the Tajan watershed.**

		دوره ۵۰ ساله (۱۳۵۰-۱۴۰۰) 50 Years Period (1984 – 2021)			قبل از سال ۱۳۷۷ Before 1999			پس از سال ۱۳۷۷ After 1999		
متغیر Variable	نام ایستگاه Name	کندال تاو Kendall 's tau	ضریب اچ H-value (MK)	شیب سن Sen's slope	کندال تاو Kendall's tau	ضریب اچ H-value (MK)	شیب سن Sen's slope	کندال تاو Kendall's tau	ضریب اچ H-value (MK)	شیب سن Sen's slope
دبی Discharge	Q-025	-0.096	1	-0.153	0.723	1	1.101	-0.771	1	-1.780
	Q-029	0.139	1	0.287	0.406	1	0.941	-0.763	1	-2.719
بارش Rain	P2	0.153	1	0.173	-0.639	1	-0.868	0.581	1	0.725
	P3	-0.428	1	-0.318	-0.086	1	-0.147	-0.093	1	-0.094
	P4	-0.510	1	-0.534	-0.306	1	-0.582	0.164	1	0.167
	P5	-0.110	1	-0.060	-0.242	1	-0.256	0.498	1	0.573

وجود دارند که بررسی‌ها نشان می‌دهد در تمام ایستگاه‌ها روند معناداری را می‌توان گزارش نمود. بر این اساس ایستگاه‌های بارشی P3، P4 و P5 روند منفی در طول آمار ۵۰ ساله دارند که در این بین ایستگاه‌های P3 و P4 با شیب بیشتری مواجه هستند و تنها ایستگاه P2 با شیب ملایمی در وضعیت صعودی قرار دارد. همچنین بر اساس نقطه شکست در تاریخ نیمه سال ۱۳۷۷ نیز تا قبل از این تاریخ تمامی ایستگاه‌های بارشی با شیب تندی روند معنادار نزولی را داشته‌اند اما پس از این تاریخ تقریباً در وضعیت عکس قرار گرفته‌اند به طوری که به جز ایستگاه P3 که تقریباً در وضعیت تعادل است، باقی ایستگاه‌ها با شیب تقریباً تندی حالت صعودی دارند؛ بنابراین آنچه از بررسی داده‌ها در مقیاس ۵۰ ساله استنباط می‌گردد، حاکی از

بر اساس نتایج به دست آمده، به طور کلی روند تغییرات دبی در هر دو ایستگاه در سطح معنی‌دار ۹۵ درصد رد نمی‌شوند و روند معناداری را نشان می‌دهند که ایستگاه پایانی Q-029 دارای روند مثبت است و ایستگاه Q-025 نیز با شیب بسیار ملایم روند نزولی دارد و این در حالی است که روند دبی در ایستگاه Q-029، قبل از تاریخ نیمه ۱۳۷۷ با شیب تقریباً تندی مثبت بوده و پس از تاریخ مذکور روند آن به شدت نزولی شده است و در ایستگاه هیدرومتری Q-025 نیز همین وضعیت حاکم است به طوری که روند دبی قبل از نیمه سال ۱۳۷۷ با شیب تندی مثبت بوده و پس از این تاریخ نیز با شیب تندی نزولی بوده و داده‌ها نشان می‌دهند که در تمام این حالات روند معناداری وجود دارد. در سویی دیگر داده‌های بارش

نیز روند مثبت وجود دارد. البته ایستگاه‌های P1، P3، P4، P6، P9، P10 و P12 دارای روند معنادار نزولی هستند اما شیب آن‌ها به شدت شیب داده‌های دبی نمی‌باشد و بدین ترتیب بارش منطقه نمی‌تواند وضعیت نزولی روند داده‌های دبی را توجیه نماید.

همچنین بر اساس نتایج به دست آمده، به وضوح می‌توان از روند کاهشی دبی در بیشتر ایستگاه‌ها خبر داد که در این میان الگوی ایستگاه‌های Q-018، Q-020 و Q-021 با یکدیگر مشابهت دارند و منطبق با ایستگاه خروجی حوزه یعنی ایستگاه Q-029 می‌باشند. گفتنی است که دبی در ایستگاه Q-023 نیز بدون روند در ۲۱ سال اخیر است که نهایتاً نتایج تفصیلی آزمون‌های آماری اعمال شده در جدول ۴ ارائه شد.

حاکمیت وضعیت خاصی در منطقه است و شرایط نشان‌دهنده‌ی عدم تطابق رژیم بارش با دبی منطقه مورد مطالعه است. لذا برای اظهار نظر دقیق‌تر می‌بایست تعداد ایستگاه‌های بیشتری مورد بررسی قرار گیرند، به همین جهت به عنوان مکمل نتایج فوق، ایستگاه‌های بیشتری (۸ ایستگاه هیدرومتری و ۱۲ ایستگاه باران‌سنجی) در دوره زمانی ۲۱ ساله (۱۳۷۷-۱۳۹۹) مورد بررسی قرار گرفتند.

در بررسی داده‌های ۲۱ ساله (جدول ۴)، نتایج بیانگر وجود روند منفی با شیب تند در دبی ۷ ایستگاه هیدرومتری است و ۱ ایستگاه هیدرومتری (Q-023) نیز بدون روند است و این در حالی است که بررسی داده‌های بارش نشان‌دهنده‌ی عدم وجود روند در ۴ ایستگاه باران‌سنجی (P5، P7، P8 و P11) است و در ایستگاه P10

جدول ۴ - نتایج آزمون من-کندال برای ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه حوزه آبریز تاجن در دوره ۲۱ ساله (۱۳۷۷ تا ۱۳۹۹).

**Table 4- Results of the Mann-Kendall test for trend analysis of rain and discharge in the selected stations including 21-year recorded data over the Tajan watershed.**

متغیر Variable	نام ایستگاه Name	کندال تاو Kendall's tau	ضریب اچ H-value (MK)	شیب سن Sen's slope	متغیر Variable	نام ایستگاه Name	کندال تاو Kendall's tau	ضریب اچ H-value (MK)	شیب سن Sen's slope
بارش Rain	P1	-0.205	1	-0.183	بارش Rain	P7	0.082	0	0.161
	P2	0.215	1	0.198		P8	0.078	0	0.019
	P3	-0.391	1	-0.433		P10	-0.149	1	-0.229
	P4	-0.460	1	-0.624		P12	-0.157	1	-0.136
	P5	0.035	0	0.035		P9	-0.227	1	-0.315
	P6	-0.273	1	-0.400		P11	0.024	0	0.044
دبی Discharge	Q-018	-0.383	1	-1.218	دبی Discharge	Q-025	-0.152	1	-0.228
	Q-020	-0.421	1	-3.487		Q-027	-0.425	1	-0.738
	Q-021	-0.669	1	-2.135		Q-029	-0.299	1	-0.981
	Q-023	-0.059	0	-0.140		Q-206	-0.382	1	-0.535

این موضوع را عدم تطابق الگوی بارشی منطقه با الگوی دبی اثبات می‌کند. به همین جهت بر اساس یافته‌های تحقیق می‌توان بیان نمود که در واقع تغییرات کاربری نیز

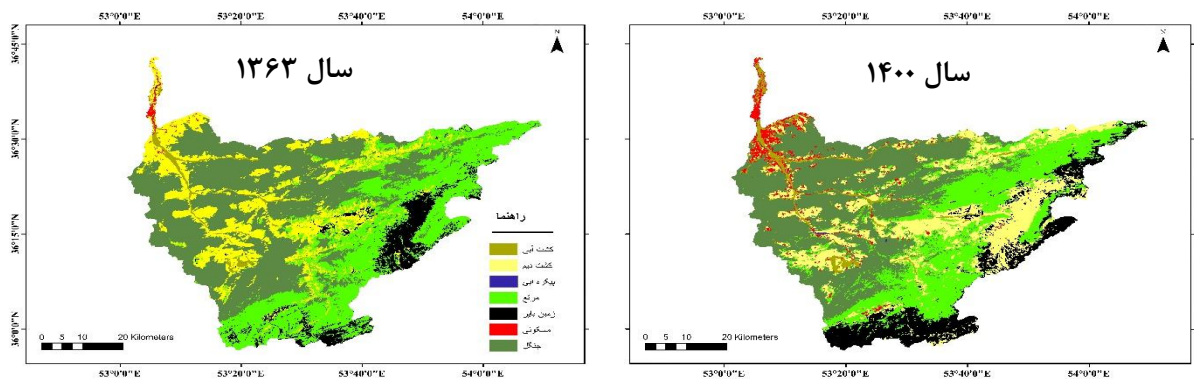
بنابراین آنچه از بررسی‌های صورت گرفته استنباط می‌شود این است که رژیم حاکم بر دبی آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه صرفاً از متغیرهای اقلیمی تبعیت نمی‌کنند و

شهری تبدیل شدند، لذا نتایج، تغییرات قابل توجهی را در سطح اراضی کشت دیم نشان نمی‌دهد. همچنین در خصوص حوزه T4 نکته حائز اهمیت این است که بیشترین تغییرات در این ناحیه مربوط به تبدیل مراتع به زمین‌های بایر بوده است که این مسئله می‌تواند ناشی از تأثیر تغییرات اقلیمی در منطقه باشد. در همین راستا یافته‌های این تحقیق، نتایج حاصل از پژوهش Rajaei و همکاران در سال (۲۰۲۰) را تأیید می‌کند. بدین ترتیب که آن‌ها اذعان داشتند در یک دوره ۳۴ ساله، کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه دچار تغییرات شدیدی شده و به دنبال آن نیز کاربری جنگلی حوزه آبریز تجن کاهش پیدا کرده و این در حالی بوده که سطح زیر کشت محصولات کشاورزی رشد داشته است. Qodsi نیز طی پژوهشی در سال (۲۰۱۶) به این نتیجه رسید که پوشش مراتع و جنگل‌ها به نفع پدیده‌های انسان‌ساخت تخریب شده است که نتایج پژوهش نگارندگان نیز این موضوع را تأیید می‌کند. همچنین Farajzadeh و Fallah نیز طی پژوهشی در سال (۲۰۰۸) تغییرات کاربری شدیدی را در منطقه مورد مطالعه مشاهده کردند به طوری که طی دوره زمانی مطالعه، پوشش گیاهی کاهش پیدا می‌کند و این در حالی است که عوارض انسان‌ساخت گسترش می‌یابند و از این جهت یافته‌های این تحقیق نیز بیانگر همین موضوع است.

باید از عواملی باشد که بر دبی منطقه مورد مطالعه اثرگذار است.

**کاربری اراضی:** تغییرات کاربری اراضی حوزه‌های آبریز به دنبال تغییرات اقلیمی و سیاست‌های محلی پیوسته در حال تغییر است و این در حالی است که وضعیت کاربری اراضی در سطح حوزه مستقیماً در پاسخ هیدرولوژیک حوزه دخالت دارد و می‌تواند وضعیت منابع آب موجود را متأثر سازد (Chen *et al.*, 2020; Ahmadi Sani *et al.*, 2018) لذا با توجه به تأثیر کاربری اراضی بر متغیر مورد بحث در این پژوهش، تغییرات کاربری اراضی در سطح حوزه آبریز تجن بررسی شد.

بررسی نتایج نشان می‌دهد که کاربری شهری بیشترین درصد افزایش را در منطقه مورد مطالعه داشته است و بیشترین سطح گسترش آن نیز در پائین‌دست حوزه بوده است و همچنین سطح اراضی کشت آبی نیز دارای افزایش چشم‌گیری بوده است که این مسئله بیانگر تغییر الگوی کشت از دیم به آبی پس از احداث سد شهید رجایی است. در مقابل این تغییرات، اراضی جنگلی و مرتعی منطقه هرکدام به ترتیب ۱۱ و ۱۶ درصد کاهش داشته‌اند به طوری که در بالادست حوزه عمده اراضی جنگلی به نفع اراضی کشت دیم کاهش یافت اما از آنجایی که در پایین‌دست حوزه بسیاری از اراضی کشت دیم به مناطق



شکل ۵ - نقشه کاربری اراضی در سطح حوزه آبریز تجن.

Figure 5- Land use map of the Tajan watershed

جدول ۵- کاربری اراضی حوزه تاجن در سال ۱۹۸۶ و ۲۰۲۲ (برحسب هکتار) و درصد تغییرات کاربری در طول دوره ۱۹۸۶-۲۰۲۲.

Table 5- Land use map of Tajan watershed in 1986 and 2022 (areas are in hectares) and the percentage of land use changes during the period of 1986-2022.

زیرحوضه‌ها Basins	T1	T2	T3	T4	T5	کل حوضه All
سال ۱۳۶۳ Year 1986						
کشت آبی Irrigated cultivation	1508.8	1254	917.1	1092.2	1668.6	6440.7
کشت دیم Rainfed cultivation	21870	9954.7	22083	13025.6	11952.2	78885.5
پیکر آبی Water Body	5.5	6.2	13.8	0	0.5	26.0
مرتع Range Land	52083.3	338.6	38203.9	30160.7	301.5	121088.0
زمین بایر Bair Land	8375.2	13.7	19240.5	772.4	348.1	28749.9
جنگل Forest	39358.2	24639.3	40729.7	43794.8	10406	158928.0
مسکونی Urban	11.7	24.1	20.9	1090	536.1	1682.8
سال ۱۴۰۰ Year 2021						
کشت آبی Irrigated cultivation	2389.6	2125.8	2069.7	2512.8	4417.1	13515.0
کشت دیم Rainfed cultivation	18336.5	5194.6	39025	15164.2	1982.5	79702.8
پیکر آبی Water Body	147.9	0	47.9	0	0.7	196.5
مرتع Range Land	43442.5	420.5	27408.8	30505.6	11.6	101789.0
زمین بایر Bair Land	25601.3	0.5	15368	4415.8	565.5	45951.1
جنگل Forest	31663.7	26617.5	35647.5	35090.8	12621.6	141641.0
مسکونی Urban	1631.6	1871.9	1641.7	1167.6	6692.7	13005.5
تغییرات کاربری ۱۴۰۰ نسبت به ۱۳۶۳ (درصد) Land Use Changes During 1986 – 2021 (%)						
کشت آبی Irrigated cultivation	58.4	69.5	125.7	130.1	164.7	109.8
کشت دیم Rainfed cultivation	-16.2	-47.8	76.7	16.4	-83.4	1.0
پیکر آبی Water Body	2589.1	-100	247.1	0	33.8	655.0
مرتع Range Land	-16.6	24.2	-28.3	1.1	-96.2	-15.9
زمین بایر Bair Land	205.7	-96.4	-20.1	471.7	62.5	59.8
جنگل Forest	-19.6	8	-12.5	-19.9	21.3	-10.9
مسکونی Urban	13845.3	7667.2	7755	7.1	1148.4	672.9

## نتیجه‌گیری

موقعیت بالادست سد قرار دارند و همچنین ایستگاه‌های Q-027 و Q-023 که در وضعیت موازی با زهکشی سد دارند نیز مشابه با دو ایستگاه پائین‌دستی است که بر همین اساس نگارندگان به پژوهشگران آتی پیشنهاد می‌کنند که ارتباط میان وضعیت آب‌های زیرزمینی در سطح منطقه مورد مطالعه با آبریزی سد شهید رجایی بررسی کنند تا بتوان در خصوص تأثیر سد بر آب‌های زیرزمینی و کاهش دبی در تمامی آبراهه‌های حوزه آبریز تجن نظر علمی ارائه داد.

همچنین شاخص‌های آماری ارائه‌شده در این پژوهش علاوه بر اینکه قابلیت تکرارپذیری و پیاده‌سازی در سایر حوزه‌های آبریز را دارد، می‌تواند در راستای آشکارسازی روند تغییرات متغیرهای بارش و دبی حوزه آبریز به مدیران جهت دستیابی به مدیریت پایدار حوزه و بهره‌مندی حداکثری از خدمات اکوسیستم حوزه آبریز کمک کند. به همین جهت به کارگیری نتایج این تحقیق می‌تواند برای سیاست‌گذاران در جهت اصلاح الگوهای زراعی و محدودیت توسعه در مناطقی که بیشترین تغییرات نامطلوب را داشته‌اند مفید باشد.

همچنین با توجه به اینکه در این تحقیق به دنبال عدم پیوستگی در داده‌های کیفیت آب و رسوب، از بررسی آن صرف‌نظر شد لذا نگارندگان به پژوهشگران آتی پیشنهاد می‌کنند تا بررسی جامع متغیرهای هیدرولوژیکی در سایر حوزه‌های آبریز توسط شاخص‌های پیشنهادی این پژوهش مورد توجه قرار گیرد.

## References

- Abera, F.F., Asfaw, D.H. & Nigussie, A. (2017). Trend and Variability of Rainfall & Stream Flow Series at Tekze River. *J. Scientific and Engineering Research*, 8(11), 665-680
- Adib Taleghani, D. & Khoshmanesh, B. (2020). Assessment of Precipitation, Evapotranspiration and Discharge Changes of Kan River Basin, with Regard to Climate Change. *J Environment & Interdisciplinary Development*. 66, 1-18. (In Persian).

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، به دنبال تغییرات شدید کاربری و تخریب اراضی جنگلی به نفع پدیده‌های انسان‌ساخت نظیر اراضی زراعی و مناطق مسکونی در منطقه مورد مطالعه، رواناب حاصل از باران افزایش یافته و در نتیجه روند دبی آبراهه‌ها به‌رغم فاز کاهش روند بارش طی دوره ۱۳۵۰ تا ۱۳۷۷ در وضعیت افزایشی بوده اما این وضعیت صرفاً محدود به همین دوره است و پس‌از این تاریخ روند دبی به‌یک‌باره در تمامی ایستگاه‌های هیدرومتری با شیب تندی در وضعیت نزولی قرار گرفته است و این در حالی است که از بین ۱۲ ایستگاه باران‌سنجی که مورد بررسی قرار گرفت، ۴ ایستگاه (P5, P7, P8 و P11) بدون روند بوده‌اند و ایستگاه P2 نیز روند صعودی دارد. البته در باقی ایستگاه‌ها که روند نزولی حاکم است، بر اساس نتایج آزمون شیب سن، شدت آن‌ها بسیار کمتر از شدت نزولی دبی آبراهه‌هاست از این‌رو وضعیت بارش منطقه مورد مطالعه نمی‌تواند به‌تنهایی فاز کاهش دبی آبراهه‌ها را توجیه کند. به همین جهت بر اساس نتایج این تحقیق با توجه به نزدیک بودن بروز اغتشاشات در روند دبی آبراهه‌ها به تاریخ آبریزی سد شهید رجایی، این وضعیت را می‌توان به احداث سد شهید رجایی نسبت داد که باعث کنترل دبی شده است اما نکته حائز اهمیت این است که صرفاً ایستگاه‌های هیدرومتری Q-025 و Q-029 قسمت پائین‌دست سد قرار دارند اما الگوی ایستگاه‌های Q-018، Q-020 و Q-206 که در

- Ahmadi, M. & Dadashi, A.A. (2016). Assessment of the tracks of spatio-temporal precipitation, Iran. *J Natural Geographic Research*. 48(3), 265-284. (In Persian).
- AhmadiSani, N., Solaimani, K., Razaghnia, L., Mostafazadeh, R. & Zandi, J. (2018). Assessing the efficiency of Arc-CN Runoff tool in runoff estimation and its comparison in 1996 and 2011 years in Haraz Watershed, Mazandaran Province. *J Hydrogeomorphology*. 16, 139-158. (In Persian).

- Alavi-Panah, S.K. (2012). Application of remote sensing in earth sciences (soil sciences). *Tehran University Publications*. Tehran. The fourth splash. 478 pages. (In Persian)
- Ansari, M., Noori, Gh. & Fotohi, S. (2017). Investigation of Temperature Precipitation and Flow Trend Using Nonparametric Mankendall (Case Study: Kaju River in Sistan and Baluchestan). *Journal of Watershed Management Research*. 14, 152-158 (In Persian)
- Chen, Y., Niu, J. & Sun, Y. (2020). Study on streamflow response to land use change over the upper reaches of Zhanghe Reservoir in the Yangtze River basin. *J Geoscience Letters*. 7, 2-12.
- Da Silva, R.M., Santos, C.A.G., Moreira, M., Corte-Real, J., Silva, V.C.L. & Medeiros, I.C. (2015). Rainfall and river flow trends using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in the Cobres River basin. *Natural Hazards*. 77, pages 1205-1221.
- Dastourani, M. & Yazdanpanah gharaei, F. (2020). Investigation of precipitation and discharge trends in Aras basin. *J Rainwater Catchment System*. 8(3), 25-34 (In Persian).
- Farajzadeh, M. & Fallah, M. (2008). Assessing the Effects of Land use and Land Cover Change on the Flood Regime of Tajan Basin Using Remote Sensing Technique. *J Physical Geography Research Quarterly*. 64, 89-104 (In Persian)
- Gabrecht, J. & Fernandez, G.P. (1994). Visualization of trends and fluctuations in climatic records. *J. Water Resour Bull*, 30(2), pp 297-306
- Gautam, M. & Acharya, K. (2012). Streamflow Trends in Nepal: Impact of Potential Climate Change in Nepalese Rivers. *Hydrological Sciences*, 57: 344-357
- Geravand, F., Hosseini, S.M., Maghsoudi, M. & Yamani, M. (2022). Characterization of Karst Springs from Zagros Mountain in southwestern Iran. *Environ Earth Sci*, 81, 529. <https://doi.org/10.1007/s12665-022-10645-w>
- Gilbert, R.O. (1987) *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring*. Wiley, New York
- Gocic, M. & Trajkovic, S. (2013). Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. *J. Global and Planetary Change*, 100, 172-182
- <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.10.014>.
- Hasan zadeh, R., Esfandyari, F., Asghari Saraskanrood, S. & Miri, Z. (2022). Evaluation of the results of land use changes on the discharge of Darre Rood river in a period of 30 years using the SWAT model. *J Hydrogeomorphology*. 9(3), 51-69 (In Persian).
- Hirsch, R.M., Helsel, D.R., Cohn, T.A. & Gilroy, E.J. (1993) *Statistical Analysis of Hydrologic Data*. In: D. R. Maidment, Ed., *Handbook of hydrology*, McGraw-Hill Book Co., New York.
- <https://doi.org/10.1007/s40899-020-00441-4>
- Jain, S.K., Nayak, P.C. & Chandniha, D.K. (2017). Trends in Rainfall and Peak Flows for some River in India, *J. Current Science*, 12(5), 1712-1726
- Kendall, M.G. (1975) *Rank correlation methods*. Griffin Publications, London.
- Khatami, S.S., Bouzarjomehri, Kh., Zarrin, A. & Falsolayman. M. (2022). Analysis of Water Resources Management Studies in Iran and the World. *J Geography and Environmental Hazards*. 11(2), 251-271 (In Persian)
- Khavarian, H., Aghaie, M. & Mostafazadeh, R. (2020). Predicting the effects of land use changes on the monthly flow using hydrological model and Remote Sensing in the Kouzetopraghi watershed, Ardabil. *J Hydrogeomorphology*, 6(24), 19-39. (In Persian).
- Koulaian, A., Khoshravesh, M., Mohammadi golafshani, N. & Mirzaee, M. (2016). Analysis of streamflow trend in Mazandaran Rivers using nonparametric Mann-Kendal test. *J Watershed Engineering and Management*. 9(3), 232-245 (In Persian)
- Loni, R., and Sharifzadeh, M. (2022). A review of Water, Energy, and Food Nexus in Iran: Necessity, Challenges and Suggested Solutions. *J Sustainability, Development & Environment*. 3(3), 29-49 (In Persian)
- Majidi, A.A., Radfar, M., Mirabbasi Najafabadi, R., and Marofi, S. (2019). Trend Analysis of Streamflow across the Hamadan Province. *J Iranian Water Research*. 12(3), 27-38 (In Persian).
- Mann, H.B. (1945). Non-Parametric Test against Trend. *Econometrica*, 13, 245-259. <http://dx.doi.org/10.2307/1907187>
- Maroufi. S. & Tabari, H. (2018). Revealing the trend of Maroon river flow changes using

- parametric and non-parametric methods. *J Geographical Research Quarterly*. 26(2), 125-146 (In Persian)
- Mohammadi, T., Sheikh, V. & Zare Garizi, A. (2022). Trend Analysis and Change Points in Stream Flow of Gorganrood Watershed. *J Water and Soil Science*. 26(4), 177-201
- Mojerloo F., Fazloulou R. & Emadi A.R. (2018). Application of the IHACRES Model to Assess the Effects of Climate Change on the Discharge of Tajan Watershed. *Journal of Irrigation and Drainage*. 13(1), 129-141 (In Persian)
- Qodsi, M. (2016). Ecogeomorphological changes of Nekarod and its comparison with Tajan River. *Doctoral thesis in the Physical Geography- geomorphology, Faculty of Geography, University of Tehran*. 104 p (In Persian)
- Rainfall and river flow trends using Mann–Kendall and Sen’s slope estimator statistical tests in the Cobres River basin. *Nat Hazards*. 77, 1205–1221.
- 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. *J. Env. Sci. Tech*. 22(1), 354-365 (In Persian).
- Reiahi, M., Solimani, K., Mosavi, S.R., & Banihashemi, M. (2017). Investigation Effect of Land Use Change on the River Discharge Using HEC-HMS Model (Case study: watershed Neka Leaksha). *J Iranian Water Research*. 11(1), 33-43 (In Persian).
- Sahoo, B.B. & Jha, R. (2020). Assessment of low flow trends and change point detection in Mahanadi River basin, India. *Sustain. Water Resour. Manag.* 6, 81.
- Sen, P. K. (1968). Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *J. American Statistical Association*, 63(324), 1379-1389
- Serrano, A., Mateos V.L. & Garcia, J.A. (1999). Trend Analysis of Monthly Precipitation over the Iberian Peninsula for the Period 1921-1995. *J. Physics and Chemistry of the Earth (B)*, 24(1-2), 85-90
- Sheidaei, M., Ziatabar Ahmadi, M. & Fazloulou, R. (2015). Study on Climate Change Effect on Net Irrigation Requirement and Yield for Rice Crop (Case Study: Tajan Plain). *J Water and Soil*. 28(6), 1284-1297 (In Persian)
- Tabari, H., Taye M.T. & Willems, P. (2015). Statistical assessment of precipitation trends in the upper Blue Nile River basin. *Stochastic Environ Res Risk Assess*, 29, 1751–1761
- Zubiri, M. & Majd, A.R. (2013). Familiarity with remote sensing technology and its application in natural resources, satellite information, aerial photographs, space. *Tehran University Publications*. 317 pages. (In Persian)