



Evaluation of Non-Parametric Methods in Statistical Analysis of Hydrological Changes in Rivers of The Western Urmia Lake Basin

Monireh Faghani¹✉ | Tohid Aligholinia²

1. PhD graduate in Water Science and Engineering-Irrigation and Drainage, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
2. PhD graduate in Water Science and Engineering-Irrigation and Drainage, Environmental researcher and university lecturer, Saba University of Urmia, Iran.

✉Corresponding Author: Monir.faghani@yahoo.com

Received:
20 October 2024

Accepted:
06 January 2025

Published:
19 March 2025

Keywords:

*Non-Parametric Test,
Distribution Function,
Trend Analysis,
Flow Regime.*

Extended abstract

Abstract

Trend analysis in hydrological time series is a fundamental aspect of water resources management, especially in regions experiencing significant environmental and climatic changes. The presence of non-stationarity, often due to natural and anthropogenic factors, can lead to gradual changes in river flow regimes. Detecting these trends is crucial for the sustainable planning and operation of water infrastructure and for understanding the broader impacts of climate variability. While parametric statistical methods have traditionally been used for such analyses, their reliance on assumptions like normality and independence can limit their applicability to hydrological data, which are often non-normal and contain outliers. Consequently, non-parametric methods have gained prominence due to their robustness and flexibility.

Materials and Methods

This study utilizes annual mean discharge data from 15 hydrometric stations in West Azerbaijan Province, Iran, covering a minimum period of 25 years (1986–2011) with less than 5% missing data. Data quality was ensured through homogeneity testing (Wilcoxon test) and randomness assessment (Runs test), and missing values were reconstructed where necessary.

Cite this article: Faghani, M. & Aligholinia, T. (2025). Evaluation of Non-Parametric Methods in Statistical Analysis of Hydrological Changes in Rivers of The Western Urmia Lake Basin. *Journal of Aquifer and Qanat Title*, 5 (2), 175-188. DOI: <http://10.22077/jaaq.2025.8307.1080>



Copyright: © 2025 by the authors. Licensee Journal of Aquifer and Qanat. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

To analyze trends in the hydrological time series, four widely recognized non-parametric methods were applied: Mann-Kendall, Spearman's Rho, Theil-Sen, and Sens' Slope Estimator. These methods were selected for their ability to detect monotonic trends without requiring specific distributional assumptions. Additionally, the Kolmogorov-Smirnov test was used to determine the best-fitting statistical distribution for the annual discharge series at each station, considering multi-parameter distributions such as GEV, Normal, Pearson Type VI, and Wakeby.

Study Area

The study area encompasses the rivers of the western Urmia Lake basin, located in West Azerbaijan Province, northwest Iran. This region is hydrologically significant as approximately 85% of Lake Urmia's inflow originates from these rivers. The selected hydrometric stations are distributed across major tributaries feeding the lake, ensuring comprehensive spatial coverage and representation of the basin's hydrological variability. The area is characterized by a semi-arid to arid climate, and the rivers play a vital role in supporting both ecological and socio-economic activities in the region.

Results and Discussion

The trend analysis revealed statistically significant decreasing trends in annual discharge at four stations: Tazekand, Nazarabad, Tamr, and Yalqouzaghaj. These results indicate a decline in river flow regimes in parts of the western Urmia Lake basin, which may be attributed to a combination of climatic variability and increasing water abstraction for agricultural and domestic uses. Among the four non-parametric methods, Sens' Slope Estimator demonstrated the highest sensitivity and accuracy in detecting trends. The results of the Kolmogorov-Smirnov test showed that multi-parameter distributions, particularly GEV and Wakeby, provided the best fit for the discharge data at most stations, supporting their use in hydrological modeling and forecasting.

These findings are consistent with previous studies in Iran and other regions, which have reported declining trends in river flows, often linked to climate change and human interventions. The observed reductions in river discharge have significant implications for the sustainability of Lake Urmia and the broader regional ecosystem, highlighting the need for adaptive water management strategies.

Conclusion

The application of non-parametric methods in this study proved effective for trend analysis in hydrological time series, particularly in the presence of non-normal and heterogeneous data. The significant decreasing trends detected in several rivers feeding Lake Urmia underscore ongoing hydrological changes that may threaten water availability and ecosystem health in the basin. The use of robust statistical distribution functions further enhances the reliability of hydrological modeling and forecasting. These results emphasize the necessity for continued monitoring, comprehensive statistical analysis, and the implementation of adaptive management practices to mitigate the impacts of declining water resources in the region.



ارزیابی روش‌های ناپارامتری در بررسی آماری تغییرات هیدرولوژیکی رودخانه‌های غرب حوضه دریاچه ارومیه

منیره فغانی^۱ | توحید علیقلی‌نیا^۲

۱. دانش‌آموخته دکتری علوم و مهندسی آب، آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
۲. دانش‌آموخته دکتری علوم و مهندسی آب، آبیاری و زهکشی، پژوهشگر حوزه محیط زیست و مدرس دانشگاه، دانشگاه صبا ارومیه، ایران.

✉ نویسنده مسئول: Monir.faghani@yahoo.com

چکیده

به منظور تدوین هرگونه برنامه‌ریزی در مدیریت منابع آب می‌بایست از توزیع‌های آماری بهره جست. از اهداف اساسی مدیریت آب می‌توان فعالیت‌های توسعه بهره‌برداری از منابع آب، بهبود راندمان مصرف، حفاظت از منابع آب و بهبود کمی و کیفی آن‌ها، حفظ محیط زیست و ارتقای سطح مدیریت را نام برد. در این پژوهش به منظور بررسی شرایط فوق، از داده‌های متوسط سالانه جریان ۱۵ ایستگاه هیدرومتری در استان آذربایجان غربی در بازه زمانی ۲۵ سال (۱۳۹۰ - ۱۳۶۵) استفاده شد. جهت بررسی روند نیز چهار روش ناپارامتری من-کندال، اسپیر-من، تایل-سن و سنس-تی لحاظ گردید. نتایج روند کاهشی معنی‌داری را در ۴ ایستگاه هیدرومتری تازه‌کند، نظرآباد، تمر و یالقوزآغاج نشان داد. در این خصوص مقایسه نتایج هر چهار روش، نشان از دقت پایین روش سنس-تی در روند بوده است. همچنین در مورد تصادفی بودن داده‌ها از آزمون W-W Test و برای بررسی همگنی داده‌ها از آزمون Wilcoxon استفاده گردید و توزیع آماری برازش یافته مناسبی بر سری سالانه جریان ایستگاه‌های مورد نظر نیز با توجه به آماره کلموگروف - اسمیرنوف انجام گردید. نتایج نشان داد که داده‌ها با توزیع‌های چندپارامتری از جمله Normal، GEV، Wakeby، Pearson 6 تطابق بیشتر و بهتری داشته‌اند.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۷
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۲۹

کلیدواژه‌ها:

آزمون ناپارامتری،
تابع توزیع،
تحلیل روند،
رژیم جریان.

مقدمه

روند، یکی از اصلی‌ترین عوامل غیر ایستایی است که تاثیر آن، تغییر تدریجی در سری زمانی می‌باشد و عوامل مختلفی از درون و خارج سیستم می‌تواند آن را سبب گردد. البته اثبات وجود روند معنی‌دار در سری‌های زمانی هیدرومتئولوژیکی به تنهایی نمی‌تواند دلیلی قاطع بر وقوع تغییر اقلیم در یک منطقه باشد، بلکه تنها فرض رخداد آن را تقویت می‌نماید. دلیل این عدم قطعیت ناشی از تعدد عوامل تاثیرگذار بر سامانه‌های اقلیمی می‌باشد (Serrano et al., 1999). از طرفی در تدوین هرگونه برنامه‌ریزی در مدیریت منابع آب، فرض بر این است که داده‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی ایستا می‌باشند، بدین معنا که مشخصه‌های آماری سری زمانی تغییر نکرده است. اگر این فرض معتبر نباشد و در مرحله محاسبات مد نظر قرار نگیرد، طراحی‌های مربوطه نیز به درستی انجام نخواهد شد (Kahya and Kalayci, 2004). از سوی دیگر شناخت تغییرات داده‌های هیدرولوژیک در سری‌های زمانی بلندمدت از جمله مسائل و مشکلات مهم در طراحی، برنامه‌ریزی و مدیریت سازه‌های مرتبط با آب می‌باشد که باید با بررسی ویژگی‌های آماری سری داده‌ها و بهره‌گیری از آزمون‌های معتبر به درک صحیح از آن‌ها دست یافت، این در حالی است که عدم کفایت داده‌های مشاهداتی جریان باعث افزایش عدم قطعیت در آنالیزهای مربوطه می‌شود لذا برای استخراج داده‌های با دوره بازگشت طولانی‌مدت از آن‌ها می‌بایست از توزیع‌های آماری بهره برد که بیشتر آنالیزهای مربوطه نیز بر اساس فرض‌های همگنی، عدم وجود روند و تصادفی بودن استوار می‌باشد. بررسی سوابق مطالعاتی گذشته نیز حاکی از توجه گسترده محققین از دیرباز به این موضوع بوده است. (Adeloye and Montaseri, 2002) در پژوهش خود به آنالیز پیوستگی، روند، پراکنش و برازش توزیع مناسب تعدادی از رودخانه‌های ایران و انگلستان پرداختند. آن‌ها برای بررسی روند از آزمون اسپیر-من و برای بررسی پراکندگی داده‌ها از آزمون پراکندگی RUN استفاده نموده و بهترین تابع توزیع برازش را با بهره‌گیری از روش ضریب همبستگی ترسیمی احتمالاتی برای رودخانه‌های ایران، لوگ نرمال سه پارامتری و برای رودخانه‌های انگلستان لوگ پیرسون سه پارامتری را معرفی نمودند (Yue et al.,

2002). به بررسی روند داده‌های دبی حداکثر روزانه در ۲۰ حوضه ایالت انتاریو کانادا پرداختند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که در تعداد زیادی از حوضه‌ها روند کاهشی دبی قابل ملاحظه بوده است. (Cigizoglu et al., 2005) نیز برای بررسی روند داده‌های دبی حداقل، متوسط و حداکثر تعدادی از رودخانه‌های ترکیه از آزمون ناپارامتری من-کندال و آزمون پارامتری t استفاده نمودند و وجود روند را به خصوص در رودخانه‌های غرب و جنوب ترکیه شناسایی نمودند. (Zhang et al., 2006) آبدی سالانه و دبی رسوبات معلق سالانه ایستگاه‌های هیدرومتری واقع بر روی رودخانه اصلی یانگتزی (۴ ایستگاه) و سرشاخه‌های اصلی (۳ ایستگاه) را با کمک آزمون من-کندال و رگرسیون خطی مورد آنالیز روند قرار دادند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که الگوی تغییرات آبدی سالانه و بار رسوبی سالانه در بخش‌های مختلف حوضه آبخیز یانگتزی کاملاً متفاوت است. (Kumar and Merwade., 2009) به بررسی جریان آبراهه‌ها در ۳۱ ایستگاه اندازه‌گیری دبی در هند پرداختند. آن‌ها در این تحقیق وجود روند افزایشی را در جریان‌های متوسط و کم گزارش نمودند و همچنین (Zhao et al., 2010) نیز نتایج مشابهی را در حوضه دریاچه پویانگ چین مشاهده کردند. (Moran et al., 2011) به بررسی روند تغییرات رژیم هیدرولوژیکی رودخانه‌ای در یک دوره ۴۵ ساله در شمال اسپانیا پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش مشخص کرد که رژیم هیدرولوژیک رودخانه به سمت کاهش حجم رواناب و در مقابل افزایش دبی پیک سیلابی گشته است. در کشور ایران نیز در زمینه آنالیز روند متغیرهای اقلیمی می‌توان به تحقیقات (Ghahraman, 2006; Modarres and Silva, 2007) و در بررسی روند متغیرهای دبی به تحقیقات (Ghorbani et al., 2010; Hamed, 2008) اشاره نمود. (Kousari et al., 2017) به بررسی روند خشکسالی‌های بلندمدت در مناطق خشک، نیمه خشک و فراخشک جهان با استفاده از آزمون من-کندال پرداختند. (Abtahi et al., 2014) روند خشکسالی در حوضه دریاچه نمک را با استفاده از آزمون پارامتری رگرسیون خطی و آزمون ناپارامتری من-کندال بررسی کردند. (Majidi et al., 2014) روند خشکسالی هواشناسی استان همدان را با استفاده از آزمون‌های من-کندال و سن مطالعه کردند. پاریزی و همکاران (۲۰۲۳) از

که متولی ثبت اطلاعات هیدرولوژیکی در کشور است استفاده گردد. ایستگاه‌های زیادی در سطح حوضه قرار دارند که برای این پژوهش، آن‌هایی انتخاب شدند که از قدمت کافی برای تحلیل‌های مورد نظر برخوردار باشند. بدین منظور آن دسته از ایستگاه‌هایی که در یک دوره مشترک دارای آمار بیش از ۲۵ سال که دارای ۵ درصد و کمتر نقص آماری در طول دوره بوده‌اند انتخاب گردیدند. بازسازی داده‌ها با استفاده از آزمون ران انجام شد و از همگن بودن داده‌ها در طول دوره آماری اطمینان حاصل شد. جدول (۱) مشخصات این ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد. همچنین با توجه به سهم ۸۵ درصدی آب ورودی دریاچه ارومیه از رودخانه‌های استان آذربایجان غربی، سعی گردید از آمار واقع بر رودخانه‌های منتهی به دریاچه ارومیه استفاده گردد. شکل (۱) نقشه پراکنش ایستگاه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که قبلاً اشاره شد، تاکنون روش‌های آماری متعددی جهت تحلیل روند سری‌های زمانی ارائه گردیده است که این روش‌ها در دو دسته کلی روش‌های پارامتری و ناپارامتری قابل تقسیم می‌باشند. بررسی منابع متعدد نشان می‌دهد که روش‌های ناپارامتری از کاربرد به نسبت وسیع‌تر و چشمگیرتری نسبت به روش‌های پارامتری برخوردارند. در این پژوهش نیز به منظور بررسی روند سری‌های آماری از چهار روش ناپارامتری من - کندال، اسپیر - من، تیل - سن و سنس - تی استفاده گردید. همچنین به منظور شناخت تابع چگالی مناسب برای داده‌های سری مطالعه و انتخاب توزیع برتر در هریک از ایستگاه‌های منتخب از آزمون ناپارامتری کلموگروف - اسمیرنوف استفاده گردید.

از آزمون ناپارامتری من - کندال برای تحلیل روند زمانی جریان پایه ۲۶۶ رودخانه در سرتاسر ایران در بازه زمانی ۳۰ ساله استفاده کردند. نتایج شاخص جریان پایه نشان داد که سهم جریان پایه در تأمین آب سطحی رودخانه‌های مطالعاتی، بین ۰/۱۵ الی ۰/۹۹ درصد است. نتایج روند درازمدت جریان پایه حاکی از آن بود که ۸۳/۰۸ درصد رودخانه‌ها، یک روند نزولی معنی‌دار (در سطح ۰/۹۵) را در بازه زمانی مورد مطالعه تجربه کرده‌اند (Parizi et al., 2023). ایزدی و همکاران (۲۰۲۴) شدت خشکسالی شش شهرستان خراسان جنوبی را با استفاده از آزمون‌های من - کندال و پتیت بررسی نمودند. نتایج آزمون من - کندال در تحلیل روند بارش سالانه و شاخص PNPI نشان داد روند در پنج شهرستان در دهه ۱۹۹۰ کاهشی بوده است (Izadi et al., 2024). سلطانی و همکاران (۲۰۲۳) به منظور بررسی روند زمانی خشکی ایران در آینده از ضریب تغییرات و تحلیل روند نوآورانه به ترتیب برای بررسی تغییرات و روند میانگین سالانه خشکی استفاده کردند. روند مقادیر میانگین سالانه خشکی ایران نشان داد که خشکی در سطوح معناداری ۰/۰۱ و ۰/۰۵ در گذشته افزایش یافته است (Soltani et al., 2023). عباسی و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی تحلیل روند تغییرات تدریجی و سریع دبی جریان و بار رسوب رودخانه‌ی مردق‌چای واقع در استان آذربایجان شرقی پرداختند و از آزمون من - کندال اصلاح شده جهت تحلیل روند تغییرات تدریجی دبی و رسوب و از آزمون شیب سن برای تخمین شیب خط روند استفاده کردند. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که دبی سالانه، ماهانه و دبی فصل بهار، تابستان و زمستان دارای روند کاهشی معنی‌دار در سطح ۱ درصد می‌باشد (Abbasi et al., 2022). همچنین داده‌های بار رسوب سالانه و تمام فصول در ایستگاه مردق‌چای نیز دارای روند کاهشی معنی‌دار در سطح ۱ درصد می‌باشد.

مواد و روش‌ها

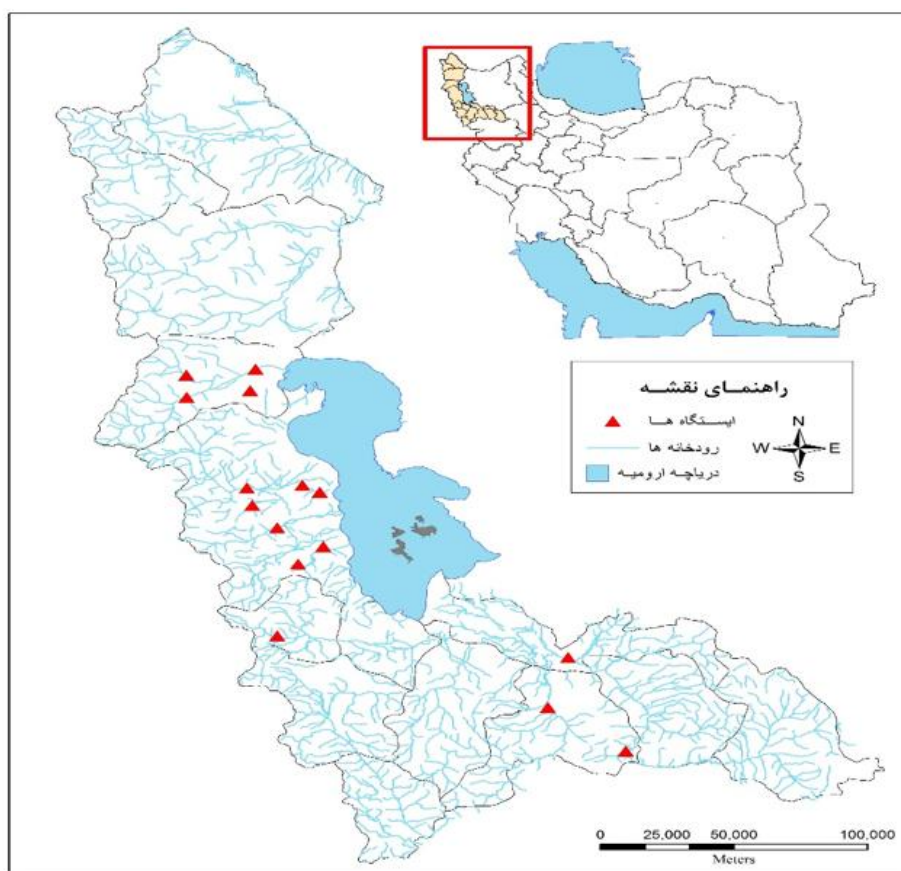
منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش سعی گردید از آمار و اطلاعات انتشار یافته توسط وزارت نیرو (شرکت مدیریت منابع آب ایران)

جدول ۱. مشخصات آماری سری‌های جریان رودخانه‌های غرب دریاچه ارومیه.

Table 1. Statistical Characteristics of River Flow Series West of Lake Urmia.

متوسط دبی سالانه Average annual discharge	دوره آماری Statistical period	عرض جغرافیایی شرقی Eastern longitude	طول جغرافیایی شمالی North longitude	رودخانه River	ایستگاه Station
54.8	1335-1390	36° 29'	46° 29'	زربینه رود	ساری قمیش
16	1330-1390	36° 39'	46° 10'	سیمینه رود	بوکان
3.9	1365-1390	37° 59'	46° 02'	سیمینه رود	کندتازه
8.7	1345-1390	37° 00'	45° 02'	گادارچای	پی قلعه
1.3	1353-1390	37° 21'	45° 09'	بالانچ چای	قاسملو
8.2	1329-1390	37° 24'	45° 14'	باراندوز چای	بابارود
5	1329-1390	37° 30'	45° 01'	شهرچای	بند ارومیه
1.2	1362-1390	37° 42'	45° 12'	روضه چای	گویجعلی اصلان
12	1330-1390	37° 40'	44° 54'	نازلوچای	تیبیک
7.5	1344-1390	37° 43'	45° 08'	نازلوچای	آباجالوسفلی
1.3	1365-1390	37° 36'	44° 53'	روضه چای	کلهور
3.8	1364-1390	38° 05'	44° 36'	زولاچای	چهریق علیا
0.9	1366-1390	38° 11'	44° 36'	دریک چای	نظرآباد
0.17	1349-1390	38° 07'	44° 52'	خرخره چای	تمر
1.8	1354-1390	38° 14'	44° 56'	زولا چای	یالقوزآغاچ



شکل ۱. نقشه پراکندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه در حوضه مطالعاتی و استان آذربایجان غربی.

Fig 1. Dispersion Map of The Studied Stations in The Study Area and West Azarbaijan Province.

داشت. اگر تعداد داده‌های یک سری بیش از ۱۰ عدد باشد S از توزیع نرمال پیروی خواهد کرد و مقدار معیار آماری استاندارد (Z_s) به صورت رابطه (۶) محاسبه خواهد شد.

$$Z_s = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

بنابراین در یک آزمون دو طرفه برای تشخیص روند در سطح اعتماد α ، فرض صفر که دال بر نبود روند در سری مشاهدات است، رد خواهد شد اگر مقدار Z_s بزرگتر یا مساوی Z جدول باشد.

آزمون اسپیر - من

ابتدا تمام x ها بر حسب مقادیرشان رتبه‌بندی می‌شوند و همین کار نیز برای y ها انجام می‌پذیرد، سپس تفاضل بین رتبه‌ای هر زوج که با d_i نشان داده می‌شود، محاسبه شده و در مرحله بعدی توان دوم d ها تعیین می‌شود و در پایان با بهره‌گیری از رابطه (۷) ضریب همبستگی رتبه‌ای به دست می‌آید.

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2-1)} \quad (7)$$

تحت فرض صفر (H_0) در این آزمون که بیان می‌کند همبستگی وجود ندارد می‌توان به رابطه (۸) اشاره نمود:

$$t = r_s \sqrt{\frac{n-2}{1-r_s^2}} \quad (8)$$

که t توزیع t استیودنت با درجه آزادی $n-2$ است. سپس مقادیر بحرانی توزیع t استیودنت برای سطح معنی‌داری انتخاب شده α و درجه آزادی $n-2$ به دست می‌آید. در نهایت مقادیر t با مقادیر بحرانی مقایسه و اگر $t > t_{\alpha/2, n-2}$ یا $t < -t_{\alpha/2, n-2}$ ، آنگاه H_0 رد می‌شود.

آزمون تیل - سن

سن^۳ (۱۹۶۸) با توسعه و بسط مطالعات آماری که تیل^۴ (۱۹۵۰) به انجام رسانده بود یک روش ناپارامتری را برای تحلیل سری‌های زمانی ارائه نمود. اساس این روش بر محاسبه یک شیب میانه برای سری زمانی و قضاوت

آزمون من - کندال

این آزمون ابتدا توسط من^۱ (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال^۲ (۱۹۷۵) توسعه یافت و کاربرد آن توسط سازمان جهانی هواشناسی (۱۹۶۶) توصیه شده است (Turgay and Ercan., 2005) از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند، اشاره نمود. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند، نیز از دیگر مزایای استفاده از آن است. در این روش داده‌ها به ترتیب زمان وقوع مرتب می‌شوند و هر داده (X_i) با تمام داده‌های بعد از خود (X_j) مقایسه می‌شود. بر اساس رابطه (۱):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_i - x_j) \quad (1)$$

n تعداد مشاهدات سری، X_i و X_k به ترتیب داده‌های i ام و k ام سری می‌باشند. تابع علامت نیز به صورت رابطه (۲) قابل محاسبه است.

$$\text{sign}(x_i - x_j) = \begin{cases} 1 & \text{if } x_i > x_j \\ 0 & \text{if } x_i = x_j \\ -1 & \text{if } x_i < x_j \end{cases} \quad (2)$$

برای متغیرهای مستقل و دارای توزیع یکنواخت و بدون گره (دو یا چندین داده با مقادیر عددی مساوی) میانگین و واریانس پارامتر من - کندال (S) به صورت روابط (۳) و (۴) است:

$$E(S) = 0 \quad (3)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (4)$$

که در آن n : تعداد داده‌های سری مشاهدات است. اگر در سری مشاهدات داده‌های تکراری وجود داشته باشد مقدار واریانس از رابطه (۵) محاسبه خواهد شد.

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

به طوری که t_i : تعداد گره با ظرفیت i را نشان می‌دهد. برای مثال در یک سری داده فقط ۳ عدد با مقادیر مساوی وجود داشته باشد یک گره با ظرفیت ۳ ($t_3=1$) وجود خواهد

³ Sen

⁴ Theil

¹ Mann

² Kendall

مورد آزمون نمی‌توان هیچ‌گونه روندی در سطح اعتماد به کار گرفته شده نسبت داد. در غیر این صورت فرض صفر رد شده و می‌توان پذیرفت که سری زمانی دارای روند معنی‌داری در سطح اعتماد مورد آزمون است.

آزمون روند سنس - تی

این آزمون توسط تعدادی از محققان به فرم ماتریسی $X=(X_{11},\dots,X_{nm})$ توسعه یافت. که در آن n تعداد سال‌ها و m تعداد فصل‌ها است. آزمون بر مبنای آماره T تحت فرض صفر با عدم وجود روند، به صورت نرمال همراه با میانگین صفر و واریانس واحد است. در کل آزمون سنس - تی را برای داده‌های فصلی در فرم ماتریسی بیان کردند. بنابراین مقدار T محاسبه شده یک مقدار واحدی است که بیان‌کننده روند در کل ماتریس است (Van Belle and Hughes.,1984). به منظور محاسبه آماره آزمون T از مراحل ۱۲ و ۱۳ استفاده می‌شود. داده‌های n سال و برای هر سال m فصل به صورت یک ماتریس با ابعاد $n \times m$ تعریف می‌شود. میانگین‌های فصلی n سال بر طبق رابطه $x_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{ij}$ محاسبه می‌شوند. در هر فصل تمام داده‌های n سال را از مقدار داده محاسبه شده میانگین فصلی هر سال کم می‌کنند.

$(X_{ij} - x_j \text{ for } i=1,\dots,n \text{ and } j=1,\dots,m)$ و یک ماتریس $n \times m$ جدید با مقادیر محاسبه شده بالا ایجاد می‌شود. میانگین رتبه‌های هر سال نیز به صورت $R_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m R_{ij}$ محاسبه می‌شود. در نهایت آماره آزمون T به صورت رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود:

$$T = \left(\frac{12m^2}{n(n+1) \sum_{i=1}^n (R_{i,j} - R_j)^2} \right)^{1/2} * \left(\sum_{i=1}^n \left(i - \frac{n+1}{2} \right) \left(R_i - \frac{nm+1}{2} \right) \right) \quad (12)$$

اگر آماره آزمون محاسبه شده $T=0$ باشد، دلالت بر عدم وجود روند در داده‌ها است، هر چند در داده‌های فصلی هر فصل ممکن است روند افزایشی یا کاهشی وجود داشته باشد. اما زمانی که جهت روند بین فصول معکوس هم‌دیگرند، آزمون روند کلی مطابق رابطه ۱۳ می‌تواند همراه‌کننده باشد.

$$Z = \frac{T \frac{n(n+1)}{4}}{\sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{24}}} \quad (13)$$

نمودن در مورد معنی‌داری شیب به دست آمده در سطوح اعتماد مختلف است. مراحل کلی انجام این آزمون به شرح روابط ۹، ۱۰ و ۱۱ می‌باشد.

الف) محاسبه شیب هر جفت داده مشاهده‌ای که با استفاده از رابطه (۹) به دست می‌آید.

$$\beta = \frac{X_t - X_s}{t - s} \quad (9)$$

که در آن، X_s و X_t به ترتیب داده‌های مشاهده‌ای در زمان s و t است و t همیشه بزرگتر از s است. با اعمال رابطه بالا برای هر دو جفت داده مشاهده‌ای، یک سری زمانی از شیب‌های محاسبه شده به دست می‌آید که از محاسبه میانی این سری زمانی، شیب خط روند (β_{med}) به دست می‌آید. مقدار مثبت β_{med} بیانگر صعودی بودن روند و مقدار منفی آن دال بر نزولی بودن روند است.

ب) محاسبه پارامتر C_α در سطوح اعتماد مورد آزمون به کمک رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود.

$$C_\alpha = Z_{1-\alpha/2} * \sqrt{\text{var}(s)} \quad (10)$$

که در آن Z آماره توزیع نرمال استاندارد است و در یک آزمون دو دامنه بسته به سطوح اعتماد مورد آزمون می‌تواند مقادیر مختلفی به خود گیرد و S پارامتر روش من - کندال است که به نحوه محاسبه آن در متن فوق اشاره گردید. مقداره آماره Z برای سطوح اطمینان ۹۵ درصد و ۹۹ درصد به ترتیب برابر ۱/۹۶ و ۲/۵۸ در نظر گرفته می‌شود.

ج) حدود اعتماد پایین (M_1) و حدود اعتماد بالا (M_2) به کمک روابط (۱۱) محاسبه می‌شود.

$$\begin{cases} M_1 = \frac{N_\beta + C_\alpha}{2} \\ M_2 = \frac{N_\beta - C_\alpha}{2} \end{cases} \quad (11)$$

که در آن N_β تعداد شیب‌های محاسبه شده در بند الف است که برابر با $n(n-1)/2$ است. مرحله نهایی این روش، آزمون حدود اعتماد محاسبه شده است. به این ترتیب که از بین شیب‌های محاسبه شده توسط رابطه ۹، M_1 آمین و M آمین شیب‌ها استخراج می‌گردند که به ترتیب شیب حدود اعتماد پایین و شیب حدود اعتماد بالا می‌باشند. در صورتی که عدد صفر در دامنه بین دو شیب استخراج شده فوق قرار گیرد فرض صفر پذیرفته شده و بر سری زمانی

نسبت به سایر توزیع‌ها مناسب‌ترین نوع توزیع به نظر می‌رسد.

یافته‌های تحقیق

به منظور بررسی تغییرپذیری ویژگی‌های هیدرولوژیک داده‌های سالانه ایستگاه‌های مورد نظر در بازه زمانی سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۰ از آزمایشات روند، همگنی، تصادفی بودن و برازش بهترین تابع توزیع که در بخش قبل تشریح گردید، استفاده شد. جدول ۲ به بررسی تصادفی بودن و همگنی داده‌های قبل از نرمال کردن و بعد از آن با استفاده از روش‌های Wilcoxon و W-W Test در سطح معنی‌داری ۵٪ پرداخته است. به منظور شناخت تابع چگالی مناسب برای داده‌های سری مورد مطالعه روش‌های متعددی وجود دارد. در این پژوهش آزمون بررسی توزیع آماری برازش یافته مناسب به سری سالانه جریان ایستگاه‌های مورد نظر با توجه به آماره کلموگروف-اسمیرنوف انجام گردید. در این روش به منظور بررسی بیشتر، از تابع‌هایی با پارامترهای مختلف (از تابع‌های ۲ پارامتری تا تابع‌های ۵ پارامتری) استفاده گردید تا علاوه بر انتخاب مناسب‌ترین تابع چگالی برای هریک از ایستگاه‌ها، دقت تابع‌های موردنظر باهم مقایسه و بررسی گردند (جدول ۳).

که در آن n حجم نمونه مورد استفاده و T مجموع رتبه‌های داده‌هایی است که افزایش تفاوت (یا کاهش تفاوت) داشته‌اند. آماره‌ی حاصل با توجه به یک طرفه یا دوطرفه بودن فرض مقابل مورد بررسی قرار می‌گیرد. در صورتی که حجم نمونه‌ها کوچک باشد این آماره با مقدار حاصل از جدول ویلکاکسون مقایسه می‌شود و در صورت بزرگ بودن حجم نمونه از توزیع نرمال برای رد یا پذیرش فرض صفر استفاده می‌شود.

برازش تابع توزیع

به منظور شناخت تابع چگالی مناسب برای داده‌های سری مطالعه روش‌های متعددی وجود دارد. یکی از آزمون‌هایی که برای سنجش تبعیت توزیع یک نمونه از یک توزیع خاص استفاده می‌شود آزمون ناپارامتری کلموگروف - اسمیرنوف است. آماره D_{max} که به آماره یک نمونه‌ای $k.s$ معروف است، به صورت رابطه (۱۴) تعریف می‌شود.

$$D_{max} = \sup |F_n(x) - F(x)| \quad (14)$$

در این رابطه $F(x)$ تابع توزیع جامعه است که نمونه از آن استخراج شده و $F_n(x)$ توزیع تجربی نمونه است. مادام که $F(x)$ پیوسته باشد، توزیع احتمال D_{max} به $F(x)$ بستگی ندارد. بنابراین، D_{max} یک آماره آزاد توزیع است. از میان توزیع‌های مورد بررسی توزیعی که کمترین D_{max} را دارد

جدول ۲. نتایج آزمون تصادفی بودن و همگنی، قبل و بعد از نرمال کردن.

Table 2. Randomness and Homogeneity Test Results, Before and After Normalization.

بعد از نرمال کردن After normalization		قبل از نرمال کردن Before normalization		ایستگاه Station	رودخانه River
Wilcoxon P-value	W_W Test P-value	Wilcoxon P-value	W_W Test P-value		
0.769	0.8973	4.02E-09	1.18E-74	ساری قمیش	زرینه رود
2.235	2.973	0.00089	2.57E-59	بوکان	سیمینه رود
1.762	0.472	7.01E-06	9.72E-68	تازه‌کند	سیمینه رود
0.561	0.912	1.44E-18	1.70E-70	پی‌قلعه	گادارچای
1.349	1.787	0.61798	8.28E-55	نقده	گادار چای
2.408	0.875	0.1103	8.29E-72	قاسملو	بالانچ چای
2.278	1.934	2.85E-09	9.49E-74	بابارود	باراندوز چای
1.96	2.344	0.000360	0.3695	بند ارومیه	شهرچای
2.561	2.467	2.34E-15	6.6E-76	تپیک	نازلوچای
1.893	0.923	0.0152875	4.04E-66	آباجالوسفلی	نازلوچای
2.401	0.875	0.003302	1.49E-69	کلهور	روضه چای

1.577	2.04	4.54E-05	7.84E-71	چهریق علیا	زولاچای
2.099	0.667	1.25E-11	5.07E-68	نظرآباد	دریک چای
1.673	1.768	0.004286	4.59E-63	تمر	خرخره چای
2.097	0.902	4.06E-05	4.11E-73	یالقوزآغاج	زولا چای

جدول ۳. مقادیر آماره کلموگروف-اسمیرنوف برای توزیع‌های آماری برازش یافته به سری زمانی جریان سالانه.

Table 3. Kolmogorov-Smirnov Statistic Values for Statistical Distributions Fitted to the Annual Flow Time Series.

GEV	Wakeby	Normal	G Pareto	Gamma	Pareto 2	Gamma 3P	Pearson 6	ایستگاه Station	رودخانه River
0.163	0.128	0.238	0.128	0.123	0.112	0.115	0.111	ساری قمیش	زرینه رود
0.330	0.303	0.385	0.303	0.255	0.130	0.387	0.122	بوکان	سیمینه رود
0.225	0.248	0.366	0.248	0.397	0.603	0.397	0.307	تازه کند	سیمینه رود
0.183	0.151	0.243	0.151	0.162	0.156	0.130	0.144	پی قلعه	گادارچای
0.460	0.430	0.395	0.430	0.689	0.689	0.689	0.693	نقده	گادار چای
0.253	0.229	0.295	0.229	0.444	0.546	0.444	0.453	قاسملو	بالانچ چای
0.259	0.231	0.260	0.231	0.450	0.550	0.450	0.450	بابارود	باراندوز چای
0.257	0.217	0.256	0.217	0.253	0.241	0.212	0.190	بند ارومیه	شهرچای
0.188	0.151	0.259	0.151	0.212	0.133	0.189	0.112	تپیک	نازلوچای
0.402	0.375	0.342	0.375	0.642	0.642	0.642	0.642	آباجالوسفلی	نازلوچای
0.158	0.154	0.232	0.154	0.222	0.222	0.271	0.248	کلهور	روضه چای
0.057	0.065	0.226	0.082	0.156	0.243	0.128	0.073	چهریق علیا	زولاچای
0.128	0.135	0.133	0.168	0.181	0.263	0.151	0.189	نظرآباد	دریک چای
0.571	0.590	0.518	0.590	0.997	0.997	0.997	0.999	تمر	خرخره چای
0.057	0.065	0.226	0.082	0.156	0.243	0.128	0.073	یالقوزآغاج	زولا چای

با توجه به جدول ۳ توزیعی که کمترین آماره مورد نظر را دارد به عنوان توزیع مناسب انتخاب می‌شود. همانطور که ملاحظه می‌شود توزیع Wakeby برازش یافته سری داده‌ها علاوه بر قرار گرفتن در داخل محدوده اطمینان سطح ۰.۹۵، بر سری مشاهده شده نیز تناسب مناسب دارد. با بررسی هشت توزیع آماری متداول در سری جریان سالانه رودخانه‌ها مشاهده گردید که تمام رودخانه‌ها نیز از سری واحدی تبعیت نمی‌کنند، بلکه بیشتر آن‌ها از توزیع‌هایی که با پارامتر بیشتر به بررسی تابع چگالی مناسب می‌پردازند، تبعیت کرده‌اند که در این میان می‌توان به توزیع GEV، Normal، Pearson 6، Wakeby اشاره کرد. که این امر با توجه به یافته‌های (Adeloye and Montaseri, 2002) در انتخاب توزیع مناسب نیز منطقی به نظر می‌رسد. مقادیر آماره‌های آزمون حاصل از تحلیل روند با به کارگیری چهار روش من - کندال، تایل سن، اسپیر- من و سنس - تی هر ایستگاه با مقادیر بحرانی

آن در سطح ۵٪ و ۱٪ در جدول ۴ آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود نتایج آزمون‌های مختلف روند نشان می‌دهد که از بین ۱۵ ایستگاه مورد بررسی ۳ ایستگاه تازه کند، یالقوز آغاج و تمر به طور مشترک در بین تمام روش‌های بررسی روند، روند کاهشی را نشان می‌دهند. همچنین نتایج حاصل از تحلیل روند به روش من - کندال نشان می‌دهد که از بین ایستگاه‌های موردنظر، ایستگاه‌های تازه‌کند، نظرآباد و تمر در سطح ۵٪ و ایستگاه‌های قاسملو و یالقوز آغاج در سطح ۱٪ دارای روند کاهشی هستند. لازم به ذکر است که سطح ۱٪ اطمینان بیشتری از وجود روند را تاکید می‌کند. نتایج حاصل از تحلیل روند به روش تایل سن نیز نشان داد که حدود ۲۷٪ ایستگاه‌ها دارای روند معنی‌دار بوده است، بدین ترتیب که از ۱۵ ایستگاه هیدرومتری مورد بررسی، ۴ ایستگاه تازه‌کند، یالقوز آغاج، چهریق علیا و تمر روند کاهشی را نشان می‌دهند. در روش اسپیر- من نیز نتایج حاصل از

نشان دهنده دقت پایین این روش نسبت به سایر روش‌ها است. نتایج حاصل از بررسی آزمون‌های روند که در جدول (۴) آمده است بیانگر این نکته است که در برخی از ایستگاه‌های مورد مطالعه روند معنی‌داری وجود ندارد و فرض صفر مبنی بر عدم وجود روند در داده‌های مشاهداتی رد نمی‌شود. در این ارتباط صرفاً سیر نزولی داده‌ها در نتایج حاصل از آزمون سنس - تی در اکثر ایستگاه‌ها و به طور مشترک در چهار ایستگاه، تازه‌کند، نظرآباد، تمر و یالقوز آغاج مشاهده گردید. لذا با توجه به روند منفی موجود در ایستگاه‌های نامبرده احتمال غیرتصادفی بودن در داده‌های ایستگاه‌های مذکور وجود دارد که باتوجه به مقدار P-value آن در جدول (۲) پیش‌بینی فوق صحیح بوده و مقدار آن از سطح مجاز بیشتر است و فرض غیرتصادفی بودن در داده‌ها تقویت می‌شود.

تحلیل روند سری زمانی دبی نتایج یکسانی را با روش‌های من - کندال و تایل سن نشان داده که در گزارش (Yue et al., 2002) نیز به چنین شباهتی اشاره شده است. در این پژوهش برای تشخیص روند سری‌های زمانی از آماره P-value استفاده می‌شود که وجود و عدم وجود روند را در سطح اطمینان ۱٪ و ۵٪ نشان می‌دهد. همچنین همانطور که مشاهده می‌شود مقادیر آماره آزمون روند سنس - تی برای سری زمانی دبی در جدول ۴ در سطح اطمینان ۱٪ و ۵٪ بیان گردیده است. یادآوری می‌شود که در این روش بر خلاف سایر روش‌ها، سری زمانی ماهانه داده‌ها به طور یکجا به عنوان ورودی مورد استفاده قرار می‌گیرد و اطلاعات به صورت مجزا وارد نمی‌شود. نکته قابل توجه در تحلیل روند این روش، نشان دادن روند کاهشی در حدود ۶۰٪ ایستگاه‌های مورد مطالعه است. همچنین وجود روند معنی‌داری مثبت و افزایشی در ایستگاه ساری قمیش،

جدول ۴. مقادیر آماره‌های آزمون تحلیل روند با روش‌های من - کندال، تایل سن، اسپیر - من و سنس - تی.

Table 4. Values of Trend Analysis Test Statistics With Mann-Kendall, Thiel-Sen, Spearman, and Sens-T methods.

رودخانه River	ایستگاه Station	من - کندال Mann-Kendall	تایل سن Thiel - sen	اسپیر - من Spear-man	سنس - تی Sens-T
زرنه رود	ساری قمیش	0.5	0.071	0.54	2.8**
سیمینه رود	بوکان	0.01	0	0.94	-1.2
سیمینه رود	تازه کند	-3.3**	-0.263*	0**	-7.4**
گادارچای	پی قلعه	-0.01	0	0.97	-1.1
گادار چای	نقده	-1.88	-0.087	0.06	-4.82**
بالانچ چای	قاسملو	-2.3**	-0.022	0.01*	-5.4**
باراندوز چای	بابارود	-0.12	-0.005	0.89	-0.94
شهرچای	بند ارومیه	-0.52	-0.01	0.6	-0.69
نازلوچای	تپیک	-0.21	-0.014	0.11	-0.54
نازلوچای	آباجالوسفلی	-1.6	-0.079	0.06	-4.01**
روضه چای	کلهور	-1.22	-0.015	0.18	-3.06**
زولاچای	چهریق علیا	-1.69	-0.1	0.05*	-5.8**
دریک چای	نظرآباد	-3.41**	-0.05**	0**	-9.07**
خرخره چای	تمر	-4.26**	-0.007**	0**	-9.86**
زولا چای	یالقوز آغاج	-2.25*	-0.043**	0.01*	-5.44**

* وجود روند در سطح ۵٪ ** وجود روند در سطح ۱٪

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی و تحلیل داده‌های سالانه جریان ۱۵ ایستگاه هیدرومتری در استان آذربایجان غربی در بازه زمانی ۲۵ سال از سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۰ پرداخته شده

است. آنالیز مذکور شامل تحلیل روند، پراکنش، همگنی و انتخاب بهترین تابع توزیع آماری برای مدل‌سازی داده‌ها است. مقایسه نتایج روش‌های مختلف روند نشان می‌دهد که بر اساس روش‌های به کار رفته تا حدود ۲۵ درصد

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

دسترسی به داده‌ها

در این پژوهش برای دسترسی به اطلاعات، از داده‌های آماری دبی رودخانه‌های سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی استفاده گردید.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: تحلیل‌های نرم‌افزاری و آماری اطلاعات و نگارش نسخه اولیه مقاله
نویسنده دوم: نظارت بر جمع‌آوری اطلاعات، بازبینی، جمع‌بندی و ویرایش مقاله

منابع

- Abbasi, H., Aalami, M.T. & Faraji, M. (2022). Investigation of the Discharge and Sediment Load Trend in Mordaghchai Using Non-Parametric Tests, *Hydrogeomorphology*, 9(32), 13-15. [In Persian].
- Adeloye, A. J. & Montaseri, M. (2002). Preliminary streamflow data analyses prior to the water resources planning study. *Hydrological Sciences Journal*, 47(5), 679-692. doi.org/10.1080/02626660209492973.
- Abtahi, M., Seif, A. & Khosroshahi, M. (2014). Assessment of temperature and precipitation trends in Kashan Namak lake basin during the last half-century, *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 21(1), 1-12. doi.org/10.22092/ijrdr.2014.8066.
- Cigizoglu, H.K., Bayazit, M. & Onoz, B. (2005). Trends in the maximum, mean, and low flows of Turkish rivers, *Journal of Hydrometeorology*, 6(3), 280-290. doi.org/10.1175/JHM412.1.
- Fathzadeh, A., Lotfi, A. & Qavampour, M. (2012). Comparison of return point and Spearman methods in determining discharge data trend (case study: Khajo Bridge station), 7th Watershed Engineering Conference, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. [In Persian].
- Ghahreman, B. (2006). Time trend in the mean annual temperature of Iran. *Turkish J. Agric. and Forest*, 30(6), 439-448.
- Ghorbani, M.A., Ruskeep, H.A.A., Singh, V.P., & Sivakumar, B. (2010). Flood frequency analysis using Mathematica, *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 34, 171 – 188. [doi . 10.3906/muh-1002-2](https://doi.org/10.3906/muh-1002-2).
- Hamed, K. (2008). Trend detection in hydrologic data: The Mann–Kendall trend test under the

ایستگاه‌ها با روند منفی مواجه هستند و چنانچه معنی‌دار بودن آماری ملاک مدنظر قرار نگیرد و تنها روند منفی ملاک باشد، بیش از ۵۰ درصد خروجی‌های مدل‌ها روند منفی را در آن‌ها تأکید می‌کند. همچنین مقایسه روش‌های مختلف آزمون‌های روند نشان می‌دهد که از بین چهار روش به کار گرفته شده در این پژوهش، روش سنس - تی نسبت به سایر روش‌ها از دقت پایینی برخوردار است به طوری که نتایج حاصل از روش‌های من - کندال، اسپیر - من و تایل سن حاکی از تطابق سه روش مذکور مبنی بر عدم وجود روند در اکثر داده‌های مشاهداتی است. نکته قابل توجه اینکه هر چهار روش به کار گرفته شده در این پژوهش سه ایستگاه تازه‌کند، یالقوزآغاج و تمر را با روند معنی‌دار کاهشی نشان دادند. در این خصوص فتح زاده و همکاران (۲۰۱۲)، نیز در پژوهش خود وجود روند در دبی‌های مشاهداتی رودخانه‌های مورد مطالعه خود را تأیید نمودند (Fathzadeh et al., 2012). این در حالی است که زارع و همکاران (۲۰۱۱)، عدم وجود روند را در دبی‌های مشاهداتی رودخانه‌های مورد مطالعه خود را در منطقه آذربایجان تأیید نمودند (Zare et al., 2011). توزیع‌های مختلف آماری برازش یافته بر سری داده‌ها نیز حاکی از تطابق بهتر و بیشتر داده‌ها با توزیع‌های چند پارامتری از جمله GEV، Normal، Pearson 6، Wakeby را دارد. در این خصوص پژوهش‌های انجام شده (Ghorbani et al., 2010) در حوزه‌های آبخیز ليقوان و مشیران تبریز، توزیع گامای معکوس به عنوان برترین توزیع معرفی نمودند. این در حالی است که تحقیقات Log Normal (Adeloye and Montaseri, 2002)، توزیع Normal را در ایران و توزیع Normal را در رودخانه‌های انگلستان به عنوان بهترین تابع توزیع برازش یافته معرفی نموده‌اند.

سپاسگزاری

از حمایت معنوی سازمان آب منطقه‌ای در راستای در اختیار گذاشتن اطلاعات آماری رودخانه‌ها و همچنین اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان آذربایجان غربی در راستای حمایت برای بازدیدها و عملیات میدانی تقدیر و تشکر می‌گردد.

تضاد منافع نویسندگان

- Journal of Hydrology*, 259, 254-271. [doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00594-7](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00594-7)
- Van Belle, G. & Hughes, J.P. (1984). Nonparametric tests for trend in water quality. *Water Resources Research* 20 (1), 127-136. doi.org/10.1029/WR020i001p00127
- Zhang, Q., Liu, C., Xu, C., Xu, Y. & Iang, T. (2006). Observed trends of annual maximum Water level and stream flow during the past 130 years in the Yangtze River basin, *China.J. Hydrol*, 324: 255-265. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.09.023
- Zhao, G., Hormann, G., Fohrer, N., Zhang, Zengxin, & Zhai, J. (2010). Streamflow Trends and Climate Variability Impacts in Poyang Lake Basin, China, *Water Resour Manage*, 24:689-706. doi.org/10.1007/s11269-009-9465-7
- Zare, A., Yavarzadeh, M., Shidai, A. & Hamdami, Q. (2011). Determining the trend of hydroclimatic data using the linear regression test and the Mann-Kendall test. 6th Watershed Engineering Conference, Tarbiat Modares University. Noor, Iran. [In Persian].
- scaling hypothesis. *Journal of Hydrology*, 349, 350 – 363. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.11.009
- Izadi, N., Dastourani, M. & AmirabadiZadeh, M. 2024. Investigation of trend changes in meteorological drought in South Khorasan province, *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. [In Persian].
- Kahya, E. & Kalayc, K. (2004). Trend Analysis of Streamflow in Turkey, *Journal of Hydrology*, 289,128-144. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.11.006
- Kumar, S., & Merwade, V. (2009). Streamflow trends in Indiana: Effects of long-term persistence, precipitation, and subsurface drains. *Journal of Hydrology*, 374,171-183.
- Kousari, M. R., Ekhtesasi, M. R. & Malekinezhad, H. (2017). Investigation of long-term drought trend in semi-arid, arid and hyper-arid regions of the world, *Desert Management*, 4(8), 36-53. doi.org/10.22034/jdmal.2017.24660
- Modarres, R., & Silva, P.R. (2007). Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran, *J. Arid Environ*, 70(2), 344-355. doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.12.024
- Moran Tejeda, E., Lopez Moreno, J.A., Ceballos Barbancho. A. & Vicente Serrano, S.M. (2011). River Regimes and Recent Hydrological Changes in the Duero Basin (Spain). *Journal of Hydrology* 404, 241-258. doi.org/10.1016%2Fj.jhydrol.2011.04.034%2C
- Majidi, A., Radfar, M., Mirabbasi Najafabadi, R. & Marofi, F. (2018). Technical Report: Trend Analysis of Meteorological Drought Characteristics in Hamedan Province, *Journal of Watershed Management Research*, 9(17), 295-305. doi.org/10.29252/jwmr.9.17.295
- Parizi, E., Hosseinizadeh, E. & Hosseini, S. M. (2023). Analysis of Spatiotemporal Changes in the Baseflow of Iran's Rivers over the past 30 Years, *Journal of Water and Sustainable Development*, 10(4),71-80. [In Persian]. doi.org/10.22067/jwsd.v10i4.2308-1265
- Soltani, K., Masoompour Samakosh, J., Mojarad, F., Hadi Pour, S. & Jalilian, A. (2023). Analysis of the Trend and Spatial Variation of Aridity in the Future Climate of Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 55 (2), 25-50. [In Persian]. doi.org/10.22059/jphgr.2023.361339.1007777
- Serrano, A., Mateos, V.L. & Garcia, J.A. (1999). Trend Analysis of Monthly Precipitation over the Iberian Peninsula for the period 1921-1995.
- Turgay, P. & Ercan K. (2005). Trend Analysis in Turkish Precipitation Data. Hydrological processes published online in Wiley Interscience (www.Interscience.wiley.com).org/10.1002/hyp.5993
- Yue, S., Pilon, P. & Cavadias, v. (2002). Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series.

