

Trend Analysis of Precipitation, Annual Peak Discharge, and Flood Characteristics in the Kan River Basin, Tehran, Using Long-term Records

Morteza Shokri

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

* M.Shokri@basu.ac.ir

Received: 30 April 2026

Revised: 3 June 2026

Accepted: 18 June 2026

Discussion: 22 December 2026



J. Hydraul.

Iranian Hydraulic Association

Homepage: www.jhyd.iha.ir

Abstract

Introduction: Floods are among the most destructive hazards in mountainous and semi-arid regions, where intense short-duration rainfall, steep slopes, narrow valleys, and dense drainage networks can rapidly generate large runoff volumes and flash floods. These risks are further intensified in urbanizing watersheds due to land-use change and increasing impervious surfaces (Allan et al., 2023; Danandeh Mehr et al., 2023; Marchi et al., 2010; Gaume et al., 2016).

Flood hazard, however, cannot be assessed solely from trends in annual precipitation. Changes in rainfall intensity, seasonality, temporal distribution, and storm concentration may increase extreme runoff even when annual rainfall shows no significant trend (Tamm et al., 2023; Gimeno et al., 2022). Therefore, integrated analysis of precipitation variability, peak discharge, and individual flood events is essential.

The Kan watershed, located on the southern slopes of the central Alborz Mountains in northwestern Tehran, is highly susceptible to flash flooding because of its rugged topography, rapid runoff response, and increasing downstream urban exposure. Despite its importance, integrated studies combining long-term precipitation trends, annual peak flows, and event-scale flood characteristics remain limited.

Accordingly, this study analyzes precipitation trends at Sangan station, annual peak discharge at Solqan hydrometric station, and selected flood events in the Kan watershed. The Mann–Kendall test and Sen's slope estimator are used for trend analysis, while flood hydrographs are evaluated in terms of peak discharge, time to peak, duration, shape, and flood volume. The findings are intended to improve understanding of flood behavior and support monitoring, early warning, and watershed management in the Tehran region.

Materials and Methods: The study was conducted in the Kan watershed, located in the northwestern part of Tehran, Iran, on the southern slopes of the central Alborz Mountains. The basin is characterized by steep topography, narrow valleys, relatively shallow soils, and a rapid hydrological response to intense precipitation events. These physiographic conditions make the watershed highly susceptible to flash floods.

The analysis was based on long-term hydro-meteorological records obtained from the relevant monitoring stations within the study area. The dataset included daily and monthly precipitation records from the Sangan station, meteorological observations, annual peak discharge data from the Solqan

hydrometric station, and recorded flood-event hydrographs for selected events. The study period covered approximately four decades, depending on data availability and continuity at each station.

Before analysis, the datasets were subjected to data screening, quality control, and consistency checking. Missing or inconsistent values were identified and treated based on available neighboring observations and standard consistency checks. The data were then aggregated to monthly, seasonal, and annual timescales for trend analysis. Annual and seasonal precipitation series were used to evaluate long-term rainfall variability, while the annual peak discharge series was analyzed to assess temporal changes in extreme flow behavior.

Trend detection was carried out using the non-parametric Mann–Kendall test, which is widely used for hydro-climatic time series because it does not require normally distributed data and is less sensitive to outliers. The magnitude of detected trends was estimated using Sen's slope estimator. Statistical significance was evaluated at the 0.05 significance level.

In addition to trend analysis, selected flood events were analyzed using observed hydrographs to extract the main flood characteristics, including peak discharge, time to peak, flood duration, hydrograph shape, and flood volume. Flood duration was defined as the time interval between the beginning of the direct runoff rise and the return of flow to near pre-event conditions. Time to peak was calculated as the time elapsed from the beginning of the flood rise to the occurrence of peak discharge. Flood volume was estimated as the integral of discharge over the duration of the flood event.

The combined analysis of long-term precipitation, annual peak discharge, and event-scale flood hydrographs provided the basis for assessing temporal variability in rainfall and flood response in the Kan watershed.

Results and Discussion: Analysis of the long-term precipitation series at the Sangam station showed that the mean annual precipitation was about 370 mm with a coefficient of variation of approximately 28%, indicating considerable interannual variability. The Mann–Kendall test results revealed that the annual precipitation series had no statistically significant monotonic trend at the 0.05 significance level. This result indicates that although precipitation fluctuated markedly from year to year, no persistent long-term increase or decrease was detected over the study period.

The annual peak discharge series at the Solgan hydrometric station also showed no statistically significant trend at the 0.05 level. The mean annual peak discharge was approximately 41 m³/s, while the maximum recorded value reached nearly 295 m³/s, reflecting the occurrence of severe but episodic flood events. These findings suggest that the flood regime of the Kan watershed is controlled more by event-scale hydrometeorological extremes than by gradual long-term changes in annual hydro-climatic conditions.

Flood-frequency analysis showed that peak discharge increased systematically with return period, and among the tested statistical distributions, the Generalized Extreme Value (GEV) model provided the best fit to the annual peak discharge data. This result confirms the suitability of the GEV distribution for estimating design floods in the study area and provides a quantitative basis for hydraulic planning and flood-risk assessment.

Overall, the results demonstrate that in the Kan watershed, flood hazard cannot be adequately explained by annual precipitation trends alone. Rather, the occurrence and severity of floods are primarily associated with short-duration, high-intensity rainfall events and the rapid hydrological response of the basin. This finding highlights the importance of incorporating event-scale hydrological behavior into flood monitoring, early-warning systems, and watershed management strategies.

Conclusion: The findings of this study indicate that although annual precipitation in the Kan watershed shows considerable interannual variability, it does not exhibit a statistically significant long-term trend. Similarly, annual peak discharge shows no significant monotonic trend; however, the watershed remains highly susceptible to flash floods due to its steep topography, limited storage capacity, and rapid runoff

response. Flood-event analysis confirmed that the studied hydrographs are characterized by short time to peak, rapid rising limbs, and substantial flood volumes. In addition, frequency analysis showed that the Generalized Extreme Value (GEV) distribution provides the most appropriate fit for annual peak discharge data. Overall, the results suggest that flood hazard in the Kan watershed is governed primarily by event-scale rainfall intensity and basin response characteristics rather than by annual precipitation trends, underscoring the need for event-based flood monitoring and integrated watershed management.

Keywords: Trend Analysis; Annual Peak Discharge; Kan Watershed; Mann–Kendall Test; Flash Floods.

References:

1. Danandeh Mehr, A., Kahya, E. & Olyaie, E. (2023). Machine learning–based downscaling of climate variables using multi-gene genetic programming under CMIP6 scenarios. *Theoretical and Applied Climatology*, 153, 1241–1256.
2. Gimeno, L., Sorí, R., Vazquez, M., Stojanovic, M., Algarra, I., Eiras-Barca, J. & Nieto, R. (2022). Extreme precipitation events. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 9(6), e1611, <https://doi.org/10.1002/wat2.1611>.
3. Allan, R.P., Arias, P.A., Berger, S., Canadell, J.G., Cassou, C., Chen, D., ... & Zickfeld, K. (2023). Intergovernmental panel on climate change (IPCC). Summary for policymakers. In: V.P. Masson-Delmotte, P. Zhai, & A. Pirani (Eds.), *Climate Change 2021: The physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, 3–32, Cambridge University Press, doi:10.1017/9781009157896.001.
4. Marchi, L., Borga, M., Preciso, E. & Gaume, E. (2010). Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management. *Journal of Hydrology*, 394(1–2), 118–133.
5. Gaume, E., Borga, M., Llassat, M.C., Maouche, S., Lang, M. & Diakakis, M. (2016). Mediterranean extreme floods and flash floods. Sub-chapter 1.3.4. In: Allenvi (Ed.), *The Mediterranean region under climate change. A scientific update*, Coll. Synthèses, IRD Editions, 133–144, <https://hal.science/hal-01465740v2>.
6. Tamm, O., Saaremäe, E., Rahkema, K., Jaagus, J. & Tamm, T. (2023). The intensification of short-duration rainfall extremes due to climate change—Need for a frequent update of intensity–duration–frequency curves. *Climate Services*, 30, 100349, <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2023.100349>.

Conflict of Interest: The authors declared no potential conflicts of interest concerning the research, authorship, and publication of this article.

Funding: The authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Data Availability Statements: All information and results are presented in the text of the article. The datasets generated and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Authors' contribution:

First Author: Data analysis, evaluation of the results, and preparation of the manuscript.

تحلیل روند بارش، دبی اوج سالانه و ویژگی‌های سیلاب‌های رودخانه کن تهران بر پایه داده‌های بلندمدت بارش، هواشناسی و رخدادهای سیلاب

مرتضی شکری

استادیار گروه عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

* M.Shokri@basu.ac.ir

نشریه هیدرولیک

انجمن هیدرولیک ایران

وب‌گاه نشریه هیدرولیک: www.jhyd.iha.ir

دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۱۰

بازنگری: ۱۴۰۵/۰۳/۱۳

پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۲۸

نقد و بررسی: ۱۴۰۵/۱۰/۰۱

چکیده: رودخانه کن به دلیل شیب زیاد، بارش‌های رگباری و توسعه سریع شهری در پایین‌دست، از مهم‌ترین آبراهه‌های مستعد سیلاب در شمال‌غرب تهران است. در این پژوهش، روند بلندمدت بارش، دبی اوج سالانه و ویژگی‌های هیدروگراف سیلاب در حوضه کن بر پایه داده‌های بارش، هواشناسی و دبی با دوره آماری حدود ۴۰ سال بررسی شد. داده‌های خام پس از کنترل کیفی، تکمیل خلأ داده و یکدست‌سازی، در مقیاس سالانه تجمیع و با استفاده از آزمون ناپارامتری Mann-Kendall و برآوردگر Sen's slope تحلیل شدند. نتایج نشان داد بارش سالانه ایستگاه سنگان با میانگین حدود ۳۷۰ میلی‌متر و ضریب تغییرات ۲۸ درصد، فاقد روند معنادار آماری بوده و صرفاً نوسانات بین‌سالی قابل‌توجهی دارد. همچنین دبی اوج سالانه ایستگاه سولقان با میانگین حدود ۴۱ مترمکعب بر ثانیه و بیشینه ثبت‌شده نزدیک به ۲۹۵ مترمکعب بر ثانیه، رفتار نوسانی و نامنظم نشان می‌دهد و روند آن نیز در سطح معنی‌داری ۵ درصد معنادار نیست. بررسی رخدادهای سیلابی منتخب بیانگر آن است که سیلاب‌ها عمدتاً در اثر بارش‌های کوتاه‌مدت و شدید در فصل سرد رخ داده و با زمان رسیدن به اوج کوتاه و حجم قابل‌توجه همراه‌اند. بر این اساس، حتی در نبود روند معنادار در بارش سالانه، ماهیت رگباری بارش و پاسخ سریع حوضه می‌تواند خطر سیلاب‌های ناگهانی در پایین‌دست را تشدید کند. نتایج این پژوهش می‌تواند مبنایی برای پایش سیلاب، مدیریت خطرپذیری مناطق شهری و برنامه‌ریزی سازه‌ای و غیرسازه‌ای در حوضه کن باشد.

کلیدواژگان: تحلیل روند، دبی اوج سالانه، حوضه آبریز کن، آزمون من-کندال، ویژگی‌های هیدروگراف، سیلاب‌های ناگهانی.

۱- مقدمه

به‌شمار می‌آیند (Ahadiyan et al., 2026). افزون بر این، به‌کارگیری رویکردهای مهندسی و مدل‌سازی‌های پیشرفته هیدرولیکی، از جمله مدل‌سازی عددی و پویائی (دینامیک) سیالات محاسباتی (CFD)، در تحلیل الگوهای جریان و بهینه‌سازی سازه‌های هیدرولیکی، ابزاری کلیدی برای تصمیم‌گیری‌های دقیق در مدیریت سامانه‌های رودخانه‌ای و کاهش پیامدهای مخاطره‌های سیلاب به‌شمار می‌آید.

رودخانه‌ها از اجزای بنیادین چرخه هیدرولوژیکی به‌شمار می‌روند و نقشی تعیین‌کننده در تأمین منابع آب، حفظ تعادل بوم‌شناختی (اکولوژیکی) و کاهش مخاطره‌های طبیعی دارند. مدل‌سازی و ارزیابی دقیق سامانه‌های رودخانه‌ای ابزاری ضروری برای مدیریت پایدار آب و کاهش اثرگذاری‌های رخدادهای طبیعی در حوضه‌های آبریز ایران

(Tamm et al., 2023; Gimeno et al., 2022). در چنین شرایطی، استفاده از روش‌های فراسنجه‌ای برای تجزیه و تحلیل روند داده‌های هیدرو-اقلیمی، به‌ویژه آزمون من-کندال (Mann-Kendall) و برآوردگر Sen's slope، به‌دلیل مقاومت در برابر داده‌های نامطلوب و استقلال از توزیع آماری داده‌ها، رویکردی رایج و شایان‌اعتماد است (Hamed, 2008; Şen, 2024).

حوضه آبریز کن در شمال‌غرب تهران، یکی از حوضه‌های کوهستانی و حساس نسبت به رخدادهای سیلابی است. شیب زیاد، شرایط اقلیمی نیمه‌خشک تا کوهستانی سرد، خاک کم‌عمق، و تمرکز بارش‌های مؤثر در نیمه سرد سال، این حوضه را مستعد سیلاب‌های رگباری می‌سازد (Sharif et al., 2025). افزون بر این، گسترش منطقه‌های شهری، باغ‌ها و کاربری‌های انسانی در پایین‌دست حوضه، آسیب‌پذیری منطقه‌های مسکونی و زیرساختی را در برابر سیلاب افزایش داده است. از سوی دیگر، حوضه کن به‌دلیل موقعیت جغرافیایی و ارتباط مستقیم با منطقه‌های پرجمعیت تهران، از منظر مدیریت سیلاب، برنامه‌ریزی شهری و کاهش خطرپذیری (ریسک) مخاطره‌های هیدرولوژیکی اهمیت ویژه‌ای دارد (Alijani & Harman, 2019).

با وجود اهمیت راهبردی این حوضه، بیشتر بررسی و ارزیابی‌های پیشین بر تجزیه و تحلیل‌های تک‌متغیره تمرکز داشته‌اند و پژوهش‌هایی که به‌صورت هم‌زمان روند بلندمدت بارش، تغییرپذیری‌های دبی اوج سالانه و ویژگی‌های آبنگاری (هیدروگراف) سیلاب را در یک چارچوب یکپارچه واکاوی کنند، بسیار اندک است (Avand et al., 2024). از این‌رو، هدف این پژوهش تجزیه و تحلیل روند بارش سالانه در ایستگاه سنگان، بررسی تغییرپذیری‌های دبی اوج سالانه در ایستگاه سولقان، و واکاوی ویژگی‌های سیلاب‌های مؤثر در حوضه کن بر پایه داده‌های بلندمدت بارش، هواشناسی و دبی است. در این راستا، داده‌ها پس از بررسی و ارزیابی‌های کیفی و یکدست‌سازی، در مقیاس‌های مناسب تجمیع شده و روند آن‌ها با آزمون من-کندال و برآوردگر Sen's slope ارزیابی شده است. همچنین، با تجزیه و تحلیل رخدادهای سیلابی

(Ahadiyan et al., 2024; Chenari et al., 2024). در دهه‌های اخیر، هم‌زمان با تشدید تغییرپذیری‌های اقلیمی، گسترش شهرنشینی و تغییر کاربری اراضی، ناپایداری رژیم‌های هیدرولوژیکی در بسیاری از حوضه‌ها افزایش یافته است. یکی از پیامدهای مهم این تغییرپذیری‌ها، افزایش فراوانی و شدت رخدادهای حدی، به‌ویژه بارش‌های شدید و سیلاب‌هاست که آسیب و زیان‌های شایان‌توجهی به زیرساخت‌ها، محیط‌زیست و سکونتگاه‌های انسانی وارد می‌کنند (Allan et al., 2023; Danandeh Mehr et al., 2023).

سیلاب‌ها از مهم‌ترین مخاطره‌های طبیعی در منطقه‌های کوهستانی و نیمه‌خشک به‌شمار می‌آیند. در این منطقه‌ها، بارش‌های کوتاه‌مدت و پرفشار، به‌ویژه در فصل‌های انتقالی و سرد سال، می‌توانند به سیلاب‌های رگباری با زمان پاسخ کوتاه، دبی اوج بالا و حجم رواناب شایان‌توجه منجر شوند (Chen et al., 2026; Marchi et al., 2010; Gaume et al., 2016; Chabokpour, & Zabihi, 2019). افزون بر عامل‌های اقلیمی، ویژگی‌های هیدرولیکی مجرا و فراسنجه‌های مقاومتی مانند زبری مؤثر ناشی از پوشش گیاهی، بر رفتار جریان‌های تندگذر و شاخص‌های پاسخ هیدرولوژیکی رودخانه به تغییرپذیری‌های دبی اثرگذار هستند (Salmanzadeh et al., 2024; Fathi-Moghadam et al., 2024). این پیچیدگی‌های هیدرولیکی در حوضه‌هایی که تحت تأثیر توسعه سریع شهری و تغییر کاربری اراضی قرار گرفته‌اند، اهمیت بیشتری می‌یابند؛ زیرا افزایش سطح‌های نفوذناپذیر، تولید رواناب سطحی را تشدید کرده و احتمال رخداد سیلاب‌های ناگهانی را بالا می‌برد (Alshammari et al., 2023). از این‌رو، بررسی هم‌زمان روند بارش، رفتار دبی اوج و ویژگی‌های رخدادهای سیلابی، برای شناخت تغییرپذیری‌های هیدرولوژیکی و مدیریت مخاطره‌های سیلاب ضروری است.

تعدادی از پژوهش‌های انجام شده نشان داده‌اند که اگرچه ممکن است بارش سالانه در بسیاری از منطقه‌ها روند معنادار آماری نداشته باشد، اما تغییرپذیری‌ها در شدت، توزیع زمانی و الگوی رخداد بارش می‌تواند به افزایش رخدادهای حدی و سیلاب‌های زیان‌بار منجر شود

این پژوهش در حوضه آبریز کن، واقع در شمال غرب تهران (بین عرض‌های جغرافیایی $35^{\circ} 44''$ تا $35^{\circ} 58''$ شمالی و طول‌های جغرافیایی $51^{\circ} 08''$ تا $51^{\circ} 25''$ شرقی) با مساحتی در حدود ۲۰۰ کیلومتر مربع انجام شد (شکل ۱). به‌منظور بررسی تغییرپذیری بلندمدت هیدرو-اقلیمی و رفتار سیلابی حوضه، از داده‌های روزانه بارش ایستگاه باران‌سنجی سنگان و داده‌های روزانه دبی ایستگاه آب‌سنجی (هیدرومتری) سولقان در یک دوره آماری مشترک ۴۰ ساله استفاده شد. همچنین برای واکاوی ویژگی‌های هیدروگراف سیلاب، رخ داده‌های سیلابی شاخص ثبت‌شده در سال‌های آبی ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۱ به عنوان مبنای تجزیه و تحلیل رویدادمحور انتخاب شدند.

منتخب، تلاش شده است پیوند میان الگوی بارش، پاسخ هیدرولوژیکی حوضه و پیامدهای احتمالی برای مدیریت سیلاب در پایین‌دست روشن‌تر شود.

نتایج این پژوهش، افزون بر ارتقای درک هیدرولوژیکی از رفتار حوضه کن، مبنایی علمی برای طراحی اقدام‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای، مانند بازطراحی سرریزها و توسعه سامانه‌های هشدار سیل، فراهم آورده و به کاهش آسیب‌پذیری منطقه‌های شهری در برابر سیلاب‌های ناگهانی کمک خواهد کرد (Sajjadi et al., 2023).

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- داده‌ها و حوضه مورد بررسی

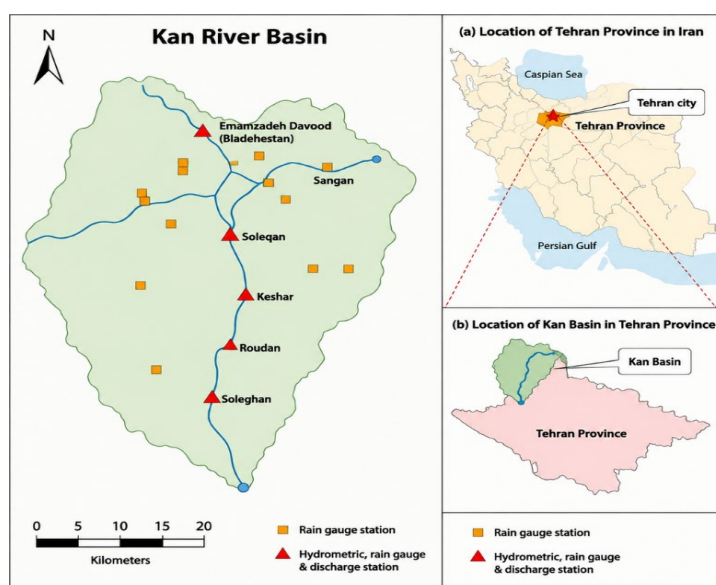


Fig. 1 Geographical location of the Kan River basin and the hydrometric stations under study.

شکل ۱ نمای کلی موقعیت جغرافیایی حوضه رودخانه کن و ایستگاه‌های آب‌سنجی (هیدرومتری) مورد بررسی

۲-۲- بررسی و ارزیابی کیفیت و بازسازی داده‌ها

داده‌های خام هیدرو-اقلیمی در آغاز مورد بررسی و ارزیابی کیفی قرار گرفتند و مقادیرهای خارج از دامنه فیزیکی، داده‌های تکراری و جهش‌های غیرمنطقی اصلاح یا حذف شدند. برای بازسازی داده‌های نامطلوب، از روش میانگین وزنی ایستگاه‌های مجاور و رابطه‌های رگرسیون دوطرفه استفاده شد. پیش از اعمال آزمون‌های آماری، همگنی دوره‌های زمانی با استفاده از آزمون‌های استاندارد

از نظر گیتانگاره‌ای (فیزیوگرافی) و عوارض و ناهمواری‌ها (توپوگرافی)، حوضه کن دارای شیب‌های تند، دره‌های کوهستانی باریک و شبکه زهکشی متراکم است. این ویژگی‌ها سبب کاهش زمان تمرکز و پاسخ هیدرولوژیکی بسیار سریع حوضه به بارش‌های شدید می‌شود؛ به‌طوری‌که رگبارهای کوتاه‌مدت، به‌ویژه در دو فصل پاییز و بهار، به سرعت منجر به شکل‌گیری سیلاب‌های ناگهانی (Flash Floods) با زمان اوج کوتاه و دبی اوج بالا می‌شوند (Marchi et al., 2010; Gaume et al., 2016).

فراسنجه‌ای پتیت^۱ و آزمون میانگین پیشرو استاندارد شده^۲ در سطح اطمینان ۹۵ درصد ارزیابی و تایید گردید تا اثر عامل‌های غیر اقلیمی در داده‌ها به کمینه برسد (Wijngaard et al., 2003).

۲-۳- تجمیع زمانی و تعریف متغیرها

برای تجزیه و تحلیل روند، دوره زمانی بارش سالانه بر مبنای مجموع بارش‌های روزانه در ایستگاه سنگان و دوره زمانی دبی اوج سالانه بر مبنای بیشینه دبی روزانه ثبت‌شده در هر سال آبی در ایستگاه سولقان استخراج شد. در تحلیل رویدادمحور، رخدادهای سیلابی بر مبنای آستانه دبی اوج و وجود داده‌های همزمان بارش تفکیک شدند. شاخص‌های هیدروگراف استخراج‌شده برای هر رویداد شامل دبی اوج (Qp)، زمان رسیدن به اوج (Tp)، زمان پایه (Tb)، مدت زمان سیلاب (D) و حجم کل سیلاب (V) بود. حجم سیلاب با انتگرال‌گیری عددی از منحنی هیدروگراف به روش دوزنقه‌ای محاسبه شد و تفکیک جریان پایه از رواناب مستقیم با استفاده از روش نگاره‌ای خط مستقیم صورت گرفت.

۲-۴- تجزیه و تحلیل روند آماری

روند بلندمدت دوره‌های زمانی با استفاده از آزمون فراسنجه‌ای من-کندال (Mann-Kendall) در سطح معنی‌داری ۵ درصد ($\alpha=0.05$) ارزیابی شد (Kendall, 1975). برای برآورد نرخ تغییرپذیری‌ها و جهت روند، برآوردگر فراسنجه‌ای شیب سن (Sen's slope) به کار گرفته شد که نسبت به داده‌های نامطلوب مقاومت بالایی دارد (Sen, 1968; Şen, 2024). توجه به اینکه وجود خودهمبستگی مثبت در دوره‌های زمانی می‌تواند منجر به افزایش خطای نوع اول در آزمون روند شود، پیش از تجزیه و تحلیل روند، ساختار خودهمبستگی دوره‌های زمانی بررسی شد و در صورت وجود خودهمبستگی معنی‌دار، تاثیر آن با روش پیش‌پالایش اصلاح‌شده^۳ حذف شد (Hamed, 2008).

۲-۵- رابطه بارش و دبی اوج سالانه

ارتباط میان بارش سالانه ایستگاه سنگان و دبی اوج سالانه

ایستگاه سولقان با استفاده از تجزیه و تحلیل رگرسیون خطی و غیرخطی (توانی و لگاریتمی) و محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بررسی و ارزیابی شد تا الگوی پاسخ هیدرولوژیکی کلان حوضه مشخص شود.

۲-۶- تجزیه و تحلیل فراوانی سیلاب و برآورد دبی

طراحی

به‌منظور برآورد دبی‌های طراحی با دوره‌های بازگشت مختلف، توزیع‌های آماری حدی شامل توزیع مقدرهای حدی تعمیم‌یافته (GEV)، گامبل (Gumbel) و لوگ‌پیرسون تیپ ۳ (Log-Pearson Type III) بر داده‌های دبی اوج سالانه برازش داده شدند. ارزیابی نکوتی برازش توزیع‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (K-S) و معیارهای اطلاعاتی آکائیکه (AIC) و بیزین (BIC) انجام گرفت تا مناسب‌ترین توزیع برای برآورد سیلاب‌های طراحی انتخاب شود.

۲-۷- ابزار و محیط محاسبه‌ای

آماده‌سازی داده‌ها، تجزیه و تحلیل‌های آماری، برازش توزیع‌های فراوانی و ترسیم نمودارها با استفاده از زبان برنامه‌نویسی Python و کتابخانه‌های تخصصی Pandas، NumPy، SciPy، Matplotlib و Seaborn انجام شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تجزیه و تحلیل تغییرپذیری و روند بارش

سالانه و فصلی

بر مبنای نتایج بدست آمده از ایستگاه باران‌سنجی سنگان (شکل ۲)، میانگین بارش‌های سالانه حوضه حدود ۳۷۰ میلی‌متر با ضریب تغییرپذیری ۲۸ درصد برآورد شد. تجزیه و تحلیل روند با استفاده از آزمون من-کندال نشان داد که بارش سالانه بدون روند معنادار آماری در سطح ۵ درصد است ($P>0.05$). این یافته گویای آن است که اقلیم منطقه از نظر مجموع بارش‌های سالانه در دوره مورد بررسی و ارزیابی پایدار بوده و تنها نوسان‌های بین‌سالی شدیدی را تجربه کرده است. همچنین بررسی توزیع فصلی

3. Modified Pre-whitening

1. Pettitt
2. SNHT

ساختارمند (سیستماتیک) در منابع آب سطحی حوضه را رد می‌کند، اما توان بالقوه رخدادهای حدی را کماکان پابرجا نگه می‌دارد.

(شکل ۳) نشان می‌دهد که بیشتر بارش‌ها در دو فصل پاییز و زمستان متمرکز بوده و سهم تابستان در رژیم بارشی حوضه بسیار ناچیز است. نبود روند در مقیاس سالانه و فصلی، فرضیه تغییرپذیری‌های

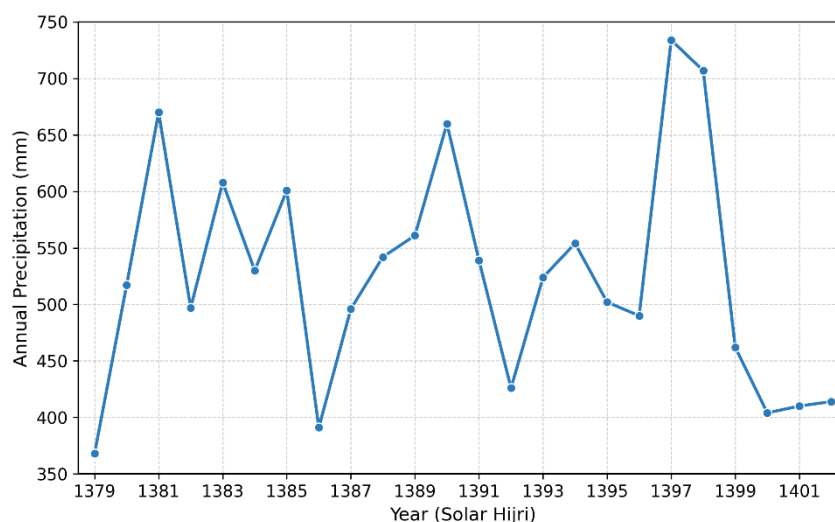


Fig. 2 Annual precipitation variations at the Sangam rain gauge station during the study period.

شکل ۲ تغییرپذیری‌های بارش سالانه ایستگاه باران‌سنجی سنگان در دوره آماری مورد بررسی

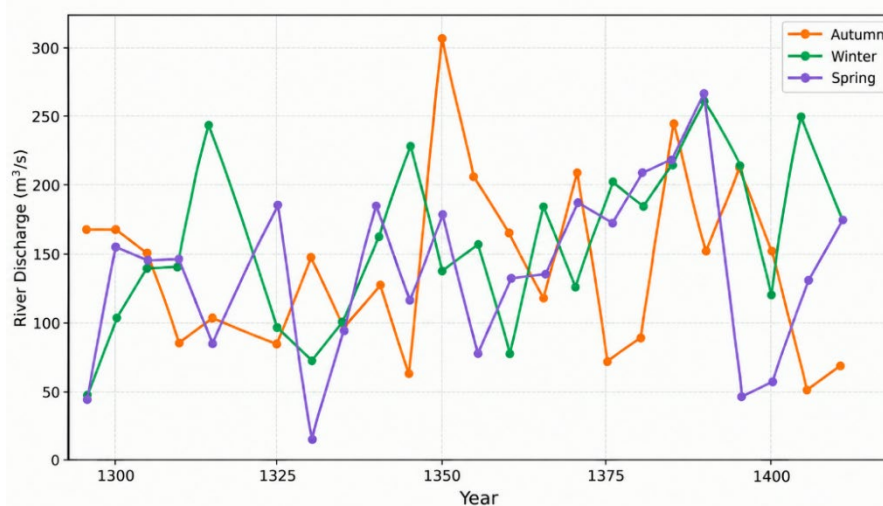


Fig. 3 Seasonal precipitation trends (autumn, winter, and spring) at the Sangam station.

شکل ۱ روند بارش فصلی (پاییز، زمستان و بهار) در ایستگاه سنگان

با این حال، نتایج آزمون من-کندال و برآوردگر شیب سن بیانگر نبود روند معنادار در دوره زمانی دبی اوج سالانه است. این ثبات در روند دبی اوج، به‌رغم توسعه فیزیکی و تغییر کاربری اراضی در بخش‌هایی از حوضه، نشان می‌دهد که پاسخ هیدرولوژیکی کلان حوضه در مقیاس سالانه هنوز تحت کنترل نوسان‌های طبیعی اقلیمی است.

۳-۲- تجزیه و تحلیل روند دبی اوج سالانه

تغییرپذیری‌های دبی اوج سالانه در ایستگاه سولقان (شکل ۴) نشان‌دهنده رفتار نوسانی شدید در رژیم سیل‌خیزی حوضه است. مقدارهای دبی اوج از کمترین میزان (کمتر از ۱۰ مترمکعب بر ثانیه) تا مقدارهای حدی (نزدیک به ۳۰۰ مترمکعب بر ثانیه در سال‌های استثنایی) متغیر بوده است.

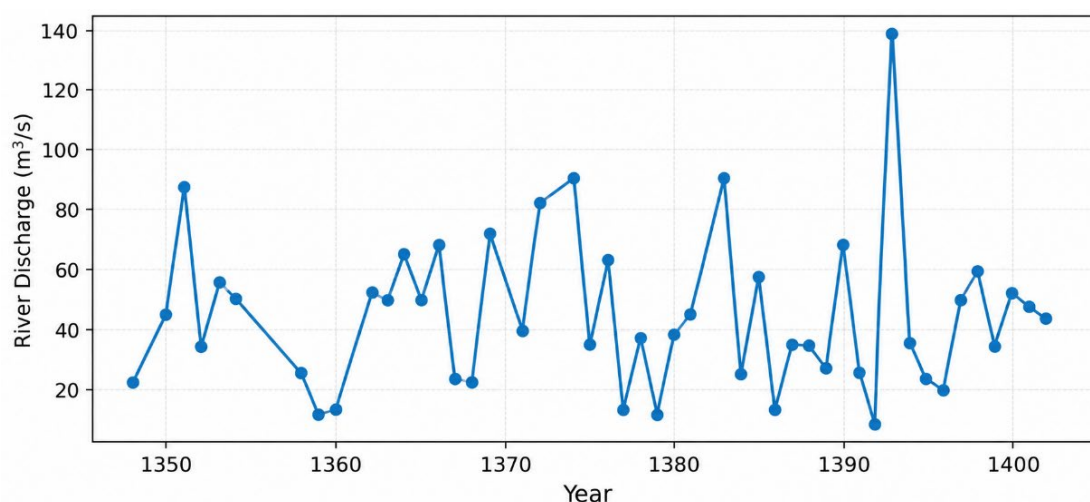


Fig. 4 Annual peak discharge variations of the Kan River at the Sulqan station during the study period.

شکل ۴ تغییرپذیری‌های دبی اوج سالانه (Peak discharge) رودخانه کن در ایستگاه سولقان طی دوره آماری

کوتاهی هستند. تفاوت در رفتار هیدروگراف زیرحوضه‌های مختلف (رندان در مقابل سولقان) بیانگر آن است که پاسخ سیلابی حوضه به شدت تابع توزیع مکانی بارش و گیتانگاره‌ای زیرحوضه‌هاست. در برخی رخدادها، به رغم بارش مشابه، دبی اوج متفاوتی ثبت شده که نشان‌دهنده نقش کلیدی رطوبت پیشین خاک و شدت لحظه‌ای بارش در تولید رواناب است.

۳-۳- تجزیه و تحلیل هیدروگراف و ویژگی‌های سیلاب‌های رگباری

بررسی هیدروگراف‌های منتخب (شکل ۵ تا ۷) نشان‌دهنده ماهیت زودپاسخ‌دهی حوضه کن است. همان‌طور که در رخدادهای مورد بررسی، مشاهده می‌شود هیدروگراف‌ها دارای شاخه صعودی تند و زمان رسیدن به اوج (Tp)

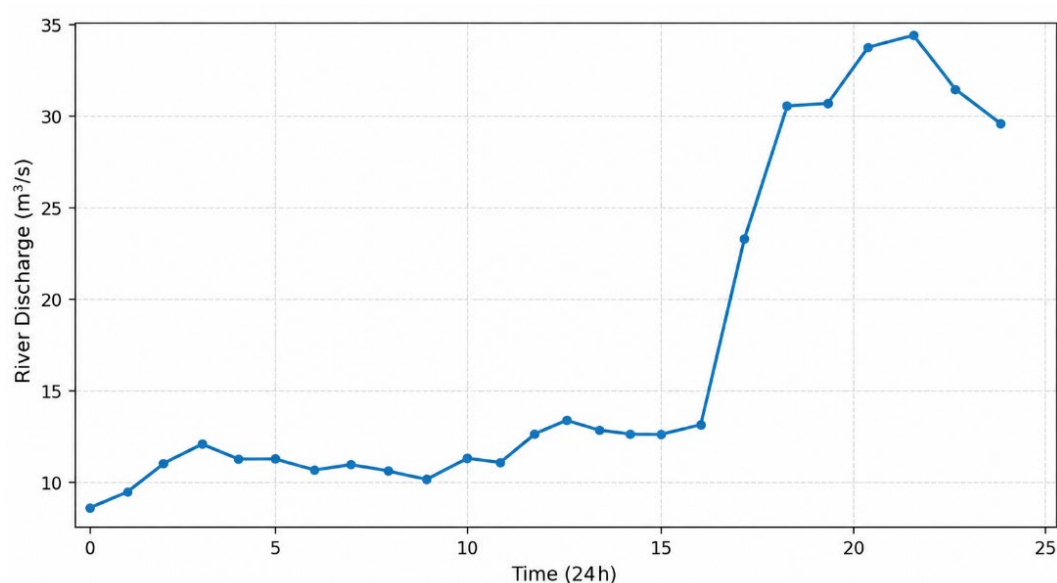


Fig. 5 Temporal variations of flow discharge during the 20/01/1389 event at the Sulqan station.

شکل ۵ نمای کلی تغییرپذیری‌های زمانی دبی جریان در رخداد ۱۳۸۹/۰۱/۲۰ در ایستگاه سولقان

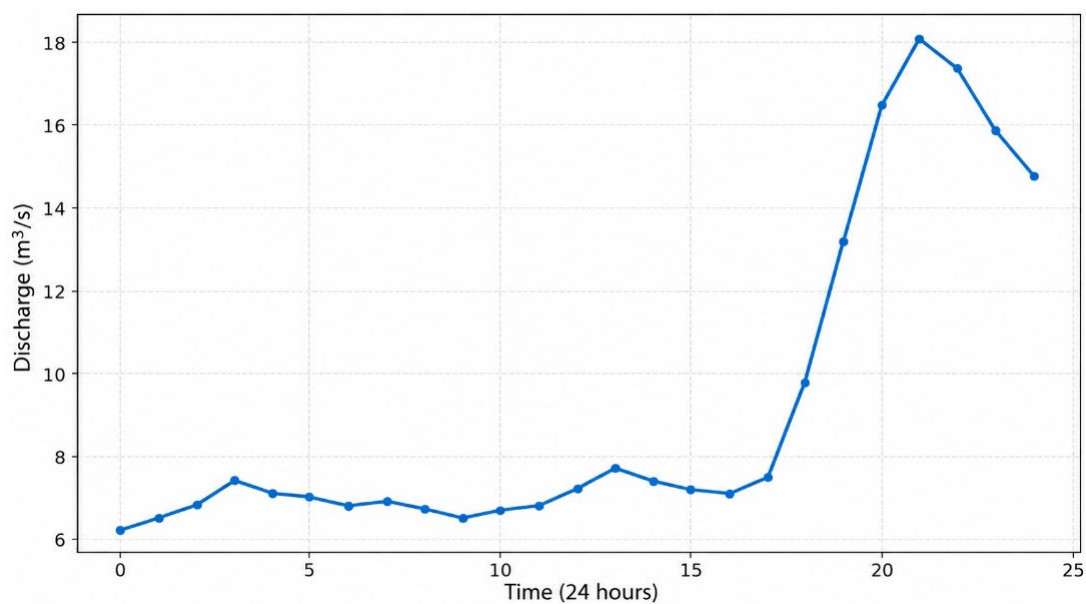


Fig. 6 Temporal variations of flow discharge during the 26/01/1391 event at the Sulqan station.

شکل ۶ نمای کلی تغییرپذیری‌های زمانی دبی جریان در رخداد ۱۳۹۱/۰۱/۲۶ در ایستگاه سولقان

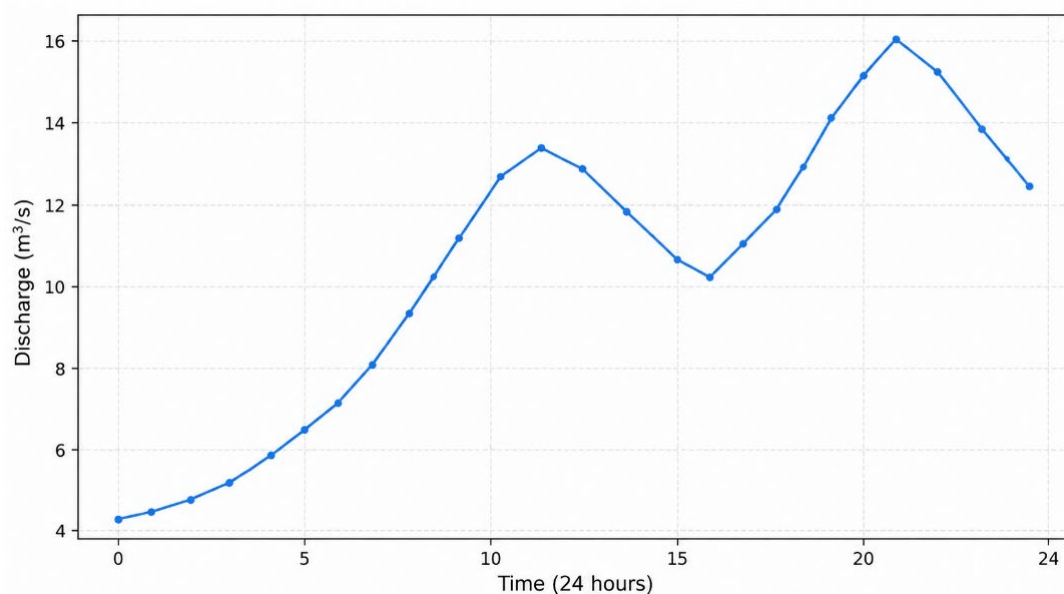


Fig. 7 Temporal variations of flow discharge during the 12/08/1388 event at Rendan station.

شکل ۳ نمای کلی تغییرپذیری‌های زمانی دبی جریان در رخداد ۱۳۸۸/۰۸/۱۲ در ایستگاه رندان

۳-۴- رابطه بارش و دبی اوج سالانه

تجزیه و تحلیل نمودار پراکنش (شکل ۸) و ضریب همبستگی پیرسون نشان داد که ارتباط ضعیفی میان مجموع بارش سالانه و دبی اوج همان سال وجود دارد. این نبود همخوانی (R^2 پایین) تاییدی بر این واقعیت است که

سیلاب‌های بزرگ در حوضه کن نه در نتیجه تداوم بارش‌های نرمال سالانه، بلکه در نتیجه رخداد‌های بارشی شدید و کوتاه مدت (رگباری) شکل می‌گیرند. بنابراین، بارش سالانه شاخص مناسبی برای پیش‌بینی یا برآورد خطر سیل‌خیزی در این حوضه کوهستانی نیست.

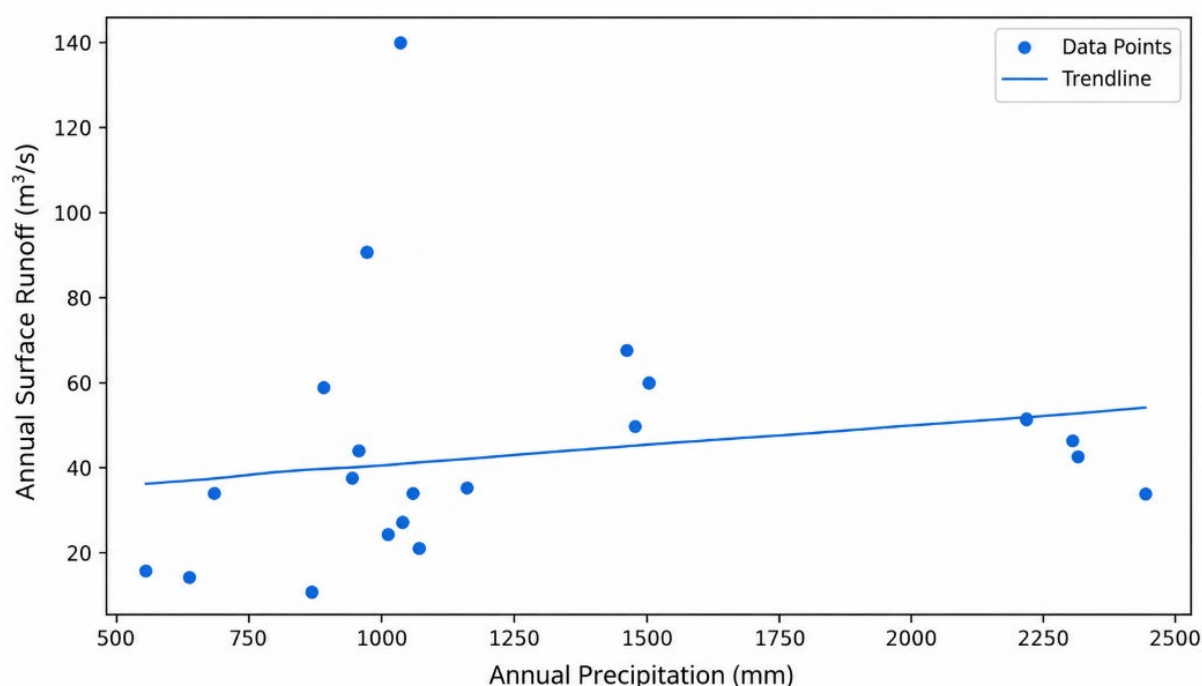


Fig. 8 Scatter plot of annual peak discharge versus annual precipitation at the Sanghan station.

شکل ۸ نمای کلی پراکنش دبی اوج سالانه در برابر بارش سالانه ایستگاه سنگان

جدول ۱ خلاصه آماری رخدادهای سیلاب در ایستگاههای

مختلف حوضه کن (۱۳۸۸-۱۳۹۱)

Table 2 Statistical summary of flood events at different stations in the Kan Basin (2009-2012).

Station	Count	Mean Discharge (m³/s)	Max Discharge (m³/s)	Min Discharge (m³/s)
Sulqan	19	1.0	58.26	5.53
Kiga	9	2.8	12.13	1.01
Rendan	6	6.4	9.58	3.71
Keshar	6	-	1.88	0.10

جدول ۳ (بیشینه دبیهای لحظه‌ای شاخص) نشان می‌دهد که سالهای ۱۳۸۳ و ۱۳۹۳ سالهای استثنایی برای حوضه بوده‌اند که در آنها همه‌ی زیرحوضه‌ها به‌صورت همزمان دبی‌های اوج بالایی را تجربه کرده‌اند. این موضوع نشان‌دهنده رخداد سیلاب‌های سیستمی و فراگیر در نتیجه جبهه‌های بارشی گسترده در سطح منطقه است.

۳-۵- تجزیه و تحلیل آماری رخدادهای سیلابی در

ایستگاه‌های حوضه

مطابق با جدول ۱ و ۲ ایستگاه سولقان با ثبت ۱۹۸ رخداد بیشترین فعالیت سیلابی را داشته است. گوناگونی بالای مقدارهای دبی (از مقدارهای بسیار کم تا دبی‌های شاخص مانند ۲۶/۵۸ مترمکعب بر ثانیه در دوره کوتاه رخدادمحور) نشان‌دهنده ناهمگنی پاسخ هیدرولوژیکی است.

جدول ۱ شمار رخدادهای سیلاب در ایستگاه‌های مختلف

حوضه کن در سال‌های آبی ۱۳۸۸-۱۳۹۱

Table 1 Number of flood events at different stations in the Kan Basin during the water years 2009-2012.

Station	Number of Flood Events
Rendan	122
Sulqan	198
Keshar	97
Kiga	75

جدول ۳ پیشینه دبی لحظه‌ای سالانه در ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه کن

Table 3 Annual maximum instantaneous discharge at hydrometric stations in the Kan watershed

River	Station	Station Code	Time Period (SH)	Max Instantaneous Discharge (m ³ /s)	Index Year (SH)
Kan	Sulqan	41-109	1969–2019	139.3	2014
Kan	Jahanabad	41-111	1980–2019	145.0	2004
Kiga	Kiga	41-571	1999–2019	24.2	2011
Rendan	Rendan	41-573	1999–2019	44.2	2004
Keshar	Keshar	41-575	1999–2019	82.0	2014

* Note: SH = Solar Hijri calendar.

جدول ۴ دبی اوج متناظر با دوره‌های بازگشت مختلف در

ایستگاه سولقان بر مبنای توزیع‌های آماری مختلف

Table 4 Peak discharge corresponds to different return periods at the Sulqan station based on various statistical distributions.

Return Period (years)	GEV (m ³ /s)	Gumbel (m ³ /s)	LP3 (m ³ /s)
2	39.03	39.60	38.85
5	61.74	61.74	63.34
10	77.44	76.40	79.18
25	98.07	94.93	98.18
50	113.97	108.67	111.46
100	130.27	122.31	123.95

۳-۶- تجزیه و تحلیل فراوانی سیلاب و برآورد دبی

طراحی

نتایج تجزیه و تحلیل فراوانی (جدول ۴ و شکل ۹) نشان داد که از میان توزیع‌های مورد بررسی، توزیع مقدارهای حدی تعمیم‌یافته (GEV) بر مبنای معیارهای نیکویی برازش (K-S) و (AIC)، بهترین عملکرد را در توصیف رفتار مقدارهای حدی دبی حوضه کن دارد. دبی‌های طراحی برآورد شده با این توزیع برای دوره‌های بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله به ترتیب ۱۱۴ و ۱۳۰ مترمکعب بر ثانیه به دست آمد.

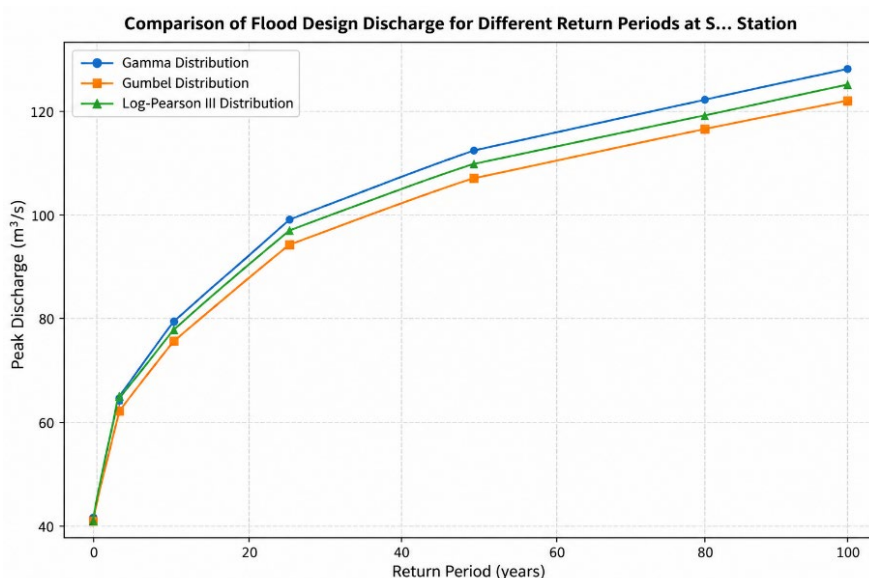


Fig. 9 Comparison of discharges corresponding to estimated return periods using different distributions at the Sulqan station.

شکل ۴ نمای کلی مقایسه دبی‌های متناظر با دوره‌های بازگشت برآورد شده با توزیع‌های مختلف در ایستگاه سولقان

برای طراحی سازه‌های هیدرولیکی و پهنه‌بندی سیلاب در پایین‌دست حوضه را تایید می‌کند.

همخوانی بالای داده‌های مشاهده‌شده با خط نظری در نمودار احتمال (شکل ۱۰)، اعتبار برآوردهای انجام شده

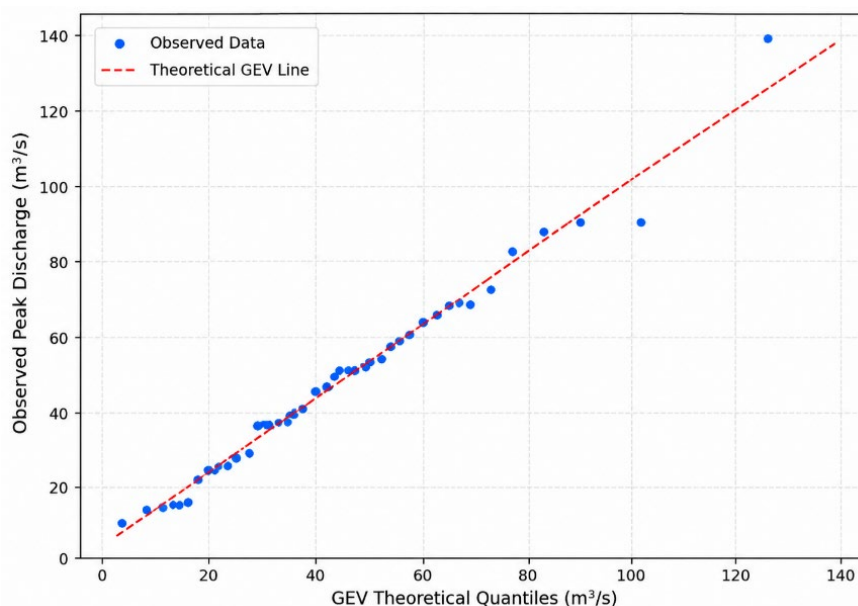


Fig. 10 Flood frequency probability plot for the Sulqan station based on the GEV distribution.

شکل ۱۰ نمای کلی نمودار احتمال فراوانی سیلاب برای ایستگاه سولقان بر مبنای توزیع GEV

که می‌تواند مبنای فنی برای طراحی/بازنگری ظرفیت آبگذری سازه‌ها و مدیریت خطرپذیری (ریسک) سیلاب در پایین‌دست حوضه باشد. برای ارتقای قابلیت ارزیابی خطر، استفاده از داده‌های بارش با تفکیک زمانی ریزتر، تجزیه و تحلیل حدی و مدل‌سازی بارش - رواناب/هیدرولیکی در مقیاس زیرحوضه پیشنهاد و تاکید می‌شود.

تضاد منافع نویسندگان

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

منابع مالی

نویسنده (نویسندگان) هیچ گونه حمایت مالی برای تحقیق، تالیف و انتشار این مقاله دریافت نکردند.

دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است. مجموعه داده‌های تولید شده و یا تحلیل شده در طول مطالعه حاضر،

۴- نتیجه‌گیری

این پژوهش روند بارش (سالانه/فصلی) و دبی اوج سالانه و نیز ویژگی‌های سیلاب در حوضه آبریز کن را با تکیه بر آزمون‌های فراسنجه‌ای من - کندال و شیب سن بررسی کرد. نتایج نشان داد که در سطح معنی‌داری $\alpha=0.05$ هیچ روند بلندمدت معناداری در بارش و دبی اوج سالانه مشاهده نمی‌شود، هرچند نوسان‌های بین‌سالی چشمگیر است و بارش‌ها بیشتر در سه فصل پاییز، زمستان و بهار متمرکز است. همزمان، پراکنش بالای مقدارهای دبی اوج و نبود همبستگی قوی میان بارش سالانه و دبی اوج سالانه نشان می‌دهد که شاخص‌های سالانه به‌تنهایی برای تبیین سیلاب‌های ناگهانی این حوضه کافی نیستند.

تجزیه و تحلیل رخدادمحور آبنگاه‌ها (هیدروگراف‌ها) بیانگر ناهمگنی پاسخ سیلابی در زیرحوضه‌ها و حساسیت بالا به ترکیب توزیع مکانی - زمانی بارش، شیب و عوارض، شرایط زمین‌شناسی و رطوبت پیشین است. در تحلیل فراوانی، توزیع GEV بهترین برازش را برای دبی اوج سالانه ارائه کرد و دبی‌های طرح دوره‌های بازگشت ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به‌ترتیب حدود ۹۸، ۱۱۴ و ۱۳۰ m^3/s برآورد شد؛ نتایجی

Weng, Y., Chan, F.K.S. & Wu, F. (2026). Flash Floods in Mountainous Regions: Global Research Trends, Process Mechanisms, and Control Measures. *EGUsphere*, 1-42. <https://doi.org/10.5194/egusphere-2026-937>.

Chenari, S.A., Nadian, H.A., Ahadiyan, J., Valipour, M., Oliveto, G. & Sajjadi, S.M. (2024). Enhancing Hydraulic Efficiency of Side Intakes Using Spur Dikes: A Case Study of Hemmat Water Intake, Iran. *Water*, 16(16), 2254. <https://doi.org/10.3390/w16162254>.

Danandeh Mehr, A., Kahya, E. & Olyaie, E. (2023). Machine learning-based downscaling of climate variables using multi-gene genetic programming under CMIP6 scenarios. *Theoretical and Applied Climatology*, 153, 1241–1256.

Fathi-Moghadam, M., Salmanzadeh, S., Ahadiyan, J. & Sajjadi, M. (2024). Drag coefficient of rigid and flexible deciduous trees in riparian forests. *J. Hydraul. Eng.*, 150 (5), 04024027, <https://doi.org/10.1061/JHEND8.HYENG-13709>.

Gaume, E., Borga, M., Llassat, M.C., Maouche, S., Lang, M. & Diakakis, M. (2016). Mediterranean extreme floods and flash floods. Sub-chapter 1.3.4. In: Allenvi (Ed.), The Mediterranean region under climate change. A scientific update, Coll. Synthèses, IRD Editions, 133-144, <https://hal.science/hal-01465740v2>.

Gimeno, L., Sorí, R., Vazquez, M., Stojanovic, M., Algarra, I., Eiras-Barca, J. & Nieto, R. (2022). Extreme precipitation events. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 9(6), e1611, <https://doi.org/10.1002/wat2.1611>.

Hamed, K.H. (2008). Trend detection in hydrologic data: The Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis. *Journal of hydrology*, 349(3-4), 350-363.

Kendall, M.G. (1975). Rank Correlation Methods, 4th ed., Charles Griffin.

Marchi, L., Borga, M., Preciso, E. & Gaume, E. (2010). Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management. *Journal of Hydrology*, 394(1-2), 118-133.

Sajjadi, S.M., Barihi, S., Ahadiyan, J., Azizi Nadian, H., Valipour, M., Bahmanpouri, F. & Khedri, P. (2024). Redesigning the fuse plug, emergency spillway, and flood warning system: An application of flood management. *Water*, 16(24), 3694. <https://doi.org/10.3390/w16243694>.

Salmanzadeh, S., Fathi-Moghadam, M., Ahadiyan,

در صورت درخواست معقول، از نویسندگان مسئول در دسترس هستند.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: تجزیه و تحلیل داده‌ها، بررسی نتایج، نگارش مقاله.

۵- منابع

Ahadiyan, J., Abbasi Chenari, S., Azizi Nadian, H., Katopodis, C., Valipour, M., Sajjadi, S.M. & Omidvarinia, M. (2024). Sustainable systems engineering by CFD modeling of lateral intake flow with flexible gate operations to improve efficient water supply. *International Journal of Sediment Research*, 39(4), 629-642.

Ahadiyan, J., Yarahamdi, N., Akbari, A., Sajjadi, S.M., Nadian, H.A. & Bahmanpouri, F. (2026). Modeling and Assessment of Salinity Reduction Strategies in the Jarahi River, Iran. *Hydrology*, 13(1), 22. <https://doi.org/10.3390/hydrology13010022>.

Alijani, B. & Harman, J. (2019). Synoptic climatology of precipitation in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 135, 1073–1087.

Allan, R.P., Arias, P.A., Berger, S., Canadell, J.G., Cassou, C., Chen, D., ... & Zickfeld, K. (2023). Intergovernmental panel on climate change (IPCC). Summary for policymakers. In: V.P. Masson-Delmotte, P. Zhai, & A. Pirani (Eds.), Climate Change 2021: The physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, 3-32, Cambridge University Press, doi:10.1017/9781009157896.001.

Alshammari, E., Rahman, A.A., Rainis, R., Seri, N. A. & Fuzi, N.F.A. (2023). The impacts of land use changes in urban hydrology, runoff and flooding: a review. *Current Urban Studies*, 11(1), 120-141.

Avand, M., Moradi, H.R. & Hazbavi, Z. (2024). Interactive changes in climatic and hydrological droughts, water quality, and land use/cover of Tajan watershed, Northern Iran. *Water*, 16(13), 1784, <https://doi.org/10.3390/w16131784>

Chabokpour, J. & Zabihi, M. (2019). Evaluation of the transfer function method for flood routing in river reaches. *Journal of Hydraulics*, 14(2), 145–158. (In Persian)

Chen, Z., Feng, M., Johnson, M.F., Wright, N.,

Western Iran). *International Journal of Environmental Research*, 19(3), 87, <https://doi.org/10.1007/s41742-025-00750-6>

Tamm, O., Saaremäe, E., Rahkema, K., Jaagus, J. & Tamm, T. (2023). The intensification of short-duration rainfall extremes due to climate change—Need for a frequent update of intensity–duration–frequency curves. *Climate services*, 30, 100349, <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2023.100349>

Wijngaard, J.B., Klein Tank, A.M.G. & Können, G.P. (2003). Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. *International Journal of Climatology*, 23, 679–692.

J. & Sajjadi, M. (2024). An Index to Determine Reaction of Vegetation Canopies to River Flow, *Journal of Hydraulic and Water Engineering*, 1(2), 41-50.

Sen, P.K. (1968). Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379–1389.

Şen, Z. (2024). Moving trend analysis methodology for hydro-meteorology time series dynamic assessment. *Water Resources Management*, 38(11), 10.1007/s11269-024-03872-2

Sharif, M., Hosseini, S.M., Heidari, S. & Rastgar Alaleh Gurabi, S. (2025). Exploring Relations of Hydro-Climatic Variables and Water Balance Components (Case Studies of Two Mega Basins,



© 2026 The Author(s). Published by Iranian Hydraulic Association, Tehran, Iran.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons

Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits

unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original

work is properly cited.