

Estimation of maximum mlood discharge in ungauged basins (Case study: rivers of Shahrud county)

Masoume Hasan Barani¹, Samad Emamgholizadeh^{2✉}, and Khalil Azhdari³

1. Department of Water and Soil, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. Email: Massi.barango@gmail.com
2. Corresponding author, Department of Water and Environmental, Civil Engineering Faculty, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. Email: s_gholizadeh517@Shahroodut.ac.ir
3. Department of Water and Soil, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. Email: Azhdari2055@yahoo.com

Article Info.

Article type:
Research Article

Article history:

Received 30 November 2024
Received in revised form 10
March 2025
Accepted 25 July 2025
Available online 22 June 2026

Keywords:

empirical relations,
floods,
river,
watershed.

ABSTRACT

Objective: This study evaluates the accuracy of several empirical methods (Deacon, Fuller, Specific Flood, and Franco-Rodier) for estimating flood discharge in ungauged rivers of Semnan Province and identifies the most suitable method and its error for each river.

Method: Annual flood statistics from water gauge stations were collected and rigorously validated through visual inspection, statistical analysis (including mean and standard deviation), and outlier tests. Data independence was assessed via the run test, while homogeneity was verified using double mass curves. Four empirical methods were applied to estimate flood discharge based on physiographic watershed characteristics. Performance was evaluated by comparing results against statistical benchmarks and calculating relative errors for each river. The study focused on rivers originating from the Alborz Mountains, which are characterized by their short lengths and variable salinity.

Results: The results showed that the Specific Flood method achieved the highest accuracy for the Tash Sofla River, with an error of 35.63%. Fuller's method performed best for the Farahzad River, having only a 3.71% error. Deacon's method proved to be the most effective for the Majan River, with an 18.83% error, while Franco-Rodier delivered the best results for the Abersaj River, with a 38.91% error. Data homogeneity and randomness were confirmed across all stations. The run test validated the randomness of the flow, and the double mass curves indicated consistent hydrological behavior. Notably, accuracy varied significantly among the rivers, highlighting the importance of context in determining effectiveness.

Conclusions: Empirical methods can provide acceptable flood estimates in ungauged basins but require careful selection based on river-specific characteristics. Fuller's method achieved exceptional precision (3.71% error) for the Farahzad River, demonstrating its potential for targeted applications. However, no universal method emerged, as performance depended on watershed properties, such as terrain and flow regime. Practitioners should prioritize localized validation to minimize errors and ensure accuracy. These findings support the use of empirical approaches when traditional data are unavailable, thereby enhancing flood resilience in vulnerable regions.

Cite this article: Hasan Barani, M., Emamgholizadeh, S., & Azhdari, K. (2025). Estimation of Maximum Flood Discharge in Ungauged Basins (Case Study: Rivers of Shahrud County). *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 6(2), 65-83. <https://doi.org/10.22126/atwe.2025.11381.1145>



© The Author(s)

<https://doi.org/10.22126/atwe.2025.11381.1145>

Publisher: Razi University.

Introduction

Floods are among the most significant natural disasters, affecting numerous regions worldwide, including developed countries. Among all natural disasters, floods cause the most damage to human populations. Approximately one-third of the damages caused by natural disasters are attributed to floods, and their consequences can directly or indirectly impact two-thirds of the global population. Floods also result in significant loss of life annually. As one of the most critical climate crises, floods claim thousands of lives each year, inflict substantial damage on human societies and the environment, and have instilled fear in populations since ancient times. Consequently, effective flood management and control are of paramount importance. Available evidence and reports indicate that flood-related damages exceed those caused by other natural disasters.

Arab Khodri (1989) utilized data from 42 hydrometric stations to develop empirical relationships for estimating maximum floods in areas lacking statistical data. These relationships were based on factors such as basin area, average annual precipitation, basin diameter, and shape factor, derived from flood investigations in the northern Alborz watershed. His findings identified the Log Pearson type 3 distribution as the most suitable regional distribution for the data.

Selajgeh (1994) investigated floods in 38 watersheds, each covering less than 10,000 hectares. Using the results, he derived coefficients for empirical relationships to predict floods with return periods of 5, 10, 25, 50, and 100 years.

Nazari (2006) calibrated Fuller's empirical relationship for watersheds in Fars Province and classified the studied watersheds based on their flood potential.

Dasturani et al. (2009) emphasized the importance of studying floods and mudslides in watersheds, particularly the maximum discharge of river regimes. Their research analyzed the sensitivity of parameters in empirical relationships used to estimate instantaneous maximum flow rates. They evaluated ten methods, including Deacon, Krieger, Fuller, English, Kutan, Meyer, Fanning, Horton, and the United States Geological Survey (USGS) method. The results revealed that all methods were highly sensitive to the basin area parameter, especially in smaller areas. Among the methods, Fuller's approach showed greater sensitivity to changes in return periods during low-return intervals.

Method

This study focused on rivers in Semnan Province, including Tash Sefali, Farahzad, Majen, Abrasaj, and Cheshme Ali Damghan. These rivers originate from the southern slopes of the Alborz Mountain range and flow north to south into the desert plains. While the rivers have clear, fresh water at their sources, they become saline after passing through salt fields and chalky lands. Due to the short distance between the mountains and plains, these rivers are typically short in length. To estimate flood magnitudes, empirical methods such as Deacon's, Fuller's, special flood, and Franco-Rodier's were employed.

Results

Annual flood statistics from water gauge stations in the study area were collected and evaluated for accuracy. Initially, the data were visually inspected by comparing flood records across stations on a year-by-year basis. Subsequently, statistical methods, including calculations of mean and standard deviation, were used to verify the accuracy of annual flood

values. Additionally, outlier data tests were applied to assess the reliability of rainfall records from a hydrological perspective.

The independence (randomness) and homogeneity of the data were also examined. The run test method was used to evaluate data independence, while the double mass curve test was applied to assess homogeneity. Table 3 presents the results of the independence test for annual flood data at selected stations, confirming that the flow patterns are random.

Traditional empirical methods (Deacon, Fuller, special flood, and Franco-Rodier) were used to estimate flood values. The results indicated that:

- The specific flood method was the most accurate for the Tash Sofla River, with a relative error of 35.63%.
- Fuller's method provided the best estimate for the Farahzad River, with a relative error of 3.71%.
- Deacon's method was most suitable for the Majan River, with a relative error of 18.83%.
- Franco-Rodier's method yielded the best results for the Abersaj River, with a relative error of 38.91%.

Conclusions

This study evaluated the effectiveness of empirical methods in estimating floods with varying return periods. The findings revealed that:

- The specific flood method was the most accurate for the Tash Sofla River, despite its relatively high error rate of 35.63%.
- Fuller's empirical method provided the best estimate for the Farahzad River, with a minimal error of 3.71%.
- Deacon's method was most suitable for the Majan River, with an error of 18.83%.
- Franco-Rodier's method yielded the best results for the Abersaj River, albeit with a higher error rate of 38.91%.

The results demonstrate that the accuracy of empirical methods varies significantly across different rivers. Therefore, no single method can be universally recommended for flood estimation in the study area. Careful consideration of the appropriate method is essential to minimize errors and ensure accurate flood predictions. For instance, Fuller's method, with an error rate of 3.71% for the Farahzad River, proved highly effective in estimating maximum flood magnitudes.

Author Contributions

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Meteorological Organization and the Regional Water Company of Semnan Province for providing the necessary information for this research and for sharing the data used in this paper.

Ethical Considerations

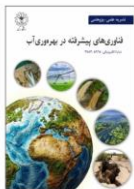
The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Funding

Not applicable

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest



برآورد دبی حداکثر سیلاب در حوضه‌های فاقد آمار (مطالعه موردی: رودخانه‌های شهرستان شاهرود)

معصومه حسن بارانی^۱، صمد امامقلی زاده^۲، و خلیل اژدری^۳

۱. گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران. رایانامه: Massi.baran90@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه آب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران. رایانامه: s_gholizadeh517@Shahroodut.ac.ir

۳. گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران. رایانامه: Azhdari2055@yahoo.com

درباره مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۳ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۰۱ کلیدواژه‌ها: حوضه آبخیز، روابط تجربی، رودخانه، سیلاب.	هدف: ارزیابی دقت روش‌های تجربی (دیکن، فولر، سیلاب ویژه و فرانکو-رودیر) در برآورد دبی سیلاب رودخانه‌های فاقد آمار هیدرومتری شهرستان شاهرود و تعیین مناسب‌ترین روش برای هر رودخانه. روش پژوهش: با استفاده از داده‌های رودخانه‌های تاش سفلی، فرحزاد، ابرسج و مجن، دبی سیلاب به کمک روش‌های تجربی و روش آماری محاسبه شد و سپس دقت روش‌های تجربی از طریق مقایسه با نتایج روش آماری و بررسی خطای نسبی ارزیابی گردید. یافته‌ها: بهترین روش تجربی برای رودخانه‌های تاش سفلی، فرحزاد، مجن (بند انحرافی-دوراهی) و ابرسج به ترتیب روش‌های سیلاب ویژه، فولر، دیکن و فرانکو-رودیر بود. همچنین خطای نسبی این روش‌ها به ترتیب 35.6، ۳.۷، ۱۴.۸ و ۳۸.۹ درصد به دست آمد. نتیجه گیری: روش‌های تجربی، با وجود تفاوت در میزان دقت، می‌توانند در حوضه‌های فاقد آمار هیدرومتری برای برآورد سیلاب مورد استفاده قرار گیرند و انتخاب روش مناسب برای هر حوضه، دقت برآورد را بهبود می‌بخشد.

استناد: حسن بارانی، معصومه؛ امامقلی زاده، صمد؛ و اژدری، خلیل. (۱۴۰۵). برآورد دبی حداکثر سیلاب در حوضه‌های فاقد آمار (مطالعه موردی: رودخانه‌های شهرستان شاهرود). *فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب*، ۶(۲)، ۶۵-۸۳.

10.22126/atwe.2025.11381.1145



© نویسندگان

شر: دانشگاه رازی.

مقدمه

سیل یکی از مهم ترین بلایای طبیعی است که بسیاری از نقاط جهان از جمله کشورهای توسعه یافته را تحت تأثیر قرار می دهد. در بین بلایای طبیعی، بیشترین آسیب را سیل به انسان وارد می کند، و یک سوم خسارات ناشی از بلایای طبیعی مربوط به سیل است و پیامدهای آن می تواند به طور مستقیم و غیرمستقیم بر دو سوم جمعیت زمین تأثیر بگذارد. جدا از آسیب های فیزیکی، سالانه بخش زیادی از مردم جهان در اثر سیل جان خود را از دست می دهند (سلیمانی و درویشی، ۱۳۹۹؛ یوانگ^۱، ۲۰۲۳).

باتوجه به اینکه سیل بزرگ ترین و مهم ترین بحران اقلیمی است که همه ساله جان هزاران نفر را می گیرد و خسارات فراوانی را به جامعه انسانی و محیط زیست وارد می آورد و از گذشته های بسیار دور همواره انسان را به هراس انداخته است، مدیریت و کنترل آن بسیار مهم است. شواهد و گزارش های موجود نشان می دهد که خسارات ناشی از سیل بیش از سایر سوانح طبیعی است (استعلاجی و همکاران^۲، ۲۰۲۳).

مخاطرات و بلایای طبیعی یکی از مهم ترین نگرانی های جهانی است که به دفعات زیاد در تمام دنیا اتفاق می افتد و از آن جایی که ارتباط نزدیکی با وضعیت رشد و توسعه کشورها دارد آسیب های جبران ناپذیر اقتصادی و اجتماعی در زندگی مردم ایجاد می کند (پکار^۳، ۲۰۲۴).

سیل می تواند ناشی از پدیده های طبیعی مانند طغیان رودخانه ها، طوفان های ساحلی، جزرومد یا بارندگی شدید در مناطق شهری باشد و یا می تواند به واسطه عوامل انسانی مانند عملکرد نادرست سازه های هیدرولیکی یا رهاسازی بی رویه آب ناشی از یک حادثه، یا ریزش جزئی یا کلی یک سد رخ دهد. طی ۲۰ سال گذشته، سیل تکراری ترین نوع بلایای طبیعی بوده است. ویژگی های بارندگی به عنوان مهم ترین عوامل اقلیمی مؤثر بر وقوع سیل در نظر گرفته می شود (کرد و یواندی^۴، ۲۰۲۰).

تشدید سیر صعودی خسارت سیل در دو دهه گذشته سبب شده که آرزوی دیرینه درباره حل قطعی مسئله سیل و رواناب ها جای خود را به واقع گرایی و درک این واقعیت دهد که همیشه نمی توان در مهار سیلاب ها موفق بود، بلکه باید کوشید تا پیامدهای مخرب و زیان بار آن را کاهش داد. مدیریت سیلاب از اقدامات اساسی در برنامه ریزی منابع آب است که برای به حداقل رساندن خسارات و دستیابی به توسعه پایدار جوامع به کار می رود. اولین قدم جهت مدیریت سیل، داشتن اطلاعات و داده های کافی درباره رفتار هیدرولوژی حوضه و رودخانه و همچنین تشخیص مناطق دارای پتانسیل سیل خیزی و تهیه نقشه سیلاب است (بولتی و آبه^۵، ۲۰۲۰).

در ایران نیز وجود بارندگی با شدت زیاد موجب ایجاد سیل های ویرانگر و خسارت های فاجعه باری شده است. علاوه بر آن عوامل انسانی نیز مانند تخریب حوضه های آبخیز می توانند موجب بدتر شدن خسارت سیل شوند. بنابراین در جهت کاهش خسارات مالی و جانی مدیریت سیل، بسیار مهم است. این امر جایگاه ویژه ای به مدیریت غیرساختاری در مدیریت کلی سیل داده است. سیستم های هشدار و پیش بینی سیل از جمله روش های غیرسازه ای هستند که نقش عمده ای در کاهش خسارات سیل دارند (پناهی و همکاران، ۱۴۰۱).

ادبیات موضوع و پیشینه پژوهش

باتوجه به اهمیت برآورد سیل در پروژه های مختلف، پژوهشگران متعددی در این زمینه تحقیق نمودند که برای مثال می توان به موارد زیر اشاره نمود.

¹ Young

² Estelaji et al

³ Peker et al

⁴ Cred- UNDRR

⁵ Bulti & Abebe

۱. مطالعات داخل کشور

خدمتی و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از روش منطقه‌بندی، ترکیب روش شاخص سیلاب و رگرسیون چندمتغیره به برآورد سیلاب استان‌های یزد، کرمان، هرمزگان و سیستان و بلوچستان پرداختند. آن‌ها دلیل اصلی انتخاب این مناطق را به‌خاطر کم‌بودن تعداد ایستگاه‌های هیدرومتری، عدم توزیع یکنواختی در منطقه مورد مطالعه و از طرفی عدم وجود آمار در حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه بیان کردند. آن‌ها به کمک روش‌هایی نظیر شاخص سیلاب، تحلیل خوشه‌ای و رگرسیون چندمتغیره، با استفاده از ویژگی‌های فیزیوگرافی و گشتاورهای متعارف و خطی، گروه زیر حوضه‌های همگن را تعیین کردند. برای مناطق مذکور، توزیع احتمالاتی غالب منطقه توزیع لوگ پیرسون تیپ ۳ تعیین گردید و بر اساس آن دبی اوج با دوره‌های بازگشت مختلف برآورد گردید. در نهایت برای برآورد دبی سیلابی در دوره‌های بازگشت مختلف، مناسب‌ترین روابط ریاضی در حوضه‌های آبخیز فاقد آمار در منطقه جنوب شرق ایران را ارائه دادند.

فرسادنیا و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از تحلیل خوشه‌بندی فازی در استان مازندران به پیش‌بینی سیلاب پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها بیانگر آن بود که با استفاده از خوشه‌بندی فازی می‌توان راندمان پیش‌بینی سیلاب را افزایش داد. جهانگیری و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از روش گشتاورهای خطی تحلیل فراوانی جریان کمینه حوضه آبریز رودخانه کرخه را مورد مطالعه‌ای قرار دادند. نتایج تحقیق آن‌ها بیانگر آن بود که استفاده از روابط منطقه‌ای می‌تواند با خطای کمتر برآورد سیل را میسر سازد و راندمان پیش‌بینی را افزایش دهد.

عرب‌خدیری (۱۳۶۸) با استفاده از آمار و اطلاعات ۴۲ ایستگاه هیدرومتری، روابط تجربی را برای برآورد سیلاب‌های حداکثر حوضه‌های فاقد آمار با بررسی نقطه‌ای سیلاب‌های حوضه‌های آبخیز البرز شمالی ارائه نمود. در روابط تجربی ارائه شده، عوامل مساحت، بارش متوسط سالیانه، قطر حوضه و عامل شکل مورد استفاده قرار گرفت. نتایج تحقیق ایشان نشان داد لوگ پیرسون نوع سوم به‌عنوان بهترین توزیع منطقه‌ای برای داده‌های مورد استفاده بوده است.

سلاجقه (۱۳۷۳) نیز به بررسی سیلاب‌های ۳۸ حوضه آبخیز، که مساحتی کمتر از ۱۰۰۰۰ هکتار داشتند، مورد بررسی قرارداد و با استفاده از نتایج به‌دست‌آمده ضرایب را جهت استفاده از روابط تجربی برای پیش‌بینی سیلاب با دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال ارائه نمود.

قضاوی و سمیعی (۱۳۹۵). کالیبراسیون و اعتبارسنجی روش‌های تجربی برآورد رواناب در حوضه‌های آبخیز بادامک استان فارس را به‌صورت مطالعه موردی مورد بررسی قرار دادند. همچنین بنی صفار (۱۳۹۲) برآورد سیلاب حوضه آبریز با به‌کارگیری روش‌های تجربی کریگر، رابطه تجربی فولر^۱ و SCS در حوضه آبریز زرین گل استان گلستان مورد بررسی و واسنجی قرارداد و با استفاده از نتایج حاصله حوضه آبخیز مورد مطالعه را از نقطه‌نظر پتانسیل ایجاد سیلاب طبقه‌بندی نمود.

دستورانی و همکاران (۱۳۸۹) با بیان اینکه بررسی سیل و سیل‌خیزی حوضه‌های آبخیز و به تبع آن اهمیت و ضرورت بررسی دبی حداکثر لحظه‌ای رژیم رودخانه بسیار مهم است، در تحقیقی با استفاده از روش‌های تجربی به برآورد سیل پرداختند. هدف از انجام تحقیق آن‌ها آنالیز حساسیت پارامترهای به‌کاررفته شده در روابط تجربی جهت تخمین دبی حداکثر لحظه‌ای بوده است تا

^۱ Fuller

بتوانند نقش هر یک از پارامترها را مشخص کنند. بدین منظور آن‌ها در این تحقیق خود ده رابطه تجربی مانند روش دیکن^۱، کریگر^۲، فولر^۳، انگلیز^۴، کوتان^۵، مایر^۶، فانینگ^۷، هورتون^۸، روش سازمان زمین‌شناسی آمریکا^۹ را مورد آنالیز حساسیت قرار دادند. نتایج به‌دست‌آمده بیانگر حساسیت نسبتاً بالای تمامی روابط مورد استفاده به پارامتر مساحت بخصوص در مساحت‌های کم است به‌نحوی که تغییرات کم در مساحت پایین، تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای زیادی در مقدار دبی سیلاب داشته است. همچنین از میان روش‌های تجربی مذکور، برخی از روابط مانند روش فولر نسبت به تغییرات دوره بازگشت در دوره بازگشت‌های پایین بسیار حساس‌تر هستند. همچنین نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که دو پارامتر ضریب منطقه‌ای (c) و مساحت (A) تقریباً در تمامی روش‌های مذکور مورد استفاده قرار گرفت و در همه این روابط تجربی این پارامترها تا حدی از یک قالب مشترک تبعیت می‌کنند. البته در روش‌هایی مثل روش جرمن و روش فولر عامل دیگری مثل دوره بازگشت (T) و همچنین در روش فولر عامل دیگری با نام ضریب طغیانی (β)، نقش مهمی را در مقدار تغییرات دبی لحظه‌ای دارد. همچنین نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد در رابطه تجربی کریگر، تأثیر تغییرات مساحت در مساحت‌های خیلی پایین، از عامل ضریب منطقه‌ای در مقدار دبی لحظه‌ای بیشتر است، در صورتی که این اختلاف تأثیر در مساحت‌های بالا به نفع ضریب منطقه‌ای و مقدار آن نیز قابل توجه بوده است. به عبارتی با افزایش ضریب منطقه‌ای به صورت خطی و مستقیم، مقدار دبی لحظه‌ای نیز افزایش یافته است که این ضریب نیز خود متأثر از خصوصیات فیزیکی و اقلیمی حوضه است. در رابطه دیکن نتایج نشان داد در مقایسه با عامل مساحت، تأثیر تغییرات ضریب منطقه‌ای در مقایسه با رابطه قبلی کمتر شده است ولی در مساحت‌های زیاد مقدار این تأثیر در تغییر دبی لحظه‌ای از عامل مساحت، بیشتر است.

رابطه فولر در مقایسه با سایر روابط تجربی به لحاظ فرمولی، و همچنین استفاده از ضرایب و فاکتورهای بیشتر، کمی پیچیده‌تر است.

در رابطه هورتون دو عامل مساحت و دوره بازگشت، عوامل اثرگذار در تغییرات دبی لحظه‌ای هستند. به طوری که در مساحت‌های کوچک، نه تنها تغییرات مساحت موجب تأثیر زیادی در مقدار دبی لحظه‌ای می‌گردد، بلکه در این مساحت‌ها تأثیر دوره بازگشت در خروجی بیشتر از عامل مساحت است، ولی در مساحت‌های زیاد، عامل مهم مساحت است. شهریار و همکاران (۱۳۹۵) بهینه‌سازی تجربی برآورد رواناب سالیانه را در حوضه‌های بدون ایستگاه هیدرومتری در حوضه رودخانه سرخاب مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد برای حوضه مطالعه شده روش تورک^{۱۰} با سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد، حجم رواناب سالیانه را در مقایسه با سایر روش‌ها دقیق‌تر محاسبه می‌کند.

عبادی‌فر و نادری دیزگاه (۱۳۹۶) کاربرد روش‌های تجربی را برای برآورد رواناب سالیانه در حوضه حویق در استان گیلان ارزیابی کردند. نتایج حاکی از برتری عملکرد روش‌های خوزلا از نظر دقت برآورد رواناب بوده است.

¹ Dicken

² Kreiger

³ Fuller

⁴ English

⁵ Koutan

⁶ Meyer

⁷ Fanning

⁸ Horton

⁹ USGS

¹⁰ Turk

عزیزنیا کشتلی و بیات ورکشی (۱۳۹۷) کارایی معادلات تجربی برآورد رواناب را در حوضه بابلرود ارزیابی کردند. نتایج بیان کننده برتری دو مدل جاستین و دی سوزا برای حوضه پژوهش و معادله جاستین برای حوضه کشتارگاه بوده است. همچنین مشخص شد روابط برای حوضه های کوچک کاربرد داشته است و با افزایش سطح حوضه، ضریب همبستگی روابط کاهش می یابد. شعبانلو و همکاران (۱۳۹۱) اظهار داشتند تخمین دبی اوج لحظه ای یکی از پارامترهای اساسی در طراحی پروژه های آبی است. آن ها در تحقیقی به ارزیابی روابط تجربی برآورد دبی اوج لحظه ای سیلاب در حوضه های آبریز غرب ایران پرداختند. بدین منظور ۲۰ رابطه تجربی را که در نقاط مختلف دنیا مورد استفاده قرار گرفته است، مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور از آمار و اطلاعات ۲۶ ایستگاه هیدرومتری در حوضه های آبریز غرب ایران استفاده گردید. حوضه های مورد مطالعه در استان های همدان، کرمانشاه و لرستان واقع شده اند. در این ایستگاه ها آمار دبی اوج لحظه ای در یک دوره آماری ۴۲ ساله (۱۳۴۴-۴۵ تا ۱۳۸۶-۸۷) مورد بررسی قرار گرفت. رودخانه های این حوضه شامل رودخانه های قره سو، گاماسیاب، کشکان، سیمره، رودخانه کرخه، رودخانه سزار و رودخانه آفرینه می شود. آن ها برای تحلیل فراوانی از ۸ تابع توزیع احتمالی بر روی دبی های اوج لحظه ای استفاده کردند و بعد از انجام آزمون های نکویی برازش، دبی های اوج لحظه ای با دوره های برگشت، ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ ساله را در نهایت با استفاده از تابع توزیع لوگ پیرسون نوع ۳ محاسبه کردند. آن ها ضمن ارائه روابط تجربی برای برآورد مقدار دبی سیلاب برای هر کدام از حوضه های مورد مطالعه، اظهار داشتند از میان روش های تجربی مورد استفاده، رابطه تجربی فولر دارای کارایی مناسب در برآورد دبی اوج لحظه ای در حوضه های غرب کشور نبوده است.

۲. مطالعات خارج از کشور

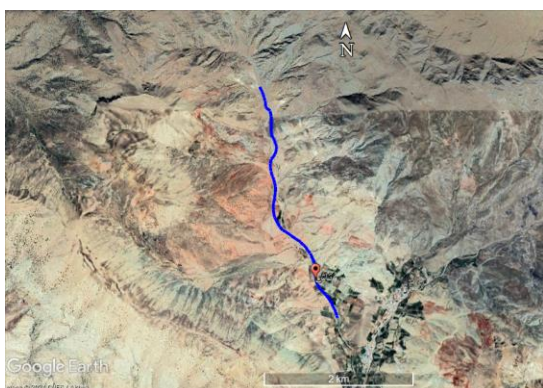
کمپبل و ساید^۱ (۱۹۸۴) از عوامل فیزیکی و اقلیمی حوضه مانند مساحت حوضه، ارتفاع متوسط و بارندگی متوسط سالیانه به عنوان عوامل مستقلی برای تخمین مقدار سیلاب حداکثر در منطقه اورگان استفاده کردند و ضمن ارائه روابط تجربی، بیان داشتند که می توان دبی سیلاب منطقه را بادقت نسبتاً مناسب پیش بینی کرد.

روش پژوهشی

۱. منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق رودخانه های شهرستان شاهرود واقع در استان سمنان (تاش سفلی، فرحزاد، مجن، ابرسج) مورد بررسی قرار گرفت. رودهای مورد مطالعه از دامنه های جنوبی رشته کوه البرز سرچشمه گرفته و اغلب به دشت کویر می ریزند. جهت جریان این رودها از شمال به جنوب است. این رودها در سرچشمه معمولاً آب شیرین و گوارا دارند ولی با عبور از نمکزارها و زمین های گچی، شور شده و دارای املاح زیادی می شوند. طول این رودها معمولاً کوتاه است زیرا که فاصله میان کوهستان تا دشت کم است. در شکل (۱) موقعیت مکانی رودخانه های مورد مطالعه را در محیط گوگل ارث نشان می دهد. همچنین در جدول (۱) مشخصات ایستگاه های هیدرومتری که بر روی رودخانه های مورد مطالعه وجود دارد، ارائه گردیده است.

^۱ Campbell & Side



رودخانه تاش



رودخانه فرحزاد



رودخانه مجن بند انحرافی-دوراهی



رودخانه ابرسج

شکل ۱. موقعیت مکانی رودخانه های مورد مطالعه در محیط گوگل ارث

جدول ۱. موقعیت مکانی ایستگاه های هیدرومتری در رودخانه های مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه	نام رودخانه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	مساحت حوضه (کیلومتر مربع)
۱	مجن بند انحرافی-دوراهی	مجن	۵۴-۳۸-۵۹	۳۶-۲۸-۳۴	۲۰۵۵	۱۴۷۰۹
۲	فرحزاد-تاش	تاش	۵۴-۴۲-۱۲	۳۶-۳۰-۴۱	۱۹۰۷	۱۲۲
۳	تاش سفلی	تاش	۵۴-۴۰-۳۳	۳۶-۳۳-۳۳	۲۲۲۷	۳۵۰۷
۴	ابرسج	ابرسج	۵۴-۵۵-۲۰	۳۶-۳۴-۵۹	۱۷۵۰	۱۹۰۲

۲. معرفی روابط تجربی

روابطه ی تجربی بر پایه همبستگی بین مقادیر سیلاب و پارامترهای فیزیکی و بارندگی در بسیاری از کشورها ارائه شده است. در حقیقت این روابط تنها برای منطقه ای که داده های آن در رابطه همبستگی بکار برده شده اند، اعتبار دارد و در دیگر حوضه ها باید پارامترهای آن بومی سازی شوند. برای به دست آوردن پیک سیلاب در محل خروجی زیرحوضه های حوضه آبریز، نیاز به تحلیل منطقه ای و انتقال مقادیر سیلاب به موقعیت خروجی این زیرحوضه ها است. از روش های تجربی ذیل برای تحلیل منطقه ای سیلاب استفاده شده است:

روش دیکن (Diken)

رابطه تجربی دیکن (به نقل از سابرامانیا، ۲۰۱۳) به صورت رابطه (۱) ارائه شده است:

$$Q=CA^X \quad (1)$$

که در آن: A : سطح حوضه آبریز بر حسب کیلومترمربع، C : ضریب ثابت دیکن و Q : دبی حداکثر سیلاب بر حسب مترمکعب بر ثانیه است. مقدار X بر اساس جدول (۲) نسبت به مساحت حوضه آبریز مورد مطالعه، انتخاب می گردد.

جدول ۲. نسبت پارامتر X فرمول دیکن با مساحت حوضه آبریز

X	مساحت حوضه (کیلومترمربع)
۱	۲۵ تا
۰/۵	۲۵ تا ۲۵۰۰
۰/۳۳	۲۵۰۰ تا ۲۵۰۰۰
۰/۲۵	۲۵۰۰۰ تا ۲۵۰۰۰۰
۰/۱۵	بزرگتر از ۲۵۰۰۰۰

روش تجربی فولر (Fuller)

فولر (۱۹۱۴)^۲ رابطه های تجربی خود را به صورت رابطه (۲) و رابطه (۳) بر حسب دوره برگشت T ارائه نموده است.

$$Q_{MAX.d}=CA^{0.8}(1+\beta \log T) \quad (2)$$

$$Q_T=Q_{MAX.d}(1+2.66A^{-0.3}) \quad (3)$$

که در آن $Q_{MAX.d}$: دبی حداکثر یک روزه سیلاب بر حسب مترمکعب بر ثانیه و Q_T : دبی حداکثر لحظه ای سیلاب با دوره برگشت T است.

با داشتن C و β برای یک منطقه مقادیر پیک سیلاب با دوره برگشت مختلف به دست می آید. برای حوضه های معمول مقدار β حدود ۰/۸ بوده که برای تحلیل سیلاب در محل خروجی زیر حوضه های حوضه آبریز مورد مطالعه از همین مقدار استفاده شده است که این فرض به نوبه خود برآورد سیلاب را با استفاده از این روش تجربی تحت الشعاع قرار می دهد. با استفاده از مقادیر دبی حداکثر سالیانه، مقادیر C برای هر دوره برگشت محاسبه شده است. سپس با استفاده از مقادیر محاسبه شده C و β برای ایستگاه های آب سنجی منطقه مطالعاتی، مقادیر دبی پیک سیلاب با دوره برگشت مختلف در محل های خروجی زیر حوضه های حوضه آبریز مورد مطالعه به دست آمده است (چاو و همکاران^۳، ۱۹۹۸)

¹ Subramanya

² Fuller

³ Chow et al

روش سیلاب ویژه

در این روش از نسبت سیلاب های مشاهده شده با دوره بازگشت مختلف به مساحت حوضه آبریز استفاده می گردد. با استفاده از این روش سیلاب ویژه ایستگاه های آب سنجی منطقه مطالعاتی محاسبه، سپس سیلاب ویژه منطقه طرح برای دوره بازگشت مختلف به دست آمده و مبنای محاسبه سیلاب خروجی زیرحوضه های حوضه آبریز مورد مطالعه قرار می گیرد (چاو و همکاران، ۱۹۹۸).

روش فرانکو-رودیر

روش تجربی فرانکو-رودیر^۱ نیز یک روش تجربی نظیر دیکن است که در رابطه آن علاوه بر ضریب مساحت، توان نیز تغییر می کند. رابطه عمومی مورد استفاده به صورت رابطه (۴) است.

$$Q=10^6 \left(\frac{A}{10^8} \right)^{1-0.1k} \quad (4)$$

A : سطح حوضه آبریز بر حسب کیلومتر مربع، K : ضریب ثابت و Q : دبی سیلاب بر حسب مترمکعب بر ثانیه است
با استفاده از رابطه یادشده، مقادیر ضریب فرانکو - رودیر ایستگاه های آب سنجی منطقه مطالعاتی و رابطه مساحت با دوره برگشت مختلف به دست آمده است.

یافته های پژوهشی

۱. بررسی صحت داده ها

پس از جمع آوری آمار آبدی سالانه ایستگاه های آب سنجی موجود در منطقه مطالعاتی، صحت این آمار به روش های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. نخست با بررسی و مقایسه سال به سال آبدی ایستگاه های مختلف، صحت آنها به روش چشمی و سپس با محاسبه میانگین و انحراف استاندارد آنها، صحت مقادیر آبدی سالانه به روش آماری کنترل شده است.
برای تشخیص داده های پرت (*Outliers*) با روش چشمی معمولاً با استفاده از نمودارهای گرافیکی (نمودار پراکنش)^۲ انجام می شود. این روش به ما کمک می کنند تا داده هایی که به طور غیرعادی از الگوی کلی داده ها فاصله دارند را شناسایی کرد.
همچنین جهت بررسی صحت ثبت مقادیر آبدی (از دیدگاه سری هیدرولوژیکی) از آزمون داده پرت یا داده دورافتاده^۳ استفاده گردیده است.

در بررسی آمار موجود همچنین استقلال (تصادفی بودن) و همگنی آمار نیز مورد بررسی قرار گرفته است. برای انجام آزمون استقلال داده ها، از روش ران تست^۴ استفاده شده است. برای انجام آزمون همگنی نیز از روش آزمون منحنی جرم مضاعف^۵ استفاده شده است.

در جدول (۳) نتایج آزمون استقلال داده های آبدی سالانه ایستگاه های منتخب ارائه شده است. در این جدول، چهار ایستگاه مختلف بررسی شده اند: فرحزاد، تاش سفلی، مجن بند انحرافی-دوراهی و ابرسج. هر ایستگاه دارای مقادیر متفاوتی برای حدود مجاز (U)، U محاسبه شده، Nb تعداد نمونه های دنباله b و Na تعداد نمونه های دنباله a است. همان گونه که نتایج این جدول نشان می دهد، بر اساس آزمون مذکور این ایستگاه ها دارای داده های تصادفی هستند.

¹ Franco, Rodier

² Scatter Plot

³ Outlier data

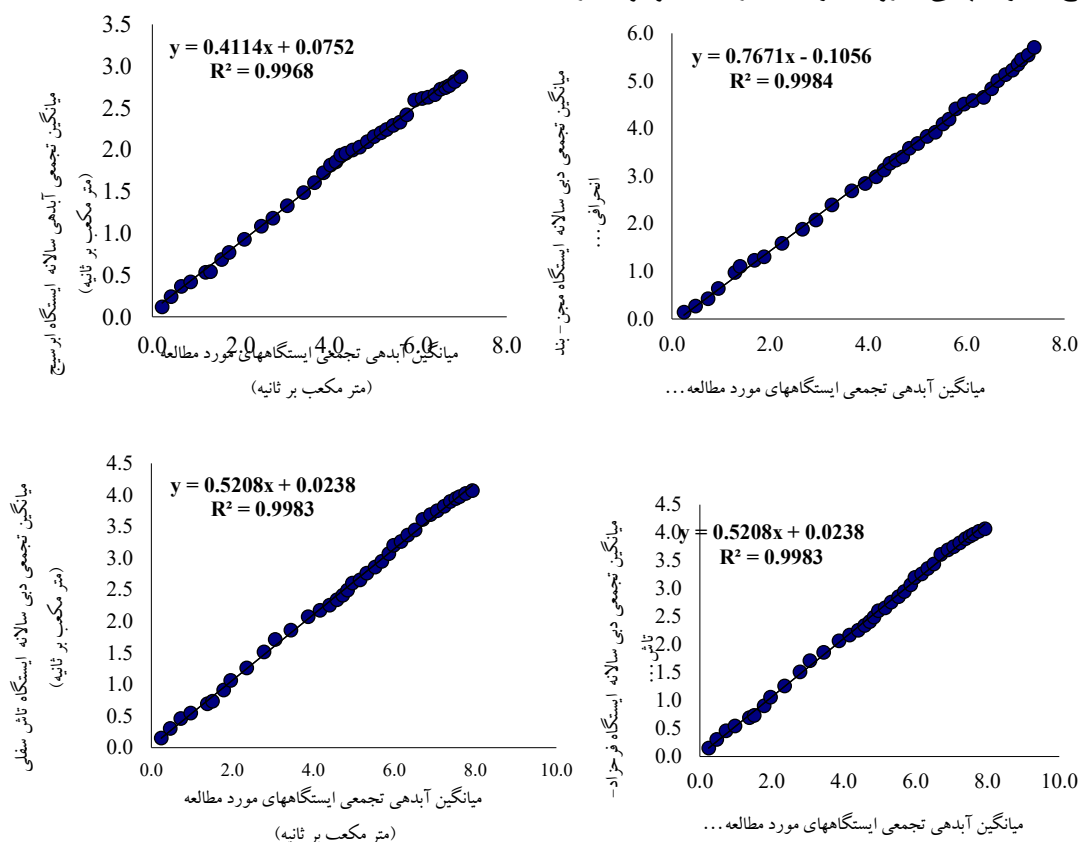
⁴ Run-Test

⁵ Double Mass Curve test

جدول ۳. نتایج آزمون ران تست بر روی آمار آبدی سالانه ایستگاه‌های منتخب در منطقه طرح

نام ایستگاه‌ها	Na	Nb	U محاسبه شده	حدود مجاز (U)	سطح معنی دار بودن
فرحزاد	۲۰	۲۱	۱۴	۲۷-۱۴	۵
تاش سفلی	۱۱	۱۹	۱۱	۲۰-۹	۵
مجن بند انحرافی-دوراهی	۱۳	۱۸	۱۱	۲۳-۱۰	۵
ابرسج	۷	۱۳	۸	۱۵-۵	۵

منحنی‌های جرم مضاعف (Double Mass Curve) یک ابزار گرافیکی قدرتمند برای بررسی سازگاری و همگنی داده‌های هیدرولوژیکی، مانند آبدی سالانه، است. این منحنی‌ها معمولاً برای تشخیص تغییرات ناگهانی یا روندهای غیرعادی در داده‌ها استفاده می‌شوند. در این منحنی محور افقی (X)، مجموع تجمعی آبدی سالانه یک ایستگاه مرجع (یا میانگین چند ایستگاه و محور عمودی (Y)، مجموع تجمعی آبدی سالانه ایستگاه مورد بررسی است و هر نقطه روی نمودار نشان‌دهنده مجموع تجمعی آبدی تا آن سال است. در شکل (۲) منحنی‌های جرم مضاعف آمار آبدی سالانه ایستگاه‌های منتخب ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده از این آزمون آمار آبدی سالانه ایستگاه‌های منتخب همگی همگن هستند چرا که منحنی ترسیم شده به صورت یک خط مستقیم با شیب ثابت است، لذا نشان‌دهنده همگنی و سازگاری داده‌ها است. به عبارتی دیگر، این حالت بیانگر آن است که هیچ تغییر ناگهانی یا روند غیرعادی در داده‌ها وجود ندارد.



شکل ۲. نمودارهای همگنی ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه

۲. نتایج برآورد سیلاب با استفاده از توابع توزیع آماری

برای برآورد سیلاب با استفاده از توابع توزیع آماری از نرم افزار Easy fit استفاده شد که نتایج حاصل از برآورد سیلاب در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۴. برآورد حداکثر سیلاب (متر مکعب بر ثانیه) رودخانه های مورد مطالعه با استفاده از توابع توزیع آماری

تابع توزیع انتخاب شده	۵۰۰	۱۰۰	۵۰	۲۵	۱۰	۵	۲	دوره بازگشت (سال)	ایستگاه
<i>Log_pearson3</i>	۵۳/۲۱	۴۶/۰۶	۴۰/۲۱	۳۴/۰۳	۲۷/۵۹	۱۸/۸۹	۱۳/۴۱	۴/۵۹	ابرسج
<i>Gumbel Max</i>	۵۳/۶۱	۴۶/۶۳	۴۱/۳۴	۳۶/۰۳	۳۰/۶۹	۲۳/۴۸	۱۷/۷۷	۹/۱۶	مجن بند انحرافی-دوراهی
<i>Log_pearson3</i>	۴۲/۱۱	۳۸/۲۳	۳۴/۹۲	۳۱/۲۶	۲۷/۲۲	۲۱/۲۳	۱۶/۱۴	۸/۴۷	فرحزاد
<i>Pearson 6</i>	۶۹/۷۳	۵۴/۲۲	۴۴/۰۱	۳۴/۹۵	۲۶/۹۰	۱۷/۶۴	۱۱/۵۵	۴/۵۵	تاش سفلی

۲. نتایج برآورد سیلاب با استفاده از روابط تجربی

رودخانه تاش

باتوجه به این که هدف از انجام این تحقیق ارزیابی روابط تجربی در برآورد سیلاب حوضه رودخانه های مورد مطالعه (تاش سفلی، مجن، ابرسج، فرحزاد) در شهرستان شاهرود واقع در استان سمنان بوده است، با فرض اینکه در این رودخانه ها اندازه گیری دبی وجود ندارد، از داده های ایستگاه های هیدرومتری موجود در اطراف رودخانه های مورد مطالعه جهت برآورد سیلاب استفاده گردید و سپس نتایج به دست آمده برای سیلاب با دوره های بازگشت متفاوت با مقادیر سیلاب برآورد شده با استفاده از توابع توزیع آماری به دست آمده مورد مقایسه قرار گرفت. در جداول (۵) نتایج حاصل از برآورد سیلاب با روش های تجربی برای رودخانه تاش سفلی ارائه شده است.

برای بررسی دقت مدل های تجربی در برآورد سیلاب رودخانه های مورد مطالعه از معیار خطای نسبی^۱ که یک معیار مهم در ارزیابی دقت و صحت اندازه گیری ها یا محاسبات است (رابطه ۵)، استفاده شد. این خطا نشان دهنده میزان اختلاف بین مقدار دبی سیلاب اندازه گیری شده و مقدار دبی سیلاب محاسبه شده است و به صورت نسبی بیان می شود. خطای نسبی معمولاً به صورت درصد یا نسبت بیان می شود و به شکل زیر محاسبه می شود:

$$RE = \frac{|O-P|}{O} \times 100 \quad (5)$$

RE = خطای نسبی، O مقدار دبی سیلاب اندازه گیری شده و P مقدار دبی سیلاب محاسبه شده است.

همان طور که نتایج به دست آمده در جدول (۶) نشان می دهد کمترین خطای برآورد سیلاب رودخانه تاش سفلی مربوط به روش سیلاب ویژه بوده است که مقدار آن ۳۵/۶۳ درصد بوده است. بعد از آن روش فرانکو -رودیر با خطای ۴۴/۸۵ درصد و نهایتاً بیشترین خطا مربوط به روش تجربی فولر با ۶۴/۰۳ درصد می باشد.

^۱ Relative Error

جدول ۵. برآورد حداکثر سیلاب (متر مکعب بر ثانیه) رودخانه تاش سفلی با روش‌های تجربی

دوره بازگشت (سال)	روش دیکن	روش سیلاب ویژه	روش فرانکو-رودیر	روش تجربی فولر	متوسط
۲	۳/۳۷	۳/۶۲	۳/۳۶	۲/۱۵	۳/۱۳
۵	۷/۰۹	۸/۶۹	۷/۶۸	۴/۹۴	۷/۱
۱۰	۹/۷۶	۱۲/۶۸	۱۰/۹۱	۷/۰۹	۱۰/۱۱
۲۵	۱۳/۲۳	۱۷/۹۸	۱۵/۱۶	۹/۹۲	۱۴/۰۸
۵۰	۱۴/۸۴	۲۱/۲۶	۱۷/۲۶	۱۱/۵۸	۱۶/۲۴
۱۰۰	۱۸/۱۶	۲۵/۶۱	۲۱/۲۵	۱۳/۹۹	۱۹/۷۵
۲۰۰	۲۰/۵۶	۲۹/۲۲	۲۴/۲۱	۱۵/۹۳	۲۲/۴۸
۵۰۰	۲۳/۶۵	۳۳/۷۳	۲۷/۹۹	۱۸/۳۶	۲۵/۹۳

جدول ۶. خطای محاسبه شده (درصد) با روش‌های تجربی برای رودخانه تاش سفلی

دوره بازگشت (سال)	تاش سفلی	روش دیکن	روش سیلاب ویژه	روش فرانکو-رودیر	روش تجربی فولر	متوسط
۲	۴/۵۵	۲۵/۷۸	۲۰/۳۵	۲۶/۰۷	۵۲/۷۸	۳۱/۲۵
۵	۱۱/۵۵	۳۸/۶۲	۲۴/۷۲	۳۳/۴۵	۵۷/۲	۳۸/۵
۱۰	۱۷/۶۴	۴۴/۶۸	۲۸/۱۴	۳۸/۱۴	۵۹/۸۲	۴۲/۶۹
۲۵	۲۶/۹	۵۰/۸۱	۳۳/۱۶	۴۳/۶۳	۶۳/۱۱	۴۷/۶۸
۵۰	۳۴/۹۵	۵۷/۵۴	۳۹/۱۶	۵۰/۶۱	۶۶/۸۶	۵۳/۵۴
۱۰۰	۴۴/۰۱	۵۸/۷۴	۴۱/۸۱	۵۱/۷۱	۶۸/۲۱	۵۵/۱۲
۲۰۰	۵۴/۲۲	۶۲/۰۸	۴۶/۱۱	۵۵/۳۵	۷۰/۶۳	۵۸/۵۴
۵۰۰	۶۹/۷۳	۶۶/۰۹	۵۱/۶۳	۵۹/۸۶	۷۳/۶۶	۶۲/۸۱
	متوسط خطا	۵۰/۵۴	۳۵/۶۳	۴۴/۸۵	۶۴/۰۳	۴۸/۷۷

رودخانه فرحزاد

باتوجه به اینکه در اطراف حوضه فرحزاد ایستگاه‌های هیدرومتری مجن، ابرسج، تاش سفلی هستند از داده‌های این ایستگاه جهت برآورد ضرایب تجربی استفاده شد سپس برآورد سیلاب با استفاده از هرکدام از روش‌های تجربی انجام شد که نتایج به‌دست‌آمده در جدول (۷) نشان داده شده است.

همان‌طور که نتایج به‌دست‌آمده در جدول (۸) نشان می‌دهد کمترین خطای برآورد سیلاب رودخانه فرحزاد مربوط به روش تجربی فولر بوده است که مقدار آن ۳/۷۱ درصد بوده است. بعد از آن روش دیکن با خطای ۱۰/۴۰ درصد و نهایتاً بیشترین خطا مربوط به روش سیلاب ویژه با ۱۲۲/۲۴ درصد می‌باشد.

جدول ۷. برآورد حداکثر سیلاب (متر مکعب بر ثانیه) رودخانه فرحزاد با روش های تجربی

دوره بازگشت (سال)	روش دیکن	روش سیلاب ویژه	روش فرانکو-رودیر	روش تجربی فولر	متوسط
۲	۶/۲۴	۱۲/۳۸	۹/۵۴	۵/۷۴	۸/۴۷
۵	۱۳/۱	۲۹/۷۱	۲۰/۳۷	۱۳/۲۱	۱۹/۱
۱۰	۱۸/۰۴	۴۳/۳۳	۲۸/۱	۱۸/۹۴	۲۷/۱
۲۵	۲۴/۴۶	۶۱/۴۵	۳۸	۲۶/۵۳	۳۷/۶۱
۵۰	۲۷/۴۳	۷۲/۶۷	۴۲/۷۹	۳۰/۹۶	۴۳/۴۶
۱۰۰	۳۳/۵۷	۸۷/۵۲	۵۱/۷۹	۳۷/۳۹	۵۲/۵۷
۲۰۰	۳۸/۰۱	۹۹/۸۵	۵۸/۳۶	۴۲/۵۷	۵۹/۷
۵۰۰	۴۳/۷۱	۱۱۵/۲۶	۶۶/۶۶	۴۹/۰۸	۶۸/۶۸

جدول ۸. خطای محاسبه شده (درصد) با روش های تجربی برای رودخانه فرحزاد

دوره بازگشت (سال)	فرحزاد	روش دیکن	روش سیلاب ویژه	روش فرانکو-رودیر	روش تجربی فولر	متوسط
۲	۸/۴۷	۲۶/۳۸	۴۶/۰۵	۱۲/۵۹	۳۲/۲۸	۳/۳
۵	۱۶/۱۴	۱۸/۸۱	۸۴/۰۹	۲۶/۲۲	۱۸/۱۴	۱۸/۳۴
۱۰	۲۱/۲۳	۱۵	۱۰۴/۱۲	۳۲/۳۹	۱۰/۷۵	۲۷/۶۹
۲۵	۲۷/۲۲	۱۰/۱۳	۱۲۵/۷۳	۳۹/۵۸	۲/۵۶	۳۸/۱۶
۵۰	۳۱/۲۶	۱۲/۲۶	۱۳۲/۴۲	۳۶/۸۵	۰/۹۸	۳۹/۰۱
۱۰۰	۳۴/۹۲	۳/۸۷	۱۵۰/۶	۴۸/۲۹	۷/۰۷	۵۰/۵۲
۲۰۰	۳۸/۲۳	۰/۵۸	۱۶۱/۲	۵۲/۶۵	۱۱/۳۵	۵۶/۱۶
۵۰۰	۴۲/۱۱	۳/۸۱	۱۷۳/۷۲	۵۸/۳۱	۱۶/۵۵	۶۳/۱
	متوسط خطا	۱۰/۴	۱۲۲/۲۴	۳۸/۳۶	۳/۷۱	۳۶/۶۲

رودخانه مجن بند انحرافی-دوراهی

برای رودخانه مجن بند انحرافی-دوراهی، باتوجه به اینکه در اطراف حوضه آن رودخانه حوضه های تاش سفلی، ابرسیج، فرحزاد وجود دارد و دارای شرایط مشابه با آن حوضه است، از داده های ایستگاه های هیدرومتری آن ها جهت برآورد ضرایب تجربی استفاده شد و در نهایت مقادیر دبی سیلاب با استفاده از هر کدام از روش های تجربی (دیکن، فولر، سیلاب ویژه، فرانکو-رودیر) برآورد گردید که نتایج به دست آمده در جدول (۹) ارائه شده است.

همان طور که نتایج به دست آمده در جدول (۱۰) نشان می دهد کمترین خطا برآورد سیلاب رودخانه مجن بند انحرافی-دوراهی مربوط به روش دیکن بوده است که مقدار آن ۱۴/۸۳ درصد بوده است. بعد از آن روش تجربی فولر با خطای ۱۷/۰۸ درصد و نهایتا بیشترین خطا مربوط به روش سیلاب ویژه با ۱۳۱/۷۹ درصد می باشد.

جدول ۹. برآورد حداکثر سیلاب (متر مکعب بر ثانیه) رودخانه مجن بند انحرافی-دوراهی با روش های تجربی

دوره بازگشت (سال)	روش دیکن	روش سیلاب ویژه	روش فرانکو-رودیر	روش تجربی فولر	متوسط
۲	۶/۸۷	۱۵	۱۱/۲۳	۶/۶۹	۹/۹۵
۵	۱۴/۴۳	۳۶/۰۲	۲۳/۷۳	۱۵/۴۱	۲۲/۴
۱۰	۱۹/۸۶	۵۲/۵۲	۳۲/۵۹	۲۲/۱	۳۱/۷۷
۲۵	۲۶/۹۴	۷۴/۴۹	۴۳/۸۸	۳۰/۹۴	۴۴/۰۶
۵۰	۳۰/۲	۸۸/۰۹	۴۹/۳۳	۳۶/۱۱	۵۰/۹۳
۱۰۰	۳۶/۹۶	۱۰۶/۱	۵۹/۵۴	۴۳/۶۲	۶۱/۵۶
۲۰۰	۴۱/۸۵	۱۲۱/۰۵	۶۶/۹۸	۴۹/۶۶	۶۹/۸۸
۵۰۰	۴۸/۱۳	۱۳۹/۷۲	۷۶/۳۷	۵۷/۲۵	۸۰/۳۷

جدول ۱۰. خطای محاسبه شده (درصد) با روش های تجربی برای رودخانه مجن بند انحرافی-دوراهی

دوره بازگشت (سال)	مجن بند انحرافی- دوراهی	روش دیکن	روش سیلاب ویژه	روش فرانکو-رودیر	روش تجربی فولر	متوسط
۲	۹/۱۶	۲۴/۹۹	۶۳/۸۵	۲۲/۷	۳۷/۳۳	۶/۰۶
۵	۱۷/۷۷	۱۸/۸۳	۱۰۲/۶۵	۳۳/۵۲	۲۵/۶۷	۲۲/۹۲
۱۰	۲۳/۴۸	۱۵/۳۹	۱۲۳/۷۲	۳۸/۸	۱۹/۳۱	۳۱/۹۵
۲۵	۳۰/۶۹	۱۲/۲۲	۱۴۲/۷۵	۴۲/۹۹	۱۳/۵۶	۳۹/۹۹
۵۰	۳۶/۰۳	۱۶/۱۸	۱۴۴/۴۸	۳۶/۸۹	۱۴/۰۹	۳۷/۷۸
۱۰۰	۴۱/۳۴	۱۰/۵۹	۱۵۶/۶۴	۴۴/۰۲	۹/۵۵	۴۵/۱۳
۲۰۰	۴۶/۶۳	۱۰/۲۵	۱۵۹/۶	۴۳/۶۴	۸/۷۱	۴۶/۰۷
۵۰۰	۵۳/۶۱	۱۰/۲۲	۱۶۰/۶۴	۴۲/۴۶	۸/۴۵	۴۶/۱۱
	متوسط خطا	۱۴/۸۳	۱۳۱/۷۹	۳۸/۱۳	۱۷/۰۸	۳۴/۵

رودخانه ابرسج

باتوجه به اینکه در اطراف حوضه ابرسج ایستگاه های هیدرومتری تاش سفلی، مجن و فرخزاد هستند از داده های این ایستگاه جهت برآورد ضرایب تجربی استفاده شد. برآورد سیلاب با استفاده از روش های تجربی دیکن، فولر، سیلاب ویژه، فرانکو-رودیر در جدول (۱۱) ارائه گردید.

همان طور که نتایج به دست آمده در جدول (۱۱) نشان می دهد، علارقم اینکه روش دیکن خطای زیادی دارد اما سه روش سیلاب ویژه، روش فرانکو-رودیر و روش تجربی فولر دارای دقت بهتری نسبت به روش دیکن بوده اند. کمترین خطا برآورد سیلاب رودخانه ابرسج مربوط به روش روش فرانکو-رودیر بوده است که مقدار آن ۳۸/۹۱ درصد بوده است. بعد از آن سیلاب ویژه با خطای ۵۶/۸۹ درصد می باشد.

جدول ۱۱. برآورد حداکثر سیلاب (متر مکعب بر ثانیه) رودخانه ابرسج با روش های تجربی

دوره بازگشت (سال)	روش دیکن	روش سیلاب ویژه	روش فرانکو-رودیر	روش تجربی فولر	متوسط
۲	۱۱/۱۵	۱/۳۵	۱/۶۹	۱/۱۵	۳/۸۳
۵	۲۶/۴۲	۲/۷۸	۳/۷۹	۲/۳۶	۸/۸۴
۱۰	۳۸/۳۴	۳/۸	۵/۳۵	۳/۲	۱۲/۶۵
۲۵	۵۴/۸۹	۵/۱۱	۷/۴۳	۴/۳	۱۷/۹۳
۵۰	۵۴/۱۹	۵/۵۸	۸/۲۸	۴/۷۲	۱۸/۱۹
۱۰۰	۷۹/۰۲	۶/۹۸	۱۰/۴۳	۵/۸۵	۲۵/۵۷
۲۰۰	۹۱/۷۵	۷/۹	۱۱/۹۴	۶/۶۱	۲۹/۵۵
۵۰۰	۱۰۸/۹۲	۹/۱۱	۱۳/۸۹	۷/۶	۳۴/۸۸

جدول ۱۲. خطای محاسبه شده (درصد) با روش های تجربی برای رودخانه ابرسج

دوره بازگشت (سال)	ابرسج	روش دیکن	روش سیلاب ویژه	روش فرانکو-رودیر	روش تجربی فولر	متوسط
۲	۲/۷۷	۳۰۳/۰۵	۵۱/۱۷	۳۸/۹۶	۵۸/۳۶	۱۱۲/۸۹
۵	۴/۴۷	۴۹۰/۸۶	۳۷/۷۷	۱۵/۱۵	۴۷/۳۲	۱۴۷/۷۷
۱۰	۶/۳۲	۵۰۴/۵۷	۳۹/۹۹	۱۵/۳۸	۴۹/۳۸	۱۵۲/۳۳
۲۵	۱۰	۴۴۸/۸۸	۴۸/۸۶	۲۵/۷۵	۵۷/۰۲	۱۴۵/۱۳
۵۰	۱۴/۱۴	۲۸۳/۱۶	۶۰/۵۴	۴۱/۴۷	۶۶/۶۳	۱۱۲/۹۵
۱۰۰	۲۰	۲۹۵/۰۸	۶۵/۱۱	۴۷/۸۳	۷۰/۷۷	۱۱۹/۷
۲۰۰	۲۸/۲۸	۲۲۴/۳۹	۷۲/۰۶	۵۷/۸	۷۶/۶۳	۱۰۷/۷۲
۵۰۰	۴۴/۷۲	۱۴۳/۵۵	۷۹/۶۴	۶۸/۹۳	۸۳	۹۳/۷۸
	متوسط خطا	۳۳۶/۶۹	۵۶/۸۹	۳۸/۹۱	۶۳/۶۴	۱۲۴/۰۳

بحث

برای انجام این پژوهش رودخانه های تاش سفلی، فرحزاد، مجن بند انحرافی _دوراهی و ابرسج در نظر گرفته شد. این رودخانه ها در استان سمنان شهرستان شاهرود قرار گرفته اند. به منظور برآورد مقادیر سیلاب از روش های تجربی مرسوم برآورد سیلاب (دیکن، فولر، سیلاب ویژه، فرانکو-رودیر) استفاده گردید. نتایج به دست آمده به شرح ذیل است:

- برای رودخانه تاش سفلی، بهترین برآورد سیلاب روش سیلاب ویژه بوده است که مقدار خطای آن ۳۵/۶۳ درصد بوده است.
- برای رودخانه فرحزاد بهترین برآورد سیلاب روش تجربی فولر که مقدار خطای آن ۳/۷۱ درصد بوده است.
- برای رودخانه مجن بند انحرافی - دوراهی بهترین برآورد سیلاب روش دیکن که مقدار خطای آن ۱۸/۸۳ درصد بوده است.

برای رودخانه ابرسج بهترین برآورد سیلاب روش فرانکو-رودیر که مقدار خطای آن ۳۸/۹۱ درصد بوده است.

نتیجه‌گیری

همان‌طوری که نتایج به‌دست‌آمده برای رودخانه‌های مختلف مورد تحقیق نشان می‌دهد، مقادیر خطا در رودخانه‌های مختلف متفاوت بوده است و همچنین یک روش خاص را نمی‌توان به‌صورت کلی برای منطقه مورد مطالعه پیشنهاد داد؛ لذا در انتخاب روش تجربی برای برآورد سیلاب باید دقت لازم را مدنظر قرارداد، چراکه در غیر این صورت محاسبات و برآورد سیلاب با خطا مواجه خواهد شد و از دقت لازم برخوردار نخواهد بود. در صورتی که روش مناسب انتخاب گردد، مقدار خطا قابل قبول خواهد بود. برای مثال برای رودخانه فرحزاد که بهترین برآورد سیلاب روش تجربی فولر بوده است مقدار خطای آن ۳/۷۱ درصد است که نشان می‌دهد این روش به‌خوبی توانسته است مقدار حداکثر سیلاب را تخمین بزند.

به عبارت بهتر نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که روش‌های تجربی مختلف برای برآورد سیلاب در رودخانه‌های مختلف، دقت متفاوتی دارند. این تفاوت در دقت ناشی از ویژگی‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی خاص هر رودخانه است، مانند شیب، مساحت حوضه، نوع خاک، و شرایط اقلیمی. در نهایت، این پژوهش نشان می‌دهد که عدم توجه به انتخاب روش مناسب می‌تواند منجر به برآوردهای نادرست و پیامدهای نامطلوب در مدیریت سیلاب شود.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

سپاسگزاری

در پایان از سازمان هواشناسی و شرکت آب منطقه‌ای استان سمنان که اطلاعات مورد نیاز این پژوهش را در اختیار نویسندگان قرار دادند، سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

- عزیزنیا کشتلی، علی اصغر، و بیات ورکشی، مریم. (۱۳۹۷). ارزیابی معادلات تجربی برآورد رواناب در حوضه بابلرود. هفتمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران، یزد، ایران. <https://civilica.com/doc/845685>
- عرب خدری، مهدی. (۱۳۶۸). بررسی سیلاب‌های حداکثر در حوضه‌های آبخیز شمال البرز، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
- بنی صفار، محمد. (۱۳۹۲). برآورد سیل حوضه آبخیز با استفاده از روش‌های تجربی کریگر، فولر و SCS (مطالعه موردی: حوضه زرین‌گل، استان گلستان). کنفرانس ملی انجمن ایرانی ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. <https://sid.ir/paper/845165/fa>
- دستورانی، محمدتقی، و حیات‌زاده، محمد. (۱۳۸۹). بررسی مهم‌ترین عوامل مؤثر بر دبی سیلاب اوج از طریق تحلیل حساسیت روابط تجربی. نشریه علمی-پژوهشی مرتع و آبخیزداری، ۱ (۱)، ۲۱-۱۰. <https://doi.org/20.1001.1.2008790.1389.1.1.1.5>
- عبادی فر، محسن، و نادری دژگاه، محمد فرید. (۱۳۹۶). ارزیابی روش‌های تجربی برآورد رواناب سالانه (مطالعه موردی: حوضه هویر استان گیلان). دومین کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران، شهرکرد، ایران. <https://civilica.com/doc/661724>
- فرسادنیا، فاطمه، حقیقت جو، پیمان، شاه‌محمدی هیدی، زهرا، و مقدادی نیا، علیرضا. (۱۳۹۱). تحلیل منطقه‌ای سیلاب در حوضه‌های آبخیز استان مازندران با استفاده از تحلیل خوشه‌ای فازی. نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۸ (۲۰)، ۲۱-۳۶. <http://jwmsei.ir/article-1-363-fa.html>
- قضاوی، رضا، و سمیعی، مهدی. (۱۳۹۵). واسنجی و اعتبارسنجی روش‌های تجربی برآورد رواناب در حوضه‌های آبخیز (مطالعه موردی: بادامک استان فارس). کنفرانس ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران (توسعه مشارکتی در مدیریت آبخیز)، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران. <https://sid.ir/paper/886398/fa>
- جهانگیری، سحر، ملک‌نژاد، حسین، و اسلامیان، سعید. (۱۳۹۴). انتخاب بهترین تابع توزیع منطقه‌ای دبی‌های کمینه با استفاده از روش گشتاورهای خطی (حوضه کرخه). دهمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. <https://civilica.com/doc/677152>
- خدمتی، حمید، منشوری، محمدرضا، حیدری‌زاده، مجید، و صدقی، حسین. (۱۳۸۹). منطقه‌بندی و برآورد دبی سیلاب در حوضه‌های فاقد آمار جنوب شرق ایران با تلفیق روش شاخص سیل و رگرسیون چندمتغیره (استان‌های کرمان، یزد، سیستان و بلوچستان و هرمزگان). مجله آب و خاک، ۲۴ (۳)، ۶۰۹-۵۹۳. https://jneh.usb.ac.ir/?_action=export&rf=idc&issue=665
- پناهی، آرش، جان‌باز قبادی، غلامرضا، معتضدی صدر، سیدحمید، و خلیلی، سعید. (۱۴۰۱). مدل‌سازی و پیش‌بینی خطر منطقه‌ای سیل‌های ناشی از بارش تحت شرایط تغییر اقلیم (مطالعه موردی: حوضه گرگانرود). نشریه جغرافیای طبیعی، ۱۴ (۵)، ۳۸-۱۷. <https://doi.org/20.1001.1.20085656.1401.15.56.2.6>
- سلاجقه، علی. (۱۳۷۳). برآورد دبی اوج سیلاب در حوضه‌های کوچک ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
- شعبانلو، سعید، رجبی، احمد، اسلامیان، سیدسعید، و موسوی، سیدفتح‌الله. (۱۳۹۱). ارزیابی روابط تجربی برآورد دبی اوج سیل در حوضه‌های آبخیز غرب ایران. نشریه پژوهش‌های آب ایران، ۸ (۱۰)، ۶۲-۴۵. https://iwrj.sku.ac.ir/article_10894.html

- شهریاری، مهدی، محسن زاده، حسین، و محسن زاده، امیر. (۱۳۹۵). بهینه‌سازی تجربی برآورد رواناب سالانه در حوضه‌های فاقد ایستگاه هیدرومتری (مطالعه موردی: حوضه سورخاب). پنجمین کنفرانس ملی توسعه پایدار در جغرافیا و برنامه‌ریزی، معماری و شهرسازی، تهران، ایران. <https://civilica.com/doc/647854>
- سلیمانی، کیوان، و درویشی، سحر. (۱۳۹۹). پهنه‌بندی و پایش خطر سیل در خوزستان طی بهار ۱۳۹۸ با استفاده از داده‌های لندست-۸. مجله/کوهیدرولوژی، ۷ (۳)، ۶۶۲-۶۴۷. <https://doi.org/10.22059/ije.2020.302703.1333>

References

- Arab Khodari, M. (1999). Investigation of maximum floods in the northern Alborz atersheds. Master's thesis, *University of Tehran*, Tehran, Iran. [In Persian]
- Bani Safar, M. (2013). Estimating watershed floods using Krieger, Fuller, and SCS empirical methods (Case study: Zarringol basin, Golestan province). *National Conference of the Iranian Society of Geomorphology*. Tehran university, Tehran, Iran. <https://sid.ir/paper/845165/fa> [In Persian]
- Bulti, D. T., & Abebe, B. G. (2020). A review of flood modeling methods for urban pluvial flood application. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6, 1293 - 1302. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00773-2>
- Campbell, A. I., & Side, R. C. (1984). Prediction of peak flows on small watersheds in Oregon for use in culvert design. *Water Resources Bulletin*, 20(1), 9–14. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1984.tb04652.x>
- Chow, V.T., Maidment, D.R., & Mays, L.W. (1988) Applied Hydrology. International Edition, McGraw-Hill Book Company, New York. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1165939>
- CRED & UNDRR. (2020). *Human cost of disasters: An overview of the last 20 years (2000–2019)*. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. UNDRR Publications, Switzerland. <https://www.undrr.org/publication/human-cost-disasters-overview-last-20-years-2000-2019>
- Dasturani, M. T., & Hayatzadeh, M. (2009). Investigating the most significant factors influencing peak flood discharge through a sensitivity analysis of empirical relationships. *Scientific-Research Journal of Rangeland and Watershed Management*, 1(1), 10–21. <https://doi.org/20.1001.1.2008790.1389.1.1.1.5> [In Persian]
- Ebadifar, M., & Naderi Dejgah, M. F. (2017). Evaluation of empirical methods for estimating annual runoff (Case study: Hoyir basin, Gilan province). *The Second National Conference of Iranian Hydrology*, Shahre kord, Iran. <https://civilica.com/doc/661724> [In Persian]
- Estelaji, F., Afshari Aghajari, A., & Zahedi, R. (2023). Flood zoning and developing strategies to increase resilience against floods with a crisis management approach. *Asian Review of Environmental and Earth Sciences*, 10(1), 14–27. <https://doi.org/10.20448/arees.v10i1.4567>
- Farsadnia, F., Haghighatjo, P., Shahmohammadi-Heidi, Z., & Moqaddani, A. (2012). Regional analysis of floods in watersheds of Mazandaran province using fuzzy cluster analysis. *Iranian Journal of Watershed Science and Engineering*, 8(20), 21–36. <http://jwmsei.ir/article-1-363-fa.html> [In Persian]
- Franco, J., & Rodier, J. A. (1969). Flood frequency analysis in small catchments. *Journal of Hydrology*, 8(1), 1–15. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(69\)90002-4](https://doi.org/10.1016/0022-1694(69)90002-4)
- Fuller, W. E. (1914). Flood flows. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 77(1), 564–617. <https://doi.org/10.1061/taceat.0002552>
- Ghazavi, R., & Samii, M. (2016). Calibration and validation of empirical methods for estimating runoff in watersheds (Case study: Badamak, Fars Province). *National Conference on Watershed Science and Engineering of Iran*, Yasooj university, Yasooj, Iran. <https://sid.ir/paper/886398/fa> [In Persian]
- Jahangiri, S., Maleknejad, H., & Eslamian, S. (2015). Selection of the best regional distribution function of minimum discharges using the linear moments method (Karkhe Basin). *10th International Seminar on River Engineering*. Shahid Chamran University of Ahwaz, Ahwaz, Iran. <https://civilica.com/doc/677152> [In Persian]
- Khadimati, H., Manshuri, M. R., Heydarizadeh, M., & Sedghi, H. (2009). Zoning and estimation of flood discharge in unstatistical basins of southeast Iran by combining flood

- index method and multivariate regression (Kerman, Yazd, Sistan and Baluchestan and Hormozgan Provinces). *Journal of Water and Soil*, 24(3), 593–609. https://jneh.usb.ac.ir/?_action=export&rf=idc&issue=665 [In Persian]
- Panahi, A., Janbaz Ghobadi, G., Moatazedi Sadr, S. H., & Khalili, S. (2001). Modeling and forecasting regional flood risk due to precipitation under climate change conditions (case study: Gorganrood basin). *Journal of Natural Geography*, 14(5), 17–38. <https://doi.org/20.1001.1.20085656.1401.15.56.2.6> [In Persian]
- Peker, I. B., Gulbaz, S., Demir, V., Orhan, O., & Beden, N. (2024). Integration of HEC-RAS and HEC-HMS with GIS in flood modeling and flood hazard mapping. *Sustainability*, 16(3), 1226. <https://doi.org/10.3390/su16031226>
- Salajqeh, A. (2008). Estimation of peak flood discharge in small basins of Iran. Master's thesis, *University of Tehran*, Tehran, Iran. [In Persian]
- Shabanloo, S., Rajabi, A., Islamian, S. S., & Mousavi, S. F. (2012). Evaluation of empirical relationships for estimating peak flood discharge in watersheds of western Iran. *Journal of Iranian Water Research*, 8(10), 45–62. https://iwrj.sku.ac.ir/article_10894.html [In Persian]
- Shahriari, M., Mohsenzadeh, H., & Mohsenzadeh, A. (2016). Experimental optimization of annual runoff estimation in basins without hydrometric stations (case study: Sorkhab basin). *Fifth National Conference on Sustainable Development in Geography and Planning, Architecture and Urbanism*, Tehran, Iran. <https://civilica.com/doc/647854> [In Persian]
- Soleimani, K., & Darvishi, S. (2019). Zoning and monitoring of flood risk in Khuzestan during the spring of 2019 using Landsat-8 data. *Ecohydrology*, 7(3), 647–662. <https://doi.org/10.22059/ije.2020.302703.1333> [In Persian]
- Turk, G. (1961). A method for estimating flood discharges in small catchments. *Journal of Hydrology*, 3(1), 1–14. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(61\)90002-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(61)90002-6)
- Young, A. R. (2013). Stream flow simulation within UK ungauged catchments using a daily rainfall-runoff model. *Journal of Hydrology*, 320(1–2), 155–172. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.01.003>