



Hydrological modeling of Tang-Sorkh Dam for control flood inflow to Yasuj city

Hossein Montaseri^{1✉} | Hamid Nejati² | Ahmad Ayaseh³ | Arash Mosleh⁴ | Hassan Arjmand⁵

1. Corresponding Author, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Yasouj University, Yasouj, Iran. E-mail: hmontaseri@yu.ac.ir
2. Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Yasouj University, Yasouj, Iran. E-mail: hamid.nejati1995@gmail.com
3. Senior Expert, Kohgiluyeh and Boyer Ahmad Province Regional Water Company, Yasouj, Iran. E-mail: ayaseh_a@yahoo.com
4. Senior Expert, Kohgiluyeh and Boyer Ahmad Province Regional Water Company, Yasouj, Iran. E-mail: mosleh.arash@gmail.com
5. Senior Expert, Kohgiluyeh and Boyer Ahmad Province Regional Water Company, Yasouj, Iran. E-mail: hassan.arjmand1353@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 21 December 2026
Received in revised form
13 February 2026
Accepted 26 April 2026
Published online 22 August 2026

Keywords:

Hydrological model
Flood control
Tang Sorkh reservoir dam

ABSTRACT

Using the HEC-HMS model to model dam reservoirs with different scenarios and different return periods allows for the prediction of inflow and outflow flows as well as an accurate assessment of the performance of these reservoirs in flood control. By using hydrological models and simulating different scenarios, the performance of these dams in flood control is examined so that the necessary solutions can be developed in water management and flood control. The Tang-Sorkh reservoir-regulating dam is one of the important dams under construction between Fars, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad provinces, which, in addition to providing drinking water to the cities of Shiraz and Yasuj, is also responsible for controlling seasonal floods. In this study, the effect of this dam on reducing peak discharge and flood volume in the Bashahr River watershed at the entrance to Yasuj city has been investigated using the HEC-HMS 4.9 model and the HecRas-2D model. In the first stage, modeling of the basin without a dam reservoir was performed to calibrate the model. In the calibration stage, the initial model was implemented using three flood events with a 6-hour rainfall distribution at the Yasuj station. After the calibration process, the model was evaluated with another flood event in the validation stage. The average values of the Nash-Sutcliffe coefficients NS and the root mean square error RMSE were obtained as 0.87, 0.37 and 0.90, 0.30, respectively, in the calibration stage and in the validation stage. These results showed that the observational and simulated data are in good agreement with each other and the accuracy of the model in simulating the Bashahr River basin is acceptable. In the second stage, the modeling of the Tange-Sorkh reservoir dam was carried out. Using the HEC-GeoRAS extension and HEC-RAS software, first the data related to the volume-height curve of the dam was prepared. Then, according to the type of dam spillway, the reservoir was routed and the dam was modeled for the return periods of 2 to 100 years in three scenarios of empty, half-full and full reservoir. The results showed that this dam can reduce the peak discharge on average in different scenarios in the half-full and full reservoir for the return periods of 2 to 100 years, respectively, compared to the situation without a reservoir, by 58.3 and 45.5 percent. Also, the flood volume will be reduced by 66 and 2.6 percent in the three scenarios for empty, half-full and full reservoirs, respectively. In addition, with the increase in the peak discharge and flood volume in different return periods, the effect of the reservoir on reducing the peak discharge and flood volume decreases.

Cite this article: Montaseri, H., Nejati, H., Ayaseh, A., Mosleh, A., & Arjmand, H. (2026). Hydrological modeling of Tang-Sorkh Dam for control flood inflow to Yasuj city. *Journal of Water and Irrigation Management*, 16 (2), 393-410. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2026.407324.1277>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2026.407324.1277>

Publisher: University of Tehran Press.



مدل سازی هیدرولوژیکی-هیدرولیکی سد تنگ سرخ جهت کنترل سیلاب ورودی شهر یاسوج

حسین منتصری^۱ | حمید نجاتی^۲ | احمد ایاسه^۳ | آرش مصلح^۴ | حسن ارجمند^۵

۱. نویسنده مسئول، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران. رایانامه: hmontaseri@yu.ac.ir
۲. دانشکده مهندسی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران. رایانامه: hamid.nejati1995@gmail.com
۳. کارشناس ارشد، شرکت آب منطقه‌ای استان کهگیلویه و بویراحمد، یاسوج، ایران. رایانامه: ayaseh_a@yahoo.com
۴. کارشناس ارشد، شرکت آب منطقه‌ای استان کهگیلویه و بویراحمد، یاسوج، ایران. رایانامه: mosleh.arash@gmail.com
۵. کارشناس ارشد، شرکت آب منطقه‌ای استان کهگیلویه و بویراحمد، یاسوج، ایران. رایانامه: hassan.arjmand1353@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

استفاده از مدل HEC-HMS برای مدل سازی مخازن سد با سناریوهای مختلف و با دوره بازگشت های مختلف، امکان پیش بینی جریان های ورودی و خروجی و همچنین ارزیابی دقیق از عملکرد این مخازن در کنترل سیلاب را فراهم می کند. با به کارگیری مدل های هیدرولوژیکی و شبیه سازی سناریوهای مختلف، عملکرد این سدها در کنترل سیلاب ها مورد بررسی قرار می گیرد تا راه کارهای لازم در مدیریت آب و کنترل سیلاب ها صورت گیرد. سد مخزنی-تنظیمی تنگ سرخ که به عنوان یکی از پروژه های شاخص عمرانی در مرز استان های فارس و کهگیلویه و بویراحمد در دست احداث می باشد، علاوه بر نقش حیاتی در تأمین آب شرب کلان شهر شیراز و شهر یاسوج، به منظور مهار و کنترل سیلاب های دوره ای نیز طراحی شده است. در این مطالعه، اثرات احداث سد تنگ سرخ بر کاهش دبی پیک و حجم سیلاب در حوضه آبریز رودخانه بشار و در ورودی شهر یاسوج مرکز استان کهگیلویه و بویراحمد، با به کارگیری مدل های هیدرولوژیکی HEC-HMS و مدل هیدرولیکی HEC-RAS 2D مورد ارزیابی قرار گرفته است. فرایند واسنجی مدل HEC-HMS با استفاده از سه رویداد سیلابی و با اعمال توزیع زمانی بارش شش ساعته ایستگاه یاسوج انجام شد. در ادامه، صحت سنجی مدل با یک رویداد سیلابی مستقل صورت پذیرفت. مقادیر میانگین شاخص های آماری Nash-Sutcliffe (NS) و Root Mean Square Error (RMSE) در مرحله واسنجی به ترتیب ۰/۸۷ و ۰/۳۷ و در مرحله اعتبارسنجی ۰/۹۰ و ۰/۳۰ محاسبه گردید که گویای دقت و قابلیت اطمینان بالای مدل سازی است. سپس با استفاده از افزونه HEC-GeoRAS و نرم افزار HEC-RAS، منحنی مشخصه حجم-ارتفاع مخزن سد تهیه و براساس نوع سرریز تعبیه شده، فرایند روندیابی مخزن انجام شد. در نهایت مدل سازی عملکرد سد برای دوره های بازگشت دو تا ۱۰۰ سال، در دو سناریوی مختلف شامل مخزن نیمه پر و پر اجرا گردید. نتایج حاصل از شبیه سازی حاکی از آن است که سد تنگ سرخ قادر است به طور میانگین، در دوره های بازگشت مذکور، دبی پیک سیلاب را در سناریوهای مخزن نیمه پر و پر به ترتیب ۵۸/۳ درصد و ۴۵/۵ درصد نسبت به شرایط عدم وجود سد (مخزن صفر) کاهش دهد. همچنین، حجم سیلاب ورودی در این دو سناریو به ترتیب ۶۶ و ۲/۶ درصد کاهش خواهد یافت که نشان از کارایی قابل توجه سد به ویژه در شرایط مخزن نیمه پر دارد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۳۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۱/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۰۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۵/۳۱

کلیدواژه ها:

مدل هیدرولوژیکی

کنترل سیلاب

سد مخزنی تنگ سرخ

استناد: منتصری، حسین؛ نجاتی، حمید؛ ایاسه، احمد؛ مصلح، آرش و ارجمند، حسن (۱۴۰۵). مدل سازی هیدرولوژیکی-هیدرولیکی سد تنگ سرخ جهت کنترل سیلاب ورودی شهر یاسوج. نشریه مدیریت آب و آبیاری، ۱۶ (۲)، ۳۹۳-۴۱۰. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2026.407324.1277>



۱. مقدمه

هر ساله، سیل‌ها خسارت‌های قابل‌توجهی به مزارع، زمین‌های کشاورزی، جاده‌ها، سدها، پل‌ها و جاده‌ها وارد می‌کنند و در برخی موارد، باعث مرگ‌ومیر بسیاری از انسان‌ها و دام‌ها می‌شوند، همچنین منجر به تخریب ساختار اجتماعی جوامع و خسارت‌های مالی و جانی فراوانی می‌شوند. برنامه‌های کنترل سیلاب به‌طور کلی بسیار متنوع و گسترده هستند و بسته به شرایط محلی، میزان ریسک در برابر خسارت‌ها، منافع ناشی از اجرای طرح و مسائل اجتماعی و اقتصادی منطقه، انواع متفاوتی دارند. از گذشته‌ها، سدسازی برای پاسخ به نیازهای آبی شرب و کشاورزی، به‌عنوان یک روش متداول جهت ذخیره آب مورد استفاده قرار گرفته است. سدها همچنین به‌عنوان یکی از مهم‌ترین سازه‌های مدیریت جریان‌های سطحی در نظر گرفته می‌شوند. به‌طور کلی احداث سد با هدف کنترل سیلاب به دو صورت احداث سد مخزنی باهدف ذخیره سیلاب، کاهش اوج سیلاب و تنظیم و کنترل دبی خروجی و احداث سد تأخیری باهدف کاهش اوج سیلاب و افزایش زمان تمرکز به امکان‌پذیر است (Kazemi et al., 2022). مطالعات مختلفی روی مدل‌سازی هیدرولوژیکی سدهای تأخیری و مخزنی انجام گرفته است که در ادامه به بررسی مهم‌ترین مطالعات انجام‌شده در سال‌های اخیر پرداخته می‌شود.

Hamidon و همکاران (۲۰۲۰)، پیش‌بینی سیل را برای ۲۰ سال آینده با در نظر گرفتن عوامل تغییر اقلیم و تغییرات کاربری اراضی از طریق مدل HEC-HMS برای مخزن بوکیت همراه کشور مالزی را انجام دادند. مدل با ضرایب همبستگی برابر ۰/۹۱ و ۰/۹۶ واسنجی و اعتبارسنجی شدند. نتایج نشان داد که با توجه به داده‌های بارندگی آینده، دبی اوج پیش‌بینی‌شده ورودی به مخزن بوکیت همراه برای ۲۰ سال آینده برابر با ۱۱۳/۷ مترمکعب بر ثانیه است.

Widayati & Lasminto (۲۰۲۰)، به مطالعه عددی بارش-رواناب حوضه آبریز سیمانوک^۱ قبل و بعد از بهره‌برداری از مخزن جاتیگده^۲ در استان جاوا غربی^۳ کشور اندونزی پرداختند. در این مطالعه با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS، سطح آب حوضه آبریز سیمانوک قبل و بعد از بهره‌برداری از مخزن جاتیگده شبیه‌سازی شود. نتایج نشان دادند که مقدار شاخص نش-ساتکلیف برای واسنجی مدل ۰/۶۴۰ بوده است (Widayati & Lasminto, 2020).

Hamdan و همکاران (۲۰۲۱)، مدل‌سازی بارش-رواناب را با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS برای حوضه آبریز رودخانه العدیم در شمال کشور عراق انجام دادند. این مدل هیدرولوژیکی با استفاده از الحاقیه HEC-GeoHMS و نرم‌افزار GIS برای شناسایی دبی حوضه آبریز رودخانه العدیم و سد خاکی در عراق با فرایندهای شبیه‌سازی‌شده بارش-رواناب مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که هر دو هیدروگراف مشاهداتی و محاسباتی همبستگی بالایی دارند. عملکرد مدل با استفاده از ضریب همبستگی برابر با ۹۰ درصد برای هر دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی ارزیابی شد. نتایج نشان داد که این مدل برای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی در حوضه آبریز رودخانه العدیم مناسب است.

Shelke و همکاران (۲۰۲۱)، پیش‌بینی جریان ورودی به مخزن کوینا در کشور هند را با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS انجام دادند. نتایج نشان می‌دهند که عملکرد مدل HEC-HMS قابل‌قبول و قابل‌اعتماد بوده و می‌تواند در حوضه‌های مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

Laassilia و همکاران (۲۰۲۲)، از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS برای پیش‌بینی سیلاب حوضه آبریز سد سیدی محمدبن عبدالله^۴ در کشور مراکش استفاده کرد. تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که حجم رواناب، دبی اوج جریان و شاخص نش-ساتکلیف نسبت به پارامترهای زمان تأخیر و CN حساس‌تر بودند. میانگین ضریب همبستگی ۰/۶۷ و نش-ساتکلیف در طول اعتبارسنجی ۰/۵۸ است. نتایج نشان می‌دهد که می‌توان حجم آب تولیدشده در زمان سیلاب را با خطاهای ۶ تا ۱۱ درصد به‌خوبی تخمین زد، درحالی‌که خطا در اوج جریان سیلابی حدود ۲۰ درصد است (Laassilia et al., 2022).

Nguyen و همکاران (۲۰۲۳)، بهینه‌سازی پارامترهای مخزن سد توین کوانگ^۵ با استفاده از مدل HEC-HMS را

ارائه نمودند. در محاسبه جریان ورودی به مخازن برق‌آبی، واسنجی و اعتبارسنجی مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS زمان زیادی را می‌طلبد و پارامترهای یافت‌شده بهینه نیستند. این مقاله نتایج استفاده از ویژگی واسنجی خودکار^۶ در مدل HEC-HMS را برای محاسبه پارامترهای بهینه و جریان ورودی به مخزن توین کوانگ ارائه می‌دهد. نتایج محاسباتی که دقت را با استفاده از شاخص نش-ساتکلیف ارزیابی می‌کنند، نشان می‌دهند که ویژگی واسنجی خودکار فرایند تشخیص پارامترهای بهینه را به طور دقیق‌تر انجام داده است (Nguyen et al., 2023).

Rasyid و همکاران (۲۰۲۳)، دبی سیلاب حوضه آبریز مخزن توگو^۷ در کشور اندونزی با استفاده از نرم‌افزار HEC-HMS موردبررسی قرار دادند. ویژگی‌های حوضه آبریز مخزن توگو شامل مقدار عدد منحنی ۷۹، سطح غیرقابل نفوذپذیری ۵ درصد و زمان تأخیر ۴/۸۱ دقیقه بودند. نتایج مدل‌سازی نشان داد که دبی سیلاب برای دوره‌های ۱۰۰ و ۱۰۰۰ ساله به ترتیب ۳۶۹/۳۰ و ۶۵۶/۷۰ مترمکعب بر ثانیه بوده و برای حداکثر سیلاب محتمل ۹۹۵/۳۰ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد (Rasyid et al., 2023).

Tien Thanh و همکاران (۲۰۲۳)، عملکرد شبیه‌سازی‌های بارش ساعتی با استفاده از مدل پیش‌بینی آب‌وهواشناسی WRF^۸ و مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS برای طول فصل سیلاب سال ۲۰۲۰ جهت محاسبه جریان ورودی آب به مخزن تاتراچ^۹ در کشور ویتنام بررسی کردند. نتایج نشان دادند که در مقیاس روزانه، همبستگی بین بارش شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده بسیار خوب است و در اکثر ایستگاه‌ها می‌توانند به حدود ۰/۸۰ برسند. در مقیاس ساعتی، این ارقام حدود ۰/۵۰ است و روند بارش تجمعی ساعتی محاسباتی با مقادیر مشاهداتی مطابقت دارد. به‌ویژه، روند جریان محاسباتی با استفاده از بارش ساعتی از مدل WRF تا مخزن تاتراچ با جریان مشاهداتی سازگار است، اگرچه خطاها هنوز تا حدی با شاخص نش-ساتکلیف، حدود ۰/۶۵ می‌باشد (Tien Thanh et al., 2023).

Dasgupta & Das (۲۰۲۴)، به بررسی روندیابی سیلاب برای مخازن پنچت و میثان^{۱۰} در کشور هند با استفاده از روش پالس اصلاح‌شده^{۱۱} پرداختند. هدف اصلی این مطالعه، محاسبه ذخیره و روندیابی سیلاب احتمالی شدید برای دو سد پنچت و میثان براساس داده‌های سیل می‌باشد. روش پالس اصلاح‌شده برای روندیابی مخزن در مقابل سیلاب‌های شدید استفاده شد. این مطالعه نشان می‌دهد که با استفاده از این روش، سیلاب‌های شدیدی که در سال ۱۹۷۸ رخ داده‌اند با خطای کم‌تر از ۱۰ درصد پیش‌بینی می‌شوند (Dasgupta & Das, 2024).

سد مخزنی-تنظیمی تنگ‌سرخ، یکی از سدهای مهم در حال احداث بین استان‌های فارس و کهگیلویه و بویراحمد می‌باشد که علاوه بر تأمین آب شرب شهر شیراز و یاسوج، وظیفه کنترل سیلاب‌های فصلی را نیز برعهده دارد. در این پژوهش، تأثیر سد تنگ‌سرخ بر کاهش دبی اوج و حجم سیلاب در حوضه آبریز بشار با استفاده از ترکیب نسخه جدید مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS ۴٫۹ که قابلیت‌های جدیدی در ترسیم مرز حوضه و زیرحوضه‌ها دارد و مدل هیدرولیکی HecRas موردبررسی قرار گرفته است. پایین‌دست این سد، شهر یاسوج مرکز استان کهگیلویه و بویر احمد قرار دارد و احداث این سد می‌تواند به‌عنوان یک سد تأخیری در مهار سیلاب در حوضه شهری یاسوج و کاهش خسارت‌ها سیلاب عمل نماید. با توجه به وجود منحنی فرمان در بهره‌برداری از این سد، خروجی سد به‌صورت کنترل‌شده و براساس ظرفیت سیلاب دشت رهاسازی خواهد شد و دبی پیک سیلاب‌ها و خطرات و خسارت‌های سیلاب کاهش خواهد یافت.

لذا در این پژوهش دو سناریوی مخزن پر و نیمه‌پر (با ۵۰ درصد ظرفیت مفید مخزن) که در شرایط بهره‌برداری از سد اجرایی می‌شود و با شرایط بهره‌برداری از سد کاملاً مطابقت دارد، مدل‌سازی می‌شود و با حالت مخزن صفر (بدون وجود سد تنگ‌سرخ) مقایسه می‌گردد تا بتوان میزان کاهش دبی پیک هیدروگراف خروجی از سد و دبی پیک هیدروگراف ورودی به شهر یاسوج را پیش‌بینی نمود و اقدامات مدیریتی لازم جهت کاهش خسارت‌های ناشی از سیلاب‌های منطقه

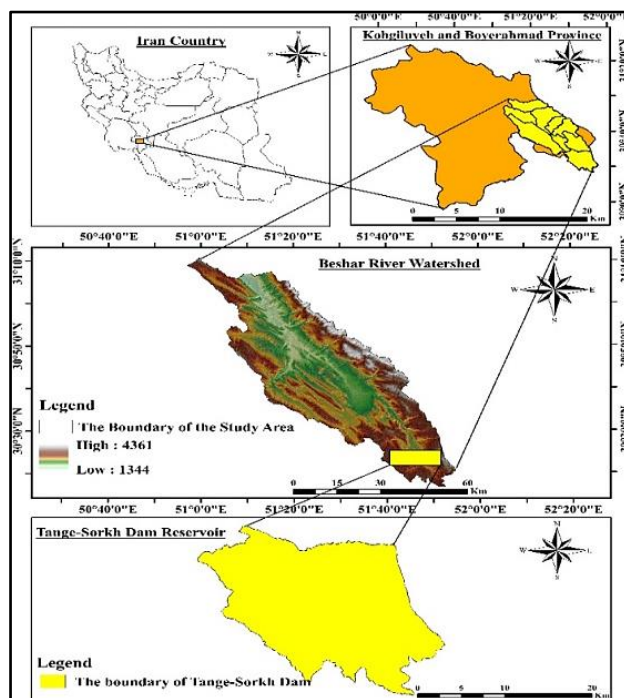
را پیش بینی کرد. لازم به ذکر است مدل سازی هیدرولوژیکی بارش رواناب حوضه رودخانه بشار با وجود سد تنگ سرخ تاکنون انجام نشده است.

۲. روش شناسی پژوهش

۲.۱. منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد بررسی در این پژوهش حوضه آبخیز رودخانه بشار در استان کهگیلویه و بویراحمد است. رودخانه بشار یکی از شاخه های رودخانه کارون بزرگ است که در شهرستان بویراحمد و بخشی از شهرستان اردکان فارس جریان دارد. ارتفاع بیشترین نقطه در این حوضه ۴۳۶۱ متر و کمترین ارتفاع آن ۱۳۵۷ متر است. رودخانه بشار با طول حدود ۱۹۰ کیلومتر و مساحت حدود ۳۰۰۰ کیلومترمربع یکی از مهم ترین رودخانه های پرآب در استان کهگیلویه و بویراحمد است. آب این رودخانه برای مصرف های مختلف شرب، صنعت و کشاورزی در این استان استفاده می شود.

براساس اطلاعات دریافتی از دفتر مطالعات پایه منابع آب و معاونت طرح و توسعه شرکت آب منطقه ای استان کهگیلویه و بویراحمد، ساختگاه سد مخزنی تنگ سرخ در استان کهگیلویه و بویراحمد و در فاصله ۳۵ کیلومتری شهر یاسوج واقع شده است و برای ذخیره سازی سیلاب و تامین آب در دو استان کهگیلویه و بویراحمد و فارس طراحی شده است. موقعیت دقیق این سد در مختصات ۵۳ درجه و ۴۴ دقیقه شرقی و ۱۴ درجه و ۱۲ دقیقه شمالی است. حجم مخزن در شرایط نرمال ۱۲۴٫۸ میلیون مترمکعب است و قادر به تامین نیازهای آبی کشاورزی و محیط زیستی در منطقه است. میانگین دبی در ساختگاه سد برابر ۹٫۸۵ مترمکعب بر ثانیه است. مساحت حوضه آبخیز رودخانه تا مکان سد ۳۸۴٫۴ و تا ایستگاه هیدرومتری قلات شهر یاسوج ۵۸۹ کیلومترمربع است. در این پژوهش، محدوده مورد مطالعه از ایستگاه هیدرومتری قلات تا پاتاوه می باشد.



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه (حوضه آبخیز بشار و حوضه آبریز سد مخزنی تنگ سرخ)

در این پژوهش از داده‌های ۱۲ ایستگاه‌های هواشناسی و دو ایستگاه هیدرومتری قلات و پاتاوه از سال ۱۳۶۰ تا ۱۴۰۲ استفاده شده است. موقعیت این ایستگاه‌ها و محل احداث سد تنگ سرخ در شکل (۲) نشان داده شده است.

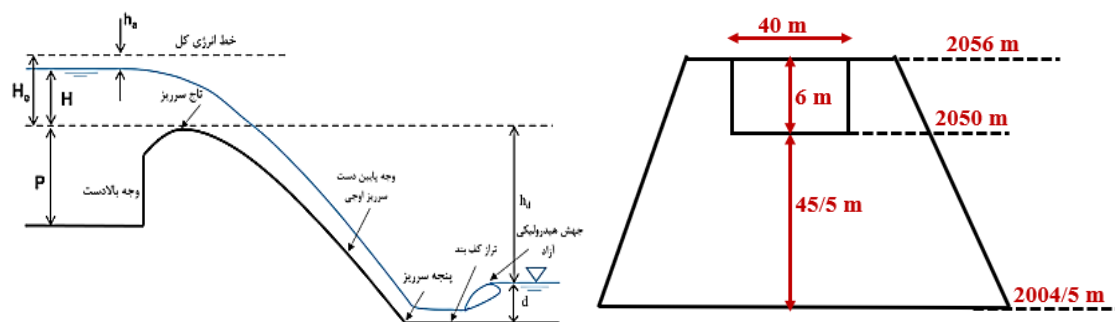


شکل ۲. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری حوضه

۲.۲. مشخصات فنی سد مخزنی تنگ سرخ

براساس اطلاعات دریافتی از دفتر مطالعات پایه منابع آب و معاونت طرح و توسعه شرکت آب منطقه‌ای استان کهگیلویه و بویراحمد، مشخصات فنی و اطلاعات اساسی مربوط به سد و بدنه آن، به همراه جزئیات سیستم سرریز، سازه پایانه سرریز، سیستم انحراف موقت، سیستم تخلیه تحتانی و سیستم آبریز رودخانه بشار در ساختگاه رودخانه بشار برابر ۳۹۸/۵۰ کیلومترمربع، آورد متوسط کوتاه‌مدت رودخانه در محل سد برابر ۲۱۸/۴۰ میلیون مترمکعب، نوع سد خاکی با هسته رسی، ارتفاع سد از بستر رودخانه ۵۱/۵۰ متر، ارتفاع سد از پی ۶۶/۵۰ متر، عرض تاج سد برابر ۱۰ متر، طول تاج سد ۹۱۷ متر، رقوم تاج سد ۲۰۵۶ متر ارتفاع از سطح دریا و رقوم نرمال بهره‌برداری در تراز ۲۰۵۰ متر ارتفاع از سطح دریا قرار دارد. حجم مخزن در رقوم نرمال بهره‌برداری ۱۲۴/۸۰ میلیون مترمکعب، حجم رسوبات ۵۰ ساله ۱۵/۵۰ میلیون مترمکعب، سطح دریاچه در رقوم نرمال ۶۹۶ هکتار و حجم تنظیم سالیانه سد برابر ۱۵۰/۱۰ میلیون مترمکعب می‌باشد.

سرریز سد تنگ سرخ از نوع سرریز اوجی آزاد که موقعیت آن در تکیه‌گاه چپ بدنه سد قرار دارد. تراز تاج سرریز اوجی ۲۰۵۰ متر ارتفاع از سطح دریا، تراز کف کانال ورودی برابر ۲۰۴۶ متر ارتفاع از سطح دریا، عرض متوسط کف کانال ورودی سرریز برابر ۵۷ متر و طول سرریز اوجی برابر ۴۰ متر است.



شکل ۳. اطلاعات سرریز سد تنگ سرخ

۳.۲. مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS

مدل ریاضی HEC-HMS، برای شبیه سازی پاسخ رواناب سطحی حوضه نسبت به بارندگی های خاص طراحی شده است. این مدل، حوضه آبریز را به عنوان یک سیستم پیوسته با مؤلفه های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی نشان می دهد و با تخمین هیدروگراف رواناب زیرحوضه ها و شبیه سازی کانال ها، خروجی حوضه را محاسبه می کند. در این مدل، هر مؤلفه یک فرایند بارش-رواناب را در یک بخش از حوضه که معمولاً به عنوان زیرحوضه در نظر گرفته می شود، شبیه سازی می کند. به عبارت دیگر، هر مؤلفه قسمتی از عوامل تبدیل بارش به رواناب در حوضه را شبیه سازی می کند، مؤلفه های مختلف برای شبیه سازی سیستم فیزیکی حوضه ترکیب می شوند و در نهایت هیدروگراف سیل نهایی محاسبه می شود (Beighley & Moglen, 2003).

در این پژوهش برای به دست آوردن دبی اوج و حجم سیلاب حوضه با دوره بازگشت های مختلف (دو تا ۱۰۰ ساله) برای مدل سازی بدون وجود مخزن سد از نرم افزار HEC-HMS (نسخه ۴٫۹) استفاده شد.

۴.۲. مدل هیدرولیکی HecRas-2D

HEC-RAS، یک نرم افزار مهندسی است که برای مدل سازی و تحلیل هیدرولوژیک و هیدرودینامیک جریان آب در رودخانه ها و سیستم های آبی استفاده می شود. برای مدل سازی سدهای تأخیری در نرم افزار HEC-HMS، ضروری است که رابطه بین حجم ذخیره و ارتفاع مخزن مورد بررسی قرار گیرد. منحنی حجم-ارتفاع (Storage-Elevation Curve) بیانگر تغییرات حجم ذخیره شده نسبت به ارتفاع مخزن است و در فرایند مدل سازی سدها اهمیت زیادی دارد. استخراج منحنی تراز-حجم مخزن با استفاده مدل HEC-RAS انجام می گیرد.

۵.۲. توابع خطا^{۱۲} در مدل HEC-HMS

در مدل HEC-HMS، توابع هدف برای تعیین پارامترهای مدل مورد استفاده قرار می گیرند. این توابع، اختلاف بین هیدروگراف محاسباتی و مشاهداتی را مشخص می کنند و برای اندازه گیری بهترین تطابق بین هیدروگراف های مشاهداتی و محاسباتی در دسترس استفاده می شوند.

در مدل HEC-HMS توابع هدف مختلفی از جمله تابع انحراف معیار وزنی دبی اوج^{۱۳}، تابع مجموع مربع باقیمانده ها^{۱۴}، تابع مجموع قدرمطلق باقیمانده ها^{۱۵}، تابع درصد خطای دبی اوج^{۱۶} و تابع درصد خطای حجمی^{۱۷} وجود دارد. همچنین برای مقایسه هیدروگراف های مشاهداتی و شبیه سازی شده در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی، می توان از شاخص های

آماري ضريب نش- ساتکليف (NS)^{۱۸} و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)^{۱۹} که به ترتیب در روابط (۱) و (۲) آورده شده است، استفاده نمود (Ahmadpour et al., 2019):

$$NS = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \right) \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در روابط فوق، O_i دبی مشاهداتی، $\bar{O}$ میانگین دبی مشاهداتی، S_i دبی محاسباتی و n تعداد مشاهدات می باشد.

۲.۶.۲. مدل سازی هیدرولوژیکی مدل مخزن صفر (بدون وجود مخزن)

در این مرحله، ابتدا داده های مورد نیاز برای مدل سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز آماده شدند و سپس به مدل HEC-HMS و ارد شدند. مراحل زیر جهت آماده سازی داده ها طی شد.

۲.۶.۲.۱. ایجاد مدل هواشناسی در مدل HEC-HMS

برای محاسبه بارش به ازای دوره بازگشت های مختلف برای هر ایستگاه، ابتدا تصادفی بودن داده های حداکثر بارش ۲۴ ساعته توسط نرم افزار SPSS با آزمون ران تست مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که داده های همه ایستگاه ها دارای سطح معناداری بیش تر از ۰/۰۵ بودند که این نتایج، نشان از تصادفی بودن داده ها را می دهد. سپس براساس توزیع آماری موجود نظیر توابع ویبول سه پارامتری، نرمال، لوگ نرمال سه پارامتری، لوگ پیرسون ۳، لوگ گاما، مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV) و گامای سه پارامتری) بهترین تابع توزیع برازش یافته برای داده ها در نرم افزار EasyFit انتخاب شدند.

۲.۶.۲.۲. ترسیم خودکار مرز حوضه و زیر حوضه ها

یکی از قابلیت هایی که در نسخه ۴٫۶ و بالاتر از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS، منوی GIS به سربرگ این نرم افزار افزوده شده است که باعث شده است که برای ترسیم پیکره بندی مرز حوضه نیازی به الحاقیه هایی مانند HEC-GEOHMS نباشد. مدل حوضه، یکی از مؤلفه های پایه ای در مدل HEC-HMS محسوب می شود. با ایجاد یک نمای کلی از ساختار حوضه آبریز، مراحل شبیه سازی توسط این مدل صورت می گیرد (شکل ۳-ب).

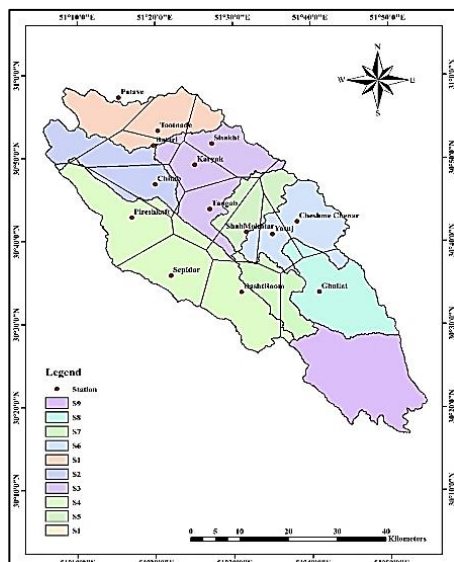
در این پژوهش، مرز حوضه مورد مطالعه با استفاده از نقشه رقومی ارتفاع با ابعاد پیکسل ۱۲/۵ متری و منوی GIS مربوط به مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS نسخه ۴٫۹ تعیین شد. سپس، با انتخاب نقاط شکست در محل قرارگیری سد تنگ سرخ و خروجی حوضه (ایستگاه هیدرومتری پاتاوه)، حوضه مورد مطالعه به نه زیر حوضه تقسیم گردید. در ادامه، با ابزارهای محاسباتی موجود در نرم افزار، خصوصیات فیزیوگرافی هر زیر حوضه و آبراهه استخراج شد.

پارامترهای زمان تمرکز و زمان تأخیر برای زیر حوضه ها پس از بستن اتوماتیک مرز حوضه و تقسیم بندی حوضه به نه زیر حوضه مختلف، در نرم افزار HEC-HMS محاسبه شد. هم چنین پارامتر شماره منحنی (CN) و تلفات اولیه (Ia) حوضه آبریز با استفاده از داده های به دست آمده از مطالعه Kazemi (۲۰۲۱) استفاده شده است.

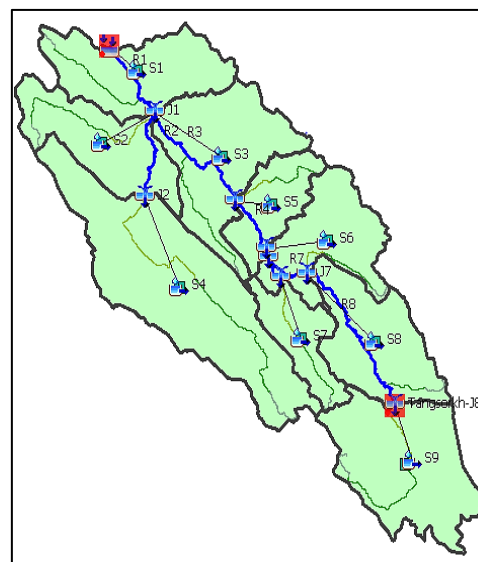
۲.۶.۲.۳. محاسبه دبی اوج و حجم سیلاب به ازای دوره بازگشت های مختلف

برای محاسبه دبی اوج و حجم سیلاب به ازای دوره بازگشت های مختلف برای مقاطع مختلف حوضه، ابتدا با استفاده از نرم افزار ArcGIS، وزن هر ایستگاه با استفاده از روش چندضلعی تیسن محاسبه شد (شکل ۴-ب). سپس در مدل HEC-

HMS، از بارش طرح SCS تیپ IA، جهت توزیع الگوی زمانی بارش استفاده شد. با اعمال این روش ها، دبی اوج و حجم سیلاب حوضه به ازای دوره بازگشت های دو تا ۱۰۰۰ سال برای مقاطع مختلف (محل اتصال ها، آبراهه ها و زیرحوضه ها) محاسبه گردید. جهت تبدیل بارش مازاد به رواناب از روش های هیدروگراف واحد کلارک و SCS استفاده شد.



ب) چندضلعی تیسن



الف) مدل حوضه در نرم افزار Hec-Hms

شکل ۴. شماتیکی از مدل حوضه رودخانه بشار و وزن دهی ایستگاه ها به روش تیسن

۲.۶.۴. آنالیز حساسیت^{۲۰} روی پارامترهای مدل در HEC-HMS

برای ارزیابی تأثیر هر یک از پارامترها، از روش تحلیل حساسیت استفاده شد. این روش کمک می کند تا مشخص شود کدام پارامترها تأثیر بیشتری بر نتایج مدل دارند. پارامترهای مدل براساس میزان مشارکت آن ها در خروجی های نهایی رتبه بندی می شوند. تحلیل حساسیت می تواند به دو صورت مقیاس محلی یا کلی انجام شود. در تحلیل مقیاس محلی، تأثیر هر پارامتر به طور مجزا و با ثابت نگه داشتن سایر پارامترها محاسبه می گردد. در تحلیل مقیاس کلی، تمامی پارامترها به طور هم زمان و با استفاده از روش های احتمالاتی و انتخاب تصادفی مورد بررسی قرار می گیرند (Cunderlik & Simonovic, 2004). در حال حاضر، تحلیل حساسیت به عنوان یکی از ابزارهای مهم در مطالعات مرتبط با سیلاب مورد استفاده قرار می گیرد. به کارگیری این روش برای تحلیل های کوتاه مدت و بلندمدت، رویکردی منطقی است که می تواند در بهبود دقت پیش بینی ها نقش مؤثری ایفا کند (Perrin et al., 2007).

در این پژوهش، برای انجام تحلیل حساسیت، از میان پارامترهای مختلف به ترتیب، متغیرهای شماره منحنی (CN)، تلفات اولیه (Ia)، ضرایب روندیابی K و X روش ماسکینگام انتخاب شدند. برای ارزیابی این پارامترها، از نتایج مختلف مدل HEC-HMS، دبی اوج و حجم سیلاب که به عنوان پارامترهای مؤثر در برآورد سیلاب شناخته می شوند، به منظور بررسی انتخاب شدند.

۲.۶.۵. واسنجی^{۲۱} و صحت سنجی^{۲۲} مدل HEC-HMS

پارامترهای مدل با استفاده از توزیع زمانی بارش شش ساعته ایستگاه یاسوج و براساس سه رویداد سیلاب تاریخی منطقه

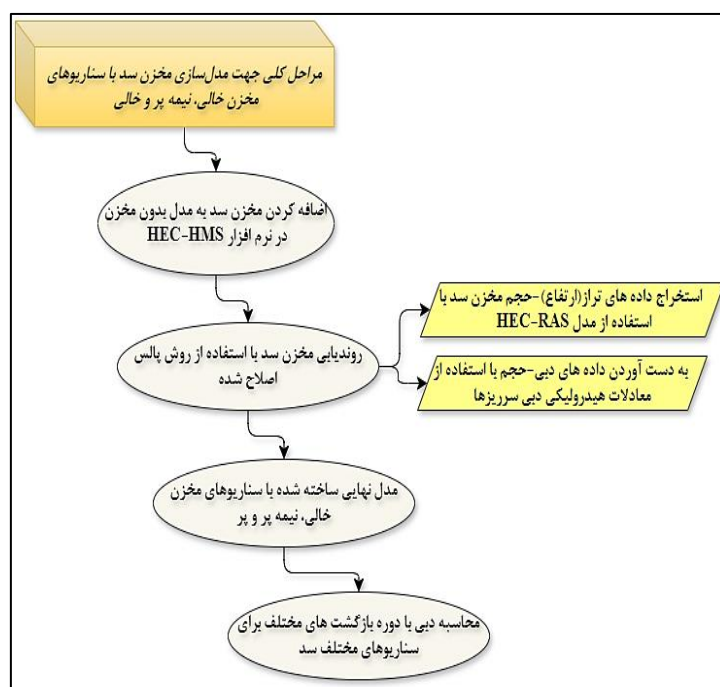
واسنجی شدند و سپس، بدون تغییر پارامترها، مدل با یک رویداد دیگر صحت‌سنجی شد. به‌منظور ارزیابی دقت مدل HEC-HMS در برآورد هیدروگراف سیلاب، مقادیر ضرایب خطا موردبررسی قرار گرفتند.

روش واسنجی، شامل انتخاب مقادیر اولیه براساس اجرای مدل، ویژگی‌های حوضه و مقایسه دبی محاسباتی با دبی مشاهداتی است که از طریق روش‌های عددی و گرافیکی صورت می‌گیرد. در روش گرافیکی، الگوی گرافیکی برای تشخیص و نمایش در هیدروگراف مشاهداتی و محاسباتی از روی شکل به‌کار گرفته می‌شود. پارامترهای مناسب به‌منظور بهینه‌سازی برازش بین نتایج محاسباتی و مشاهداتی، تغییر می‌کنند (Johnson, 2001). در این پژوهش به‌منظور حداقل‌سازی تابع خطای مدل (NS، PBias و RMSE)، طی تکرارهای مختلف و با توجه به پارامترهای مؤثر (براساس تحلیل حساسیت انجام‌شده)، مقادیر بهینه پارامترهای واسنجی شامل CN، Ia و ضرایب K، X در روندیابی رودخانه به روش ماسکینگام به‌دست آمد. در مرحله واسنجی از اطلاعات هیدروگراف سیلاب سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۸ استفاده شد.

در مرحله صحت‌سنجی با استفاده از داده‌های جدید رویداد سیلاب سال ۱۳۹۴، اعتبارسنجی انجام شد که تطابق مناسب دبی محاسباتی با دبی مشاهداتی با توجه به معیارهای خطا، نشان‌دهنده معتبربودن مدل کالیبره شده است.

۷.۲. مدل‌سازی هیدرولوژیکی سد تنگ‌سرخ

بعد از اجرای مدل در شرایط مخزن صفر (بدون وجود سد) در نرم‌افزار HEC-HMS و انجام فرایند واسنجی و اعتبارسنجی و همچنین تعیین دبی اوج و حجم سیلاب ورودی به ساختگاه سد با دوره بازگشت‌های مختلف، در مرحله بعد، با افزودن مخزن سد به مدل، مدل‌سازی مخزن سد با سناریوهای مختلف (مخزن نیمه‌پر و پر) انجام می‌گیرد. مراحل مدل‌سازی مخزن سد برای محاسبه دبی اوج و حجم سیلاب در مدل HEC-HMS در شکل (۵) ارائه شده است.

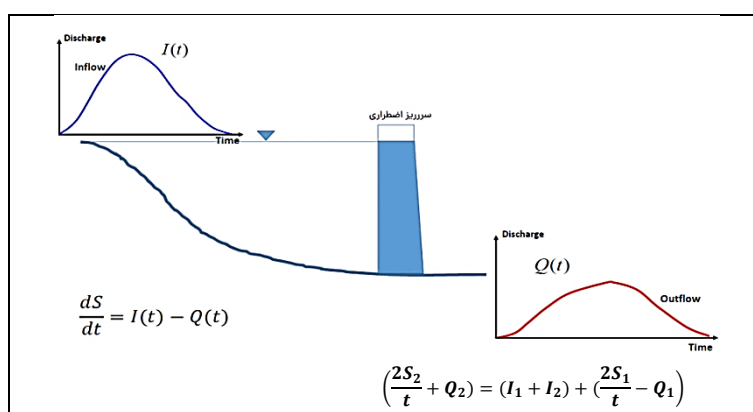


شکل ۵. محاسبه مدل‌سازی مخزن سد در مدل HEC-HMS

۲.۷.۱. روندیابی مخزن با استفاده از روندیابی هیدرولوژیکی

برای انجام مدل سازی مخزن، روندیابی مخزن سد در نرم افزار Hec-Hms با استفاده از روش پالس اصلاح شده که بر پایه روندیابی هیدرولوژیکی (متمرکز) است، انجام می گیرد (شکل ۶). برای روندیابی مخزن سد دو نوع داده به صورت زیر فراهم می شود:

- استخراج منحنی ارتفاع- حجم مخزن با استفاده از مدل HEC-RAS دوبعدی
- تهیه منحنی دبی سرریز- حجم مخزن با استفاده از معادلات هیدرولیکی سرریزها



شکل ۶. روندیابی مخزن سد به روش مخزن خطی در مدل HEC-HMS

۲.۷.۲. استخراج منحنی حجم-ارتفاع مخزن با استفاده از مدل HEC-RAS

منحنی حجم- ارتفاع (Storage-Elevation Curve) بیانگر تغییرات حجم ذخیره شده نسبت به ارتفاع مخزن است و در فرایند طراحی از این منحنی در موارد زیر استفاده می شود:

- استفاده در فرایند روندیابی سیلاب در مخزن سد با استفاده از روش پالس اصلاح شده
- محاسبه عمر مفید مخزن و برآورد حجم مرده سد
- بررسی تغییرات حجم آب در مخزن در ارتفاع های مختلف
- محاسبه حجم مخزن در ترازهای نرمال، سرریز و تاج سد

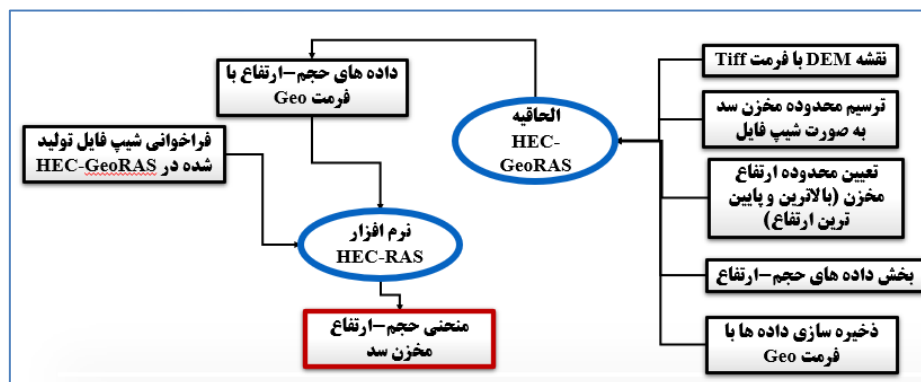
در این پژوهش، ابتدا محدوده دریاچه سد با استفاده از نقشه مدل ارتفاع رقومی حوضه در الحاقیه HEC-GeoRAS مشخص شد. سپس، منحنی های تراز- حجم سدهای مورد مطالعه با استفاده از مدل دوبعدی HEC-RAS محاسبه گردید و با مشخصات فنی سد مخزنی تنگ سرخ تطابق داده شد. مراحل کار در شکل (۷) ارائه شده است. شکل (۸) منحنی حجم-ارتفاع استخراج شده را نشان می دهد.

۲.۷.۳. استخراج منحنی حجم مخزن-دبی خروجی سرریز

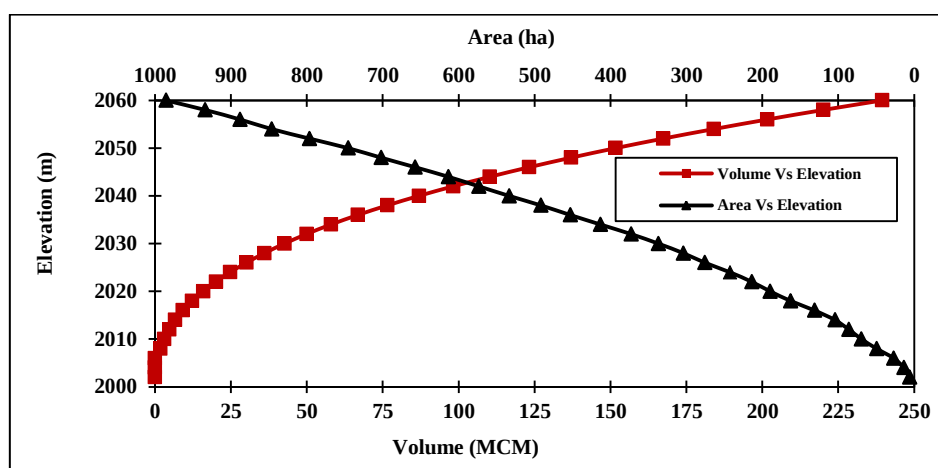
بدین منظور ابتدا لازم است با استفاده از معادلات هیدرولیکی سرریزها ارتباط بین دبی خروجی سد با ترازهای مختلف آب روی سرریزهای سد به دست آید. با توجه به مشخصات سد تنگ سرخ، سرریز سد تنگ سرخ از نوع سرریز اوجی آزاد است که معادله آن به شکل (۹) می باشد (Safavi, 2011):

$$Q = CLH^{3/2} \quad \text{رابطه (۵)}$$

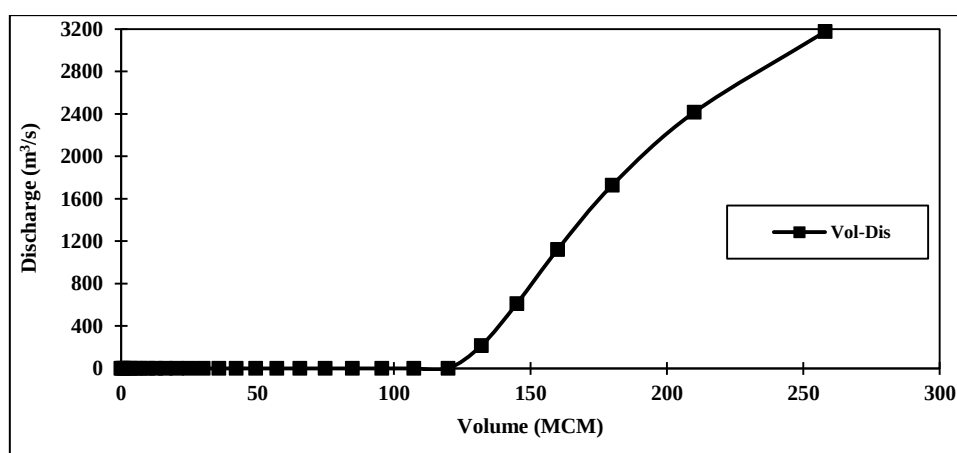
در رابطه فوق، Q دبی خروجی سرریز برحسب (m^3/s) ، L طول تاج سرریز برحسب (m) و C ضریب سرریز که در مورد سرریز این مخازن $1/91$ در نظر گرفته شده است (Hosseini & Abrishami, 1999; Madani, 1996).



شکل ۷. فرایند استخراج داده های حجم-ارتفاع در الحاقیه HEC-GeoRAS و HEC-RAS



شکل ۸. منحنی حجم-ارتفاع و ارتفاع-مساحت مخزن سد تنگ سرخ به دست آمده مدل HEC-RAS



شکل ۹. منحنی حجم-دبی سرریز مخزن سد تنگ سرخ

۳. یافته‌های پژوهش

۳.۱. نتایج مدل‌سازی هیدرولوژیکی مدل مخزن صفر

به‌منظور برآورد حجم سیلاب و دبی اوج در محل خروجی حوضه، جهت تبدیل بارش مازاد به رواناب از روش‌های هیدروگراف واحد کلارک و SCS استفاده شد. نتایج نشان داد که روش کلارک حجم سیلاب و دبی اوج را بیش‌تر از روش SCS برآورد می‌کند. نتایج این مقایسه در جدول‌های (۱) و (۲) نشان شده است. مقایسه هیدروگراف‌های سیلاب محاسباتی و مشاهداتی با روش کلارک در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی در شکل‌های (۱۰) و (۱۱) ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود روش کلارک حجم سیلاب و دبی اوج را بیش‌تر از روش SCS برآورد می‌کند. با توجه به برآورد بهتر دبی اوج و حجم سیلاب، از روش هیدروگراف واحد کلارک انتخاب شد.

جدول ۱. مقایسه دبی اوج محاسباتی از روش‌های هیدروگراف واحد کلارک و SCS با مقادیر مشاهداتی

مرحله	تاریخ رویداد سیلاب	دبی اوج (مترمکعب در ثانیه)		خطای نسبی دبی اوج (درصد)	
		مشاهداتی	روش SCS	روش SCS	روش کلارک
واسنجی	۲۰ فروردین‌ماه ۱۳۸۸	۴۰۲	۳۷۷	۳۹۳/۳	۶/۲۲
	۱۳ بهمن‌ماه ۱۳۹۰	۹۱۲	۸۸۳/۶	۸۶۴/۶	۳/۱۱
	۳ فروردین‌ماه ۱۳۹۸	۱۱۷۴	۱۰۳۳/۹	۱۱۷۳/۹	۱۱/۹۳
اعتبارسنجی	۱۱ دی‌ماه ۱۳۹۴	۵۰۹	۴۸۲/۶	۵۲۹/۸	۵/۱۹

جدول ۲. مقایسه حجم سیلاب محاسباتی از روش‌های هیدروگراف واحد کلارک و SCS با مقادیر مشاهداتی

مرحله	تاریخ رویداد سیلاب	حجم سیلاب (میلیون مترمکعب)		خطای نسبی حجم سیلاب (درصد)	
		مشاهداتی	روش SCS	روش کلارک	روش SCS
واسنجی	۲۰ فروردین‌ماه ۱۳۸۸	۳۸/۸۷	۳۹/۲۴	۴۱/۲۰	۱/۶۴
	۱۳ بهمن‌ماه ۱۳۹۰	۹۳/۶۴	۹۵/۶۹	۹۶/۸۵	۲/۳۹
	۳ فروردین‌ماه ۱۳۹۸	۱۸۴/۰۱	۱۷۲/۵۰	۱۷۹/۲۷	۶/۲۵
اعتبارسنجی	۱۱ دی‌ماه ۱۳۹۴	۷۵/۵۳	۵۵/۶۴	۵۸۲/۰۴	۳/۵۱

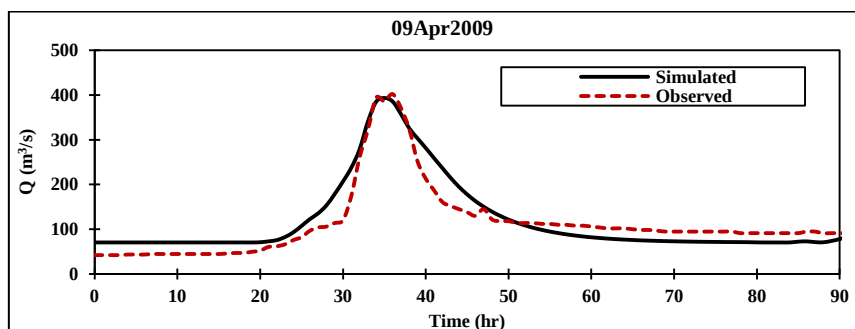
۳.۲. نتایج مدل‌سازی سد مخزنی تنگ‌سرخ

۳.۲.۱. نتایج روندیابی مخزن

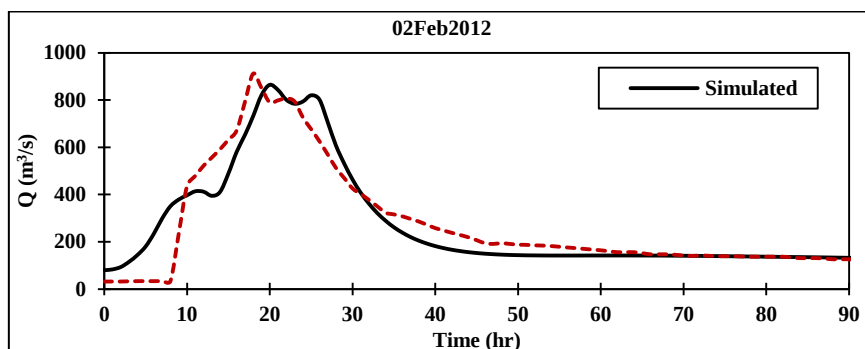
پس از واردکردن داده‌های مربوط به روندیابی جریان مخزن سد، عملیات روندیابی جریان برای سناریوی مخزن پر و با دوره بازگشت‌های دو تا ۱۰۰ ساله انجام شد. نتایج حاصل از روندیابی مخزن در شکل (۱۲) نشان داده شده است. همچنین، تغییرات ارتفاع و حجم مخزن در طول زمان برای هر یک دوره بازگشت‌ها در شکل‌های نشان داده شده است.

۳.۲.۲. بررسی تأثیر سد مخزنی تنگ‌سرخ بر کاهش سیلاب شهر یاسوج

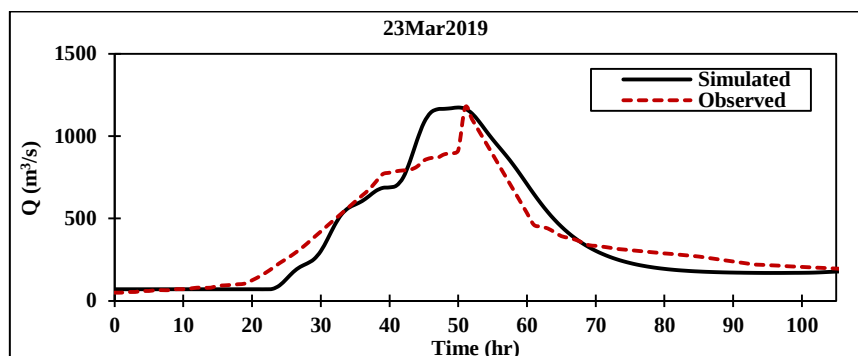
در این بخش، تأثیر سد تنگ‌سرخ بر سیلاب شهر یاسوج مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج مدل‌سازی با سناریوهای مختلف شامل مخزن نیمه‌پر و پر با وضعیت بدون مخزن مقایسه شده است. برای این منظور، پس از انجام روندیابی مخزن در مدل HEC-HMS برای هر یک از این سناریوها، خروجی‌های مدل‌سازی شامل هیدروگراف سیلاب با سناریوی مخزن پر، دبی اوج و حجم سیلاب در نقطه خروجی حوضه با حالت بدون مخزن مقایسه شده تا تأثیر هر یک از سناریوها مشخص گردد. نتایج این مقایسه در شکل‌های (۱۳) تا (۱۵) ارائه شده است. همچنین مقادیر اختلاف دبی اوج و حجم سیلاب قبل و بعد از احداث سازه با سناریوی مخزن پر در جدول (۴) نشان داده شده است.



(۲۰ فروردین ماه ۱۳۸۸)

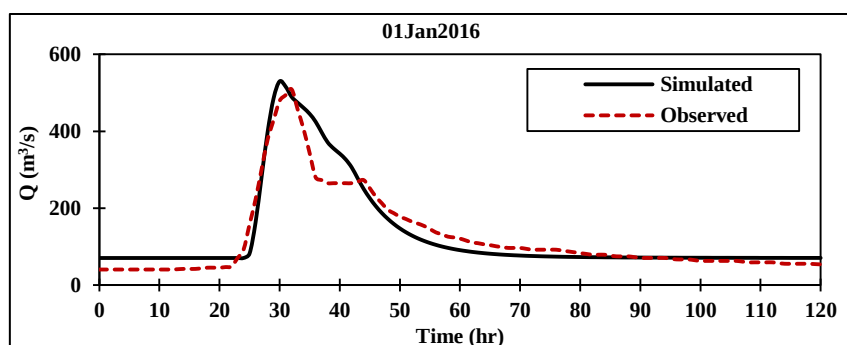


(۱۳ بهمن ماه ۱۳۹۰)



(۳ فروردین ماه ۱۳۹۸)

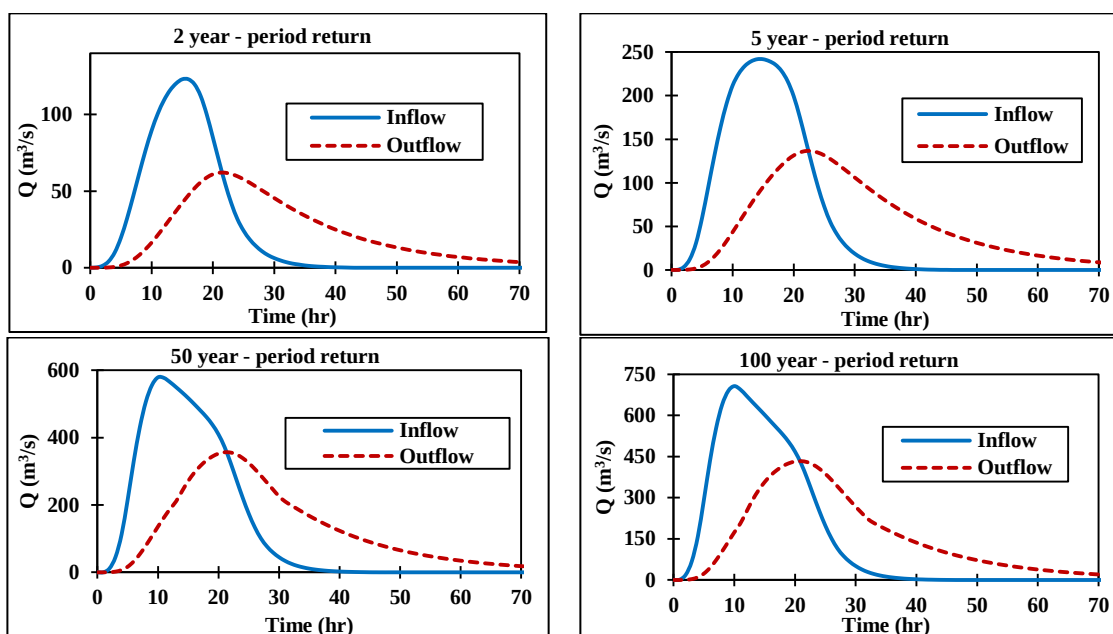
شکل ۱۰. نمودار هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در خروجی حوضه در مرحله واسنجی



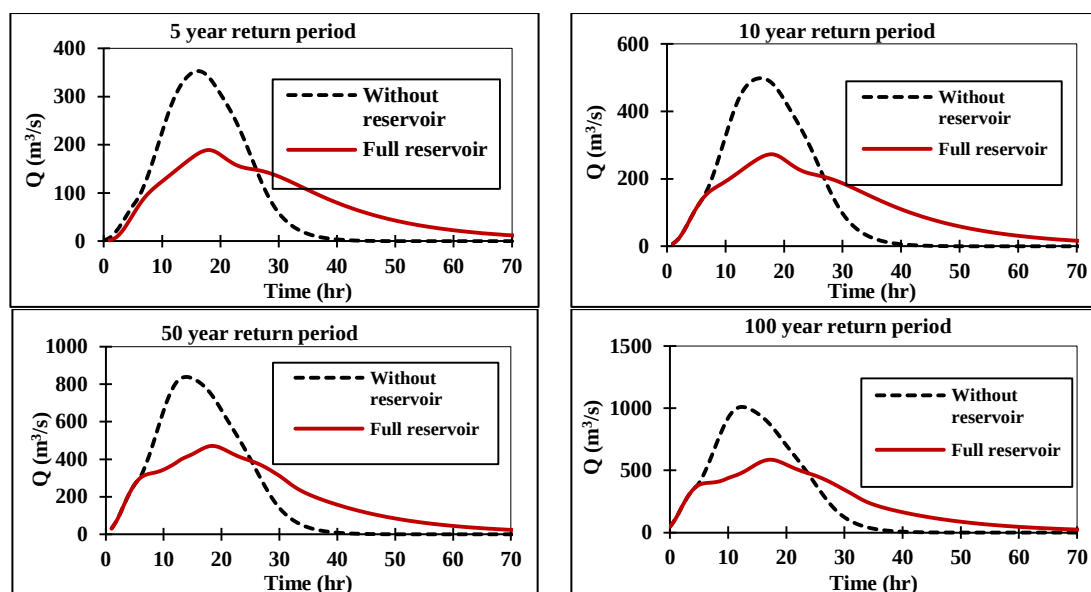
شکل ۱۱. نمودار هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در خروجی حوضه پس از مرحله اعتبارسنجی (۱۱ دی ماه ۱۳۹۴)

جدول ۳. نتایج میزان خطای شبیه سازی سیلاب پس از مراحل واسنجی و اعتبارسنجی در مدل HEC-HMS

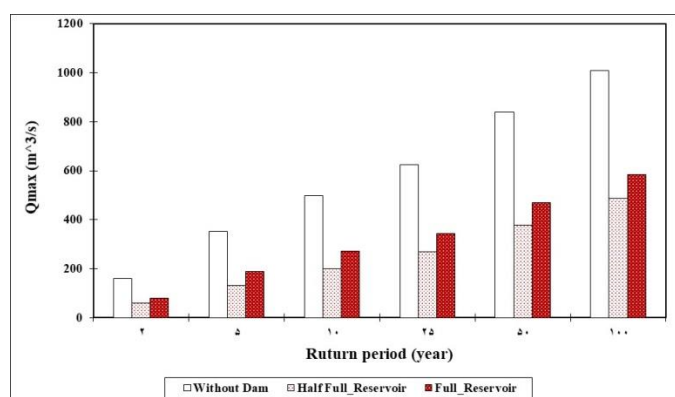
مرحله	تاریخ رویداد سیلاب	ریشه میانگین مربعات خطا ^{۲۳} (RMSE)	درصد خطای دبی اوج	درصد خطای حجم سیلاب	درصد بایاس ^{۲۴} (PBias) (درصد)	ضریب نش-ساتکیف ^{۲۵} (NS)
واسنجی	۲۰ فروردین ۱۳۸۱	۰/۴	-۲/۱۶	۶/۲۵	۶/۴۴	۰/۸۵۷
	۱۳ بهمن ماه ۱۳۹۰	۰/۴	-۵/۲۰	۳/۶۲	-۱/۱۸	۰/۸۷
	۳ فروردین ماه ۱۳۹۸	۰/۳	-۰/۰۱	-۲/۵۷	-۲/۶۷	۰/۸۹۶
	میانگین خطا	۰/۳۷	۲/۴۵۷	۲/۴۳۳	۰/۸۶۳	۰/۸۷۴
اعتبارسنجی	۱۱ دی ماه ۱۳۹۴	۰/۳	۴/۰۹	۸/۲۹	۵/۱۲	۰/۸۹۷



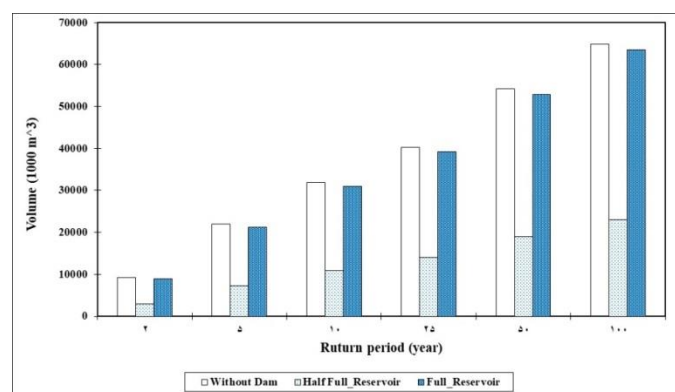
شکل ۱۲. روندیابی مخزن تنگ سرخ (دوره بازگشت ۱۰۰ ساله)



شکل ۱۳. مقایسه هیدروگراف سیلاب ورودی به شهر یاسوج با دوره بازگشت های مختلف



شکل ۱۴. مقایسه دبی اوج در محل شهر یاسوج با سناریوهای مختلف پس از احداث سد تنگ سرخ



شکل ۱۵. مقایسه حجم سیلاب در محل شهر یاسوج با سناریوهای مختلف پس از احداث سد تنگ سرخ

جدول ۴. اثر احداث سد تنگ سرخ با سناریوی مخزن پر بر حجم سیلاب و دبی اوج شهر یاسوج با دوره بازگشت‌های مختلف

دوره بازگشت (سال)	قبل از احداث سازه		بعد از احداث سازه		اختلاف (درصد)	
	حجم سیل (هزار مترمکعب)	دبی حداکثر (مترمکعب در ثانیه)	حجم سیل (هزار مترمکعب)	دبی حداکثر (مترمکعب در ثانیه)	حجم سیل	دبی حداکثر
۲	۹.۱۹	۱۶۱.۳	۸.۹	۸۰.۱	۳.۱۶	۵۰.۳۴
۵	۲۱.۹	۷۰۸.۷	۲۱.۲۸	۱۸۹.۲	۲.۸۳	۴۶.۳۹
۱۰	۳۱.۸۸	۸۳۵.۱	۳۱.۰۲	۲۷۲.۸	۲.۷۰	۴۵.۲۶
۲۵	۴۰.۲۹	۱۳۱۶.۱	۳۹.۲۵	۳۴۳.۱	۲.۵۸	۴۴.۹۶
۵۰	۵۴.۱۶	۱۵۸۹.۶	۵۲.۹	۴۷۰.۲	۲.۳۳	۴۳.۹۴
۱۰۰	۶۴.۹۳	۱۸۷۰.۱	۶۳.۵۱	۵۸۵.۲	۲.۱۹	۴۱.۹۴

۴. نتیجه‌گیری

خسارت‌های ناشی از سیلاب‌ها، از جمله آسیب‌های اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی و ... همواره یکی از موضوع‌های مهم در طراحی سازه‌های مهار سیلاب و مدیریت منابع آب مورد توجه قرار می‌گیرد. با کاهش دبی اوج سیلاب و انجام مدیریت مناسب جریان آب در حوضه آبریز، می‌توان خسارت‌های ناشی از سیلاب‌ها را به‌طور قابل توجهی کاهش داد. سدهای مخزنی یکی از سازه‌های مدیریت آب و کنترل سیلاب، نقش اساسی در کاهش خسارت‌های ناشی از سیلاب‌ها را برعهده دارند، زیرا با ذخیره‌سازی آب در دوره‌های پربارش و تخلیه منظم آب در دوره‌های خشکی، توانایی کنترل سیلاب‌ها را

دارند. سد مخزنی-تنظیمی تنگ سرخ که به عنوان یکی از پروژه های شاخص عمرانی در مرز استان های فارس و کهگیلویه و بویراحمد در دست احداث می باشد، علاوه بر نقش حیاتی در تأمین آب شرب کلان شهر شیراز و شهر یاسوج، به منظور مهار و کنترل سیلاب های دوره ای نیز طراحی شده است.

در این مطالعه، اثرات احداث این سد بر کاهش دبی پیک و حجم سیلاب در ورودی شهر یاسوج مرکز استان کهگیلویه و بویراحمد، با به کارگیری مدل های هیدرولوژیکی HEC-HMS 4.9 و مدل هیدرولیکی HEC-RAS 2D مورد ارزیابی قرار گرفت. در مرحله اول، مدل سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز بشار بدون وجود مخزن سد تنگ سرخ انجام شد و براساس سیلاب های تاریخی موجود مدل کالیبره گردید. فرایند واسنجی مدل شبیه سازی بارش رواناب HEC-HMS 4.9 با استفاده از سه رویداد سیلابی مربوط فروردین ماه ۱۳۸۸، بهمن ماه ۱۳۹۰ و فروردین ماه ۱۳۹۸ و با اعمال توزیع زمانی بارش شش ساعته ایستگاه یاسوج انجام شد. در ادامه، صحت سنجی مدل با رویداد سیلابی دی ماه ۱۳۹۴ صورت پذیرفت. مقادیر میانگین شاخص های آماری (NS) و (RMSE) در مرحله واسنجی به ترتیب ۰/۸۷ و ۰/۳۷ و در مرحله اعتبار سنجی ۰/۹۰ و ۰/۳۰ به دست آمد. در مرحله دوم، با افزودن مخزن سد تنگ سرخ به مدل واسنجی شده، اثر این سد بر کاهش سیلاب ورودی به شهر یاسوج مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از افزونه HEC-GeoRAS و نرم افزار HEC-RAS، منحنی مشخصه حجم-ارتفاع مخزن سد تهیه و براساس نوع سرریز تعبیه شده، فرایند روندیابی مخزن انجام شد. در نهایت مدل سازی عملکرد سد برای دوره های بازگشت دو تا ۱۰۰ سال، در دو سناریوی مختلف شامل مخزن نیمه پر و پراچرا گردید. نتایج نشان داد که این سد برای دوره های بازگشت دو تا ۱۰۰ سال و در دو سناریوی مخزن نیمه پر و پر می تواند دبی اوج سیلاب را به ترتیب در حدود ۵۱/۸۳ تا ۶۳/۸۶ درصد و ۴۱/۹۴ تا ۵۰/۳۴ درصد و همچنین حجم سیلاب را نیز به ترتیب ۶۴/۶۱ تا ۶۸/۶۰ درصد و ۲/۱۸ تا ۳/۱۹ درصد نسبت به شرایط بدون مخزن کاهش دهد که نشان از کارایی قابل توجه سد به ویژه در شرایط مخزن نیمه پر دارد.

۵. پی نوشت ها

1. Cimanuk watershed
2. Jatigede Reservoir
3. West Java
4. Sidi Mohammed Ben Abdellah
5. Tuyen Quang reservoir
6. Trial Optimal
7. Tugu Reservoir
8. Weather Research and Forecasting Model
9. Ta Trach Reservoir
10. Panchet and Maithan Reservoirs
11. Modified Puls
12. Error Functions
13. Peak-Weighted RMSE
14. Sum of Squared Residuals
15. Sum of Absolute Residuals
16. Percent Error in Peak Flow
17. Percent Error in Volume
18. Nash-Sutcliffe Model Efficiency Coefficient
19. Root Mean Square Error Normalized by Standard Deviation of Observations
20. Sensitivity Analysis
21. Calibration
22. Validation
23. Root Mean Square Error Normalized by Standard Deviation of Observations
24. Percent Bias
25. Nash-Sutcliffe Model Efficiency Coefficient

۶. تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. مراجع

- Dasgupta, M., & Das, S. (2024). Extreme Flood Flow Routing for Panchet and Maithan Reservoirs of India Using Modified Puls Technique. *In Water*, 16(5).
- Hamdan, A. N. A., Almuktar, S., & Scholz, M. (2021). Rainfall-runoff modeling using the HEC-HMS model for the Al-Adhaim river catchment, northern Iraq. *Hydrology*, 8(2), 58.
- Hamidi, M. S., & Chabok, J. (2016). The Role of Local Participation in Flood Risks Management in Rural Areas Case study: Villages in the Bashar River Basin in Boyer Ahmad City. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 2(4), 77-94. <https://doi.org/10.18869/acadpub.jsaeh.2.4.77> (In Persian)
- Hamidon, N., Hong, C. J., Awang, M., Rahman, M. A. A., Ahmad, F., Musa, K., Yusof, F. M., Adnan, S. H., & Mustafa, M. S. S. (2020). Future Flood Forecasting in Bukit Merah Using HEC-HMS Software. *Third International Conference on Separation Technology 2020 (ICoST 2020)*, 183-189.
- Kazemi, T., Fazeli, M., & Farzin, M. (2022). Evaluation and Analysis of Peak Discharge with Different Return Periods for Beshar River Using HEC-HMS Model. *Iran-Water Resources Research*, 17(4), 50-69.
- Laassilia, O., Saghiri, S., Ouazar, D., Bouziane, A., & Hasnaoui, M. D. (2022). Flood forecasting with a dam watershed event-based hydrological model in a semi-arid context: case study in Morocco. *Water Practice & Technology*, 17(4), 817-834.
- Nguyen, T., Nguyen, C., Thi, H., Thi, T., Nguyen, V., & Do, T. (2023). Optimized parameters for the Tuyen Quang reservoir Basin Using the HEC-HMS Model.
- Rasyid, A. Z., Suharyanto, S., Kodoatie, R. J., & Satriyawan, Y. P. (2023). Analisis Debit Banjir Rencana Daerah Tangkapan Air Waduk Tugu Menggunakan HEC-HMS. *Bentang: Journal Teoritis Dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 11(1), 45-54.
- Shelke, M., Londhe, S. N., Dixit, P. R., & Kolhe, P. (2021). Simulation of Reservoir Inflow Using HEC-HMS. *International Conference on Hydraulics, Water Resources and Coastal Engineering*, 227-237.
- Tien Thanh, N., Thai Son, N., & Duc Mien, N. (2023). Performance of Hourly Rainfall Simulations using the WRF Meteorological Model for Calculation of Streamflow to Ta Trach Reservoir During the 2020 Flood Season. *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*, 39(1).
- Widayati, R. M., & Lasminto, U. (2020). Numerical rainfall-runoff model of Cimanuk Watershed before and after the operation of Jatigede Reservoir. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 930(1), 12072.