



## Evaluation of the effects of constructed rehabilitation dams on maximum and volume of watershed discharge

Reza Ghazavi\*, Ebrahim Omidvar

Faculty of Natural Resources, University of Kashan, Isfahan, Iran.

\*Corresponding Author email: [ghazavi@kashanu.ac.ir](mailto:ghazavi@kashanu.ac.ir)

© The Author(s) 2023

Received: 10 July 2023

Accepted: 30 Aug 2023

Published: 09 Sept 2023

### Abstract

In this study, the hydrological processes of Khaveh Watershed located in Markazi province, Iran were simulated and the effect of check dams on floods in this basin was evaluated. To assess the impact of watershed management structures on floods, flood volume and peak discharge with different return periods were calculated. In order to estimate the irrigation rate of Khaveh Watershed, in this study, the method of Justin was studied. Then, flooding situation of Khaveh Watershed was simulated using HEC-HMS model. For this purpose, the flood hydrographs resulting from the design storms with different return periods in the pre- and post-construction states of watershed management structures were compared with each other. The results showed that the constructed dams clearly reduced the peak discharge and flood volume of the region. Based on the results, the construction of corrective structures has reduced the peak flow, increased the base time of the hydrograph and increased the time to the peak of the hydrograph in different return periods. For the 5, 10, 20, 50, and 100-year return periods, the peak is 0.6 to 3.3, 4.9 to 2.7, 9.4 to 1.5, and 6, hours respectively. Discharge decreased to 0.8 and 22.4 to 12.4 cubic meters per second. Also, the base time of the hydrograph for the mentioned return periods increased from 6.8 to 11.2, 9.3 to 0.16, 2/10 to 17.5, 5/10 hours to 18.5 and 10.10 to 29.3 hours. The latency in time-to-peak for hydrographs due to the construction of structures was approximately 3.5 h.

**Keywords:** Check dams, Discharge peak, Flood, Khaveh



## ارزیابی اثرات احداث بندهای اصلاحی آبخیزداری بر دبی پیک و حجم سیلاب

رضا قضاوی\*، ابراهیم امیدوار

دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، اصفهان، ایران

\*ایمیل نویسنده مسئول: ghazavi@kashanu.ac.ir

© The Author(s) 2023

چاپ: ۱۴۰۲/۰۶/۱۸

پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۰۸

دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۹

### چکیده

مهار سیلاب‌ها از طریق احداث سدهای اصلاحی یکی از روش‌های تامین آب شیرین است. در این مطالعه، تأثیر سدهای اصلاحی بر روی سیل در حوضه آبخیز خاوه واقع در استان مرکزی مورد ارزیابی قرار گرفت. برای ارزیابی اثرات احداث سازه‌های آبخیزداری، حجم سیلاب و دبی اوج با دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه شد. به منظور برآورد میزان آب‌دهی حوضه آبخیز خاوه، در این مطالعه روش‌های تورک، انجمن کشاورزی هند و جاستین بررسی شد. سپس با استفاده از مدل HEC-HMS وضعیت سیل‌خیزی حوضه آبخیز خاوه شبیه‌سازی شد. بدین‌منظور هیدروگراف سیل حاصل از رگبارهای طراحی با دوره بازگشت‌های مختلف در حالت‌های قبل و بعد از اجرای سازه‌های آبخیزداری با یکدیگر مقایسه شد. نتایج نشان داد که بندهای اصلاحی احداث شده به وضوح دبی پیک و حجم سیلاب‌های منطقه را کاهش داده است. بر اساس نتایج حاصل احداث سازه‌های اصلاحی باعث کاهش دبی اوج، افزایش زمان پایه هیدروگراف و افزایش زمان تا اوج هیدروگراف در دوره بازگشت‌های مختلف شده است. به طوری که برای دوره بازگشت‌های ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله دبی اوج به ترتیب از ۰/۶ به ۰/۳، ۴/۹ به ۲/۷، ۹/۴ به ۵/۱، ۱۴/۶ به ۸/۰ و ۲۲/۴ به ۱۲/۴ متر مکعب بر ثانیه کاهش یافته است. همچنین زمان پایه هیدروگراف برای دوره بازگشت‌های ذکر شده به ترتیب از ۶/۸ به ۱۱/۲، ۹/۳ به ۱۶/۰، ۱۰/۲ به ۱۷/۵، ۱۰/۵ به ۱۸/۵ و ۱۰/۸ به ۲۹/۳ ساعت افزایش یافته است. میزان تأخیر در زمان تا اوج برای هیدروگراف‌ها در اثر احداث سازه‌ها نیز حدود ۳/۵ ساعت بوده است. میزان آورد کل حوضه مورد مطالعه بر اساس محاسبات معادل ۱/۵۱ میلیارد مترمکعب و حجم رواناب مازاد بر ظرفیت خالی مخزن‌ها در شرایط کنونی معادل ۱/۳۲ میلیارد مترمکعب برآورد شد.

واژه‌های کلیدی: سدهای اصلاحی، دبی پیک، سیلاب، خاوه

## ۱-مقدمه

با توجه به محدودیت و ثابت بودن میزان آب شیرین تجدیدپذیر در مناطق مختلف کره زمین، با افزایش جمعیت میزان سرانه آب شیرین قابل دسترس کاهش یافته است (Mirzavand et al., 2015). از طرفی با توسعه صنعت و تمدن بشری، میزان نیاز آبی انسان‌ها نیز افزایش چشم‌گیری داشته است. از سوی دیگر، با وجود خشکسالی‌های شدید و کمبود جدی آب شیرین در کشور، هر ساله شاهد سیلاب‌های ویران‌گر غیرطبیعی ناشی از تغییر کاربری اراضی و به‌خصوص توسعه مناطق شهری هستیم که آثار زیان‌بار فراوانی در بخش‌های مهم عمرانی و اقتصادی کشور، از قبیل کشاورزی، دامداری، آب و برق، راه و ارتباطات، مسکن و منابع طبیعی و ... به جای می‌گذارد (Sayyad et al., 2021). در ۴۰ سال گذشته بیشتر از ۳۷۰۰ واقعه سیل در کشور به ثبت رسیده است که از این بین ۵۲ درصد آن مربوط به ۱۰ سال اخیر است (Saraie et al., 2020). ایران در سیل سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ از بین ۳۱ استان در کشور، ۲۵ استان دچار سیل شده و ۲۳۵ شهر خسارت دیده‌اند (Zayyari et al., 2020). بیشترین تعداد سیل در بین شهرستان‌های استان اصفهان مربوط به شهرستان‌های اصفهان، اردستان و کاشان بوده است. در سال‌های اخیر با افزایش جمعیت و نتیجتاً با افزایش درخواست برای آب، میزان برداشت از منابع آب موجود در حوضه‌های آبخیز افزایش یافته و این امر موجب کاهش کمیت و کیفیت منابع آب، تخریب سرزمین و کاهش کیفیت آب و هوا شده است (Gain & Wada 2014)، ولی با گذشت زمان و حادث شدن شرایط، همه مردم و دولت‌ها خواستار توقف روند تخریب هستند (Werner, 2013). در کشورهای توسعه یافته و به طور کم رنگ‌تر در کشورهای در حال توسعه، بسیاری از ساکنان حوضه‌های آبخیز با ایجاد تشکل‌های مردمی به سازمان‌هایی جهت محافظت از منابع طبیعی تبدیل شده‌اند و در پاسخ به فعالیت‌های عمومی، دولت‌ها نیز در حمایت از تلاش‌های محلی برای حفاظت از منابع طبیعی تلاش می‌کنند. در این بین سازمان‌دهی تلاش‌ها در بخش‌های دولتی و مردمی نقش حیاتی در موفقیت فعالیت‌ها دارد و این مهم از طریق مدیریت استراتژیک حوضه‌های آبخیز، استفاده از متخصصان علمی و فنی موجود در ارگان‌های دولتی و غیردولتی و استفاده صحیح و به‌جا از منابع محقق می‌شود (Alemu, 2016).

اجرای طرح‌های آبخیزداری نقطه شروع حفاظت از منابع طبیعی هستند که ضمن تعدیل اثرات تغییرات اقلیمی و کنترل رواناب‌های حاصل از بارندگی‌های شدید، باعث اصلاح خصوصیات هیدرولوژیک حوضه‌های آبخیز و جلوگیری از تخریب منابع ملی می‌شوند (Ahmadipour & Yasi 2014). با ارزیابی کمی این طرح‌ها می‌توان میزان بازدهی این عملیات را در حوضه‌های آبخیز بررسی نمود. بنابراین به منظور درک میزان اثربخشی طرح‌های آبخیزداری اجرا شده در حوضه، باید این عملیات مورد ارزیابی قرار گیرد تا بتوان بر اساس نتایج به دست آمده ضمن تعیین راندمان این عملیات، در خصوص اجرای طرح‌های مشابه در سایر حوضه‌های آبخیز نیز تصمیم‌گیری نمود. در مورد تأثیر احداث سدهای اصلاحی<sup>۱</sup> بر بیلان آبی حوضه‌های آبخیز مطالعات مختلفی در سطح جهان انجام شده است. (Gain & Wada (2014) در مطالعه‌ای تأثیر سد فاراککا<sup>۲</sup> را بر آستانه رژیم جریان هیدرولوژیک حوضه رودخانه گنگ<sup>۳</sup> مورد ارزیابی قرار دادند. آنها آستانه جریان را با استفاده از

<sup>1</sup> check dams

<sup>2</sup> Farakka

<sup>3</sup> Ganges

بیست و دو پارامتر محدوده تغییرپذیری<sup>۴</sup> محاسبه نمودند. در ادامه با مقایسه پارامترهای آستانه در دوره قبل از احداث سد (از سال ۱۹۳۴ تا ۱۹۷۴) و دوره پس از احداث سد (۱۹۷۵-۲۰۰۵) تأثیر سد بر جریان رودخانه را محاسبه نمودند. نتایج نشان داد که با توجه به انحراف آب توسط سد، پارامترهای آستانه مختلف از جمله میانگین ماهانه فصل خشک و حداقل جریان سالانه، به طور قابل توجهی تغییر یافته‌است. (Li et al. (2017) تغییرات رژیم جریان حاصل از ساخت سدها را در حوضه رودخانه مکونگ<sup>۵</sup> مورد بررسی قرار دادند. آنها داده‌های جریان را به سه دوره تقسیم کردند. دوره قبل از تأثیر (۱۹۶۰ - ۱۹۹۱)، دوره انتقال (۱۹۹۲ - ۲۰۰۹) و دوره پس از تأثیر (۲۰۱۰ - ۲۰۱۴). رژیم جریان را با استفاده از معیارهای eco-flow و شاخص‌های تغییر هیدرولوژیک مورد بررسی قرار دادند. بر طبق نتایج این تحقیق ساختن و پر شدن سدهای بالادست، جریان سالانه را در ایستگاه چیانگ سائ<sup>۶</sup> کاهش داد، در حالی که هیچ اثر مشخصی در ایستگاه پایین دست ترنگ<sup>۷</sup> نداشت. ساخت سدها جریان رودخانه را در فصول مرطوب کاهش داده و در فصل‌های خشک افزایش داده‌است، که منجر به تغییرات فصلی جریان رودخانه در ایستگاه هیدرومتری چیانگ<sup>۸</sup> در سال ۲۰۱۰ تا سال ۲۰۱۴ می‌شود. در دوره انتقال تغییرات آب و هوایی جریان سالانه را ۲۸/۲۹ درصد تغییر داده در حالی که فعالیت‌های انسانی در دوره پس از تأثیر جریان سالانه را ۶۱/۸۸ درصد تغییر داده‌است (Sultan et al. (2017) اثر احداث سدهای اصلاحی بر کاهش دبی اوج سیلاب در حوضه آبخیز منشا دیزد را مورد مطالعه قرار دادند و بیان نمودند که نتایج شبیه سازی تأثیر سازه‌ها بر کاهش دبی اوج به طور متوسط ۹/۸۲ درصد و بر حجم سیل ۷/۷۵ درصد بوده‌است. از طرفی با افزایش دوره بازگشت سیلاب، تأثیر سازه‌ها بر کاهش دبی اوج و حجم سیلاب کاهش یافته‌است.

(Lu et al. (2018) برای بررسی اثرات ساخت سدهای کوتاه بر روی تغییرات هیدرولوژیک دو رودخانه در حوضه جیولونگ<sup>۹</sup> از مدل هیدرولوژیک GBHM و روش post bias correction method استفاده کردند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که در رودخانه غربی شاخص‌هایی همچون جریان پایه، حداقل جریان چند روزه و زمان دبی‌های حداکثر افزایش یافته و حداکثر جریان چند روزه و تعداد دبی‌های کم کاهش یافته‌است. همچنین در رودخانه شمالی تعداد دبی‌های کم افزایش و شاخص‌های حداقل جریان چند روزه و زمان دبی‌های کم کاهش یافته‌است. (Sultan et al. (2017) به منظور بررسی تأثیر عملیات حفاظت آب و خاک بر میزان رواناب در اتیوپی حوضه‌های جفتی کاسیری (با عملیات حفاظتی) و آکوستی (بدون عملیات حفاظتی) را در نظر گرفتند. سپس به منظور بررسی اثر سناریوهای مختلف عملیات حفاظتی بر میزان رواناب در حوضه کاسیری از مدل شماره منحنی استفاده کردند. نتایج نشان داد که رواناب دو حوضه متفاوت است. از سوی دیگر، نتایج پیش‌بینی مدل نشان داد که تحت عملیات حفاظتی فعلی در کاسیری، میزان رواناب فصلی ۵/۲ درصد کاهش می‌یابد. آنها نتیجه گرفتند که اگر باندهای خاکی در زمین‌های تحت کشت و تراشه‌ها بر روی چراگاه‌ها و زمین‌های کشت شده نصب

<sup>4</sup> RVA

<sup>5</sup> Mekong

<sup>6</sup> Saen

<sup>7</sup> Treng

<sup>8</sup> Chiang

<sup>9</sup> Jiulong

شود، رواناب حوضه آبخیز کاسیری می‌تواند به میزان ۳۴ درصد کاهش یابد. در مقابل، اجرای اقدامات حفاظتی در زمین‌های بوته‌کاری و جنگل‌های طبیعی تأثیر کمی در کاهش رواناب دارد.

به‌طور کلی هدف از فرآیند مدیریت حوضه‌های آبخیز این است که به مردم محلی و بهره‌برداران اطمینان داده شود که منابع آب و منابع مرتبط به آن به شکلی مدیریت می‌شود که در نهایت ضمن تأمین سلامت محیط زیست، منافع اجتماعی و اقتصادی ذی‌نفعان را نیز فراهم خواهد کرد (Mengistu et al. 2022). در فرآیند مدیریت راهبردی تلاش می‌شود تا با شناسایی نقاط ضعف و نقاط قوت موجود در سیستم، از فرصت‌های موجود استفاده کرده، تهدیدها را به حداقل رسانده و در نهایت در حد امکان تهدیدها نیز به فرصت تبدیل شوند (Salehpour Jam et al. 2021). از جمله عوامل انسانی موثر بر فرایندهای هیدرولوژیک حوضه‌های آبخیز، اجرای طرح‌های مختلف مدیریتی و اصلاحی آبخیزداری است. هدف از انجام این مطالعه ارزیابی اثرات هیدرولوژیک سدهای اصلاحی احداث شده در حوضه آبخیز خاوه واقع در استان مرکزی بر سیل-خیزی حوضه مورد مطالعه است.

## ۲- مواد و روش

### ۱-۲- موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز مورد مطالعه

حوضه آبخیز خاوه در مرکز ایران، جنوب استان مرکزی و شمال غربی شهرستان کاشان واقع شده است. این حوضه، از نظر مختصات جغرافیایی در حد فاصل  $50^{\circ} 54' 17''$  تا  $50^{\circ} 58' 35''$  طول شرقی و  $34^{\circ} 03' 28''$  تا  $39^{\circ} 09' 02''$  عرض شمالی واقع شده است. مساحت، محیط و طول حوضه آبخیز خاوه به ترتیب برابر با  $2819/30$  هکتار،  $38/80$  کیلومتر و  $11/12$  کیلومتر است. لذا با توجه به تقسیم‌بندی‌های متداول، حوضه آبخیز خاوه جزء حوضه‌های کوچک محسوب می‌شود. میزان بارش در فصل‌های پاییز، زمستان، بهار و پاییز در منطقه به ترتیب برابر  $24/9$ ،  $38/49$ ،  $33/88$  و  $2/73$  درصد بوده است. در منطقه مورد مطالعه بیشترین بارش در فروردین ماه و کمترین میزان بارش در مرداد ماه ثبت شده است.

### ۲-۲- روش تحقیق

در این مطالعه جهت برآورد میزان آبدهی حوضه آبخیز مورد مطالعه از رویکرد منطقه‌ای و روش جاستین استفاده شد. بر اساس تعریف در رویکرد منطقه‌ای، پیش‌بینی رواناب در حوضه‌های فاقد آمار از طریق انتقال اطلاعات از حوضه دارای آمار به حوضه فاقد آمار انجام می‌شود. در این روش فرض بر این است حوضه‌های با خصوصیات فیزیکی مشابه پاسخ هیدرولوژیکی مشابهی دارند. بنابراین این کار، با انتقال پارامترهای بهینه از حوضه دارای آمار به حوضه فاقد آمار و بر اساس شباهت فیزیکی بین دو حوضه صورت می‌گیرد.

روش تجربی جاستین، یکی از روش‌هایی است که برای تخمین آورد سالانه در حوضه‌های فاقد ایستگاه هیدرومتری استفاده می‌شود. این روش بر پیش‌فرض عملکرد مشابه حوضه‌ها استوار است. در این روش ابتدا در منطقه مجاور محدوده مطالعاتی، حوضه‌ای که دارای ایستگاه هیدرومتری باشد در نظر گرفته می‌شود و بر اساس داده‌های آن حوضه، ضریب منطقه‌ای  $K$

می‌شود. سپس با فرض نمودن ضریب منطقه‌ای K برای حوضه فاقد آمار، ارتفاع رواناب سالانه آن حوضه نیز به دست می‌آید. با توجه به بررسی‌های انجام شده، ایستگاه هیدرومتری بن‌رود در منطقه دارای آمار کامل بود و طول دوره آماری داده‌های موجود برای این ایستگاه نیز در برگیرنده طول دوره آماری داده‌های هواشناسی استفاده شده در این مطالعه بود. بنابراین، این ایستگاه به عنوان ایستگاه مبنا برای محاسبه آورد حوضه آبخیز خاوه با استفاده از روش جاستین انتخاب شد. با قرار دادن مشخصات زیرحوضه‌های حوضه آبخیز خاوه و ضریب K به دست آمده در رابطه جاستین با استفاده از آمار ایستگاه بن رود، ارتفاع رواناب حوضه آبخیز خاوه به دست آمد و بر اساس آن حجم رواناب و دبی متوسط سالانه محاسبه شد. برآورد مقدار سیلاب حداکثر حوضه‌های آبخیز، بخش مهمی از مطالعات هیدرولوژی در بررسی عملکرد فعالیت‌های آبخیزداری است. در این ارتباط لازم است تأثیر اجرای عملیات آبخیزداری به خصوص فعالیت‌های سازه‌ای بر تغییرات هیدروگراف سیل برای دوره‌های بازگشت‌های مختلف در قبل و بعد از انجام عملیات آبخیزداری، مشخص شود. به منظور برآورد تغییرات دبی پیک سیل و شکل هیدروگراف می‌توان از مدل‌های هیدرولوژیکی استفاده کرد.

در مطالعه حاضر با استفاده از مدل HEC-HMS وضعیت سیل‌خیزی حوضه آبخیز خاوه شبیه‌سازی شد. بدین منظور هیدروگراف سیل حاصل از رگبارهای طراحی با دوره بازگشت‌های مختلف در حالت‌های قبل و بعد از اجرای سازه‌های آبخیزداری با یکدیگر مقایسه شد. بر اساس مطالعات انجام شده وقتی سدهای حادثی روی آبراهه‌ها از رسوب پر شود، شیب آبراهه اصلی به شیب حد (معادل یک دوم شیب آبراهه قبل از احداث سازه) می‌رسد و با عنایت به این‌که تقریباً همه سدهای احداث شده روی دو آبراهه موجود در حوضه خاوه تقریباً از رسوب پر شده‌اند، در این مطالعه نیز زمان تمرکز برای حالتی که شیب آبراهه به نصف رسیده است محاسبه و هیدروگراف سیلاب بر اساس این شیب شبیه‌سازی شد. در این حالت زمان تاخیر حوضه دو برابر حالت قبل از احداث سازه‌ها شده است. مقادیر زمان تاخیر محاسبه شده برای زمان قبل و بعد از اجرای عملیات اصلاحی در جدول (۱) ارائه شده است. برای آماده‌سازی داده‌های ورودی مدل HEC-HMS، شماره منحنی (CN) متوسط وزنی زیرحوضه‌ها، با تلفیق نقشه کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی خاک و با استفاده از جدول تعیین شماره منحنی به دست آمد. همچنین مقادیر CN هر یک از زیرحوضه‌ها و حوضه آبخیز خاوه نیز در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱. شماره منحنی، زمان‌های تمرکز و تاخیر حوضه آبخیز خاوه در قبل و بعد از احداث سازه‌ها

Table 1. Curve number, concentration times, and lag times of Khaveh watershed before and after construction of structures

نام واحد کاری	CN	زمان تاخیر (دقیقه)	
		قبل از احداث سازه‌ها	بعد از احداث سازه‌ها
Kh1	۸۰/۶۲	۹۷/۹۳	۱۹۵/۸۴
Kh2	۸۰/۶۶	۵۴/۹۴	۱۰۹/۸
Khint	۸۳/۳۹	۳۱/۹۷	۵۳/۳۸
کل حوضه آبخیز	۸۰/۸۲	۱۱۸/۷۴	۲۷۳/۴۶

برای تعیین میزان بارش طرح در زمانی معادل زمان تمرکز حوضه برای دوره بازگشت‌های مختلف از منحنی‌های شدت مدت فراوانی استفاده شد و مقدار بارش طرح با توجه به تداوم آن و دوره بازگشت آن مشخص گردید. با توجه به نتایج بررسی های فیزیوگرافی، زمان تمرکز حوضه و زیرحوضه‌های خاوه معادل مقدار محاسبه شده از روش برانسی - ویلیامز در نظر گرفته شد تا همه حوضه را پوشش دهد. میزان بارش در دوره بازگشت‌های مختلف و برای زمان تمرکز ۳/۲۹۸ ساعت برای کل حوضه آبخیز خاوه در نظر گرفته شد (جدول ۲).

جدول ۲. بارش با دوره بازگشت‌های مختلف در زمانی معادل زمان تمرکز حوضه آبخیز خاوه

Table 2. Precipitation with different return periods at times equivalent to concentration times of Khaveh watershed

دوره بازگشت (سال)	۵	۱۰	۲۰	۵۰	۱۰۰
ارتفاع بارش (mm)	۱۶/۱۹	۲۴/۳۷	۲۹/۷۶	۳۴/۹۱	۴۱/۵۳

پس از به دست آوردن ارتفاع بارش با تداوم برابر با زمان تمرکز در دوره بازگشت‌های مختلف، به منظور توزیع زمانی بارش طرح از الگوی توزیع زمانی بارش مناطق خشک و نیمه خشک استفاده شد و بر این اساس هایتوگراف بارش برای ورود به مدل تهیه گردید. سپس با استفاده از مقادیر به دست آمده بارش طرح، مدل HEC-HMS اجرا شد و هیدروگراف سیل در دوره بازگشت‌های ۵ تا ۱۰۰ سال برای هر یک از شرایط قبل و بعد از انجام اقدامات آبخیزداری حاصل شد و میزان تغییر دبی اوج و حجم سیلاب و در نتیجه اثربخشی اقدامات صورت گرفته بر هیدروگراف سیل حوضه مورد مقایسه و بررسی قرار گرفت.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- برآورد حجم رواناب سالانه

دبی متوسط زیرحوضه‌های Kh1، Kh2، و Khint (شکل ۱) بر اساس روش جاستین به ترتیب برابر ۳۶/۱۵، ۹/۱۶ و ۲/۴۳ لیتر بر ثانیه و حجم رواناب سالانه زیر حوضه‌ها به ترتیب برابر ۱/۱۴، ۰/۲۹ و ۰/۰۸ میلیون متر مکعب برآورد شده است. حجم رواناب سالانه کل حوضه آبخیز خاوه برابر با ۱/۵۱ میلیون متر مکعب برآورد می‌شود. دبی متوسط سالانه برای کل حوضه آبخیز خاوه معادل ۴۷/۵۰ لیتر بر ثانیه برآورد شده است.

شکل ۱. زیر حوضه‌های حوضه آبخیز خاوه

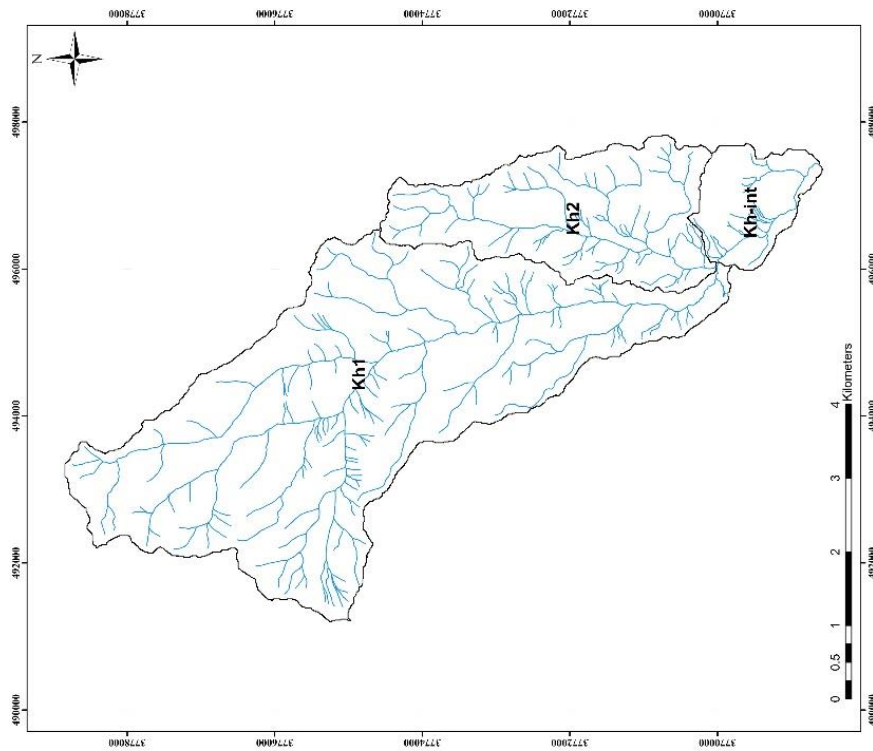


Fig 1. Sub-basins of the Khaveh watershed

### ۳-۲- برآورد دبی پیک سیلاب

پس از محاسبه دبی پیک سیلاب زیرحوضه‌های حوضه آبخیز خاوه، هیدروگراف سیل هر زیر حوضه و کل حوضه آبخیز خاوه بر اساس بارش طرح با دوره بازگشت‌های مختلف، از روش SCS با استفاده از مدل HEC-HMS شبیه‌سازی شد. شکل (۲) خروجی مدل حوضه آبخیز خاوه برای بارش طرح با دوره بازگشت ۵۰ سال (۳۴/۹۱ میلی‌متر) در وضعیت کنونی (بعد از احداث سازه‌ها) را نشان می‌دهد.

شکل ۲. هیدروگراف سیل خروجی حوضه آبخیز خاوه برای دوره بازگشت ۵۰ سال با وجود سدهای اصلاحی

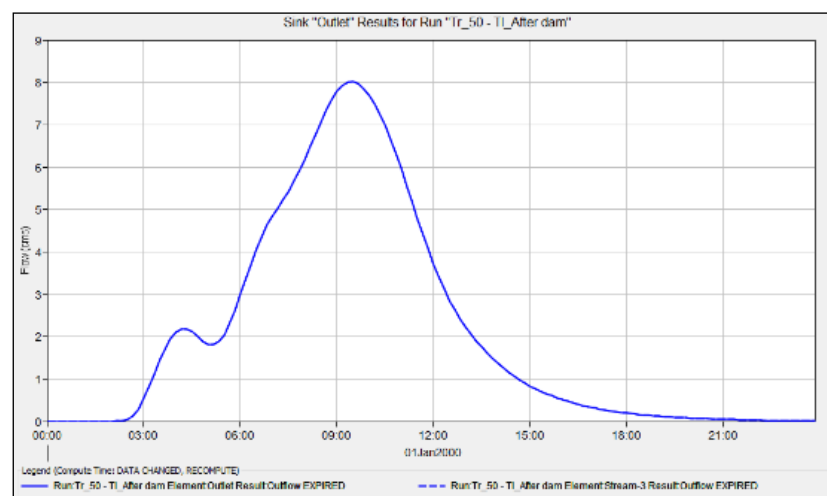


Fig 2. Flood hydrograph for a 50-year return period in Khaveh watershed with existing corrective dams



بر اساس نتایج حاصل، برای یک بارش ۳۴/۹۱ میلیمتری (بارش طرح در دوره بازگشت ۵۰ سال)، حجم کل رواناب حاصل از این بارش ۹۸۴ هزار مترمکعبی برابر ۱۷۷/۵ هزار مترمکعب برآورد شده که معادل ۶/۳ میلیمتر است. بنابراین ضریب رواناب نیز برای کل حوضه ۱۸ درصد به دست آمد.

### ۳-۳- بررسی تأثیر سدهای اصلاحی بر بیلان

با توجه به ظرفیت ذخیره‌سازی موقت آب توسط سدهای اصلاحی و کاهش شیب در آبراهه‌هایی که روی آن سدها احداث شده‌اند، دبی در هیدروگراف سیل در نقطه خروجی حوضه‌ها کاهش می‌یابد. به‌منظور ارزیابی تأثیر سدهای اصلاحی، هیدروگراف سیل برای بارش‌های با تداومی برابر با زمان تمرکز حوضه در دوره بازگشت‌های مختلف در حالت قبل و بعد از احداث سازه‌ها (با فرض زمان تاخیر دو برابر حالت قبل از احداث)، با استفاده از مدل HEC-HMS شبیه‌سازی شد. شکل (۳) هیدروگراف‌های خروجی مدل برای دوره بازگشت‌های ۱۰۰ ساله را در حالت‌های قبل و بعد از احداث سازه‌ها را نشان می‌دهد.

شکل ۳- هیدروگراف سیل برای حالت قبل و بعد از احداث سدهای اصلاحی

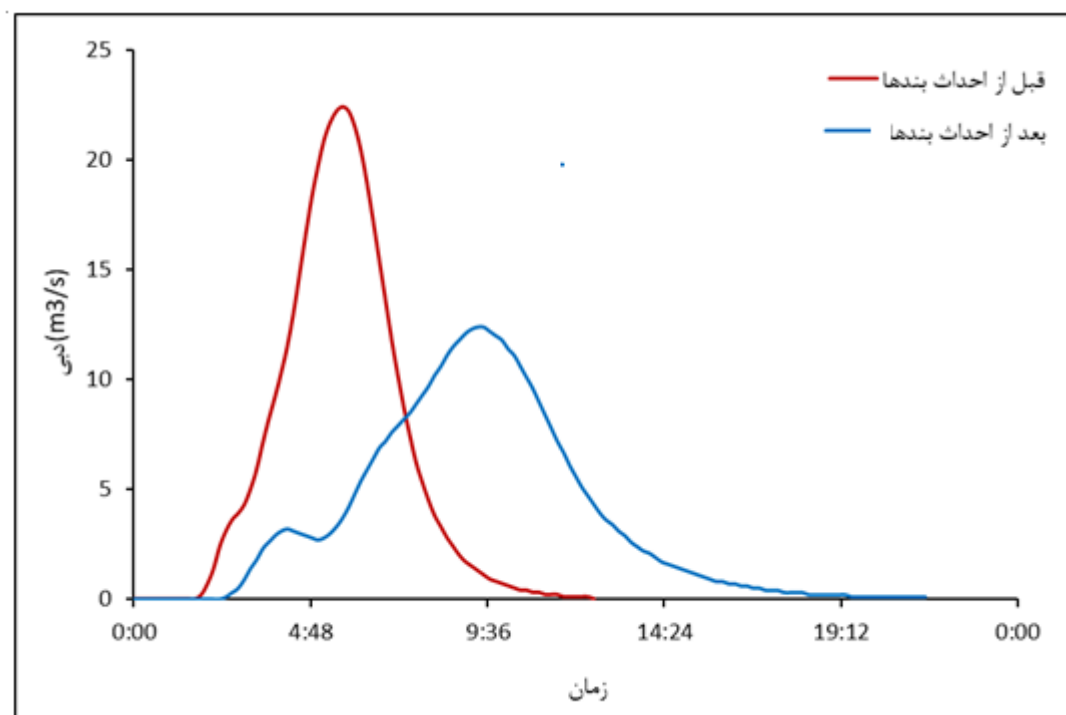


Fig 3. Flood hydrograph comparison for pre- and post-construction states of corrective dams

بر اساس نتایج حاصل احداث سازه‌های اصلاحی باعث کاهش دبی اوج، افزایش زمان پایه هیدروگراف و افزایش زمان تا اوج هیدروگراف در دوره بازگشت‌های مختلف شده است. به‌طوری‌که برای دوره بازگشت‌های ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله دبی اوج به ترتیب از ۰/۶ به ۳/۳، ۴/۹ به ۲/۷، ۹/۴ به ۵/۱، ۱۴/۶ به ۸/۰ و ۲۲/۴ به ۱۲/۴ متر مکعب بر ثانیه کاهش یافته است. همچنین زمان پایه هیدروگراف برای دوره بازگشت‌های ذکر شده به ترتیب از ۶/۸ به ۱۱/۲، ۹/۳ به ۱۶/۰، ۱۰/۲ به ۱۷/۵، ۱۰/۵ به ۱۸/۵ و ۱۰/۸ به ۲۹/۳ افزایش یافته است (شکل‌های ۴ و ۵). میزان تأخیر در زمان تا اوج برای هیدروگراف‌ها در اثر

احداث سازه‌ها حدود ۳/۵ ساعت بوده است. این نتایج با نتایج (Sultan et al. (2017 مبنی بر اثر احداث سدهای اصلاحی بر کاهش دبی اوج سیلاب در حوضه آبخیز منشاد یزد همخوانی دارد.

شکل ۴- تغییرات دبی اوج هیدروگراف سیل حوضه آبخیز خاوه برای دوره بازگشت‌های مختلف قبل و بعد از احداث سدهای اصلاحی

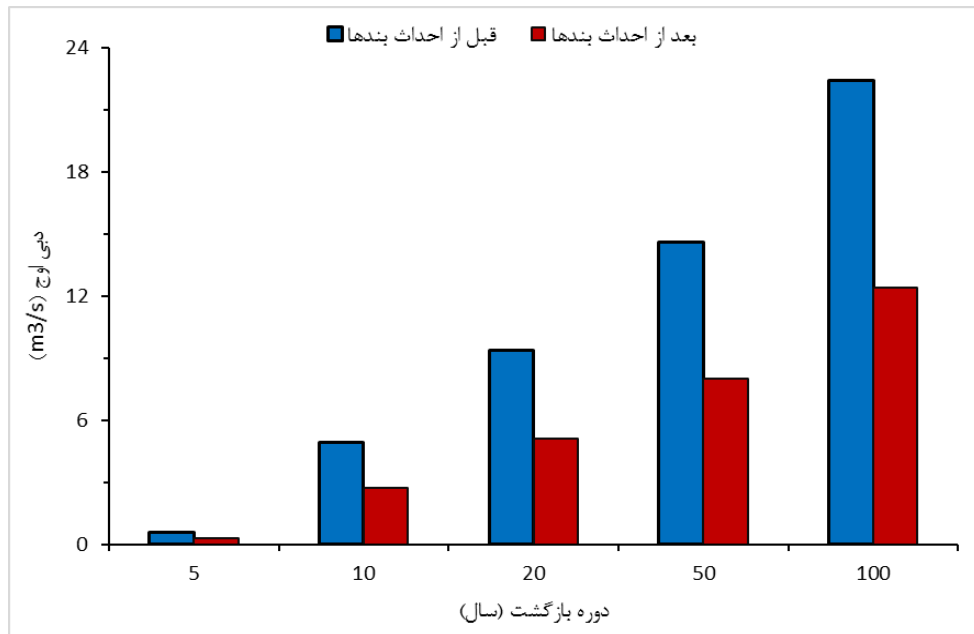


Fig 4. Peak flow changes in flood hydrograph of Khaveh watershed for different return periods before and after construction of corrective dams

شکل ۵- تغییرات زمان پایه برای دوره بازگشت‌های مختلف قبل و بعد از احداث سدهای اصلاحی

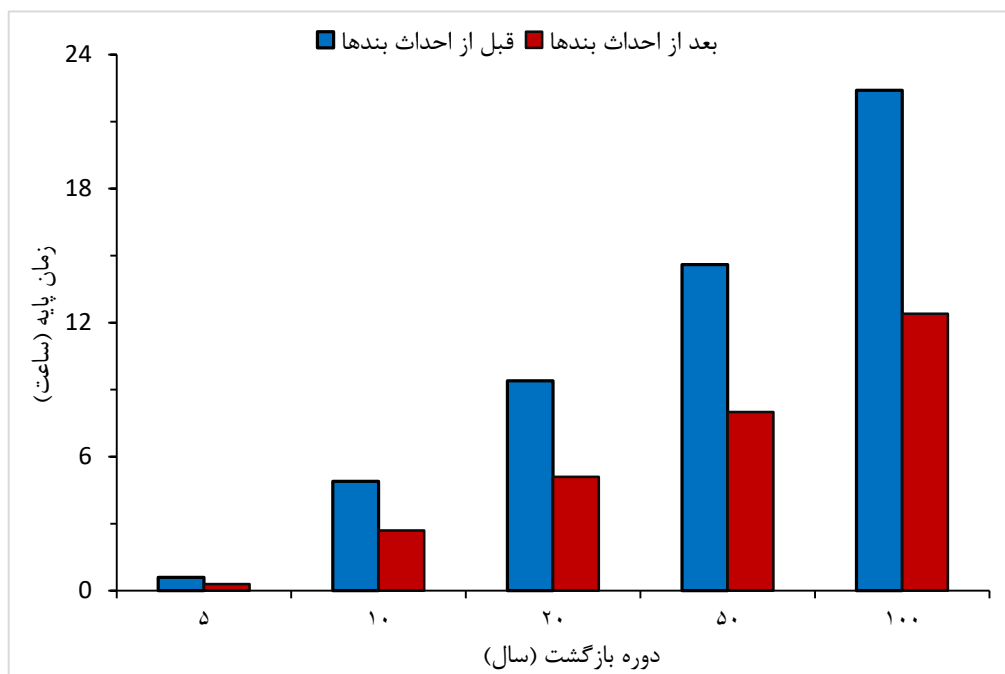


Fig 5. Base time changes for different return periods before and after construction of corrective dams

۳-۴- تأثیر سدهای اصلاحی روی حجم سیلاب

به منظور بررسی تأثیر احداث سدهای اصلاحی در حوضه آبخیز خاوه حجم مخزن سدها در دو سناریو خالی بودن کامل سدها و وضعیت کنونی (رسوب‌گیری شده) مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور حجم آورد ماهانه هر یک از زیرحوضه‌ها محاسبه شد و با فرض این‌که تا ماه بعد رواناب ذخیره شده پشت سد نفوذ کرده یا تخلیه شده است، حجم سیلاب خروجی هر یک از زیرحوضه‌ها محاسبه شد (حجم آورد ماهانه حوضه منهای مجموع حجم مخزن سدها). بر اساس محاسبات فصل سوم در گزارش شماره ۲ حجم کل مخزن سدهای احداث شده روی آبراهه ۱ (زیرحوضه Kh1) در حالتی که هیچ رسوبی تله‌اندازی نشده بود (زمان احداث) برابر ۱۹/۹۹ هزار مترمکعب و در وضعیت کنونی رسوب‌گیری شده (۰/۷۷ هزار متر مکعب محاسبه شد. برای آبراهه شماره ۲ (زیرحوضه Kh2) حجم مخزن خالی پشت سدها برابر ۴۶/۹۸ هزار مترمکعب و در وضعیت فعلی برابر ۱۲/۵۲ هزار مترمکعب محاسبه شد. با توجه به این‌که روی آبراهه شماره ۳ (زیرحوضه Khint) هیچ‌گونه سد اصلاحی احداث نشده است، کل آورد آن به عنوان دبی خروجی از این زیرحوضه در نظر گرفته شد (جدول ۳).

جدول ۳. آورد ماهانه زیر حوضه‌های حوضه آبخیز خاوه (هزار مترمکعب)

Table 3. Monthly discharge of sub-basins in Khaveh watershed (Thousand cubic meters)

ماه‌ها	Kh1		Kh2		Kh <sub>int</sub>	
	حجم رواناب	سناریو خالی بودن مخزن	حجم رواناب	سناریو خالی بودن مخزن	حجم رواناب	وضعیت کنونی
مهر	۶۸/۳۵	۴۸/۳۶	۱۷/۳۹	-۲۹/۵۹	۴/۸۰	۴/۸۷
آبان	۹۸/۴۶	۷۸/۴۷	۲۵/۰۵	-۲۱/۹۳	۶/۹۱	۱۲/۵۳
آذر	۱۳۵/۶۳	۱۱۵/۶۴	۳۴/۵۰	-۱۲/۴۸	۹/۵۲	۲۱/۹۸
دی	۱۸۱/۵۳	۱۶۱/۵۴	۴۶/۱۸	-۰/۸۰	۱۲/۷۴	۳۳/۶۶
بهمن	۱۶۰/۳۳	۱۴۰/۳۴	۴۰/۷۹	-۶/۱۹	۱۱/۲۵	۲۸/۲۷
اسفند	۹۴/۴۸	۷۴/۴۹	۲۴/۰۴	-۲۲/۹۴	۶/۶۳	۱۱/۵۲
فروردین	۷۰/۳۸	۵۰/۳۹	۱۷/۹۰	-۲۹/۰۸	۴/۹۴	۵/۳۸
اردیبهشت	۶۴/۱۱	۴۴/۱۲	۱۶/۳۱	-۳۰/۶۷	۴/۵۰	۳/۷۹
خرداد	۶۲/۴۹	۴۲/۵۰	۱۵/۹۰	-۳۱/۰۸	۴/۳۹	۳/۳۸
تیر	۶۹/۸۰	۴۹/۸۱	۱۷/۷۶	-۲۹/۲۲	۴/۹۰	۵/۲۴
مرداد	۵۳/۸۴	۳۳/۸۵	۱۳/۷۰	-۳۳/۲۸	۳/۷۸	۱/۱۸
شهریور	۵۹/۷۶	۳۹/۷۷	۱۵/۲۰	-۳۱/۷۸	۴/۱۹	۲/۶۸
مجموع	۱۱۱۹/۱۵	۸۷۹/۲۷	۲۸۴/۷۰	-۲۷۹/۰۶	۷۸/۵۴	۱۳۴/۴۶

بر اساس نتایج حاصل از جدول ۳ حجم کل آورد زیرحوضه Kh1 برابر با ۱/۲ میلیون مترمکعب بوده است که از این میزان حدود ۲۴۰ هزار متر مکعب به وسیله سدهای اصلاحی در سناریو خالی بودن مخزن کنترل شده و حدود ۸۷۹ هزار

مترمکعب از این زیرحوضه به پایین‌دست تخلیه شده است. در وضعیت کنونی که تقریباً کلیه سدهای احداثی روی این آبراهه از رسوب پر شده است حجم مخازن خالی باقی‌مانده در مجموع ۹/۲۴ هزار متر مکعب برآورد شده و بنابراین خروجی این زیرحوضه در حالت کنونی حدود ۱/۱ میلیون مترمکعب است. (Li et al., 2017) در مطالعه‌ای اثر احداث سدهای اصلاحی بر روی رواناب و بار رسوبی حوضه هوانگ فوجوان<sup>۱۰</sup> در میانه رودخانه زرد را مورد بررسی قرار دادند. برای شبیه‌سازی رواناب ماهانه و بار رسوبی در سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۲ از مدل SWAT استفاده کردند. نتایج نشان داد که در طول دوره ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۹ رواناب و رسوب سالانه به ترتیب ۲۴/۸ و ۲۷/۷ درصد کاهش یافته است در حالی که در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۲ رواناب ۶۵/۲ درصد و رسوب ۷۸/۳ درصد کاهش داشته‌است.

در زیرحوضه Kh2 حجم کل آورد سالانه زیرحوضه معادل ۲۸۴/۷۰ هزار متر مکعب و حجم مخازن سدها در حالت خالی بودن برابر ۵۶۳/۷۶ هزار مترمکعب برآورد شده است و بنابراین در حالت خالی بودن مخازن حجمی معادل ۲۷۹/۰۶ هزار مترمکعب مازاد بر آورد حوضه وجود دارد. حجم آورد این زیرحوضه در حالت کنونی که تقریباً مخازن بیشتر سدها پر شده است معادل ۱۳۴/۴۶ هزار مترمکعب برآورد شده است. حجم کل آورد زیرحوضه Khint نیز که هیچ سدی روی آن احداث نشده معادل ۷۸/۵۴ هزار مترمکعب برآورد شده است.

میزان آورد کل حوضه بر اساس محاسبات معادل ۱/۵۱ میلیون مترمکعب و حجم رواناب مازاد بر ظرفیت خالی مخزن‌ها در شرایط کنونی معادل ۱/۳۲ میلیون مترمکعب برآورد گردید. به عبارتی ۰/۲ میلیون مترمکعب از رواناب کل حوضه می‌تواند در پشت مخازن سدها ذخیره شود. باید توجه داشت که اگرچه ظرفیت حجمی مخازن به دلیل پر شدن بیشتر سدها ناچیز است ولی سدها در تعدیل جریان و کاهش دبی پیک نقش اصلاحی خود را به طور کامل ایفا می‌کنند.

#### ۴- نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصل، احداث سازه‌های اصلاحی باعث کاهش دبی اوج، افزایش زمان پایه هیدروگراف و افزایش زمان تا اوج هیدروگراف در دوره بازگشت‌های مختلف شده است. به طوری که برای دوره بازگشت‌های ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله دبی اوج به ترتیب از ۰/۶ به ۴/۹، ۲/۷ به ۹/۴، ۵/۱ به ۱۴/۶، ۸/۰ به ۲۲/۴ و ۱۲/۴ متر مکعب بر ثانیه کاهش یافته است. همچنین زمان پایه هیدروگراف برای دوره بازگشت‌های ذکر شده به ترتیب از ۶/۸ به ۱۱/۲، ۹/۳ به ۱۶/۰، ۱۰/۲ به ۱۷/۵، ۱۰/۵ به ۱۸/۵ و ۱۰/۸ به ۲۹/۳ افزایش یافته است. میزان تأخیر در زمان تا اوج برای هیدروگراف‌ها در اثر احداث سازه‌ها حدود ۳/۵ ساعت بوده است.

#### ۵- تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

<sup>10</sup> Huangfuchuan

## ۶- مراجع

- Ahmadipour, Z., & Yasi, M. (2014). Evaluation of Eco-hydrology-hydraulics methods for environmental flows in rivers (Case study: Nazloo River, Urmia Lake Basin). *Journal of Hydraulics*, 9(2), 69-82. <https://doi.org/10.30482/jhyd.2014.8561>. (In Persian)
- Alemu, M. M. (2016). Integrated watershed management and sedimentation. *Journal of Environmental Protection*, 7(4), 490-494.
- Gain, A. K., & Wada, Y. (2014). Assessment of future water scarcity at different spatial and temporal scales of the Brahmaputra River Basin. *Water Resources Management*, 28, 999-1012.
- Li, D., Long, D., Zhao, J., Lu, H., & Hong, Y. (2017). Observed changes in flow regimes in the Mekong River basin. *Journal of Hydrology*, 551, 217-232.
- Lu, W., Lei, H., Yang, D., Tang, L., & Miao, Q. (2018). Quantifying the impacts of small dam construction on hydrological alterations in the Jiulong River basin of Southeast China. *Journal of Hydrology*, 567, 382-392.
- Mengistu, F., & Assefa, E. (2022). Local perception of watershed degradation in the upper Gibe basin, southwest Ethiopia: implications to sustainable watershed management strategies. *International Journal of River Basin Management*, 20(2), 235-254.
- Mirzavand, M., Ghasemich, H., Sadatinejad, S., Akbari, M. (2015). Comparison of artificial neural network (ANN) and multi variable regression analysis (MRA) models to predict ground water quality changes (Case study: Kashan Aquifer. *Water and Soil Science*, 25(2), 207-220. (In Persian)
- Salehpour Jam, A., Mosaffaie, J., & Tabatabaei, M. R. (2021). Management responses for Chehel-Chay watershed health improvement using the DPSIR framework. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 23(4), 797-811.
- Saraie, B., Talebi, A., Mazidi, A., & Parvizi, S. (2020). Prioritization of Sardab-Rood watershed from flooding viewpoint using the SWAT model. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 9(23), 85-98. <https://doi.org/10.22111/jneh.2019.29033.1500>. (In Persian)
- Sayyad, D., Ghazavi, R., & Omidvar, E. (2021). Preparation and analysis of flood risk map using HEC RAS and RAS MAPPER hydraulic model (Case study: Sok Cham river of Kashan). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10(3), 19-37. <https://doi.org/10.22067/geoch.2021.69554.1038>. (In Persian)
- Sultan, D., Tsunekawa, A., Haregeweyn, N., Adgo, E., Tsubo, M., Meshesha, D. T., .. & Ebabu, K. (2017). Analyzing the runoff response to soil and water conservation measures in a tropical humid Ethiopian highland. *Physical Geography*, 38(5), 423-447.
- Werner, A. D., Bakker, M., Post, V. E., Vandenbohede, A., Lu, C., Ataie-Ashtiani, B., ... & Barry, D. A. (2013). Seawater intrusion processes, investigation and management: Recent advances and future challenges. *Advances in Water Resources*, 51, 3-26.
- Zayyari, K., Ebrahimipoor, M., Pourjafar, M. R., & salehi, E. (2020). Explaining strategies for increasing physical resilience against flood case study: Cheshmeh Kile River, Tonekabon River. *Sustainable City*, 3(1), 89-105. <https://doi.org/10.22034/jsc.2019.186626.1014>. (In Persian)