



Prioritizing watershed management practices based on hydrological factors in Chehelchay Watershed

Saeedeh Sadat Hoseinie¹*, Ali Heshmatpour^{*2}, Hamed Rouhani³, Hassan Farazjoo⁴

1. M.Sc. Student, Department of Watershed Management, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran, Email: s_hoseinie@yahoo.com
2. Associate Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran, Email: Heshmatpoura@gmail.com
3. Assistant Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran, Email: HamedRouhani@gonbad.ac.ir
4. Former M.Sc. Student, Department of Watershed Management, Jihad-e-Keshavarzi Organization of Golestan Province, Gorgan, Iran, Email: Farazjoo_h@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:

Research Paper

Article history

Received: 10 November 2024

Revised: 22 January 2024

Accepted: 25 January 2024

Published online: 13 June 2025

Keywords: Individual Remove of Sub-watershed, Runoff Storage, Special Index f, SCS, HEC-HMS

ABSTRACT

Periodic floods are causing increasing destructive impacts and resulting in human and financial losses in many parts of the country. In this context, identifying flood-prone areas within watersheds and prioritizing sub-watersheds for implementing watershed management projects as a preventive measure against floods is considered one of the effective strategies in natural resource management. In this study, the contribution of sub-watersheds to the total flood runoff, based on a 50-year return period, was determined by integrating Geographic Information System (GIS) and HEC-HMS hydrological modeling. Then, the three sub-watersheds of the study area were divided into 18 management units. Using the SCS model and the individual sub-watersheds removal method, along with the flood-specific index, the sub-watersheds and management units of the watershed were prioritized for the implementation of watershed management operations. The findings indicated that management units 10, 14, and 16, with a peak discharge of $647.9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ in sub-watersheds CH3; management unit 7, with a peak discharge of $80.9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ in sub-watersheds CH2; and management units 3 and 5, with a peak discharge of $64.7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ in sub-watersheds CH1, are identified as having more critical conditions and higher priority for the implementation of control and protective measures. The results obtained from this study will enhance the accuracy and speed of selecting suitable locations, while also reducing costs for the managers of the implementation sectors. Additionally, strengthening vegetation cover and applying traditional methods, such as the construction of small dams in more critical areas, are recommended.

Citation: Hoseinie, S.S., Heshmatpour, A., Rouhani, H., & Farazjoo, H. (2025). Prioritizing watershed management practices based on hydrological factors In Chehelchay Watershed. *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 13(1), 49-66.

DOR:

Publisher: Iranian Rainwater Catchment Systems Association

© Author(s)



***Corresponding author:** Ali Heshmatpour

Address: Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

Tel: +989377556379

Email: Heshmatpoura@gmail.com



Prioritizing watershed management practices based on hydrological factors in Chehelchay Watershed

Saeedeh Sadat Hoseinie¹, Ali Heshmatpour^{*2}, Hamed Rouhani³, Hassan Farazjoo⁴

1. M.Sc. Student, Department of Watershed Management, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran, Email: s_hoseinie@yahoo.com
2. Associate Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran, Email: Heshmatpoura@gmail.com
3. Assistant Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran, Email: HamedRouhani@gonbad.ac.ir
4. Former M.Sc. Student, Department of Watershed Management, Jihad-e-Keshavarzi Organization of Golestan Province, Gorgan, Iran, Email: Farazjoo_h@gmail.com

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Flooding in Iran due to special climate and topography, especially the rainfall regime with inappropriate temporal and spatial distribution, is one of the most important factors that threaten human capital and human facilities, which has caused a lot of life and financial losses in the past years. The most important and vital topics in hydrological studies, are the issue of flood and accordingly the necessity of investigating the maximum instantaneous discharge of the river regime, considering the major damages and problems caused by floods, dealing with this phenomenon and its influencing factors. Due to the suitable alternation between the slopes of the Alborz highlands and the Caspian Sea, the Chehelchay Watershed receives a lot of moisture and rain-producing masses with average atmospheric precipitation, which causes the generation of surface and underground water. It is of special importance in terms of water erosion and hydrology. On the other hand, the identification and improvement of critical areas in terms of the risk of flooding in the study area has not been done specifically. Based on this, the present research examines the contribution of each sub-watershed in the flooding of Chehelchay Watershed using Geographic Information System (GIS) and HEC-HMS software.

Methodology: After identifying the days of floods in the study area, the daily storms data related to these floods was collected. In the next step, the boundary of the study area was determined in the Arc Map Environment. Using the triangular irregular network (TIN) method, the DEM of the area was prepared. Calculation of the concentration-time was done using the American Soil Conservation Service (SCS) method. The curve number (CN) method was chosen to simulate the initial losses of precipitation and infiltration, and the hydrograph method of the SCS unit was used to determine the hydrograph of the direct runoff of the watershed.

e measured in a Soil Science Laboratory.

Results and Discussion: The results showed that sub-watershed CH1 with peak flow production of $115.3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ at the exit location has the highest amount and sub-watershed CH3 with peak flow rate of $64.79 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ has the lowest peak flow rate and in other management units of CH1, management unit 4 with the production of the peak flow rate of $1.34 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, the lowest peak flow rate, and management units. 3 and 5 with the production of the peak flow rate of $64.8 \text{ cubic meters per second}$, the highest peak flow rate, and in the sub-watershed CH2, which has two management units, with the production of the peak flow rate of 14.5 and 9.56 m^3 have the lowest and highest peak discharge values, respectively. In the sub-watershed CH3, management units. 10, 14 and 16 with the production of $647.9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ has the highest peak flow and working unit No. 12 with the production of $64.8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ have the lowest peak As it was observed, the amount of decrease in the peak discharge from the watershed is not necessarily proportional to the area of the sub-watersheds, and the sub-watersheds with higher discharges do not affect the flood discharge in the same proportion, and consequently, the area of the flood watershed areas will not necessarily change in proportion to the peak discharge and the flood function output and other parameters, this issue was observed in the calculation of flood of sub-watersheds in the HEC-HMS model by removing individual sub-watersheds each time the model is run.

Conclusion: In this research, with the integration of GIS and rainfall-runoff models, the mutual effect of physiographic and climatic factors on the flood potential of the sub-watersheds of the Chehelchay Watershed was studied. Considering the simultaneity of the peak discharge of the sub-watersheds and the role of trending flooding in rivers, flood priority in sub-watersheds based on specific peak discharge was done. The calculations obtained from the implementation of the model with the proposed method show that by dividing the area into

smaller sub-watersheds and flood trends in them, it is possible to identify flood-prone sub-watersheds according to their share in the output flood production in the entire area. In addition, the results of this research showed that the contribution of the sub-watersheds in the total outflow is related to the sub-watersheds that had more runoff per unit area. In short, it cannot be concluded that the sub-watersheds with higher peak discharges play a greater role in the outflow flood of the whole watershed. In general, the results of the analysis of 21 soil factors showed that various factors contribute to the formation of plant communities.

Ethical Considerations

Data availability statement: The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Funding: Her research was conducted in the form of thesis research and received financial support from Gonbad Kavous University.

Authors' contribution: Saeedeh Sadat Hoseinie, Ali Heshmatpour, Hamed Rouhani and Hassan Farazjoo as the authors of the paper, conducted all parts of the research and wrote the whole manuscript.

Conflicts of interest: The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

اولویت‌بندی عملیات آبخیزداری براساس عوامل هیدرولوژیکی در حوزه آبخیز چهل‌چای

سعیده سادات حسینیه^۱, علی حشمت‌پور^{۲*}, حامد روحانی^۳, حسن فرازجو^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران، s_hoseinie@yahoo.com
۲. دانشیار، گروه آبخیزداری، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران، Heshmatpoura@gmail.com
۳. استادیار، گروه آبخیزداری، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران، HamedRuohani@gonbad.ac.ir
۴. دانشآموخته کارشناسی ارشد، سازمان جهاد کشاورزی استان گلستان، گرگان، ایران، Farazjoo_h@gmail.com

مشخصات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی	وقوع سیالات های ادواری موجب افزایش خرب و تلفات جانی و مالی ناشی از آن در اکثر نقاط کشور در حال افزایش است. در این راستا، شناسایی مناطق مولد سیل در حوزه های آبخیز و اولویت‌بندی زیرحوزه های آبخیز به منظور اجرای طرح های آبخیزداری به عنوان یک اقدام پیشگیرانه سیالات از راهکارهای موثر باشد. در این مطالعه، ابتدا با تلفیق GIS و مدل سازی هیدرولوژیکی HEC-HMS میزان شارکت حوزه های آبخیز در تولید سیل خروجی کل حوزه بر اساس دوره برگشت ۵۰ ساله تعیین شده است. سپس سه زیرحوزه آبخیز منطقه مورد مطالعه به ۱۸ واحد کاری تقسیم شد، با استفاده از مدل SCS و روش تکرار حذف انفرادی زیرحوزه های آبخیز و شاخص ویژه سیالات، زیرحوزه های آبخیز و واحدهای کاری حوزه آبخیز مورد مطالعه از نظر اجرای عملیات آبخیزداری اولویت‌بندی شد. یافته ها نشان داد که واحد کاری ۱۴، ۱۰ و ۱۶ با تولید دبی اوج ۶۴۷/۹ متر مکعب بر ثانیه در زیرحوزه آبخیز CH3، واحد کاری ۷ با تولید دبی اوج ۸۰/۹ متر مکعب بر ثانیه در زیرحوزه آبخیز CH1 به ترتیب با شرایط بحرانی تر و اولویت بالاتری در انجام عملیات کنترلی و حفاظتی قرار دارند. نتایج به دست آمده از این مطالعه، توانایی افزایش دقت و تسريع در انتخاب مکان مناسب و کاهش هزینه ها برای مدیران بخش های اجرایی به همراه خواهد داشت. همچنین تقویت پوشش گیاهی و به کارگیری روش های سنتی همچون احداث آبندان در مناطق بحرانی تر پیشنهاد می شود.
تاریخچه مقاله	
دریافت: ۱۴۰۳ آبان ۲۰	
بازنگری: ۱۴۰۳ بهمن ۰۳	
پذیرش: ۱۴۰۳ بهمن ۰۶	
انتشار برخط: ۱۴۰۴ خرداد ۲۳	
واژه های کلیدی:	استناد: حسینیه، سعیده سادات، حشمت‌پور، علی، روحانی، حامد و فرازجو، حسن. (۱۴۰۴). اولویت‌بندی عملیات آبخیزداری براساس عوامل هیدرولوژیکی در حوزه آبخیز چهل‌چای. سامانه های سطح آبگیر باران، ۱(۱)، ۴۹-۶۵.
DOR:	ناشر: انجمن علمی سیستم های سطح آبگیر باران ایران



نویسندها

* نویسنده مسئول: علی حشمت‌پور

نشانی: گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران

تلفن: ۰۹۳۷۷۵۶۳۷۹

پست الکترونیکی: Heshmatpoura@gmail.com

مقدمه

سیل یکی از مهم‌ترین خطرات جهانی است (Raikes et al., 2023) و بدلیل تغییرات اقلیمی، موقعیت و گسترش سکونتگاه‌های شهری در مناطق پر خطر صدمات جبران ناپذیر آن به سرعت در حال افزایش است. و جزو آن دسته از حادث طبیعی است که همیشه به عنوان بلای طبیعی قلمداد شده است (ثروتی و همکاران، ۱۳۹۰). هرچند سیل در موقع بارش‌های شدید و بی در بی روی می‌دهد، ولی شدت آن در حوزه‌های آبخیز مختلف بدلیل تنافوت در ساختار بستر جریان و متغیرهای دیگر محیطی متغروف است (Pitilich, 1994 و هابی، ۱۳۸۵). آمار موجود نشان می‌دهد که تعداد وقوع بلایای طبیعی ناشی از سیلاب در حال افزایش بوده و این روند افزایشی از حدود نیمه دوم دهه ۹۰ میلادی شدت یافته است. اما این روند در قاره‌ای آسیا شدیدتر از سایر قاره‌ها بوده است. دلیل این امر می‌تواند افزایش جمعیت و شدت یافتن پدیده فقر در این قاره باشد. و کشور ما از نظر تعداد وقایع سیلاب، در بین مناطق متوسط جهان قرار دارد. بنابراین مسئله وجود سیلاب و خسارات مالی و تلفات جانی ناشی از آن از اهمیت خاصی برخوردار است (بزرگی و ابراهیم لوبه، ۱۳۸۵). به همین خاطر، سیل را باید یکی از جدی‌ترین بیانیه‌های طبیعی به شمار آورد. تنها محدودی از کشورهای جهان را می‌توان یافت که فارغ از مسائل و معایب سیل باشند. در کشور ما اکثر آبخیزهای کوهستانی و صعب‌العبور، فاقد ایستگاه‌های اندازه‌گیری به تعداد کافی هستند و هر گونه برنامه‌ریزی عمرانی و مدیریتی را با معضل و یا حتی شکست مواجه می‌سازند (Rostamian، ۱۳۸۵). پیچیدگی‌های سیستم‌های هیدرولوژیکی، کمبود و نقص اطلاعات در دسترس و کمبود ایستگاه‌های هیدرومتری تحلیل و پیش‌بینی وقایع هیدرولوژیکی و برآورد سیلاب را به جهت مدیریت آن دچار مشکل می‌سازد (حاتمی یزد و قهرمان، ۱۳۸۶). برای مقابله با این معضل، متخصصین علم آبخیزداری، هیدرولوژیست‌ها و محققین منابع آب راه حل‌های مختلفی عرضه نمودند. در این ارتباط روغنی و همکاران (۱۳۸۹) به این نتیجه رسیدن که به کارگیری روش‌های مختلف نظیر مخازن متواالی، استفاده تلفیقی از عملیات سازه‌ای و غیرسازه‌ای و استفاده اصولی از اراضی در به حداقل رساندن دبی اوج سیلاب موثر واقع شود. اخیراً حشمت پور و محمدیان (۱۴۰۳) اظهار نظر داشتند که به کارگیری روش‌های سنتی همچون آب‌بندان در حوزه‌های غیرهیدرولوژیک می‌تواند از شکل‌گیری سیلاب و تغییرات کمی آن موثر باشد. همچنین (Raikes et al., 2023) نیز اعلام داشتند که مدیریت موثر خطرات سیل مستلزم ترکیبی از روش‌های سیاستی است. از طرفی به عقیده (Xie et al., 2023) a) نیز این اعلام داشتند که مدیریت موثر خطرات سیل می‌تواند از پیشگیری بایای سیلاب و تغییرات کمک کند. همچنین عقیده بر این است که شیوه‌سازی مشارکت موثر و جدی مردم از طریق اشکال مختلف می‌تواند از پیشگیری بایای سیلاب کمک کند. همچنین عقیده بر این است که پدیده‌های هیدرولوژی در حوزه‌های آبخیز می‌تواند راه حل بهینه‌ای برای آن‌ها باشد (Rostamian, ۱۳۸۵). در سال‌های اخیر مدل‌های آبخیز پذیری به طور فزاینده‌ای برای اجرای استراتژی‌های مدیریتی متناوب در سطوح تشخیص منابع آب، کنترل سیل و تأثیر تغییر کاربری اراضی استفاده می‌شوند (Setgn, 2008). ارزش واقعی هر مدل وابسته به آن است که نیازهای اطلاعاتی بهره‌بردار را برآورده نماید، از اعتماد و دقت قابل توجهی برخوردار باشد، به حداقل اطلاعات ورودی نیاز داشته و اطلاعات در دسترس باشد و این که نتایج حاصل از مدل کارایی داشته باشد (فیض‌نیا، ۱۳۸۷).

سیل در ایران به عنوان یک پدیده طبیعی با تأثیرات گستردگی بر جامعه و محیط زیست، بهویژه در مناطقی با توپوگرافی متنوع و اقلیم نیمه‌خشک، یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها محسوب می‌شود. اقلیم ایران بهویژه به دلیل ویژگی‌های خاص بارندگی و بارش‌های فعلی و غیرمنتظم، باعث می‌شود که بروز سیلاب‌ها در برخی نواحی بهطور ناگهانی و با شدت بالا رخ دهد بارندگی‌های کوتاه‌مدت اما شدید که در سیاری از مناطق کشور در فصل‌های خاصی از سال رخ می‌دهند، باعث ایجاد جریان‌های سیلایی می‌شود که بهویژه در مناطق کوهستانی و دشت‌های سیلایی، آسیب‌های زیادی به زیرساخت‌ها، کشاورزی و حتی جان انسان‌ها وارد می‌کند. بنابراین شکل‌گیری سیلاب یک فرآیند چندوجهی است که نیازمند درک عمیق از تعاملات پیچیده بین عوامل طبیعی و انسانی است. برای پیش‌بینی دقیق و بهبود مدیریت سیلاب‌ها، لازم است که از مدل‌های پیشرفته و داده‌های دقیق مربوط به بارش، توپوگرافی، پوشش گیاهی، ویژگی‌های خاک و تغییرات انسانی استفاده شود. به کارگیری این مدل‌ها می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان کمک کند تا راهکارهای موثری برای کاهش خسارات سیلاب‌ها ارائه دهد. از این‌رو درک دقیق این عوامل و تعاملات آن‌ها برای پیش‌بینی، مدیریت و کاهش آسیب‌های ناشی از سیلاب‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این راستا برخی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در بروز سیلاب و روش‌های مورد استفاده برای برآورد آن که توسط محققان مورد بررسی شده است به شرح زیر است.

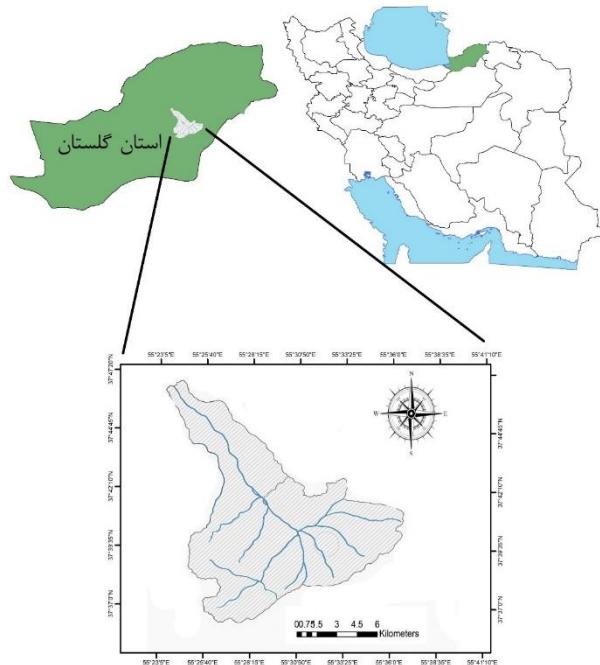
سلیمانی و همکاران (۱۳۸۷) به بررسی پتانسیل تولید سیل در حوزه آبخیز کسیلیان پرداختند، و بدین ترتیب میزان تأثیر هر یک از زیرحوزه‌های آبخیز را در تولید سیل خروجی به دست آورند. نتایج تحقیق نشان داد که موقعیت مکانی زیرحوزه‌های آبخیز نسبت به خروجی می‌تواند نقش مؤثری در سیل خیزی آن‌ها داشته باشد. نظری و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیق خود با استفاده از روش حذف انفرادی در حوزه آبخیز در جریان به اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز پرداخته و نشان دادند که مشارکت زیرحوزه‌های آبخیز در تولید سیلاب به طور مستقیم به یک عامل خاص وابسته نیست. بلکه اثرات متقابل عوامل مختلف موقعیت مکانی، مساحت، و ویژگی‌های هیدرولوژیکی زیرحوزه‌های آبخیز، نقش مهمی در سهم آن‌ها در سیل خیزی دارند. نتایج نشان می‌دهد که زیرحوزه‌های بزرگ‌تر با دبی اوج بیشتر لزوماً تأثیر بیشتری در سیلاب ندارند، بلکه عوامل پیچیده‌تری مانند روندیابی آب در رودخانه اصلی و تعاملات مختلف بین ویژگی‌های زیرحوزه‌ای تعیین‌کننده هستند. اخیراً نصیری خیاوی و همکاران (۲۰۲۳) با مقایسه روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره، بحرانی‌ترین زیرحوزه آبخیز را از نظر سیل خیزی در حوزه آبخیز چشم‌های کلیه تعیین کردند. این مطالعه نشان داد که روش MCDM نسبت به سایر روش‌های دیگر عملکرد خوبی در شناسایی مناطق بحرانی دارد. Muller & Reinstorf (2001) نیز در حوزه آبخیز کوچک شهری در منطقه شرق سانتیاگو شیلی، اقدام به شناسایی سناریوهای کاربردی اراضی

برای مدل‌سازی خطر سیل نمودند. در این تحقیق با توجه به تغییرات رو به توسعه استفاده از زمین و پوشش گیاهی همراه با تغییرات آب و هوایی، اقدام به بررسی تغییرات اقلیم و سناریوهای استفاده از زمین در منطقه مورد مطالعه نمودند. نتایج حاصل از آن رضایت بخش بود. مقادیر رواناب به همراه نقشه‌های خطر سیل می‌تواند به عنوان منبع اطلاعاتی مهمی برای انطباق تغییر شرایط در منطقه با وضعیت موجود در نظر گرفته شوند. حوزه آبخیز چهل‌چای به سبب جایگزینی مناسب بین دامنه‌های ارتفاعات البرز و دریای خزر دریافت کنده توده‌های مرتبط و باران‌زا با متوسط ریزش‌های جوی فراوان بوده و موجب تولید آب‌های سطحی زیادی می‌شود و از نظر فرسایش آبی و هیدرولوژی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، همچنین بررسی مشکلات و اولویت‌بندی بخش‌های مختلف برای ارائه برنامه‌های مدیریتی جهت کاهش اثرات بلایای طبیعی در حوزه آبخیز چهل‌چای به صورت دقیق انجام نشده است. از طرفی برای دستیابی و اثربخشی اقتصادی و کارایی فنی، تصمیم‌گیرندگان باید سرمایه گذاری‌ها را به طور بهینه به بحرانی‌ترین حوزه‌های آبخیز تخصیص دهند (Sharma et al., 2023). از سوی دیگر مدیریت بهتر بحران‌ها، پیش‌بینی و هشدارهای به موقع، و آماده‌سازی زیرساخت‌ها می‌تواند اثرات سیل را کاهش دهد. همچنین بررسی و تحلیل مشکلات ناشی از سیل نه تنها به مدیریت بحران کمک می‌کند بلکه موجب کاهش خطرات بر جامعه، بهبود زیرساخت‌ها، حفاظت از محیط زیست و کاهش خسارات اقتصادی می‌شود. از این‌رو، این فرایند می‌تواند تاثیرات عمیقی در کوتاه مدت و بلند مدت بر جوامع داشته باشد و به ایجاد یک سیستم منسجم و مقاوم در برابر بلایای طبیعی کمک کند. در این راستا این مطالعه، با به کارگیری روش‌های تلفیقی نرم‌افزار GIS و HEC-HMS هریک از زیرحوزه‌های آبخیز مورد مطالعه را از نظر پتانسیل سیل‌خیزی بررسی می‌کند، سپس با استفاده از مدل SCS و روش تکرار حذف انفرادی زیرحوزه‌های آبخیز، به اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز جهت کمک به مدیران بخش‌های اجرایی برای پیاده‌سازی عملیات آبخیزداری در مناطق بحرانی‌تر حوزه آبخیز چهل‌چای پرداخته است.

مواد و روش تحقیق منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز چهل‌چای با مساحتی حدود ۲۵۶۸۳/۲ هکتار در موقعیت جغرافیایی $30^{\circ} ۳۷' \text{E}$ ، $۳۰^{\circ} ۵۵' \text{N}$ طول شرقی
الی $۳۷^{\circ} ۱۵' \text{E}$ عرض شمالی قرار دارد. از شمال به شهر مینودشت، از غرب به ارتفاعات محمد زمان خان و دشت حلقه، از شرق به حوزه رودخانه چهل‌چای و از جنوب به حوزه آبخیز تیل آباد محدود است (آقابی و همکاران، ۱۳۹۹). این حوزه آبخیز از لحاظ هیدرولوژیک به سه زیرحوزه آبخیز تقسیم می‌شود. از لحاظ تقسیمات سیاسی نیز در محدوده شهرستان مینودشت قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه در زیرحوزه بزرگ گرگان‌رود بوده که با نام حوزه آبخیز چهل‌چای است. آبراهه‌های اصلی حوزه آبخیز با جهت کلی جنوب به شمال نزولات جوی را جمع‌آوری می‌کنند. موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

بررسی میزان آبدی و پراکنش چشممه‌های منطقه نشان می‌دهد که علی‌رغم گسترش نسبتاً خوب سازندهای کربناته و قابل توجه بودن ریزش‌های جوی، آبدی‌های منابع آب چندان قابل توجه ناست. آبدی‌هی رودخانه حوزه آبخیز چهل‌چای از مهر تا فروردین افزایش می‌یابد به‌طوری که حداقل آبدی‌هی را در فروردین ماه شاهد هستیم. همچنین در حوزه آبخیز چهل‌چای حدود ۹۰ درصد برداشت آب رودخانه جهت مصارف کشاورزی و بقیه آن جهت مصارف خدماتی و صنعتی است (شرکت مهندسین مشاور روان آب، ۱۳۸۴). خصوصیات فیزیوگرافی از جمله شیب، جهت شیب و ارتفاع و... می‌تواند بسیاری از عوامل آب و هوایی نظیر درجه حرارت، ریزش‌های جوی سالانه را تعديل نماید و به‌طور کلی موجب پیدایش انواع مختلف آب و هوایی موضعی و منطقه‌ای شود. همچنین دانستن خصوصیات فیزیوگرافی یک حوزه آبخیز همراه با داشتن اطلاعاتی از شرایط آب و هوایی منطقه می‌تواند تصویر نسبتاً دقیقی از کارکرد کیفی و کمی سیستم هیدرولوژیکی آن حوزه آبخیز به دست دهد. در محاسبه هر یک از خصوصیات فیزیوگرافی و توپوگرافی از متدائل‌ترین روش‌های محاسباتی استفاده شده است. در جدول (۱) برخی از ویژگی‌های فیزیکی حوزه آبخیز چهل‌چای آورده شده است.



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه
Figure 1- Map of the study area

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیوگرافی حوزه آبخیز چهلچای
Table 1- Some physiographic features of Chehelchay Watershed

مقدار				پارامترهای فیزیوگرافی
CH3	CH2	CH1	کل حوزه آبخیز	
66.75	71.26	118.82	256.83	مساحت (کیلومتر مربع)
46.19	45.99	53.89	95.24	محیط (کیلومتر)
1510	2090	2570	2570	حداکثر ارتفاع حوزه آبخیز (متر)
190	530	490	190	حداقل ارتفاع حوزه آبخیز (متر)
180	128.75	366.75	675.5	طول آبراهه اصلی (کیلومتر)
37.79	34.82	37.39	36.78	متوسط شیب حوزه (درصد)

روش تحقیق

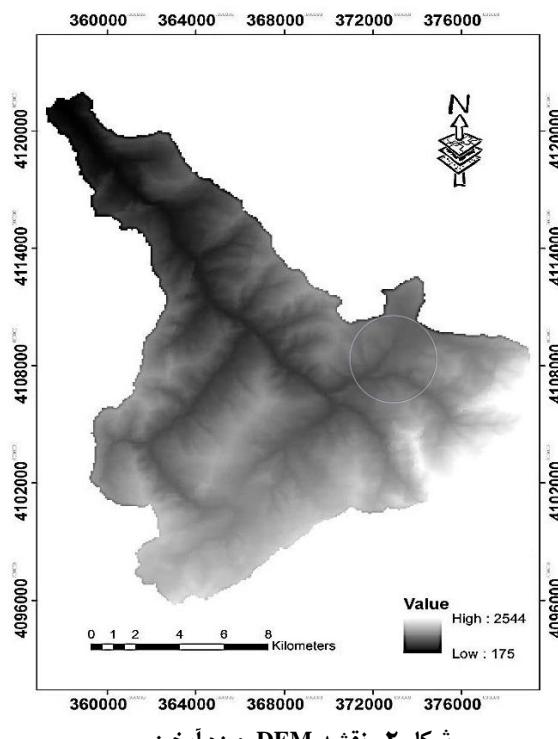
پس از شناسایی روزهای سیالابی در حوزه آبخیز مورد مطالعه، نسبت به تهیه و جمع‌آوری رگبارهای روزانه مربوط به این سیالاب‌ها اقدام شد. در بررسی سیالاب‌های مشاهده شده، دبی پیک لحظه‌ای سیالاب‌ها، در ساعت و روز مشخصی اتفاق افتاده بود، اما تداوم سیالاب‌ها در پاره‌ای از موارد می‌تواند متأثر از رگبارهای روز قبل و یا حتی بیش از یک روز باشد، که این آمارها از ایستگاه‌های باران‌سنگی داخل و بیرون حوزه آبخیز جمع‌آوری شد (جدول ۲). بنابراین آمار بارندگی همزمان با روز سیالابی جهت تحلیل و تهیه میانگین بارش برای هر زیرحوزه آبخیز و همچنین برای تهیه نقشه شماره منحنی (CN) حوزه آبخیز و زیرحوزه‌های آبخیز جمع‌آوری و تهیه شد.

جدول ۲- مشخصات وقایع بارش- رواناب مشاهداتی برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل HEC-HMS

Table 2- Characteristics of observational rainfall-runoff events for calibration and validation of HEC-HMS model

تاریخ وقوع سیالاب	دبی اوج سیالاب (مترمکعب بر ثانیه)	ایستگاه آب‌سنگی
1386/07/07	50.5	
1388/05/24	7.4	
1390/06/05	64	مینودشت
1390/07/30	28.5	
1391/04/26	29	
1391/04/30	25.7	

پس از مشخص کردن شیت‌های ۱:۲۵۰۰۰ دربرگیرنده حوزه آبخیز چهل‌جای، نقشه‌های توپوگرافی رقومی از سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح تهیه و سپس این نقشه‌ها در محیط Arc GIS 10.2 زمین مرجع شد. در مرحله بعد در محیط Arc Map مرز حوزه آبخیز مورد مطالعه تعیین شد. با استفاده از روش شبکه نامنظم مثلثی^۱ (TIN)، مدل ارتفاعی حوزه آبخیز تهیه شد. ساختار اطلاعاتی شبکه‌های نامنظم مثلثی یکی از مناسب‌ترین ساختارهای مورد استفاده در تهیه DEM محسوب می‌شود (رجی فرد و نوری، ۱۳۷۶). شکل ۲ فرایند ساخت DEM در روش TIN مناسب‌ترین ساختارهای تیز در شب مانند سیچه‌های طولانی و یا رودخانه‌ها به خوبی عمل کند (Johnston., 1998). در این روش می‌تواند در مناطقی با شکسته‌های تیز در شب مانند سیچه‌های طولانی و یا رودخانه‌ها به خوبی عمل کند (Johnston., 1998). در این پژوهش نیز پس از بررسی فواصل خطوط تراز، اندازه سلول ۲۰ متر مناسب تشخیص داده شد و DEM حوضه با قدرت تفکیک مکانی ۲۰×۲۰ متر تهیه شد. پس از تهیه DEM باید خطاهای آن رفع شود. از جمله مهم‌ترین خطاهای ایجاد گودال‌های رقومی، مناطق مسطح و بدون شب است. این نوع خطاهای موجود در DEM از موانع عمدۀ کاربرد آن‌ها در مدل‌های هیدرولوژیک به حساب می‌آید. مرحله بعد برای رفع خطاهای موجود در DEM از روش Filling که در برنامه توسعه‌ای Hydrologic Modelling Arc_GIS10.2 در محیط نرم‌افزار ArcGIS در دسترس است، استفاده شد. در این روش، سلول‌های گودال به مناطق مسطح تبدیل می‌شوند و مزیت آن دستکاری نکردن سایر سلول‌ها است.



شکل ۲- نقشه DEM حوزه آبخیز
Figure 2- DEM map of the area

تجزیه و تحلیل آماری

شماره منحنی، پارامتر بی‌بعدی است که در روش SCS جهت تعیین تلفات اولیه و زمان تأخیر به کار می‌رود و تحت تأثیر گروه هیدرولوژیکی، رطوبت پیشین خاک و نوع کاربری اراضی است (مهدوی، ۱۳۸۸). نقشه کاربری اراضی با استفاده از پردازش تصویر ماهواره‌ای Landsat TM سال (۱۹۸۸) توسط اداره کل منابع طبیعی تهیه شده، دریافت و وارد محیط GIS شد. هم‌چنین با توجه به نقشه کاربری اراضی خاک حوزه آبخیز در دو گروه هیدرولوژیکی C و B دسته‌بندی شد. سپس نقشه CN (با تلفیق نقشه کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک برای کل حوزه آبخیز و زیرحوزه‌های آبخیز) که با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در محیط برنامه ILWIS محاسبه تا به عنوان برآورد اولیه در مراحل واسنجی استفاده شود.

محاسبه زمان تمرکز به روش SCS انجام شد رابطه (۱) که در عملیات هیدرولوژی برای حوزه‌های آبخیز بزرگ از روش سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) استفاده شد. در این روش برای به دست آوردن زمان تمرکز ابتدا زمان تأخیر محاسبه شد. زمان تأخیر حوزه آبخیز با توجه به رابطه‌های (۲) تا (۴) محاسبه شد.

¹ Triangular Irregular Network

$$T_C = 1.66 T_L \quad (1)$$

$$T_L = \frac{L^{0.8} (S+1)^{0.7}}{1900 * Y^{0.5}} \quad (2)$$

$$Y = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{A^{0.5}} \quad (3)$$

که در آن‌ها T_L : زمان تأخیر (ساعت)، L : طول رودخانه اصلی (فوت)، Y : شیب متوسط (درصد) و S : نمایه نگهداشت آب در سطح حوزه آبخیز (اینج) است که از رابطه (۴) به دست آمد:

$$S = \frac{24500}{CN} - 254 \quad (4)$$

مدل HEC_HMS مدرسی و عراقی نژاد (۱۳۹۳) یک ابزار نرم‌افزاری پیشرفته برای شبیه‌سازی پدیده‌های بارش-رواناب است که توسط مرکز مهندسی هیدرولوژیک ایالات متحده^۱ (HEC) توسعه یافته است. این مدل به ویژه برای تحلیل فرآیندهای هیدرولوژیکی در حوضه‌های آبریز مورد استفاده قرار می‌گیرد و توانایی شبیه‌سازی پاسخ حوضه‌ها به بارش‌ها و پیش‌بینی رواناب‌ها را فراهم می‌آورد. در این تحقیق، روش CN برای شبیه‌سازی تلفات اولیه بارش و نفوذ انتخاب شد و برای تعیین هیدروگراف (آنموند) رواناب مستقیم از روش هیدروگراف واحد SCS استفاده شد. جهت واسنجی مدل HEC_HMS، وارد کردن داده‌های بارش و رواناب متناظر آن لازم است. به این صورت که جهت تهیه هیدروگراف سیل از اطلاعات بارش ساعتی در زمان‌های مختلف از ایستگاه هیدرومتری استفاده شد.

تعیین زیرحوزه‌های آبخیز سیل خیز

پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی در واقع به عملی گفته می‌شود که طی آن حوزه آبخیز به سطوح و یا واحدهای همگن هیدرولوژیکی تقسیم می‌گردد. این کار با استفاده از میزان بارندگی، زمین‌شناسی، نوع خاک و کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه قبل انجام است. به‌طوری که سهم هر یک از این عوامل در ایجاد رواناب مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. اولین گام در طرح‌های مدیریتی سیلاب و دشت سیلابی داشتن نقشه‌های پهنه‌بندی و مناطق مولد سیل است. با توجه به توانایی‌های بالای سیستم (GIS) و تهیه نقشه‌ها، تجزیه و تحلیل‌ها در محیط این سیستم انجام شد. اولین کار برای برآورد پتانسیل تولید رواناب طبق روش (SCS)، تهیه نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک است. براساس این نقشه، حوزه آبخیز چهل‌چای دارای دوگره خاک شامل B و C است. به عبارت دیگر از نظر گروه‌های هیدرولوژیک خاک، بیشتر مساحت منطقه از نوع خاک‌هایی است که دارای بافت ریز یا سنگین است و عملاً غیرقابل نفوذ بوده و پتانسیل سیل خیزی بالای دارند.

تعیین مناطق مولد سیل و اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز

مدل بارش رواناب، پس از تأیید، به عنوان یک پایه تعیین سیل با استفاده از بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۵۰ ساله اجرا شد. هیدروگراف سیل در خروجی هر یک از زیرحوزه‌های آبخیز به دست آمد، با توجه به جاری شدن سیل با استفاده از روش پاسخ سیل واحد در هر بار اجرا در محیط HEC_HMS، زیرحوزه‌های آبخیز اولویت‌بندی شد. در روش حذف پی در پی (یک به یک)، در هر یک از زیرحوزه‌های آبخیز به‌طوری که یکی از واحدهای سلولی حذف می‌شود و تأثیر آن در مرحله شبیه‌سازی بر هیدروگراف خروجی کل تعیین می‌شود. شاخص اصلی جهت بررسی میزان تأثیرگذاری واحدها در دبی اوج خروجی تعیین شد که زیرحوزه آبخیزی که بیشترین سهم مشارکت در تولید سیل خروجی را به عهده داشته باشد، در گام نخست به عنوان سیل خیزترین زیرحوزه آبخیز شناخته شدند. سپس سایر زیرحوزه‌های آبخیز به ترتیب میزان مشارکت آن‌ها در سیل خروجی اولویت‌بندی شدند. دو نمایه سیل خیزی مورد استفاده به صورت رابطه‌های (۵) و (۶) تعریف شدند.

$$F = (\Delta Q_p / Q_p) * 100 \quad (5)$$

$$f = \Delta Q_p / A \quad (6)$$

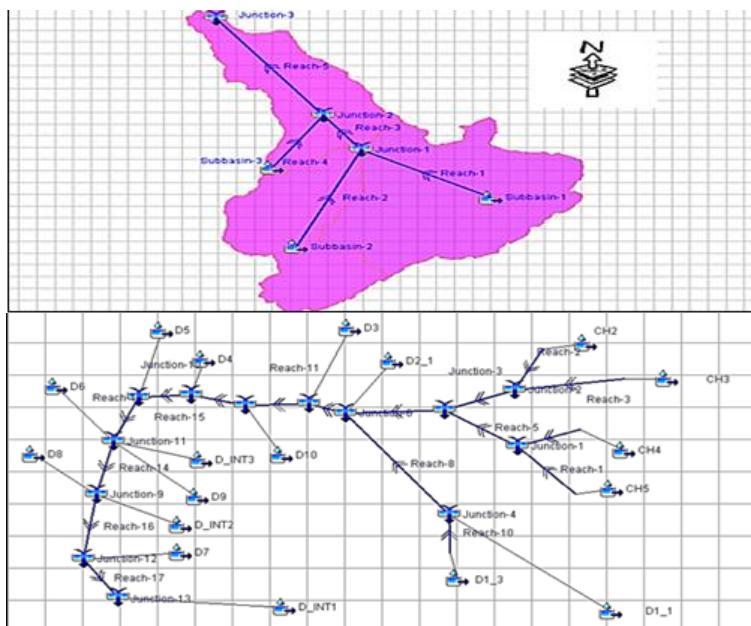
که در آن F : سهم مشارکت زیرحوزه آبخیز در دبی خروجی کل به درصد، ΔQ_p : مقدار کاهش در دبی خروجی کل در اثر حذف زیرحوزه آبخیز مورد نظر بر حسب مترمکعب بر ثانیه، Q_p : دبی خروجی کل حوزه آبخیز بر حسب متر مکعب بر ثانیه، f : سهم مشارکت زیرحوزه آبخیز در دبی خروجی کل حوزه آبخیز به ازای واحد سطح و A : مساحت زیرحوزه آبخیز به کیلومتر مربع است.

^۱ Hydrologic Engineering Center

نتایج و بحث

ابتدا با تلفیق نقشه تهیه شده از گروههای هیدرولوژیکی خاک و کاربری اراضی، مقادیر متوسط شماره منحنی (CN)، هر یک از واحدها در شرایط رطوبتی واقعی حوزه آبخیز در طول سال، از میانگین شرایط متوسط II مشخص شده (Akbari، ۱۹۹۸) و در مساحت تحت پوشش ضرب شد. از طریق تقسیم مجموع حاصل ضربها به مساحت کل حوزه آبخیز، شماره منحنی متوسط بدست آمد (مهدوی، ۱۳۸۸). در بررسی انجام شده مشخص شد که برای تعداد زیبادی از بارش‌های ثبت شده، هیدرولوگراف سیل ثبت نشده است و بالعکس برای تعداد زیبادی از هیدرولوگراف‌های ثبت شده، رگبار مربوطه ثبت نشده بود. با بررسی روی گراف‌های ثبت شده ایستگاه باران‌سنگی و لیمنوگراف و گزارش آماری از شرکت آب منطقه‌ای گلستان، تعداد ۶ واقعه برای شبیه‌سازی و ۲ واقعه برای اعتبار‌سنگی استفاده شد.

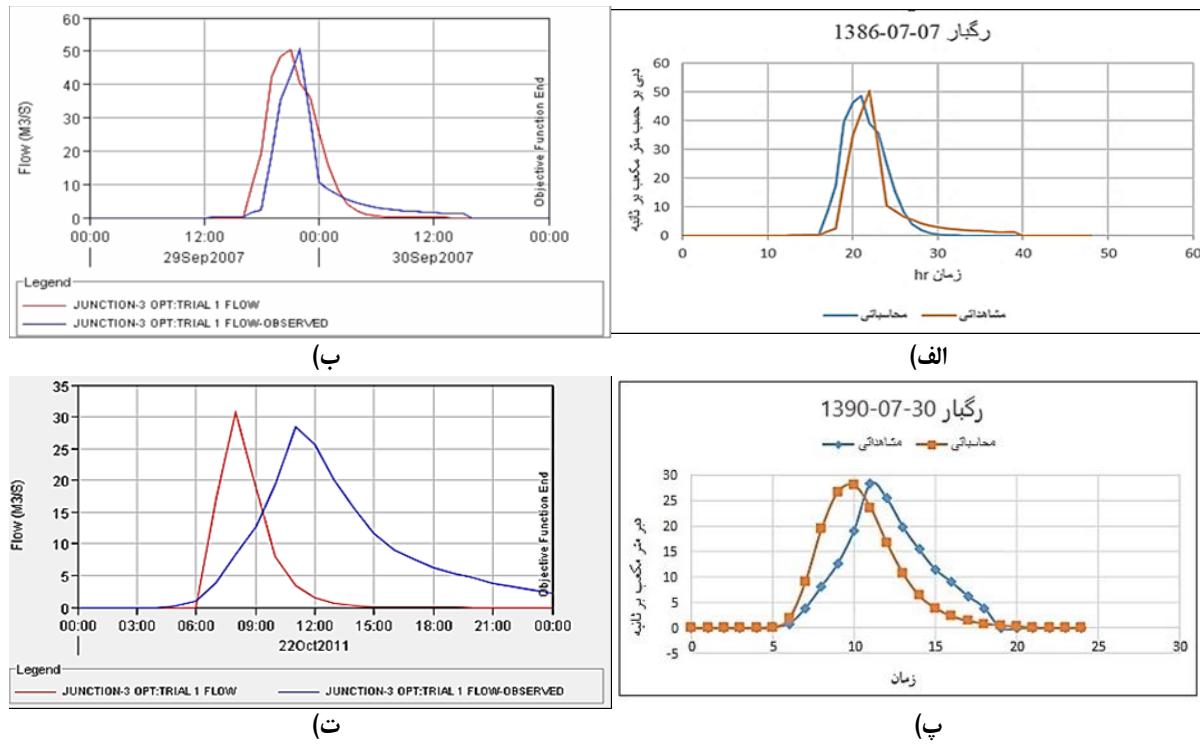
برای شبیه‌سازی طبق مواد و روش ارائه شده، از نرمافزار HEC-HMS و مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا، (SCS) استفاده شده که یکی از ورودی‌های این مدل، ایجاد مدل حوزه آبخیز است که این کار با استفاده از المان‌های موجود در HEC-HMS از جمله المان زیرحوزه آبخیز، بازه، تقاطع و زهکش انجام و در نهایت شکل شماتیک حوزه آبخیز چهل چار تهیه شد (شکل ۳).



شکل ۳- نمایش شماتیک حوزه آبخیز چهلچای

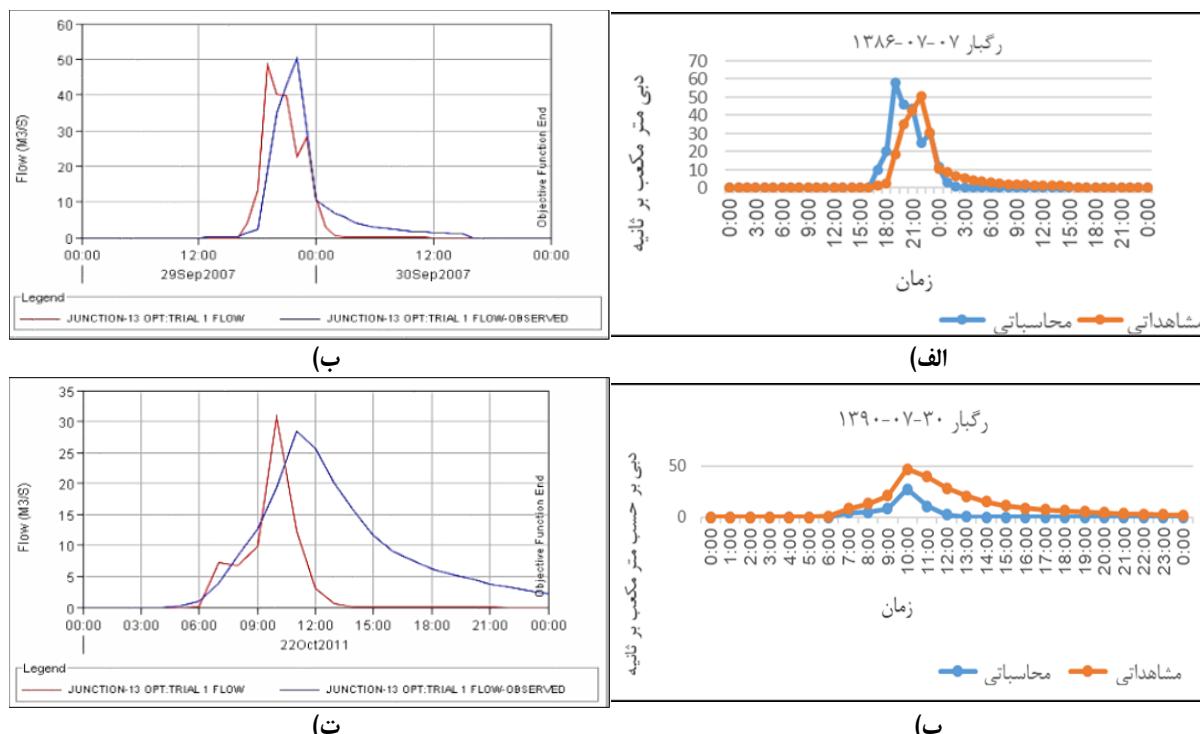
پس از وارد کردن داده‌های مریبوط به حوزه آبخیز، ایستگاه‌های هواشناسی و تنظیم مشخصه‌های کنترل مدل، شبیه‌سازی رویدادهای سیل انجام شد. در این روش، داده‌های سیلاب مشاهده شده به دو گروه تقسیم می‌شوند. ابتدا، پارامترهای مدل با استفاده از گروه اول داده‌ها و از طریق به کارگیری توابع هدف مختلف (مانند زمان تأخیر، تلفات اولیه و شماره منحنی)، واسنجی می‌شوند. پس از آن، مدل با پارامترهای بهینه شده برای گروه دوم داده‌ها اجرا شده و اعتبارسنجی می‌شود. در نهایت، هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مقایسه شده و دقت مدل ارزیابی می‌شود. هیدروگراف‌های حاصل از واسنجی هر رویداد در شکل ۴ برای زیرحوزه‌های آبخیز و شکل ۵ برای واحدهای کاری ارائه شده و همچنین نتایج مبهم به دینه شده اند. در جدول ۶، ارائه شده است.

با استفاده از میانگین پارامترهای بهینه شده در مرحله واسنجی، HEC-HMS با رویدادهای $1386/07/07$ و $1390/07/30$ اعتبارسنجی شد. جدول‌های ۳ و ۴ نیز دبی اوج، حجم سیل و زمان به اوج رسیدن هیدرولگرافها را مقایسه می‌کند. نتایج بررسی معیارهای ارزیابی مدل در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی در جدول ۵ بیان شده است. نتایج بررسی معیارهای ارزیابی مدل در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی در جدول ۶ ارائه شده است.



شکل ۴- سیل مشاهداتی و محاسباتی مربوط به واقعه انتخابی (الف- ۱۳۸۶/۰۷/۰۷ - ۱۳۹۰/۰۷/۳۰) قبل از واسنجی و سیل مشاهداتی و محاسباتی مربوط به واقعه انتخابی (ب- ۱۳۸۶/۰۷/۰۷ - ۱۳۹۰/۰۷/۳۰) بعد از واسنجی

Figure 4- Observational and computational flood related to the selected event on (A-2007/09/29 C- 2011/10/22) before calibration and flood of observations and calculations related to the selected event on (B-2007/09/29 D- 2011/10/22) after recalibration



شکل ۵- سیل مشاهداتی و محاسباتی مربوط به واقعه انتخابی (الف- ۱۳۸۶/۰۷/۰۷ - ۱۳۹۰/۰۷/۳۰) قبل از واسنجی و سیل مشاهداتی و محاسباتی مربوط به واقعه انتخابی (ب- ۱۳۸۶/۰۷/۰۷ - ۱۳۹۰/۰۷/۳۰) بعد از واسنجی

Figure 5- Observational and computational flood related to the selected event on (A-2007/09/29 C- 2011/10/22) before calibration and flood of observations and calculations related to the selected event on (B-2007/09/29 D- 2011/10/22) after recalibration

جدول ۳- مقایسه هیدروگراف مشاهداتی و محاسباتی پس از واسنجی و اعتبارسنجی (سه زیرحوزه آبخیز)

Table 3- Comparison of observational and calculated hydrographs after calibration and validation (three sub-watersheds)

ردیف	تاریخ رویداد	در هر رویداد	پارامترها	دیجی اوج (مترمکعب بر ثانیه)	حجم سیل (میلی‌متر)	زمان به اوج رسیدن سیل (سیل)
		مشاهده شده		4.30	1.3	7.4
۱	1388/04/25	مشاهده شده	شیوه‌سازی شده	3	0.3	7.6
		مشاهده شده		4.30	4.7	63.9
۲	1390/06/5	مشاهده شده	شیوه‌سازی شده	5.30	6	62.5
		مشاهده شده		۱	2.9	29
۳	1391/04/26	مشاهده شده	شیوه‌سازی شده	1.30	1.1	30.1
		مشاهده شده		2.30	2.7	4.1
۴	1391/04/30	مشاهده شده	شیوه‌سازی شده	3.30	1.2	39.7
		مشاهده شده		6	3.35	50.4
۵	1386/07/07	مشاهده شده	شیوه‌سازی شده	۴	4.09	48.7
		مشاهده شده		6	2.7	28.7
۶	1390/07/30	مشاهده شده	شیوه‌سازی شده	1.30	1.3	34.3

جدول ۴- مقایسه هیدروگراف مشاهداتی و محاسباتی پس از واسنجی و اعتبارسنجی (تقسیم زیرحوزه‌های آبخیز به ۱۸ واحد کاری)

Table 4- Comparison of observational and calculated hydrographs after recalibration and validation (divided into 18 management units)

ردیف	تاریخ رویداد	در هر رویداد	پارامترها	دیجی اوج (مترمکعب بر ثانیه)	حجم سیل (میلی‌متر)	زمان به اوج رسیدن سیل (سیل)
	1388/05/24	مشاهده شده		4.30	1.3	7.4
۱		شیوه‌سازی شده		2.30	0.3	7.8
		مشاهده شده		4.30	4.7	63.9
۲	1390/06/05	مشاهده شده	شیوه‌سازی شده	۴	4.2	61.3
		مشاهده شده		۱	2.9	29
۳	1391/04/26	مشاهده شده	شیوه‌سازی شده	1.30	2.4	27.6
		مشاهده شده		2.30	2.7	4.1
۴	1391/04/30	مشاهده شده	شیوه‌سازی شده	1.30	1.4	42.5
		مشاهده شده		6	3.5	50.4
۵	1386/07/07	مشاهده شده	شیوه‌سازی شده	۸	3.4	48.7
		مشاهده شده		۶	2.7	28.7
۶	1390/07/30	مشاهده شده	شیوه‌سازی شده	3.30	0.8	34.3

جدول ۵- مقادیر معیارهای ارزیابی مدل در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی (سه زیرحوزه آبخیز)

Table 5- Values of model evaluation criteria in the calibration and validation stage (three sub-watersheds)

ردیف	معیارهای ارزیابی	تاریخ رویداد	واسنجی	اعتبارسنجی
۱	تابع انحراف معیار وزنی دیجی اوج	1388/05/2	1390/07/30 1386/07/0 1391/04/30 1391/04/26 1390/06/05 1388/05/2	
۲	تابع مجموع مریعات باقی‌ماندها		5.7 3.7 2.7 4 3.6 0.3	2.8 2.9 4.2 1.1 2.03 0.1
۳	تابع قدرمطلق باقی‌ماندها			2.7 1.7 1.2 1.05 ¼ 0.3
۴	تابع درصد خطای دیجی اوج			8.7 3.4 0.5 3.6 2.2 4.9
۵	تابع درصد خطای حجمی			27.14 21.9 55.8 62 29.4 75.3
۶	معیارهای میانگین مریعات خطای			0.7 0.1 4.1 1.1 0.04 0.13
۷	میانگین قدرمطلق خطای (میانگین خطای مطلق)			0.1 1.09 0.3 0.02 0.03 0.4
۸	میانگین حداقل مریعات خطای			0.3 1.04 0.5 0.1 0.2 0.6
۹	قابلیت اطمینان مدل			0.93 0.2 0.8 0.6 0.87 0.4
۱۰	معیار کارایی ناش-ستاکلیف			0.49 0.8 0.5 0.6 0.5 0.8

جدول ۶- مقادیر معیارهای ارزیابی مدل در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی (تقسیم زیرحوزه‌های آبخیز به ۱۸ واحد کاری)

Table 6- Values of model evaluation criteria in the calibration and validation stage (divided into 18 management units)

معیارهای ارزیابی	تاریخ رویداد						عنوان
	اعتبارسنجی						
	۱۳۹۰/۷/۳۰	۱۳۸۶/۷/۷	۱۳۹۱/۴/۳۰	۱۳۹۱/۴/۲۶	۱۳۹۰/۶/۵	۱۳۸۸/۵/۲۴	
تابع انحراف معیار وزنی دبی اوج	4.5	2.4	1.03	1	1.8	0.3	1
تابع مجموع مربعات باقیمانده‌ها	0.7	6	2.1	1.9	6.6	0.2	2
تابع قدرمطلق باقیمانده‌ها	0.8	7.8	1.4	1.4	2.6	0.5	3
تابع درصد خطای دبی اوج	2.9	13.4	3.5	4.7	4	6.5	4
تابع درصد خطای حجمی	68	3.5	46	15.9	10.8	76.5	5
معیارهای میانگین مربعات خطأ	3.9	1.5	5.8	0.4	0.14	2.2	6
میانگین قدرمطلق خطأ	4	3.1	0.3	0.3	2.6	¼	7
میانگین حداقل مربعات خطأ	1.9	1.2	2.4	0.2	0.4	1.5	8
قابلیت اطمینان مدل	0.5	0.7	0.75	0.9	1	0.3	9
معیار کارایی ناش-ساتکلیف	0.8	0.9	0.6	0.7	0.7	0.3	10

نتایج حاصل از ارزیابی نشان داد که وقتی کل حوزه آبخیز به سه زیرحوزه آبخیز تقسیم شد، مدل در خصوص محاسبه دبی اوج و زمان مربوط به آن می‌تواند نتایج بسیار خوبی را ارائه نماید، به طوری که در مراحل واسنجی و ارزیابی مدل اختلاف دبی و زمان رسیدن به اوج هیدروگراف مشاهده‌ای و محاسباتی در تاریخ رگبارهای انتخابی ۷ مهر ۱۳۸۶ و ۳۰ مهر ۱۳۹۰ به ترتیب $\frac{۳}{۴}$ درصد و $\frac{۲}{۷}$ ساعت $\frac{۴}{۳۰}$ ساعت است جدول ۳ و ۵ و وقتی که سه حوزه آبخیز اصلی به واحدهای کاری کوچک‌تر تقسیم شد، باز هم مدل در خصوص محاسبه دبی اوج و زمان مربوط به آن در مرحله واسنجی و ارزیابی مدل اختلاف دبی و زمان رسیدن به اوج هیدروگراف مشاهده‌ای و محاسباتی در تاریخ رگبارهای انتخابی ۷ مهر ۱۳۸۶ و ۳۰ مهر ۱۳۹۰ به ترتیب $\frac{۳}{۴}$ درصد و $\frac{۲}{۹}$ ساعت است (جدول‌های ۴ و ۶).

لازم به ذکر است که مدل در برآورد حجم چندان موفق نبوده است. نتایج مربوط به حجم سیالاب ناشی از رواناب در هیدروگراف مشاهده‌ای و محاسباتی در واسنجی و ارزیابی مدل، در تمام رویدادهای انتخابی، سه رویداد آن در تقسیم‌بندی حوزه آبخیز به سه زیرحوزه آبخیز بالای ۵۰ درصد برآورد شد. همچنین وقتی که زیرحوزه‌های آبخیز به واحدهای کاری کوچک تقسیم شدند مجدداً مدل در برآورد مدل موفق نبوده است. نتایج مربوط به حجم سیالاب ناشی از رواناب در هیدروگراف مشاهده‌ای و محاسباتی در واسنجی و ارزیابی مدل، در تمام رویدادهای انتخابی، در دو رویداد بالای ۵۰ درصد و در یک رویداد بالای ۴۰ درصد برآورد شد (جدول‌های ۶ و ۷).

با توجه به معیارهای ارائه شده فوق و به خصوص میانگین قدرمطلق باقیمانده‌ها گرفت که مقادیر دبی مشاهده‌ای و محاسباتی دارای همبستگی و انطباق قابل قبولی هستند. طبق نتایج جدول ۶ و ۷ در اغلب موارد معیارهای کارایی مدل به خصوص معیارهای درصد خطای دبی پیک در زیرحوزه‌های آبخیز با مقادیر $\frac{۳}{۴}$ و $\frac{۸}{۷}$ و در واحدهای کاری با مقادیر $\frac{۲}{۹}$ و $\frac{۱۳}{۴}$ به عنوان کمترین و بیشترین میزان خطأ، معیار ناش-ساتکلیف با مقادیر حداقل و حداکثر $\frac{۴۹}{۴۰}$ درصد و $\frac{۸۰}{۳۰}$ درصد در زیرحوزه آبخیز و $\frac{۹۰}{۳۰}$ درصد در واحدهای کاری به دست آمد که برای تمامی رویدادهای سیل نتایج قابل قبول را نشان دادند.

در یک جمع‌بندی کلی، نتایج حاصل از این تحقیق را به شرح زیر می‌توان خلاصه کرد و در برنامه‌ریزی‌های آینده از آن جهت حل مشکلات کنترل و مهار سیالاب به کار برد. در این تحقیق با استفاده از برنامه HEC-HMS، براساس روش SCS میزان سهم هر کدام از زیرحوزه‌های آبخیز در سیل کل منطقه، تعیین شد. برای اولویت‌بندی از روش تکرار حذف انفرادی زیرحوزه‌های آبخیز استفاده شد. به این ترتیب میزان تأثیر هر یک از زیرحوزه‌های آبخیز در تولید سیل خروجی به دست آمد. سپس سایر زیرحوزه‌های آبخیز به ترتیب میزان مشارکت آن‌ها در سیل خروجی در اولویت قرار می‌گیرند. در نتیجه زیرحوزه‌های آبخیز چهل چای از نظر پتانسیل سیل خیزی اولویت‌بندی شد. در این تحقیق با دو شاخص F و α زیرحوزه‌های آبخیز اولویت‌بندی شدند. براساس نتایج جدول‌های ۷ و ۸ (ستون‌های ۳ و ۱۰ در زیرحوزه‌های آبخیز و ۳ و ۱۱ در واحدهای کاری)، به ترتیب زیرحوزه آبخیز CH1 با تولید دبی اوج $\frac{۱۱۵}{۳}$ مترمکعب بر ثانیه در محل خروجی بیشترین مقدار و زیرحوزه آبخیز CH3 با دبی اوج $\frac{۶۴}{۷۹}$ مترمکعب بر ثانیه، کمترین مقدار دبی اوج و در دیگر واحدهای کاری CH1، واحد کاری شماره ۴ با تولید دبی اوج $\frac{۳۴}{۱}$ مترمکعب بر ثانیه کمترین دبی اوج و واحد کاری شماره ۳ و ۵ با تولید دبی اوج $\frac{۶۴}{۸}$ مترمکعب بر ثانیه بیشترین دبی اوج و در زیرحوزه آبخیز CH2 که دارای دو واحد کاری است با تولید دبی اوج $\frac{۱۴}{۵}$ و $\frac{۵۶}{۹}$ مترمکعب به ترتیب دارای کمترین و بیشترین مقدار دبی اوج است. در زیرحوزه آبخیز CH3 واحد کاری ۱۰، ۱۴ و ۱۶ با تولید دبی اوج $\frac{۶۴}{۷}$ مترمکعب بر ثانیه بیشترین دبی اوج و واحد کاری ۱۲ با تولید دبی اوج $\frac{۶۴}{۸}$ مترمکعب بر ثانیه کمترین دبی اوج را به خود اختصاص می‌دهند. در ستون ۱۰ جدول‌های ۷ و ۸ براساس میزان مشارکت هر یک از زیرحوزه‌های آبخیز در سیل خروجی

حوزه آبخیز نشان داده شده است در مواردی که مساحت زیرحوزه‌های آبخیز اولویت‌بندی سیل‌خیز را تحت تأثیر قرار می‌دهند. می‌توان این اولویت‌بندی را به‌ازای واحد سطح زیرحوزه‌های آبخیز، انجام داد.

در بخش کنترل سیالاب، یکی از مهم‌ترین جنبه‌ها، ارزیابی میزان کاهش سیالاب خروجی به‌ازای واحد مساحت زیرحوزه‌های آبخیز است. هنگامی که تأثیر حذف زیرحوزه‌های آبخیز در روندیابی دبی اوج خروجی کل حوزه آبخیز بررسی می‌شود، مشخص می‌شود که میزان تأثیر آن‌ها تنها به مساحت و دبی اوج زیرحوزه بستگی ندارد. در واقع، اثرات متقابل عوامل مختلف، از جمله موقعیت مکانی زیرحوزه‌های آبخیز، می‌تواند تأثیرات قابل توجهی در روند شبیه‌سازی و پیش‌بینی سیالاب‌ها داشته باشد. این نتیجه‌گیری با یافته‌های مطالعات مختلف نیز هم‌خوانی دارد. برای مثال، حیدری چناری و همکاران (۱۴۰۱) در مطالعه‌ای به واسنجی و ارزیابی پارامترهای مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS پرداخته و نشان دادند که داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های مشاهده‌ای همبستگی بالایی دارند، که این امر با نتایج تحقیق حاضر نیز هم‌راستا است. هم‌چنین، میرزایی و همکاران (۱۴۰۲) در ارزیابی کارایی مدل HEC-HMS برای شبیه‌سازی فرایند بارش-رواناب به این نتیجه رسیدند که شماره منحنی SCS تأثیر زیادی در عملکرد مدل دارد و مدل توانسته است شبیه‌سازی‌های دقیق و قابل قبولی برای ایستگاه‌های مختلف ارائه دهد. نتایج این تحقیق نیز در شبیه‌سازی رویدادهای سیالاب با دقت قابل قبول تایید می‌شود. در مقابل، حسین‌زاده و ایمنی (۱۳۹۵) در ارزیابی مدل HEC-HMS برای محاسبه دبی اوج سیالاب به این نتیجه رسیدند که مدل در برآورد دبی اوج و رواناب به دلیل اختلاف بالای ۲۰ درصد بین دبی اوج محاسباتی و مشاهداتی، کارایی مطلوبی نداشته است. در این مطالعه، مدل HEC-HMS در پیش‌بینی سیالاب‌ها و دبی اوج به دقت بالای ۵۰ درصد در دو رویداد و بالای ۴۰ درصد در یک رویداد رسید، که نشان‌دهنده کارایی نسبی آن است، هرچند مدل در برآورد دقیق حجم سیالاب موفق نبوده است. هم‌چنین نوری و همکاران (۱۳۹۱) در ارزیابی مدل WMS/HEC-HMS به پیش‌بینی سیالاب‌ها پرداخته و نتایج صحبت‌سنگی نشان داد که روش SCS در شبیه‌سازی دبی اوج هیدرограф تطابق بهتری با داده‌های مشاهداتی دارد. این یافته‌ها با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد و دقت مدل HEC-HMS را در برآورد رواناب و پیش‌بینی سیالاب‌ها تأیید می‌کند. در نهایت، این مطالعات نشان می‌دهند که مدل HEC-HMS به‌طور کلی دقت قابل قبولی در شبیه‌سازی و پیش‌بینی سیالاب‌ها دارد و می‌تواند در مطالعات مشابه کاربردی باشد. هم‌چنین، استفاده از روش‌های تلفیقی و ترکیب مدل‌ها می‌تواند نتایج دقیق‌تر و قابل اعتمادتری در پیش‌بینی و مدیریت سیالاب‌ها ارائه دهد.

لازم به ذکر است که هدف از انجام عملیات آبخیزداری، بهویژه در پروژه‌های کنترل سیالاب، کاهش کامل سیالاب تا صفر در تمامی سطوح حوزه آبخیز نیست. بلکه این فعالیتها باید به‌طور جامع و با در نظر گرفتن مسائل اجتماعی و اقتصادی حوزه آبخیز و با تلفیق روش‌های مکانیکی و بیولوژیکی طراحی و اجرا شوند تا بهبود وضعیت آبخیز و کاهش خسارات سیلابی را به‌طور مؤثر تحقق بخشد (روغنی و همکاران، ۱۳۸۹).

همان‌گونه که مشاهده شد، میزان کاهش دبی اوج خروجی از حوزه لزوماً متناسب با مساحت زیرحوزه‌های آبخیز نبوده و زیرحوزه‌های با دبی پیش‌تر به همان نسبت بر دبی سیل خروجی تأثیرگذار نیستند و به‌تبع، مساحت پهنه‌های سیل‌گیر نیز لزوماً متناسب با دبی اوج تغییر نخواهد کرد و تابع سیل خروجی و پارامترهای دیگر است که این موضوع در محاسبه سیل زیرحوزه‌های آبخیز در مدل HEC-HMS با حذف انفرادی زیرحوزه‌های آبخیز در هر بار اجرای مدل مشاهده شد. شکل ۶ نقشه اولویت‌بندی واحدهای کاری در حوزه آبخیز چهل چای را نشان می‌دهد، در شکل‌های (۷ تا ۹) نیز نقشه اولویت‌بندی زیرحوزه آبخیز بر اساس واحد کاری را مشاهده نمود.

جدول ۷- اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز بر اساس میزان مشارکت آن‌ها در دبی اوج خروجی کل حوزه آبخیز (تقسیم حوزه آبخیز به ۳ زیرحوزه آبخیز)

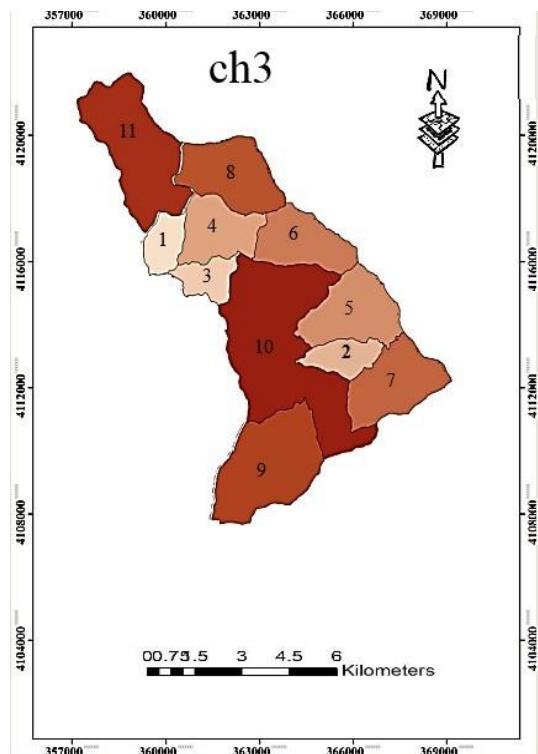
Table 7- Prioritization of sub-watersheds based on their participation in the peak discharge of the entire area (dividing the watersheds into three sub-watersheds)

زیرحوزه آبخیز (کیلومتر مربع)	مساحت (کیلومتر مربع)	دبی خروجی کل با حذف زیرحوزه آبخیز (سانتی‌مترمکعب) (ساله)	دبی با دوره بازگشت ۵۰ ساله (سانتی‌مترمکعب)	دبی خروجی کل مقدار کاهش در (د ردص) (سانتی‌مترمکعب) (زیرحوزه آبخیز) (د ردص)	f (د ردص)	(سانتی‌مترمکعب) (زیرحوزه آبخیز) (د ردص)	اوپریت‌بندی بر اساس دبی زیرحوزه آبخیز	اوپریت‌بندی بر اساس f	اوپریت‌بندی بر اساس
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
CH1	CH3	CH1	0.034	1.6	4.1	245.2	115.3	118.82	CH1
CH3	CH2	CH2	4.04	2.04	4.93	244.37	69.15	71.26	CH2
CH1	CH1	CH3	1.01	27.12	67.6	181.68	64.79	66.75	CH3
						249.3	256.83	کل حوزه آبخیز	

جدول ۸- اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز بر اساس میزان مشارکت آن‌ها در دبی اوج خروجی کل حوزه آبخیز (تقسیم سه حوزه آبخیز به ۱۸ واحد کاری)

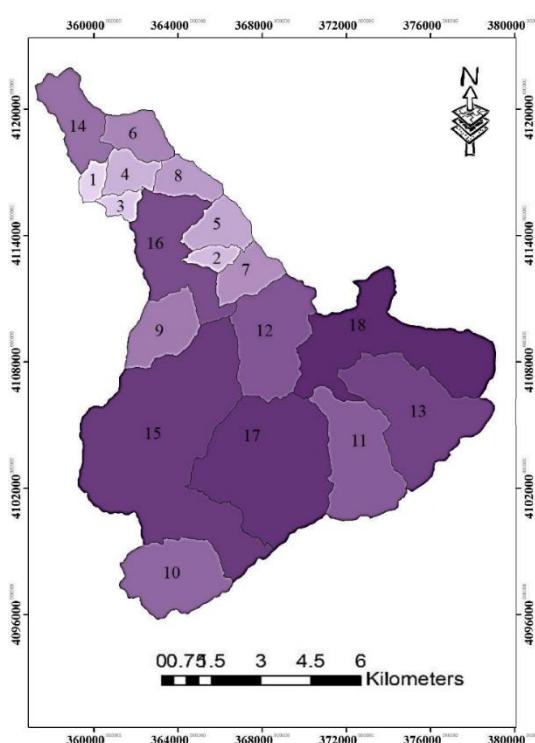
Table 8- Prioritization of sub-watersheds based on their participation in the peak discharge of the entire watershed (divide three sub-watersheds into 18 management units)

اولویت‌بندی بر اساس f	اولویت‌بندی بر اساس F	اولویت‌بندی بر اساس مساحت	اولویت‌بندی بر اساس دبی زیرحوزه آبخیز	f cms/sq.km	%F	مقدار کاهش در دبی خروچی (cms)	دبی خروچی کل با حذف زیرحوزه آبخیز (cms)	دبی با دوره بازگشت 50 ساله (cms)	مساحت (km ²)	واحد کاری	زیرحوزه آبخیز
(11)	(10)	(9)	(8)	(7)	(6)	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	
18	18	3	16	0.04	2.4	29.8	219.5	46.3	27.6	1	
15	13	4	15	0.18	8.1	17.5	231.8	49.8	23.1	2	CH1
12	12	5	11	0.27	9.5	14.5	234.8	64.8	17.6	3	
17	17	2	17	0.06	3.7	42.7	26.06	34.1	34	4	
13	15	6	14	0.23	7.1	17	232.3	64.8	17.2	5	
16	7	1	18	0.1	11.3	62.1	187.2	23.2	56.9	6	CH2
11	14	8	12	0.3	7.8	15.4	233.9	80.9	14.5	7	
7	1	13	8	1.14	12.6	6.4	242.9	215	5.6	8	CH3
9	11	10	10	0.7	9.8	10	239.3	129.5	8.8	9	
3	4	16	2	3.1	2.3	¾	249.5	647.9	2.3	10	
5	6	12	5	1.2	11.6	5.7	243.6	215.9	5.6	11	
14	16	7	13	0.2	5.6	15.7	233.6	64.8	5.7	12	
6	9	14	7	1.17	10.9	6.2	243.1	215.9	4.7	13	
2	3	17	3	3.5	12.34	3.6	245.7	647.9	2.05	14	
4	5	15	4	1.5	11.7	5.6	243.7	223.9	4.3	15	
1	2	18	1	3.52	12.5	3.2	246.1	647.9	2.04	16	
8	8	11	6	1.1	11.07	6.1	243.2	215.9	5.8	17	
10	10	9	9	0.6	10.3	8.9	240.4	129.6	9.12	18	
249.3											کل حوزه آبخیز



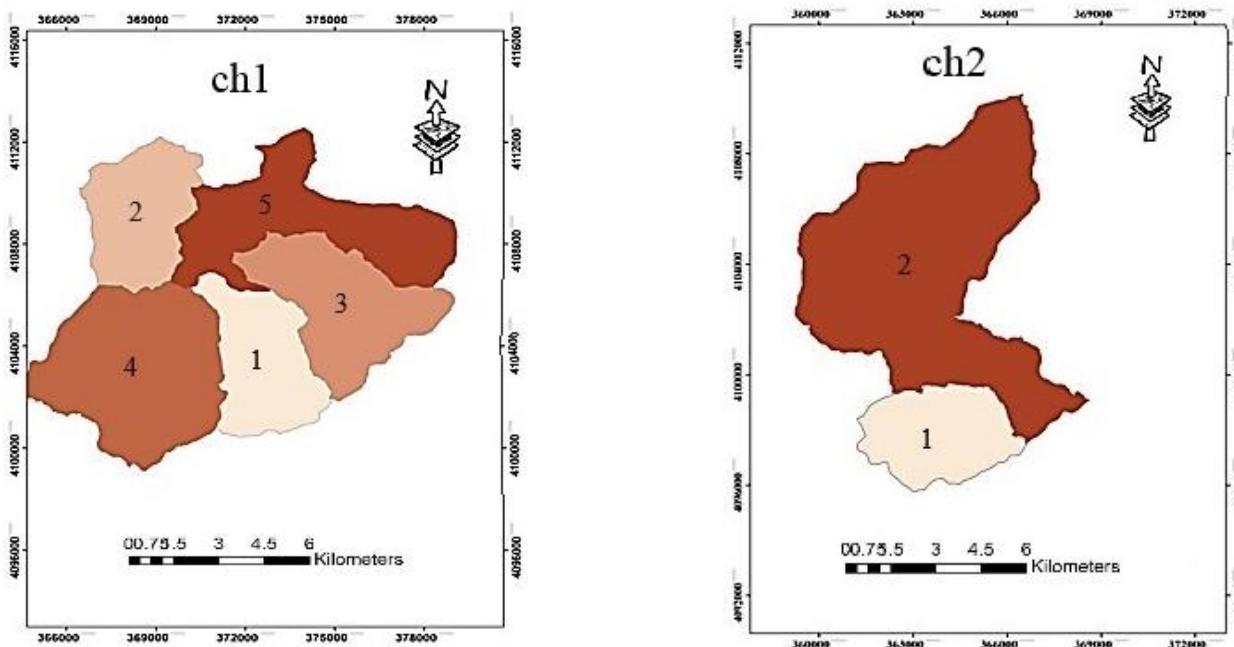
شکل ۷- نقشه اولویت‌بندی زیرحوزه آبخیز CH3

Figure 7- Prioritization map of sub-watershed CH3



شکل ۶- نقشه اولویت‌بندی واحدهای کاری

Figure 6- Prioritization map of management units



شکل ۹- نقشه اولویت‌بندی زیرحوزه آبخیز CH1
Figure 9- Prioritization map of sub-watershed CH1

شکل ۸- نقشه اولویت‌بندی زیرحوزه آبخیز CH2
Figure 8- Prioritization map of sub-watershed CH2

نتیجه‌گیری

نتایج نشان می‌دهد که با تقسیم حوزه آبخیز به زیرحوزه‌های آبخیز کوچک‌تر و روندیابی سیل در آن‌ها می‌توان مناطق سیل‌خیز را با توجه به سهمی که در تولید سیل خروجی دارند، شناسایی کرد. همچنین نتایج نشان داد که میزان مشارکت زیرحوزه‌های آبخیز در دبی خروجی کل مربوط به زیرحوزه‌های آبخیزی است که رواناب بیشتری در واحد سطح داشتند. بهطور خلاصه نمی‌توان نتیجه گرفت که زیرحوزه‌های آبخیز با دبی اوج بیش‌تر تأثیر بیشتری در سیل خروجی کل حوزه آبخیز نقش ایفا می‌کنند. بهطور کلی اولویت‌بندی عملیات آبخیرداری باید بر اساس یک تحلیل جامع و همه‌جانبه از وضعیت‌های محیطی، اجتماعی، اقتصادی و مدیریتی منطقه انجام شود. همچنین، بهدلیل تفاوت‌های طبیعی و اقتصادی میان مناطق مختلف، ضروری است که هر منطقه بر اساس ویژگی‌ها و نیازهای خاص خود رویکردهایی ویژه برای آبخیرداری اتخاذ کند. این امر نیازمند همکاری و مشاوره با متخصصان محلی، سازمان‌های دولتی و نهادهای علمی است تا با استفاده از داده‌ها و تجارب بومی، تصمیمات بهینه و کارآمد اتخاذ شود.

کاشت درختان و گیاهان بومی در حوزه‌های آبخیز کمک می‌کند تا خاک ثابت شده و از فرسایش آن جلوگیری شود همچنین گیاهانی مانند علف‌ها و بوته‌ها می‌توانند از رواناب جلوگیری کرده و به نفوذ آب در خاک کمک کند. در برخی از مناطق نیز، ساخت بندهای خاکی و سنگی، سیل بندها و دیوارهای نفوذی بهمنظور ذخیره آب و کاهش سرعت جریان سیلاب‌ها می‌تواند موثر باشد. همچنین تراس‌های خاکی و سنگی در مناطق شبکه‌دار می‌تواند از سرعت جریان آب کاسته و به نفوذ بهتر آب به خاک کمک کند این روش بهویژه در مناطق کوهستانی و تپه‌ای موثر است. از دیگر روش‌های بهبود شرایط و کاهش خطرات سیلاب‌ها می‌توان به آموزش کشاورزان در زمینه روش‌های آبخیزداری، نحوه مدیریت منابع آبی و نحوه مقابله با فرسایش خاک اشاره نمود. همچنین احداث کانال‌های هدایت سیلاب و سدهای آبخیزداری کوچک، بازیابی و احیای سیلاب‌گیرها و کنترل و مدیریت رودخانه‌ها و نهرها می‌تواند در موقع بارش‌های سنگین مفید باشد. ترکیب این روش‌های مختلف آبخیزداری نه تنها به کنترل سیلاب‌ها کمک می‌کند بلکه به مدیریت بهینه منابع آب و بهبود کیفیت خاک نیز می‌انجامد. این اقدامات به ویژه در مناطقی که در معرض خطر سیلاب‌های مکرر قرار دارند حیاتی است.

ملاظه‌ات اخلاقی

دسترسی به داده‌ها: داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

حمایت مالی: این پژوهش در قالب پژوهش پایان‌نامه انجام شده و از دانشگاه گنبد کاووس حمایت مالی دریافت نموده است.

مشارکت نویسنده‌گان: بخش‌های مختلف مقاله توسط تمام نویسنده‌گان انجام و نگاشته شده است.

تضاد منافع نویسنده‌گان: نویسنده‌گان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

منابع

۱. آقایی، مهراب، حشمتپور، علی، قره محمودلو، مجتبی، و سیدیان، سیدمرتضی (۱۳۹۹). بررسی کیفیت آب رودخانه چهلچای با استفاده از شاخص IRWQIsc. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*, ۱۵۳-۱۶۶.
۲. بزرگی، بابک و ابراهیمی لوبه، عادل (۱۳۸۵). بررسی نقش آموزش و ارتباطات در ارتقاء آگاهی‌های عمومی با هدف مدیریت ریسک سیلاب، کمیته ملی آبیاری و رهشکر ایران، اولین کارگاه فنی همزیستی با سیلاب، ۵۹-۷۴.
۳. ثروتی، محمدرضا. رستمی، اکبر. خدادادی فاطمه (۱۳۹۰). امکان‌سنجی وقوع سیل در حوزه آبخیز لیلان‌چای (مراغه) به روش CN. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085656.1393.7.25.2.8>.
۴. حاتمی‌یزد، ابوزر و قهرمان، بیژن (۱۳۸۶). بررسی و تعیین روابط بارش-رواناب ماهانه و سالانه به حوزه‌های فاقد آمار (مطالعه موردی: حوزه‌های نهرین و کریت واقع در منطقه طبس استان یزد. مجله علوم کشاورزی, ۳۰(۴)، ۱-۱۵).
۵. حشمت‌پور، علی و محمدیان، یوسف (۱۴۰۳). انتخاب بهترین مکان احداث آببندان برای تامین آب کشاورزی با استفاده از تلفیق منطق بولین و فازی (مطالعه موردی حوزه آبخیز قویحقق). مدیریت آب در کشاورزی, ۱۱(۲)، ۱۲۹-۱۴۴.
۶. حسین‌زاده، محمد مهدی و ایمنی، سپیده (۱۳۹۵). مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبخیز قوچک - رودک با استفاده از مدل-HEC-HMS. پژوهش‌های دانش زمین, ۷(۱)، ۳۱-۴۳.
۷. حیدری چناری، فاطمه، فضل اولی، رامین، نیکزاد تهرانی، اسماعیل (۱۴۰۱). واستنجی و ارزیابی پارامترهای مدل هیدرولوژیکی-HEC-HMS در شبیه‌سازی وقایع منفرد بارش رواناب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز تجن). پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز, ۱۳(۲۶)، ۶۹-۸۱. doi:[10.52547/jwmr.13.26.69](https://doi.org/10.52547/jwmr.13.26.69)
۸. رجبی‌فره، عباس و نوری بوشهری، سعید (۱۳۷۶). سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی پویا: روش سه بعدی، مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، سازمان نقشه‌برداری کشور.
۹. رسمیان، رحساره (۱۳۸۵). تخمین رواناب و رسوب در حوزه پهشت‌آباد در کارون شمالی با استفاده از مدل SWAT 2000. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده آبیاری زهکشی، دانشگاه صنعتی اصفهان, ۱۹۲ صفحه.
۱۰. روغنی، محمد، طباطبایی، سید‌محمد‌رضا، و شادر، صمد (۱۳۸۹). ارزیابی عملیات آبخیزداری و معرفی روشی در تعیین سازه‌های کنترل سیل. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران, ۱۴(۱)، ۵۱-۶۰.
۱۱. سلیمانی، کریم، گنبد، محمد بشیر، موسوی، سید رمضان، خلیقی، شهرام (۱۳۸۷). پتانسیل تولید سیل در حوضه‌های آبخیز با استفاده از مدل HEC-HMS در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی حوضه معرف کسلیان). پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی, ۶۰-۵۱.
۱۲. شرکت مهندسین مشاور رواناب (۱۳۸۶). طرح جامع جنگلداری چند منظوره، مطالعات هیدرولوژی.
۱۳. فیض‌نیا، سادات (۱۳۸۷). رسوب‌شناسی کاربردی با تأکید بر فرسایش خاک و تولید رسوب، انتشارات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان, ۳۵۶ صفحه.
۱۴. مدرسی، فرشته، و عراقی‌نژاد، شهاب (۱۳۹۳). در ترجمه آموزش کاربردی مدل سازی (هیدرولوژیکی حوضه آبریز)، انتشارات نوآور، تهران، چاپ اول، ۴۰-۳۰ صفحه.
۱۵. مهدوی، محمد (۱۳۸۸). هیدرولوژی کاربردی. جلد دوم. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ ششم، ۴۴۰ صفحه.
۱۶. میرزایی، شهرناز، سعدالدین، امیر، بهره‌مند، عبدالرضا، اونق، مجید و مصطفی‌زاده، رئوف (۱۴۰۲). کارایی مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS در شبیه‌سازی فرایند بارش رواناب در آبخیزهای بالادست شهر گنبد. اکوهیدرولوژی, ۱۰(۲)، ۳۵۵-۳۷۷.
۱۷. نظری، نجمه، افلاطونی، محمد، و جاهدی، عبدالحسین (۱۳۹۲). اولویت‌بندی سیل خیزی زیرحوضه‌ها بر اساس روش حذف انفرادی (مطالعه موردی: حوضه آبریز خرسان). اولین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار.
۱۸. نوری، فریده، بهمنش، جواد، محمدمنڈزاد، بایرامعلی، و رضایی، حسین (۱۳۹۱). ارزیابی مدل WMS/HEC-HMS در پیش‌بینی سیلاب حوضه آب ریز قروه. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک, ۱۹(۴)، ۲۰۱-۲۱۰.
۱۹. وهابی، جلیل (۱۳۸۵). پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی (مطالعه موردی: طالقان‌رود). پژوهش و سازندگی, ۷۱، ۴۰-۳۳.

References

1. Aghaee, M., Heshmatoor, A., & Seyedind, S. M. (2020). Investigation of Water quality of chehelchay river using IRWQIsc index. *Environmental Science and Technology*, 153-166. <https://doi.org/10.22034/jest.2019.36957.4341>. [In Persian]
2. Akbari, A. (1998). Coupled time-area overland flow modeling and HEC-1 channel routing for Kooshkabad.

3. Bozrgi, B., & Ebrahimi loyyeh, A. (2006). Investigating the role of education and communication in promoting general public awareness with the aim of flood risk management. National Irrigation and Irrigation Committee of Iran. *The First Technical Workshop on Coexistence with Floods*, 59-74. [In Persian]
4. Feiznia, S. (2009). Applied sedimentology with emphasis on soil erosion and sediment production. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources Publications, 356. [In Persian]
5. Hatamiyazd, A., & Ghahreman, B. (2008). Investigating and generalizing monthly and annual rainfall-runoff relationships to areas without statistics (case study: Nahrin and Kirit areas located in Tabas region of Yazd province), *Journal of Agricultural Sciences*, 30(4). 1-15. [In Persian]
6. Heidari Chenari, F., Fazloula, R., & Nikzad Tehrani, E. (2022). Calibration and evaluation of HEC-HMS hydrological model parameters in simulation of single rainfall-runoff events (Case study: Tajan Watershed). *Journal of Watershed Management Research*, 13(26), 69-81. URL: doi:10.52547/jwmr.13.26.69. [In Persian]
7. Heshmatpour, A., & Mohammadian, Y. (2024). Selecting the best location for constructing a reservoir to supply agricultural water using a combination of Boolean and fuzzy logic (case study: Qoyijq watershed). *Water Management in Agriculture*, 11(2).129-144. [In Persian]
8. Hosseinzadeh, M.M., & Imani, S. (2015). Hydrological modeling of Ghochak-Rodak watershed using HMS HEC model. *Earth Science Research*, 7(1), 31-43. [In Persian]
9. Johnston, C.A. (1998). *Geographic Information System in Ecology*, Blackwell Science Ltd,239pp.
10. Mahdavi, M. (2010). *Applied hydrology*. The second volume. Tehran University Publications. 6th Edition, 440 p. [In Persian]
11. Mirzaei, Sh., Saaduddin, A., Behermand, A., Onagh, M., & Mostafazadeh, R. (2023). The effectiveness of the HEC-HMS hydrological model in simulating the rainfall-runoff process in the upstream watersheds of Gonbad city. *Ecohydrology*, 10(3), 355-377. doi: 10.22059/ije.2023.359860.1734. [In Persian]
12. Modaresi, F., & Araghinezhad, Sh. (2015). In the translation of applied modeling training (hydrological catchment area), Novavar Publications, Tehran, First Edition. [In Persian]
13. Muller, A., & Reinstorf, F. (2011). Exploration of land- use scenarios for flood hazard modeling the Case of Santiago de chile. *Hydrology and Earth System Sciences*, 8, 3993-4024.
14. Nasiri Khiavi, A., Vafakhah, M., & Sadeghi, S. H. (2023). Flood-based critical sub-watershed mapping: comparative application of multi-criteria decision making methods and hydrological modeling approach. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 37(7), 2757-2775.
15. Nazari, N., Aflatoni, M., & Jahdi, A.H. (2014). Prioritization of flooding in sub-basins based on the individual removal method (case study: Khorsan watershed). *The First International Conference on Sustainable Agriculture and Natural Resources*. [In Persian]
16. Nouri, F., Behmanesh, J., Mohammadnejad, B.A., & Rezaei, H. (2011). Evaluation of the WMS/HEC-HMS model in flood forecasting in the Qorve water basin. *Water and Soil Conservation Research*, 19(4), 201-210. [In Persian]
17. Pitilich, J. (1994). Relation between precipitation and physiography for five mountainous regions in the Western U.S.A. *Journal of Hydrology*, 158: 219-226.
18. Raikes, J., Henstra, D., & Thistlethwaite, J. (2023). Public attitudes toward policy instruments for flood risk management. *Environmental Management*, 72(5), 1050-1060.
19. Rajabifard, A., & Nori Boshri, S. (1998). Dynamic geographic information systems: three-dimensional method. *Proceedings of the 4th Geographic Information Systems Conference*, Iran Mapping Organization. [In Persian]
20. Roghani, M., Tabatabai, S. M., & Shadfar, S. (2010). Evaluation of watershed operations and introduction of a method in determining flood control structures. *Iranian Journal of Watershed Science and Engineering*, 4(13), 51-60. [In Persian]
21. Ronab Consulting Engineers Company, (2006). Multipurpose forestry master plan, Hydrology Studies. [In Persian]
22. Rostmian, R. (2007). Estimation of runoff and sediment in Beheshtabad Basin in Northern Karun using SWAT2000 model. M.Sc. Thesis, Faculty of Irrigation, Drainage, *Isfahan University of Technology*, 192. [In Persian]
23. Sarvati, M. R., Rostami, A., & Khodadadi, F. (2014). Feasibility of flooding in the watershed Leilan Chai (Maragheh) CN method. *Physical Geography Quarterly*, 7(25), 13-26. [In Persian]
24. Setgn, S. G., Srinivasan, R., & Dragan, B. (2008). Hydrological modeling in the Lake Tana Basin, Ethiopia using SWAT Model. *The Open Hydrology Journal*. 2:49-62.
25. Sharma, N., Yousuf, A., & Kaushal, A. (2023). Prioritization of watersheds for land and water management in lower Sutlej River Basin using geospatial technology. *Journal of Natural Resource Conservation and Management*, 5, 77-91.
26. Soleimani, k., Konbad, M.B., Mosavi, S.R., & Khalifi,Sh. (2009). Flood production potential in watersheds using HEC-HMS model in geographic information system environment (case study of Kesilian representative basin). *Natural Geographic Research*, 65, 60-51. [In Persian]
27. Vahabi, J. (2007). Flood risk zoning using hydrological and hydraulic models (case study: Taleghan-Roud), *Journal of Research and Construction*, 71, 33-40. [In Persian]
28. Xie, L., Wang, Y., & Li, S. (2023). How government-public collaboration affects individual mitigation responses to flooding: A case study in Yellow River Delta area, China. *Forest and Society*, 7(2), 184-199.