Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Prioritizing watershed management practices based on hydrological factors in Chehelchay Watershed

Saeedeh Sadat Hoseinie[1], Ali Heshmatpour[*2], Hamed Rouhani[3], Hassan Farazjoo[4]

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: HamedRuohani@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 $m^3 s^{-1}$ in sub-watersheds CH3; management unit 7, with a peak discharge of 80.9 $m^3 s^{-1}$ in sub-watersheds CH2; and management units 3 and 5, with a peak discharge of 64.7 $m^3 s^{-1}$ 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: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.4.4

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

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.4.4]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Prioritizing watershed management practices based on hydrological factors in Chehelchay Watershed

Saeedeh Sadat Hoseinie[1], Ali Heshmatpour[*2], Hamed Rouhani[3], Hassan Farazjoo[4]

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: HamedRuohani@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 $m^3 s^{-1}$ at the exit location has the highest amount and sub-watershed CH3 with peak flow rate of 64.79 $m^3 s^{-1}$ 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 $m^3 s^{-1}$, the lowest peak flow rate, and management units. 3 and 5 with the production of the peak flow rate of 64.8 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 $m^3 s^{-1}$ has the highest peak flow and working unit No. 12 with the production of 64.8 $m^3 s^{-1}$ 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

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.4.4]

ISSN (Online): 2783-1531 - ISSN (Print): 2423-5970

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.n 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.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.4.4]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
مجله علمی سامانه‌های سطوح آبگیر باران ایران
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۱۵۳۱ شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۵۹۷۰

اولویت‌بندی عملیات آبخیزداری براساس عوامل هیدرولوژیکی در حوزه آبخیز چهل‌چای

سعیده‌سادات 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

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله
دریافت: ۲۰ آبان ۱۴۰۳
بازنگری: ۰۳ بهمن ۱۴۰۳
پذیرش: ۰۶ بهمن ۱۴۰۳
انتشار برخط: ۲۳ خرداد ۱۴۰۴

واژه‌های کلیدی:
حذف انفرادی، ذخیره رواناب، شاخص ویژه f، SCS، HEC-HMS

چکیده

وقوع سیلاب‌های ادواری موجب اثرات مخرب و تلفات جانی و مالی ناشی از آن در اکثر نقاط کشور در حال افزایش است. در این راستا، شناسایی مناطق مولد سیل در حوزه‌های آبخیز و اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز به‌منظور اجرای طرح‌های آبخیزداری به‌عنوان یک اقدام پیشگیرانه سیلاب از راهکارهای موثر با شد. در این مطالعه، ابتدا با تلفیق GIS و مدل‌سازی هیدرولوژیکی HEC-HMS میزان مشارکت حوزه‌های 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 زیرحوزه‌های آبخیز و شاخص ویژه سیلاب، زیرحوزه‌های آبخیز و واحدهای کاری حوزه آبخیز مورد مطالعه از نظر اجرای عملیات آبخیزداری اولویت‌بندی شد. یافته‌ها نشان داد که واحد کاری ۱۰، ۱۴ 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 مترمکعب بر ثانیه در زیرحوزه آبخیز CH2 و واحد کاری ۳ و ۵ با تولید دبی اوج ۶۴/۷ مترمکعب بر ثانیه در زیرحوزه آبخیز CH1 به‌ترتیب با شرایط بحرانی‌تر و اولویت بالاتری در انجام عملیات کنترلی و حفاظتی قرار دارند. نتایج به‌دست آمده از این مطالعه، توانایی افزایش دقت و تسریع در انتخاب مکان مناسب و کاهش هزینه‌ها برای مدیران بخش‌های اجرایی به همراه خواهد داشت. هم‌چنین تقویت پوشش گیاهی و به‌کارگیری روش‌های سنتی هم‌چون احداث آب‌بندان در مناطق بحرانی‌تر پیشنهاد می‌شود.

استناد: حسینیه، سعیده‌سادات، حشمت‌پور، علی، روحانی، حامد و فرازجو، حسن. (۱۴۰۴). اولویت‌بندی عملیات آبخیزداری براساس عوامل هیدرولوژیکی در حوزه آبخیز چهل‌چای. *سامانه‌های سطوح آبگیر باران*، ۱۳(۱)، ۴۹-۶۶.

DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.4.4

ناشر: انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبگیر باران ایران

© نویسندگان

* **نویسنده مسئول:** علی حشمت‌پور
نشانی: گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران
تلفن: ۰۹۳۷۷۵۵۶۳۷۹
پست الکترونیکی: Heshmatpoura@gmail.com

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.4.4]

مقدمه

سیل یکی از مهم‌ترین خطرات جهانی است (Raikes et al., 2023) و به‌دلیل تغییرات اقلیمی، موقعیت و گسترش سکونتگاه‌های شهری در مناطق پر خطر صدمات جبران ناپذیر آن به سرعت درحال افزایش است. و جزء آن دسته از حوداث طبیعی است که همیشه به‌عنوان بلای طبیعی قلمداد شده است (ثروتی و همکاران، ۱۳۹۰). هرچند سیل در مواقع بارش‌های شدید و پی در پی روی می‌دهد، ولی شدت آن در حوزه‌های آبخیز مختلف به‌دلیل تفاوت در ساختار بستر جریان و متغیرهای دیگر محیطی متفاوت است (Pitilich, 1994، وهابی، 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 قاره‌ی 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 وقوع سیلاب و خسارات مالی و تلفات جانی ناشی از آن از اهمیت خاصی برخوردار است (بزرگی و ابراهیم لویه، ۱۳۸۵). به‌همین خاطر، سیل را باید یکی از جدی‌ترین بلایای طبیعی به‌شمار آورد. تنها معدودی از کشورهای جهان را می‌توان یافت که فارغ از مسائل و معایب سیل باشند. در کشور ما اکثر آبخیزها، به‌ویژه 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 (رستمیان، ۱۳۸۵). پیچیدگی‌های سیستم‌های هیدرولوژیکی، کمبود و نقص اطلاعات در دسترس و کمبود ایستگاه‌های هیدرومتری تحلیل و پیش‌بینی وقایع هیدرولوژیکی و برآورد سیلاب را به‌جهت مدیریت آن دچار مشکل می‌سازد (حاتمی یزد و قهرمان، ۱۳۸۶). برای مقابله با این معضل، متخصصین علم آبخیزداری، هیدرولوژیست‌ها و محققین منابع آب راه‌حل‌های مختلفی عرضه نمودند. در این ارتباط روغنی و همکاران (۱۳۸۹) به این نتیجه رسیدن که به‌کارگیری روش‌های مختلف نظیر مخازن متوالی، استفاده تلفیقی از عملیات سازه‌ای و غیرسازه‌ای و استفاده اصولی از اراضی در به حداقل رساندن دبی اوج سیلاب موثر واقع شود. اخیرا حشمت پور و محمدیان (۱۴۰۳) اظهار نظر داشتند که به‌کارگیری 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) مشارکت موثر و جدی مردم از طریق اشکال مختلف می‌تواند از پیشگیری بلایای سیل کمک کند. هم‌چنین عقیده بر این است که شبیه‌سازی پدیده‌های هیدرولوژی در حوزه‌های آبخیز می‌تواند راه‌حل بهینه‌ای برای آن‌ها باشد (رستمیان، ۱۳۸۵). در سال‌های اخیر مدل‌های آبخیز توزیعی به‌طور فزاینده‌ای برای اجرای استراتژی‌های مدیریتی متناوب در سطوح تخصیص 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 این‌که نتایج حاصل از مدل کارایی داشته باشد (فیض‌نیا، ۱۳۸۷).

سیل در ایران به‌عنوان یک پدیده طبیعی با تأثیرات گسترده 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 فصلی و غیرمنتظم، باعث می‌شود که بروز سیلاب‌ها در برخی نواحی به‌طور ناگهانی و با شدت بالا رخ دهد. بارندگی‌های کوتاه‌مدت اما شدید، که در بسیاری از مناطق کشور در فصل‌های خاصی از سال رخ می‌دهند، باعث ایجاد جریان‌های سیلابی می‌شود که به‌ویژه در مناطق کوهستانی و دشت‌های سیلابی، 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. به‌کارگیری این مدل‌ها می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان کمک کند تا راهکارهای مؤثری برای کاهش خسارات سیلاب‌ها ارائه دهند. 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 بدین‌ترتیب میزان تأثیر هر یک از زیرحوزه‌های آبخیز را در تولید سیل خروجی به دست آوردند. نتایج تحقیق نشان داد که موقعیت مکانی زیرحوزه‌های آبخیز نسبت به خروجی می‌تواند نقش مؤثری در سیل‌خیزی آن‌ها داشته باشد. نظری و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیق خود با استفاده از روش حذف انفرادی در حوزه آبخیز خرسان به اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز پرداخته و نشان دادند که مشارکت زیرحوزه‌های آبخیز در تولید سیلاب به‌طور مستقیم به یک عامل خاص وابسته نیست. بلکه اثرات متقابل عوامل مختلف مانند موقعیت مکانی، مساحت، و ویژگی‌های هیدرولوژیکی زیرحوزه‌های آبخیز، نقش مهمی در سهم آن‌ها در سیل‌خیزی 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. اخیرا نصیری خیاوی و همکاران (۲۰۲۳) با مقایسه روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره، بحرانی‌ترین زیرحوزه آبخیز را از نظر سیل‌خیزی در حوزه آبخیز چشمه 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

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.4.4]

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 به‌عنوان منبع اطلاعاتی مهمی برای انطباق تغییر شرایط در منطقه با وضعیت موجود در نظر گرفته شوند.

حوزه آبخیز چهل‌چای به سبب جایگزینی منا سب بین دامنه‌های ارتفاعات البرز و دریای خزر دریافت کننده توده‌های مرطوب 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 به‌طور 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 به‌کارگیری 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

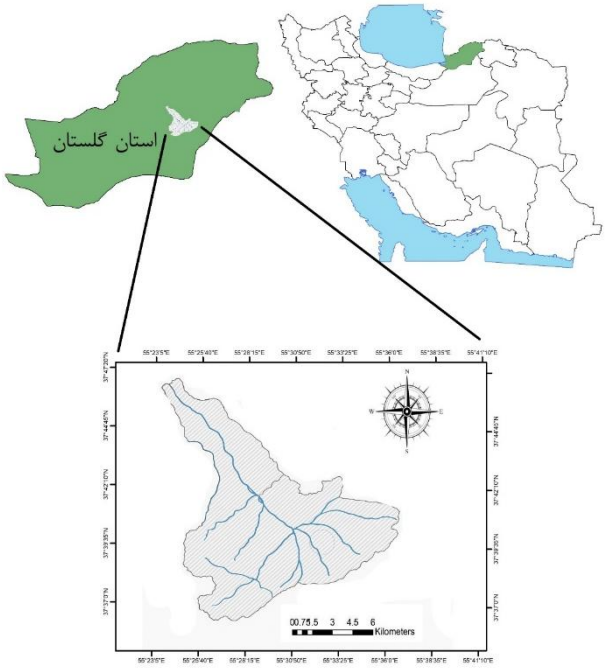
منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز چهل‌چای با مساحتی حدود ۲۵۶۸۳/۲ هکتار در موقعیت جغرافیایی ً۳۰،َ۲۲، ْ۵۵ الی ً۳۰،َ۳۷،ْ۵۵ طول شرقی و ً۳۰،َ۵۷،ْ۳۶ الی َ۱۵،ْ۳۷ عرض شمالی قرار دارد. از شمال به شهر مینودشت، از غرب به ارتفاعات محمد زمان‌خان و دشت حلقه، از شرق به حوزه آبخیز رودخانه چهل چای و از جنوب به حوزه آبخیز تیل آباد محدود است (آقایی و همکاران، ۱۳۹۹). این حوزه آبخیز از لحاظ هیدرولوژیک به سه زیرحوزه آبخیز تقسیم می شود. از لحاظ تقسیمات سیاسی نیز در محدوده شهر ستان مینودشت قرارگرفته است. منطقه مورد مطالعه در زیرحوزۀ 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 آبدهی و پراکنش چشمه‌های منطقه نشان می‌دهد که علی‌رغم گسترش نسبتاً خوب سازندهای کربناته و قابل توجه بودن ریزش‌های جوی، آبدهی منابع آب چندان قابل توجه نیست. آبدهی رودخانه حوزه آبخیز چهل‌چای از مهر تا فروردین افزایش می‌یابد به طوری که حداکثر آبدهی را در فروردین ماه شاهد هستیم. هم‌چنین در حوزه آبخیز چهل‌چای حدود ۹۰ در صد بردا شت آب رودخانه جهت مصارف کشاورزی و بقیه آن جهت مصارف خدماتی و صنعتی است (شرکت مهندسین مشاور روان‌آب، 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 تعدیل نماید و به‌طورکلی موجب پیدایش انواع مختلف آب و هوایی مو ضعی و منطقه‌ای شود. هم‌چنین دانستن خصو صیات 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 به‌دست دهد. در محاسبه هر یک از خصوصیات فیزیوگرافی و توپوگرافی از متداول‌ترین روش‌های محاسباتی استفاده شده است. در جدول (۱) برخی از ویژگی‌های فیزیکی حوزه آبخیز چهل‌چای آورده شده است.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.4.4]



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

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

روش تحقیق

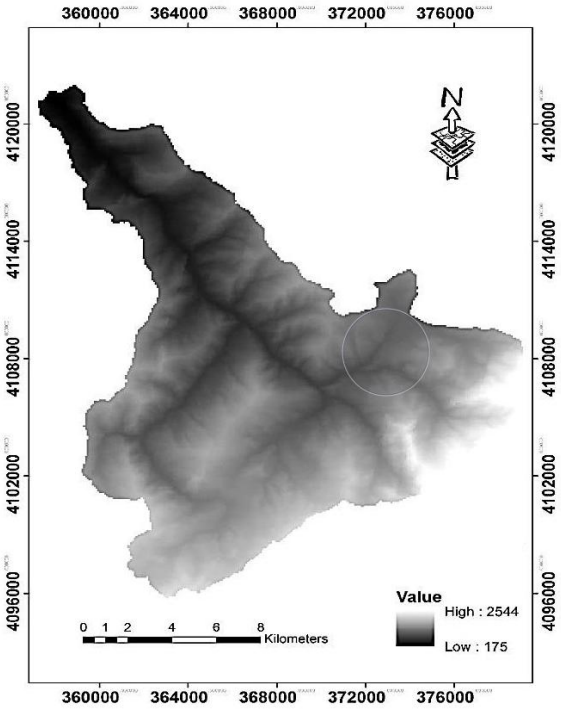
پس از شناسایی روزهای سیلابی در حوزه آبخیز مورد مطالعه، نسبت به تهیه و جمع‌آوری رگبارهای روزانه مربوط به این سیلاب‌ها اقدام شد. در بررسی سیلاب‌های مشاهده شده، دبی پیک لحظه‌ای سیلاب‌ها، در ساعت و روز مشخصی اتفاق افتاده بود، اما تداوم سیلاب‌ها در پاره‌ای از موارد می‌تواند متأثر از رگبارهای روز قبل و یا حتی بیش از یک روز باشد، که این آمارها از ایستگاه‌های باران‌سنجی داخل و بیرون حوزه آبخیز جمع‌آوری شد (جدول ۲). بنابراین آمار بارندگی هم‌زمان با روز سیلابی 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

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

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.4.4]

پس از مشخص کردن شیت‌های ۱:۲۵۰۰۰ دربرگیرنده حوزه آبخیز چهل‌چای، 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 (TIN)[1]، مدل ارتفاعی حوزه آبخیز تهیه شد. ساختار اطلاعاتی شبکه‌های نامنظم مثلثی یکی از مناسب‌ترین ساختارهای مورد استفاده در تهیه DEM محسوب می‌شود (رجبی‌فرد و نوری، ۱۳۷۶). شکل ۲ فرایند ساخت DEM در روش TIN را نشان می‌دهد. مثلث‌های TIN در مناطق هموار، بزرگ هستند و در مناطقی با توپوگرافی پیچیده، کوچک‌تر می‌شوند. این روش می‌تواند در مناطقی با شکست‌های تیز در شیب مانند ستیغ‌های طولانی و یا رودخانه‌ها به‌خوبی 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 خطاها، ایجاد گودال‌های رقومی، مناطق مسطح و بدون شیب است. این نوع خطاهای موجود در DEM از موانع عمده کاربرد آن‌ها در مدل‌های هیدرولوژیک به‌حساب می‌آید. مرحله بعد برای رفع خطاهای موجود در DEM از روش Filling که در برنامه توسعه‌ای Hydrologic Modelling در محیط نرم‌افزار Arc_GIS10.2 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 به‌کار 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 به‌عنوان 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 به‌دست 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

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.4.4]

$$T_C = 1.66 T_L \quad (۱)$$

$$T_L = \frac{L^{0.8}(S+1)^{0.7}}{1900 * Y^{0.5}} \quad (۲)$$

$$Y = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{A^{0.5}} \quad (۳)$$

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 (اینچ) است که از رابطه (۴) به‌دست آمد:

$$S = \frac{24500}{CN} - 254 \quad (۴)$$

مدل HEC_HMS مدرسی و عراقی‌نژاد (۱۳۹۳) یک ابزار نرم‌افزاری پیشرفته برای شبیه‌سازی پدیده‌های بارش–رواناب است که توسط مرکز مهندسی هیدرولوژیک ایالات متحده[1](HEC) توسعه یافته است. این مدل به‌ویژه 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 (آبنمود) 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 این‌صورت که جهت تهیه هیدروگراف سیل از اطلاعات بارش ساعتی در زمان‌های مختلف از ایستگاه هیدرومتری استفاده شد.

تعیین زیرحوزه‌های آبخیز سیل‌خیز

پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی در واقع به عملی گفته می‌شود که طی آن حوزه آبخیز به سطوح و یا واحدهای همگن هیدرولوژیکی تقسیم می‌گردد. این‌کار با استفاده از میزان بارندگی، زمین شناسی، نوع خاک و کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه قابل انجام است. به‌طوری‌که 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 به‌توانایی‌های بالای سیستم (GIS) و تهیه نقشه‌ها، تجزیه و تحلیل‌ها در محیط این سیستم انجام شد. اولین‌کار برای برآورد پتانسیل تولید رواناب طبق روش (SCS)، تهیه نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک است. براساس این نقشه، حوزه آبخیز چهل‌چای دارای دوگروه خاک شامل B و C است. به‌عبارت دیگر از نظر گروه‌های هیدرولوژیک خاک، بیش‌تر مساحت منطقه از نوع خاک‌هایی است که دارای بافت ریز یا سنگین است و عملا غیرقابل نفوذ بوده و پتانسیل سیل‌خیزی بالایی دارند.

تعیین مناطق مولد سیل و اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز

مدل بارش رواناب، پس از تأیید، به‌عنوان 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 به‌دست 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 به‌طوری‌که 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 به‌عهده داشته باشد، در گام نخست به‌عنوان سیل‌خیزترین زیرحوزه آبخیز شناخته شدند. سپس سایر زیرحوزه‌های آبخیز به‌ترتیب میزان مشارکت آن‌ها در سیل خروجی اولویت‌بندی شدند. دو نمایه سیل‌خیزی مورد استفاده به‌صورت رابطه‌های (۵) و (۶) تعریف شدند.

$$F = \left(\Delta Q_p / Q_p\right) * 100 \quad (۵)$$

$$f = \Delta Q_P / A \quad (۶)$$

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 برحسب مترمکعب بر ثانیه،Qp: 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.

[1] Hydrologic Engineering Center

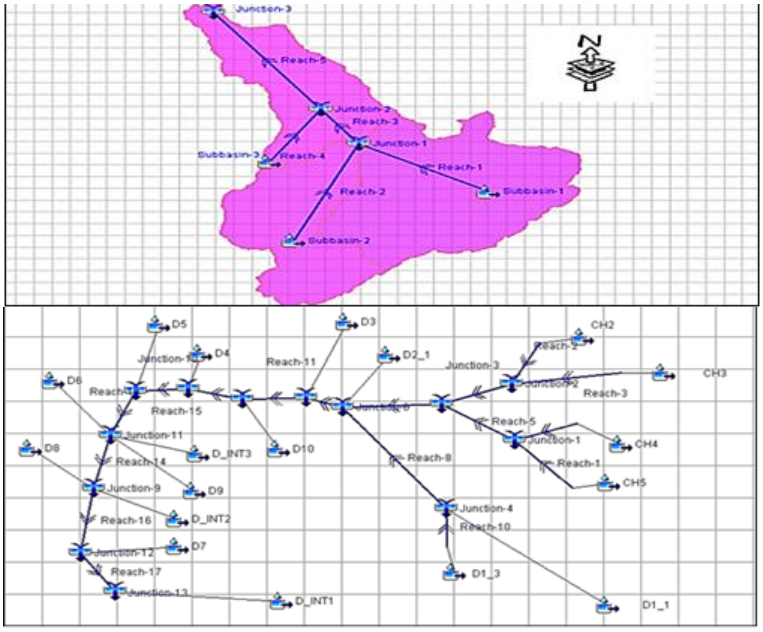
[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.4.4]

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 حاصل‌ضرب‌ها به مساحت کل حوزه آبخیز، شماره منحنی متوسط به‌دست آمد (مهدوی، ۱۳۸۸). در بررسی انجام شده مشخص شد که برای تعداد زیادی از بارش‌های ثبت شده، هیدروگراف سیل ثبت نشده است و بالعکس برای تعداد زیادی از هیدروگراف‌های ثبت شده، رگبار مربوطه ثبت نشده بود. با بررسی روی گراف‌های ثبت شده ایستگاه باران‌سنجی و لیمنوگراف و گزارش آماری از شرکت آب منطقه‌ای گلستان، تعداد ۶ واقعه انتخاب شد. که از این تعداد ۴ واقعه برای شبیه‌سازی و ۲ واقعه برای اعتبارسنجی 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 چهل‌چای تهیه شد (شکل ۳).



شکل ۳ – نمایش شماتیک حوزه آبخیز چهل‌چای

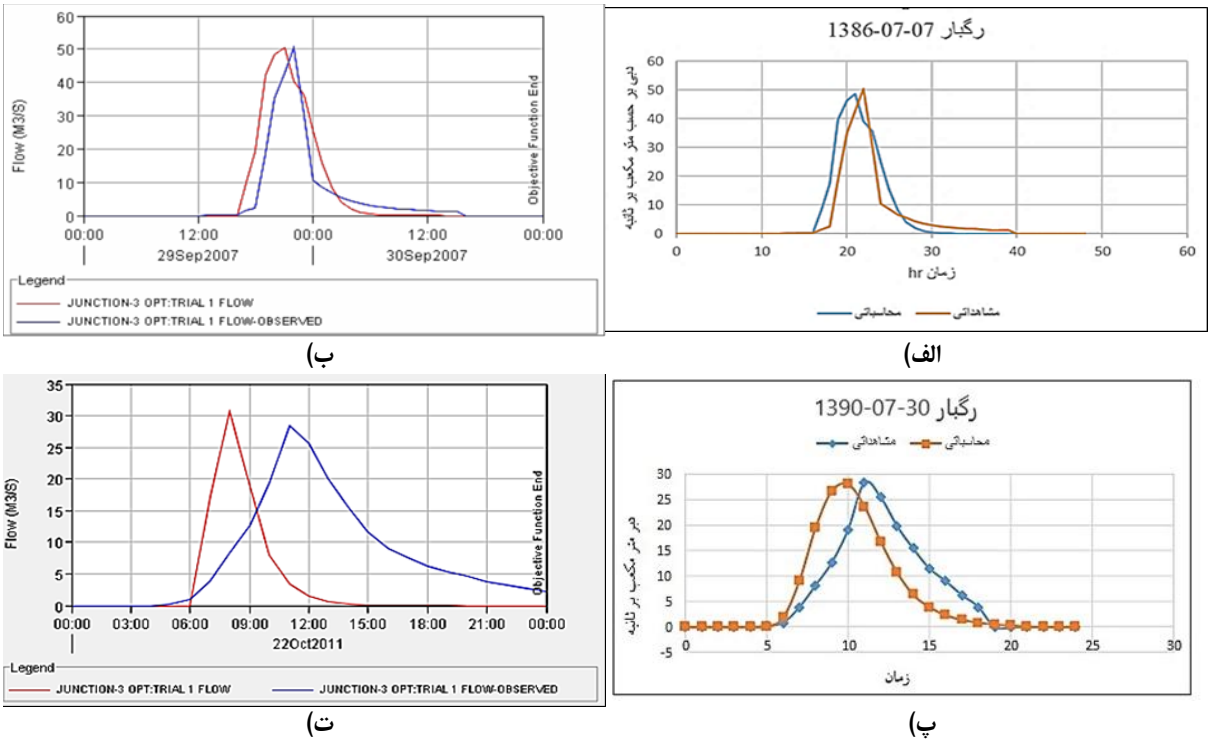
Figure 3- Schematic representation of Chehelchay Watershed

پس از وارد کردن داده‌های مربوط به حوزه آبخیز، ایستگاه‌های هواشناسی و تنظیم مشخصه‌های کنترل مدل، شبیه‌سازی رویدادهای سیل انجام شد. در این روش، داده‌های سیلاب مشاهده‌شده به دو گروه تقسیم می‌شوند. ابتدا، پارامترهای مدل با استفاده از گروه اول داده‌ها و از طریق به‌کارگیری توابع هدف مختلف (مانند زمان تأخیر، تلفات اولیه و شماره منحنی)، واسنجی می‌شوند. پس از آن، مدل با پارامترهای بهینه‌شده برای گروه دوم داده‌ها اجرا شده و اعتبارسنجی می‌شود. در نهایت، هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده 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 مربوط به بهینه‌سازی پارامترها پس از واسنجی در جدول ۶ ارائه شده است.

با استفاده از میانگین پارامترهای بهینه شده در مرحله واسنجی، HEC-HMS با رویدادهای ۱۳۸۶/۰۷/۰۷ و ۱۳۹۰/۰۷/۳۰اعتبارسنجی شد. جدول‌های ۳ و ۴ نیز دبی اوج، حجم سیل و زمان به اوج رسیدن هیدروگراف‌ها 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.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.4.4]

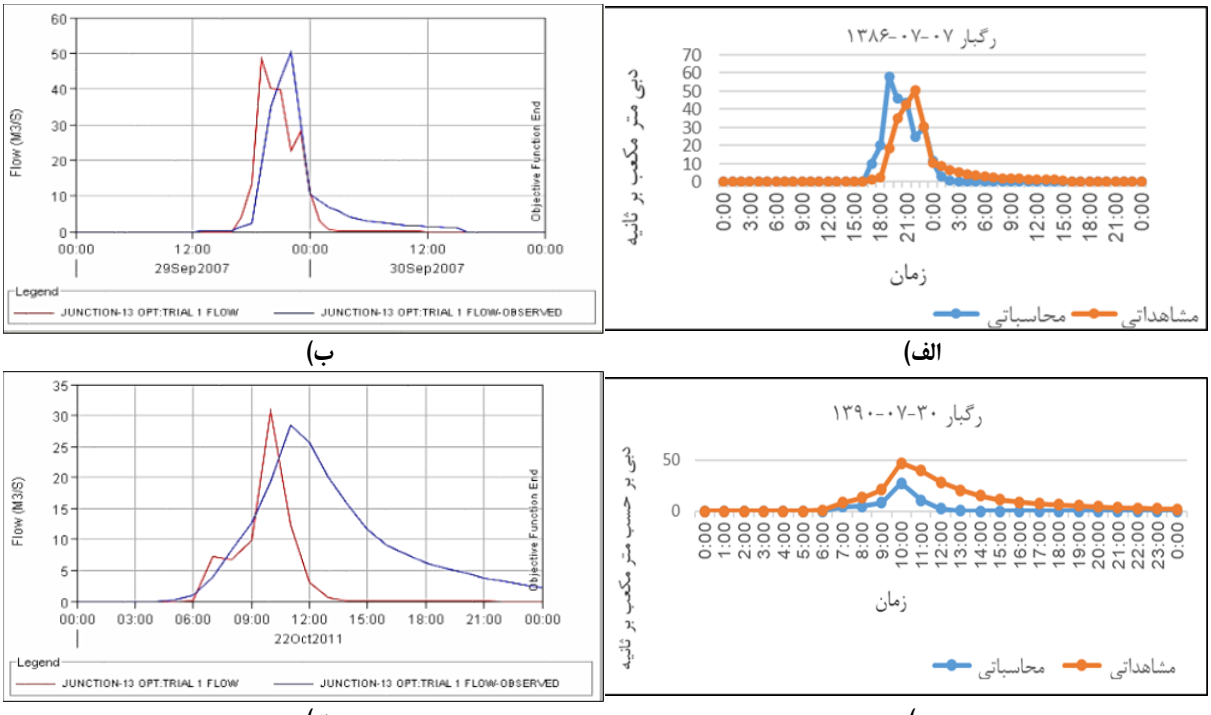


ب) الف)

ت) پ)

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



ب) الف)

ت) پ)

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

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.4.4]

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		
				دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)	حجم سیل (میلی‌متر)	زمان به اوج رسیدن سیل (سیل)
1	واسنجی	1388/04/25	مشاهده شده	7.4	1.3	4.30
			شبیه‌سازی شده	7.6	0.3	3
2		1390/06/5	مشاهده شده	63.9	4.7	4.30
			شبیه‌سازی شده	62.5	6	5.30
3		1391/04/26	مشاهده شده	29	2.9	1
			شبیه‌سازی شده	30.1	1.1	1.30
4		1391/04/30	مشاهده شده	4.1	2.7	2.30
			شبیه‌سازی شده	39.7	1.2	3.30
5	اعتبارسنجی	1386/07/07	مشاهده شده	50.4	3.35	6
			شبیه‌سازی شده	48.7	4.09	4
6		1390/07/30	مشاهده شده	28.7	2.7	6
			شبیه‌سازی شده	34.3	1.3	1.30

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		
				دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)	حجم سیل (میلی‌متر)	زمان به اوج رسیدن سیل (سیل)
1	واسنجی	1388/05/24	مشاهده شده	7.4	1.3	4.30
			شبیه‌سازی شده	7.8	0.3	2.30
2		1390/06/05	مشاهده شده	63.9	4.7	4.30
			شبیه‌سازی شده	61.3	4.2	4
3		1391/04/26	مشاهده شده	29	2.9	1
			شبیه‌سازی شده	27.6	2.4	1.30
4		1391/04/30	مشاهده شده	4.1	2.7	2.30
			شبیه‌سازی شده	42.5	1.4	1.30
5	اعتبارسنجی	1386/07/07	مشاهده شده	50.4	3.5	6
			شبیه‌سازی شده	48.7	3.4	8
6		1390/07/30	مشاهده شده	28.7	2.7	6
			شبیه‌سازی شده	34.3	0.8	3.30

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	
		1388/05/2	1390/06/05	1391/04/26	1391/04/30	1386/07/0	1390/07/30
1	تابع انحراف معیار وزنی دبی اوج	0.3	3.6	4	2.7	3.7	5.7
2	تابع مجموع مربعات باقی‌مانده‌ها	0.1	2.03	1.1	4.2	2.9	2.8
3	تابع قدرمطلق باقی‌مانده‌ها	0.3	¼	1.05	1.2	1.7	2.7
4	تابع درصد خطای دبی اوج	4.9	2.2	3.6	0.5	3.4	8.7
5	تابع درصد خطای حجمی	75.3	29.4	62	55.8	21.9	27.14
6	معیارهای میانگین مربعات خطا	0.13	0.04	1.1	4.1	0.1	0.7
7	میانگین قدرمطلق خطا (میانگین خطای مطلق)	0.4	0.03	0.02	0.3	1.09	0.1
8	میانگین حداقل مربعات خطا	0.6	0.2	0.1	0.5	1.04	0.3
9	قابلیت اطمینان مدل	0.4	0.87	0.6	0.8	0.2	0.93
10	معیار کارایی ناش–ساتکلیف	0.8	0.5	0.6	0.5	0.8	0.49

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.4.4]

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)

ردیف	معیارهای ارزیابی	تاریخ رویداد					
		واسنجی				اعتبارسنجی	
		1388/5/24	1390/6/5	1391/4/26	1391/4/30	1386/7/7	1390/7/30
1	تابع انحراف معیار وزنی دبی اوج	0.3	1.8	1	1.03	2.4	4.5
2	تابع مجموع مربعات باقی‌مانده‌ها	0.2	6.6	1.9	2.1	6	0.7
3	تابع قدرمطلق باقی‌مانده‌ها	0.5	2.6	1.4	1.4	7.8	0.8
4	تابع درصد خطای دبی اوج	6.5	4	4.7	3.5	13.4	2.9
5	تابع درصد خطای حجمی	76.5	10.8	15.9	46	3.5	68
6	معیارهای میانگین مربعات خطا	2.2	0.14	0.4	5.8	1.5	3.9
7	میانگین قدرمطلق خطا	¼	2.6	0.3	0.3	3.1	4
8	میانگین حداقل مربعات خطا	1.5	0.4	0.2	2.4	1.2	1.9
9	قابلیت اطمینان مدل	0.3	1	0.9	0.75	0.7	0.5
10	معیار کارایی ناش–ساتکلیف	0.3	0.7	0.7	0.6	0.9	0.8

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، به‌طوری‌که 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 به‌ترتیب ۳/۴ درصد و ۲ ساعت و ۸/۷ درصد و 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 به‌ترتیب ۱۳/۴ درصد و ۲ ساعت و ۲/۹ درصد و ۲/۳۰ ساعت است (جدول‌های ۴ و ۶).

لازم به‌ذکر است که مدل در برآورد حجم چندان موفق نبوده است. نتایج مربوط به حجم سیلاب ناشی از رواناب در هیدروگراف مشاهداتی 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 وقتی‌که زیرحوزه‌های آبخیز به واحدهای کاری کوچک تقسیم شدند مجدداً مدل در برآورد مدل موفق نبوده است. نتایج مربوط به حجم سیلاب ناشی از رواناب در هیدروگراف مشاهداتی 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 به‌خصوص میانگین قدرمطلق باقی‌مانده‌ها می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر دبی مشاهداتی و محاسباتی دارای همبستگی و انطباق قابل قبولی هستند. طبق نتایج جدول ۶ و ۷ در اغلب موارد معیارهای کارایی مدل به‌خصوص معیارهای درصد خطای دبی پیک در زیرحوزه‌های آبخیز با مقادیر ۳/۴ و ۸/۷، و در واحدهای کاری با مقادیر ۲/۹ و ۱۳/۴ به‌عنوان کم‌ترین و بیش‌ترین میزان خطا، معیار ناش–ساتکلیف با مقادیر حداقل و حداکثر ۴۹ درصد و ۸۰ درصد در زیرحوزه آبخیز و ۳۰ درصد و ۹۰ درصد در واحدهای کاری به‌دست آمد که برای تمامی رویدادهای سیل نتایج قابل قبول را نشان دادند.

در یک جمع‌بندی کلی، نتایج حاصل از این تحقیق را به‌شرح زیر می‌توان خلاصه کرد و در برنامه‌ریزی‌های آینده از آن جهت حل مشکلات کنترل و مهار سیلاب به‌کار 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 این‌ترتیب میزان تأثیر هر یک از زیرحوزه‌های آبخیز در تولید سیل خروجی به‌دست آمد. سپس سایر زیرحوزه‌های آبخیز به‌ترتیب میزان مشارکت آن‌ها در سیل خروجی در اولویت قرار می‌گیرند. در نتیجه زیرحوزه‌های آبخیز چهل‌چای از نظر پتانسیل سیل‌خیزی اولویت‌بندی شد. در این تحقیق با دو شاخص F و f زیرحوزه‌های آبخیز اولویت‌بندی شدند. براساس نتایج جدول‌های ۷ و ۸ (ستون‌های ۳ و ۱۰ در زیرحوزه‌های آبخیز و ۳ و ۱۱ در واحدهای کاری)، به‌ترتیب زیرحوزه آبخیز CH1 با تولید دبی اوج ۱۱۵/۳ مترمکعب بر ثانیه در محل خروجی بیش‌ترین مقدار و زیرحوزه آبخیز CH3 با دبی اوج ۶۴/۷۹ متر مکعب بر ثانیه، کم‌ترین مقدار دبی اوج و در دیگر واحدهای کاری CH1، واحد کاری شماره ۴ باتولید دبی اوج ۳۴/۱ مترمکعب بر ثانیه کم‌ترین دبی اوج و واحد کاری شماره ۳ و ۵ با تولید دبی اوج ۶۴/۸ مترمکعب برثانیه بیش‌ترین دبی اوج و در زیرحوزه آبخیز CH2 که دارای دو واحد کاری است با تولید دبی اوج ۱۴/۵ و ۵۶/۹ مترمکعب به‌ترتیب دارای کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار دبی اوج است. در زیرحوزه آبخیز CH3 واحد کاری ۱۰، ۱۴ و ۱۶ با تولید ۶۴۷/۹ متر مکعب بر ثانیه بیش‌ترین دبی اوج و واحد کاری ۱۲ با تولید دبی اوج ۶۴/۸ متر مکعب بر ثانیه کم‌ترین دبی اوج را به‌خود اختصاص می‌دهند. در ستون ۱۰ جدول‌های ۷ و ۸، براساس میزان مشارکت هر یک از زیرحوزه‌های آبخیز در

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.4.4]

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

در بخش کنترل سیلاب، یکی از مهم‌ترین جنبه‌ها، ارزیابی میزان کاهش سیلاب 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 قابل‌توجهی در روند شبیه‌سازی و پیش‌بینی سیلاب‌ها 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 شبیه‌سازی‌شده 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 سیلاب با دقت قابل‌قبول تایید می‌شود. در مقابل، حسین‌زاده و ایمنی (۱۳۹۵) در ارزیابی مدل HEC-HMS برای محاسبه دبی اوج سیلاب به این نتیجه رسیدند که مدل در برآورد دبی اوج و رواناب به‌دلیل اختلاف بالای ۲۰ درصد بین دبی اوج محاسباتی و مشاهداتی، کارایی مطلوبی نداشته است. در این مطالعه، مدل HEC-HMS در پیش‌بینی سیلاب‌ها 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 سیلاب موفق نبوده است. هم‌چنین نوری و همکاران (۱۳۹۱) در ارزیابی مدل WMS/HEC-HMS به پیش‌بینی سیلاب‌ها پرداخته و نتایج صحت‌سنجی نشان داد که روش SCS در شبیه‌سازی دبی اوج هیدروگراف 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 سیلاب‌ها تأیید می‌کند. در نهایت، این مطالعات نشان می‌دهند که مدل HEC-HMS به‌طورکلی دقت قابل‌قبولی در شبیه‌سازی و پیش‌بینی سیلاب‌ها دارد و می‌تواند در مطالعات مشابه کاربردی باشد. هم‌چنین، استفاده از روش‌های تلفیقی و ترکیب مدل‌ها می‌تواند نتایج دقیق‌تر و قابل‌اعتمادتری در پیش‌بینی و مدیریت سیلاب‌ها ارائه دهد.

لازم به ذکر است که هدف از انجام عملیات آبخیزداری، به‌ویژه در پروژه‌های کنترل سیلاب، کاهش کامل سیلاب 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 بخشند (روغنی و همکاران، ۱۳۸۹).

همان‌گونه که مشاهده شد، میزان کاهش دبی اوج خروجی از حوزه لزوماً متناسب با مساحت زیرحوزه‌های آبخیزنبوده و زیرحوزه‌های با دبی بیش‌تر 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 زیرحوزه های 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 ابخیز	مساحت (کیلومتر مربع)	دبی با دوره بازگشت 50 ساله (سانتی‌مترمکعب)	دبی خروجی کل با حذف زیرحوزه آبخیز (سانتی‌مترمکعب)	مقدار کاهش در دبی خروجی (سانتی‌مترمکعب)	F (درصد)	f (سانتی‌مترمکعب بر کیلومتر مربع)	اولویت‌بندی بر اساس دبی زیرحوزه ابخیز	اولویت‌بندی بر اساس درصد F	اولویت‌بندی بر اساس f
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
CH1	118.82	115.3	245.2	4.1	1.6	0.034	CH_1	CH_3	CH_2
CH2	71.26	69.15	244.37	4.93	2.04	4.04	CH_2	CH_2	CH_3
CH3	66.75	64.79	181.68	67.6	27.12	1.01	CH_3	CH_1	CH_1
کل حوزه آبخیز	256.83	249.3							

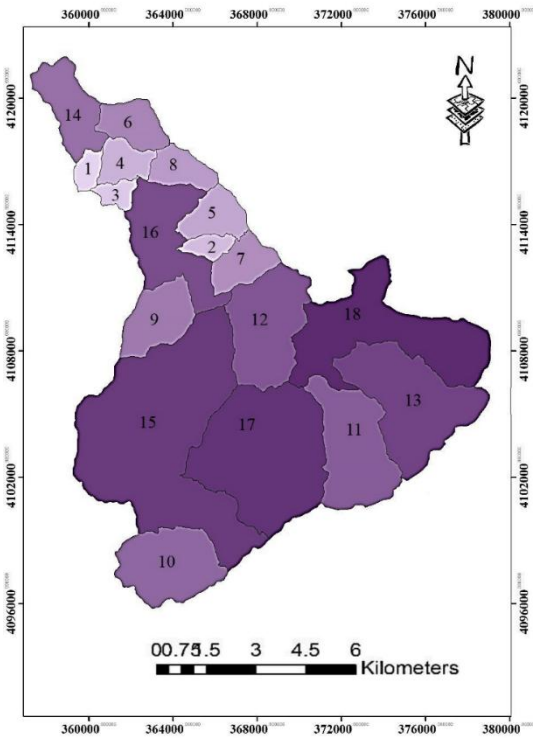
[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.4.4]

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)

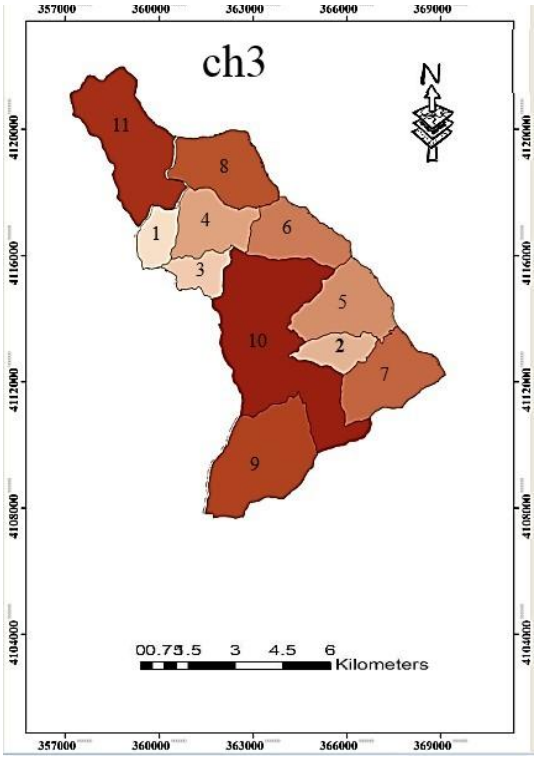
Table 8- Prioritization of sub-watersheds based on their participation in the peak discharge of the entire watershed (divide three sub-watersheds into 18 management units)

زیرحوزه آبخیز	واحد کاری	مساحت (km^2)	دبی با دوره بازگشت 50 ساله (cms)	دبی خروجی کل با حذف زیرحوزه آبخیز (cms)	مقدار کاهش در دبی خروجی (cms)	٪F	f $cms/sq.km$	اولویت‌بندی براساس دبی زیرحوزه آبخیز	اولویت‌بندی براساس مساحت	اولویت‌بندی بر اساس F	اولویت‌بندی بر اساس f
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
CH1	1	27.6	46.3	219.5	29.8	2.4	0.04	16	3	18	18
	2	23.1	49.8	231.8	17.5	8.1	0.18	15	4	13	15
	3	17.6	64.8	234.8	14.5	9.5	0.27	11	5	12	12
	4	34	34.1	26.06	42.7	3.7	0.06	17	2	17	17
	5	17.2	64.8	232.3	17	7.1	0.23	14	6	15	13
CH2	6	56.9	23.2	187.2	62.1	11.3	0.1	18	1	7	16
	7	14.5	80.9	233.9	15.4	7.8	0.3	12	8	14	11
CH3	8	5.6	215	242.9	6.4	12.6	1.14	8	13	1	7
	9	8.8	129.5	239.3	10	9.8	0.7	10	10	11	9
	10	2.3	647.9	249.5	¾	2.3	3.1	2	16	4	3
	11	5.6	215.9	243.6	5.7	11.6	1.2	5	12	6	5
	12	5.7	64.8	233.6	15.7	5.6	0.2	13	7	16	14
	13	4.7	215.9	243.1	6.2	10.9	1.17	7	14	9	6
	14	2.05	647.9	245.7	3.6	12.34	3.5	3	17	3	2
	15	4.3	223.9	243.7	5.6	11.7	1.5	4	15	5	4
	16	2.04	647.9	246.1	3.2	12.5	3.52	1	18	2	1
	17	5.8	215.9	243.2	6.1	11.07	1.1	6	11	8	8
	18	9.12	129.6	240.4	8.9	10.3	0.6	9	9	10	10
کل حوزه آبخیز	-	256.83	249.3								



شکل ۶- نقشه اولویت‌بندی واحدهای کاری

Figure 6- Prioritization map of management units

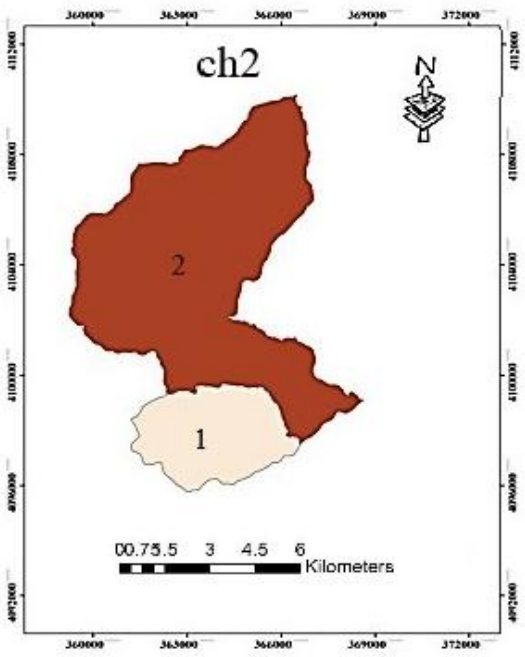


شکل ۷- نقشه اولویت‌بندی زیرحوزه آبخیز CH3

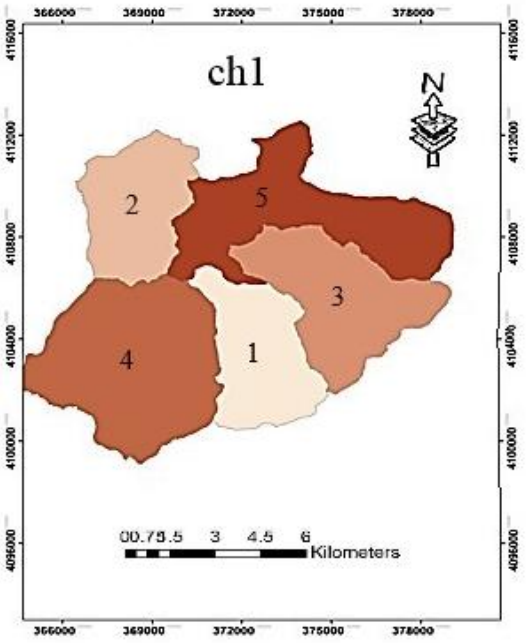
Figure 7- Prioritization map of sub- watershed CH3

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.4.4]



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



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

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. به‌طورکلی 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 تثبیت 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 دیواره‌ها و حفر چاه‌های نفوذی به‌منظور ذخیره آب و کاهش سرعت جریان سیلاب‌ها می‌تواند موثر باشد. هم‌چنین تراس‌های خاکی و سنگی در مناطق شیب‌دار 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 سیلاب گیرها و کنترل و مدیریت رودخانه‌ها و نهرها می‌تواند در مواقع 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.

ملاحظات 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 گنبدکاووس حمایت مالی دریافت نموده است.

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

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

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.4.4]

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. **https://doi.org/10.22034/jest.2019.36957.4341.**

۲. بزرگی، بابک و ابراهیمی لویه، عادل (۱۳۸۵). بررسی نقش آموزش و ارتباطات در ارتقاء آگاهی‌های عمومی با هدف مدیریت ریسک سیلاب، کمیته ملی آبیاری و رهشکی ایران، *اولین کارگاه فنی همزیستی با سیلاب*، ۷۴-۵۹.

۳. ثروتی، محمدرضا. رستمی، اکبر. خدادادی فاطمه (۱۳۹۰). امکان‌سنجی وقوع سیل در حوزه آبخیز لیلان‌چای (مراغه) به روش CN، *جغرافیای سرزمین*. **https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085656.1393.7.25.2.8.**

۴. حاتمی‌یزد، ابوذر و قهرمان، بیژن (۱۳۸۶). بررسی و تعمیم 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)، ۱۵-۱.

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 قویجق). 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). واسنجی 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**

۸. رجبی‌فرد، عباس و نوری بوشهری، سعید (۱۳۷۶). سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی پویا: روش سه بعدی، مجموعه مقالات *چهارمین کنفرانس سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی*، سازمان نقشه‌برداری کشور.

۹. رستمیان، رخساره (۱۳۸۵). تخمین رواناب و رسوب در حوزه بهشت‌آباد در کارون شمالی با استفاده از مدل SWAT 2000. *پایان‌نامه* کارشناسی‌ارشد، دانشکده آبیاری زهکشی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۹۲صفحه.

۱۰. روغنی، محمد، طباطبایی، سیدمحمودرضا، و شادفر، صمد (۱۳۸۹). ارزیابی عملیات آبخیزداری و معرفی روشی در تعیین سازه‌های کنترل سیل. *علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۴(۱۳)، 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 کسیلیان). *پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی*. ۶۵ 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 مدل‌سازی (هیدرولوژیکی حوضه آبریز)، *انتشارات* نوآور، تهران، چاپ اول، ۳۰۴ صفحه.

۱۵. مهدوی، محمد (۱۳۸۸). هیدرولوژی کاربردی. جلد دوم. *انتشارات* دانشگاه تهران. چاپ ششم، ۴۴۰ صفحه.

۱۶. میرزایی، شهناز، 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(۳)، ۳۵۵-۳۷۷*. **doi: 10.22059/ije.2023.359860.1734**

۱۷. نظری، نجمه، افلاطونی، محمد، و جاهدی، عبدالحسین. (۱۳۹۲). اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها بر اساس روش حذف انفرادی (مطالعه موردی: حوضه آبریز خرسان). *اولین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار*.

۱۸. نوری، فریده، بهمنش، جواد، محمدنژاد، 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.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.4.4]

3. Bozrgi, B., & Ebrahimi lovyeh, 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). Exporation of land- use seenariors 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). T*he 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 pich flow 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.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.4.4]