



Flood zoning of Shahrchai River in Urmia using HEC-RAS model

Abolghasem Taghizadeh Fanid¹ | Ali Lotfalizadeh Lahroudi¹

1. Geography and Rural Planning, Faculty of Planning and Environmental Sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran. fanid@tabrizu.ac.ir

2. Corresponding Author, Geography and Rural Planning, Faculty of Planning and Environmental Sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran. ali.lahroudi@tabrizu.ac.ir

Article Information

Research Paper

Vol: 15
No: 58
P: 73-88
Received: 2024-03-17
Revised: 2024-05-11
Accepted: 2024-05-14
Published: 2025-02-01

Keywords:

- Flood
- Zoning
- HEC-RAS
- GIS
- Shahrchai River

Abstract

Aim: This research was conducted to simulate flood flow in the Shahrchai River in Urmia County, Iran. The Shahrchai River, which passes through the city of Urmia, experiences a flooding state during the spring season, causing damage to buildings and agricultural lands in its vicinity.

Materials & Methods: The hydraulic model HEC-RAS was used to generate floodplain maps for three sections located downstream of the Shahrchai Dam. Floodplain maps were prepared for return periods of 2, 5, 10, 25, 50, and 100 years based on different flow rates from two hydrometric stations. Satellite imagery from the Landsat 8 OLI sensor was utilized to create land use maps, which were classified using supervised classification in ENVI software.

Finding: The results showed that due to the presence of the Shahrchai Dam, the inflow of water to the river channel had a regulated state, resulting in a lower probability of flooding in the 2- and 5-year return period floods. However, in return periods of 25 years and above, due to the increase in river discharge, the lands along the river and the floodplain are flooded.

Conclusion: The final maps revealed that in the first interval, agricultural lands and orchards suffered the most damage during return periods of 25 years and above. In the second interval, residential areas and urban facilities are at risk of flooding during return periods of 25 years and above. In the third interval, agricultural lands are most susceptible to flooding.

Innovation: Few studies have been conducted to investigate the hydrological behavior of the Shahrchai River in Urmia, especially the urban area, using the HEC-RAS model. Therefore, in this research, the HEC-RAS model was employed to simulate flood hazards along this river, and the obtained results significantly contribute to managing this risk.

Cite this Article:

Taghizadeh Fanid, Abolghasem & Lotfalizadeh Lahroudi, Ali. (2025). Flood zoning of Shahrchai River in Urmia using HEC-RAS model. *Journal of Arid Regions Geographic Studies* 15(58): 73-88.
doi: 10.22034/jargs.2024.448452.1099

Publisher: Hakim Sabzevari University

© The Author(s)



Extended Abstract

1. Introduction

Rivers are active flows that face an increase in discharge after each heavy rainfall, and as a result, they become flooded. River flooding is a serious threat to farmlands and residential areas around it. Considering that after the construction of the Shahrchai Dam, numerous floods have occurred downstream of the dam every year and caused a lot of damage, especially to farmlands, the need to research to identify areas at hazard of flooding along the Shahrchai River is felt more than ever. Therefore, the present research attempts to prepare a flood hazard zoning map for periods with different returns along the Shahrchai River route of Urmia using the HEC-RAS model and geographic information system (GIS) technique. These maps can be useful in land management programs for sustainable development and dealing with the region's flood hazards.

2. Materials and methods

Shahrchai River is considered one of the most important rivers in the Urmia Lake basin, which plays a significant role in supplying the water needed by the city of Urmia, the villages in the Shahr Chai basin, as well as supplying water to Lake Urmia. This river originates from the border heights of Iran and Turkey, such as the Zarineh Mountains, with a height of 3100 meters, and Kamal Mountain, with a height of 3386 meters. After passing through Urmia city and irrigating the agricultural lands downstream of the basin, Shahrchai enters Urmia Lake from the east (Keshtiban village). The length of this river is about 60 km, and its basin area is 705 Km². Shahrchai basin is located in Urmia county in terms of political situation. According to data from meteorological and hydrometric stations, the average annual rainfall in the basin is about 360 mm, and the average temperature is about 11 degrees Celsius.

In the present study, the HEC-RAS hydrodynamic model and various data and tools were used to investigate the hydrological behavior of the Shahrchai River in different return periods. In this way, the data of the hydrometric station of Urmia band and Keshtiban were used to study daily and monthly discharge during long-term statistics. To extract the land use map of the region, the Landsat 8 image of the OLI-TIRS sensor was used for July 2021 with the pass and row 169-34 and ENVI software. Supervised classification method and maximum likelihood algorithm were used to identify each user. Digital elevation model (DEM) with a pixel size of 12.5 meters were used to prepare the TIN layer. Next, HEC-RAS hydrodynamic software and HEC-GeoRAS extension were used to simulate the flood along the Shahrchai River.

3. Discussion and results

The study and the maps showed that the Shahrchai River did not witness floods with higher discharge in the first reach during the return periods of 2 and 5 years. As a result, the river mainly floods in its bed, and during these periods, there is no damage to the farmlands and gardens along the river. However, in the return period of 25 years, we see flooding of the riverbanks and the floodplain, which will lead to damages. The evaluation of flood zones for different return periods shows that in the 10-year return period, 44 hectares of farmland and about 2 hectares of residential areas will be flooded, and damages will be caused to them. The second reach, also known as the urban reach due to its location inside the city of Urmia, is the only reach where residential areas suffer the most damage compared to other sections. The third reach has completely different conditions compared to the second reach. In this reach, farmlands include the most flood-prone areas. Also, due to the low slope of the area, the speed of the water flow decreases, and as a result, the depth of the water causes the flooding of the banks and the floodplain of the Shahrchai River to increase. The evaluation of the flood zones for the return period of 10 years shows that about 50 hectares of farmlands and 0.2 hectares of residential areas are flooded.

4. Conclusion

In the present study, flood zone maps were prepared separately for the return periods of 2, 5, 10, 25, 50, and 100 years for the first, second, and third reaches. The maps showed that in the first reach, in the return periods of 25 years and above, the most damage is done to farmlands and gardens. So, in the return period of 25 years, about 57 hectares of farmlands and gardens face the hazard of flooding. In the second reach, residential areas and urban facilities are among the areas involved in the hazard of flooding in return periods of 25 years and above. During this period, about 8 hectares of urban areas are threatened by floods, with a return period of 25 years. In the third reach, farmlands will witness the most flooding. The area of farmlands threatened by floods with a return period of 25 years reaches 87 hectares. In this reach, the village of Keshtiban and the agricultural lands suffered much damage from floods, with a return period of 25 years and more due to its location on the riverbank.

5. Acknowledgment & Funding

- Authors are thankful to all interview participants for supporting this research.
- The manuscript did not receive a grant from any organization.

6. Conflict of Interest

- The authors declare no conflict of interest.



پهنه‌بندی سیلاب رودخانه شهرچای ارومیه با استفاده از مدل HEC-RAS

ابوالقاسم تقی‌زاده فانید^۱، علی لطفعلی‌زاده لاهرودی^۲ 

۱- گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. fanid@tabrizu.ac.ir

۲- نویسنده مسئول، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. ali.lahroudi@tabrizu.ac.ir

چکیده:

هدف: این پژوهش با هدف شبیه‌سازی جریان سیل در مسیر رودخانه شهرچای واقع در شهرستان ارومیه انجام شده است. رودخانه شهرچای که از داخل شهر ارومیه می‌گذرد در فصل بهار حالت طغیانی به خود گرفته و باعث وارد آمدن خسارت به ساختمان‌ها و زمین‌های کشاورزی اطراف خود می‌شود.

روش و داده: جهت تهیه نقشه پهنه‌های سیلابی برای سه بازه که در پایین‌دست سد شهرچای قرار دارند از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS استفاده گردید. پهنه‌های سیلابی برای دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ بر اساس دبی‌های مختلف دو ایستگاه هیدرومتری بند و کشتی‌بان تهیه شدند. جهت هم‌پوشانی نقشه پهنه‌های سیلابی با کاربری‌های منطقه از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ سنجنده OLI برای تهیه نقشه کاربری منطقه استفاده شده و انواع کاربری‌های منطقه با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی نظارت‌شده در محیط نرم‌افزار ENVI تهیه شد.

یافته‌ها: نتایج تحقیق نشان داد که به دلیل وجود سد شهرچای، آب ورودی به کانال رودخانه حالت تنظیمی داشته و در نتیجه در سیلاب‌های با دوره‌های بازگشت ۲ و ۵ ساله احتمال طغیانی شدن رودخانه پایین است. اما در دوره‌های بازگشت ۲۵ سال و بالاتر به دلیل افزایش دبی رودخانه، زمین‌های حاشیه رودخانه و دشت سیلابی دچار سیل گرفتگی می‌شوند.

نتیجه‌گیری: بررسی نقشه‌های نهایی نشان داد که در بازه اول در دوره‌های بازگشت ۲۵ سال و بالاتر بیشترین خسارت به اراضی کشاورزی و باغات وارد می‌شود. در بازه دوم مناطق مسکونی و تأسیسات شهری جزو مناطقی هستند که در دوره‌های بازگشت ۲۵ سال و بالاتر درگیر خطر سیل گرفتگی می‌شوند. در بازه سوم نیز اراضی کشاورزی بیشترین سیل گرفتگی را شاهد خواهند بود.

نوآوری، کاربرد نتایج: مطالعات کمی در ارتباط با بررسی رفتار هیدرولوژیکی رودخانه شهرچای ارومیه به‌ویژه محدوده شهری با استفاده از مدل HEC-RAS انجام شده است. لذا در این تحقیق از مدل هیدرولوژیکی HEC-RAS به منظور شبیه‌سازی جریان سیلاب در مسیر این رودخانه استفاده شده که نتایج به دست آمده از آن برای مدیریت این مخاطره کمک شایانی می‌کند.

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی

شماره:	۱۵
دوره:	۵۸
صفحه:	۷۳-۸۸
تاریخ دریافت:	۱۴۰۲/۱۲/۲۷
تاریخ ویرایش:	۱۴۰۳/۰۱/۲۲
تاریخ پذیرش:	۱۴۰۳/۰۱/۲۵
تاریخ انتشار:	۱۴۰۳/۱۱/۱۳

کلیدواژه‌ها:

- سیلاب
- پهنه‌بندی
- هک راس
- سامانه اطلاعات جغرافیایی
- رودخانه شهرچای

نحوه ارجاع به این مقاله:

تقی‌زاده فانید، ابوالقاسم و لطفعلی‌زاده لاهرودی، علی. (۱۴۰۳). پهنه‌بندی سیلاب رودخانه شهرچای ارومیه با استفاده از مدل HEC-RAS. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۱۵(۵۸): ۷۳-۸۸.
doi: 10.22034/jargs.2024.448452.1099

ناشر: دانشگاه حکیم سبزواری



© نویسنده(گان).

۱- مقدمه

سیل هر ساله منجر به خسارات جانی و مالی فراوانی در سطح جهان می‌شود. با وجود تلاش‌های انجام شده برای مهار سیل، بشر نتوانسته به‌طور کامل از خسارات ناشی از آن در امان بماند (Damadi et al., 2021). با شروع فصل بهار سیلاب‌ها به‌عنوان مهم‌ترین مخاطره ژئومورفیک در سطح کشور مطرح می‌شوند که خسارت‌های جانی و مالی فراوانی را به بار می‌آورند (Rahimpour et al., 2023). مناطق کوهستانی شمال غرب ایران به‌دلیل توپوگرافی خاص خود و بارش تقریباً مناسب طی سال و به‌خصوص در فصل بهار، از جمله مناطق مستعد وقوع مخاطره سیل هستند (Mokhtari et al., 2020). بررسی‌ها حاکی از آن است که دلیل افزایش خسارات وقوع سیل در جهان، افزایش تکرار و بزرگی سیل‌ها نبوده است، بلکه تشدید استفاده از اراضی سیلاب‌دشت‌ها، یعنی تخریب شدید منابع طبیعی به‌صورت بهره‌برداری بی‌رویه از جنگل‌ها و مراتع و محدودسازی مقطع رودخانه‌ها از طریق ایجاد مناطق مسکونی، پل‌ها و غیره را می‌بایست به‌عنوان عامل اصلی ایجاد سیلاب‌های مخرب به شمار آورد (Bozorg Haddad et al., 2013). گسترش مناطق روستایی در بستر و دشت‌های سیلابی و اطراف رودخانه‌ها، بدون آگاهی از شرایط هیدرولوژیکی و دینامیکی رودخانه‌ها و مناطق بالادست حوضه، باعث افزایش خطر وقوع سیلاب و به دنبال آن افزایش خسارات جانی و مالی شده و توسعه را با عدم شناخت کافی مواجه می‌نماید و بدین ترتیب، اهمیت تهیه و کاربرد نقشه‌های پهنه‌بندی خطر وقوع سیل را در مدیریت این مخاطره آشکار می‌سازد (Roknoddin Eftekhari et al., 2010). تعیین رفتار هیدرولیکی رودخانه‌ها در مقابل سیلاب‌های آینده جهت کاهش خسارات وارده بر تأسیسات شهری و روستایی، اراضی کشاورزی و سایر کاربری‌های موجود، در حواشی رودخانه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند (Asgari et al., 2015). تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر وقوع سیل اولین گام در برنامه‌های مدیریتی سیل و دشت‌های سیلابی است (Mehta & Kumar, 2021). مشخص کردن بستر و حریم آبراهه‌ها، مطالعات مربوط به توجیه اقتصادی فعالیت‌های عمرانی، پیش‌بینی و هشدار وقوع سیل، عملیات امداد و نجات و بیمه ناشی از حوادث سیل از جمله کاربرد این نقشه‌ها است (Barkhordar & Chavoshian, 2000). از نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب می‌توان به منزله ابزاری مفید و کارآمد در برنامه‌ریزی مسیر توسعه یک منطقه چه از لحاظ ساخت‌وساز و توسعه زمین‌های کشاورزی و باغ‌ها و چه از لحاظ مدیریت مخاطره سیلاب استفاده کرد (Rezaei Moghaddam & Rahimpour, 2024). امروزه استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و نرم‌افزارهای هیدرولوژیکی در مطالعات مدیریت منابع آب و پهنه‌بندی خطر سیل گسترش زیادی پیدا کرده است (Rajabi et al., 2018).

تاکنون مطالعات خوبی در زمینه پهنه‌بندی و شبیه‌سازی هیدرولوژیکی سیلاب‌های رودخانه‌ای در داخل و خارج از کشور انجام گرفته است، که به چند مورد از آن‌ها اشاره می‌شود. مارتین و همکاران در پژوهشی اقدام به پهنه‌بندی سیلاب رودخانه سیرونکو واقع در اوگاندا نمودند. در این تحقیق نقشه‌های خطرپذیری سیل با استفاده از مدل HEC-RAS تهیه گردید (Martin et al., 2012). همتی و همکاران در تحقیقی اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی سیلاب رودخانه چرداول (بازه چناره) کردند. در این تحقیق از مدل HEC-RAS و GIS استفاده گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که خطر وقوع سیل در زمین‌های اطراف رودخانه به دلیل پهنای زیاد بستر کانال در بیشتر قسمت‌ها به طور نسبی پایین است. این مورد حتی در ارتباط با سیل‌های با دوره بازگشت زیاد هم صادق است (Hemati et al., 2015). زاپ و همکاران بر اساس مدل HEC-RAS به بررسی تأثیر سیل بر مناطق ساحلی شهر بمبی پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش جزئی در اوج و حجم رواناب در هنگام جزر و مد می‌تواند خسارات زیادی به این مناطق وارد سازد (Zope et al., 2015). رجبی و همکاران با تلفیق مدل HEC-RAS و سیستم اطلاعات جغرافیایی به پهنه‌بندی سیلاب رودخانه چالوس پرداختند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که در رودخانه چالوس در بیشترین حالت حدود ۲۴ درصد و در کمترین حالت حدود ۸ درصد از مساحت حوضه مستعد وقوع سیل هستند. همچنین در سیلاب‌های با دوره بازگشت دو ساله، بیشترین گستره سیلابی را کاربری‌هایی همچون شالیزارها، ساختمان‌ها، باغات، مراتع و جنگل‌ها شامل می‌شوند و در نتیجه بیشترین خسارات متوجه کشاورزان و مناطق مسکونی خواهد شد (Rajabi et al., 2018). حجازی و همکاران در پژوهشی اقدام به تهیه نقشه خطر وقوع سیلاب در حوضه آبریز ورکش چای با استفاده از مدل HEC-RAS و الحاقیه HEC-GEO-RAS کردند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که در سیلاب‌هایی با دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ سال به ترتیب ۶۳ و ۱۰۰ کیلومترمربع از کل مساحت منطقه تحت تأثیر قرار می‌گیرند (Hejazi et al., 2019). دامادی و همکاران با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS اقدام به پهنه‌بندی سیلاب در رودخانه سرباز واقع در استان سیستان و بلوچستان کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که با دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰

ساله به ترتیب ۳۶۶/۸۶، ۳۹۷/۱۲، ۴۴۹/۹۵ و ۵۸۰/۷۸ هکتار مساحت پهنه سیلاب حوزه آبریز سرباز محدوده شهر راسک افزایش می‌یابد (Damadi et al., 2021). کریم و همکاران در تحقیقی با استفاده از مدل HEC-RAS به بررسی خطر وقوع سیل در منطقه سد العدیم عراق پرداختند (Karim et al., 2021). روح‌اللهی و همکاران در تحقیقی اقدام به پهنه‌بندی و شبیه‌سازی رفتار هیدرولوژیکی سیلاب با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS نمودند. محدوده مورد مطالعه این تحقیق زیرحوضه دثفه واقع در استان کرمان بود. نتایج نشان داد که مقدار دبی و حجم سیلاب حاصل از بارش به ترتیب با دوره بازگشت ۲۵ ساله برابر با ۶۸/۱ مترمکعب در ثانیه و ۱۱۵۰/۶ هزار مترمکعب و با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله برابر با ۱۶۲/۷۳ مترمکعب در ثانیه و ۲۹۶۷/۹۹ هزار مترمکعب است (Rohollahi et al., 2023). با توجه به این که بعد از احداث سد شهرچای نیز هر ساله سیلاب‌های متعددی در پایین‌دست سد رخ داده و خسارت‌های زیادی به‌ویژه به زمین‌های کشاورزی وارد می‌سازد، ضرورت انجام تحقیقی جهت شناسایی پهنه‌های در معرض خطر وقوع سیل در مسیر رودخانه شهرچای بیش از پیش احساس می‌شود. بنابراین در پژوهش حاضر تلاش شده است تا نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب برای دوره‌های با بازگشت مختلف در طول مسیر رودخانه شهرچای ارومیه با استفاده از مدل HEC-RAS و تکنیک سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)^۱ تهیه شود. این نقشه‌ها می‌توانند به‌عنوان ابزاری مفید در برنامه‌های آمایش سرزمین به‌منظور توسعه پایدار و مقابله با مخاطرات سیلاب در منطقه مورد استفاده قرار بگیرند.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

رودخانه شهرچای یکی از رودخانه‌های مهم و پرآب حوزه آبریز دریاچه ارومیه محسوب شده که نقش به‌سزایی در تأمین آب مورد نیاز شهر ارومیه، روستاهای داخل حوزه آبریز شهرچای و همچنین تأمین آب دریاچه ارومیه دارد. این رودخانه از ارتفاعات مرزی ایران و ترکیه مثل کوه‌های زرینه با ارتفاع ۳۱۰۰ متر و کوه کمال با ارتفاع ۳۳۸۶ متر سرچشمه می‌گیرد. شهرچای پس از عبور از شهر ارومیه و سیراب نمودن زمین‌های کشاورزی پایین‌دست حوزه، از سمت شرق (پایین روستای کشتیان) وارد دریاچه ارومیه می‌شود. طول این رودخانه حدود ۶۰ کیلومتر و مساحت حوزه آبریز آن ۷۰۵ کیلومترمربع است. میانگین بارش سالانه در حوزه طبق داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری حدود ۳۶۰ میلی‌متر بوده و میانگین دما نیز حدود ۱۱ درجه سانتی‌گراد است. رودخانه شهرچای در فصل بهار به دلیل طغیانی شدن و خروج از کانال اصلی رودخانه و شدت و سرعت جریان و در نهایت فرسایش بستر از مواد معلق فراوانی برخوردار بوده و لذا گل‌آلود و تیره‌رنگ است. برعکس، در فصل تابستان به دلیل کاهش حجم آب و سرعت جریان دارای آبی شفاف و قابل شرب است. بستر رودخانه در اطراف روستای هلوری عریض‌تر است، اما پس از عبور از این روستا دوباره عرض آن کم شده و به حدود ۳۵ متر می‌رسد (Asghari Sareskanroud, 2013).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

1. Geographic information system (GIS)

محدوده مورد بررسی از نظر تقسیمات واحدهای ساختمانی رسوبی (اشتوکلین، ۱۹۶۸) بخشی از ایران مرکزی بوده و از نظر تقسیمات نبوی نیز بخش شرقی دریاچه ارومیه جزء زون البرز - آذربایجان و بخش غربی دریاچه جزء زون ماکو - مهاباد به شمار می‌آید. پادگانه‌های آبرفتی قدیمی و کنگلومرای قرمزرنج، ماسه‌سنگ، مارن و ژپس قسمت عمده‌ای از حوضه را پوشش می‌دهند. پادگانه‌های آبرفتی قدیمی که در پایین‌دست حوضه قرار دارند به زمین‌های کشاورزی و باغ تبدیل شده است. کلان‌شهر ارومیه نیز بر روی این سازندها شکل گرفته است. کنگلومرای قرمزرنج، ماسه‌سنگ، مارن و ژپس تقریباً قسمت‌های میانی حوضه را شامل می‌شود. سد شهرچای ارومیه بر روی این سازندها احداث شده است. این سازندها مربوط به دوره الیگوسن هستند. بستر رودخانه شهرچای با آبرفت‌های عهد حاضر پوشیده شده است. این آبرفت‌ها توسط آبراهه‌های فرعی از زیر حوضه‌های داخل حوضه به سمت رودخانه شهرچای حمل شده و مورفولوژی بستر رودخانه را شکل می‌دهند.

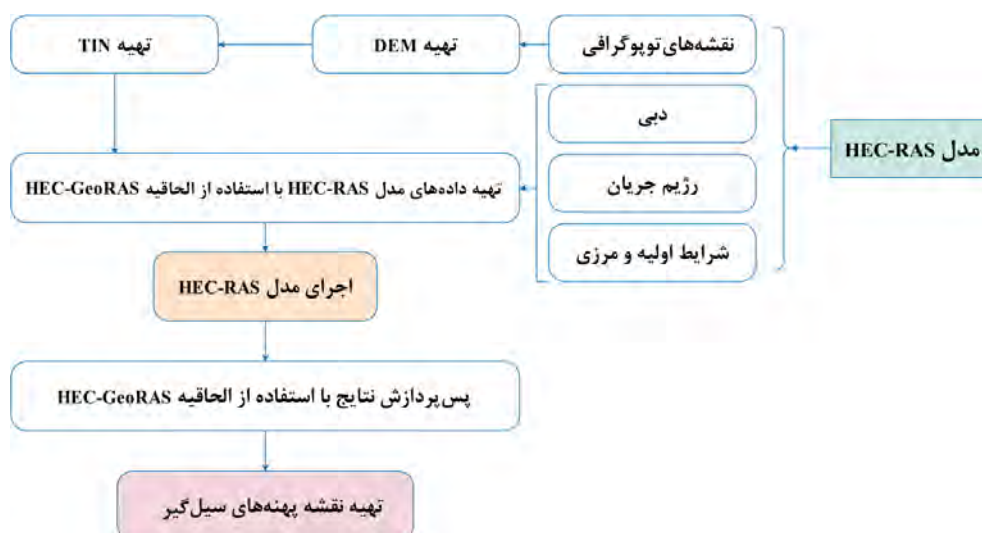
۲-۲- روش پژوهش

در پژوهش حاضر به‌منظور بررسی رفتار هیدرولوژیکی رودخانه شهرچای در دوره‌های بازگشت مختلف از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS و داده‌ها و ابزارهای مختلفی استفاده شده است. به‌این‌ترتیب از داده‌های ایستگاه هیدرومتری بند ارومیه و کشتیان به‌منظور بررسی دبی روزانه و ماهانه در طول آماری بلندمدت بهره گرفته شد. به‌منظور استخراج کاربری‌های منطقه از تصویر لندست ۸ سنجنده OLI-TIRS، برای تیرماه سال ۲۰۲۱ با گذر و ردیف ۳۴-۱۶۹ و نرم‌افزار ENVI استفاده گردید. جهت شناسایی هر یک از کاربری‌ها از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده و الگوریتم حداکثر احتمال استفاده گردید. نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۲۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه و مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با اندازه پیکسل ۱۲/۵ متر (به دلیل موجود نبودن DEM با قدرت بالاتر) به‌منظور تهیه لایه TIN مورد استفاده قرار گرفتند. در ادامه جهت شبیه‌سازی سیلاب در طول مسیر رودخانه شهرچای از نرم‌افزار هیدرودینامیکی HEC-RAS و الحاقیه HEC-GeoRAS استفاده شد.

تاکنون مدل HEC-RAS به‌عنوان مدلی مناسب جهت شبیه‌سازی جریان سیلاب در مسیر رودخانه و تهیه نقشه پهنه‌های سیلابی برای دوره‌های بازگشت مختلف معرفی شده است؛ لذا در پژوهش حاضر نیز از این مدل استفاده گردید. HEC-RAS یک مدل هیدرودینامیک است که بخش مهندسی ارتش ایالات متحده آمریکا در مرکز مهندسی هیدرولیک ارائه داده است. HEC-RAS نرم‌افزاری است که به کاربر امکان انجام محاسبات هیدرولیک یا شبیه‌سازی رودخانه در حالت جریان ماندگار و غیر ماندگار را می‌دهد (Hekmatifar et al., 2009). مدل HEC-RAS چهار مؤلفه تحلیل یک بعدی برای یک رودخانه را شامل می‌شود: ۱- محاسبات مربوط به پروفیل سطح آب جریان ماندگار؛ ۲- شبیه‌سازی جریان غیر ماندگار؛ ۳- محاسبات انتقال رسوب مرزی متحرک؛ ۴- تحلیل کیفیت آب (HEC, 2010). نتایج حاصل از اجرای این مدل در مدیریت دشت سیلابی و بیمه حوادث ناشی از سیل به‌منظور ارزیابی اثرات تجاوز به مسیر سیلاب به کار گرفته می‌شوند (Tate, 1999). در تحقیق حاضر به‌منظور تهیه نقشه شبیه‌سازی سیلاب مجرای رودخانه شهرچای از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر استفاده شده است. به‌منظور استفاده از این نقشه‌ها، در مرحله اول نقشه‌ها تصحیح هندسی شده‌اند. در نهایت با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS نقشه نامنظم مثلثی (TIN)^۲ جهت وارد کردن به نرم‌افزار HEC-RAS تهیه شده است. در مرحله بعد با استفاده از الحاقی HEC-Geo-RAS خط مرکزی جریان، خط کناره‌های رودخانه، مقاطع عرضی از ساحل چپ به سمت ساحل راست و مسیر جریان ترسیم شدند. داده‌های جریان برای مدل HEC-RAS، رژیم جریان، داده‌های مربوط به دبی، شرایط اولیه و شرایط مرزی را شامل می‌شود. رژیم جریان به‌صورت زیربهرانی، فوق بحرانی، یا مختلط تعریف می‌شود. داده‌های مربوط به دبی حداقل یک مقدار جریان در طول هر بازه در رودخانه را شامل می‌شود. شرایط اولیه و مرزی برحسب ترازهای اولیه سطح آب در بالادست و پایین‌دست، هیدروگراف جریان، یا منحنی سنج دبی تعیین می‌شود (Merwade, 2004). داده‌های اولیه مورد نیاز برای شبیه‌سازی سیلاب در نرم‌افزار HEC-RAS عبارتند از: ۱- اطلاعات هیدرولیکی که شامل ضرایب زبری رودخانه در بازه‌های مختلف، وضعیت مسیر رودخانه از جمله الگوی کانال رودخانه، مقاطع عرضی رودخانه ۲- اطلاعات توپوگرافی شامل پروفیل طولی و عرضی رودخانه ۳- اطلاعات جریان سیل شامل: هیدروگراف ورودی سیل، دبی با دوره بازگشت‌های مختلف و منحنی دبی - اشل. در تحقیق حاضر، به‌منظور محاسبات مربوط به دبی‌های با دوره‌های بازگشت مختلف از اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری کشتیان و بند ارومیه استفاده شده است.

1. Digital height model (DEM)

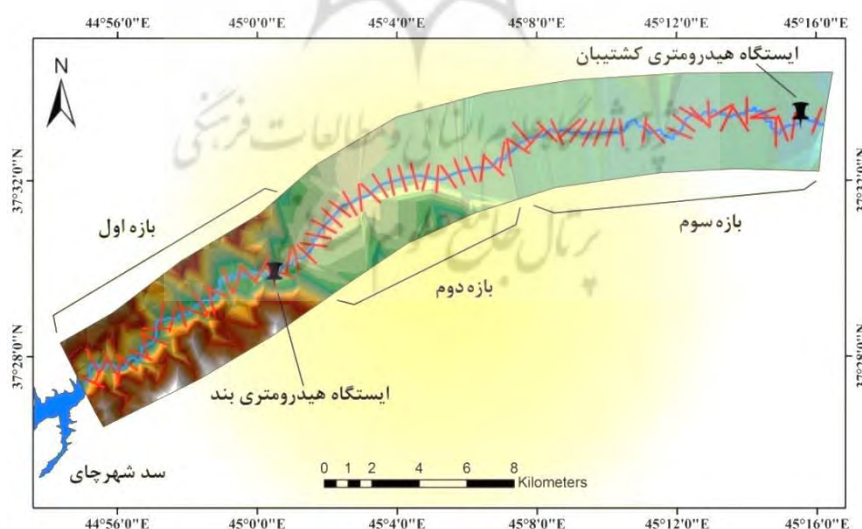
2. Triangulated irregular network (TIN)



شکل ۲. فلوچارت مدل‌سازی سیلاب با استفاده از مدل HEC-RAS

۳- یافته‌ها

مدل‌های پخش سیلاب ابزارهایی توانمند هستند که می‌توانند هیدرولیک رودخانه و سیلاب‌های اتفاق افتاده در دشت سیلابی را شبیه‌سازی کنند. در این پژوهش از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS جهت شبیه‌سازی سیلاب‌های رودخانه شهرچای به طول ۴۳/۵ کیلومتر از سد شهرچای تا ایستگاه هیدرومتری کشتیان استفاده شده است. به همین منظور جهت تعیین مشخصات هندسی رودخانه شهرچای از نرم‌افزار ArcGIS و الحاقیه HEC-GeoRAS استفاده گردید. به این صورت که ابتدا با استفاده از لایه شبکه نامنظم مثلثی (TIN)، لایه‌های مورد نیاز از قبیل مسیر جریان مرکزی، خطوط ساحلی دو طرف رودخانه و مقاطع عرضی تهیه شدند (شکل ۳). به منظور تعیین شرایط اولیه جریان از داده‌های حداکثر دبی سیل در محل ایستگاه‌های بند و کشتیان و از نرم‌افزار HEC-HMS و Smada و از روش توزیع پیرسون تیپ ۳ برای پیش‌بینی دبی پیک‌های سیلاب و احتمال وقوع آن‌ها برای دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ استفاده گردید.



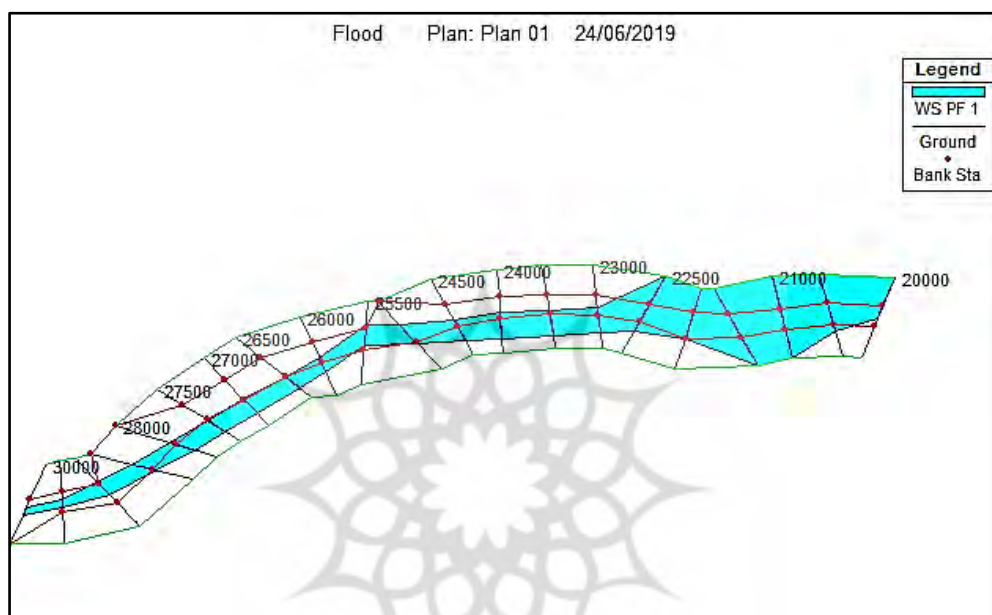
شکل ۳. مسیر رودخانه شهرچای و مقاطع عرضی بر روی رودخانه در بازه‌های اول، دوم و سوم

در ادامه جهت مشخص نمودن ضریب زبری مانینگ بستر و سواحل رودخانه شهرچای از لایه کاربری اراضی و اطلاعات بازدیدهای میدانی استفاده شده و بر اساس جدول کاون، ضریب زبری هر یک از مقاطع در سه بازه محاسبه گردید. جدول (۱) میانگین ضریب زبری برای سه بازه را نشان می‌دهد.

جدول ۱. مقادیر میانگین ضریب زبری مانینگ در بازه‌های مورد مطالعه

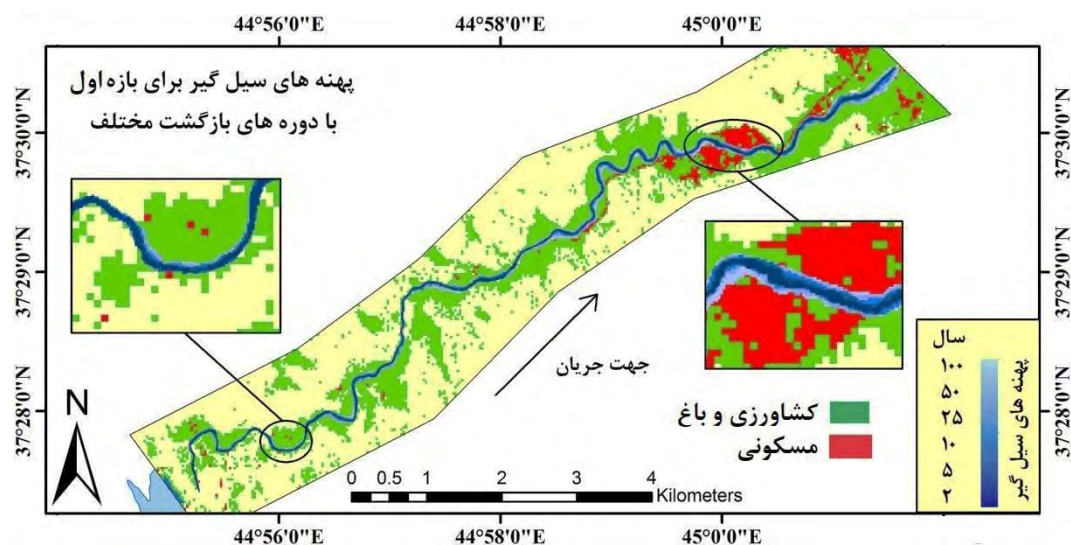
بازه	ضریب زبری کانال اصلی	ضریب زبری سواحل رودخانه
اول	۰/۰۳۵	۰/۰۴
دوم	۰/۰۲۱	۰/۰۲۵
سوم	۰/۰۲۸	۰/۰۳۱

سه نوع جریان برای رودخانه‌ها در نظر گرفته می‌شوند که عبارت اند از: جریان زیر بحرانی، جریان فوق بحرانی و جریان متخلط. در منطقه مورد مطالعه با توجه به این که رودخانه هم در محدوده کوهستانی و هم در محدوده دشت سیلابی جریان دارد، نوع جریان برای رودخانه شهرچای مختلط در نظر گرفته شده است.

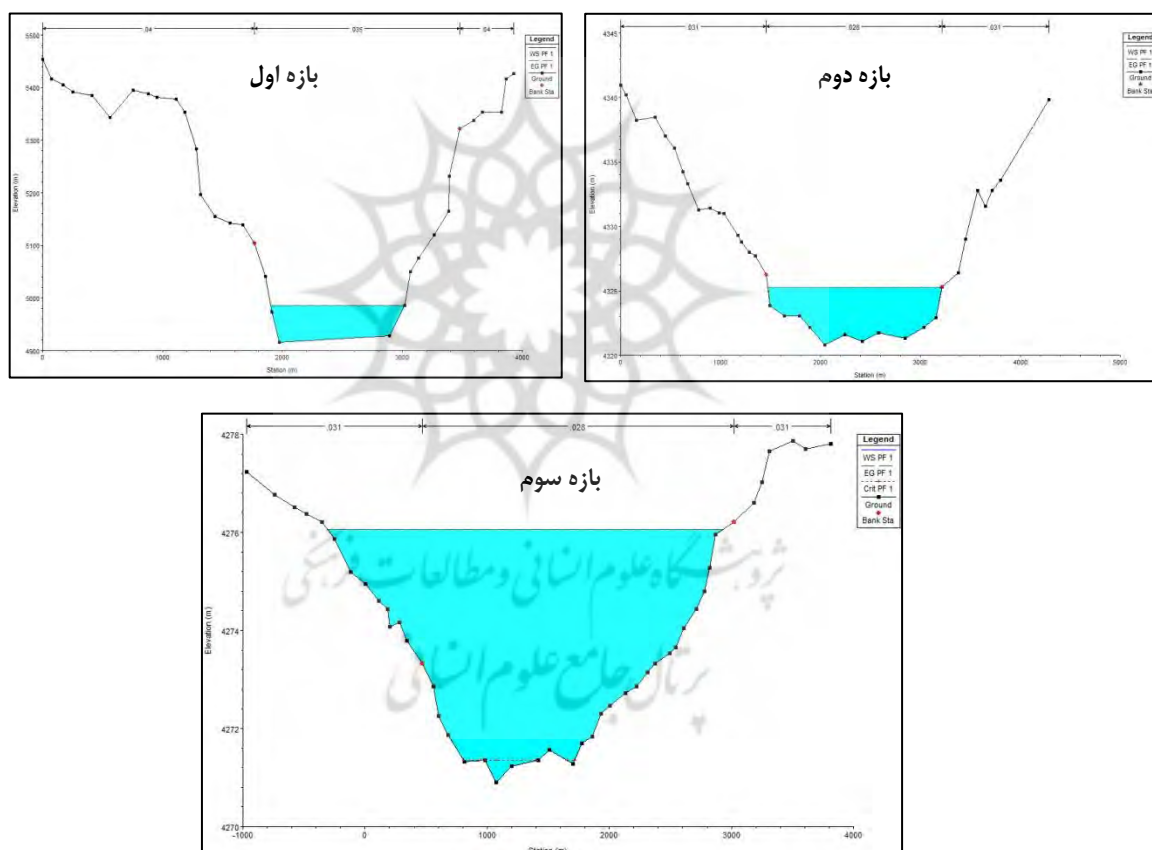


شکل ۴. شبیه‌سازی سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ سال برای قسمتی از بازه دوم در نرم‌افزار HEC-RAS

پس از تهیه اطلاعات مورد نیاز جهت اجرای مدل HEC-RAS در محیط نرم‌افزار ArcGIS، این لایه‌ها و اطلاعات وارد محیط نرم‌افزار HEC-RAS شده و شبیه‌سازی جریان سیل برای دوره‌های بازگشت مختلف انجام شد. شکل ۵ نقشه پهنه‌های سیل‌گیر رودخانه شهرچای را در بازه اول برای دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله نشان می‌دهد. بررسی نقشه نشان می‌دهد که رودخانه شهرچای در این بازه در دوره‌های بازگشت ۲ و ۵ ساله شاهد سیلاب‌های با دبی بیشتر نبوده و در نتیجه رودخانه عمدتاً در بستر خود حالت طغیانی می‌گیرد و در این دوره‌ها به زمین‌های کشاورزی و باغات حاشیه رودخانه خسارتی وارد نمی‌شود؛ اما در دوره‌های بازگشت ۲۵ ساله شاهد سیل گرفتگی حاشیه رودخانه و دشت سیلابی هستیم که منجر به خسارت خواهد شد. ارزیابی سطوح پهنه‌های سیل‌گیر برای دوره‌های بازگشت مختلف نشان می‌دهد که در دوره بازگشت ۱۰ ساله ۴۴ هکتار از زمین‌های کشاورزی و حدود ۲ هکتار از مناطق مسکونی دچار سیل گرفتگی شده و خساراتی به آن‌ها وارد خواهد شد. در دوره بازگشت ۲۵ ساله نیز ۵۷ هکتار از اراضی زراعی و باغات و ۲/۷ هکتار از مناطق مسکونی دچار سیل گرفتگی خواهند شد. برای دوره‌های بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله نیز میزان سیل گرفتگی به ترتیب ۷۸ و ۸۴ هکتار برای اراضی کشاورزی و باغات و ۴/۵ و ۵/۶ هکتار نیز برای مناطق مسکونی خواهد بود.



شکل ۵. سطوح سیل گیر رودخانه شهرچای برای بازه اول با دوره های بازگشت مختلف

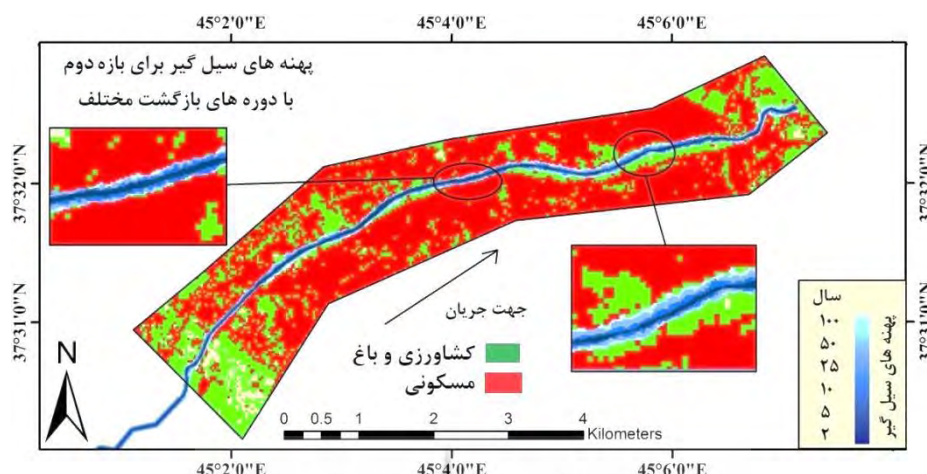


شکل ۶. مقاطع عرضی و سطوح سیلابی برای دوره بازگشت ۲۵ ساله

بازه دوم که به دلیل قرار گرفتن در داخل شهر ارومیه به بازه شهری نیز معروف است تنها بازه ای است که در آن نسبت به بازه های دیگر بیشترین خسارت را مناطق مسکونی متحمل خواهند شد. ارزیابی سطوح سیل گیر برای دوره های بازگشت مختلف در این بازه نشان می دهد که در سیلاب های با دوره بازگشت ۲ و ۵ ساله به دلیل دیوارکشی در حاشیه رودخانه، احتمال طغیانی شدن و به زیر آب رفتن حاشیه رودخانه خیلی کم است. در دوره بازگشت ۱۰ ساله حدود ۳۰ هکتار از اراضی کشاورزی و فضای سبز حاشیه رودخانه و ۵ هکتار نیز از مناطق مسکونی و تأسیسات شهری دچار سیل گرفتگی می شوند (جدول ۲).

جدول ۲. مساحت سطوح سیل‌گیر به هکتار در بازه دوم برای دوره‌های بازگشت مختلف

بازه	کاربری	دوره ۱۰ ساله	دوره ۲۵ ساله	دوره ۵۰ ساله	دوره ۱۰۰ ساله
دوم	اراضی کشاورزی	۳۰	۴۲	۵۷	۷۹/۵
	مناطق مسکونی	۵	۷/۹	۱۷	۱۹

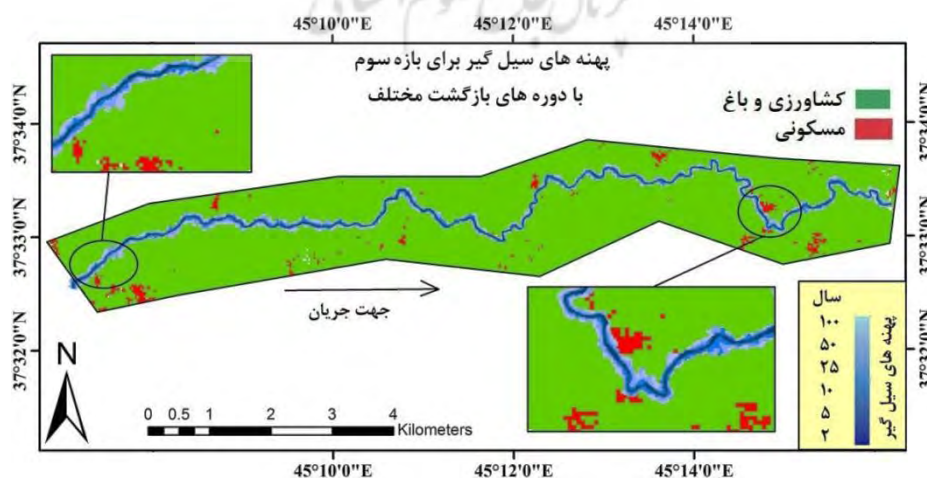


شکل ۷. سطوح سیل‌گیر رودخانه شهرچای برای بازه دوم با دوره‌های بازگشت مختلف

بازه سوم شرایط کاملاً متفاوتی نسبت به بازه دوم دارد. در این بازه اراضی کشاورزی بیشترین سطوح سیل‌گیر را شامل می‌شود. در این بازه به دلیل شیب کم منطقه، سرعت جریان آب پایین آمده و در نتیجه عمق آب و سیل گرفتگی حاشیه و دشت سیلابی رودخانه شهرچای بیشتر می‌شود. ارزیابی سطوح سیل‌گیر برای دوره بازگشت ۱۰ ساله نشان می‌دهد که حدود ۵۰ هکتار از اراضی کشاورزی و ۰/۲ هکتار از مناطق مسکونی دچار سیل گرفتگی می‌شوند (جدول ۳). در این بازه روستای کشتیان از جمله مناطقی هست که در سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲۵ سال و بالاتر درگیر سیل می‌شود. بنابراین ضرورت دارد که برای جلوگیری از خسارات حاصله از سیل، تمهیدات لازم در حاشیه رودخانه شهرچای در این قسمت اندیشیده شود.

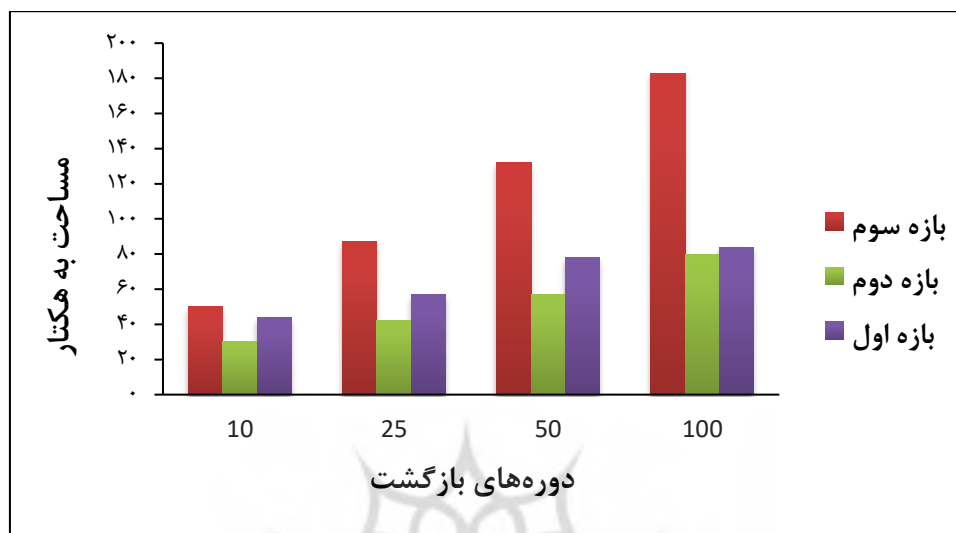
جدول ۳. مساحت سطوح سیل‌گیر به هکتار در بازه سوم برای دوره‌های بازگشت مختلف

بازه	کاربری	دوره ۱۰ ساله	دوره ۲۵ ساله	دوره ۵۰ ساله	دوره ۱۰۰ ساله
سوم	اراضی کشاورزی	۵۰	۸۷	۱۳۲	۱۸۳
	مناطق مسکونی	۰/۲	۰/۳	۰/۵	۰/۶



شکل ۸. سطوح سیل‌گیر رودخانه شهرچای برای بازه سوم با دوره‌های بازگشت مختلف

شکل‌های ۹ و ۱۰ مساحت سطوح سیل‌گیر را برای سه بازه در کاربری اراضی کشاورزی و باغات و مناطق مسکونی (شهر - روستا) در دوره‌های بازگشت مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل‌ها مشخص است در اراضی کشاورزی و باغات بازه سوم بیشترین سطوح سیل‌گیر را به خود اختصاص داده است. در مقابل بازه دوم به دلیل عبور رودخانه از داخل شهر ارومیه کمترین مساحت را دارد. در مناطق مسکونی نیز بازه دوم بیشترین سطوح سیل‌گیر را در دوره‌های بازگشت مختلف نشان می‌دهد و بازه سوم نیز کمترین مساحت پهنه‌های سیل‌گیر را دارد.



شکل ۹. مساحت سطوح سیل‌گیر در اراضی کشاورزی و باغات برای دوره‌های بازگشت مختلف

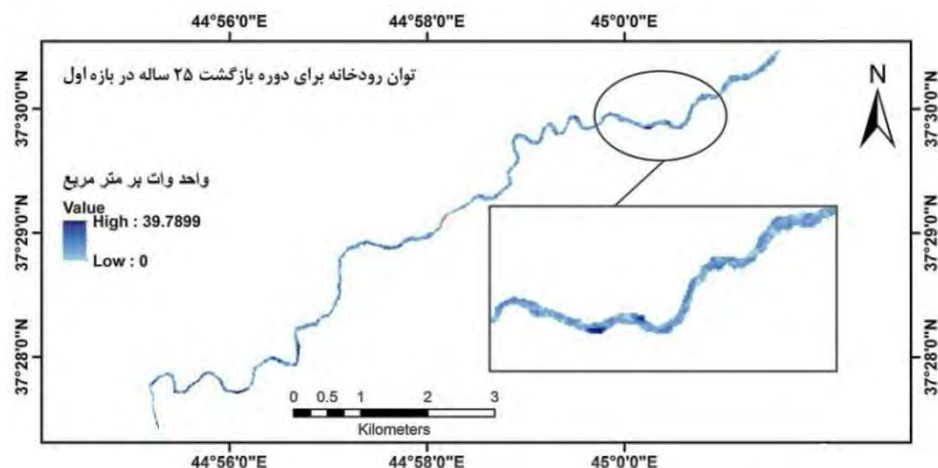


شکل ۱۰. مساحت سطوح سیل‌گیر در مناطق مسکونی (شهر - روستا) برای دوره‌های بازگشت مختلف

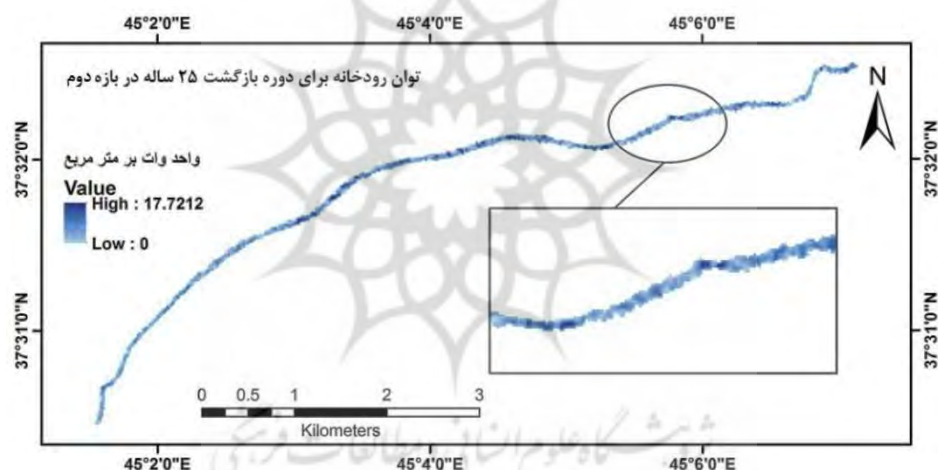
تغییرات توان رودخانه

توان رودخانه تحت عنوان نیروی شکل‌دهنده و توسعه‌دهنده مورفولوژی کانال رودخانه و یک سیستم فعل و انفعالی بین کانال و دشت سیلابی است (Song et al., 2014). در واقع توان رودخانه شاخصی است که مقدار انرژی رودخانه و توانایی انجام کار را مشخص می‌کند و در فرآیندهایی که مربوط به مورفولوژی کانال رودخانه است، مورد استفاده قرار می‌گیرد (Hicking & Nanson, 1984). نقشه‌های توان رودخانه برای دوره‌های بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله در بازه‌های اول، دوم و سوم یک روند کاهشی را از بالادست رودخانه به سمت پایین‌دست نشان می‌دهد. علت اصلی این کاهش توان رودخانه به سمت پایین‌دست،

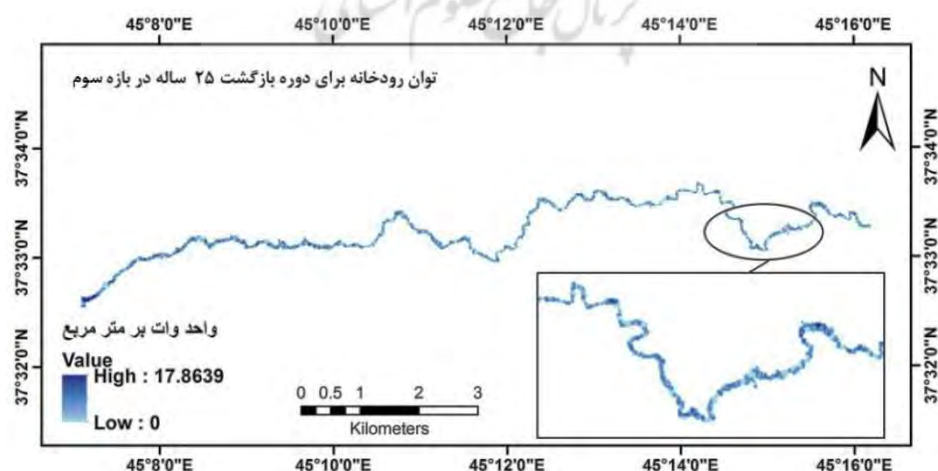
کاهش شیب و به تبع آن کاهش سرعت و تنش برشی کانال رودخانه است. در بازه دوم به جهت این‌که شیب کانال نسبتاً زیاد بوده و عرض دشت سیلابی نیز کم است در نتیجه عمق آب و به تبع آن توان رودخانه نیز بالا است. در بازه سوم به دلیل این‌که شیب خیلی کم بوده و توسعه دشت سیلابی در بیشترین حد خود قرار دارد، پخش شدن آب در سطح دشت سیلابی منجر به از دست رفتن انرژی رودخانه شده و توان رودخانه کم‌ترین مقادیر را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱. تغییرات توان رودخانه برای سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲۵ ساله برای بازه اول



شکل ۱۲. تغییرات توان رودخانه برای سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲۵ ساله برای بازه دوم



شکل ۱۳. تغییرات توان رودخانه برای سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲۵ ساله برای بازه سوم

۴- نتیجه گیری

رودخانه‌ها جریان‌های فعالی هستند که پس از هر بار بارندگی سنگین با افزایش میزان دبی مواجه شده و در نتیجه حالت طغیانی به خود می‌گیرند. طغیانی شدن رودخانه‌ها، تهدیدی جدی برای اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی اطراف خود است. در تحقیق تلاش گردید تا با استفاده از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS به شبیه‌سازی سیلاب‌های رودخانه شهرچای به طول ۴۳/۵ کیلومتر از سد شهرچای تا ایستگاه هیدرومتری کشتیان در دوره‌های بازگشت مختلف پرداخته شود. اطلاعات مورد نیاز جهت شبیه‌سازی جریان سیل از قبیل خطوط مرکزی جریان، مقاطع عرضی و سواحل سمت چپ و راست رودخانه با استفاده از الحاقیه HEC-GeoRAS در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شدند. نقشه پهنه‌های سیلابی برای دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله برای بازه‌های اول، دوم و سوم به صورت جداگانه تهیه شدند. بررسی نقشه‌ها نشان داد که در بازه اول در دوره‌های بازگشت ۲۵ سال و بالاتر بیشترین خسارت به اراضی کشاورزی و باغات وارد می‌شود. به طوری که در دوره بازگشت ۲۵ سال حدود ۵۷ هکتار از اراضی کشاورزی و باغات با خطر سیل‌گرفتگی روبه‌رو هستند. در بازه دوم مناطق مسکونی و تأسیسات شهری جزو مناطقی هستند که در دوره‌های بازگشت ۲۵ سال و بالاتر درگیر خطر سیل‌گرفتگی می‌شوند. در این بازه با سیلاب‌های دوره بازگشت ۲۵ سال حدود ۸ هکتار از مناطق شهری توسط سیل تهدید می‌شوند. در بازه سوم نیز اراضی کشاورزی بیشترین سیل‌گرفتگی را شاهد خواهند بود. مساحت اراضی کشاورزی که در این بازه با سیلاب‌های دوره بازگشت ۲۵ سال تهدید می‌شوند به ۸۷ هکتار می‌رسد. در این بازه روستای کشتیان و زمین‌های کشاورزی این روستا به دلیل قرارگیری در حاشیه رودخانه خسارت زیادی از سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲۵ سال و بالاتر را متحمل می‌شود. نتایج تحقیق حاضر با نتایج پژوهشگرانی همچون شعبانلو و همکاران، راد و همکاران و دامادی و همکاران مطابقت دارد (Shabanlou et al., 2008; Rad et al., 2018; Damadi et al., 2021). محققین مذکور مدل HEC-RAS را روشی مناسب جهت شبیه‌سازی رفتار هیدرولوژیکی رودخانه عنوان کرده‌اند، که نتایج به‌دست آمده از تحقیق حاضر نیز بیانگر تأیید این مطلب است؛ لذا با توجه به نتایج تحقیق ضرورت دارد که اقدامات پیشگیرانه از قبیل جلوگیری از تصرف بستر رودخانه در بازه اول و سوم و بازسازی سواحل رودخانه و ایجاد دیوار ساحلی استاندارد در بازه دوم و همچنین لایروبی منظم کانال رودخانه جهت مدیریت سیلاب در مسیر رودخانه شهرچای صورت گیرد. از جمله محدودیت‌های تحقیق نیز می‌توان به عدم دسترسی به لایه DEM با قدرت تفکیک بالا و همچنین نبود ایستگاه هیدرومتری در بازه واقع در محدوده شهری اشاره کرد. این محدودیت‌ها می‌توانند در نتایج تحقیق تأثیر داشته باشند.

۵- فهرست منابع

- اصغری سراسکانرود، صیاد (۱۳۹۲). بررسی و تحلیل الگوهای متفاوت رودخانه شهرچای ارومیه، ژئومورفولوژی کاربردی ایران، (۱)، ۷۵-۸۸. <https://civilica.com/doc/793720>
- برخوردار مهرداد؛ چاوشیان، سید علی (۱۳۷۹). پهنه‌بندی سیلاب. مجموعه مقالات کارگاه فنی روش‌های غیر سازه‌ای مدیریت سیلاب، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۸۰-۶۳.
- برزگ حداد، امید؛ خسروشاهی اصل، سارا، زارع زاده، محبوبه؛ جوان، پوریا (۱۳۹۲). توسعه مدل شبیه‌سازی - بهینه‌سازی در حفاظت مناطق سیل‌گیر، آب‌و‌خاک، ۳، ۴۷۱-۴۶۲.
- حجازی، سید اسداله؛ خدائی قشلاق، فاطمه؛ خدائی قشلاق، لیلا (۱۳۹۸). پهنه بندی خطر وقوع سیلاب در حوضه آبریز ورکش چای با استفاده از مدل HEC-RAS و الحاقیه HEC-GEO-RAS، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۹(۵۳)، ۱۳۷-۱۵۵. https://jgs.khu.ac.ir/browse.php?a_id=2949&sid=1&slc_lang=fa
- حکمتی فر، حسین؛ نظریها، مهرداد؛ گیوه چی، سعید (۱۳۸۸). ارزیابی خسارات کشاورزی ناشی از سیلاب با استفاده از مدل‌سازی HEC-RAS و ARC View، علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۱(۴)، ۹۵-۱۰۸. <https://sanad.iau.ir/fa/Article/839497?FullText=FullText>
- دامادی، سکینه؛ دهواری، عبدالحمید؛ دهمرده قلعه نو، محمدرضا؛ ابراهیمیان، محبوبه (۱۴۰۰). پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS در رودخانه سرباز استان سیستان و بلوچستان، مهندسی و مدیریت آب‌خیز، ۱۳(۳)، ۵۹۰-۵۹۰. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2021.124028.1573>

- راد، مژگان؛ وفاخواه، مهدی؛ غلامعلی فرد، مهدی (۱۳۹۷). پهنه بندی سیل با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS در پایین دست حوزه آبخیز خرم آباد، مخاطرات محیط طبیعی، ۷(۱۶)، ۲۲۶-۲۱۱. doi: 10.22111/jneh.2017.3343
- رجبی، علی محمد؛ رجایی، طاهر؛ فلاح تفتی، علی (۱۳۹۷). پهنه‌بندی سیلاب رودخانه چالوس با تلفیق مدل HEC-RAS و سیستم اطلاعات جغرافیایی، انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران، ۲، ۴۵-۶۰. https://www.jiraeg.ir/article_84116.html
- رحیم‌پور، توحید؛ رضائی مقدم، محمدحسین؛ حجازی، سید اسدالله؛ ولزاده کامران، خلیل (۱۴۰۲). مدل‌سازی حساسیت خطر وقوع سیل در حوضه آبریز الوندچای بر پایه یک رویکرد طبقه‌بندی ترکیبی نوین (FURIA-GA-LogitBoost)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۲(۱)، ۲۴-۱. <https://doi.org/10.22067/geoh.2022.74170.1141>
- رضائی مقدم، محمدحسین؛ رحیم‌پور، توحید (۱۴۰۲). تهیه نقشه پتانسیل خطر وقوع سیل با استفاده از دو روش نسبت فراوانی و شاخص آماری (مطالعه موردی: حوضه آبریز آجی‌چای)، مدیریت مخاطرات محیطی، ۱۰(۴)، ۳۰۸-۲۹۱. doi: 10.22059/jhsci.2024.369163.803
- رکن‌الدین افتخاری، عبدالرضا؛ صادقلو، طاهره، احمدآبادی، علی؛ سجاسی قیداری، حمدالله (۱۳۸۹). ارزیابی پهنه‌بندی روستاهای در معرض خطر سیلاب با استفاده از مدل HEC-GEO-RAS در محیط GIS مطالعه موردی: روستاهای حوضه گرگانرود، توسعه محلی (توسعه روستایی-شهری)، ۱۱(۱)، ۱۵۷-۱۸۲. https://jrd.ut.ac.ir/article_20819.html?lang=fa
- روح‌اللهی، ماجده؛ سرائی تبریزی، مهدی؛ بابازاده، حسین (۱۴۰۲). پهنه‌بندی و شبیه‌سازی رفتار هیدرولیکی سیلاب با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS، مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۴(۵۳)، ۲۱۴-۲۰۲. <https://doi.org/10.22125/iwe.2022.326215.1601>
- شعبانلو، سعید؛ صدقی، حسین؛ تقیان، بهرام؛ موسوی جهرمی، سید حبیب (۱۳۸۷). پهنه‌بندی سیلاب در شبکه رودخانه‌های استان گلستان با استفاده از GIS، پژوهش آب ایران، ۲(۲)، ۲۲-۱۱.
- عسگری، شمس‌اله؛ احمدی، مهدی؛ همتی، موسی (۱۳۹۳). فرسایش کناری رودخانه چرداول با استفاده از مدل HEC-RAS و GIS، تحقیقات جغرافیایی، ۳۰(۱۱۶)، ۸۰-۷۱. <http://georesearch.ir/article-1-261-fa.html>
- مختاری، داود؛ رضائی مقدم، محمدحسین؛ رحیم‌پور، توحید؛ معزز، سمیه (۱۳۹۹). تهیه نقشه خطر وقوع سیلاب در حوضه آبریز گمناب‌چای با استفاده از مدل ANP و تکنیک GIS، اکوهیدرولوژی، ۷(۲)، ۴۹۷-۵۰۹. <https://doi.org/10.22059/ije.2020.298759.1298>
- همتی، موسی؛ مامی زاده، جعفر؛ قادری، جمیل (۱۳۹۴). پهنه‌بندی سیلاب رودخانه چرداول (بازه چناره) با استفاده از مدل HEC-RAS در محیط GIS، علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۹(۲۹)، ۷۴-۷۱. <http://jwmsei.ir/article-1-526-fa.html>

References

- Asgari, S., Ahmadi, M., Hemati, M. (2015). Chrdavl riverbank erosion in GIS using HEC-RAS model. Geographical Researches, 30 (1), 71-80. <http://georesearch.ir/article-1-261-fa.html> [In Persian]
- Asghari Saeskanroud, S. (2013). Investigation and analysis of different patterns of Shahr Chai River. Iran's applied geomorphology, 1(1), 75-88. <https://civilica.com/doc/793720>. [In Persian]
- Barkhordar, M., Chavoshian, S.A. (2000). Flood zoning. Proceedings of the technical workshop on non-structural methods of flood management, Iran's national irrigation and drainage committee, 63-80. [In Persian]
- Bozorg Haddad, O., Khosrowshahi, S., Zarezadeh, M., Javan, P. (2013). Development of Simulation-Optimization Model for Protection of Flood Areas. Journal of Water and Soil, 27(3), 462-471. <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.25911> [In Persian]
- Damadi, S., Dehvari, A., Dahmardeh Ghaleno, M.R., Ebrahimian, M. (2021). Flood hazard zonation using HEC-RAS hydraulic model in Sarbaz River, Sistan and Baluchestan Province, Watershed Engineering and Management, 13(3), 590-601. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2021.124028.1573> [In Persian]
- HEC (Hydrologic Engineering Center). 2010. HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual. U. S. Army Corps of Engineers.
- Hejazi, A., khodaie geshlag, F., khodaie geshlag, L. (2019). Zoning the villages at flood risk in the Varkesh-Chai drainage basin by GIS and HEC - RAS software and HEC- GEO - RAS extension. Journal of Applied Research in Geographical Sciences, 19 (53), 137-155. <http://jgs.khu.ac.ir/article-1-2949-fa.html> [In Persian]

- Hekmatifar, H., Nazariha, M., Givechi, S. (2009). Assessment of agricultural damages resulting from flood occurrence using HEC-RAS and Arc View. *Journal of Environmental Science and Technology*, 11(4), 95-108. <https://sanad.iau.ir/Journal/jest/Article/839497> **[In Persian]**
- Hemati, A., Mamizadeh, J., Ghaderi, J. (2015). Flood Zoning Using HEC-RAS and GIS (Chardavol River, Ilam). *Iran-Watershed Management Science & Engineering*, 9(29), 71-74. <http://jwmsei.ir/article-1-526-fa.html> **[In Persian]**
- Hicking, E.J., Nanson, G.C. (1984). Lateral migration rates of river bends, *Journal Hydraulic Engineering. Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 110, 1557-67.
- Karim, I., Hassan, Z., Hussein Abdullah, H., Alwan, I. (2021). 2D-HEC-RAS Modeling of Flood Wave Propagation in a Semi-Arid Area Due to Dam Overtopping Failure. *Civil Engineering Journal*, 7(9), 1501-1514. <https://doi.org/10.28991/cej-2021-03091739>
- Martin, O., Rugumayo, R., Ovecharovichova, J. (2012). Application of HEC/RAS and GIS tools in flood modeling; A case study for river Sironki-Ubunda. *Global Journal of Engineering, Design and Technology*, 1(2), 19-31.
- Mehta, D.J., Kumar, V.Y. (2021). Water productivity enhancement through controlling the flood inundation of the surrounding region of Navsari Purna river, India. *Water Productivity Journal (WPJ)*, 1(2), 11- 20. <https://doi.org/10.22034/wpj.2021.264752.1024>
- Merwade, V.M. (2004). Geospatial Description of River Channels in Three Dimensions. Doctoral thesis, The University of Texas at Austin. 237p.
- Mokhtari, D., Rezaei Moghaddam, M.H., Rahimpour, T., Moazzez, S. (2020). Preparing the Risk Map of Flood Occurrence in the Ghomnab Chai Basin Using ANP Model and GIS Technique. *Journal of Ecohydrology*, 7(2), 497-509. <https://doi.org/10.22059/ije.2020.298759.1298> **[In Persian]**
- Rad, M., Vafakhah, M., Gholmalifard, M. (2018). Flood mapping using HEC-RAS hydraulic model in part of Khorramabad watershed. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 7(16), 211-226. doi: 10.22111/jneh.2017.3343 **[In Persian]**
- Rahimpour, T., Rezaei Moghaddam, M. H., Hejazi, S. A., Vlaizadeh Kamran, K. (2023). Flood Susceptibility Modeling in the Aland Chai Basin using New Ensemble Classification Approach (FURIA-GA-LogitBoost). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(1), 1-24. <https://doi.org/10.22067/geoh.2022.74170.1141> **[In Persian]**
- Rajabi, A.M., Rajaei, T., Fallah Tafti, A. (2018). Flood zoning of Chalus basin using hydrologic model of HEC-RAS and Geographic Information System. *Scientific Quarterly Journal of Iranian Association of Engineering Geology*, 11(2), 45-60. https://www.jiraeg.ir/article_84116.html **[In Persian]**
- Rezaei Moghaddam, M. H., Rahimpour, T. (2024). Preparation of flood hazard potential map using two methods: Frequency Ratio and Statistical Index (Case study: Aji Chai Basin). *Environmental Management Hazards*, 10(4), 291-308. doi: 10.22059/jhsci.2024.369163.803 **[In Persian]**
- Rohollahi, M., Sarai Tabrizi, M., Babazadeh, H. (2023). Flood zoning and Simulation of River Hydraulic Behavior Using HEC-RAS Software. *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering*, 53(1), 202-214. <https://doi.org/10.22125/iwe.2022.326215.1601> **[In Persian]**
- Roknoddin Eftekhari, A., Sadeghloo, T., Ahmadabadi, A., Sojasi Qidari, H. (2010). Zoning of Rural Regions in Flood Hazard with Use of HEC-GeoRAS Model in GIS Sphere (Case study: flooded villages of Gorganrud Basin). *Community Development (Rural and Urban)*, 1(1), 157-182. https://jrd.ut.ac.ir/article_20819.html?lang=fa **[In Persian]**
- Shabanlou, S., Sedghi, H., Saghafian, B., Mousavi, S. H. (2008). Flood zoning in Golestan's rivers network using GIS. *Iranian Water Researches Journal*, 2(2), 11-22. **[In Persian]**
- Song, S., Britta, S., Nicola, F. (2014). Simulation and comparison of stream power in-channel and on the floodplain in a German lowland area. *journal of hydrology and hydromechanics*, 62(2), 133-144. <https://doi.org/10.2478/johh-2014-0018>
- Tate, E. (1999). Floodplain Mapping Using HEC-RAS and ArcView GIS. M.S.E thesis. The University of Texas at Austin. 215p.
- Zope, P.E., Eldho, T.I., Jothiprakash, V. (2015). Impacts of urbanization on flooding of a coastal urban catchment: a case study of Mumbai City, India. *Natural Hazards*, 8, 887-908. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1356-4>