

## Research Paper

# Estimation of flood damage intensity based on global damage-depth functions in Jajroud river area

Amir Mohammad Hooshmand<sup>1</sup>, Seyed Abbas Hosseini<sup>2\*</sup>, Bagher Ghermezcheshmeh<sup>3</sup>

1. Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2. Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

3. Soil Conservation and Watershed management institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 2021/09/06

Revised: 2021/10/12

Accepted: 2022/01/04

Use your device to scan and read the article online



DOI:

[10.30495/wej.2023.5824](https://doi.org/10.30495/wej.2023.5824)

### Keywords:

Hydraulics, Run off, Damage, Flood, Inundation map.

### Abstract

**Introduction:** One of the solutions for flood management is flood zoning in different return periods, which can be an essential tool in determining development strategies and reducing flood damage. Calculating flood damage in existing uses provides useful information for various organizations such as insurance to be aware of the amount of damage in different uses in the event of a flood.

**Methods:** The study area is located in Rudak basin. In this regard, first maps, required hydrological data and DEM of the study area were prepared. Then, according to the flow data, the maximum annual moments in Rudak hydrometric station were fitted with normal log distribution (as the best distribution) and the flow rate was obtained in four return periods. Then, a single hydrograph was obtained by SCS method for different return periods. Then, using the HEC-RAS2D model, the flood zone with the mentioned return period is obtained and finally, based on the global damage-depth functions, the amount of damage in the return period is based on different uses, including residential, commercial, agricultural, roads was calculated.

**Findings:** By comparing the results of flood zoning and damage maps, which with increasing flood return period, the amount of damage and the area of high-risk zone increases. The amount of flood zone in the return periods of 5, 25, 50 and 100 years is equal to 17.9, 18.9, 19.4, 19.9 hectares, respectively. Most of the damage is related to agricultural lands and then lands with commercial use. The rate of increase in damage to the area between floods 5 and 25 return period is about 47%, between floods 25 and 50 return period is about 6%, and between floods 50 and 100 years is about 15%. Therefore, a 50-year flood can be proposed to determine the flood protection plans of the region.

**Citation:** Hooshmand AM, Hosseini SA, Ghermezcheshmeh B. Estimation of flood damage intensity based on global damage-depth functions in Jajroud river area. Water Resources Engineering Journal. 2023; 16(57): 61- 47.

**\*Corresponding author:** Seyed Abbas Hosseini

**Address:** Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

**Tell:** +989122805467

**Email:** abbas\_hoseyni@srbiau.ac.ir

## Extended Abstract

### Introduction

Undoubtedly, flood is the most catastrophic natural disaster. Perhaps at first glance, the dimensions of events such as earthquakes or volcanoes seem larger than other natural events, but statistics show that floods rank first among other events, both in terms of casualties and financial losses. Flood warning and forecasting can be considered as one of the most effective non-structural methods of flood management in reducing the risks and damages caused by floods.

The rate of increase in population growth, development of urban areas and encroachment of river boundaries and increase of impervious surfaces have increased the intensity of damage and magnitude of floods. Failure to pay attention to the bed and privacy of rivers directly reduces the flood capacity and increases the water level, which prepares the ground for the occurrence of destructive floods in cities. Therefore, it is important to determine the boundaries of the river and identify places with a high probability of flooding for the security of people's livelihood and biological activities. Therefore, it is inevitable to identify high-risk areas and prevent urban development in these areas to reduce the severity of flood damage.

### Materials and Methods

To calculate the flood damage using depth-damage curves, the flood area and flood depth must first be obtained using HEC-RAS software. For this purpose, flood hydrograph was obtained using SCS method. Using Hyfran plus software, the log normal distribution was fitted as the best statistical distribution on the maximum annual discharge data. The amount of flood discharge in the return period of 5, 25, 50 and 100 years was equal to 111, 200, 242, 289 cubic meters per second, respectively. Regarding the flood frequency analysis and calculation of the return period and flood probability according to the recorded information of the instantaneous maximum discharge at the Rodak hydrometric station at the outlet of the studied area, a frequency analysis has been carried out. For this purpose, the frequency analysis of

observational and directly measured data has been used, and the uncertainty and error in this method is definitely lower than the rainfall and runoff modeling method. If the rainfall-runoff hydrological model is prepared, it should be compared and optimized with the observational hydrographs and the maximum momentary discharge recorded at the hydrometric station, if the measured observational data is used directly. Also, hydrological simulation is done if we want to check and calculate the hydraulic behavior of the flood in all the intersections and sub-basins, but in this research, we only needed a flood hydrograph at an initial stage, the maximum flow of the hydrograph based on the data observations and temporal distribution of flow are estimated based on SCS artificial hydrograph.

### Findings

According to the results, as the flood return period increases, the amount of damage in all uses increases. Also, in the 100-year return period, the highest amount of damage is in agricultural, commercial, residential and transportation uses, respectively. The comparison between the total damage caused in all the land uses in the Rudak basin in different return periods shows that the amount of damage increased between 5 and 25 year floods by about 47%, between 25 and 50 year floods by about 6%, and between 50 and 100 year floods. It is about 15% per year. The comparison of flood damage in different return periods provides useful information for different organizations such as insurance to be aware of the amount of damage in different uses in the event of a flood and have the necessary plans to pay for the damage in the event of a flood. Certainly, the amount of damage cannot be used alone as a decision criterion for land protection, and the degree of importance of land use with regard to the loss of life that it can cause is also considered as a criterion. In addition, due to the change in the use of agricultural land to residential and commercial in the area of Jajrud River, it is predicted that in the future, the development of the region will be in these two parts and the size of agricultural land will decrease, so the importance of this part,

which causes loss of life, will increase. However, considering that most of the technical buildings along the route are designed based on 50-year flood and also comparing the amount of damage in floods with different return periods, it is possible to suggest 50-year flood to determine the flood protection plans of the region.

### Discussion

The comparison of flood damage in different return periods, the way land use changes in future development plans, along with the degree of importance of the area's uses, especially residential and commercial uses that cause loss of life, can be used as criteria for determining the plan's flood to determine flood protection plans in the area. It is suggested to be considered in future research. Certainly, the amount of damage cannot be used alone as a decision criterion for land protection, and the degree of importance of land use with regard to the loss of life that it can cause is also considered as a criterion. In addition, due to the change in the use of agricultural land to residential and commercial in the area of Jajrud River, it is predicted that in the future, the development of the region will be in these two parts and the size of agricultural land will decrease, so the importance of this part, which causes loss of life, will increase.

### Conclusion

The results show that the amount of flood damage is directly related to the return period of the flood, and with the increase of the return period, the amount of damage increases, so that in the agricultural sector between 5 and 100 years of flood, the amount of damage is 40%, in the transportation sector 64%, in the commercial sector about 154% and in the residential sector they increase by about 80%. This percentage increase between 50 and 100 year floods takes a gentler slope. In addition, the largest amount of damage is in the agricultural sector, which is also due to the size of the agricultural land in the region. By comparing the flood zoning maps, the speed, depth, water level profile, area of the

flood zone has a direct relationship with the increase of the flood return period and increases with the increase of the flood return period, so that the amount of the flood zone with a return period of 5 and 100 years is about 16%. increase. Due to the existence of construction on the banks of the river and the presence of residential houses and commercial areas, as well as the existence of a multi-story hotel in the vicinity of the river, and the results obtained, the flood has covered parts of the road, and in the event of a flood, there is a possibility of life risks.

### Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

### Funding

No funding.

### Authors' contributions

Amir Mohammad Hooshmand methodology, software code, validation, formal analysis, writing, original draft. Seyed Abbas Hosseini: investigation including data collection and calibration, and writing, reviewing and modeling. Bagher Ghermez Cheshmeh writing, reviewing and editing.

### Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

## مقاله پژوهشی

## برآورد شدت خسارت سیلاب بر اساس توابع جهانی خسارت-عمق در محدوده رودخانه جاجرود

امیرمحمد هوشمند<sup>۱</sup>، سید عباس حسینی<sup>۲\*</sup>، باقر قرمزچشمه<sup>۳</sup>

۱. کارشناسی ارشد، دانشکده عمران هنر و معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲. دانشیار، دانشکده عمران هنر و معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳. دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران

## چکیده

**مقدمه:** از جمله راهکارها برای مدیریت سیل، پهنه بندی سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف است که می‌تواند ابزاری اساسی در تعیین راهبردهای توسعه و کاهش خسارت سیلاب باشد. محاسبه خسارت سیلاب در کاربری‌های موجود اطلاعات مفیدی برای سازمان‌های مختلف همانند بیمه قرار می‌دهد تا از میزان خسارت در کاربری‌های مختلف در صورت وقوع سیلاب مطلع شوند.

**روش:** روش مورد استفاده در این مقاله استفاده از نمودارهای جهانی است که تعیین خسارت بر اساس عمق سیل می‌باشد. منطقه مورد مطالعه واقع در حوضه رودک می‌باشد. در این راستا ابتدا نقشه‌ها، داده‌های هیدرولوژیکی مورد نیاز و DEM منطقه مورد مطالعه تهیه شد. در ادامه با توجه به داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای سالانه در ایستگاه هیدرومتری رودک با توزیع لوگ نرمال (به عنوان بهترین توزیع) برازش داده شده و میزان دبی در چهار دوره بازگشت به دست آمد سپس هیدروگراف واحد به روش SCS برای دوره بازگشت‌های مختلف حاصل شد. در ادامه با استفاده از مدل HEC-RAS2D پهنه سیل با دوره بازگشت‌های مذکور به دست آمده و در نهایت بر اساس توابع جهانی خسارت-عمق میزان شدت خسارت وارده در دوره بازگشت‌های مختلف بر اساس کاربری‌های مختلف اعم از مسکونی، تجاری، کشاورزی، حمل و نقل محاسبه شد.

**یافته‌ها:** با مقایسه نتایج نقشه‌های پهنه بندی سیلاب و خسارت وارده که با افزایش دوره بازگشت سیلاب میزان خسارت وارده و مساحت پهنه پرخطر افزایش می‌یابد. میزان پهنه سیلاب در دوره بازگشت‌های ۵، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به ترتیب تقریباً برابر با ۱۷/۹، ۱۸/۹، ۱۹/۴، ۱۹/۹ هکتار می‌باشد. بیشترین خسارت وارده مربوط به اراضی کشاورزی و سپس اراضی با کاربری تجاری می‌باشد. میزان افزایش خسارت وارده به منطقه بین سیلاب ۵ و ۲۵ حدود ۴۷ درصد، بین سیلاب ۲۵ و ۵۰ ساله حدود ۶ درصد، و بین سیلاب ۵۰ و ۱۰۰ ساله حدود ۱۵ درصد می‌باشد.

**نتیجه‌گیری:** بر اساس توجیهات اقتصادی و فنی می‌توان سیلاب ۵۰ ساله برای تعیین طرحهای حفاظت سیلاب منطقه پیشنهاد نمود و حتماً باید طرحهای حفاظت مورد توجه جدی قرار گیرد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۵

تاریخ داوری: ۱۴۰۰/۰۷/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۴

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



DOI:

[10.30495/wej.2023.5824](https://doi.org/10.30495/wej.2023.5824)

## واژه‌های کلیدی:

هیدرولیک، دبی، خسارت سیل، سیلاب، پهنه بندی سیلاب.

\* نویسنده مسئول: سید عباس حسینی

نشانی: گروه مدیریت ساخت و آب، دانشکده عمران هنر و معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

تلفن: ۰۹۱۲۲۸۰۵۴۶۷

پست الکترونیکی: [abbas\\_hoseyni@srbiau.ac.ir](mailto:abbas_hoseyni@srbiau.ac.ir)

## مقدمه

بدون تردید سیلاب فاجعه بارترین حادثه طبیعی است. شاید در نگاه نخست ابعاد حادثی از قبیل زلزله یا آتشفشان، وسیع تر از حوادث دیگر طبیعی به نظر می آید ولی آمارها حاکی از آن است که سیلابها چه از نظر تلفات جانی و چه از نظر تلفات مالی مقام اول را در میان حوادث دیگر داراست. هشدار و پیش بینی سیلاب می تواند به عنوان یکی از موثرترین روش های غیرسازه ای مدیریت سیلاب در کاهش خطرات و خسارات ناشی از سیلاب مطرح شود.

با توجه به بررسی های انجام گرفته در پژوهش ها و مقالات داخل و خارج از کشور علت اصلی افزایش شدت خسارت ناشی از سیل استفاده از اراضی سیل گیر مجاور رودخانه ها است (۱). میزان افزایش رشد جمعیت، توسعه مناطق شهری و تجاوز به حریم رودخانه ها و افزایش سطوح غیرقابل نفوذ باعث افزایش شدت خسارت و بزرگی سیلابها شده است. عدم توجه به بستر و حریم رودخانه ها به طور مستقیم باعث کاهش ظرفیت سیل گیری و افزایش سطح تراز آب می گردد که زمینه بروز سیلاب های مخرب در شهرها را آماده می کند. لذا تعیین حریم رودخانه و شناسایی محل هایی با احتمال سیل گیری بالا جهت امنیت فعالیت های معیشتی و زیستی مردم حائز اهمیت است. از این رو شناسایی مناطق پرخطر و جلوگیری از توسعه شهری در این مناطق برای کاهش شدت خسارت سیلاب امری اجتناب ناپذیر است. همچنین اطلاع از میزان شدت خسارت سیلاب با دوره بازگشت های مختلف دارای اهمیت فراوان برای مدیران و تصمیم گیران است، یکی از روش های اصلی در مدیریت سیل در حوضه ها پهنه بندی سیلاب است دستیابی به اطلاعاتی از قبیل شناسایی مناطق پرخطر و محاسبه شدت خسارت سیلاب در دوره بازگشت های مختلف با به دست آوردن پهنه سیل میسر است. افزایش جمعیت و پیشرفت تکنولوژی از یک طرف و خطرات رو به افزایش سیلاب در مناطق شهری از طرف دیگر باعث شده که محققان مهندسی رودخانه رفتارهای هیدرولیکی رودخانه ها را مورد بررسی قرار دهند.

طی سالیان اخیر محققان داخلی و خارجی زیادی در رابطه با پهنه بندی سیلاب و محاسبه خسارت سیل انجام داده اند. تحقیقات حکمتی فر و همکاران (۲) نشان داد که در دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ سال به ترتیب ۶۳ کیلومتر و ۱۰۰ کیلومتر از مساحت حوضه آبریز رودخانه قره سو تحت تاثیر سیلاب قرار دارد و به شناسایی روستاهای در معرض خطر پرداختند. پورعلی و سلاجقه (۹) ارزیابی ریسک و خسارت سیلاب در حوضه گلوکان واقع در رودخانه جاجرود، با استفاده از ارتباط سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل هیدرولیکی HEC-RAS و نرم افزار WMS اقدام به تعیین خسارت سیل در مسیر اصلی جریان رودخانه گردید و سپس در مراحل بعدی نیز نقشه های خطر، درجه آسیب پذیری و ریسک سیلاب تهیه شد و مقادیر خسارت سیلاب در دوره بازگشت ۲۰۰ ساله برآورد گردید.

شفیعی مطلق و همکاران (۱۲) عمل پهنه بندی سیلاب و تعیین حد بستر و حریم رودخانه مارون با استفاده از نرم افزار HEC-RAS در محیط Arc GIS را انجام دادند و به شناسایی تعداد روستاهای در معرض خطر سیلاب پرداخته و دریافتند که مساحت سیل گیر برای

دوره بازگشت های ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ سال به ترتیب برابر ۱۲۶۵، ۱۶۵۱، ۲۳۳۴، ۴۴۵۰ هکتار و تعداد روستاهای در معرض خطر به ترتیب برابر با ۵، ۳، ۴، ۹ است. نتایج تحقیقات محرمخانی و همکاران (۶) نشان داد که در حوضه رودخانه کن میزان خسارت وارده بر پست های برق بر اثر سیلاب با دوره بازگشت های مختلف ناچیز بوده و در معرض خطر آبرگرفتنی بالا قرار ندارد و به تبع آن خسارت ناشی از سیلاب آن ها ناچیز است. Azouagh و همکاران (۷) با تلفیق نرم افزارهای Arc GIS و HEC-RAS به مدلسازی سیل در رودخانه Martil در شمال شرقی مراکش پرداختند و وسعت سیل گرفتگی و سرعت سیل و عمق سیلاب را به دست آوردند و به نقش مهم مدلسازی سیل در تصمیم گیری مسئولان در مدیریت خطر سیل در جهت کاهش خطرات جانی و مالی ناشی از سیل پرداختند. Mihiu-Pintilie و همکاران (۵) به بررسی چهار سناریو ممکن سیلاب که عبارت از حالات مختلف باز بسته بودن درچه های سد، مخازن آب و نحوه جریان سیلاب شهری بود، در شهر Bacau در شمال شرقی رومانی با استفاده از نرم افزار HEC-RAS 2D پرداختند آن ها با مدلسازی چهار سناریو S4,S3,S2,S1 در هر کدام سرعت سیل، عمق سیلاب و میزان خطر سیل را بدست آوردند و در نهایت به این نتیجه رسیدند که مدل هیدرولیکی HEC-RAS دقت زیادی را در خطر سیلاب ارائه می دهد و بر لزوم شبیه سازی سیلاب برای شهرهای مختلف دست تاکید کردند.

Ogandas و همکاران (۷) با استفاده از نرم افزارهای HEC-RAS 2D به تولید نقشه های خطر سیلاب با دوره بازگشت های ۱۰، ۲۰، ۱۰۰ ساله در رودخانه Yesil در قزاقستان پرداختند و با مقایسه مش بندی های مختلف ۲۵، ۵۰، ۷۵ متری تفاوت زیادی در دقت عملکرد مدل نیافتند اما تفاوت زیادی در زمان شبیه سازی مشاهده کردند و همچنین با مقایسه مش های هشت ضلعی و مستطیلی دریافتند که زمان شبیه سازی مدل کوتاه تر و عملکرد مدل مقدار جزئی بهبود می یابد. برای تولید نقشه های خطر سیلاب از دو روش استفاده کردند که در روش دوم علاوه بر عمق سیلاب متغیرهایی مانند سرعت آب و مدت زمان جاری شدن سیل را در نظر گرفتند و مشاهده کردند که در روش دوم نتایج بهتری به دست آمد. Romali و Yusop (۱۱) با استفاده از نرم افزارهای Arc GIS و HEC-RAS عمق و میزان مساحت سیل گیر را در شهر Segamat مالزی به دست آوردند و همچنین میزان خسارت مناطق مسکونی و تجاری را به دست آوردند و بر لزوم تهیه نقشه های توزیع خسارت سیل برای کاهش خسارت سیلاب های آینده تاکید نمودند. Wu و همکاران (۱۳) به ارائه روشی برای ایجاد منحنی خسارت سیل برای مناطق فاقد داده های خسارت پرداختند. آن ها منحنی خسارت-عمق را به منطقه مورد مطالعه انتقال دادند و منحنی خسارت را برای ۱۰ نوع کاربری اراضی برای شهر ژنگزو چین محاسبه نمودند. Rahman و همکاران (۱۰) خسارت کشاورزی وارده بر سیلاب را با استفاده از شاخص خسارت پوشش گیاهی DVDI در سه رویداد سیلاب در ایالات متحده آمریکا مورد ارزیابی و محاسبه قرار دادند. نتایج به دست آمده حاکی از این بود که ۳۵۰ هکتار مزرعه سویا و ۴۵۴ هکتار ذرت و بیش از ۲۰۰ هکتار یونجه مورد

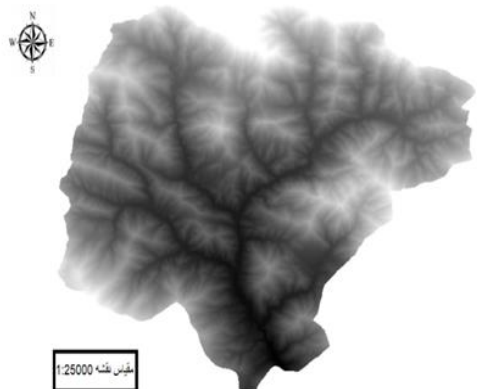


شکل ۱- حوضه آبریز رودک (۲)

داده‌های مورد نیاز برای این تحقیق شامل داده‌های دبی حداکثر سالانه که از آب منطقه‌ای تهران اخذ گردید، مدل رقومی ارتفاع (نقشه DEM) حوضه رودک که در شکل ۲ نمایش داده شده است از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری و نقشه کاربری اراضی از بستر Google Earth تهیه شد. ضریب زبری مانینگ نیز با توجه به مشاهدات میدانی، نوع سنگ بستر رودخانه و کناره‌ها حوضه رودک و طبق جدول نشریه ۶۶۸ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور تعیین گردید.

**دبی حداکثر سالانه:** دبی حداکثر سالانه ایستگاه هیدرومتری رودک که به مدت ۴۶ سال به طور پیوسته ثبت گردیده بود در این تحقیق استفاده شد. این داده‌ها بیشترین میزان دبی ثبت شده در هر سال آبی است که ثبت گردیده است. همچنین با استفاده از این داده‌ها و برازش دادن توزیع‌های آماری می‌توان میزان دبی سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف را به دست آورد.

**مدل رقومی ارتفاع (نقشه DEM):** مدل رقومی ارتفاع حوضه رودک با دقت مقیاس ۱۰ متر مطابق شکل ۲ از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری اخذ گردید.



شکل ۲- مدل رقومی ارتفاع حوضه رودک

**نقشه کاربری اراضی:** نقشه کاربری اراضی حوضه رودک برای محاسبه میزان خسارت وارده که از بستر نرم افزار Google Map و Google Earth مطابق شکل ۴ تهیه گردید.

خسارت شدید قرار گرفتند و دریافتند که نوع محصول تأثیری در شدت سیلاب نداشته لیکن در میزان خسارت تأثیرگذار است.

Agnihotri و Pathan (۸) با استفاده از مدل یک بعدی HEC-RAS به مدلسازی هیدرودینامیکی در رودخانه Purna در هند پرداختند و نتایج حاصل از این بود که نتایج شبیه‌سازی شده در مقایسه با نتایج داده‌های مشاهده شده تفاوت جزئی را نشان داده و دریافتند که نتایج حاصل از مدل HEC-RAS دقیق و قابل اعتماد است. در این تحقیق با استفاده از روش SCS هیدروگراف سیلاب به دست آمده و سپس با استفاده از نرم افزارهای Arc GIS و HEC-RAS به پهنه بندی سیلاب در رودخانه جاجرود که یکی از مهم ترین رودخانه‌های کشور است می پردازد. اگرچه پورعلی و سلاجقه (۹) خسارت سیلاب در حوضه گلوکان واقع در رودخانه جاجرود را قبلاً برای کاربری مسکونی در سیلاب ۲۰۰ ساله انجام داده اند لیکن در مواقع سیلابی خسارات زیادی به سایر کاربری‌ها نیز در منطقه ایجاد می‌گردد لذا در این تحقیق بر اساس نقشه های پهنه بندی و کاربری، به تعیین میزان خطر سیلاب و منحنی خسارت وارده در هر منطقه پرداخته می‌شود. برای تعیین خسارت از توابع جهانی خسارت-عمق استفاده می‌گردد که رویکرد جدیدی در این نوع از مطالعات برای مناطقی است که منحنی های خسارت در دسترس نباشند. در حالی که در مطالعات قبلی برای تعیین منحنی خسارت هم پارامتر سرعت و هم پارامتر عمق ملاک تعیین خسارت بوده است بر اساس روش پیشنهادی در این تحقیق از منحنی های کمی عمق-خسارت برای تعیین خسارت در منطقه استفاده می‌شود.

## مواد و روش‌ها

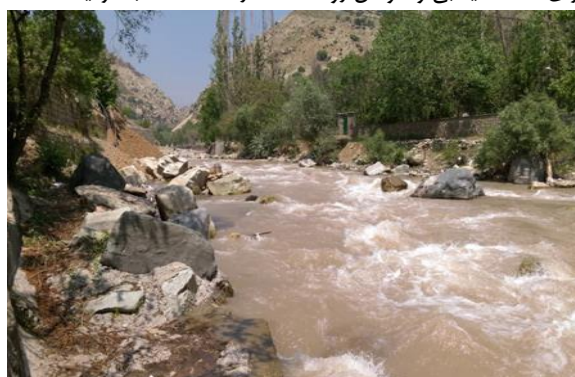
حوضه‌ی آبریز رودک با مساحت ۴۳۸/۴ کیلومترمربع که در شکل ۱ نشان داده شده است از نظر تقسیمات زمین‌ساختی، جزء ایالت لرزه زمین‌ساختی البرز - آذربایجان است. این ایالت پهنه‌ای زلزله‌خیز است که رشته کوه البرز، بخش شرقی این ایالت را در بر می‌گیرد، همچنین محدوده حوضه آبریز رودک در ارتفاعات جنوبی البرز مرکزی قرار دارد و بخش اعظم این حوضه را توف‌های سبز ضخیم و شیل توف‌دار (سازند کرج) دربر گرفته است. به لحاظ هیدرولوژیکی این حوضه یکی از زیرحوضه‌های حوضه‌ی آبریز جاجرود است که شاخه‌ی شرقی رودخانه‌ی جاجرود در آن جریان دارد. این رود از ارتفاعات کلون بستک سرچشمه می‌گیرد و پس از عبور از دربندسر، شمشک، میگون و فشم با شاخه‌ی دیگری که از بهم پیوستن شاخه‌های فرعی آب نیک، لالان و روته به‌وجود آمده متصل گردیده و به‌نام جاجرود خوانده می‌شود، رود آهار از سمت جنوب و امامه از سمت شمال به آن متصل شده و رود مشرق جریان می‌یابد (۲).

بازگشت و احتمال وقوع سیل با توجه به اطلاعات ثبت شده حداکثر دبی لحظه ای در ایستگاه هیدرومتری رودک در خروجی محدوده مورد مطالعه اقدام به تحلیل فراوانی شده است. برای این منظور از تحلیل فراوانی داده های مشاهداتی و اندازه گیری شده مستقیم استفاده شده است و قطعاً عدم قطعیت و خطا در این روش کمتر از روش مدل سازی بارش و رواناب است. در صورت تهیه مدل هیدرولوژیکی بارش-رواناب باید با هیدروگرافهای مشاهداتی و دبی حداکثر لحظه ای مشاهداتی ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری مقایسه و بهینه سازی صورت بگیرد در صورتی که به صورت مستقیم از داده های مشاهداتی اندازه گیری شده استفاده شده است. همچنین شبیه سازی هیدرولوژیکی در صورتی انجام می شود که بخواهیم رفتار هیدرولیکی سیل را در همه تقاطع ها و زیر حوضه ها بررسی و محاسبه کنیم اما در این پژوهش فقط در یک مقطع ابتدایی ما نیاز به هیدروگراف سیل داشتیم که حداکثر دبی هیدروگراف بر اساس داده های مشاهداتی و توزیع زمانی دبی بر اساس هیدروگراف مصنوعی SCS برآورد شده است. همچنین در این پژوهش توزیع زمانی هیدروگراف سیل تاثیر چندانی بر نتایج هدف ندارد و پهنه سیل متأثر از مقادیر دبی لحظه ای هست و نه توزیع زمانی آن زیرا هدف محاسبه پهنه سیل و خسارت سیل در زمانها و ساعات مختلف نبوده و فقط پهنه سیل برای حداکثر دبی لحظه ای محاسبه شده است. همچنین تمامی خسارات و نتایج در حالت پیک سیل محاسبه شده است. پس از محاسبه دبی سیلاب زمان تمرکز حوضه با استفاده از روش تجربی کریپیچ مطابق رابطه ۱ برابر با ۲,۴۲ ساعت به دست آمد.

$$T_c = 0.949 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad (1)$$

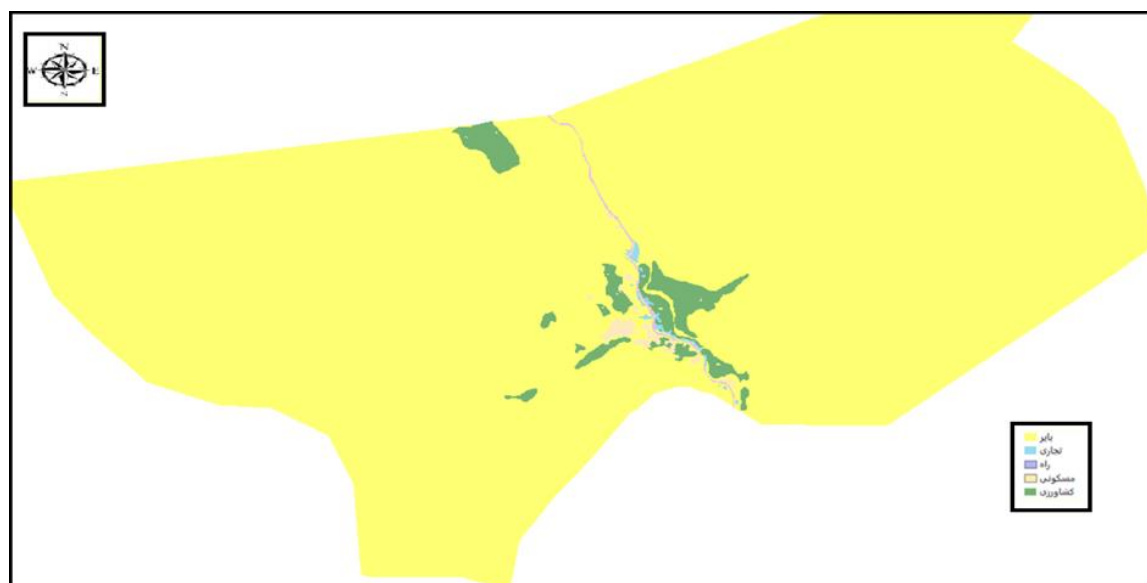
در رابطه ۱ میزان  $L$  بیانگر طول رودخانه ۲۶ کیلومتر و  $H$  اختلاف ارتفاع بلندترین و پایین ترین نقطه حوضه ۲۵۸۰ متر است در نتیجه زمان تمرکز حوضه برابر با ۲/۴۲ ساعت به دست می آید.

**ضریب زبری مانینگ:** ضریب زبری مانینگ درجه مقاومت مصالح کف رودخانه، پوشش گیاهی دشت سیلابی و ژئومورفولوژی رودخانه در برابر جریان آب در بستر رودخانه است در این تحقیق بر اساس بازدید میدانی مطابق شکل ۳ از حوضه رودک و داشتن قله سنگ در بستر رودخانه و دشت سیلابی ضریب زبری مانینگ مطابق نشریه ۶۶۸ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور جدول ۳-۲ ردیف ۲ قله سنگ ۶۴-۲۵۶ میلی متر انتخاب شد. بنابراین برای بستر رودخانه ۰/۰۵۵ و برای دشت سیلابی و سواحل رودخانه مقدار ۰/۰۶ انتخاب گردید.

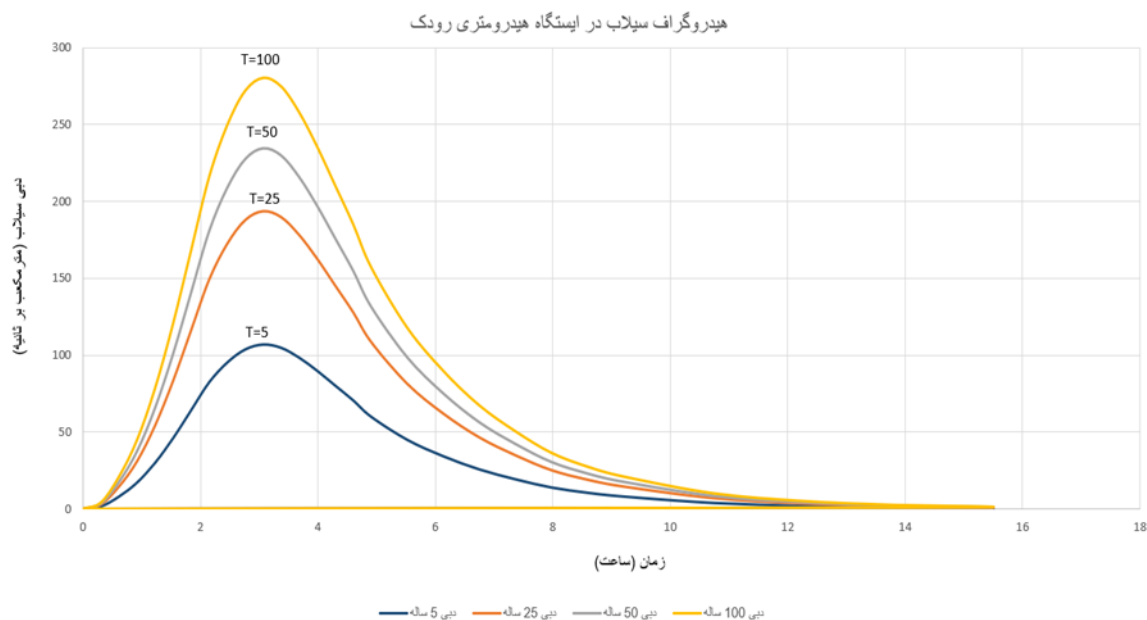
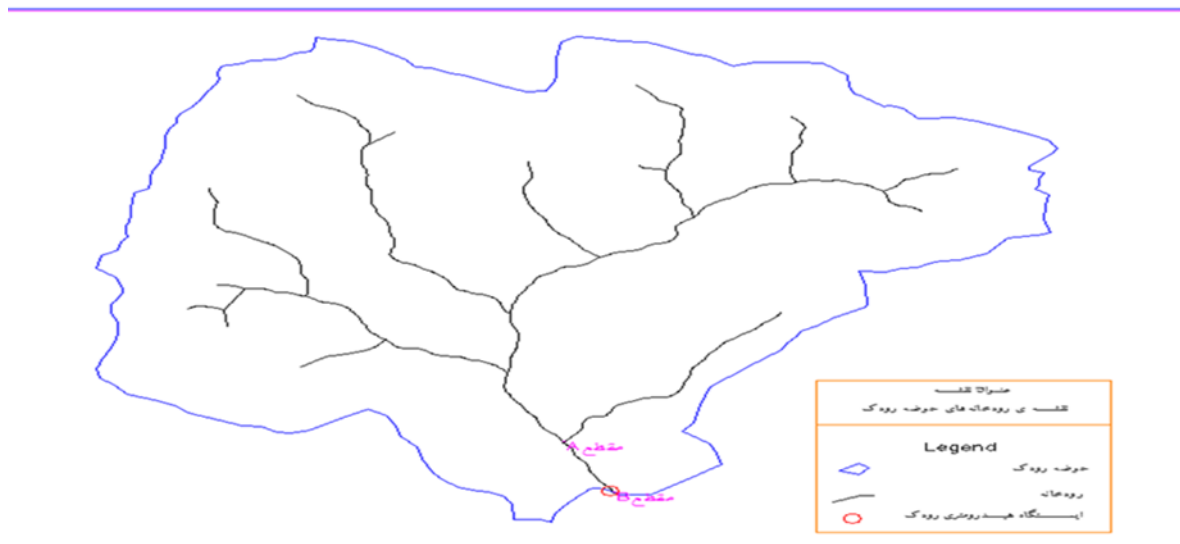


شکل ۳- تصویری از بستر رودخانه جاجرود در حوضه رودک

برای محاسبه خسارت سیلاب با استفاده از منحنی های عمق-خسارت ابتدا بایستی پهنه سیلاب و عمق سیلاب را با استفاده از نرم افزار HEC-RAS به دست آورد. برای این منظور هیدروگراف سیلاب با استفاده از روش SCS به دست آمد. با استفاده از نرم افزار Hyfran plus توزیع لوگ نرمال به عنوان بهترین توزیع آماری بر روی داده های دبی حداکثر سالانه برازش داده شد. میزان دبی سیلاب در دوره بازگشت های ۵، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به ترتیب برابر با ۱۱۱، ۲۰۰، ۲۴۲، ۲۸۹ مترمکعب بر ثانیه به دست آمد. در خصوص تحلیل فراوانی سیل و محاسبه دوره



شکل ۴- نقشه کاربری اراضی حوضه رودک



که عمدتاً در حاشیه رودخانه جاجرود قرار دارد که همواره در معرض خطر سیلاب قرار دارند.

بسیاری از کشورها با استفاده از مدل‌های خسارت سیلاب، منحنی‌های عمق-خسارت بر اساس تجزیه و تحلیل رویدادهای سیل گذشته و قضاوت کارشناسی توسعه داده‌اند. با این حال، این واقعیت که چنین منحنی‌های خسارت برای همه مناطق در دسترس نیست، ارزیابی خسارت در برخی مناطق را مشکل می‌سازد. علاوه بر این، با توجه به روش‌های به کار گرفته شده برای مدل‌های مختلف خسارت در کشورهای مختلف، ارزیابی خسارت نمی‌تواند به طور مستقیم در مقایسه با یکدیگر انجام شود.

برای رفع این مشکلات، یک پایگاه داده از منحنی‌های عمق-خسارت در سطح جهانی توسعه یافته است. این مجموعه داده شامل

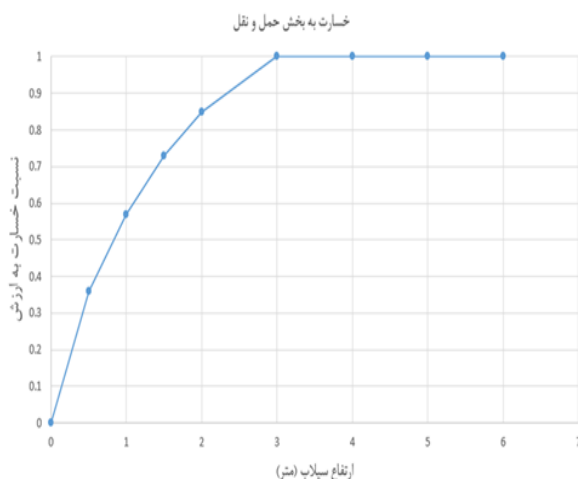
پس از محاسبه هیدروگراف سیلاب مطابق شکل ۶ و تعیین ضریب زبری مانینگ با توجه به پیچیدگی در هندسه رودخانه و نیاز به پارامترهای جریان غیرماندگار استفاده از مدل دو بعدی ضروری است. بنابراین با استفاده از نرم افزار HEC-RAS مدلی دوبعدی با استفاده از جریان ناپایدار ایجاد نموده و پس از پردازش مدل نتایج عمق، سرعت، تراز سطح آب به دست آمده سپس با استفاده از نرم افزار ArcGIS مطابق شکل ۴ نقشه کاربری اراضی با استفاده از اطلاعات ثبت شده در نرم افزارهای Google Earth و Google Map به دست می‌آید. کاربری‌های موجود در محدوده مورد مطالعه عبارتند از مناطق مسکونی، تجاری، حمل و نقل (راه) و کشاورزی می‌باشد. با توجه به بازدید میدانی از محدوده مورد مطالعه عمده مناطق مسکونی در این منطقه شامل ویلا و مناطق تجاری شامل کافه‌ها، رستوران‌ها می‌باشد



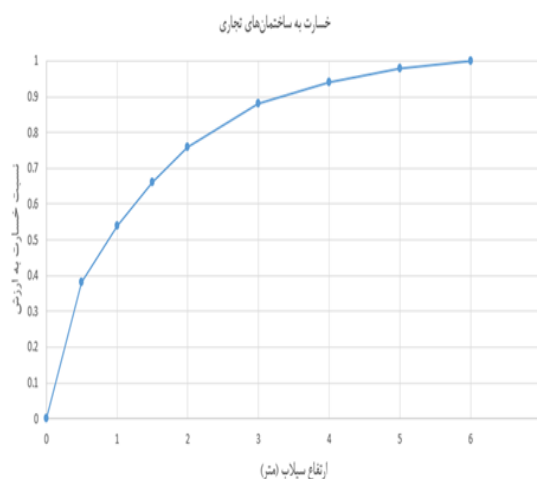
نمودارهای قاره آسیا استفاده شده است. برای محاسبه خسارت سیلاب در این تحقیق ابتدا با مدلسازی دو بعدی در نرم افزار HEC-RAS مقادیر عمق و پهنه سیلاب در دوره بازگشت‌های ۵، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ ساله محاسبه می‌گردد. سپس به کمک خروجی حاصل از نرم افزار HEC-RAS میزان عمق آب و مساحت سیلاب در کاربری‌های کشاورزی، مسکونی، تجاری، محدوده راه‌ها تعیین می‌گردد. و نهایتاً با استفاده از منحنی‌های جهانی عمق-خسارت و به کمک عمق آب محاسبه شده، ضریب خسارت مشخص می‌گردد و پس از محاسبه ارزش اراضی در کاربری‌های مختلف، میزان خسارت وارده به کاربری‌های مختلف محاسبه می‌گردد. فرمول محاسبه خسارت سیلاب به شرح ذیل است:

$$(۲) \quad \text{ضریب خسارت} = \frac{\text{میزان خسارت}}{\text{ارزش ملک}}$$

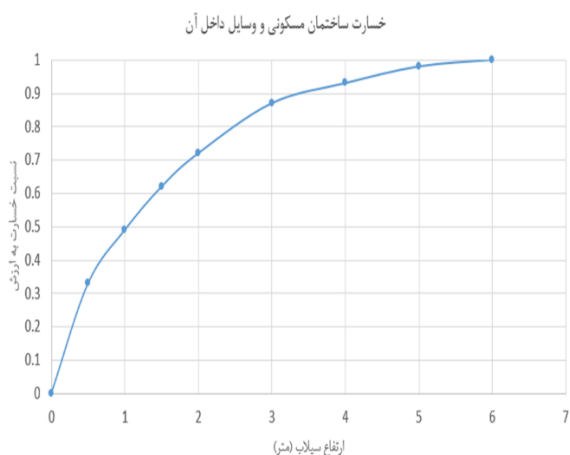
منحنی‌هایی است که خسارت نسبی را به عنوان یک تابع عمق آب و همچنین مقادیر حداکثر آسیب مربوطه برای انواع مختلف دارایی‌ها و کاربری‌های زمین را تعیین می‌کند. بر این اساس مجموعه‌ای مرتب و منطبق از ارزش خسارت برای همه کشورها با استفاده از رگرسیون‌های آماری با شاخص‌های توسعه اجتماعی-اقتصادی جهانی محاسبه شد. این منحنی‌ها در سال ۲۰۱۷ برای محاسبه خسارت سیلاب ارائه شده است و قابل تعمیم در تمامی مناطق فاقد داده‌های خسارت سیلاب است و این منحنی‌ها و ضرایب خسارت بر اساس عمق سیلاب بوده و اصولاً برای تعیین خسارت مستقیم سیلاب منحنی‌های عمق-خسارت مورد نیاز می‌باشد. در بسیاری از کشورها محاسبه خسارت سیلاب و مدلسازی منحنی‌ها با استفاده از رویدادهای گذشته صورت می‌گیرد. این نوع اطلاعات در بسیاری از مناطق کشورمان موجود نیست بنابراین با استفاده از منحنی‌های جهانی عمق-خسارت مطابق شکل‌های ۶ تا ۹ می‌توان میزان خسارت وارده در کاربری‌های مختلف را تعیین نمود. این منحنی‌ها بر حسب عمق سیلاب بوده و به صورت نقطه‌ای می‌باشد و همچنین این منحنی‌ها برای هر قاره به صورت جداگانه ارائه شده است و با توجه به موقعیت منطقه مورد مطالعه از



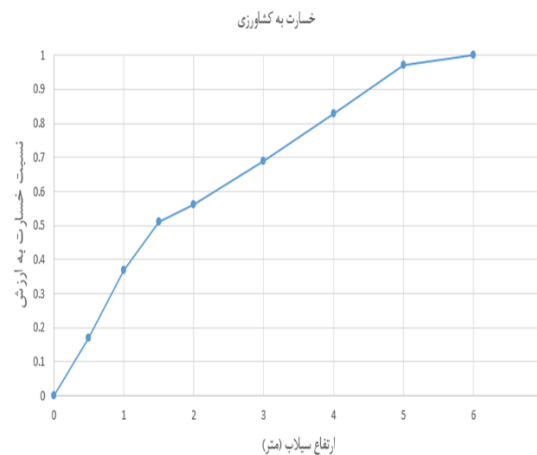
شکل ۸- منحنی عمق-خسارت در کاربری حمل و نقل (۴)



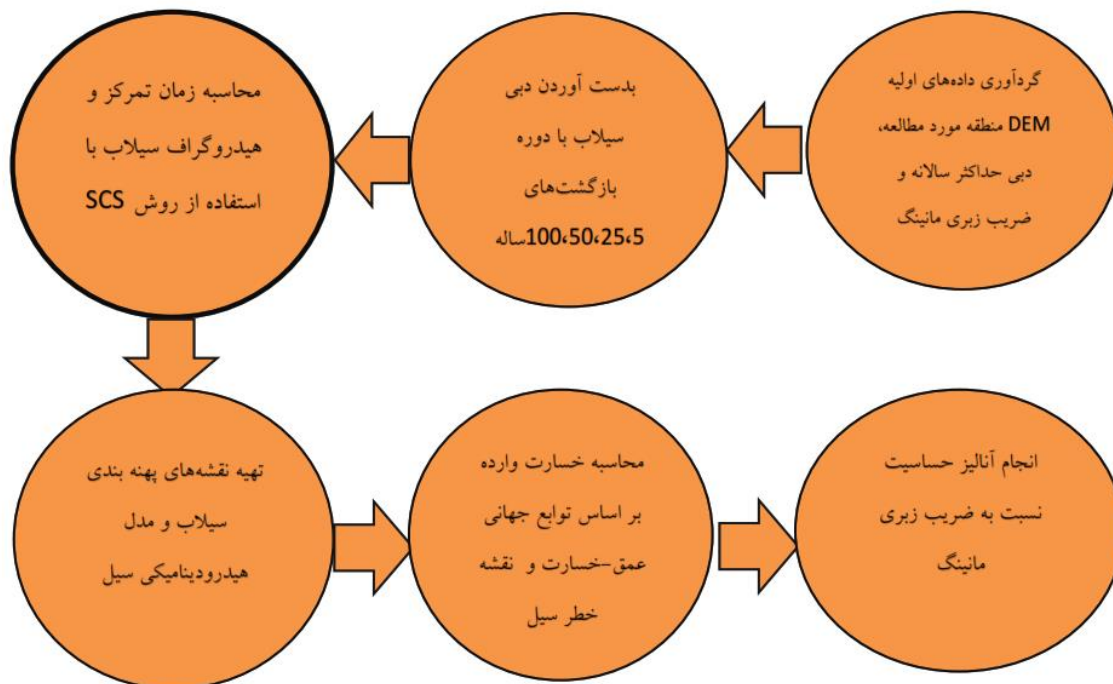
شکل ۷- منحنی عمق-خسارت در کاربری تجاری (۴)



شکل ۱۰- منحنی عمق-خسارت در کاربری مسکونی (۴)



شکل ۹- منحنی عمق-خسارت در کاربری کشاورزی (۴)



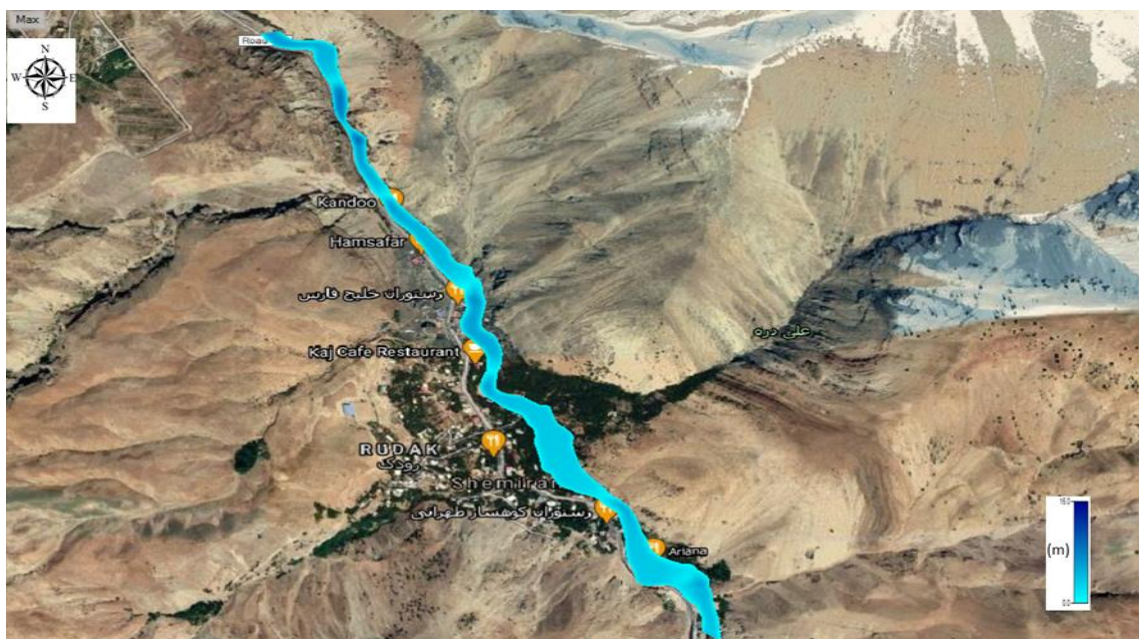
شکل ۱۱- روند نحوه انجام تحقیق

نقشه های عمق سیلاب پس از پردازش و اجرای مدل HEC-RAS به دست می‌آید. برای محاسبه خسارت و خطر سیلاب در دوره بازگشت‌های مد نظر مورد استفاده قرار خواهند گرفت. برای این منظور سیلاب‌های ۵، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ ساله در نرم افزار روندیابی شده و نتایج مربوطه بر روی نقشه‌های Google Earth آورده شده‌اند. این نتایج در ادامه برای محاسبه خسارت و خطر سیل در دوره بازگشت‌های مد نظر مورد استفاده قرار خواهند گرفت. عمق سیلاب در نرم افزار با رنگ آبی نشان داده می‌شود و هر چقدر رنگ آبی پررنگ‌تر شود عمق سیلاب در آن مناطق بیشتر و حداکثر عمق سیلاب ۱۵ متر است. با خروجی گرفتن از مدل HEC-RAS می‌توان عمق سیلاب را طبقه بندی نمود و همچنین خسارت سیلاب را در کاربری‌های مختلف محاسبه نمود. نقشه پهنه سیلاب مطابق شکل ۱۲ متناظر با حالت پیک سیلاب در هر دوره بازگشت هستند. به کمک شکل ۱۲ می‌توان پهنه و مساحت محدوده تحت تاثیر سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف را تعیین نمود. برای این منظور نقشه‌ها وارد محیط Arc GIS می‌گردند. در محیط Arc GIS با استفاده از دستور Raster to polygon پهنه سیلاب را به پلیگون تبدیل گردیده تا بتوان مساحت پهنه سیلاب را محاسبه نمود. ضمناً این پهنه‌ها بعداً برای ارزیابی خسارت اقتصادی مورد استفاده قرار خواهد گرفت. جدول ۱ مساحت و پهنه متاثر از سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف را نشان می‌دهد و دلیل اختلاف کم مساحت میان دوره بازگشت‌های متوالی، مطابق بازدید میدانی به دلیل شیب زیاد منطقه و واقع شدن رودخانه در دره ای عمیق بوده و با افزایش دوره بازگشت مساحت افزایش می‌یابد.

برای محاسبه خسارت سیلاب مطابق کاربری‌های کشاورزی، مسکونی، تجاری و راه، در دوره بازگشت‌های ۵، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ ساله از مدل HEC-RAS خروجی گرفته شده است. در نرم افزار Arc GIS با استفاده از دستور Reclassify پهنه سیلاب بر اساس عمق سیلاب طبقه بندی می‌شود. این طبقه بندی بر اساس عمق مطابق جدول‌های ۱ تا ۴ صورت گرفته و سپس در نرم افزار Arc GIS مساحت مناطق مشترک بین کاربری مد نظر و پهنه سیلاب طبقه بندی شده بر اساس عمق محاسبه می‌گردد. سپس ارزش املاک بر اساس کاربری که از تحقیقات میدانی به دست آمده است در مساحت همان کاربری ضرب می‌شود و میزان ارزش املاک مشخص می‌گردد. نهایتاً بر اساس عمق سیل ضریب خسارت بر اساس منحنی‌های عمق-خسارت در شکل‌های ۶ تا ۹ تعیین گردیده و در ارزش ملک ضرب و میزان خسارت وارده در هر کاربری و دوره بازگشت محاسبه می‌گردد. در شکل‌های ۶ تا ۹ محور افقی عمق سیلاب بر حسب متر بوده و محور عمودی نسبت خسارت به ارزش است که فاقد واحد می‌باشد. نمودارها به صورت نقطه به نقطه بر اساس عمق‌های آب یک ضریب خسارت تعریف شده است همچنین مطابق بازدید میدانی و تحقیقات صورت گرفته از منطقه مورد مطالعه میزان ارزش کاربری‌های اراضی موجود در محدوده مورد مطالعه در کاربری‌های مسکونی، تجاری، کشاورزی، حمل و نقل (راه) به ازای هر متر مربع به ترتیب برابر با ۳۰، ۵۰، ۱۰ و ۱ میلیون تومان است. این ارزیابی قیمت در خرداد ماه سال ۱۴۰۰ صورت گرفته است. روند نحوه انجام تحقیق مطابق شکل ۱۱ است.

## نتایج

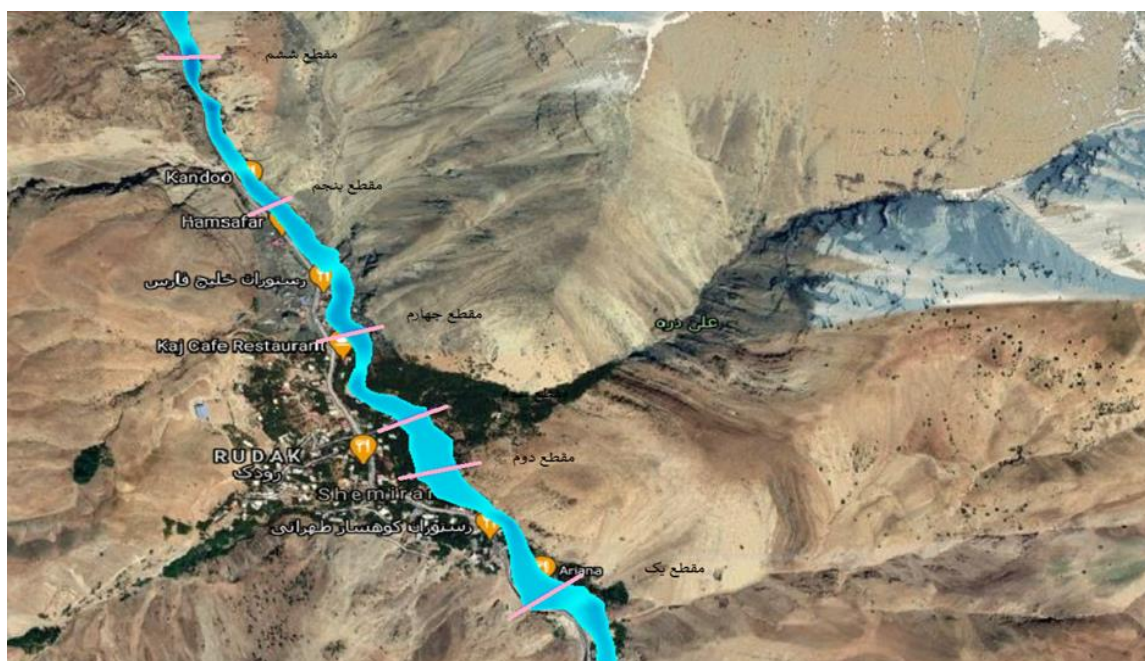
### پهنه سیلاب



شکل ۱۲- پهنه عمق سیلاب ۱۰۰+ ساله در محیط Google Earth

جدول ۱- مساحت پهنه سیلاب در دوره بازگشت های مختلف

دوره بازگشت سیل	مساحت سیلاب (هکتار)
۵ ساله	۱۷/۹
۲۵ ساله	۱۸/۹
۵۰ ساله	۱۹/۴
۱۰۰ ساله	۱۹/۹



شکل ۱۳- تصویری از مقاطع عرضی بر روی رودخانه جاجرود در حوضه رودک

جدول ۲- نتایج عمق سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف (متر)

ردیف	۵ ساله	۲۵ ساله	۵۰ ساله	۱۰۰ ساله
مقطع ۱	۱/۱۷	۱/۳۶	۱/۴۳	۱/۴۹
مقطع ۲	۰/۶۸	۰/۹۲	۱/۰۱	۱/۱۱
مقطع ۳	۰/۸۳	۱/۱۴	۱/۲۷	۱/۴۱
مقطع ۴	۰/۵۷	۰/۷۵	۰/۸۶	۰/۹۷
مقطع ۵	۱/۴۶	۱/۸	۱/۹۷	۲/۰۸
مقطع ۶	۰/۶۹	۰/۹۹	۱/۱۲	۱/۲۳

### خسارت سیلاب

ارزیابی خسارت سیل شامل تخمین خسارت‌های مرتبط با سیلهایی است که رخ داده‌اند یا ممکن است در آینده رخ دهند. این اطلاعات نقش اساسی در حمایت از تصمیم‌گیری و توسعه سیاست در زمینه مدیریت و سازگاری با بلایای طبیعی ایفا می‌کنند. لازم است تا ارزیابی خسارت برای برنامه‌ریزی کنترل سیل، عملیات اضطراری و تخمین بودجه برای بازسازی خرابی‌ها انجام گیرد. همچنین تخمین سریع از خسارت اقتصادی پس از وقوع فاجعه می‌تواند در تخصیص منابع برای بهبود و بازسازی بسیار مفید باشد. تاکنون روش‌هایی برای ارزیابی خسارت ارائه شده‌اند که نیاز به اطلاعات سیلاب‌های گذشته دارند درحالی که در کشورهای درحال توسعه این اطلاعات به سختی قابل دستیابی است. یکی از فواید منحنی‌های خسارت استفاده در این پژوهش این است که نیاز به اطلاعات گذشته ندارد و در مناطقی که

فائق داده‌های خسارت می‌باشد یا اطلاعات کمی در مورد خسارت سیلاب وجود دارد قابل استفاده است. برای محاسبه میزان خسارت وارده بر اثر سیلاب به کاربری‌های اراضی کشاورزی، مسکونی، تجاری، حمل و نقل ابتدا میزان عمق سیلاب در هر کاربری به دست آمده و سپس با استفاده از نرم افزار Arc GIS میزان مساحت سیلاب در هر کاربری را به دست آورده و سپس با بازدید و تحقیقات میدانی ارزش املاک محاسبه نموده و با استفاده از منحنی‌های عمق-خسارت ضریب خسارت را به دست آمده و در نهایت میزان خسارت وارده به کاربری‌های مختلف در دوره بازگشت‌های مد نظر محاسبه می‌گردد. در جدول ۳ جزئیات نحوه محاسبه خسارت در کاربری کشاورزی در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله آورده شده است.

جدول ۳- نحوه محاسبه خسارت در اراضی با کاربری کشاورزی در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله

عمق سیلاب (m)	ضریب خسارت	مساحت سیل‌گیر ( $m^2$ )	ارزش ملک (میلیون تومان)	میزان خسارت (میلیون تومان)
۰/۵	۰/۱۷	۴۶۰۱	۴۶۰۱۰	۷۸۲۲
۱	۰/۳۷	۳۶۳۸	۳۶۳۷۹	۱۳۴۶۰
۱/۵	۰/۵۱	۵۸۹۵	۵۸۹۵۰	۳۰۰۶۴
۲	۰/۵۶	۳۷۲۸	۳۷۲۸۰	۲۰۸۷۷
۳	۰/۶۹	۲۴۲۲۳	۲۴۲۲۳۰	۱۶۷۱۳۹
۴	۰/۸۳	۲۳۴۹۹	۲۳۴۹۸۸	۱۹۵۰۴۰
۵	۰/۹۷	۲۴۷۵	۲۴۷۵۰	۲۴۰۰۷
۶	۱	۶۴	۶۴۰	۶۴۰
جمع خسارت سیلاب ۱۰۰ ساله در بخش کشاورزی				
۴۵۹۰۴۹				

جدول ۴- میزان خسارت وارده بر حوضه رودک در دوره بازگشت‌های مختلف (میلیون تومان)

نوع کاربری	۵ ساله	۲۵ ساله	۵۰ ساله	۱۰۰ ساله
کشاورزی	۳۲۷۳۱۱	۴۰۲۷۹۷	۴۲۵۹۶۴	۴۵۹۰۴۹
مسکونی	۵۲۵۰۴	۸۵۶۴۵	۹۰۰۹۶	۹۴۷۰۱
حمل و نقل (راه)	۱۵۷۹	۱۹۶۱	۲۱۶۶	۲۵۹۵
تجاری	۵۱۸۶۱	۷۸۰۱۰	۸۳۸۶۱	۱۳۲۰۲۹
مجموع خسارت	۳۸۶۵۸۱	۵۶۸۴۱۳	۶۰۲۰۸۶	۶۸۸۳۷۵

مطابق جدول ۴ هرچه دوره بازگشت سیلاب افزایش می‌یابد میزان خسارت وارده در تمامی کاربری‌ها افزایش می‌یابد. همچنین در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله بیشترین میزان خسارت وارده به ترتیب در کاربری کشاورزی، مسکونی و حمل و نقل است. مقایسه بین مجموع خسارت وارده شده در تمامی کاربری‌های موجود در حوضه رودک در

دوره بازگشت‌های مختلف نشان می‌دهد میزان افزایش خسارت وارده بین سیلاب ۵ و ۲۵ ساله حدود ۴۷ درصد، بین سیلاب ۲۵ و ۵۰ ساله حدود ۶ درصد، و بین سیلاب ۵۰ و ۱۰۰ ساله حدود ۱۵ درصد می‌باشد. مقایسه خسارت سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف، اطلاعات مفیدی برای سازمان‌های مختلف همانند بیمه‌گذار می‌دهد تا از میزان خسارت

حدود ۱۵۴ درصد و در بخش مسکونی حدود ۸۰ درصد افزایش می‌یابد. این درصد افزایش بین سیلاب ۵۰ و ۱۰۰ ساله شیب ملایم تری به خود می‌گیرد. ضمن آنکه بیشترین میزان خسارت در بخش کشاورزی می‌باشد که علت آن نیز وسعت اراضی کشاورزی در منطقه می‌باشد. با مقایسه نقشه‌های پهنه بندی سیلاب میزان سرعت، عمق، پروفیل سطح آب، مساحت پهنه سیلاب با افزایش دوره بازگشت سیلاب رابطه مستقیم داشته و با افزایش دوره بازگشت سیلاب افزایش می‌یابد بنحویکه میزان پهنه بین سیلاب با دوره بازگشت ۵ و ۱۰۰ ساله در حدود ۱۶ درصد افزایش می‌یابد. با توجه به وجود ساخت و ساز در حاشیه رودخانه و وجود منازل مسکونی و مناطق تجاری و همچنین وجود هتل چند طبقه در مجاورت رودخانه و نتایج به دست آمده سیلاب قسمت هایی از جاده را در بر گرفته است و همچنین در صورت وقوع سیلاب امکان خطرات جانی و مالی بسیار زیادی وجود دارد.

مطابق نتایج به دست آمده در حوزه مورد مطالعه مناطق مجاور، بستر رودخانه و زمین های کشاورزی بیشترین خطر سیلاب را دارند. همچنین با توجه به خطر سیلاب و میزان خسارت وارده بایستی از ساختن مناطق مسکونی که عمدتاً در این منطقه به صورت ویلا است و همچنین ساختمان‌هایی با کاربری تجاری که شامل رستوران‌ها و کافه‌ها است خودداری نمود. مقایسه خسارت سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف، نحوه تغییر کاربری اراضی در طرح‌های توسعه آتی، به همراه درجه اهمیت کاربری های منطقه خصوصاً کاربری های مسکونی و تجاری که خسارت جانی به همراه دارند می‌تواند بعنوان ملاک تعیین سیلاب طرح جهت تعیین طرح‌های حفاظت سیلاب منطقه قرار گیرد که پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات آتی مورد توجه قرار گیرد.

قطعا میزان خسارت نمی‌تواند به تنهایی ملاک تصمیم‌گیری برای حفاظت اراضی قرار گیرد و درجه اهمیت کاربری با توجه به خسارت جانی که می‌تواند به همراه داشته باشد نیز بعنوان یک ملاک مطرح می‌باشد. ضمناً با توجه به تغییر کاربری اراضی کشاورزی به مسکونی و تجاری در محدوده رودخانه جاجرود پیش بینی می‌گردد که در آینده توسعه منطقه در این دو بخش بوده و وسعت اراضی کشاورزی کاهش یابد لذا ضریب اهمیت این بخش که خسارت جانی به همراه دارد افزایش می‌یابد. همچنین از مزایای استفاده از توابع جهانی عمق-خسارت می‌توان قابلیت بسط دادن آن به سایر مناطق کشور و استفاده از آن در مناطقی که داده‌های خسارت وجود ندارد و عدم استفاده از پارامتر سرعت سیل می‌باشد که به تنهایی می‌توان با عمق سیل ضریب خسارت را به دست آورده و میزان خسارت وارده محاسبه گردد اما بایستی دقت نمود که این منحنی‌ها بایستی برای برخی از مناطق کشور که امکان دسترسی به اطلاعات خسارت سیلاب در آنها وجود دارد تدقیق گردند.

### ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت‌کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

### حامی مالی

هزینه تحقیق حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شده است.

در کاربری‌های مختلف در صورت وقوع سیلاب مطلع بوده و برنامه ریزی های لازم جهت پرداخت خسارت در صورت وقع سیلاب را داشته باشند. قطعا میزان خسارت نمی‌تواند به تنهایی ملاک تصمیم‌گیری برای حفاظت اراضی قرار گیرد و درجه اهمیت کاربری با توجه به خسارت جانی که می‌تواند به همراه داشته باشد نیز بعنوان یک ملاک مطرح می‌باشد. ضمناً با توجه به تغییر کاربری اراضی کشاورزی به مسکونی و تجاری در محدوده رودخانه جاجرود پیش بینی می‌گردد که در آینده توسعه منطقه در این دو بخش بوده و وسعت اراضی کشاورزی کاهش یابد لذا ضریب اهمیت این بخش که خسارت جانی به همراه دارد افزایش می‌یابد. اما با توجه به آنکه اکثر ابنیه فنی در طول مسیر بر اساس سیلاب ۵۰ ساله طراحی گردیده اند و همچنین مقایسه میزان خسارت در سیلابها با دوره بازگشت مختلف، می‌توان سیلاب ۵۰ ساله را تعیین طرح‌های حفاظت سیلاب منطقه پیشنهاد نمود.

### نتیجه‌گیری

رخداد سیلاب یکی از بلایای طبیعی و اصلی کشور ما بوده که حداقل در سال در یک نقطه از این سرزمین سیلاب قابل توجهی رخ میدهد. با وقوع سیل بخشی از فضای حیاتی و محیط زیست تحت تاثیر آثار مخرب آن قرار می‌گیرد. خسارتهای جاری شدن سیلاب در ابعاد ملی و محلی و از منظر اقتصاد کلان و خرد به گونه ای است که برآورد هر چه دقیقتر آن را ضروری می‌سازد. از سوی دیگر برآورد خسارت و صدمات سیلاب با توجه به پیچیدگی موضوع و تنوع و گستردگی خسارتهای امری است مشکل و مستلزم به کارگیری شیوه به روز علمی است. به طور کلی میزان خسارت ناشی از وقوع یک سیل مشخص از یک طرف به اندازه سیل (بزرگی سیل شامل حداکثر لحظه ای، مدت دوام و حجم سیلاب) و از طرف دیگر به میزان توسعه یافتگی و حجم سرمایه گذاریهای انجام شده در محدوده حوزه تاثیر سیل دارد.

برای ارزیابی خسارت یک سیل رخ داده اجرای مراحل شناسایی محدوده یا حوضه تاثیر سیل، تفکیک و طبقه بندی کاربریهای حوضه تاثیر سیل، جمع آوری اطلاعات پایه و تجزیه و تحلیل خسارت سیل ضروری می‌باشد که معمولاً بسیار زمانبر و هزینه بر می‌باشند. لذا برای تعیین خسارت می‌توان استفاده از تابع عمق-خسارت را پیشنهاد نمود. تابع عمق - خسارت نیز حاصل ترکیب نتایج مطالعات مربوط به پهنه بندی سیلاب، کاربری اراضی، برآورد ارزش کاربریها، موقعیت و تراز موضوع خسارت، معیارهای عمق - درصد خسارت، نيمرخ های طراحی سطح آب در یک بازه مورد نظر برای ارزیابی خسارت است. با توجه به آنکه این توابع برای کشور ما موجود نمی‌باشد در این تحقیق از توابع جهانی جهت تعیین خسارت سیلاب بعنوان اولین تجربه در محدوده رودخانه جاجرود استفاده شده است.

برای این منظور از تلفیق مدل HEC-RAS ، ArcGIS و توابع جهانی عمق-خسارت برای تعیین پهنه بندی و خسارت سیلاب استفاده گردید. نتایج نشان می‌دهند میزان خسارت سیلاب با دوره بازگشت سیلاب رابطه مستقیم دارد و با افزایش دوره بازگشت میزان خسارت افزایش می‌یابد بنحویکه در بخش کشاورزی بین سیلاب ۵ تا ۱۰۰ ساله میزان خسارت ۴۰ درصد، در بخش حمل و نقل ۶۴ درصد، در بخش تجاری

## تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

امیرمحمد هوشمند: روش شناسی، اجرای نرم افزار، اعتبارسنجی، تحلیل نتایج، نگارش، پیش نویس. سید عباس حسینی: بررسی شامل جمع آوری و کالیبراسیون داده ها و نگارش، بررسی و مدل سازی باقر قرمز چشمه: ویراستاری و جمع آوری داده ها و نگارش نهایی

## References

1. Azouagh, A., El Bardai, R., Hilal, I., & Stitou el Messari, J. 2018. Integration of GIS and HEC-RAS in Floods Modeling of Martil River (Northern Morocco). *European Scientific Journal, ESJ*, 14(12), 130. <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n12p130>
2. Goorabi, A., Kiarostami, F. 2015. Evaluating the tectonics of watersheds using geomorphological specifications in the form of the TecDEM model (case study: Rodek watershed in northeast Tehran). *Natural Geography Researche*, 47(3): 465-480 (In Persian)
3. Hekmatifar, H., Nazariha, M., Givechi, S. 2009. Evaluation of agricultural damages caused by flood using modeling Hec-Ras and Arc View. *Environment Science and Technology*, 4(11): 95-108 (In Persian)
4. Huizinga, J., de Moel, H., & Szewczyk, W. 2017. Global flood depth-damage functions. Methodology and the database with guidelines. In *Joint Research Centre (JRC)*. <https://doi.org/10.2760/16510>
5. Mihiu-pintilie, A., Cîmpianu, C. I., Stoleriu, C. C., Pérez, M. N., & Paveluc, L. E. 2019. Using High-Density LiDAR Data and 2D Streamflow Hydraulic Modeling to Improve Urban Flood Hazard. *Water*.
6. Moharamkhani, P., Omidvar, B., and Nohagar, A. 2020. Estimation of damage to electric substations due to flooding in an urban area. *12th National Congress of Civil Engineering*, 1-11 (In Persian)
7. Ongdas, N., Akiyanova, F., Karakulov, Y., Muratbayeva, A., & Zinabdin, N. 2020. Application of hec-ras (2d) for flood hazard maps generation for yesil (ishim) river in kazakhstan. *Water (Switzerland)*, 12(10), 1-20. <https://doi.org/10.3390/w12102672>
8. Pathan, A. I., & Agnihotri, P. G. 2021. Application of new HEC-RAS version 5 for 1D hydrodynamic flood modeling with special reference through geospatial techniques: a case of River Purna at Navsari, Gujarat, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 7(2): 1133-1144. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00961-0>
9. Poorali, M., Salajegheh, A. 2016. Flood risk and damage assessment (case study: Glucan watershed). *4th Conference in Flood Management and Engineering*, 1-19 (In Persian)
10. Rahman, M. S., Di, L., Yu, E., Lin, L., & Yu, Z. 2021. Remote Sensing Based Rapid Assessment of Flood Crop Damage Using Novel Disaster Vegetation Damage Index (DVDI). *International Journal of Disaster Risk Science*, 12(1): 90-110. <https://doi.org/10.1007/s13753-020-00305-7>
11. Romali, N. S., & Yusop, Z. 2021. Flood damage and risk assessment for urban area in Malaysia. *Hydrology Research*, 52(1): 142-159. <https://doi.org/10.2166/NH.2020.121>
12. Shafiei Motlagh, K., Ebadati, N., 2020. Flood zoning and simulating the hydraulic behavior of the river using HEC-RAS software (Case study: Maroon River - Southwest Iran). *Ecohydrology*, 72(2): 397-409
13. Wu, Z., Lv, H., Meng, Y., Guan, X., & Zang, Y. 2021. The determination of flood damage curve in areas lacking disaster data based on the optimization principle of variation coefficient and beta distribution. *Science of the Total Environment*, 750, 142277. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142277>