

## Flood risk assessment on the campus of Ferdowsi University of Mashhad and presentation of management scenarios using the HEC-RAS model

Masoud Vafaei<sup>1</sup> , Mohammad Taghi Dastorani<sup>2\*</sup> , Mohammad Rostami Khalaj<sup>3</sup> 

<sup>1</sup> M.Sc. Student, Rangeland and Watershed Management Department, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

<sup>2</sup> Professor, Rangeland and Watershed Management Department, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

<sup>3</sup> Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran

### Abstract

#### Introduction

Flood has been one of the natural disasters in the world in the past decades, which has had many economic, social, and environmental consequences. In recent years, the increase in population, and the lack of attention to the capacities of the environment, and the improper use of resources have caused the spread of damages, and this problem reveals the necessity of applying efficient management for mitigating flood damages. Therefore, flood zoning, which includes determining the range of flood progress and its height, and also the characteristics of floods in different return periods, is very important. Since the Ferdowsi University of Mashhad is one of the largest and most important scientific centers in the country and is located at the bottom of several large urban basins, this research was conducted with the aim of assessing the flood risk in the campus of Ferdowsi University of Mashhad.

#### Materials and Methods

In this study, in order to investigate the characteristics of floods entering the campus of the university, the inlets flow to the campus of the Ferdowsi University of Mashhad, which includes the four main inlet branches of Ab\_o Bargh, Pazhuhesh, Loizan, and Chahar Cheshme were investigated. Due to the urban development, conversion of natural lands into residential surfaces, and encroachment of watercourses in the studied area, disturbance of the natural channels and the reduction of their capacity has occurred which has been effective in the hydrologic and hydraulic behavior of these areas. For this purpose, the map obtained from Mashhad District Nine municipality was reviewed and revised with the help of field observations, slope direction, the topography of the area, the use of Google Earth satellite images and geographic information system (ArcGIS software), and the changes and also the real borders for the related catchment was identified. The inflow data generated based on the amount of precipitation in the upstream area of the Ferdowsi University of Mashhad campus, including discharges with return periods of 25 and 50 years, were collected from Razavi Khorasan Regional Water Company. The input flows to each channel were calculated based on the upstream area of that channel based on the values of the total area of the upstream basin, based on Krieger's second equation. Then, using the HEC-RAS model and the HEC-GeoRAS extension, floods with different return periods were zoned and simulated in the channels inside the campus, and problematic areas were identified. In the present research, in order to collect the required data, it was necessary to have field visits in the study area to make the necessary measurements in addition to data obtained from the relevant organizations. In this regard, to measure the parameters of slope, width, and height of water transmission channels as well as the roughness of the channels in the campus of the Ferdowsi University of Mashhad, several sections of these channels were observed and evaluated in different branches. For these measurements, different tools such as an inclinometer, Jalon, and geological meter were used.

#### Results and Discussion

The results showed that the canals in the studied area have the ability to transfer floods with a return period of two and ten years, but with the increase of the return period, it becomes flooded due to the low height of the

bridges in some sections. Based on these results, in the area of the final outlet of the campus and also the Ab\_o Bargh canal, floods with a return period of 25 years and above will cause some problems due to the presence of various obstacles. Also in parts of the Pazhuhesh channel, floods with a return period of 50 years and above would cause damage. Considering the importance and location of the campus of Ferdowsi University of Mashhad and the possibility of damage caused by discharges of more than 10 years of floods in this area, in this research various scenarios were proposed for the exit section of the campus to increase the capacity of the channel for floods with different return periods. These five scenarios which have been proposed and tested in this research are as follows:

- First scenario: removing the protection bars of the bridge opening.
- The second scenario: reopening one of the blocked openings of the bridge on the exit section.
- Third scenario: reopening one of the openings together with removing protective bars.
- Fourth scenario: reopening both blocked openings of the bridge on the exit section.
- Fifth scenario: reopening both blocked openings together with removing protective bars.

According to the results obtained from flood zoning in this research, at the water entrance of Ab\_o Bargh, discharges with return periods of 25 years and above, and also in parts of the Pazhuhesh area, discharges with return periods of 50 years and above have the potential to cause damage. Therefore, it is suggested that by constructing a protective wall on the left and right banks of these areas, the transfer capacity of these parts should be increased and adapted for discharges with a return period of up to 50 years. For this purpose, the considered protective wall in these sections has a height of 1.5 m and is considered to be 0.5 m away from the left and right banks. With the construction of these walls, discharge with a return period of 50 years has the ability to pass without causing damage.

### Conclusion

Assessment of the results showed Examination of sections and modeling results show that all sections have the ability to pass floods with a return period of up to 10 years. Also, it is possible to prevent the risk of flooding in the campus of the Ferdowsi University of Mashhad by modifying sections in the outlet of the campus and creating a protective wall in the areas of Ab\_o Bargh and Pazhuhesh canals to prevent the risk of flooding until the return period of 50 years. According to the obtained results, the largest area of flooding in different return periods on the campus of the Ferdowsi University of Mashhad is related to the final exit section of the campus.

**Keywords:** Flood, Flood damage, Flood zoning, Ferdowsi University of Mashhad, HEC-RAS

**Article Type:** Research Article

\*Corresponding Author, E-mail: dastorani@um.ac.ir

**Citation:** Vafaei, M., Dastorani, M.T., & Rostami Khalaj, M. (2023). Flood risk assessment on the campus of Ferdowsi University of Mashhad and presentation management scenarios using the HEC-RAS model. *Water and Soil Management and Modeling*, 3(3), 225-239.

DOI: 10.22098/mmws.2022.11815.1173

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.3.15.7

Received: 19 November 2022, Received in revised form: 29 December 2022, Accepted: 29 December 2022, Published online: 29 December 2022

*Water and Soil Management and Modeling*, Year 2023, Vol. 3, No. 3, pp. 225-239

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





## ارزیابی خطر سیلاب در پردیس دانشگاه فردوسی مشهد و ارائه سناریوهای مدیریتی با استفاده از مدل HEC-RAS

مسعود وفایی<sup>۱</sup>، محمد تقی دستورانی<sup>۲\*</sup>، محمد رستمی خلج<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران  
<sup>۲</sup> استاد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران  
<sup>۳</sup> استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

### چکیده

در میان انواع بلایای طبیعی، سیل یکی از مخرب‌ترین پدیده‌هاست که تلفات جانی و مالی را در سراسر جهان برجای گذاشته است. گسترش خسارت سیلاب و پیامدهای ناشی از آن اهمیت و لزوم اعمال مدیریت سیلاب‌ها را هرچه بیش‌تر آشکار می‌سازد. در این میان، تعیین محدوده پیش‌روی سیلاب و ارتفاع آن نسبت به مسیل اصلی و تعیین مشخصات سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف که تحت عنوان پهنه‌بندی سیلاب صورت می‌گیرد، حائز اهمیت فراوان است. با توجه به این‌که پردیس دانشگاه فردوسی مشهد یکی از مراکز علمی بزرگ و مهم در کشور است و در پایاب چند حوضه بزرگ شهری قرار دارد این پژوهش با هدف ارزیابی خطر سیلاب در پردیس دانشگاه فردوسی مشهد انجام گرفته است. در این راستا ابتدا داده‌های مورد نیاز، مانند دبی‌های سیلابی، لایه‌های اطلاعاتی و نقشه‌ها به‌همراه اطلاعات میدانی جمع‌آوری شد و با استفاده از رابطه دوم کریگر و ضرایب تبدیلی ارقام دبی سیلاب ورودی به پردیس دانشگاه فردوسی مشهد بر اساس دوره بازگشت مختلف محاسبه شد. سپس با استفاده از مدل HEC-RAS و الحاقیه HEC-GeoRAS سیلاب‌ها با دوره بازگشت‌های مختلف پهنه‌بندی و شبیه‌سازی و مناطق سیل‌گیر مشخص شد. نتایج نشان داد کانال‌های موجود در محدوده مورد مطالعه توانایی انتقال سیلاب با دوره بازگشت‌های ۲ و ۱۰ ساله را دارد، ولی دوره بازگشت ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به‌علت ارتفاع کم پل‌ها در برخی مقاطع ورودی و محدود شدن مقاطع خروجی، دچار آب‌گرفتگی می‌شود. بر این اساس در محدوده خروجی انتهایی پردیس و کانال آب و برق، به‌دلیل وجود موانع مختلف، سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ سال به بالا و در قسمت‌هایی از کانال پژوهش به‌دلیل انحناء مسیل، سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ سال به بالا ایجاد خسارت می‌کند. بر این اساس برای افزایش ظرفیت پهنه‌بندی سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف در نقاط آسیب‌پذیر به بررسی ایجاد دیواره حفاظتی در ورودی آب و برق و قسمت‌هایی از مسیل پژوهش و بررسی سناریوهای مختلف در مقطع خروجی پردیس دانشگاه فردوسی مشهد که عمدتاً بر افزایش ظرفیت این مقطع متمرکز هستند پرداخته شد. تا بهترین حالت‌ها انتخاب و با انجام این موارد ظرفیت آب‌گذری این مناطق افزایش یابد.

**واژه‌های کلیدی:** پهنه‌بندی سیلاب، خسارات سیل، دانشگاه فردوسی مشهد، سیلاب، HEC-RAS

### نوع مقاله: پژوهشی

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: dastorani@um.ac.ir

**استناد:** وفایی، مسعود، دستورانی، محمدتقی، و رستمی خلج، محمد (۱۴۰۲). ارزیابی خطر سیلاب در پردیس دانشگاه فردوسی مشهد و ارائه سناریوهای مدیریتی با استفاده از مدل HEC-RAS. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۳)، ۲۲۵-۲۳۹.

DOI: 10.22098/mmws.2022.11815.1173

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.3.15.7



تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۸، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۰/۰۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۰۸، تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۰/۰۸

*مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، سال ۱۴۰۲، دوره ۳، شماره ۳، صفحه ۲۲۵ تا ۲۳۹

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

## ۱- مقدمه

به جریان‌هایی که فراتر از ظرفیت کانال طبیعی یا مصنوعی باشد و به اراضی اطراف گسترش یابد سیل گفته می‌شود ( Sayyad et al., 2022). سیل به‌عنوان مخاطره طبیعی که بیش‌تر کلان‌شهرهای جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد، در نظر گرفته می‌شود (Nsangou et al., 2022). به‌طوری‌که در دهه گذشته، سیل زندگی بیش از ۵۸ میلیون نفر را در جهان تحت تأثیر قرار داده و تقریباً ۲۰۰۰۰ نفر را به کام مرگ کشانده است (Mahmoudi Babolan et al., 2022). امروزه سیلاب شهری در اکثر کشورهای در حال توسعه و توسعه‌یافته به یک موضوع جدی تبدیل شده است (Hossain and Meng, 2020). این درحالی است که در سال‌های اخیر گسترش شهرنشینی همراه با تغییرات آب و هوایی منجر به افزایش خطر سیل در شهرها شده است (Hejazizadeh et al., 2022). از همین‌رو در این سال‌ها، سیل به‌دلیل ماهیت ویران‌کننده‌ای که دارد اهمیت جهانی پیدا کرده است که می‌تواند خسارات زیادی به‌زیرساخت‌ها و جامعه وارد کند (Roy et al., 2021). حدود ۳۰ درصد از کل خسارات اقتصادی جهانی ناشی از خطرات طبیعی ایجاد شده از سیل است. در این میان، سیل شهری مهم‌ترین نوع سیلاب است. افزایش سطوح غیرقابل نفوذ و کاهش مناطق نفوذپذیر در مناطق شهری باعث افزایش رواناب می‌شود و ظرفیت زهکشی سیستم فاضلاب را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد، در حالی‌که ویژگی فضاهای شهری اغلب آن‌ها را در برابر تأثیرات سیل شهری آسیب‌پذیرتر می‌کند (Hossain and Meng, 2020). تغییر کاربری و پوشش زمین<sup>۱</sup> (LUCC) ناشی از شهرنشینی تأثیر زیادی بر سیستم‌های هیدرولوژیکی شهری گذاشته و همان‌طور که اشاره شد سبب کاهش سطوح نفوذپذیر و به‌دنبال آن افزایش رواناب می‌شود که در نهایت به‌ویژه بحث سیلاب‌های شهری را برجسته می‌کند (Luo and Zhang, 2022).

تخمین خسارات و زیان‌های یک سیل خاص، بسته به اطلاعات موجود، بر حسب بدنه پژوهش و زمان ارزیابی، به‌طور قابل ملاحظه‌ای متفاوت است ( Shaikh Baikloo Islam, 2021). اما خطر سیل به‌طور کلی از دو بخش تشکیل شده است: احتمال وقوع سیلاب و پیامدهای ناشی از آن. بخش اول منبع خطر است و عمدتاً با بزرگی و وسعت سیل شناخته می‌شود، اگرچه سرعت جریان و مدت سیل نیز ممکن است نقش مهمی ایفا کند. بخش دوم نشان‌دهنده آسیب‌پذیری سیستم اجتماعی-اقتصادی در معرض سیل است. سه جنبه که می‌تواند آسیب‌پذیری را نشان دهد شامل قرار گرفتن در معرض، حساسیت

و بزرگی است. علاوه‌بر این، انعطاف‌پذیری می‌تواند آسیب‌پذیری را کاهش دهد و ظرفیت پاسخ‌گویی سیستم را به‌کار گیرد (Rezende et al., 2020). باید گفت سیل‌ها تأثیر فزاینده‌ای بر شهرها دارند و لازمه مدیریت آن ادغام چندین زمینه تخصصی شامل علوم مهندسی، اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی است (Pathak et al., 2020).

در مجموع وقوع خطر سیل نتیجه ترکیبی از عوامل طبیعی و انسانی است که درک بهتر، گستره مکانی آن را در محیط‌های مختلف می‌طلبد (Danumah et al., 2016). در همین راستا به‌منظور مدیریت پدیده سیل لازم است ارزیابی خطر<sup>۲</sup> و پهنه‌بندی سطح خطر<sup>۳</sup> آن به‌صورت موردی صورت بگیرد و مجموعه اقدامات لازم برای کاهش اثرات آن و برنامه‌ریزی‌های اضطراری جهت آمادگی قبل از وقوع این پدیده در نظر گرفته شود (Li et al., 2012; Wu et al., 2015). شاید پیش‌گیری و حذف کامل خطر این پدیده امکان‌پذیر نباشد، اما با پیشرفت تکنولوژی، می‌توان مناطق آسیب‌پذیر در برابر سیل را از طریق مدل‌سازی دو بعدی و سیستم اطلاعات جغرافیایی<sup>۴</sup> در برابر رویدادهای شدید بارندگی شناسایی و تا حدی تأثیر آن را کاهش داد (Rangari et al., 2019; Saha and Agrawal, 2020).

در همین راستا نگرانی‌های به‌وجود آمده در زمینه خطرات و خسارات ناشی از سیل، این انگیزه را ایجاد کرده است که این پدیده در محیط شهری مورد بررسی قرار بگیرد. نتایج این گونه مطالعات می‌تواند اطلاعات مفیدی از وضعیت موجود و چشم‌اندازی از آینده را برای مدیران و تصمیم‌گیران در ساماندهی و طراحی اقدامات مناسب به‌منظور سازگاری و مقابله با وقایع سیل و راهبردهای مؤثر مدیریتی در حوضه‌های شهری فراهم آورد. پردیس دانشگاه فردوسی مشهد به‌عنوان یک مرکز علمی مهم و پرتردد یکی از مناطق مهمی محسوب می‌شود که لازم است این پدیده و ویژگی‌های آن در آن‌جا مورد بررسی قرار گیرد و نتایج به‌دست آمده به‌طور خاص در برنامه‌ریزی و طراحی‌های لازم برای مقابله با این پدیده گنجانده شود.

مطالعات گوناگونی با هدف ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب در ایران و نقاط مختلف دنیا انجام شده است. به‌عنوان مثال، Hezareh and Bakharzi Qaz-Alhesar (2018) در پژوهش خود به‌منظور پهنه‌بندی سیلاب شهری در منطقه شهرداری مشهد از روش AHP و عوامل کاربری اراضی، جهت شیب، مقدار شیب، تراکم جمعیتی، ارتفاع و فاصله از مسیل به‌عنوان عوامل مؤثر استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهد که ۲۶ درصد از مساحت

<sup>2</sup> Risk Assessment

<sup>3</sup> Risk Level Zonation

<sup>4</sup> Geographic Information System

<sup>1</sup> Land Use/Cover Change

۵۲۶، ۶۱۰، ۸۲۸/۸، ۱۰۷۲/۸، ۱۲۶۳/۶ و ۱۴۶۱/۳ مترمکعب بر ثانیه خواهد بود. در نهایت (Echogdali et al. (2022) با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS در ترکیب با WMS به بررسی منطقه Seyad پرداختند و نتایج را با روش شاخص خطر سیل<sup>۱</sup> (FHI) که شامل پارامترهای نفوذپذیری، شیب، فاصله از رودخانه‌ها، کاربری زمین، تراکم زهکشی و تجمع جریان بود مقایسه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که حاشیه حوزه آبخیز مستعدترین مناطق در برابر سیلاب است.

با توجه به موارد ذکر شده، مطالعات گوناگونی در خصوص لزوم پهنه‌بندی سیل در حال انجام است. این مسئله تا زمانی که تمامی ابعاد موضوع شامل روش‌ها و ابزارهای مختلف مورد استفاده و نتایج حاصل از آن‌ها پوشش داده شود ضروری است. همان‌طور که مشاهده شد مطالعات انجام شده در زمینه ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب هم در حوضه‌های آبخیز شهری و هم در حوضه‌های آبخیز طبیعی انجام شده است. در این گونه مطالعات عمدتاً استفاده از یک مدل هیدرولوژیکی و یک مدل هیدرولیکی به ترتیب به منظور برآورد دبی و پهنه‌بندی سیلاب کاربرد فراوانی دارد و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) نقش مهمی در پیشبرد پژوهش ایفا می‌کند. این تکنیک یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب است. لذا در این مطالعه نیز تصمیم بر این شد تا در پردیس دانشگاه فردوسی مشهد که در پایاب چند حوضه بزرگ شهری قرار دارد و رواناب بخش قابل توجهی از حوزه آبخیز شهری بالادست وارد این محدوده می‌شود از یک مدل هیدرولیکی (HEC-RAS) و نرم‌افزار ArcGIS به منظور ارزیابی خطر سیلاب استفاده شود. در پژوهش حاضر برخلاف سایر پژوهش‌های انجام شده به جای نقشه‌برداری زمینی برای تهیه مدل رقومی ارتفاع (DEM) از تصاویر پهپادی با دقت یک سانتی‌متر مربع برای افزایش دقت کار مدل‌سازی استفاده شد. علاوه بر این سناریوهای مختلفی که منطبق با شرایط منطقه مورد مطالعه است و به نوعی نوآوری در این زمینه محسوب می‌شود تدوین شد تا در برنامه‌ریزی و مقابله با خسارت‌های ناشی از سیلاب خصوصاً در مناطق آسیب‌پذیر همانند آزمایشگاه‌های پردیس دانشگاه که عمدتاً در طبقات زیرین ساختمان قرار گرفته‌اند و نگرانی‌هایی در این زمینه وجود دارد در نظر گرفته شود. همچنین، نتایج حاصل بتواند در تصمیم‌گیری و اتخاذ روش‌های بهینه و اقتصادی در کاهش خسارت احتمالی سیل در منطقه مورد مطالعه مورد استفاده قرار گیرد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

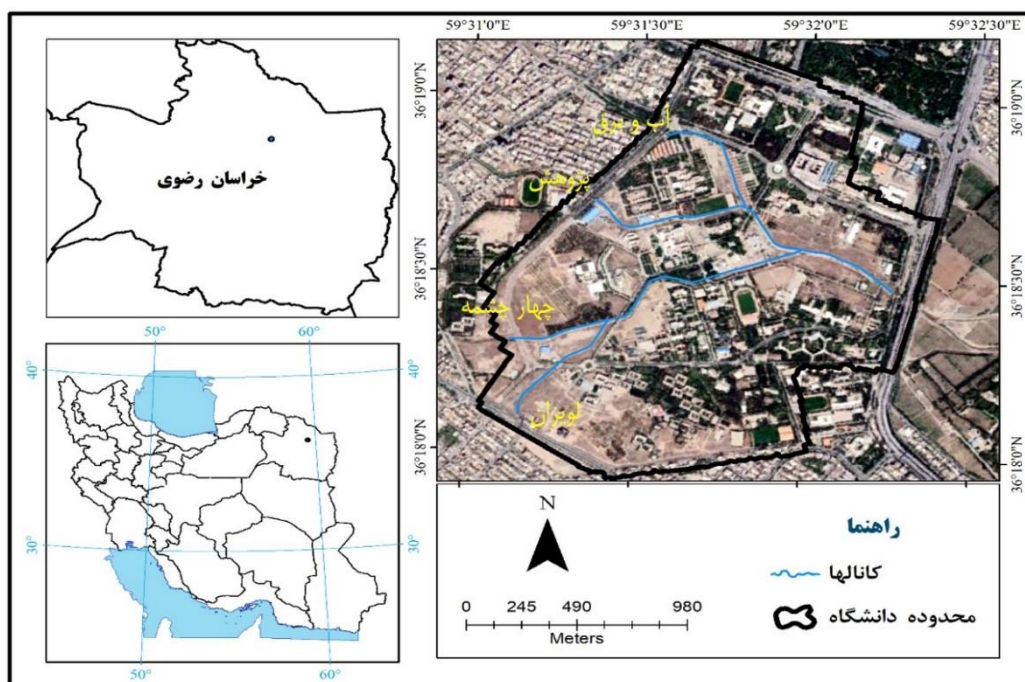
منطقه در پهنه خطر متوسط تا خیلی زیاد و ۷۴ درصد در پهنه خطر کم و خیلی کم قرار می‌گیرد. در این راستا، Valizadeh et al. (2019) در مطالعه خود با استفاده از تصاویر پهپاد و سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل HEC-RAS و بسته الحاقی HEC-GeoRAS به پهنه‌بندی سیلاب و تأثیر آن بر کاربری اراضی در محدوده رودخانه ليقوان در شهر تبریز پرداختند. نتایج نشان می‌دهد به ترتیب باغات، اراضی بایر و مناطق مسکونی نسبت به سایر کاربری‌ها بیش‌تر تحت تأثیر سیل قرار خواهد گرفت. در ادامه، Saffari et al. (2020) با استفاده از مدل‌های WMS، HEC-RAS و نرم‌افزار ArcGIS به تحلیل مخاطره ناشی از سیلاب در حوضه‌های آبخیز شهری دربند، گلابدره و سعدآباد کلان‌شهر تهران پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داده که با توجه به ساخت و سازهای فراوان و تغییرات کاربری اراضی به خصوص در حاشیه رودخانه، منطقه مورد مطالعه قدرت مقابله با سیلاب را ندارد. در پژوهشی، Hassanzadeh et al. (2021) به منظور پهنه‌بندی سیلاب و آب‌گرفتگی ناشی از وقوع سیل در شهر بردسیر در استان کرمان از مدل هیدرولیکی HEC-RAS و اطلاعات میدانی استفاده کردند. نتایج حاکی از اهمیت ترکیب اطلاعات میدانی با مدل هیدرولوژیکی به منظور مدیریت سیل در منطقه شهری است. همچنین، Pornaby Darzi et al. (2021) با هدف پهنه‌بندی خطر سیل با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله در حوضه آبخیز چشمه کیله در شهرستان تنکابن از مدل هیدرولیکی HEC-RAS و نرم‌افزار Arc-GIS استفاده کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که با افزایش دوره بازگشت سطح وسیع‌تری از اراضی تحت تأثیر سیل قرار خواهند گرفت. همچنین، بیش‌ترین سطح سیلابی به اراضی زراعی با وسعت ۶/۲۴ هکتار اختصاص پیدا می‌کند.

در پژوهش دیگری، Abdessamed and Abderrazak. (2019) با استفاده از ترکیب مدل HEC-RAS و HEC-HMS به پهنه‌بندی آب‌گرفتگی دشت سیلابی در شهر Ain Sefra در جنوب غربی کشور الجزایر پرداختند. هدف از این مطالعه، تحلیل رفتار آب‌گرفتگی شهر Ain Sefra در هنگام وقوع سیل شدید با در نظر گرفتن وجود دیوارهای حائل بتنی ساخته شده توسط مقامات محلی و بدون آن است. مدل‌سازی هیدرولیکی نشان داد که وجود دیوارهای حائل منجر به کاهش مساحت پهنه سیلابی شده و زمین‌های کم‌تری در معرض خطر سیل قرار می‌گیرند. همچنین، Namara et al. (2021) در بالادست حوضه رودخانه Awash در کشور اتیوپی به منظور پهنه‌بندی سیلاب از مدل HEC-RAS و بسته الحاقی HEC-GeoRAS استفاده کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان می‌دهد که برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله مقدار دبی پیک سیل به ترتیب برابر با

<sup>۱</sup> Flood Hazard Index

آموزشی و اداری بیش‌ترین مساحت را به خود اختصاص می‌دهند. کل وسعت زیربنای املاک کاربری‌های شهری در منطقه مورد مطالعه، ۱۳/۷۱ درصد از وسعت زیربنای املاک شهری در شهر مشهد را تشکیل می‌دهد. مسیل‌های محدوده شهر مشهد شامل رودخانه اقبال شرقی و سرشاخه‌های آن، رودخانه اقبال غربی و سرشاخه‌های آن، مسیل چهل بازه و زرکش است که به‌طور گسترده از ارتفاعات اطراف شهر مشهد سرچشمه گرفته و در دشت مشهد پخش می‌شوند، و پس از عبور از داخل شهر مشهد در انتهای مسیر خود به کشف رود می‌ریزند.

شهر مشهد به ۱۳ منطقه شهرداری تقسیم می‌شود که منطقه مورد مطالعه در این پژوهش (پردیس دانشگاه فردوسی مشهد) با مساحتی حدود ۲۵۵۰۶۰۰ مترمربع و در محدوده جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۱ دقیقه و ۴۶ ثانیه تا ۵۹ درجه و ۳۲ دقیقه و ۳۶ ثانیه طول شرقی و در ۳۶ درجه و ۱۸ دقیقه و ۳۲ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۱۹ دقیقه و ۴۶ ثانیه عرض شمالی در منطقه شهرداری کلان شهر مشهد در قسمت جنوب غربی شهر قرار دارد (شکل ۱). منطقه شهرداری مشهد دارای سه ناحیه و دوازده محله است و مساحت آن برابر با ۳۲۷۵ هکتار و جمعیت آن برابر با ۳۲۹۵۶۲ نفر است. کاربری غالب اراضی در این منطقه مسکونی است و بعد از آن کاربری‌های تجاری،



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دانشگاه فردوسی مشهد در استان خراسان رضوی و ایران  
Figure 1- Geographical location of Ferdowsi University of Mashhad in Razavi Khorasan Province and Iran

اطلاعات جغرافیایی (GIS) مورد بررسی و بازبینی قرار گرفت و مرز هر زیرحوضه آبخیز بسته شد.

در ادامه اطلاعات جریان ورودی ایجاد شده بر اساس میزان بارش در محدوده بالادست پردیس دانشگاه فردوسی مشهد شامل دبی‌های با دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله از نتایج مطالعات انجام گرفته توسط Regional Water Company of Khorasan (Razavi, 2019) که در طرح پژوهشی مطالعات هشدار سیل شهر مشهد و به روش استدلالی برآورد شده بود تعیین شد. دبی‌های ورودی به هر کانال بر اساس مساحت بالادست آن کانال از کل مساحت حوضه آبخیز بالادست بر اساس رابطه دوم کریگر (رابطه (۱)) محاسبه شد. این رابطه برخلاف رابطه اول آن که دارای دقت مناسبی نیست به دلیل سادگی و در دسترس بودن

## ۲-۲- روش تحقیق

در این مطالعه به منظور بررسی سیلاب ورودی به پردیس دانشگاه فردوسی مشهد مسیل‌های ورودی که شامل مسیل اصلی آب و برق، پژوهش، لویزان و چهار چشمه هستند مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به توسعه شهری، تبدیل اراضی به زمین‌های مسکونی و تجاوز به حریم مسیل‌ها در منطقه مورد مطالعه که در رفتار هیدرولوژیکی و هیدرولیکی این مناطق موثر بوده است شاهد بهم خوردگی مسیر طبیعی و کاهش حریم آن‌ها هستیم. به همین منظور نقشه اخذ شده از شهرداری منطقه شهرداری مشهد با توجه به این تغییرات با استفاده از مشاهدات میدانی، جهت شیب، توپوگرافی منطقه، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث و سیستم

## ۲-۳- مدل‌سازی هیدرولیکی

در این مطالعه به منظور ارزیابی و پهنه‌بندی سیل از نرم‌افزار HEC-RAS که یک نرم‌افزار هیدرولیکی شناخته شده در این زمینه است، استفاده شد. سیستم تحلیل رودخانه انجمن مهندسی ارتش ایالات متحده (HEC-RAS) نرم‌افزاری است که امکان (۱) اجرای یک‌بعدی جریان پایدار، (۲) محاسبات یک‌بعدی و دوبعدی جریان ناپایدار، (۳) محاسبات انتقال رسوب بر بستر متحرک و (۴) مدل‌سازی دمای آب بر کیفیت آب را فراهم می‌کند (HEC-RAS manual, 2016). یک عنصر کلیدی این است که هر چهار مؤلفه از نمایش داده‌های هندسی مشترک و روش‌های معمول محاسبات هندسی و هیدرولیکی استفاده می‌کنند. علاوه بر چهار مؤلفه تحلیل رودخانه، مدل دارای چندین ویژگی طراحی هیدرولیکی است که می‌توان پس از محاسبه پروفیل‌های سطح آب از آن‌ها استفاده کرد. داده‌های مورد نیاز برای ارزیابی خطر سیل در این پژوهش شامل دو بخش است؛ بخش اول مقادیر دبی جریان‌های ورودی به پردیس دانشگاه فردوسی مشهد، و بخش دوم مقادیر اندازه‌گیری شده شامل خصوصیات کانال‌ها (مشخصات هندسه مقاطع عرضی، ضریب زبری در مقاطع عرضی بستر و پلان).

برداشت مقاطع مسیر جریان و وارد کردن این موارد به شکل دستی در مدل هیدرولیکی کاری بسیار زمان‌بر، سخت و پرهزینه است. با توجه به این مشکلات سازندگان مدل هیدرولیکی HEC-RAS با توسعه افزونه HEC-GeoRAS که با نرم‌افزار مربوطه انطباق کامل دارد توانستند شرایطی را ایجاد کنند که با دقت بیش‌تر و صرف زمان کم‌تر اطلاعات اساسی هندسی شامل: اطلاعات ایستگاه‌ها، محور اصلی رودخانه، جهت جریان، خطوط سواحل، جهت تحلیل سیستم رودخانه تهیه شود. HEC-GeoRAS مجموعه‌ای از روش‌ها، ابزارها و توانایی‌های کاربردی برای پردازش داده‌های زمین مکانی در ArcGIS است. در مدل HEC-RAS با معرفی شرایط مرزی جریان، دبی با دوره بازگشت مختلف، مقاطع عرضی و فاصله آن‌ها و ضریب زبری مانینگ برای هر مقطع مدل اجرا و نیم‌رخ سطح آب در دوره بازگشت مختلف برآورد می‌شود. کل مراحل شبیه‌سازی به صورت خلاصه در ادامه بیان شده است:

- (۱) ویرایش نقشه‌های توپوگرافی منطقه و تهیه نقشه رقومی ارتفاع (DEM) و شبکه مثلثی نامنظم (TIN).
- (۲) شبیه‌سازی هندسه مسیل‌ها با استفاده از HEC-GeoRAS و وارد نمودن لایه خطوط مرکزی جریان، لایه مرزی آبراهه اصلی، لایه مرزی محدوده پهنه سیلاب و لایه مقاطع عرضی مسیل‌ها.

پارامترهای مورد نیاز آن از کارایی فراوانی برخوردار است و در مواقعی کارایی دارد که دبی اوج سیل در یک ایستگاه اندازه‌گیری شده و می‌خواهیم آن را برای حوضه آبخیز فرعی و یا حوضه آبخیز بزرگ‌تر که حوضه آبخیز اندازه‌گیری شده قسمتی از آن را تشکیل می‌دهد و دارای همگنی هیدرولوژیکی قابل قبول است تعمیم دهیم مورد استفاده قرار می‌گیرد. هم‌چنین، در پژوهش حاضر برای به‌دست آوردن دبی‌های ۲، ۱۰ و ۱۰۰ ساله با استفاده از ضرایب تبدیل با دوره بازگشت مشخص به دوره بازگشت دیگر که بر اساس مطالعات متعدد صورت گرفته بود استفاده شد و ضریب مناسب انتخاب و اعمال شد (Mahdavi, 2013).

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{A_1^{(0.894 A_1^{-0.048})}}{A_2^{(0.894 A_1^{-0.048})}} \quad (1)$$

در رابطه بالا  $Q_1$  و  $Q_2$  دبی‌های لحظه‌ای اوج سیل به ترتیب در حوضه آبخیز اندازه‌گیری شده و حوضه آبخیز فاقد آمار و  $A_1$  و  $A_2$  مساحت حوضه‌های آبخیز مورد نظر به مایل مربع است.

در این پژوهش از مدل رقومی ارتفاع (DEM) و شبکه‌های TIN (شبکه‌های مثلث‌بندی نامنظم) استفاده شد. مدل رقومی ارتفاع (DEM) یک نقشه رقومی رستری است که دربرگیرنده کل اطلاعات رقوم ارتفاعی و مختصات برای کل نقاط یک محدوده (ممکن است یک حوضه آبخیز باشد) با یک اندازه سلولی معین است. با توجه به بررسی به‌عمل آمده از تصاویر ماهواره‌ای و تهیه نقشه DEM برای بالا بردن دقت پژوهش با هماهنگی مدیریت پشتیبانی دانشگاه فردوسی نقشه DEM با دقت یک سانتی‌متر توسط پیمان تهیه شد.

شبکه‌های TIN (شبکه‌های مثلث‌بندی نامنظم) معمولاً برای درست کردن نقشه‌های ارتفاعی، انجام تحلیل زهکشی و ترسیم حوضه‌ها کاربرد دارند. هم‌چنین از یک لایه TIN می‌توان برای به‌دست آوردن لایه‌های مرتبط با توپوگرافی زمین مانند نقشه شیب و جهت شیب، مدل رقومی ارتفاع و منحنی میزان استفاده کرد و با کمک DEM این نقشه را تهیه نمود.

در پژوهش حاضر به منظور جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز، لازم شد تا علاوه بر اخذ این داده‌ها از سازمان‌های مربوطه اقدام به بازدید میدانی از منطقه مورد مطالعه به منظور اندازه‌گیری‌های لازم صورت گیرد. در همین راستا برای اندازه‌گیری پارامترهای شیب، عرض و ارتفاع کانال‌های انتقال آب و وضعیت زبری کانال‌ها در پردیس دانشگاه فردوسی مشهد اقدام به برداشت چندین مقطع از این کانال‌ها در شاخه‌های مختلف صورت گرفت. به منظور اندازه‌گیری از ابزارهای مختلفی چون شیب سنج، ژالون و متر زمین‌شناسی استفاده شد. هر شاخه از شبکه کانال‌های انتقال آب در مقاطع مختلف اندازه‌گیری شد.

## ۳- نتایج و بحث

## ۳-۱- نتایج مطالعات هیدرولوژی

همان‌طور که در بخش روش کار نحوه برآورد دبی ورودی به پردیس دانشگاه فردوسی مشهد به‌طور کامل توضیح داده شد برای برآورد دبی حداکثر در دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۵۰ ساله از Regional Water Company of Khorasan Razavi (2019) و سایر دبی‌ها از ضرایب تبدیل با دوره بازگشت مشخص به دوره بازگشت دیگر استفاده شد که نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

(۳) انتقال اطلاعات تولید شده در محیط ArcGIS توسط الحاقیه HEC-GeoRAS به HEC-RAS.

(۴) تکمیل مشخصات هندسی مسیل (سازه‌های متقاطع مسیر، اصلاح یا حذف برخی مقاطع عرضی و غیره) در محیط HEC-RAS.

(۵) انتقال نتایج مدل‌سازی HEC-RAS به ArcGIS با استفاده از الحاقیه HEC-GeoRAS.

(۶) نمایش پهنه سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف در محیط ArcGIS.

جدول ۱- مقادیر دبی سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف در ورودی‌های مختلف پردیس به‌روش کریگر و ضرایب تبدیلی

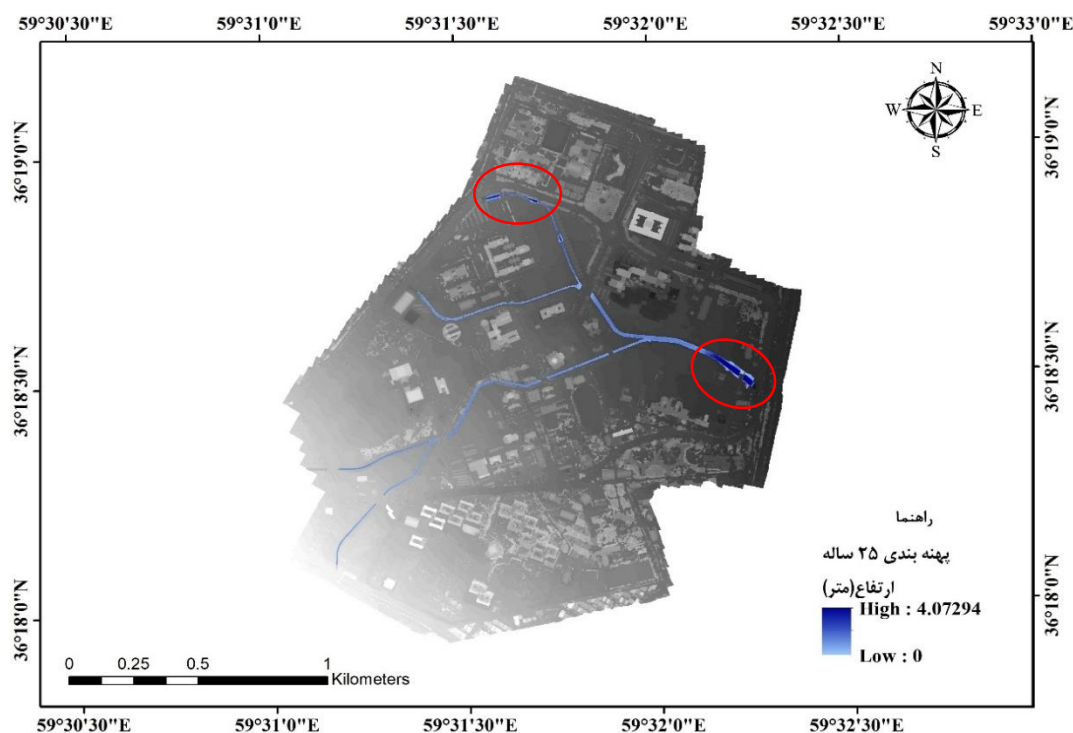
Table 1- Flood discharge values with different return periods at different entrances of the campus by the Krieger method and conversion coefficients

زیر حوضه‌های بالادست پردیس	وسعت حوضه (کیلومتر مربع)	دبی ۲ سال (مترمکعب بر ثانیه)	دبی ۱۰ سال (مترمکعب بر ثانیه)	دبی ۲۵ سال (مترمکعب بر ثانیه)	دبی ۵۰ ساله (مترمکعب بر ثانیه)	دبی ۱۰۰ سال (مترمکعب بر ثانیه)
آب و برق	20.48	5.47	11.62	38.06	46.46	85.02
پژوهش	4.01	2.56	5.45	17.24	21.79	39.88
چهار چشمه	7.47	4.39	9.33	29.33	37.33	68.31
لویزان ۳	4.84	2.11	4.49	14.32	17.97	32.89

سیلاب تعیین شد. شکل‌های ۲، ۳ و ۴ پهنه‌بندی سیلاب در دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله را نشان می‌دهد.

## ۳-۲- پهنه‌بندی سیلاب

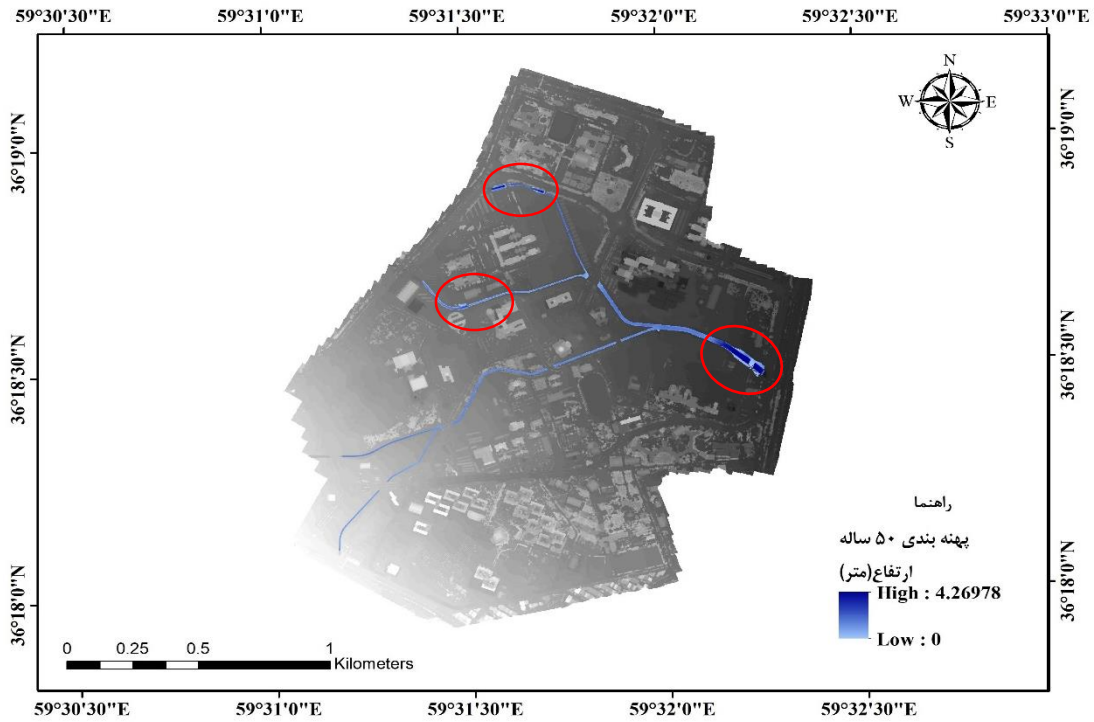
پس از تهیه مدل هندسی کانال‌های اصلی و مدل‌سازی تمامی عوارض در مدل HEC-RAS و HEC-GeoRAS پهنه‌بندی



شکل ۲- پهنه‌بندی سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ سال در پردیس دانشگاه فردوسی مشهد

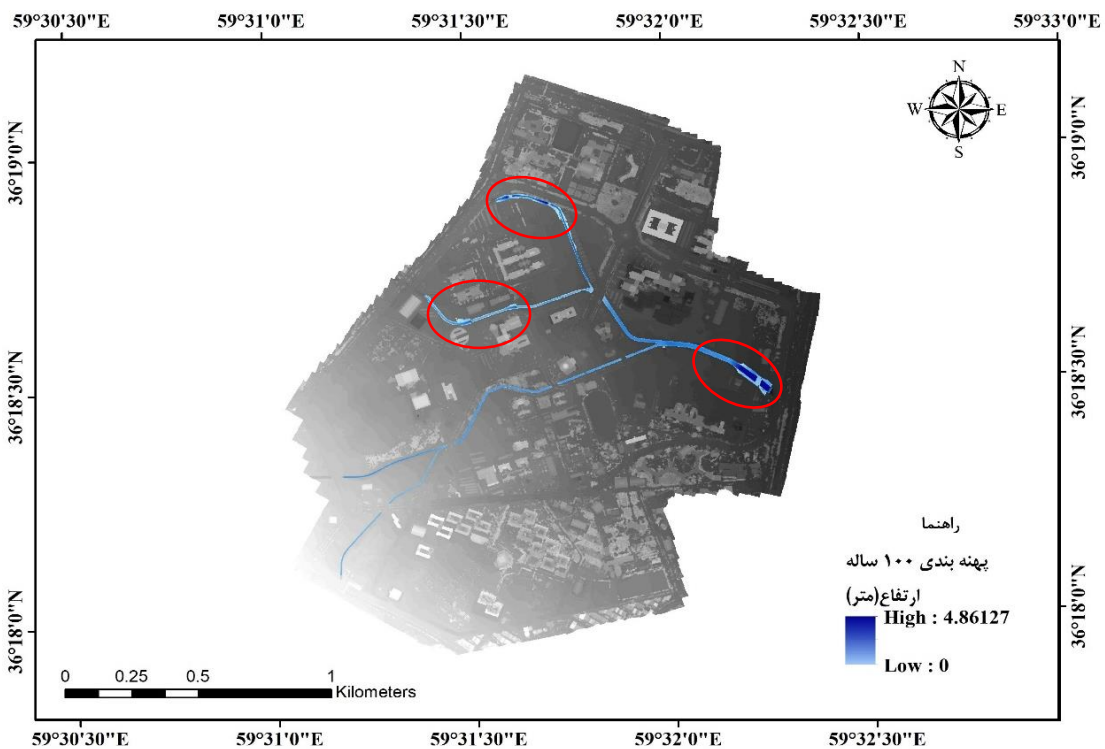
Figure 2- Flood zoning with a return period of 25 years on the campus of Ferdowsi University of Mashhad





شکل ۳- پهنه‌بندی سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ سال در پردیس دانشگاه فردوسی مشهد

Figure 3- Flood zoning with a return period of 50 years on the campus of Ferdowsi University of Mashhad



شکل ۴- پهنه‌بندی سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ سال در پردیس دانشگاه فردوسی مشهد

Figure 4- Flood zoning with a return period of 100 years on the campus of Ferdowsi University of Mashhad

سناریوی ۲) بازگشایی یکی از دهانه‌های مسدود مقطع خروجی: در این سناریو با فرض وجود میله‌های حفاظتی و بازگشایی یکی از دهانه‌های پل از قسمت ساحل چپ یا راست شاهد عبور ایمن دبی‌های ۲، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ سال و عدم عبور دبی ۱۰۰ سال در این محل هستیم (شکل ۵-ج، و د).

سناریوی ۳) بازگشایی یکی از دهانه‌ها به اضافه میله‌های حفاظتی: در این سناریو با فرض برداشتن میله‌های حفاظتی و بازگشایی یکی از دهانه‌های پل از قسمت ساحل چپ یا راست شاهد عبور و کاهش سطح دبی‌های ۲، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ سال و عدم امکان عبور دبی ۱۰۰ سال در این محل هستیم (شکل ۵-ه و و).

سناریوی ۴) بازگشایی هر دو دهانه مسدود مقطع خروجی پل: در این سناریو با فرض وجود میله‌های حفاظتی و بازگشایی هر دو دهانه پل شاهد کاهش سطح دبی ۱۰۰ ساله در این محل خواهیم بود اما همچنان بیرون‌زدگی بخشی از این دبی در محل واهد بود. بدیهی است که در این سناریو دبی‌های ۲، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ سال بدون مشکل عبور خواهند نمود (شکل ۵-ز).

سناریو ۵) بازگشایی هر دو دهانه مسدود به اضافه میله‌های حفاظتی: در این سناریو با فرض برداشتن میله‌های حفاظتی و همچنین بازگشایی هر دو دهانه مسدود شاهد عبور ایمن دبی‌های ۲، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و حتی ۱۰۰ ساله بدون ایجاد مشکل و خسارت هستیم (شکل ۵-ح).

بررسی کل سناریوها نشان داد که در همه موارد به‌جز سناریوی اول (تنها برداشتن میله‌های حفاظتی) مسیل خروجی پردیس توانایی عبور دبی تا دوره بازگشت ۵۰ ساله را دارد و در سناریو پنجم که هر دو دهانه مسدود بازگشایی شده و زنده‌های حفاظتی نیز وجود نداشته باشند دبی‌هایی با دوره بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ سال نیز قابلیت عبور بدون مشکل را دارا خواهند بود.

پس از انجام مدل‌سازی و بررسی نتایج، تعیین پهنه‌های سیلاب در دوره بازگشت‌های ۲، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال انجام گرفت. بر اساس این نتایج پهنه‌های ۲ و ۱۰ سال هیچ‌گونه مشکلی در ارتباط با خروج سیلاب از کانال اصلی و وارد شدن به محدوده دانشگاه وجود ندارد ولی با افزایش دوره بازگشت‌های به‌علت ارتفاع کم پل‌ها در مقاطع ورودی و سطح مقطع ناکافی پل خروجی جریان از پردیس مقداری بیرون‌زدگی آب وجود دارد. بر این اساس در محدوده کانال آب و برق، و خروجی انتهایی پردیس به‌دلیل وجود موانع مختلف از جمله زنده‌های فلزی، مسدود بودن دو دهانه از سه دهانه این مقطع، سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ سال به‌بالا، و در قسمت‌هایی از کانال پژوهش به‌دلیل انحنا مسیل، سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ سال به‌بالا می‌تواند ایجاد خسارت نماید.

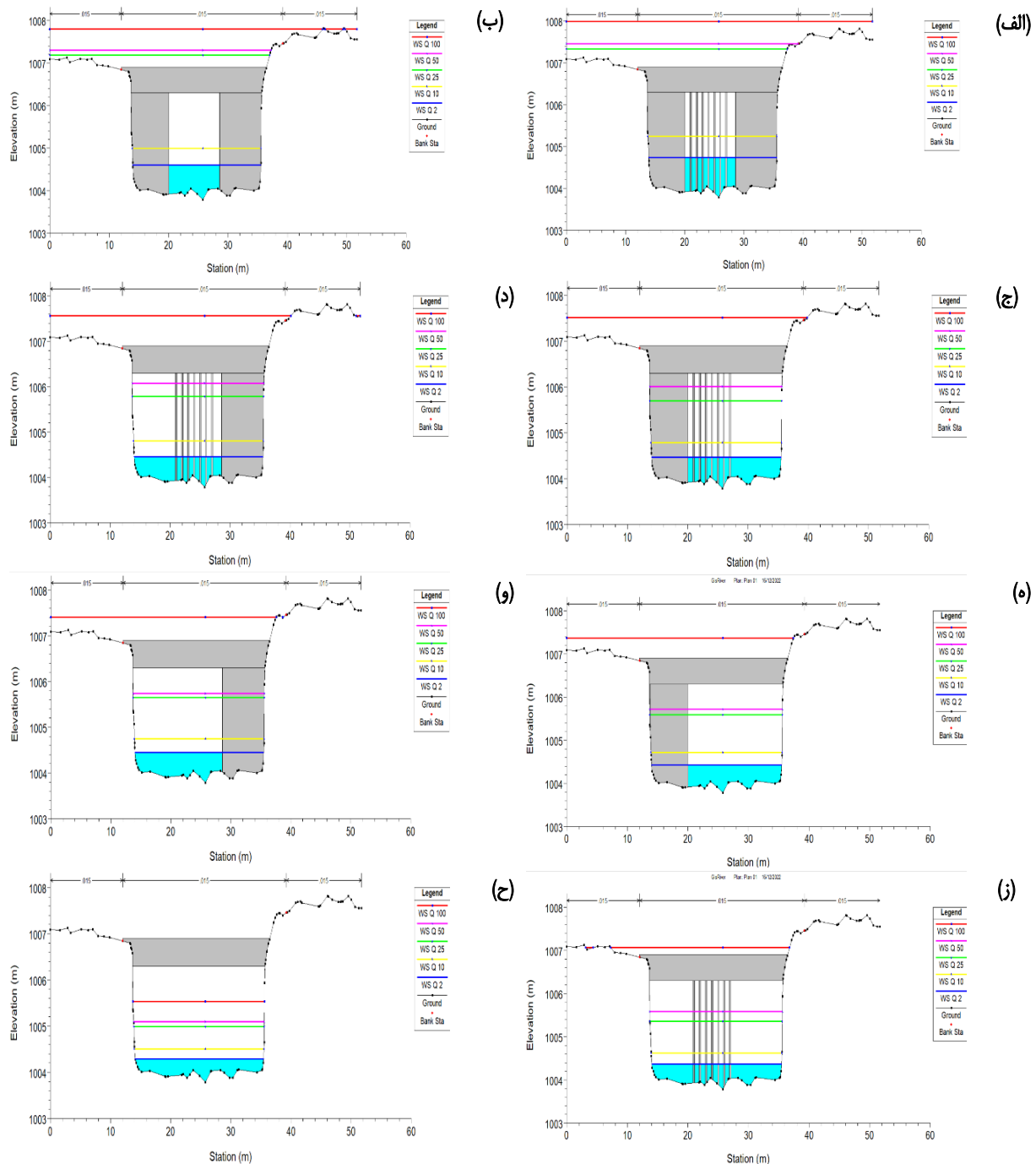
#### ۳-۴- بررسی حالت‌های مختلف مقطع خروجی

با توجه به اهمیت و موقعیت پردیس دانشگاه فردوسی مشهد و ایجاد خسارت دبی‌های بالاتر از ۱۰ سال در این محدوده، در ادامه این پژوهش اقدام به بررسی سناریوهای مختلف پیشنهادی در مقطع خروجی پردیس جهت عبور پهنه سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف شد تا بهترین حالت انتخاب شود. بر این اساس پنج سناریو طبق جدول ۲ مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، در شکل ۵ به بررسی این سناریوها پرداخته شده است. سناریوی ۱) برداشتن میله‌های حفاظتی دهانه پل: زردر این سناریو با فرض برداشتن میله‌های حفاظتی دبی ۲ و ۱۰ ساله در مقطع کانال عبور می‌کند ولی دبی‌های بالاتر از ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال با توجه به مسدود بودن دو دهانه پل می‌توانند موجب ایجاد خسارت در این محدوده شوند (شکل ۵-ب).

جدول ۲- سناریوهای مختلف پیشنهادی در راستای کنترل سیلاب در مقطع خروجی پردیس دانشگاه فردوسی مشهد

Table 2- Different scenarios proposed in order to control the flood in the exit section of the Ferdowsi University of Mashhad campus

شماره سناریو	نوع سناریو	دلیل ارائه سناریو
سناریوی اول	برداشتن میله‌های حفاظتی دهانه پل خروجی پردیس	سادگی و کم هزینه بودن اجرا و تأثیر نسبی آن در افزایش ظرفیت انتقال
سناریوی دوم	بازگشایی یکی از دهانه‌های مسدود مقطع پل خروجی پردیس	تأثیر نسبی بیش‌تر نسبت به سناریوی اول و البته هزینه اجرای نسبی بالاتر
سناریوی سوم	بازگشایی یکی از دهانه‌ها به اضافه برداشتن میله‌های حفاظتی	تأثیر نسبی بیش‌تر نسبت هر کدام از سناریوهای اول و دوم و البته هزینه بالاتر
سناریوی چهارم	بازگشایی هر دو دهانه مسدود مقطع پل خروجی پردیس	تأثیر نسبی بیش‌تر در مقایسه با سناریوهای اول، دوم و سوم و البته هزینه بالاتر
سناریوی پنجم	بازگشایی هر دو دهانه مسدود به اضافه برداشتن میله‌های حفاظتی	مؤثرترین سناریو نسبت به سناریوهای قبلی



شکل ۵- بررسی سناریوهای مختلف مقطع خروجی، (الف) حالت طبیعی مقطع خروجی، (ب) برداشتن میله‌های حفاظتی دهانه چپ، (ج) برداشتن مقطع سمت راست پل، (د) برداشتن مقطع سمت چپ پل، (ه) بازگشایی دهانه سمت راست پل و برداشتن میله‌های حفاظتی، (و) بازگشایی دهانه سمت چپ پل و برداشتن میله‌های حفاظتی، (ز) بازگشایی هر دو دهانه پل و (ح) بازگشایی هر دو دهانه مسدود و میله‌های حفاظتی

Figure 5- Assessment of the different states of the outlet on the campus, (a) the natural state of the exit section and (b) removal of the middle protection bars, (c) removal of the right side of the bridge, (d) removal of the left side of the bridge, (e) opening the right side of the bridge and removal of protective bars (f) opening the left side of the bridge and removal of protection bars, (g) opening both sides of the bridge (h) opening both sides of the bridge and protective bars

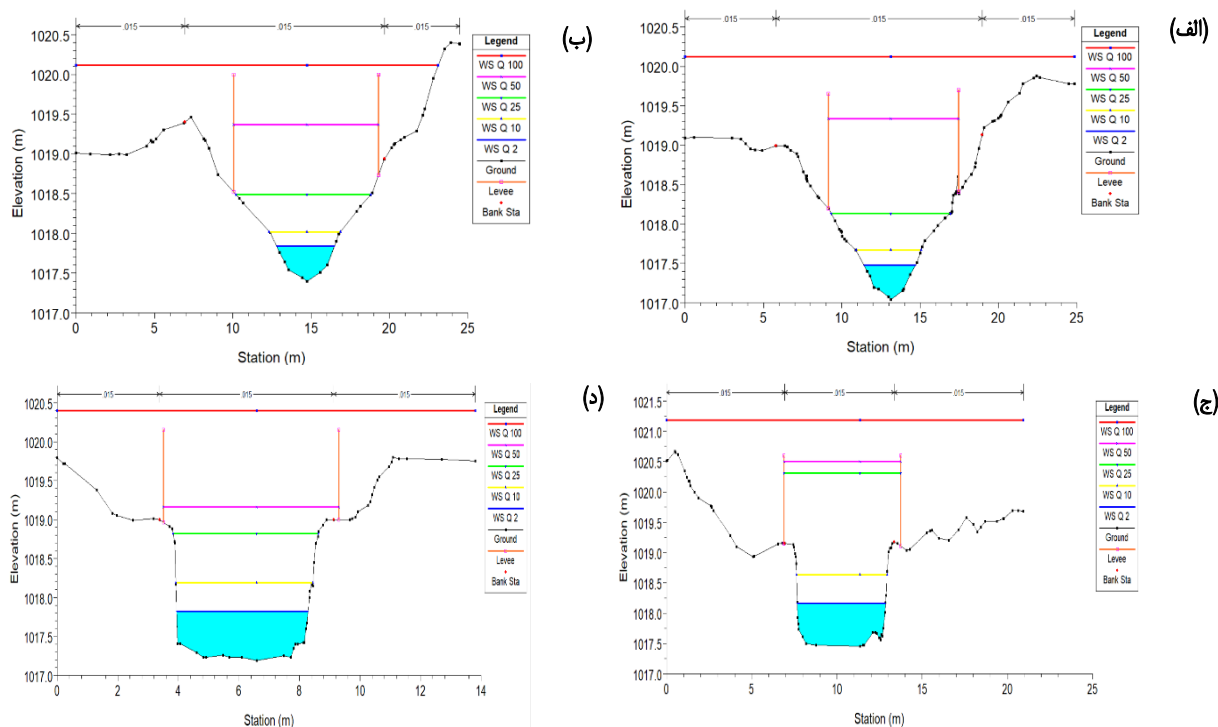
دیواره حفاظتی در سواحل چپ و راست این مناطق ظرفیت انتقال این قسمت‌ها برای دبی‌هایی با دوره بازگشت تا ۵۰ سال مناسب‌سازی شود. به این منظور دیواره حفاظتی در نظر گرفته شده در این مقاطع ۱/۵ متر ارتفاع داشته و با حدود ۰/۵ متر فاصله از سواحل چپ و راست در نظر

### ۳-۵- بررسی ایجاد دیواره حفاظتی

با توجه به بررسی‌های به عمل آمده از نتایج پهنه‌بندی سیلاب در ورودی آب و برق، دبی با دوره بازگشت ۲۵ سال و بالاتر و در قسمت‌هایی از مسیل پژوهش، دبی با دوره بازگشت ۵۰ سال و بالاتر پتانسیل ایجاد خسارت را دارا هستند. لذا پیشنهاد می‌شود که با ایجاد

را دارد که با پژوهش (Abdessamed and Abderrazak, (2019) و (Dazzi et al. (2022) مطابقت دارد.

گرفته می‌شوند. همان‌گونه که شکل ۶ نشان داد شده با ایجاد این دیواره‌ها دبی با دوره بازگشت ۵۰ سال قابلیت عبور بدون ایجاد خسارت



شکل ۶- بررسی ایجاد دیواره حفاظتی (الف) و (ب) دیواره حفاظتی در مسیل آب و برق (ج) و (د) دیواره حفاظتی در مسیل پژوهش  
Figure 6- Assessment of the creation of a protective walls (a) and (b) a protective wall in the Ab\_o Bargh channel (c) and (d) a protective walls in the Pazhuhesh channel

آب و برق (به دلیل وسعت زیاد حوضه آبخیز بالادست و کوچک بودن مقطع ورودی جریان)، از ظرفیت کافی برای عبور سیلاب تا دوره بازگشت ۲۵ سال را برخوردار هستند.

۳- بررسی سناریوهای مختلف در مقطع خروجی پردیس برای رفع مشکل آب‌گرفتگی نشان می‌دهد به جزء سناریوی سوم (برداشتن میله‌های حفاظتی به تنهایی) سایر سناریوها توانایی عبور دبی با دوره بازگشت ۵۰ ساله را فراهم می‌سازد.

۴- با توجه به بررسی و نتایج به دست آمده مشکل عمده سیلاب در خروجی اصلی پردیس دانشگاه فردوسی مشهد به علت بسته بودن دو مقطع کناری و تنها باز بودن مسیر میانی این خروجی که شامل نرده‌های مختلف جهت مسائل امنیتی است مربوط می‌شود که باعث بیش‌ترین مساحت سیل‌گیری در دوره بازگشت مختلف در این محدوده شده است.

با توجه به نتایج پژوهش توصیه می‌شود:

۱- بازگشایی حداقل یکی از دهانه‌های مسدود پل خروجی پردیس جهت عبور مناسب سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ سال.

۲- استفاده از دیواره حفاظتی در مناطق سیل‌گیر کانال آب و برق و قسمت‌هایی از مسیل پژوهش در جهت ایمن‌سازی پردیس

#### ۴- نتیجه‌گیری

با توجه به این که حریم آبراه‌ها، مسیل‌ها و رودخانه‌هایی که از داخل محدوده شهری، به ویژه شهرهای بزرگ هم‌چون شهر مشهد عبور می‌کنند برخلاف تأکید قوانین و مقررات موجود گوناگون، به اشکال مختلف اقدام به ایجاد تغییراتی گاه‌آمانده در آن‌ها می‌نمایند و دست‌کاری‌های غیرمهندسی و غیرفنی در این مناطق ایجاد می‌نمایند. از این‌رو در این مکان‌ها تعیین خصوصیات سیلاب و میزان پیشروی آن در دوره بازگشت‌های مختلف که تحت نوان پهنه‌بندی سیلاب صورت می‌گیرد دارای اهمیت فراوانی است. لذا با توجه به اهمیت این موضوع در کلان شهر مشهد و به ویژه در پردیس دانشگاه فردوسی مشهد، در این پژوهش پهنه‌بندی سیلاب پردیس دانشگاه فردوسی مشهد در دوره بازگشت مختلف با استفاده از مدل HEC-RAS و الحاقیه HEC-GeoRAS مورد ارزیابی قرار گرفت که خلاصه نتایج به شرح زیر است:

۱- بررسی مقاطع و نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد کلیه مقاطع توانایی عبور سیلاب با دوره بازگشت تا ۱۰ سال را دارند.

۲- نتایج حاصل از پهنه‌بندی سیلاب در پردیس دانشگاه فردوسی مشهد نشان می‌دهد که کلیه ورودی‌ها به جزء ورودی

۴- پاک‌سازی کانال‌ها به‌صورت مرتب و دوره‌ای از زباله‌ها و ضایعاتی هم‌چون پلاستیک، ظروف یک‌بار مصرف، قطعات چوبی و سرشاخه‌ها به‌دلیل تجمع این مواد در پشت میله‌های حفاظتی مقطع خروجی حوضه و احتمال تشدید سیلاب.

دانشگاه فردوسی مشهد دربرابر خطر سیلاب با دوره بازگشت تا ۵۰ سال.

۳- استفاده از دیواره حفاظتی و سایر روش‌های کنترل سیلاب برای جلوگیری از خسارت به‌پنل‌های خورشیدی مستقر در مسیل پژوهش در سیلاب‌هایی با دوره بازگشت ۵۰ سال به‌بالا پیشنهاد می‌شود.

## منابع

- پورنی درزی، سمیه، وفاخواه، مهدی، و رجبی، محمدرسول (۱۴۰۰). پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS و ArcGIS (مطالعه موردی: حوزه آبخیز چشمه کیله شهرستان تنکابن). *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۰(۲۸)، ۱۵-۲۸.
- حجازی‌زاده، زهرا، اکبری، مهری، ساسانی‌پور، فرزانه، حسینی، علیرضا، و محمدی، نیلوفر (۱۴۰۱). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بارش‌های سیل‌آسا در استان تهران. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۲(۲)، ۸۷-۱۰۵. doi:10.22098/mmws.2022.9958.1075
- حسن‌زاده، رضا، هنرمند، مهدی، حسین‌جانی‌زاده، مهدیه، و محمدی، صدیقه (۱۴۰۰). پهنه‌بندی سیلاب در نواحی شهری با استفاده از مدل هیدرولوژیکی و اطلاعات میدانی (مطالعه موردی: سیل بردسیر، استان کرمان). *اکوهیدرولوژی*، ۸(۲)، ۳۳۱-۳۴۴. doi:10.22059/ije.2021.314075.1423
- شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، (۱۳۹۸). *مطالعات سیستم هشدار سیلاب شهر مشهد*.
- شیخ بیگلو اسلام، بابک (۱۴۰۰). *شواهد و پیامدهای رویداد سیل در ایران از پیش از تاریخ تاکنون. مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۱(۱)، ۲۴-۴۰. doi:10.22098/mmws.2021.1173
- صفری، امیر، احمدآبادی، علی، و صدیقی فر، زهرا (۱۳۹۹). تحلیل مخاطره ناشی از سیلاب با تکیه بر مدل WMS در حوضه‌های آبریز شهری مطالعه موردی: حوضه‌های دربند، گل‌بدره و ...
- سعدآباد کلان شهر تهران. *تحقیقات کاربردی علوم*، ۲۰(۵۷)، ۳۱۷-۳۳۴.
- صیاد، دانیال، قضاوی، رضا، و امیدوار، ابراهیم (۱۴۰۰). ارائه استراتژی‌های مناسب مدیریتی زیرساخت‌های شهری در برابر سیلاب از منظر پدافند غیرعامل با استفاده از SWOT و QSPM (مطالعه موردی: شهر کاشان). *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۲(۱)، ۴۲-۵۲. doi:10.22098/mmws.2022.9651.1055
- محمودی بابلان، سجاده، نسترنی عموقین، سعید، و رسول‌زاده، علی (۱۴۰۱). ارزیابی محصولات بارش ماهواره‌ای جهت برآورد رخدادهای بارشی سنگین در نوار ساحلی دریای خزر. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۲(۴)، ۱۰۷-۱۲۲. doi:10.22098/mmws.2022.11147.1102
- مهدوی، مهدی (۱۳۹۲). *هیدرولوژی کاربردی (جلد ۲)*. چاپ هشتم، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۳۷ صفحه.
- ولی‌زاده کامران، خلیل، دلیر حسن‌نیا، رضا، و آذری آمانی، خدیجه (۱۳۹۸). پهنه‌بندی سیلاب و تأثیر آن بر کاربری اراضی محیط پیرامونی با استفاده از تصاویر پهپاد و سیستم اطلاعات جغرافیایی. *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۱۰(۳)، ۵۹-۷۵. doi:10.1001.1.26767082.1398.10.3.4.5
- هزاره، وحید، و باخرزی قزلحصار، سیدمحمد (۱۳۹۷). پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری در منطقه ۹ شهرداری مشهد. *جغرافیا و روابط انسانی*، ۱(۲)، ۱۱۴-۱۱۵۸. doi:10.1001.1.26453851.1397.1.2.69.2

## References

- Abdessamed, D., & Abderrazak, B. (2019). Coupling HEC-RAS and HEC-HMS in rainfall-runoff modeling and evaluating floodplain inundation maps in arid environments: case study of Ain Sefra city, Ksour Mountain. SW of Algeria. *Environmental Earth Sciences*, 78(19), 1-17. doi:10.1007/s12665-019-8604-6
- Danumah, J.H., Odai, S.N., Saley, B.M., Szarzynski, J., Thiel, M., Kwaku, A., Kouame, F.K., & Akpa, L.Y. (2016). Flood risk assessment and mapping in Abidjan district using multi-criteria analysis (AHP) model and geoinformation techniques, (cote d'ivoire). *Geoenvironmental Disasters*, 3(10), 1-13. doi:10.1186/s40677-016-0044-y
- Dazzi, S., Vacondio, R., Mignosa, P., & Aureli, F. (2022). Assessment of pre-simulated scenarios as a non-structural measure for flood management in case of levee-breach inundations. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 74, 102926. doi:10.1016/j.ijdrr.2022.102926
- Echogdali, F.Z., Boutaleb, S., Kpan, R.B., Ouchchen, M., Id-Belqas, M., Dadi, B., & Abioui, M. (2022). Flood hazard and susceptibility assessment in a semi-arid environment: A case study of Seyad basin, south of Morocco. *Journal of African Earth Sciences*, 196, 104709. doi:10.1016/j.jafrearsci.2022.104709

- Hassanzadeh, R., Honarmand, M., Hossinjanizadeh, M., & Mohammadi, S. (2021). Flood zoning in urban areas using hydrological modelling and survey data: Case study of Bardsir city, Kerman Province. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 8(2), 331-344. doi:10.22059/ije.2021.314075.1423 [In Persian]
- Hejazizadeh, Z., Akbari, M., Sasanpour, F., Hosseini, A., & Mohammadi, N. (2022). Investigating the effects of climate change on torrential rains in Tehran province. *Water and Soil Management and Modeling*, 2(2), 87-105. doi:10.22098/mmws.2022.9958.1075 [In Persian]
- Hezareh, V., & Bakharzi Qaz-Alhesar, S. (2018). Urban flood risk zoning in zone 9 of Mashhad. *Geography and Human Relationships*, 1(2), 1140-1158. doi:10.1001.1.26453851.1397.1.2.69.2 [In Persian]
- Hossain, M.K., & Meng, Q. (2020). A thematic mapping method to assess and analyze potential urban hazards and risks caused by flooding. *Computers, Environment and Urban Systems*, 79, 101417. doi:10.1016/j.compenvurbsys.2019.101417
- Kahl, D.T., Schubert, J.E., Jong-Levinger, A., & Sanders, B.F. (2022). Grid edge classification method to enhance levee resolution in dual-grid flood inundation models. *Advances in Water Resources*, 168, 104287. doi:10.1016/j.advwatres.2022.104287
- Luo, K., & Zhang, X. (2022). Increasing urban flood risk in China over recent 40 years induced by LUCC. *Landscape and Urban Planning*, 219, 104317. doi:10.1016/j.landurbplan.2021.104317
- Li, K., Wu, S., Dai, E., & Xu, Z. (2012). Flood loss analysis and quantitative risk assessment in China. *Natural hazards*, 63(2), 737-760. doi:10.1007/s11069-012-0180-y
- Mahdavi, M. (2013). *Applied Hydrology*. 8th Edition: University of Tehran, Iran, 437 pages. [In Persian]
- Mahmoudi Babolan, S., Nastarani Amoghini, S., & Rasoulzadeh, A. (2022). Evaluation of satellite precipitation products for estimating heavy precipitation in the Caspian coast. *Water and Soil Management and Modeling*, 2(4), 107-122. doi:10.22098/mmws.2022.11147.1102 [In Persian]
- Namara, W.G., Damisse, T.A., & Tufa, F.G. (2021). Application of HEC-RAS and HEC-GeoRAS model for Flood Inundation Mapping, the case of Awash Bello Flood Plain, Upper Awash River Basin, Oromiya regional state, Ethiopia. *Modeling Earth Systems and Environment*, 8, 1449-1460. doi:10.1007/s40808-021-01166-9
- Nsangou, D., Kpoumié, A., Mfonka, Z., Ngouh, A.N., Fossi, D.H., Jourdan, C., Mbele, H.Z., Mouncherou, O.F., Vandervaere, J.P., & Ngoupayou, J.R.N. (2022). Urban flood susceptibility modelling using AHP and GIS approach: case of the Mfoundi watershed at Yaoundé in the South-Cameroon plateau. *Scientific African*, 15, e01043. doi:10.1016/j.sciaf.2021.e01043
- Pathak, S., Liu, M., Jato-Espino, D., & Zevenbergen, C. (2020). Social, economic and environmental assessment of urban sub-catchment flood risks using a multi-criteria approach: A case study in Mumbai City, India. *Journal of Hydrology*, 591, 125216. doi:10.1016/j.jhydrol.2020.125216
- Pornaby Darzi, S., Vafakhah, M., & Rajabi, M.R. (2021). Flood hazard zoning using HEC-RAS Hydraulic Model and ArcGIS (Case Study: CheshmehKileh River in Tonekabon County). *Natural Environmental Hazards*, 10(28), 15-28. [In Persian]
- Rangari, V.A., Umamahesh, N.V., & Bhatt, C.M. (2019). Assessment of inundation risk in urban floods using HEC RAS 2D. *Modeling Earth Systems and Environment*, 5(4), 1839-1851. doi:10.1007/s40808-019-00641-8
- Regional Water Company of Khorasan Razavi, (2019). Studies of Mashhad flood warning system. [In Persian]
- Rezende, O.M., de Oliveira, A.K.B., Miranda, F.M., Jacob, A.C.P., de Sousa, M.M., & Miguez, M.G. (2020). Mapping the flood risk to socioeconomic recovery capacity through a multicriteria index. *Journal of Cleaner Production*, 255, 120251. doi:10.1016/j.jclepro.2020.120251
- Roy, S., Bose, A., & Chowdhury, I.R. (2021). Flood risk assessment using geospatial data and multi-criteria decision approach: a study from historically active flood-prone region of Himalayan foothill, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(11), 1-25. doi:10.1007/s12517-021-07324-8
- Saffari, A., Ahmadabadi, A., & Sedighifar, Z. (2020). Analysis of flood risk based on WMS model in urban catchment area Case study: Damand basins, Golabdareh and Saadabad, Tehran metropolitan area. *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*, 20(57), 317-334. [In Persian]
- Saha, A.K., & Agrawal, S. (2020). Mapping and assessment of flood risk in Prayagraj district, India: a GIS and remote sensing study. *Nanotechnology for Environmental Engineering*, 5(2), 1-18. doi:10.1007/s41204-020-00073-1
- Sayyad, D., Ghazavi, R., & Omidvar, E. (2022). Appropriate urban infrastructure management strategies against floods from the perspective

- of passive defense using SWOT and QSPM (Case study: Kashan City). *Water and Soil Management and Modeling*, 2(1), 42-52. doi:10.22098/mmws.2022.9651.1055 [In Persian]
- Shaikh Baikloo Islam, B. (2021). Evidence and consequences of the flood in Iran from prehistory to the present. *Water and Soil Management and Modeling*, 1(1), 24-40. doi:10.22098/mmws.2021.1173 [In Persian]
- Valizadeh Kamran, K., Delire Hasannia, R., & Azari Amghani, K. (2019). Flood zoning and its impact on land use in the surrounding area using unmanned aerial vehicles (UAV) images and GIS. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 10(3), 59-75. doi:10.1001.1.26767082.1398.10.3.4.5 [In Persian]
- Wu, Y., Zhong, P.A., Zhang, Y., Xu, B., Ma, B., & Yan, K. (2015). Integrated flood risk assessment and zonation method: a case study in Huaihe River basin, China. *Natural Hazards*, 78(1), 635-651. doi:10.1007/s11069-015-1737-3