

Flood hazard and Risk maps using two-dimensional hydraulic model LISFLOOD-FP (Case Study: Araz Kooseh region)

Ali Tamaskani Zahedi¹ | Hossein Barani^{*1,2} | Shahroo Mokhtari³ |
Abdolreza Bahremand⁴

1. Dept. of Civil Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Rangeland Management, Faculty of Rangeland and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: baranihossein@yahoo.com
3. Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.
4. Professor, Dept. of Watershed Management, Faculty of Rangeland and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Full Paper	<p>Background and Objectives: Predicting the hydraulic behavior of the river in the face of possible floods is of particular importance to reduce the risk and damage to urban areas, facilities under construction, farms and other uses around the river. Hydraulic models are the most efficient tool for planning and developing structural and non-structural methods of flood management and reduction. Simulation of river hydraulic behavior is necessary to predict hazardous points and determine flood damage in different conditions as well as flood insurance. The purpose of this study is to use the LISFLOOD-FP two-dimensional hydraulic model and a 5m high digital elevation model to provide a flood zone with a return period of 500 years and then hazard and damage maps for the Araz Kooseh area on the southwest side of Gonbad city.</p> <p>Materials and Methods: In this study, the area of Chehel Chay River located at Araz Kooseh is studied. The LISFLOOD-FP two-dimensional hydraulic model outputs are used to calculate the risks associated with flooding, including the risks of water flooding, its severity, and the depth of water flooding that affects people or the environment. After collecting the data and using a series of equations, the risk is calculated and the data are graphically represented as hazard maps. The calculated risk includes flood risk to people, buildings, infrastructure, and a building damage map.</p> <p>Results: In this study, for floods with a return period of 500 years, the highest probability of mortality is 10.08% and the highest probability of bodily injury is 34.81% and the highest amount of damage to buildings is estimated at 8300 million Rials.</p> <p>Conclusion: Based on theoretical experiences, one of the appropriate methods for flood management is to determine the extent of flood progress and its height relation to the ground and also to determine the characteristics of floods. These characteristics include the speed and direction of flood progress in different return periods, which are called hazard maps. Determining these criteria can lead to a reduction in flood damage in different areas. All four hazard maps including Risk of fatality, Risk of injury to people and Physical Risk Assessment for buildings as well as Economic flood risk to buildings maps showed that the northeast side of the river is the most vulnerable part of the study area. Due to high</p>
Article history: Received: 11.30.2021 Revised: 02.05.2022 Accepted: 03.09.2022	
Keywords: Araz Kooseh, Hazard Map, LISFLOOD-FP, two-dimensional model	

density construction in those areas, weakness in the strength of buildings and the antiquity of some buildings, awareness of the people and municipalities about the severity of flood risk and understanding the hydraulic behavior of the river is important.

Cite this article: Tamaskani Zahedi, Ali, Barani, Hossein, Mokhtari, Shahroo, Bahremand, Abdolreza. 2022. Flood hazard and Risk maps using two-dimensional hydraulic model LISFLOOD-FP (Case Study: Araz Kooseh region). *Journal of Water and Soil Conservation*, 28 (4), 1-25.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2022.19717.3516

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تهیه نقشه خطر و خسارت سیل با استفاده از مدل هیدرولیکی دوبعدی LISFLOOD-FP (مطالعه موردی: حوزه آرازکوسه)

علی تمسکنی زاهدی^۱ | حسین بارانی^{۲*} | شهرو مختاری^۳ | عبدالرضا بهره‌مند^۴

۱. گروه مهندسی عمران، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران.
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه مرتعداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
رایانامه: baranihossein@yahoo.com
۳. استادیار گروه مهندسی آب، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران.
۴. استاد گروه آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: پیش‌بینی رفتار هیدرولیکی رودخانه در مقابل سیلاب‌های احتمالی، جهت کاهش خطر و خسارات وارده به مناطق شهری، تأسیسات در حال ساخت، مزارع و سایر کاربری‌ها در اطراف رودخانه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مدل‌های هیدرولیکی کارآمدترین ابزار برنامه‌ریزی و توسعه روش‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای مدیریت و کاهش سیل می‌باشند. شبیه‌سازی رفتار هیدرولیکی رودخانه‌ها، برای پیش‌بینی نقاط دارای خطر و تعیین خسارات ناشی از سیل، در شرایط مختلف و هم‌چنین بیمه سیل ضرورت دارد. هدف این پژوهش استفاده از مدل هیدرولیکی دوبعدی رستری LISFLOOD-FP و مدل رقومی ارتفاعی با وضوح ۵ متر، برای تهیه پهنه سیل با دوره بازگشت ۵۰۰ سال و پس‌از آن تهیه نقشه خطر و خسارت برای منطقه آرازکوسه واقع در ضلع جنوب‌غربی شهرستان گنبد بود.
واژه‌های کلیدی: آرازکوسه، مدل دوبعدی، نقشه خطر، LISFLOOD-FP	مواد و روش‌ها: در این پژوهش حوزه آرازکوسه و رودخانه چهل‌چای موردبررسی قرار گرفت. جهت محاسبه تفصیلی خطرات مرتبط با جاری شدن سیل شامل خطرات طغیان آب، شدت آن، عمق طغیان آب که مردم یا محیط‌زیست تحت‌تأثیر آن قرار دارد، از خروجی‌های مدل هیدرولیکی دوبعدی LISFLOOD-FP استفاده گردید. پس از جمع‌آوری داده‌ها و با استفاده از یکسری معادلات، ریسک را محاسبه و داده‌ها از لحاظ گرافیکی به‌عنوان نقشه‌های خطر نشان
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۰۹ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۸	یافته‌ها: در این پژوهش برای سیل با دوره بازگشت ۵۰۰ سال، بیش‌ترین احتمال مرگ‌ومیر

۱۰/۰۸ درصد و بیش‌ترین احتمال آسیب بدنی ۳۴/۸۱ درصد و بیش‌ترین میزان خسارت وارده به ساختمان‌ها برای مناطقی که دچار تخریب کلی می‌شوند ۸۳۰۰ میلیون ریال برآورد گردید.

نتیجه‌گیری: بر اساس تجربیات تئوریک، یکی از شیوه‌های مناسب در جهت مدیریت سیلاب، تعیین میزان پیشروی سیلاب و ارتفاع آن نسبت به سطح زمین و نیز تعیین خصوصیات سیلاب از جمله سرعت و جهت پیشروی سیل در دوره بازگشت‌های مختلف است که تحت عنوان نقشه‌های خطر صورت می‌گیرد و می‌تواند منجر به کاهش خسارات ناشی از سیل در مناطق مختلف شود. در هر چهار نقشه خطر شامل نقشه احتمال آسیب بدنی، نقشه احتمال مرگ‌ومیر افراد، نقشه آب‌گرفتگی ساختمان و نقشه محدوده آب‌گرفتگی معابر و همچنین نقشه خسارت، نشان داد که ضلع شمال‌شرقی رودخانه آسیب‌پذیرترین بخش از محدوده مطالعاتی است و با توجه به تراکم بالای ساخت‌وساز در آن نواحی، ضعف در استحکام بنای ساختمان‌ها و قدمت زیاد بعضی از ساختمان‌ها، آگاهی مردم، شهرداری و ادارات ذی‌ربط از شدت خطر سیل و شناخت رفتار هیدرولیکی رودخانه دارای اهمیت می‌باشد.

استناد: تمسکنی زاهدی، علی، بارانی، حسین، مختاری، شهرو، بهره‌مند، عبدالرضا (۱۴۰۰). تهیه نقشه خطر و خسارت سیل با استفاده از مدل هیدرولیکی دوبعدی LISFLOOD-FP (مطالعه موردی: حوزه آراز کوسه). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۸ (۴)، ۱-۲۵.

DOI: 10.22069/jwsc.2022.19717.3516



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

طغیان سیل می‌تواند تأثیرات شدیدی بر جمعیت مناطق آسیب‌دیده بگذارد. این تأثیرات می‌تواند مستقیم باشد مانند صدمات بدنی یا تلفات جانی و یا غیرمستقیم مانند تأثیر اقتصادی در اثر آسیب به ساختمان‌ها یا از دست دادن درآمد ناشی از تعطیلی اجباری مشاغل باشد، سیل هم‌چنین می‌تواند در اثر آسیب فیزیکی به زیستگاه‌های حساس یا تأثیر اجتماعی به دلیل از دست دادن مکان‌های تفریحی یا فرهنگی مهم، تأثیر محیطی بگذارد. گرچه امروزه بخش مهمی از سیلاب رودخانه‌ها مهار شده‌اند اما هنوز سیل خسارات جانی و مالی فراوانی را به جوامع بشری و سرمایه‌های آن‌ها وارد می‌سازد (۱۰، ۱۱). بررسی آمار و اطلاعات، خسارات سالانه ناشی از وقوع سیلاب‌ها در ایران و جهان بیانگر گستردگی صدمات ناشی از سیلاب به منابع طبیعی، انسانی و اقتصادی مناطق مختلف است. مطالعات مختلف دلالت بر این موضوع دارد که عدم توجه به حریم مسیل‌ها و رودخانه‌ها باعث ایجاد یک رشد نمایی در فراوانی وقوع سیلاب و میزان خسارات وارده گردیده است و در این میان مناطق شهری و نیمه‌شهری بیشترین پتانسیل خطرپذیری از سیل را دارا می‌باشند (۱۰، ۲۱). با توجه به این‌که حفاظت کامل از خطر سیلاب امکان‌پذیر نیست، زیستن در کنار سیلاب و اعمال سیاست‌های جدید در خصوص مدیریت کاربری اراضی و توسعه مناطق مسکونی حریم رودخانه به‌منظور کاهش اثرات تخریب آن امری ضروری است. با عنایت به تأثیر عوامل مختلف در بروز سیل، انواع اقدامات مدیریتی (آبخیزداری و مدیریت کاربری اراضی، برنامه‌ریزی و مدیریت در مسیر رودخانه‌ها و مسیل‌ها، پیش‌بینی و هشدار سیل، اقدامات پیش‌گیری و حمایتی در مناطق سیل‌گیر و پهنه‌بندی خطر سیل) می‌توانند در کاهش خسارات

ناشی از آن مؤثر باشند (۲۱)؛ بنابراین لازم است با مطالعه خصوصیات هیدرولیکی جریان و حریم بستر رودخانه، محدوده امن برای فعالیت‌های انسان در اطراف آن تعریف گردد (۱۶).

امروزه نقشه‌های خطر سیل یکی از اجزای اساسی هر استراتژی مدیریت خطر سیل است. این نقشه‌ها اطلاعات مکانی در مورد تعدادی از متغیرها (مانند میزان سیل، عمق آب، سرعت جریان) را که برای تعیین کمیت اثرات سیل و بنابراین ارزیابی خطر سیل بسیار مهم هستند، فراهم می‌کنند. علاوه بر این، می‌توان از آن‌ها به‌عنوان یک ابزار ارتباطی قدرتمند استفاده کرد که امکان تجسم تأثیر سیل رودخانه در یک منطقه را به‌سرعت فراهم کرد (۱۰، ۱۱، ۱۶). ارزیابی کمی و قابل‌مقایسه ریسک سیل برای به دست آوردن شاخص‌های قابل‌اندازه‌گیری در برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌های جهانی و ملی و کاهش خطر سیل کمک‌کننده می‌باشد. در اروپا، نقشه‌های خطر سیل توسط پژوهش‌گران مختلفی هم‌چون باردو و همکاران (۲۰۰۷)، فین و همکاران (۲۰۱۲)، آلفیری و همکاران (۲۰۱۴، ۲۰۱۵، ۲۰۱۶) و دوتری و همکاران (۲۰۱۷) تهیه شده است، این نقشه‌ها برای مطالعات مختلفی مانند ارزیابی خطر سیل رودخانه تحت شرایط اقتصادی-اجتماعی و اقلیمی، ارزیابی اقدامات مقابله با سیلاب و ارزیابی سریع ریسک در زمان وقوع سیل استفاده شده است (۱، ۲، ۳، ۵، ۹، ۱۲). در یک مطالعه دیگر در کشور آمریکا، وینگ و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از مجموعه داده‌های مدل‌سازی هیدرودینامیکی با وضوح بالا، مجموعه‌ای از نقشه‌های خطر سیل را برای ایالات متحده تهیه کردند و نشان دادند که نقشه‌های در مقیاس قاره می‌توانند به‌دقت مشابه نقشه‌های خطر در مقیاس ملی و حتی محلی باشند (۲۲).

گرفت و مشخص شد که بسیاری از مناطق زیرکشت برنج که در نزدیکی بخش میانی و پایین دست حوزه رودخانه واقع شده بودند بیش تر در معرض خطر سیل هستند (۴).

ایران جزء کشورهای حادثه‌خیز است که افراد آن تحت تأثیر بلایای طبیعی قرار دارند و نزدیک به ۴۰ میلیون نفر از جمعیت کشور به نوعی در معرض بلایای طبیعی بوده‌اند. به طوری که در سال ۲۰۱۵، در اثر بلایای طبیعی در ایران ۱۰۷ کشته و ۲۶۴۸۱ مجروح یا آسیب دیده گزارش شده است (۲۰). در سال‌های اخیر تعداد سیلاب‌ها در ایران افزایش یافته که مناطق مختلف کشور را تحت تأثیر قرار داده است. در سال ۲۰۱۹، سیل یکی از شدیدترین بلایای طبیعی در دهه‌های اخیر ایران بود که بسیاری از استان‌ها را تحت تأثیر قرار داده و خسارات مالی قابل توجهی به بسیاری از شهرها وارد کرده است (۱۴). بارندگی‌های شدید که از اوایل اسفند ۱۳۹۷ در نواحی شمالی ایران آغاز شد، بسیاری از شهرهای استان‌های گلستان و مازندران را محاصره کرد و تداوم بارندگی در مناطق مرکزی و غربی ایران سرانجام ۲۵ استان را تحت تأثیر قرار داد. بیشترین میزان خسارت در استان‌های گلستان، خوزستان و لرستان با ۷۶ کشته و هزینه‌ای بالغ بر ۸۰۰۰۰۰ دلار (۳۵۰ هزار میلیارد ریال) به ثبت رسیده است (۱۵). استان گلستان واقع در شمال شرقی ایران و در جنوب شرقی دریای خزر، با یک میلیون و ۸۶۹ هزار نفر جمعیت، از جمله استان‌هایی است که به لحاظ شرایط فیزیوگرافی و اقلیمی دارای پتانسیل سیل‌خیزی و سیل‌گیری بالایی می‌باشد به طوری که طی مدت ۲۷ سال، ۱۲۷ مورد ریزش باران در ۷۰۴ مورد مکانی از حوزه‌های آبخیز استان شاهد بروز سیل بوده است. هدف از این پژوهش تهیه نقشه خطر و خسارت سیل با دوره بازگشت ۵۰۰ سال با استفاده از مدل هیدرولیکی دوبعدی LISFLOOD-FP در

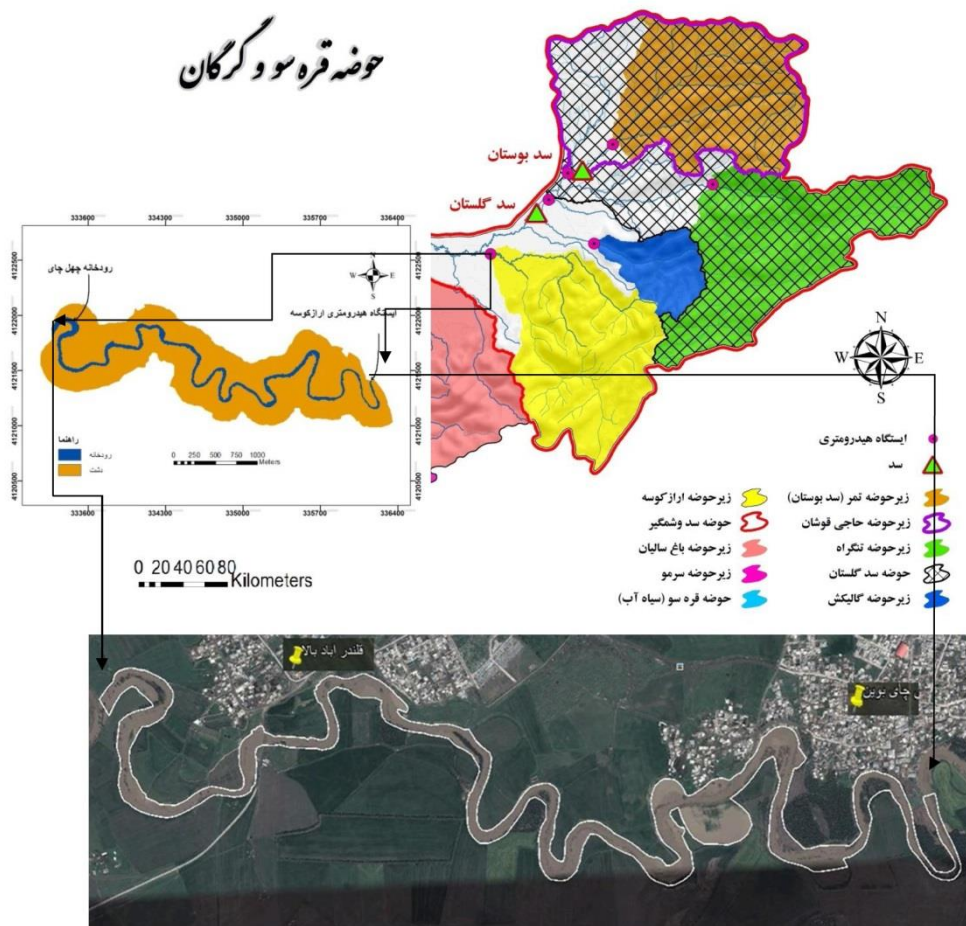
کیفیت نقشه‌های پهنه سیل در مقیاس‌های مختلف به واسطه افزایش دقت در ابزار مدل‌سازی، دائماً در حال بهبود است. یکی از مدل‌های فیزیکی، دوبعدی و رستری که قادر به شبیه‌سازی پویای سیل با قدرت تفکیک مکانی خوب می‌باشد LISFLOOD-FP است که از آن برای تهیه نقشه‌های خطر در سطح جهانی، ملی و محلی استفاده می‌شود. به طور کلی در ایران مطالعات معدودی در مورد ایجاد نقشه‌های خطر و خسارت سیل با استفاده از مدل‌های هیدرولیکی دوبعدی وجود دارد (۱۲). در مطالعه صورت گرفته توسط صادقان و همکاران (۲۰۲۰) از مدل LISFLOOD-FP جهت تعیین رفتار هیدرولیکی جریان سیل و تراز آب در دوره‌های بازگشت مختلف در حوزه آبخیز شمشک استفاده کردند نتایج بیانگر کارایی مناسب مدل در شبیه‌سازی رفتار جریان است و نشان می‌دهد در بخشی از شاخه اصلی دربندسر و هم‌چنین در محل اتصال دوشاخه شمشک و دربندسر استان تهران در برابر سیلاب‌ها بسیار آسیب‌پذیرند (۱۹). هم‌چنین، رحیم‌زاده‌اوغاز و همکاران (۲۰۱۹)، با مقایسه اختلاف پهنه سیلاب ایجاد شده به وسیله دو مدل هیدرولیکی یک‌بعدی HEC-RAS و دوبعدی LISFLOOD-FP در بازه ۱۰ کیلومتر از دشت سیلابی رودخانه گرگان‌رود پرداختند، نتایج نشان داد مدل LISFLOOD-FP با داشتن مقادیر اصطکاک بهینه یکسان برای دو رویداد سیلاب، نسبت به مدل یک‌بعدی در شبیه‌سازی هیدرولیکی جریان تا حدودی بهتر بود (۱۸). در پژوهشی دیگر، امارت و همکاران (۲۰۱۵)، از مدل LISFLOOD-FP در سریلانکا از طریق ارتباط با سیستم مدل‌سازی هیدرولوژیکی استفاده کردند. نتایج مدل مذکور با استفاده از تصاویر راداری روزانه مصنوعی (SAR) برای ارزیابی اثر خطر سیل در بخش کشاورزی مورد بررسی قرار

شیب ۰/۰۰۰۷ درصد که نقطه شروع آن ایستگاه هیدرومتری ارازکوسه می‌باشد؛ عرض متوسط مقطع رودخانه حدود ۳۰ متر بوده و دشت سیلابی آن بیش‌تر دارای کاربری اراضی کشاورزی است، هم‌چنین، رودخانه‌ای اصلی که در آن جریان دارد، رودخانه چهل‌چای (خرمالو) است. مختصات جغرافیایی بازه مورد مطالعه طول جغرافیایی ۰۹° و ۵۵° تا ۰۷° و ۵۵° شرقی و عرض جغرافیایی ۱۳° و ۳۷° تا ۱۴° و ۳۷° شمالی واقع شده است مناطق مسکونی تحت پوشش آن شامل چای‌بویین و قلندرآباد بالا می‌باشد و غرب و جنوب‌غربی شهرستان گنبدکاوس واقع شده است.

منطقه ارازکوسه در استان گلستان می‌باشد. منطقه ارازکوسه به علت هم‌جواری مناطق مسکونی و زراعی با رودخانه و بروز سیل‌های مکرر، انتخاب و تهیه نقشه خطر و خسارت برای این منطقه انجام گردید.

مواد و روش‌ها

حوزه بزرگ گرگان‌رود و زیرحوزه‌های آن از جمله ارازکوسه در شمال شرق ایران در استان گلستان می‌باشند. حوزه ارازکوسه دارای حداقل ارتفاع از سطح دریا ۲۸ متر و حداکثر ارتفاع ۲۸۸۹ متر است. شیب متوسط این حوزه ۲۶ درصد و محیط حوزه ۲۵۳ کیلومتر است. طول بازه مورد مطالعه ۷ کیلومتر و با



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه.

Figure 1. Location map of the study area.

محدود^۵، روش انطباقی^۶، روش شتاب^۷ و روش رو^۸ می‌باشد، انتخاب راه‌حل عددی به خصوصیتی از سیستم مدل‌سازی شده، زمان موردنیاز برای اجرا و داده‌های در دسترس بستگی دارد. در این مطالعه از راه‌حل ساب‌گرید، برای محاسبه جریان کانال و از روش شتاب برای محاسبه دشت سیلابی استفاده شده است، رابطه‌ممتوم و پیوستگی، معادلات سنت‌ونانت برای رابطه آب‌کم‌عمق دوبعدی جریان بین سلول‌ها در زیر نوشته شده است (به ترتیب رابطه‌های ۱، ۲ و ۳):

$$\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \quad (۱)$$

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + gh \frac{\partial(h+z)}{\partial x} + \frac{gn^2|q_x|q_x}{h^3} = 0 \quad (۲)$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + gh \frac{\partial(h+z)}{\partial y} + \frac{gn^2|q_y|q_y}{h^3} = 0 \quad (۳)$$

که در آن، q_x و q_y نرخ جریان حجمی، y و x جهت کارترین، A سطح مقطع عبور جریان، h عمق آب، z ارتفاع بستر، g شتاب گرانشی، n ضریب مانینگ، R شعاع هیدرولیکی، t زمان و x فاصله جهت کارترین (۱۸). در این روش موج سیل انتشاریافته، از اصطکاک، شیب و شتاب آب تأثیر می‌پذیرد. مدل هیدرولیکی LISFLOOD-FP یک مدل دوبعدی هیبریدی مبتنی بر رستر است و از آن برای پهنه‌بندی سیل در دشت سیلابی استفاده می‌کنیم که جریان در داخل کانال را به صورت یک‌بعدی و زمانی که جریان وارد دشت سیلابی می‌شود، جریان را به صورت دوبعدی شبیه‌سازی می‌کند؛ که در آن جریان علاوه بر حرکت در طول (x) در عرض نیز گسترش می‌یابد (y) که ضرورت استفاده از مدل‌های دوبعدی را توجیه می‌کند (۱۸، ۱۹).

LISFLOOD-FP در سال ۱۹۹۹ در یک پروژه مشترک بین دانشگاه بریستول انگلیس و مرکز تحقیقات مشترک اتحادیه اروپا برای سرمایه‌گذاری روی منابع داده‌های جدید (بیتس و دی‌رو، ۲۰۰۰) توسعه داده شد (۶). این مدل در سال‌های ۲۰۰۵، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۳ توسط بیتس و همکاران توسعه داده و به‌روز شد. مدل هیدرولیکی LISFLOOD-FP، مدل هیبریدی براساس یک شبکه شطرنجی است؛ که با جریان سیل به‌صورت هوشمند براساس اصول هیدرولیک و تجسم مفاهیم فیزیکی از جمله ذخیره توده‌ای و اتصال هیدرولیکی برخورد می‌کند. متعلق به نسل جدیدی از مدل‌های هیدرودینامیکی شبیه‌سازی سیل است که صرفاً با استفاده از نقشه رقومی ارتفاعی برای رودخانه و آبراهه‌های حوزه، اطلاعات زبری مسیر و نرخ ورودی جریان اجرا می‌شود. ویژگی‌های این مدل عبارت‌اند از: ۱- مبتنی بر رستر، ۲- بزرگ‌مقیاس، ۳- سهولت فرمولاسیون و بازده محاسباتی بالا، ۴- سادگی استفاده از آن، ۵- تنظیم گام زمانی و مکانی محاسبات به‌صورت تطبیقی توسط خود مدل، ۶- توانایی لحاظ کردن رودخانه‌های با عرض کوچک‌تر از ابعاد پیکسل‌های DEM (۱۹). یک مدل فیزیکی است که قادر به شبیه‌سازی پویای سیل می‌باشد، در نتیجه اجازه می‌دهد تا مناطق بزرگی با قدرت تفکیک فضایی خوب مدل‌سازی شود. این مدل لینک به GIS و PCRASTER نیز می‌باشد. مدل شامل برخی راه‌حل‌های عددی است که گسترش موج سیل در طول کانال و عبور آن به دشت سیلابی را با استفاده از رابطه آب‌کم‌عمق شبیه‌سازی می‌کند. این راه‌حل‌ها برای کانال شامل روش سینماتیک^۱، روش دیفیوژن^۲ و روش ساب‌گرید^۳ است و برای دشت سیلابی شامل روش روتینگ^۴، روش جریان

5- Flow-limited
6- Adaptive
7- Acceleration
8- Roe

1- Cinematic
2- Diffusive
3- Sub grid solver
4- Routing

روش شتاب مشخص شد و همچنین سایر موارد مانند گام زمانی و خروجی‌های موردنیاز تعیین گردید، بعد از آماده کردن فایل‌های ورودی موردنیاز، در یک محیط تحت داس مدل فراخوانی شده و مدل شبیه‌سازی را انجام می‌دهد و در نهایت خروجی‌های مدل استخراج می‌شوند، از جمله خروجی مدل فایل حداکثر ارتفاع سطح آب و حداکثر عمق آب می‌باشد که برای تولید نقشه خطر و خسارت استفاده می‌شود و از آنجا که مبنای این مدل قوانین فیزیکی می‌باشد در نتیجه تنها پارامتری که نیمه‌تجربی است و می‌توان آن را کالیبره کرد، ضریب زبری مانینگ است. مقادیر اولیه ضریب زبری کانال و دشت سیلابی از طریق بازدید میدانی از بازه مورد مطالعه و بر اساس جداول مرجع (چاو، ۱۹۵۹) تعیین شد، ضریب زبری به بلندی، تراکم، توزیع و نوع گیاهان و همچنین اندازه و شکل مواد تشکیل‌دهنده بستر کانال یا رودخانه بستگی دارد، که با استفاده از روش‌های مختلفی محاسبه می‌شود و در مرحله واسنجی مدل مقادیر بهینه آن‌ها به دست آمد.

در این پژوهش مدل حساسیت نسبتاً بالایی نسبت به ضریب زبری نشان داد و با تغییر ضریب زبری تراز آب حاصل از مدل دچار تغییر می‌شد، بعد از تهیه داده‌ها و فایل‌های ورودی موردنیاز، مدل LISFLOOD-FP طبق یک واقعه سیل ثبت‌شده در ایستگاه هیدرومتری ارازکوسه به‌عنوان شرایط مرزی بالادست اجرا گردید. واقعه مذکور دارای دبی پیک ۱۱۳ مترمکعب بر ثانیه بوده که در تاریخ ۲۶ اسفند سال ۱۳۹۰ رخ داده است. این واقعه با توجه به دسترسی تصویر ماهواره‌ای پهنا سیل مشاهداتی که از گوگل ارث به‌دست‌آمده است، انتخاب گردید.

سپس واسنجی مدل با تغییر ضریب زبری کانال و دشت سیلابی و مقایسه مساحت پهنا سیل شبیه‌سازی‌شده توسط مدل با مساحت پهنا سیل

مراحل استفاده از مدل هیدرولیکی دوبعدی LISFLOOD-FP برای برآورد دبی‌های با دوره بازگشت‌های مختلف از داده‌های دبی لحظه‌ای حداکثر سالانه ایستگاه هیدرومتری ارازکوسه در مدت ۵۰ سال (سال آبی ۴۴-۴۵ تا ۹۳-۹۴) استفاده گردید. با استفاده از برنامه SMADA، توزیع‌های آماری مختلف محاسبه و نمودار دبی آن به‌طور چشمی مقایسه گردید، بنابراین توزیع آماری لوگ پیرسون نوع ۳، بهترین برازش را برای محاسبه دبی‌های با دوره‌های بازگشت مختلف نشان داد. سپس بر اساس توزیع آماری لوگ پیرسون نوع ۳، دبی با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ سال در ایستگاه هیدرومتری ارازکوسه برآورد گردید که مقادیر آن در جدول ۴ به دست آمده است.

تمام نقشه‌ها و دستورات لازم برای اجرای مدل (شامل تعیین گام زمانی، ضریب زبری، نوع راه‌حل برای کانال و دشت سیلابی و تعیین فولدری برای ذخیره فایل‌های خروجی و غیره)، به‌صورت کلمات کلیدی در فایل پارامترها تعیین می‌شود.

نقشه مدل رقوی ارتفاع موردنیاز با اندازه سلول ۵×۵ از یک نقشه موجود با مقیاس ۱:۱۰۰۰ که با عملیات نقشه‌برداری زمینی به‌دست‌آمده، استخراج شد و فایل ضریب زبری دشت سیلابی برای مشخص کردن ضریب زبری متغیر در دشت سیلابی، با اختصاص یک ارزش از ضریب زبری برای هر سلول در شبکه رستری، تهیه شد و سپس برای تعیین شرایط مرزی بالادست میزان دبی در ایستگاه هیدرومتری و برای شرایط مرزی پایین‌دست مدل بر مبنای فرض محاسبه عمق نرمال و تعیین شیب سرتاسری بازه رودخانه، اقدام گردیده است.

روش حل جریان در کانال اصلی برای این مطالعه براساس روش ساب‌گرید و در دشت سیلابی بر اساس

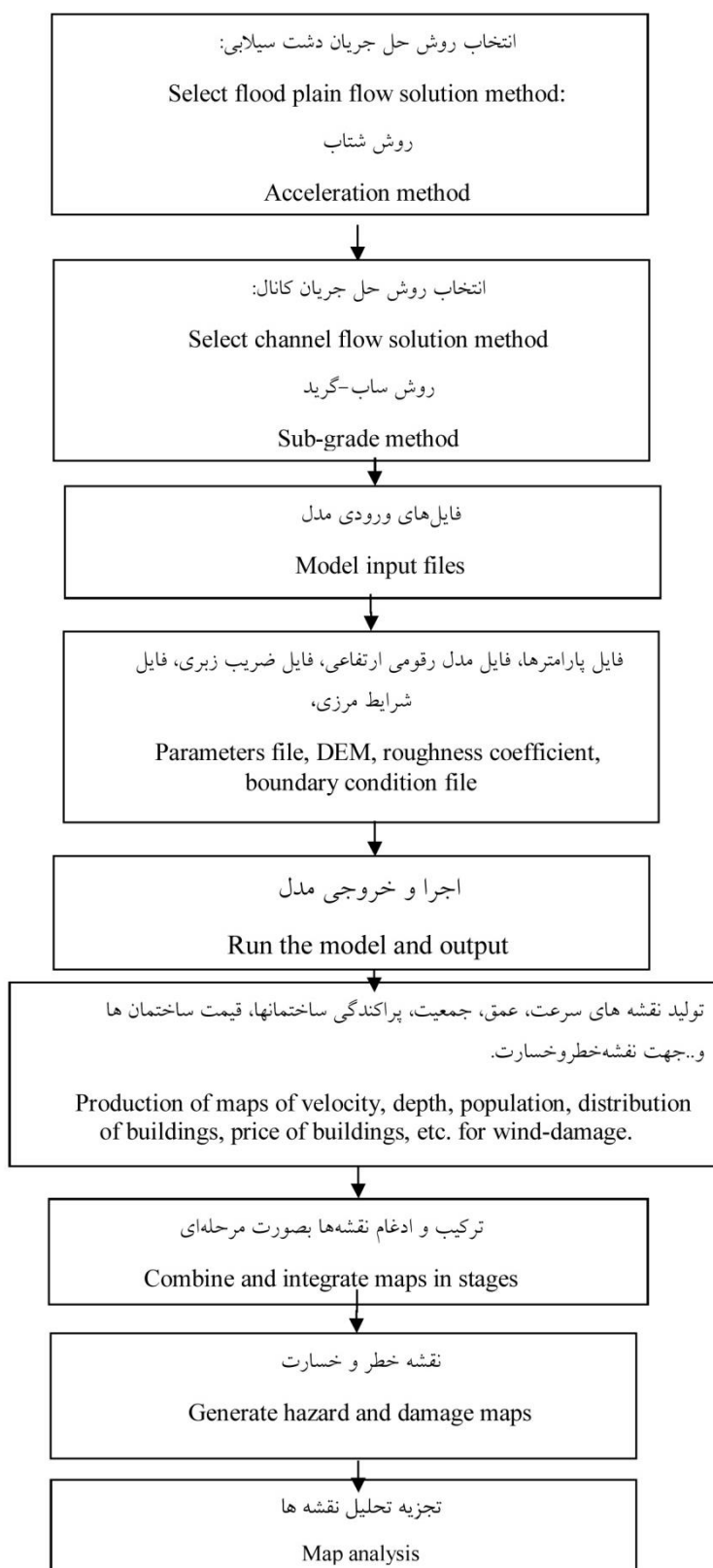
مشاهده‌ای و براساس شاخص تطابق نقشه‌ها (F) صورت گرفت. درواقع در واسنجی مدل هیدرولیکی، تابع هدف را مقایسه مساحت پهنه‌های سیل مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده قرار داده و ارزیابی مدل براساس شاخص تطابق نقشه‌ها (F) می‌باشد (رابطه ۴).

$$F = \text{Num} (S_{\text{mod}} \cap S_{\text{sobs}}) / \text{Num} (S_{\text{mod}} \cup S_{\text{sobs}}) \quad (4)$$

که در آن، F شاخص تطابق نقشه‌ها، Sobs مساحت (تعداد سلول یا پیکسل) پهنه سیل مشاهده‌ای و Smod مساحت (تعداد سلول یا پیکسل) پهنه سیل شبیه‌سازی‌شده با مدل است. مقدار F بین صفر تا ۱۰۰ تغییر می‌کند. مقدار صفر برای زمانی که بین سطح غرقابی مشاهده‌ای و پیش‌بینی‌شده توسط مدل هیچ همپوشانی وجود نداشته باشد و مقدار ۱۰۰ تطابق کامل سطح غرقابی مشاهده‌ای و پیش‌بینی‌شده را نشان می‌دهد، شاخص F نتایج خوبی برای مسائل مدل‌سازی پهنه سیل ارائه می‌دهد و امکان مقایسه نتایج مدل را در بازه‌ها و وقایع سیلابی مختلف فراهم می‌آورد. مقادیر پارامترها در طول ۷ کیلومتر از بازه رودخانه ثابت لحاظ شده و امکان واسنجی به صورت مکانی و موضعی (به‌ویژه با توجه به تغییرات پوشش دشت سیلابی) وجود دارد و در صورت نیاز به تغییر موضعی ضریب زبری می‌توان آن‌ها بر روی نقشه ضریب زبری اعمال کرد.

فلوچارت مراحل مدل‌سازی و تهیه نقشه خطر و خسارت برای حوزه مورد مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است (۱۳).

تهیه نقشه خطر و خسارت، شامل محاسبه تفصیلی خطرات مرتبط با جاری شدن سیل شامل بررسی خطرات وجود طغیان آب، شدت آن، عمق طغیان آب می‌باشد که بسیار بااهمیت است و مردم یا محیط زیست تحت‌تأثیر آن قرار دارد. سپس اطلاعاتی در مورد محل فرارگیری مردم و آسیب‌پذیری یا حساسیت آن‌ها به سیل به‌دست آمد (سن جمعیت یا نوع زیستگاه در یک منطقه). پس از جمع‌آوری این داده‌ها، ریسک را محاسبه و داده‌ها از لحاظ گرافیکی به عنوان نقشه‌های خطر نشان داده شد. خطر محاسبه شده شامل خطر فیزیکی، اقتصادی و مردم می‌باشد. جهت تولید نقشه خطر با استفاده از داده‌های اقتصادی و نتایج شبیه‌سازی مدل هیدرولیکی و دوبعدی LISFLOOD-FP برای دوره بازگشت ۵۰۰ سال، نیاز به تولید نقشه‌های متعددی بود که شرح همه آن‌ها در جدول ۱ آمده است (۱۳). دلیل انتخاب دوره بازگشت ۵۰۰ سال، سابقه وقوع سیل با دوره بازگشت حدود ۵۰۰ ساله و حتی بیش‌تر در شاخه‌های حوزه گرگانرود می‌باشد. از آن‌جاکه شروع پژوهش مصادف با سال وقوع سیل خارق‌العاده ۱۳۹۷ می‌باشد و با توجه به این‌که دوره بازگشت این سیل در بعضی ایستگاه‌ها بالا بوده است، به‌طور مثال در ایستگاه قزاقلی بین ۴۰۰ تا ۴۵۰ مترمکعب بر ثانیه گزارش گردید (گزارش هیدرولوژی هیئت گزارش ملی سیلاب‌ها)، بنابراین تصمیم گرفته شد که از سیل ۵۰۰ ساله استفاده گردد.



شکل ۲- فلوچارت محاسبات و مدل سازی LISFLOOD-FP

Figure 2. LISFLOOD-FP Computing and Modeling Flowchart.

جدول ۱- عناوین نقشه‌های مورد نیاز جهت تولید نقشه‌های خطر.

Table 1. Titles of maps required to produce hazard maps.

توضیحات Description	لایه‌ها Data Layer
maxdepth.asc	حداکثر عمق شبیه‌سازی شده آب در هر سلول Maximum simulated depth of water in each cell
maxVc.asc	حداکثر سرعت شبیه‌سازی شده آب به داخل / خارج از هر سلول Maximum simulated velocity of water into/out of each cell
landuse.asc	کاربری اراضی در هر سلول، ۰ = روستایی / فاقد ساختمان، ۱ = مسکونی، ۲ = صنعتی، ۳ = تجاری Land use in each cell, 0 = rural/no buildings, 1 = residential, 2 = industrial, 3 = commercial
buildings.asc	تعداد ساختمان‌های هر سلول Number of buildings in each cell
buildings_cost	متوسط قیمت ملک ساختمان‌ها در هر سلول Average property price of buildings in each cell,
population.asc	جمعیت (تعداد افراد) در هر سلول Population (number of people) per cell,
people_age.asc	جمعیت در هر سلول از ۷۵ سال یا بیشتر، % of the population in each cell aged 75 or greater
people_mobility.asc	جمعیت هر سلول که ناتوان / بیمار طولانی مدت / دارای معلولیت % of the population in each cell who are infirm/long term sick/ disabled
roads.shp	موقعیت معابر منطقه Location of roads in the area – shape file format for use in ArcMap

برای تهیه نقشه خطر سیل مربوط به مردم، در ابتدا شاخص خطر برای افراد در معرض خطر سیل محاسبه گردید، خطر ناشی از وقوع سیل (hazard_people) برای مردم می‌تواند مطابق رابطه ۳ محاسبه شود (۷، ۸ و ۱۳).

با توجه به این‌که در زمان بروز سیل علاوه بر مردم، ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها نیز دچار آسیب می‌شوند بنابراین تهیه نقشه‌های خطر برای هر سه پارامتر مورد اشاره انجام گردید. نقشه خطر سیل مربوط به مردم به دو قسمت نقشه احتمال مرگ و میر و نقشه احتمال آسیب بدنی

$$\text{hazard_people} = [\text{Maximum Velocity}] + 1.5 \times ([\text{Maximum depth}] + [\text{debris}]) \quad (3)$$

آب در هر سلول (ms^{-1})، Hazard_people خطر ناشی از وقوع سیل برای مردم.

که در آن، Maximum depth حداکثر عمق آب در هر سلول (m)، Debris شاخص خطر (مواد رسوبی داخل سیل)، Maximum Velocity حداکثر سرعت

جدول ۲- تخمین شاخص خطر (تخمین مواد رسوبی داخل سیل) (۷، ۸ و ۱۳).

Table 2. Debris factor estimation (estimation of sediments in flood)

عمق آب Flood depth	فاکتور مواد رسوبی برای نواحی شهری Debris factor (DF) for urban areas
d<0.25 m	0
d<0.25 m or v ≥ 2 m/s	1

همچنین با استفاده از نرم افزار GIS، نقشه‌های لایه پراکنندگی مکانی، تعداد افراد مسن و تعداد افراد دارای ناتوانی حرکتی را با هم تلفیق و آن را sus_people نام‌گذاری نموده و پس از طی مراحل و از طریق رابطه ۴ نقشه خطر مربوط به درصد آسیب بدنی به افراد برای منطقه مورد مطالعه به دست آمد (۷، ۸ و ۱۳).

نقشه خطر ناشی از وقع سیل (hazard_people) با استفاده از دو خروجی مهم مدل، شامل لایه رستری حداکثر سرعت آب و لایه رستری حداکثر عمق آب در هر سلول و همچنین شاخص خطر که میزان آن در جدول ۲ داده شده است به دست می‌آید.

$$\text{Population}] \times 2) \times 0.09 \times [\text{hazard_people}] \times ([\text{sus_people}] / 100 = r1_people]] \quad (4)$$

و در انتها با استفاده از رابطه ۵ نقشه احتمال مرگ و میر افراد با استفاده از نرم افزار GIS و به کارگیری نقشه‌های نقشه خطر ناشی از وقع سیل (hazard_people) و نقشه درصد آسیب بدنی به افراد (r1_people) به دست آمد (۷، ۸ و ۱۳).

که در آن، Population نقشه جمعیت مردم در هر سلول، sus_people نقشه لایه‌های تعداد افراد مسن و تعداد افراد ناتوان حرکت، r1_people نقشه درصد آسیب بدنی به افراد.

$$r2_people = (r1_people] \times 2) \times ([\text{hazard_people}] / 100) \quad (5)$$

برای محاسبه خطر؛ شاخص‌ها، نوع داده‌ها و فایل‌های مورد نیاز به تفکیک هر گروه در جدول ۳ نشان داده شده است.

که در آن، r2_people نقشه احتمال مرگ و میر افراد.

جدول ۳- شاخص‌ها و داده‌ها و فایل‌های مورد نیاز جهت تولید نقشه‌های خطر.

Table 3. Indicators, data and files required to generate hazard maps.

فایل‌های وابسته به آن Related data file	نوع داده‌ها Typical data source	شاخص‌ها Indicator(s)	گیرنده Receptor
landuse.asc population.asc people_age.asc people_mobility.asc	داده‌های سرشماری / نقشه کاربری اراضی Census data/land use map	شاخص در معرض قرارگرفتن: جمعیت هر سلول شاخص حساسیت: درصد سن جمعیت بالای ۷۵ سال، جمعیت ناتوان / افراد دارای بیماری طولانی مدت / افراد معلول Exposure indicator: Presence of people, in this case population per cell Susceptibility indicator: %of population age ≥ 75 and % population infirm/long term sick/disabled	مردم People
landuse.asc buildings.asc buildings_cost.asc	نقشه کاربری اراضی - نقشه خیابان‌ها Land use map, street map, OS Map	شاخص در معرض قرارگرفتن: تعداد ساختمان‌ها در هر سلول Exposure indicator: Presence of buildings, in this case number per cell	ساختمان‌ها: مسکونی، تجاری، صنعتی Buildings – Split into residential, commercial, industrial
roads.shp roads.asc	نقشه کاربری اراضی - نقشه خیابان‌ها Land use map, street map, OS Map	وجود یا عدم وجود جاده‌ها در هر سلول Exposure indicator: presence of roads	زیرساخت Infrastructure

مرحله دوم ارزیابی خطر سیل برای این منطقه، ارزیابی ریسک ساختمان است، سطح خطر مورد انتظار برای ساختمان‌ها را در هر منطقه از طریق خروجی‌های مدل LISFLOOD-FP و با استفاده از نرم‌افزار GIS به دست آوردیم، برای این بخش، شاخص‌های خطر شامل حداکثر عمق آب و حداکثر سرعت آب هستند که برای شناسایی طبقات ریسک با توجه به میزان مورد انتظار خسارت وارده به ساختمان‌ها، ترکیب می‌شوند. در این نقشه برای هرمنطقه میزان خسارت وارده به ساختمان‌ها برای دوره بازگشت ۵۰۰ سال محاسبه شد (۷، ۸ و ۱۳).

نتایج و بحث

سپس بر اساس توزیع آماری لوگ پیرسون نوع ۳، دبی با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰،

برای گروه مربوط به ساختمان‌ها، نقشه خطر از نظر میزان آسیب و خسارت به ساختمان‌ها و همچنین محتویات آن تولید گردید. این نقشه میزان آب گرفتگی ساختمان‌ها در زون‌های مختلف را نشان می‌دهد که با استفاده از نرم‌افزار GIS و نقشه‌های حداکثر عمق آب و حداکثر سرعت آب حاصل از خروجی مدل LISFLOOD-FP نسبت به تهیه آن اقدام گردید (۷، ۸ و ۱۳).

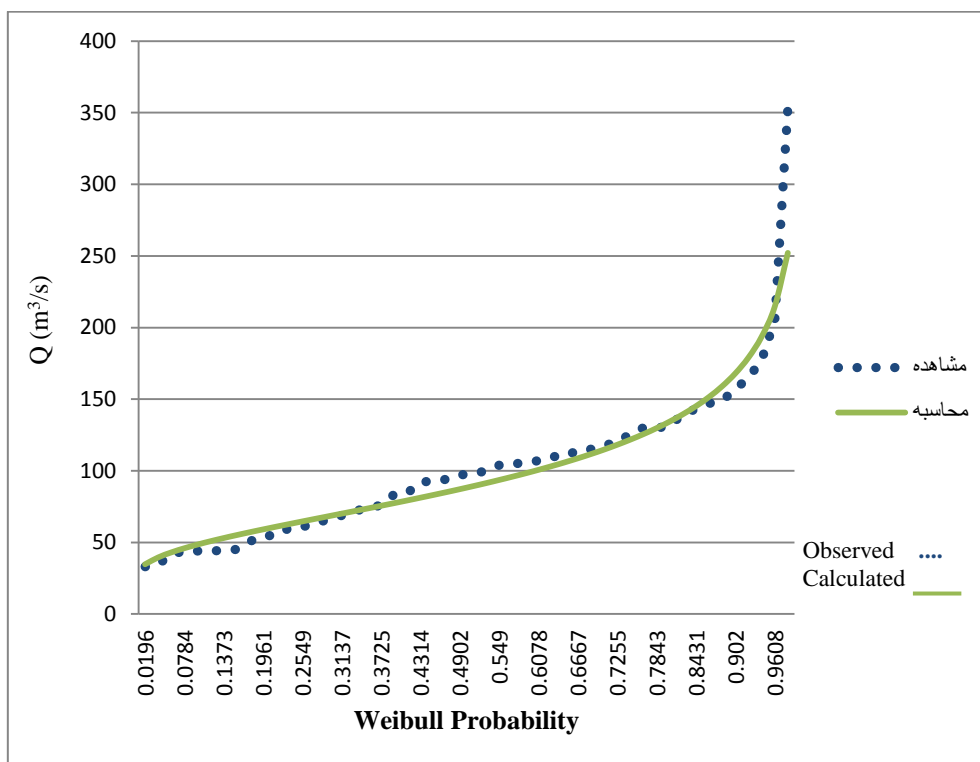
در انتها برای گروه زیر ساخت‌ها (راه‌ها)، نقشه خطر از لحاظ طول جاده‌هایی که انتظار می‌رود در جریان سیل آسیب ببیند را محاسبه کردیم. با استفاده از این نقشه طول معابری که دچار آبگرفتگی یا آسیب می‌شوند را به تفکیک رده خیابان شامل: معابر اصلی، معابر فرعی، جاده‌های بین مزارع بدست آورده شد (۷، ۸ و ۱۳).

۲۰۰ و ۵۰۰ سال در ایستگاه هیدرومتری ارازکوسه برآورد گردید که مقادیر آن در جدول ۴ به دست آمده است همچنین در شکل ۳ نتایج گرافیکی برازش توزیع با استفاده از نرم افزار SMADA آورده شده است.

جدول ۴- دبی با دوره بازگشت های مختلف.

Table 4. Discharges with different return periods.

500	200	100	50	25	10	5	2	دوره بازگشت (سال) Return periods (year)
391	334	291	251	213	167	133	88	دبی (مترمکعب/ثانیه) Discharges (m ³ /s)



شکل ۳- نتایج گرافیکی برازش توزیع با استفاده از نرم افزار SMADA.

Figure 3. Graphic results of distribution fitting using SMADA software.

واسنجی مدل هیدرولیکی، ضریب زبری کانال ۰/۰۴۵ و ضریب دشت سیلابی ۰/۰۸ به دست آمد و بهترین برازش مدل، شاخص F را عدد ۷۱ درصد نشان داد.

جدول ۵ نتایج واسنجی مدل هیدرولیکی را براساس ضرایب زبری مختلف کانال و دشت سیلابی و شاخص تطابق نقشه ها (F) نشان می دهد. در مدل هیدرولیکی دوبعدی LISFLOOD-FP طبق نتایج

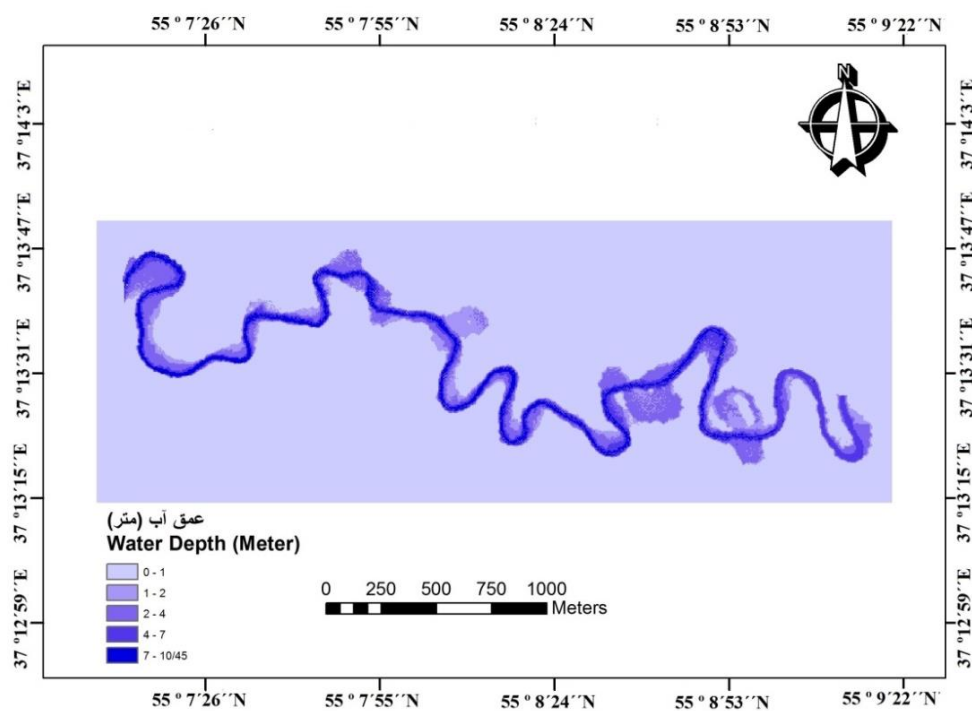
جدول ۵- واسنجی مدل براساس تعیین ضریب زبری کانال و دشت سیلابی و شاخص تطابق نقشه‌ها (F).

Table 5. Model calibration based on n_{ch} , n_{fp} and Fit index (F).

ضریب زبری کانال (n_{ch}) Channel roughness coefficient	ضریب زبری دشت سیلابی (n_{fp}) Flood plain roughness coefficient					
	0.12	0.10	0.08	0.06	0.04	0.02
0.03	47	47	52	50	49	49
0.035	54	54	58	57	55	55
0.04	62	62	66	66	65	65
0.045	67	67	71	70	68	68
0.05	65	65	70	68	67	67
0.055	50	50	52	52	52	53

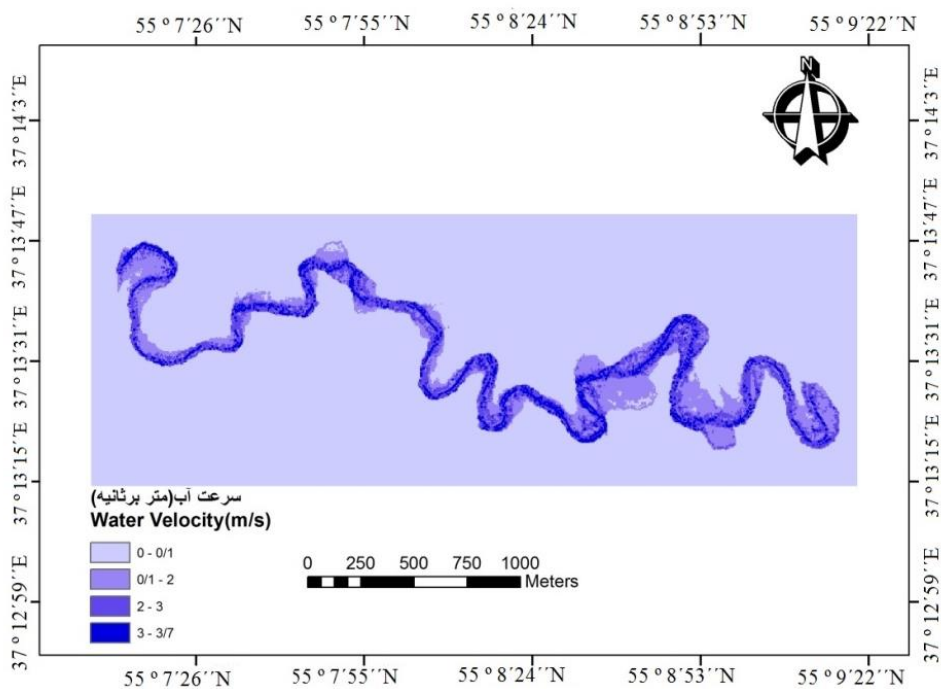
میزان سرعت آب با واحد متر بر ثانیه را نشان می‌دهد که بیش‌ترین عمق ۱۰/۴۵ متر و بیش‌ترین سرعت به‌میزان سرعت ۳/۷ متر بر ثانیه به‌دست‌آمده است. هم‌چنین، در شکل ۴ عمق آب پیش‌بینی‌شده توسط مدل نشان داده‌شده است.

عمق و سرعت آب پیش‌بینی‌شده توسط مدل در بازه مورد‌مطالعه رودخانه چهل‌چای (خرمالو) برای دبی با دوره بازگشت ۵۰۰ سال از دیگر نتایج بسیار مهم شبیه‌سازی مدل هیدرولیکی دوبعدی LISFLOOD-FP در جهت تهیه نقشه‌های خطر و خسارت می‌باشد شکل ۴ و شکل ۵، میزان عمق آب با واحد متر و



شکل ۴- عمق آب پیش‌بینی شده توسط مدل ناشی از بروز سیل برای دبی با دوره بازگشت ۵۰۰ سال.

Figure 4. Depth of water as simulated by the model for a flood with return period of 500 years.



شکل ۵- سرعت آب پیش‌بینی شده ناشی از بروز سیل برای دبی با دوره بازگشت ۵۰۰ سال.

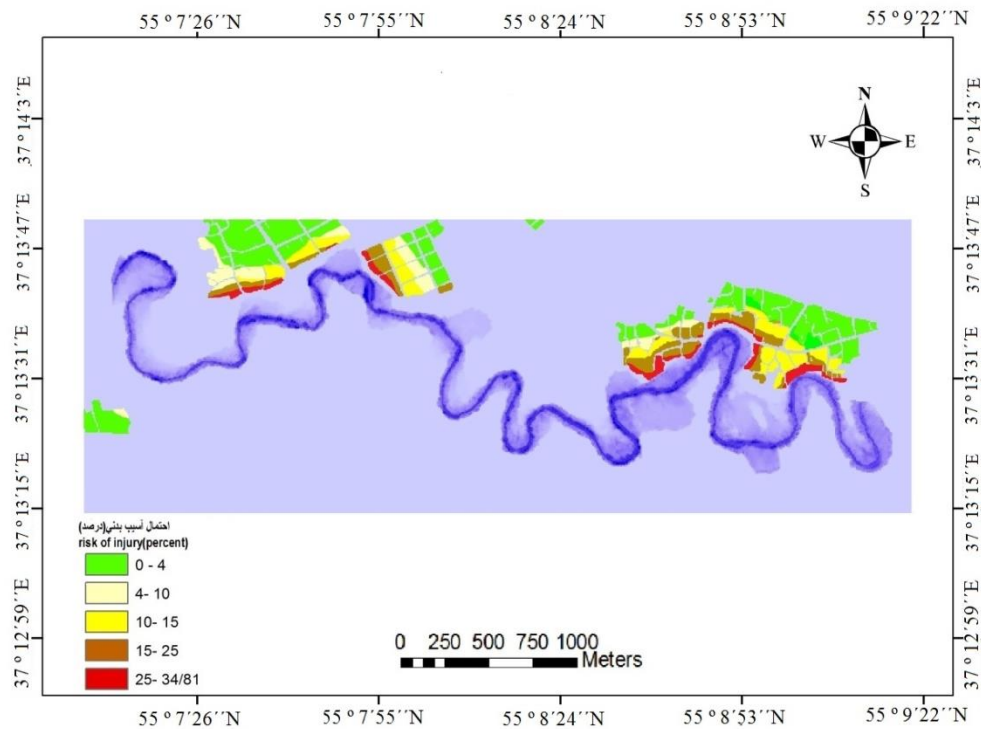
Figure 5. Velocity of water as simulated by the model for a flood with return period of 500 years.

منطقه مورد مطالعه در زمان بروز سیل را نشان می‌دهد که

در شکل ۶ احتمال آسیب بدنی به مردم حاضر در

خصوص تهیه نقشه خطر سیل با استفاده از مدل LISFLOOD-FP صورت نگرفته است و در سطح کشور نیز مقاله‌ای با این عنوان یافت نشد در خارج از کشور محمد زارع و همکاران (۲۰۲۱) از مدل سیل LISFLOOD FP برای تولید نقشه‌های خطر سیل در دودلانز، لوکزامبورگ استفاده کردند که نتایج نشان از عملکرد خوب این مدل در تولید نقشه خطر می‌باشد (۲۳).

در ۵ رده تقسیم‌بندی شده است، برای سیل با دوره بازگشت ۵۰۰ سال بیش‌ترین احتمال آسیب بدنی با در نظر گرفتن افراد معلول و کهن‌سال ساکن در منطقه مورد مطالعه، به میزان ۳۴/۸۱ درصد می‌باشد که ناحیه شمال‌شرقی رودخانه بیش‌ترین احتمال آسیب بدنی را به دلیل پیچان‌رودی شدید رودخانه و ساخت‌وسازهای غیرمجاز و غیراصولی در نواحی پرخطر و در ضلع جنوب‌غربی رودخانه و به دلیل فاصله زیاد ساختمان‌ها از رودخانه کم‌ترین احتمال آسیب بدنی را دارا می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه هیچ‌گونه مطالعه‌ای در



شکل ۶- نقشه احتمال آسیب بدنی ناشی از بروز سیل با دوره بازگشت ۵۰۰ سال.

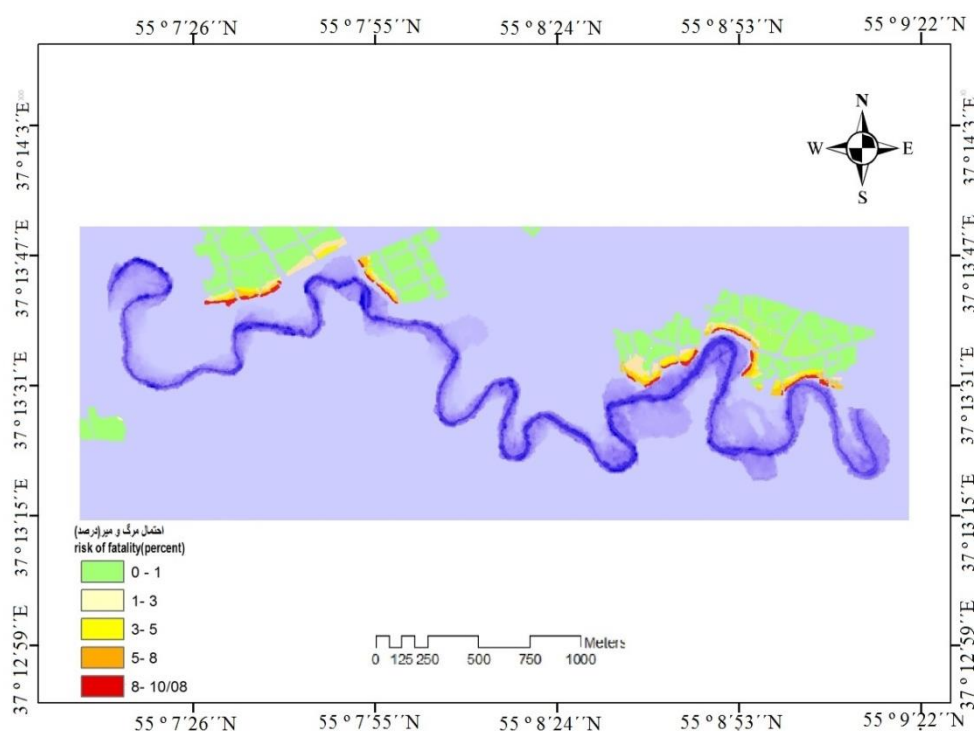
Figure 6. Risk of injury to people caused by floods with a return period of 500 years.

ساختمان و در نتیجه جمعیت قابل توجه ساکن در نزدیکی رودخانه که ضلع شمال‌شرقی بیش‌ترین میزان مرگ‌ومیر را به خود اختصاص می‌دهد و کم‌ترین میزان احتمال مرگ‌ومیر مربوط به نواحی بین شمال و شمال‌غربی رودخانه و ناحیه جنوب‌غربی است، مناطق

در شکل ۷ نقشه احتمال مرگ‌ومیر افراد واقع در حوزه مورد مطالعه با دوره بازگشت ۵۰۰ سال در ۵ رده و با رنگ‌های مختلف نمایش داده شده است که در آن بالاترین احتمال مرگ‌ومیر با رنگ قرمز و به میزان ۱۰/۰۸ درصد می‌باشد. به دلیل تراکم بالای

مطالعه‌ای در سریلانکا توسط امارنت و همکاران (۲۰۱۵) مدل LISFLOOD-FP برای ارزیابی اثر خطر سیل در بخش کشاورزی مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که بسیاری از مناطق زیرکشت برنج که در نزدیکی بخش میانی و پایین دست حوزه رودخانه واقع شده بودند بیش تر در معرض خطرات سیل هستند (۴).

مسکونی در این منطقه به صورت جزیره‌ای و جدا از هم می‌باشد، نقشه احتمال مرگ و میر افراد واقع در حوزه مورد مطالعه از دو منظر، مردم و دولت محلی دارای اهمیت است، مردم در صورت آشنایی با این نقشه در زمان بروز سیل در این مناطق تردد نمی‌کنند، ساخت و از سوی دیگر دولت محلی قبل از بروز بحران از ساخت وسازها جلوگیری خواهد کرد و در



شکل ۷- نقشه احتمال مرگ و میر افراد ناشی از بروز سیل با دوره بازگشت ۵۰۰ سال.

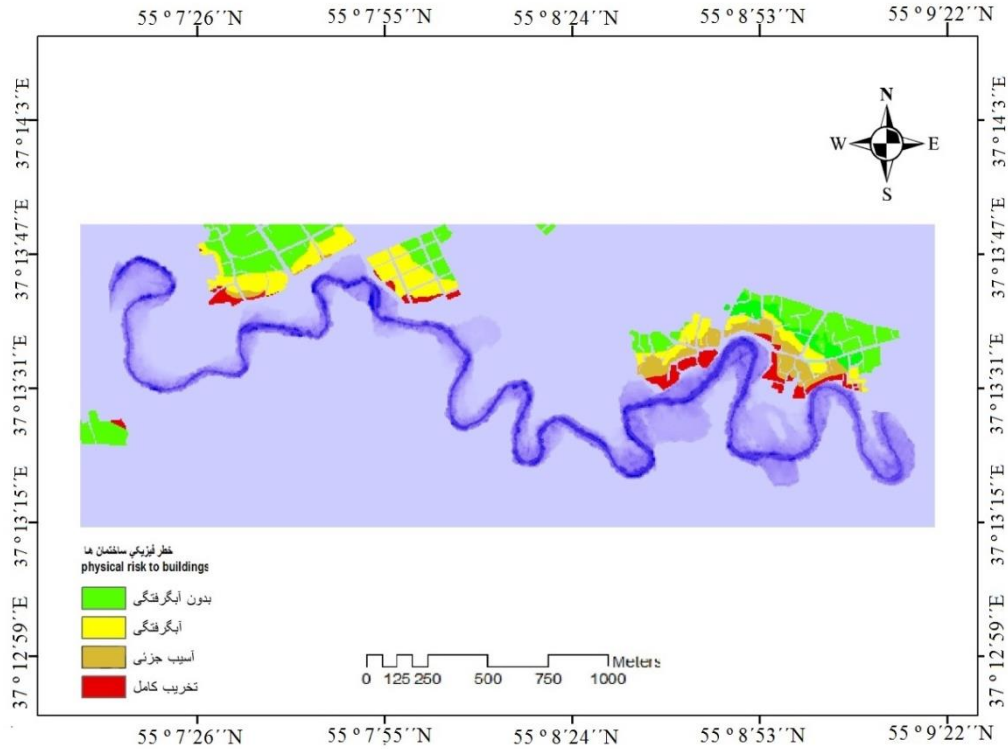
Figure 7. Risk of fatality to people caused by floods with a return period of 500 years.

چهار رده نام برده شده وجود دارد، سرعت آب در ناحیه با تخریب کامل، بیش تر از ۳ متر بر ثانیه می‌باشد نواحی بین شمال و شمال غربی رودخانه و همچنین ناحیه جنوب غربی کم ترین میزان آب گرفتگی ساختمان‌ها را به دلیل فاصله زیاد از رودخانه دارا می‌باشد. با استفاده از این نقشه دولت در طراحی ساختمان‌های جدید تمهیدات ویژه‌ای لحاظ می‌کند و

در نقشه ارزیابی ریسک ساختمان مناطق با بیش ترین خطر فیزیکی برای ساختمان‌ها شناسایی می‌شود که در این نقشه بالاترین رده خطر برای ساختمان بارده "تخریب کامل" است که با رنگ قرمز و در چهار منطقه شامل نواحی بدون آب گرفتگی، دارای آب گرفتگی، آسیب جزئی و تخریب کامل در شکل ۸ مشخص می‌باشد، در ناحیه شمال شرقی تمام

ساختمان‌ها عمل می‌کند.

شرکت‌های بیمه در زون‌بندی مناطق و تعیین حق بیمه‌نامه سیل متناسب با میزان آسیب احتمالی به

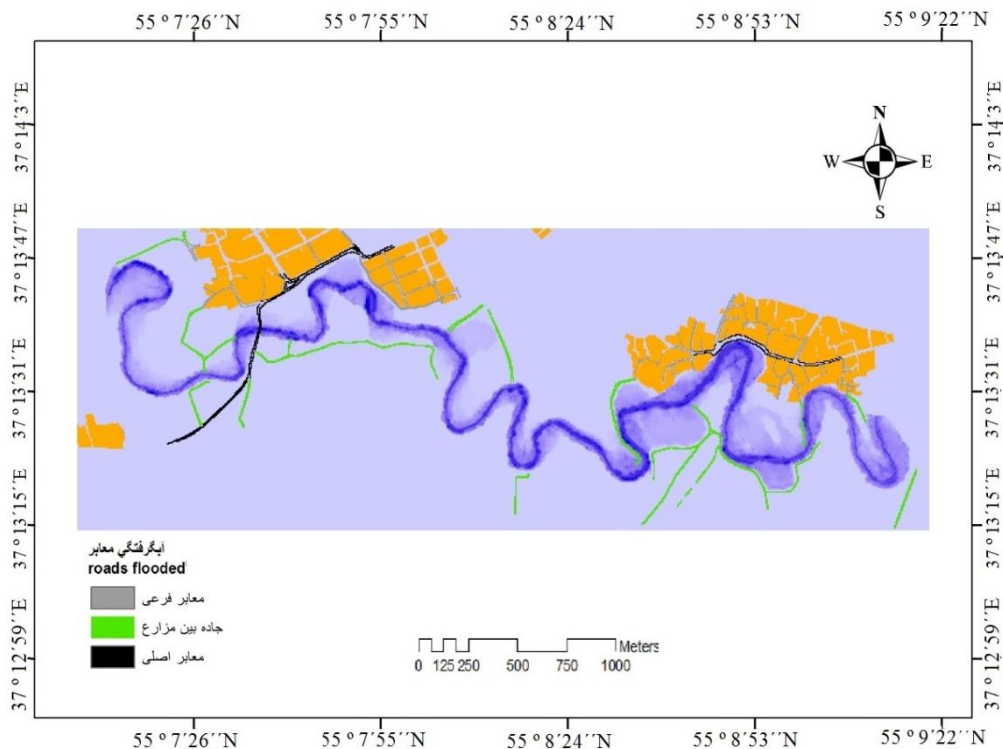


شکل ۸- نقشه آب‌گرفتگی ساختمان‌ها ناشی از بروز سیل با دوره بازگشت ۵۰۰ سال.

Figure 8. Physical Risk Assessment for buildings caused by floods with a return period of 500 years.

اقدام و از توسعه معابر در نواحی با خطر آب‌گرفتگی جلوگیری گردد، این طول از طریق نرم‌افزار GIS قابل محاسبه می‌باشد. معابر ناحیه شمال‌شرقی، در زمان بروز سیل بیش‌ترین طول آب‌گرفتگی را خواهند داشت. این نقشه در جانمایی مناسب جهت توسعه و یا ایجاد شبکه آب، برق و گاز در شناخت مناطق پرخطر و عدم عبور خطوط مذکور بسیار مفید است.

در نقشه خطر سیلاب برای زیرساخت‌ها شکل ۹، تمامی معابر دچار آب‌گرفتگی در زمان سیل به همراه طول آن قابل‌شناسایی می‌باشد، طول مسیر آبرگیری معابر فرعی ۲۰۲۶۲ متر، برای جاده بین مزارع ۲۶۳۶۴ متر طول که بیش‌ترین طول آب‌گرفتگی می‌باشد و برای معبر اصلی طول ۱۰۸۳۱ متر دچار آب‌گرفتگی و حتی از حالت سرویس‌دهی خارج خواهد شد که نسبت به جایگزین معبر مشابه و در محلی دیگر

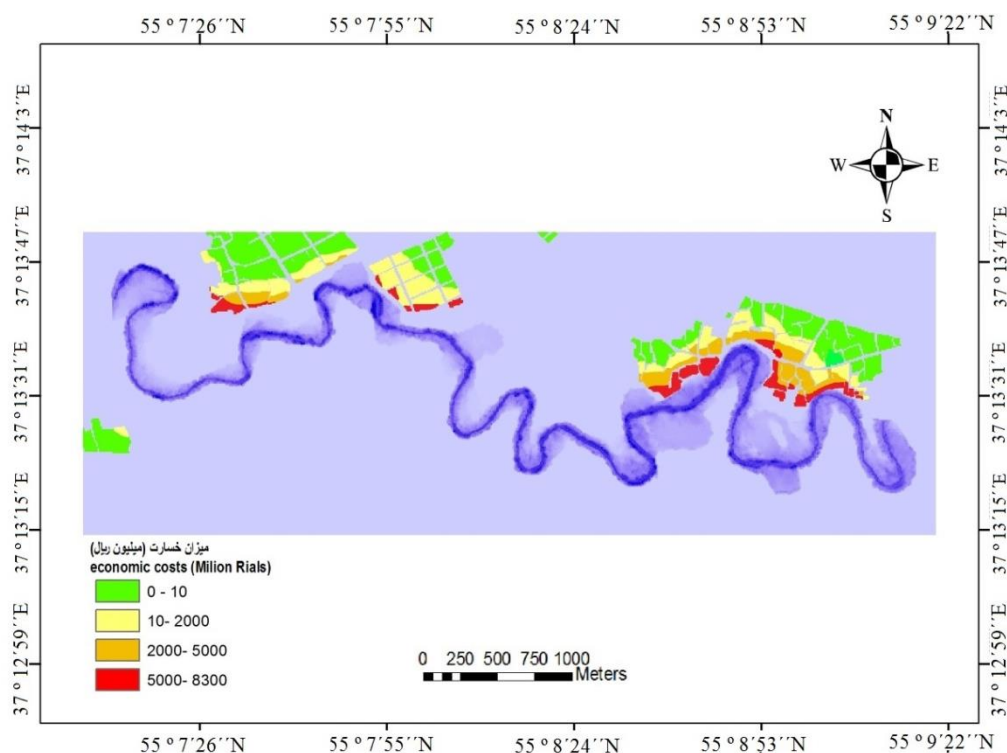


شکل ۹- نقشه محدوده آب‌گرفتگی معابر ناشی از بروز سیل با دوره بازگشت ۵۰۰ سال.

Figure 9. Physical flood risk to Infrastructure caused by floods with a return period of 500 years.

هم‌چنین پورزمان و همکاران (۲۰۱۶) باهدف پهنه‌بندی خطر و خسارت سیل در بازه رودخانه منطقه بن‌کوه در حوضه رودخانه حبله‌رود واقع در نیمه شمالی ایران به‌طول ۲/۵ کیلومتر از مدل CCHE2D استفاده کرد اطلاعات مورد نیاز برای اجرای مدل شامل نقشه توپوگرافی بزرگ مقیاس از بازه مورد مطالعه و دبی رودخانه با دوره بازگشت‌های مختلف می‌باشد نقشه خطر براساس سرعت و عمق و تلفیق این دو معیار و در سه کلاس کم، متوسط و زیاد تهیه شد، برای تعیین خسارت با ترکیب نقشه‌های بزرگی خطر، عناصر در معرض خطر و نیز درجه آسیب‌پذیری عناصر مختلف، با استفاده از رابطه ریسک میزان خسارت ریالی در سه کلاس به‌دست آمد، نتایج نشان از عملکرد بسیار خوب مدل در منطقه مورد مطالعه است (۱۷).

در نقشه خسارت ساختمان‌ها شکل ۱۰، میزان خسارت ناشی از سیل برای ساختمان‌ها را برای دوره بازگشت ۵۰۰ سال به دست آوردیم، این نقشه در چهار رده تقسیم شده است که بیش‌ترین میزان خسارت برای این دوره بازگشت، ۸۳۰۰ میلیون ریال به ازای هر سلول ۵×۵ برای مناطق بارنگ قرمز تعیین گردیده است، که طبق نقشه مورد اشاره، بیش‌ترین خسارت مالی ناشی از بروز سیل مربوط به ضلع شمال‌شرقی رودخانه تشخیص داده شد، بنابراین ضمن جلوگیری دولت از ساخت‌وساز در این و یا اقدامات پیشگیری از سیل شرکت‌های بیمه نواحی مابین شمال و شمال‌غربی و هم‌چنین ناحیه جنوب‌غربی نیز کم‌ترین میزان خسارت وارده ناشی از سیل به ساختمان‌ها را خواهیم داشت، جمع کل خسارت ناشی از این سیل حدوداً ۱۳۴۱۲۱۵۰ میلیون ریال برآورد شده است.



شکل ۱۰- نقشه خسارت وارد شده به ساختمان و اثاثیه ناشی از سیل با دوره بازگشت ۵۰۰ سال.

Figure 10. Economic flood risk to buildings caused by floods with a return period of 500 years.

عنوان نقشه‌های خطر صورت می‌گیرد و می‌تواند منجر به کاهش خسارات ناشی از سیل در مناطق مختلف شود؛ زیرا با این دیدگاه، نقشه‌های خطر و خسارت در مکان‌های در معرض خطر سیل، پیش‌نیاز توسعه مناسب اقتصادی- اجتماعی و مبنای تعیین اثرات اکولوژیک و زیست‌محیطی مناطق در معرض خطر بوده و میزان ریسک سرمایه‌گذاری را هم برای مردم و هم برای مدیران و برنامه‌ریزان مشخص می‌کند.

در منطقه مورد مطالعه، هر چهار نقشه خطر شامل نقشه احتمال آسیب بدنی، نقشه احتمال مرگ‌ومیر افراد، نقشه آب‌گرفتگی ساختمان و نقشه محدوده آب‌گرفتگی معابر و هم‌چنین نقشه خسارت نشان می‌دهد ضلع شمال‌شرقی رودخانه آسیب‌پذیرترین بخش از محدوده مطالعاتی می‌باشد و با توجه به تراکم بالای ساخت‌وساز در آن نواحی، ضعف در

نتیجه‌گیری کلی

ازجمله محدودیت‌های این مطالعه، عدم مطالعات مشابه در حوزه‌های دیگر، کمبود داده‌های هیدرولیکی هم‌چون دبی، ارتفاع و سرعت آب و پارامترهای موردنیاز مدل، عدم وجود نقشه‌برداری زمینی با مقیاس‌های بزرگ‌تر جهت تولید نقشه‌های رقومی ارتفاعی باکیفیت بسیار بالاتر، عدم وجود تصاویر بیشتر سنجنش‌ازدور سیل‌های دیگر، عدم دسترسی به اطلاعات جمعیتی شامل تعداد افراد معلول و یا ناتوان حرکتی و هم‌چنین تعداد افراد کهن‌سال ازجمله محدودیت‌های این مطالعه می‌باشد.

براساس تجربیات تئوریک، یکی از شیوه‌های مناسب در جهت مدیریت سیلاب، تعیین میزان پیشروی سیلاب و ارتفاع آن نسبت به سطح زمین و نیز تعیین خصوصیات سیلاب ازجمله سرعت و جهت پیشروی سیل در دوره بازگشت‌های مختلف که تحت

تهیه نقشه خطر و خسارت یکی از اصلی‌ترین، مهم‌ترین اقدامات مدیریت سیلاب در تمامی کشورها می‌باشد که عدم توجه به آن از سوی دولت‌ها موجب بروز خسارات بسیار زیاد ناشی از سیل در جهان شده است.

با توجه به هزینه‌بر بودن تهیه نقشه خطر و خسارت در مقیاس بزرگ، توصیه می‌شود ادارات دولتی مرتبط با سیل با مشارکت شرکت‌های بیمه نسبت به آن اقدام نمایند.

تقدیر و تشکر

این پژوهش در قالب یک پایان‌نامه در دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، صورت گرفته است. نویسندگان از دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، که موجبات تسهیل انجام این پژوهش را فراهم نموده‌اند تشکر می‌نمایند.

داده‌ها و اطلاعات

مبنای داده‌ها و اطلاعات مقاله حاضر، پایان‌نامه مقطع دکترای تخصصی نویسنده اول است که در گروه مهندسی آب دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک انجام گردیده است و با مکاتبه با نویسنده مسئول قابل دسترسی می‌باشند.

تعارض منافع

در این مقاله، تعارض منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان در این متن به شکل ذیل است:
نویسنده اول: تهیه و آماده‌سازی داده‌ها، داده‌برداری، مدل‌سازی، انجام محاسبات، تهیه نقشه‌ها و اطلاعات

استحکام بنای ساختمان‌ها و قدمت زیاد بعضی از ساختمان‌ها، آگاهی مردم، شهرداری و ادارات ذی‌ربط از شدت خطر سیل و عدم شناخت رفتار هیدرولیکی رودخانه دارای اهمیت می‌باشد، تا در این مناطق از ایجاد مراکز تفریحی، زمین‌های کشاورزی، ایجاد منازل مسکونی پرهیز گردد.

همچنین از دیگر کاربردهای مهم نقشه‌های خطر و خسارت، هم سو شدن تعریف فنی سیل بین بهره‌برداران و ادارات مرتبط با سیل می‌باشد، با در دسترس آزاد نقشه‌های خطر، مردم از گسترش خطر سیل با دوره‌های مختلف بازگشت سیل در محل زندگی خود آگاهی یافته و در راستای کاهش آن با دولت همکاری مؤثری خواهند داشت.

در نهایت پیشنهاد می‌گردد در وهله نخست تا برطرف شدن اساس خطر ناشی از سیل، شهرداری رؤسا نسبت به بیمه سیل برای ساختمان‌های واقع در محدوده مورد اشاره، از محل اعتبارات خود اقدام نماید و هم‌زمان اداره امور آب گنبد، نسبت به جداره رودخانه در ناحیه مذکور و دیگر اقدامات پیشگیری از خسارات سیل را در دستور کار خود قرار دهد؛ شرکت‌های خدمات رسان از جمله شرکت گاز و شرکت برق تا حد امکان نسبت به جابجایی تیرهای برق و علمک‌های گاز به نقاط با خطر کم‌تر سیل، اقدام کنند که در زمان بروز سیل انشعابات مذکور دچار کم‌ترین آسیب شوند. گروه‌های امداد رسان هم‌چون هلال‌احمر نیز ضمن آگاهی از نقاط حادثه‌خیز و میزان آب‌گرفتگی معابر در نقاط مسکونی، اقدامات لازم پیش از وقوع سیل را انجام دهند و به مردم نیز آموزش‌هایی در زمان بروز سیل داده شود و با توجه به تراکم بالای جمعیت واقع در ضلع شمال‌شرقی رودخانه، در صورت بروز سیل امکان امداد رسانی به مردم دچار اختلال نشود.

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنها می‌باشد.

حمایت مالی

این پژوهش از حمایت مستقیم مالی برخوردار نبوده است.

مکانی، تهیه پیش‌نویس مقاله.

نویسنده دوم: طرح تحقیق و روش‌شناسی، اصلاح و نهایی سازی مقاله، مشارکت در آنالیزها، نظارت پژوهش.

نویسنده سوم: مشارکت در روش پژوهش، نظارت پژوهش، اصلاح و بازبینی مقاله.

نویسنده چهارم: مشارکت در طرح و روش پژوهش، نظارت پژوهش، راهنمایی بر روند مدلسازی، بررسی و کنترل نتایج، بازبینی مقاله.

منابع

- Alfieri, L., Feyen, L., Dottori, F., AND Bianchi, A. 2015. Ensemble flood risk assessment in Europe under high end climate scenarios. *Global Environmental Change*. 35: 199-212.
- Alfieri, L., Feyen, L., and Di Baldassarre, G. 2016. Increasing flood risk under climate change: a pan-European assessment of the benefits of four adaptation strategies. *Climatic Change*, 136: 3. 507-521.
- Alfieri, L., Salamon, P., Bianchi, A., Neal, J., Bates, P.D., and Feyen, L. 2014. Advances in pan-European flood hazard mapping, *Hydrol. Process*. 28: 18. 4928-4937, doi:10.1002/hyp.9947.
- Amarnath, G., Umer, Y.M., Alahacoon, N., and Inada, Y. 2015. Modelling the flood-risk extent using LISFLOOD-FP in a complex watershed: case study of Mundeni Aru River Basin, Sri Lanka. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 370: 131-138.
- Barredo, J.I., de Roo, A., and Lavallo, C. 2007. Flood risk mapping at European scale. *Water Science and Technology*, 56: 11-17.
- Bates, P.D., and De Roo, A.P.J. 2000. A simple raster-based model for flood inundation simulation. *Journal of hydrology*, 236: 1-2. 54-77.
- DEFRA and UK Environment Agency. 2006. Flood and Coastal Defense R&D Program: Flood Risk to People, Phase 2. FD2321/TR2 Guidance Document, pp. 1-82.
- DEFRA, E. 2006. R&D outputs: Flood risks to people. Phase 2. FD2321/TR1 The flood risks to people methodology, pp. 1-52.
- Dottori, F., Kalas, M., Salamon, P., Bianchi, A., Alfieri, L., and Feyen, L. 2017. An operational procedure for rapid flood risk assessment in Europe. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 17: 1111-1126.
- Dottori, F., Alfieri, L., Bianchi, A., Skoien, J., and Salamon, P. 2021. A new dataset of river flood hazard maps for Europe and the Mediterranean Basin region. *Earth System Science Data Discussions*, pp. 1-35.
- European Commission (EC). 2007. Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council on the assessment and management of flood risks, Official Journal of the European Communities, Brussels, available at: <http://eurlex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32007L0060> (accessed on 13/5/2020).
- Feyen, L., Dankers, R., Bódis, K., Salamon, P., and Barredo, J.I. 2012. Fluvial floodrisk in Europe in 725 present and future climates. *Climatic Change*: 112: 1. 47-62, doi:10.1007/s10584-011-0339-7.
- Gallina, V., Torresan, S., Critto, A., Zabeo, A., Semenzin, E., Marcomini, A., Balbi, S., Gain, A., Giupponi, C.,

- and Mojtabeh, V. 2013. Development of a risk assessment methodology to estimate risk levels. *KULTURisk Project Deliverable*, 1.
14. Peyravi, M., Peyvandi, A.A., Khodadadi, A., and Marzaleh, M.A. 2019. Flood in the South-West of Iran in 2019; causes, problems, actions and lesson learned. *Bulletin of Emergency & Trauma*, 7: 2. p.199.
15. Peyravi, M., Peyvandi, A.A., and Marzaleh, M.A. 2019. Donations in the Great Flood of Iran, 2019: strengths and challenges. *Iran Red Crescent Med J*, 21(5), p. e92904.
16. Plate, E.J. 2002. Flood risk and flood management. *Journal of hydrology*, 267: 1-2. 2-11.
17. Poorzaman, S., Sadoddin, A., and Bahreman, A. 2021. Flood hazard mapping using the CCHE2D numerical model in the Hable-rud River-a reach located downstream of Bone-Kuh Village. *Journal of Natural Environmental Hazards*, pp. 1-1.
18. Rahimzadeh, O., Bahreman, A., Noura, N., and Mukolwe, M. 2019. Evaluating flood extent mapping of two hydraulic models, 1D HEC-RAS and 2D LISFLOOD-FP in comparison with aerial imagery observations in Gorgan flood plain, Iran. *Natural resource modeling*, 32(4), p.e12214.
19. Sadeghian, K., Bahreman, A., and Amir, S. 2020. Two-Dimensional Hydraulic Simulation of Floods using the LISFLOOD-FP Raster Model (A Case Study: The Shemshak Watershed, Tehran Province). *Jwmr*. 11: 22. 165-174. (In Persian)
20. Sanderson, D., and Sharma, A. 2016. World disasters report 2016: Resilience: Saving lives today, investing for tomorrow. *Geneva, Switzerland: International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (IFRC)*.
21. Vahabi, J. 2006. Flood hazard zonation using and hydraulic models. *pajouhesh-va-sazandegi*, [online] 19(2 (71 IN NATURAL RESOURCES)), pp. 33-40. (In Persian)
22. Wing, O.E., Bates, P.D., Sampson, C.C., Smith, A.M., Johnson, K.A., and Erickson, T.A. 2017. Validation of a 30 m resolution flood hazard model of the conterminous United States. *Water Resources Research*, 53(9), 7968-7986, doi:10.1002/2017WR020917.
23. Zare, M., Schumann, G.J.P., Teferle, F.N., and Mansorian, R. 2021. Generating Flood Hazard Maps Based on an Innovative Spatial Interpolation Methodology for Precipitation. *Atmosphere*, 12(10), p. 1336.

