

Evaluating the Feasibility of Direct Flood Damage Estimation Using the HEC-FIA Model in the Semirom Watershed

Neda Haseli Nasrabadi, Reza Modares* and Saeed Soltani¹

(Received: May 28-2025 ; Revised: June 12-2025 ; Accepted: July 1-2025)

1. Department of Rangeland and Watershed, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

*: Corresponding author, Email: Reza.Modarres@iut.ac.ir

Abstract

Floods are among the most frequent and destructive natural disasters worldwide, causing significant damage to human infrastructure and the environment each year. This study aims to assess the direct damages caused by flooding using the HEC-FIA model in the Semirom watershed. In the first step, flood inundation maps were generated using the HEC-RAS model based on digital elevation model (DEM) data, hydrological inputs, and Manning's roughness coefficients under both steady and unsteady flow conditions. These maps were then converted into a format compatible with the HEC-FIA software and integrated with economic, land use, and population data to estimate flood damages. The economic database included updated information on agricultural, horticultural, residential, and industrial land uses, partly obtained through field surveys. The flood event of March 11, 2006, was selected as the base flood, and damage analyses were performed for various return periods. The results indicated that the agricultural sector suffered the most damage. In the base year flood, agricultural damages exceeded 821 billion IRR, while structural damages were estimated at approximately 3 billion IRR. In the 1000-year return period, agricultural damages rose to 1,427 billion IRR, and structural damages increased to 44 billion IRR. Analysis of shorter return periods showed a significant decrease in damages, with no structural damage observed in the 10-year return period or less, although agricultural areas remained vulnerable. The findings suggest that the HEC-FIA model has a high capability in estimating direct flood damages across spatial and temporal scales and can serve as an effective tool for flood risk management and planning.

Keywords: Flood, HEC-FIA, HEC-RAS, Damage assessment, RAS Mapper, Flood inundation mapping

How to cite this article: Haseli Nasrabadi, N., Modarres, R. and Soltani, S. 2025. Evaluating the Feasibility of Direct Flood Damage Estimation Using the HEC-FIA Model in the Semirom Watershed. *J. Water and Soil Sci.* 29(3): 35-48. DOI: [10.47176/jwss.29.3.71341](https://doi.org/10.47176/jwss.29.3.71341)

Copyright © 2025 Haseli Nasrabadi et al. Published by Isfahan University of Technology.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

بررسی امکان برآورد خسارت مستقیم سیلاب با استفاده از مدل HEC-FIA در حوضه آبخیز سمیرم

ندا حاصلی نصرآبادی، رضا مدرس*  و سعید سلطانی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۳/۷؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۳/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۴/۱۰)

۱. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Reza.Modarres@iut.ac.ir

چکیده

سیلاب یکی از پرتکرارترین و مخرب‌ترین بلایای طبیعی در جهان به شمار می‌رود که هر ساله خسارات گسترده‌ای به زیرساخت‌های انسانی و محیط‌زیست وارد می‌کند. هدف این پژوهش، ارزیابی خسارات مستقیم سیلاب با استفاده از مدل HEC-FIA در حوضه آبخیز سمیرم است. در گام نخست، نقشه‌های سیلاب حاصل از مدل HEC-RAS بر مبنای داده‌های مدل ارتفاع رقومی (DEM)، اطلاعات هیدرولوژیک و ضرایب زبری، در شرایط جریان یکنواخت و ناپایدار تولید شدند. سپس با تبدیل نقشه‌ها به فرمت قابل استفاده در نرم‌افزار HEC-FIA و تلفیق آن با داده‌های اقتصادی، کاربری اراضی و جمعیت، برآورد خسارات سیلاب انجام گرفت. پایگاه داده‌های اقتصادی شامل اطلاعات به‌روزشده مربوط به کاربری‌های کشاورزی، باغی، مسکونی و صنعتی بوده که بخشی از آن از طریق بازدیدهای میدانی تأمین شد. سیلاب رخ داده در تاریخ ۲۰ اسفند ۱۳۸۴ به عنوان سیلاب پایه انتخاب شد و تحلیل خسارات برای دوره‌های بازگشت مختلف انجام شد. نتایج نشان دادند که بیشترین خسارت به بخش کشاورزی وارد شده است. در سیلاب سال پایه، مجموع خسارات کشاورزی بیش از ۸۲۱ میلیارد ریال و خسارات ساختمانی حدود ۳ میلیارد ریال برآورد شد. همچنین، در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله، خسارات کشاورزی به ۱۴۲۷ میلیارد ریال و خسارات ساختمانی به ۴۴ میلیارد ریال رسید. روند کاهش خسارات در دوره‌های بازگشت کمتر نیز بررسی شد و نشان داد که در دوره‌های بازگشت ۱۰ ساله و کمتر، بخش ساختمانی خسارتی متحمل نشده، اما بخش کشاورزی همچنان آسیب‌پذیر باقی مانده است. یافته‌ها بیانگر آن است که مدل HEC-FIA قابلیت زیادی در برآورد خسارات مستقیم سیلاب در سطوح مختلف مکانی و زمانی دارد و می‌تواند ابزاری کارآمد در تصمیم‌سازی‌های مدیریتی و برنامه‌ریزی مقابله با سیلاب باشد.

واژه‌های کلیدی: سیل، HEC-FIA، HEC-RAS، ارزیابی خسارت، RAS MAPPER، پهنه‌بندی سیل

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. © ۱۴۰۴.

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط به استناد صحیح به مقاله و با رعایت

شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است: (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)



مقدمه

مدیریت سیلاب‌ها به‌عنوان یکی از چالش‌های اساسی در حوزه مهندسی محیط‌زیست و منابع آب مطرح است. افزایش تغییرات اقلیمی و رشد روزافزون شهرنشینی موجب افزایش خسارت‌های ناشی از سیلاب‌ها شده و تأثیرات این پدیده بر زیرساخت‌های شهری، کشاورزی و سلامت جوامع، به موضوعی بااهمیت در پژوهش‌های علمی بدل شده است. آیتسی سلمی و همکاران با توجه به افزایش وقوع سیلاب‌های ناگهانی، بر اهمیت مدیریت ریسک و پیش‌بینی خسارت ناشی از سیلاب تأکید کرده‌اند (۲).

در این راستا، مدل‌سازی دقیق و ارزیابی خسارت‌های سیلاب برای توسعه راهکارهای مدیریتی مؤثر ضروری به نظر می‌رسد. مطالعات متعددی از جمله آدانه و همکاران نقش حیاتی مدل‌های هیدرولیکی و اقتصادی را در پیش‌بینی رفتار سیلاب و کاهش اثرهای مخرب آن تأیید کرده‌اند (۱). چن و همکاران با ارائه فرمولی برای محاسبه ضریب زبری رودخانه در حضور پوشش گیاهی، رابطه میان سرعت جریان و لایه گیاهی را تحلیل کرده‌اند که می‌تواند در بهبود دقت مدل‌های هیدرولیکی مؤثر باشد (۶).

مدل‌های HEC-RAS نسخه ۶.۱ و HEC-FIA نسخه ۲.۲ از ابزارهای تخصصی و معتبر در تحلیل پهنه‌بندی سیلاب و برآورد خسارت اقتصادی و جانی به شمار می‌روند. لمان و همکاران نشان داده‌اند که مدل HEC-RAS بیشتر برای شبیه‌سازی جریان آب و تعیین محدوده مناطق تحت تأثیر سیلاب به کار می‌رود؛ درحالی‌که مدل HEC-FIA قابلیت برآورد دقیق خسارت اقتصادی، تأثیرات اجتماعی و تلفات جانی ناشی از سیلاب را داراست (۱۸). دسالنگ و همکاران با استفاده از GIS و مدل HEC-RAS، نقشه‌برداری دقیق مناطق طغیانی رودخانه فتام در ایتوپی را انجام داده و پهنه‌بندی سیلابی را برای دوره‌های بازگشت مختلف ارائه کرده‌اند (۸).

این مدل‌ها در مطالعات هیدرولوژیک به‌طور گسترده استفاده شده و نقش برجسته‌ای در مدیریت بحران و سیاست‌گذاری‌های مرتبط با سیلاب ایفا می‌کنند. هَسَس - گارتیا و همکاران با به‌کارگیری معماری یادگیری

عمیق، پیش‌بینی هیدرودینامیکی سیلاب را در زمان نزدیک به واقعی انجام داده‌اند که سرعت پیش‌بینی را نسبت به مدل‌های دوبعدی بهبود بخشیده است (۱۰).

مطالعات مرتبط بر کاربرد وسیع مدل‌های هیدرولیکی و اقتصادی در مدیریت سیلاب تأکید دارند. برای نمونه، لمان و همکاران به اهمیت مدل HEC-FIA در ارزیابی داده‌های مالی و جمعیتی و فراهم‌سازی برآوردهای دقیق خسارت سیلاب اشاره کرده‌اند (۱۸). همچنین، خطک و همکاران کارایی ترکیبی مدل‌های HEC-RAS و GIS را در پهنه‌بندی مناطق در معرض خطر تأیید کرده‌اند (۱۶). پژوهش رانگاری و همکاران نیز با استفاده از مدل‌های دوبعدی هیدرولیکی، افزایش دقت در پیش‌بینی خسارت سیلابی از طریق ادغام مدل‌های هیدرولوژیک و GIS را به اثبات رسانده‌اند (۲۳). در مطالعه‌ای دیگر، مویا کیروگا و همکاران با بهره‌گیری از مدل HEC-RAS، به شبیه‌سازی سیلاب‌های آمزون پرداخته و ارزیابی دقیقی از میزان خسارت، عمق آب‌گرفتگی و سرعت جریان ارائه داده‌اند (۲۰).

مطالعات دلیران فیروز و همکاران نقش مدل HEC-FIA را در ارزیابی خسارت‌های کشاورزی، انسانی و ساختمانی ناشی از سیلاب به‌خوبی نشان داده‌اند (۷). حسن‌زاده نفری نیز با تمرکز بر ارزیابی خسارت سیل به کمک مدل HEC-FIA، مزایا و محدودیت‌های این مدل در تخمین خسارت مستقیم سیلاب را بررسی کرده است (۱۱). همچنین، پژوهش پناهی و همکاران بر اهمیت به‌کارگیری مدل‌های HEC-RAS و HEC-GEO-RAS در مدیریت مناطق سیل‌خیز تأکید دارند (۲۲). حسینی و همکاران تأثیر قدرت تفکیک مدل رقومی ارتفاع و ضرایب زبری مانینگ در دقت شبیه‌سازی‌های مدل HEC-RAS برای تعیین مناطق سیل‌خیز رودخانه کشکان را تحلیل کرده‌اند (۱۳). ابراهیم نیز شبیه‌سازی سیلاب رودخانه Sungai Buloh در مالزی را با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای LiDAR و Sentinel-1A در محیط HEC-RAS ارزیابی کرده است (۱۴).

کوته و همکاران مدل‌سازی سیلاب رودخانه گوداواری را با نرم‌افزار HEC-RAS انجام داده و اثرهای آزادسازی آب از سد

مواد و روش‌ها

این مطالعه به بررسی خسارات ناشی از سیلاب در حوضه آبخیز سمیرم پرداخته و با ترکیب داده‌های هیدرولوژیک، هیدرولیکی، اقتصادی و زمین‌شناسی، رویکردی برای مدل‌سازی و ارزیابی سیلاب ارائه می‌دهد. مراحل پژوهش شامل جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل فراوانی سیلاب، شبیه‌سازی مدل هیدرولیکی و ارزیابی خسارات ناشی از سیلاب است.

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، حوزه آبخیز سمیرم در جنوب غربی استان اصفهان است که بخشی از حوضه آبریز کارون را تشکیل می‌دهد. داده‌های ایستگاه هیدرومتری روستای رود آباد سمیرم واقع بر رودخانه رودآباد، با مختصات جغرافیایی $31^{\circ} 8' 54''$ عرض شمالی و $51^{\circ} 25' 27''$ طول شرقی قرار گرفته است و مبنای تحلیل‌های هیدرولوژیکی این پژوهش قرار گرفته‌اند.

این منطقه دارای توپوگرافی متنوعی شامل ارتفاعات بین ۱۵۰۰ تا بیش از ۳۰۰۰ متر و شیب‌های تند در نواحی کوهستانی است که تأثیر مستقیم بر رواناب سطحی و وقوع سیلاب‌های ناگهانی دارد.

شبکه آبراهه‌های این حوضه شامل رودخانه خرسان و رودخانه ونک - سولگان است که بخشی از سرشاخه‌های رودخانه کارون را تشکیل می‌دهند. این رودخانه‌ها نقش مهمی در انتقال آب و رسوبات دارند؛ اما به دلیل تغییرات کاربری اراضی و افزایش رواناب، خطر سیلاب در پایین‌دست افزایش یافته است. اقلیم منطقه سرد و خشک است، با میانگین بارندگی ۳۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر در سال که بیشتر در زمستان و بهار رخ می‌دهد. بارش‌های شدید و ناگهانی، همراه با نفوذپذیری کم خاک در نواحی خاص، موجب افزایش شدت سیلاب‌ها و تخریب اراضی کشاورزی و زیرساخت‌های منطقه شده است.

برای پایش وضعیت سیلاب، ایستگاه هیدرومتری رودآباد که در مختصات $51^{\circ} 25' 27''$ طول شرقی و $31^{\circ} 8' 54''$ عرض شمالی قرار دارد، داده‌های دبی و سطح آب رودخانه را ثبت می‌کند.

گنگاپور در دوران بارندگی موسمی را بررسی کرده‌اند (۱۷). محمدی و همکاران تخمین خسارت‌های سیل در رودخانه نکا را با مدل HEC-FDA انجام داده و خسارت سالانه مورد انتظار را بر اساس سناریوهای مختلف برآورد کرده‌اند (۱۹).

به‌طور کلی، ترکیب مدل‌های هیدرولوژیک، هیدرولیکی و اقتصادی موجب افزایش دقت در تخمین خسارات سیلاب و فراهم‌سازی زمینه برای ارائه راهکارهای عملی در کاهش خطرات ناشی از آن می‌شود. در این پژوهش، با استفاده از مدل HEC-FIA میزان خسارت‌های ناشی از سیلاب در حوضه آبخیز سمیرم تخمین زده شده و از طریق مدل‌سازی پهنه‌بندی سیلاب در محیط GIS، مناطق پرخطر شناسایی شده‌اند. هدف اصلی پژوهش، ارزیابی دقیق خسارت‌های جانی و اقتصادی سیلاب از طریق تلفیق مدل‌های HEC-FIA، HEC-RAS و GIS است. همچنین، تأثیر متغیرهای محیطی در شدت سیلاب و میزان خسارت‌های مرتبط بررسی شده است. هادسون و همکاران نیز نشان داده‌اند که نتایج چنین مطالعاتی می‌تواند به عنوان مبنایی برای بهبود مدیریت بحران، برنامه‌ریزی توسعه‌ای و کاهش آسیب‌های ناشی از سیلاب مورد بهره‌برداری قرار گیرد (۱۲).

حوزه آبخیز سمیرم به‌واسطه ویژگی‌های خاص جغرافیایی و شرایط اقلیمی، در معرض خطر زیاد سیلاب قرار دارد. بررسی دقیق خسارت‌های ناشی از سیلاب در این منطقه می‌تواند زمینه‌ساز تدوین راهبردهای پایدار برای کاهش اثرهای مخرب آن شود. وینه و همکاران (۲۴) نیز در مطالعه خود به این موضوع اشاره کرده‌اند. شورای تحقیقات ملی اشاره کرده است که بهره‌گیری از مدل‌های پیشرفته‌ای مانند HEC-FIA و HEC-RAS امکان تحلیل جامع خسارت‌های اقتصادی و جانی را فراهم کرده و می‌تواند به ارتقاء سیاست‌های مدیریت ریسک و افزایش تاب‌آوری جوامع در برابر مخاطرات طبیعی کمک کند (۲۱).

با گسترش جمعیت و توسعه زیرساخت‌های شهری در مناطق سیل‌خیز، ارزیابی دقیق خسارات سیلاب و اجرای اقدامات پیشگیرانه، نقشی کلیدی در مدیریت بحران ایفا می‌کند.

پارامترهای توزیع با استفاده از روش حداکثر درستنمایی MLE تخمین زده شدند که به دقت و پایداری نتایج کمک کرد.

مدل‌سازی جریان پایدار رودخانه

مدل‌سازی جریان پایدار به منظور تعیین توزیع عمق و سرعت جریان در رودخانه انجام شد. برای این منظور، ابتدا مدل رقومی ارتفاع DEM با استفاده از داده‌های منحنی میزان و نقاط ارتفاعی از سازمان آب منطقه‌ای استان اصفهان تهیه شد.

سپس با بهره‌گیری از افزونه RAS-MAPPER در نرم‌افزار HEC-RAS نسخه ۶.۱ مدل هندسی رودخانه شامل خط مرکزی جریان، مقاطع عرضی و سواحل تعریف شد. برای نمایش دقیق‌تر ویژگی‌های توپوگرافی و خطوط ساحلی از شبکه نامنظم مثلثی TIN استفاده شد.

در این مدل، ضرایب زبری مانینگ بر اساس اطلاعات گزارش‌های سازمان آب و بازدیدهای میدانی تعیین و به مدل اعمال شد. شرایط مرزی مانند تراز آب و شیب بستر نیز تنظیم شدند. جریان پایدار در این مدل به معنی جریان ثابت در طول زمان است که به تعیین شرایط پایه برای جریان‌های ناپایدار کمک می‌کند.

مدل‌سازی جریان ناپایدار و تحلیل رفتار سیلاب

برای شبیه‌سازی جریان ناپایدار که تغییرات زمانی جریان و دبی را در طول رودخانه مدل‌سازی می‌کند، هیدروگراف‌های سیلاب از شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان دریافت شد. در موارد نبود داده‌های هیدرومتری بالادست، از روش روندیابی ماسکینگام برای برآورد هیدروگراف استفاده شد.

این داده‌ها به مدل HEC-RAS نسخه ۶.۱ وارد و جریان ناپایدار شبیه‌سازی شد. نتایج مدل نشان‌دهنده تغییرات زمانی دبی، عمق و سرعت جریان در طول رودخانه بود که به شناسایی نقاط بحرانی و تمرکز جریان کمک کرد.

این پژوهش با هدف ارزیابی خسارت سیلاب در حوضه آبخیز سمیرم انجام شد که در آن از داده‌های هیدرومتری، تحلیل‌های آماری، مدل‌سازی هیدرولیکی جریان پایدار و ناپایدار و ارزیابی خسارت اقتصادی بهره گرفته شد.

جمع‌آوری داده‌ها

داده‌های اصلی مورد استفاده در این پژوهش شامل دبی‌های پیک لحظه‌ای رودخانه رودآباد از ایستگاه هیدرومتری سمیرم بود که از سازمان آب منطقه‌ای استان اصفهان دریافت شد. این داده‌ها بازه‌های زمانی چند دهه را پوشش می‌داد و مبنای تحلیل فراوانی و مدل‌سازی جریان قرار گرفت.

اطلاعات اقتصادی و خسارت‌های مربوط به بخش‌های کشاورزی، ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها با همکاری جهاد کشاورزی سمیرم و بازدیدهای میدانی و محلی جمع‌آوری شدند که دقت بیشتری در ارزیابی خسارت فراهم کرد.

تحلیل آماری و برازش توزیع‌های فراوانی سیلاب

برای تحلیل آماری داده‌های دبی از نرم‌افزار EasyFit استفاده شد که قابلیت برازش انواع توزیع‌های آماری و انجام آزمون‌های نکویی برازش را دارد. آمار توصیفی مانند میانگین، انحراف معیار، چولگی و کشیدگی محاسبه شد که ویژگی‌های اصلی داده‌ها را نشان داد. سپس توزیع‌های مختلف آماری مانند نرمال، لوگ - نرمال، لوگ - پیرسون نوع III، گامبل و غیره روی داده‌ها برازش و مقایسه شدند.

انتخاب بهترین توزیع بر اساس آزمون‌های کلموگروف - اسمیرنوف، کای - اسکوتر و اندرسون - دارلینگ انجام شد. در نهایت توزیع لوگ - پیرسون سه پارامتری به دلیل تطابق بیشتر با داده‌ها به عنوان مدل فراوانی سیلاب انتخاب شد که بر اساس پژوهش‌های به روز و معتبر اخیر، از جمله مطالعات چن (۵) و خلف‌الله و همکاران (۱۵)، به عنوان گزینه‌ای توصیه شده در تحلیل‌های آماری سیلاب مطرح شده است.

ارزیابی خسارت سیلاب

خروجی‌های مدل هیدرولیکی شامل عمق و پهنه سیلاب به نرم‌افزار HEC-FIA نسخه ۲.۲ منتقل شدند تا ارزیابی خسارت مستقیم سیلاب انجام شود.

اطلاعات اقتصادی که با همکاری جهاد کشاورزی سمیرم و از طریق بازدیدهای محلی به دست آمده بودند، در این مرحله به کار رفتند تا خسارت‌های وارده به بخش‌های کشاورزی، باغات، ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها به دقت برآورد شوند.

اصلاح نرخ تورم واقعی با استفاده از داده‌های اقتصادی منطقه و پارامترهای نرم‌افزار HEC-FIA انجام شد تا برآورد خسارت‌ها مطابق با شرایط اقتصادی واقعی باشد.

ارتباط بین نرم‌افزارها و مدیریت داده‌ها

ابتدا داده‌های هیدرومتری برای تحلیل آماری در نرم‌افزار EasyFit پردازش و توزیع‌های آماری فراوانی تعیین شدند.

نتایج تحلیل آماری برای تعیین دبی‌های دوره بازگشت مختلف به مدل HEC-RAS نسخه ۶.۱ به منظور شبیه‌سازی جریان پایدار و ناپایدار وارد شدند.

مدل هیدرولیکی در HEC-RAS با استفاده از داده‌های DEM و هندسه رودخانه در RAS-MAPPER ایجاد و شبیه‌سازی شد. خروجی‌های هیدرولیکی شامل پهنه‌های سیل‌گیر به نرم‌افزار HEC-FIA نسخه ۲.۲ منتقل شد تا ارزیابی خسارت‌های مستقیم انجام شود.

اعتبارسنجی و تحلیل حساسیت

نتایج مدل با داده‌های مشاهداتی و اطلاعات میدانی مقایسه و اعتبارسنجی شدند. تحلیل حساسیت پارامترهای مهم مانند ضریب زبری و شرایط مرزی انجام شد تا تأثیر آن‌ها بر نتایج جریان و پهنه سیلاب مشخص شود.

نتایج

این مطالعه داده‌های ایستگاه هیدرومتری سمیرم را به کار گرفته تا جریان ماندگار را شبیه‌سازی و رفتار هیدرودینامیکی

رودخانه رودآباد را تحلیل کند. در این پژوهش، برای انتخاب توزیع مناسب از آزمون‌های کلموگروف - اسمیرنوف، کای اسکوتر و اندرسون - دارلینگ و همچنین روش‌های بصری استفاده شد. در نهایت، با انتخاب بهترین توزیع‌ها که شامل توزیع نرمال سه‌متغیره و توزیع داگوم بودند، پارامترهای برآوردشده به کار گرفته شدند تا دبی با دوره‌های بازگشت مختلف برآورد شود. سپس، با بررسی خطای استاندارد، صحت و دقت این برآوردها ارزیابی شد و در نهایت باتوجه به مقادیر به دست آمده از توزیع‌های مختلف، مناسب‌ترین توزیع یعنی توزیع لوگ پیرسون سه‌پارامتری برای تعیین دبی با دوره بازگشت‌های مختلف انتخاب شد.

جدول ۱ جریان‌های برآوردشده با استفاده از توزیع نرمال سه‌متغیره را نمایش می‌دهد؛ درحالی‌که جدول ۲ دبی مربوط به توزیع لوگ-پیرسون را نشان می‌دهد. مقایسه این جداول نشان‌دهنده تطابق بهتر مدل لوگ-پیرسون با داده‌هاست (جدول‌های ۱ و ۲).

این پژوهش با هدف بررسی مناطق سیل‌گیر، ابتدا مورفولوژی رودخانه را با نرم‌افزار HEC-RAS و افزونه RAS-MAPPER شبیه‌سازی کرده است. سپس جریان ماندگار با تولید شبکه مثلثی نامنظم (TIN) مدل‌سازی شده تا ویژگی‌های سطح هیدرولیکی رودخانه به دقت نمایش داده شود. برای تهیه مدل رقومی ارتفاع (DTM)، داده‌های منحنی‌های میزان و نقاط ارتفاعی از سازمان آب منطقه‌ای اصفهان جمع‌آوری و پردازش شدند تا نقشه‌های دقیق سیل‌گرفتنی ایجاد شود. نسخه جدید HEC-RAS امکان‌اتی مانند ادغام کامل با RAS-MAPPER و حذف افزونه‌های جانبی را ارائه می‌دهد که مدل‌سازی سیلاب را بهینه‌تر کرده است.

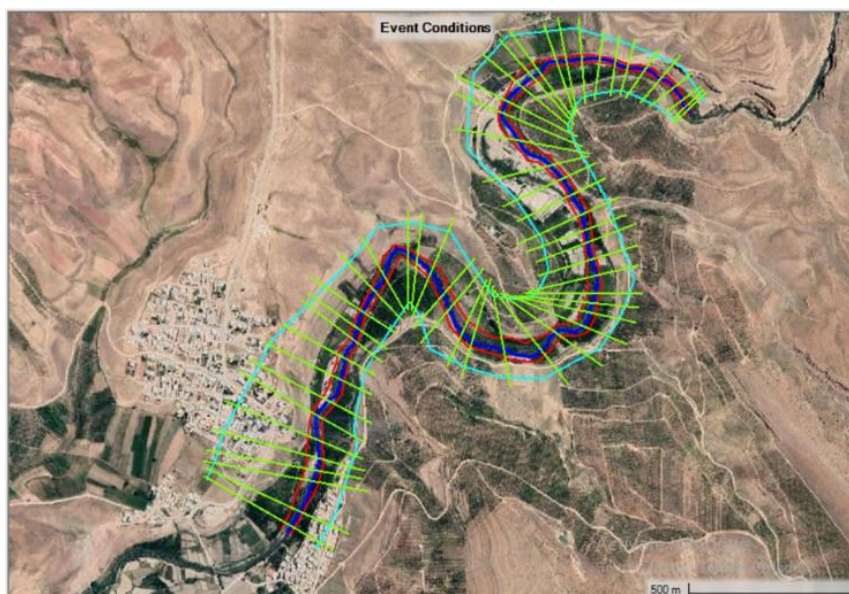
پس از وارد کردن اطلاعات هندسی رودخانه، مسیر جریان و سواحل چپ و راست مشخص شده و مقاطع عرضی برای مدل‌سازی دقیق ارتفاع و ابعاد جریان ترسیم شده که در شکل ۱ نمایی از آن را نشان می‌دهد. در نهایت، ضریب زبری مانینگ که تأثیر زیادی بر هیدرولیک جریان دارد، با داده‌های سازمان آب منطقه‌ای تنظیم شده تا دقت مدل افزایش یابد.

جدول ۱. دبی با دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از توزیع نرمال سه پارامتری

دوره بازگشت	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰
دبی	۳۴/۲۰۹	۸۱/۴۶۹	۱۳۱/۸۲	۲۲۲/۷۵	۳۱۳/۸۸	۴۲۸/۰۸	۵۶۹/۲۹	۸۰۵/۰۸	۱۰۰۷/۱

جدول ۲. دبی با دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از لوگ پیرسون

دوره بازگشت	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰
دبی	۳۶/۲۸۶	۸۱/۳۶۹	۱۲۶/۸۱	۲۰۶/۹۵	۲۸۶/۵۹	۳۸۶/۵	۵۱۰/۸۵	۷۲۱/۱۲	۹۲۲/۴۴

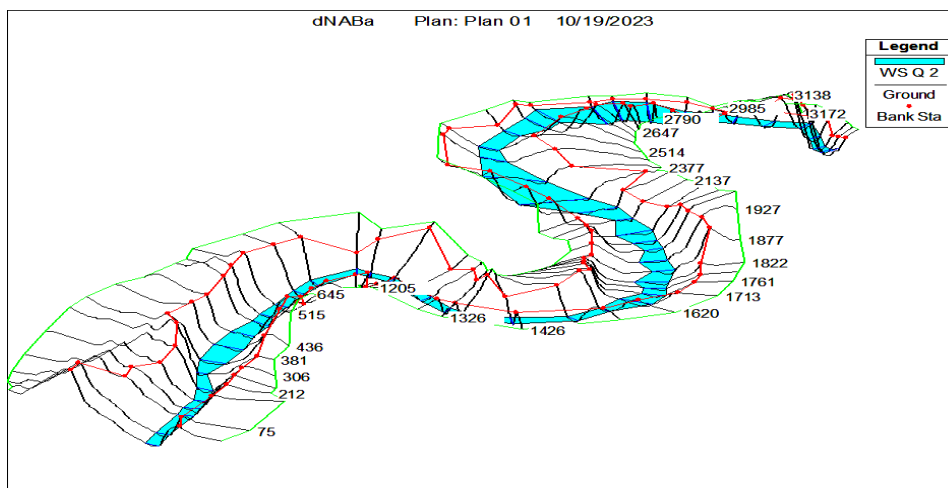


شکل ۱. نقشه رسم خط مرکزی جریان، سواحل و مقاطع رودخانه سمیرم توسط سربرگ RAS-MAPPER

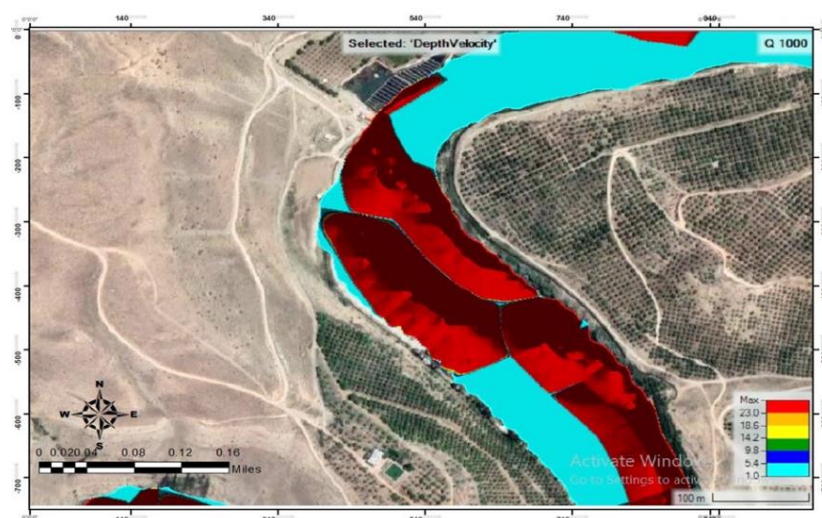
این پژوهش با استفاده از مدل‌های دقیق و داده‌های هیدرولیکی معتبر، به پهنه‌بندی مناطق سیل‌گیر پرداخته و اطلاعات ارزشمندی را برای مدیریت منابع آب و کاهش خطرات سیلاب ارائه کرده است. شکل ۲ ارائه‌دهنده نمای سه‌بعدی رودخانه سمیرم تحت شرایط جریان پایدار برای دوره بازگشت ۲ سال است که امکان بررسی دقیق‌تر رفتار هیدرولیکی رودخانه و تغییرات توپوگرافی در این بازه زمانی را فراهم می‌کند. در شکل ۳، محدوده پهنه سیل‌گیر جریان ماندگار برای دوره بازگشت ۱۰۰۰ سال از نمای نزدیک به تصویر کشیده شده است. این نمایش به ارزیابی مناطق در معرض خطر و تأثیرات احتمالی سیلاب بر کاربری‌های

زمین مجاور کمک می‌کند.

این مطالعه به بررسی شبیه‌سازی جریان ناپایدار رودخانه سمیرم پرداخته است. با استفاده از داده‌های هیدروگراف سیل و روش روندیابی ماسکینگام، جریان ورودی به نرم‌افزار HEC-RAS مدل‌سازی شد. شرایط مرزی، شامل جریان و شیب اصطکاک، به‌دقت تعریف شده و پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها، نتایج به‌صورت یک فایل رستر استخراج شد. این داده‌ها برای ارزیابی خسارات سیلاب در نرم‌افزار HEC-FIA استفاده شدند. در نهایت، نمای سه‌بعدی، پروفیل طولی رودخانه و نقشه پهنه سیل‌گیر تهیه شد که در شکل ۴



شکل ۲. نمای سه‌بعدی رودخانه سمیرم در حالت جریان پایدار دوره بازگشت ۲ سال



شکل ۳. پهنه سیل‌گیر جریان ماندگار برای دوره بازگشت ۱۰۰۰ سال از نمای نزدیک



شکل ۴. نقشه پهنه سیل‌گیر رودخانه سمیرم در حالت جریان غیر ماندگار

نتایج ارزیابی خسارت سیل با دوره‌های بازگشت مختلف که در جدول ۵ دیده می‌شود، شامل بررسی خسارت‌های وارد شده به مناطق کشاورزی، محتویات خودروها و خسارت‌های جانی تحلیل شد.

به دلیل کوهستانی بودن منطقه و قرار گرفتن روستاهای رودآباد و آب‌گرمک در ارتفاعات بالاتر از رودخانه، خسارت سیل به منازل و محتویات آن‌ها ناچیز بوده و بیشترین آسیب متوجه بخش کشاورزی و باغات اطراف رودخانه شده است. اطلاعات مربوط به خسارت ساختاری، محتویات ساختمان‌ها و ساکنان، از طریق پرسش‌نامه و داده‌های محلی جمع‌آوری و در نرم‌افزار وارد شد. نتایج خسارت ساختاری به صورت جدول ۶ ارائه شده است.

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از مدل‌های ترکیبی HEC-RAS و HEC-FIA در ارزیابی خسارت ناشی از سیل، ابزار مؤثری برای تحلیل دقیق پیامدهای سیلاب در مناطق کوهستانی مانند حوضه آبخیز سمیرم فراهم می‌آورد. مدل HEC-RAS قادر به بازسازی رفتار هیدرودینامیکی جریان در رودخانه‌های اصلی و فرعی منطقه بوده و خروجی‌های آن مانند عمق جریان، پهنه سیلاب و سرعت جریان، ورودی کلیدی برای نرم‌افزار HEC-FIA برای محاسبه خسارت مستقیم بود.

تحلیل مدل HEC-FIA نشان داد که بیشترین خسارت در مناطق کشاورزی و باغات حاشیه رودخانه متمرکز بوده که عمده‌تاً به دلیل تلاقی زیاد زمین‌های زراعی با پهنه سیلابی شبیه‌سازی شده در دوره بازگشت‌های بلندمدت بود. بر اساس یافته‌های ما، تفاوت معناداری میان خسارت وارد در بازه‌های بازگشت مختلف دیده شد؛ به طوری که در دوره بازگشت ۵۰۰ ساله، شدت خسارت زراعی تا سه برابر افزایش یافت. این نتایج با یافته‌های دلیران فیروز و همکاران (۷) که از مدل HEC-FIA در حوضه آبخیز قمصر و قهرود ایران استفاده کرده‌اند، مطابقت دارد. آنان نیز گزارش کردند که در مناطق فاقد ساختار مقاوم، خسارت زراعی در بازه‌های بلند بازگشت، سهم عمده‌ای از کل خسارت را شامل می‌شود.

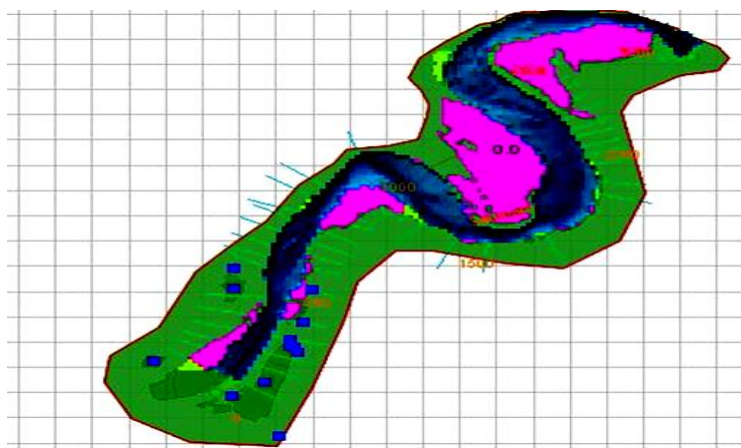
دیده می‌شود و تأثیر سیلاب بر مناطق مختلف را به خوبی نشان می‌دهد. این روش، ابزاری مؤثر برای مدیریت بحران و کاهش خسارت ناشی از سیل ارائه می‌دهد.

نتایج شبیه‌سازی خسارت ناشی از سیلاب با استفاده از نرم‌افزار HEC-FIA

در این پژوهش، پس از ورود داده‌های هندسی رودخانه، نقاط محاسبه و موقعیت‌های کاربری کشاورزی و ساختمانی، شبیه‌سازی هیدرولیکی و خسارت ناشی از سیلاب انجام شد. این تحلیل امکان بررسی دقیق تأثیر سیل بر زمین‌های کشاورزی، باغات، زیرساخت‌های ساختمانی و تلفات انسانی را فراهم کرده است. شکل ۵ نمای کاربری کشاورزی، خط مرکزی جریان، نقاط محاسبه، ناحیه تحت تأثیر سیلاب کاربری‌های ساختمانی و دیگر داده‌های کلیدی مورد استفاده در نرم‌افزار HEC-FIA را به تصویر می‌کشد.

بر اساس مدل‌سازی انجام‌شده، خسارت بخش کشاورزی شامل باغات سیب و زراعت برنج در حوضه آبخیز سمیرم، طی سیل ۲۰ اسفند ۱۳۸۴، برآورد شد. نتایج خسارت کشاورزی که در جدول ۳ نمایش داده می‌شود، نشان داد که میزان خسارت کلی به اراضی ۸۲۱ میلیارد ریال بوده که از این مقدار ۱۱۸ میلیارد ریال مربوط به باغات سیب و ۸۰۹ میلیارد ریال مربوط به زراعت برنج است. همچنین، تحلیل خسارت ساختاری نیز که در جدول ۴ قابل مشاهده است، نشان داد که در این سیل به محتویات ساختمان‌ها و خودروها ۱/۱ میلیارد ریال و به خود ساختمان‌ها ۱/۸ میلیارد ریال آسیب وارد شده است.

علاوه بر خسارات مالی، سیستم هشدار سیل داده‌های مهمی درباره سطح هشدار، زمان وقوع، مناطق تحت تأثیر و توصیه‌های کاهش خسارت ارائه کرده است. همچنین، تحلیل تلفات انسانی که در شکل ۶ قابل مشاهده است، نشان داد که در روز ۴ نفر زیر ۶۵ سال و ۱ نفر بالای ۶۵ سال در معرض خطر بوده‌اند و در شب این تعداد به ۶ نفر زیر ۶۵ سال و ۱ نفر بالای ۶۵ سال افزایش یافته است.



شکل ۵. نمای کاربری کشاورزی، خط مرکزی جریان، نقاط محاسبه، ناحیه تحت تأثیر سیلاب کاربرهای ساختمانی و دیگر اطلاعات مورد نیاز نرم افزار HEC-FIA

جدول ۳. گزارش میزان خسارت کشاورزی سال ۸۴

نام ناحیه تحت تأثیر سیلاب	میزان خسارت سیل (ریال)	مساحت سیل گیر شده (هکتار)
باغ	۱۱۸۳۸۸۵۱۶۸۰	۳/۴۰
کشاورزی	۸۰۹۲۶۰۱۰۷۳۹۰	۷/۴۰
کل	۸۲۱۰۹۸۹۵۹۰۷۰	۱۰/۸۰

جدول ۴. نتایج خسارت ساختاری سال ۸۴

خسارت وارد به خودروها (ریال)	خسارت وارد به ساختمانها (ریال)	تعداد ساختمانهای تحت تأثیر سیل	خسارت کل (ریال)
۱۱۴۶۷۸۳۱۶۰	۱۸۷۹۲۱۷۶۶۰	۱	۳۰۲۶۰۰۰۸۲۰

و همکاران (۳) به روشنی نشان داده اند که خطاهای پارامترهای ورودی (عدم قطعیت)، تأثیر قابل توجهی بر نتایج نهایی مدل دارند.

از دیگر چالشها در تحلیل نتایج، کم توجهی به خسارات غیرمستقیم نظیر آلودگی منابع آب، توقف تولید، افت ارزش زمین و مهاجرت های منطقه ای است. در این پژوهش تمرکز صرف بر ارزیابی خسارات مستقیم (به زیرساخت ها، باغات، واحدهای مسکونی) بوده که یک محدودیت مهم به شمار می رود. با توجه به اینکه برآورد دقیق خسارات غیرمستقیم نیازمند دسترسی به داده های

همچنین، مقایسه عملکرد مدل ها با مطالعات مشابه، مانند پژوهش گاروته و همکاران (۹) در حوضه شهر تاریخی زامورا در اسپانیا که با به کارگیری مدل HEC-RAS نشان دادند کالیبراسیون دقیق ضریب زبری مانینگ و به روزرسانی نقشه رقومی ارتفاعات (DEM) می تواند به طور قابل توجهی دقت نقشه های پهنه بندی سیلاب را بهبود بخشد، نیز تأییدکننده این موضوع است. یافته های ما نیز از این مسئله حمایت می کند؛ به طوری که تغییر در ضریب مانینگ حتی به میزان ۰/۰۲ موجب تغییر حدود ۱۵٪ در وسعت پهنه سیل گیر شد. الرماحی

● PAR	5	100%	1	100%	9	100%	1	100%
Received Warning	4	80%	1	100%	6	67%	1	100%
Mobilized	4	78%	1	98%	6	65%	1	98%
Total Cleared	4	78%	1	98%	6	65%	1	98%
● Started Inun...	0	0	0	0	0	0	0	0
Caught	0	0	0	0	0	0	0	0
● Survived	0	0	0	0	0	0	0	0
● Lost Life	0	0	0	0	0	0	0	0
● Not Mobilized	0	2%	0	2%	0	1%	0	2%
● Depth < Non Evacu...	0	0	0	0	0	0	0	0
Not Mobilized	0	2%	0	2%	0	1%	0	2%
● Warned	0	2%	0	2%	0	1%	0	2%
● Not Warned	0	0	0	0	0	0	0	0
In Buildings	0	2%	0	2%	0	1%	0	2%
1 Story	0	2%	0	2%	0	1%	0	2%
2 Story	0	0	0	0	0	0	0	0
● Survived	0	0	0	0	0	0	0	0
● Lost Life	0	0	0	0	0	0	0	0
3 Story	0	0	0	0	0	0	0	0
● Survived	0	0	0	0	0	0	0	0
● Lost Life	0	0	0	0	0	0	0	0
Initial Condition								
● Started Inundated	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Cleared	4	78%	1	98%	6	65%	1	98%
● Warned/Mobilized/...	4	78%	1	98%	6	65%	1	98%
● Depth < Non Evacu...	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Life Loss	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
● In Buildings	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%

شکل ۶. ارزیابی خسارت انسانی ناشی از سیل

جدول ۵. خسارت دوره بازگشت‌های مختلف سیل

دوره بازگشت	زیان وارده به محصولات کشاورزی و باغی
۱۰۰۰	۱۴۲۷۲۲۶۵۵۳۸۰۰
۵۰۰	۱۲۰۸۰۳۰۷۵۴۰۰۰
۲۰۰	۱۰۰۹۰۰۹۷۶۱۰۰۰
۱۰۰	۹۰۸۵۰۷۲۳۸۰۰۰
۵۰	۸۹۵۳۴۳۹۸۳۰۰۰
۲۵	۷۷۴۶۹۲۶۳۶۰۰۰
۱۰	۶۳۲۴۶۲۹۵۴۰۰۰
۵	۵۹۸۹۰۰۸۴۲۰۰۰
۲	۴۷۷۱۴۶۸۴۹۰۰۰

جدول ۶. خسارت ساختاری دوره بازگشت مختلف سیل

دوره بازگشت	خسارت کل (ریال)	تعداد ساختمان‌های تحت تأثیر سیل	خسارت وارد به ساختمان‌ها (ریال)	خسارت وارد به محتویات و خودروها (ریال)
۱۰۰۰	۴۴۹۴۶۳۶۶۲۶۰	۲	۲۶۶۸۱۵۴۲۵۰۰	۱۸۲۶۴۸۲۳۷۶۰
۵۰۰	۳۳۲۷۳۴۵۳۰۰۰	۲	۱۹۴۷۸۵۷۲۳۶۰	۱۳۷۹۴۸۸۰۶۴۰
۲۰۰	۲۰۱۹۸۴۵۰۸۴۰	۲	۱۱۲۴۱۸۲۳۲۴۰	۸۹۵۶۶۲۷۶۰۰
۱۰۰	۱۲۰۵۳۷۷۹۲۰۰	۲	۷۲۱۵۵۲۶۱۶۰	۴۸۳۸۲۵۳۰۴۰
۵۰	۵۰۲۶۵۹۳۳۴۰	۲	۳۰۷۶۲۲۴۹۰۰	۱۹۵۰۳۶۸۴۴۰
۲۵	۱۱۴۲۵۹۷۸۲۰	۱	۷۰۷۳۲۲۴۶۰	۴۳۵۲۷۵۳۶۰
۱۰	۰	۱	۰	۰
۵	۰	۱	۰	۰
۲	۰	۰	۰	۰

ثبتي در سطح ملي و منطقه‌اي است، پيشنهاده مي‌شود در مطالعات آتي اين دسته از آثار با همكاري نهادهاي اقتصادي و اجتماعي بررسي شود.

نكته مهم ديگر، اصلاح نرخ تورم براي سال پايه خسارت‌ها بود. در اين پژوهش، نرخ تورم سال ۱۳۸۴ (سال وقوع سيلاب) بر اساس شاخص تورم سالانه اعلام شده توسط بانک مركزي و معادل‌سازي با سال ۱۴۰۳ لحاظ شد تا ارزش اقتصادي خسارات با قيمت‌هاي جاري بيان شود. اين رويکرد با روش‌هاي پيشنهاده شده در مطالعات بين‌المللي، مانند پژوهش آشتاد و همكاران (۴) كه بر نرمال‌سازي و تطبيق اقتصادي خسارات ناشي از بلاياي طبيعي با شرايط اقتصادي كنوني تأكيد دارند، هم‌راستاست.

در نهايت، يافته‌ها تأكيد دارند كه پيوند خروجي‌هاي مدل HEC-RAS و HEC-FIA، ابزار توانمندی براي تحليل چندبعدي ريسك سيلاب فراهم کرده و به تصميم‌گيران در زمينه تدوين استراتژي‌هاي کاهش خسارت كمك مي‌كند؛ اما براي افزايش دقت، اعتبارسنجي نتايج با سيلاب‌هاي تاريخي مشابه، توسعه مدل‌ها به منظور برآورد خسارات غيرمستقيم، و

لحاظ سناريوهاي تغيير اقليم در دوره‌هاي بازگشت سيلاب ضروري است.

نتيجه‌گيري

پژوهش حاضر با هدف ارزيابي خسارات سيلاب در حوضه آبخيز سميرم با استفاده از مدل‌هاي هيدروليكي HEC-RAS و HEC-FIA انجام شد. نتايج مدل‌سازي نشان داد كه بيشترين ميزان خسارات در بخش كشاورزي و باغات رخ داده و ميزان خسارات با افزايش دوره بازگشت سيلاب به‌طور چشمگيري افزايش مي‌يابد.

مهم‌ترين يافته‌ها شامل موارد زير است:

مدل HEC-RAS به‌خوبي توانست الگوي گسترش سيلاب در منطقه را در شرايط جريان ماندگار و ناپايدار بازسازي كند.

خروجي‌هاي اين مدل در قالب نقشه‌هاي پهنه سيلابي وارد HEC-FIA شده و خسارات اقتصادي مستقيم محاسبه شد.

دقت مدل به‌شدت وابسته به كيفيت داده‌هاي ورودی نظير DEM، ضريب زبري و صحت هيدروگراف‌هاي ورودی بود.

استفاده از مدل‌های عددی در مدیریت سیلاب به‌ویژه در مناطق مستعد، امکان تحلیل دقیق‌تر و تصمیم‌گیری اثربخش‌تر را فراهم می‌آورد. یافته‌های این پژوهش می‌تواند به‌عنوان پایه‌ای برای سیاست‌گذاری پایدار در مدیریت ریسک سیلاب استفاده شود.

سپاسگزاری

از سازمان آب منطقه‌ای اصفهان صمیمانه سپاسگزارم که با حمایت مالی و ارائه اطلاعات ارزشمند، امکان اجرای این پژوهش را فراهم کرد. تعهد و همکاری آن مجموعه در پیشبرد تحقیقات علمی و بهبود مدیریت منابع آب، نقش بسزایی در توسعه پایدار منطقه دارد.

تحلیل‌ها نشان دادند که در مناطق فاقد سازه‌های مقاوم، حتی سیلاب‌های با دوره بازگشت کم می‌توانند خسارات سنگینی وارد کنند.

با وجود دقت زیاد مدل، محدودیت‌هایی مانند عدم تحلیل خسارات غیرمستقیم، وابستگی به صحت داده‌ها و عدم امکان لحاظ مستقیم تغییرات اقلیمی وجود داشت. برای توسعه آینده، پیشنهاد می‌شود:

۱- اعتبارسنجی مدل‌ها با داده‌های واقعی از رخداد‌های تاریخی مشابه انجام شود.

۲- سناریوهای تغییر اقلیم در تحلیل دوره‌های بازگشت وارد شود.

۳- مدل برای برآورد سایر آثار سیلاب نظیر فرسایش خاک، آلودگی منابع آب و خسارات غیرمستقیم توسعه یابد.

References

منابع مورد استفاده

- Adane, A. and B. Abate. 2022. River modeling for flood inundation map predictions using 2D-HEC-RAS hydraulic modeling with integration of GIS. *ASEAN Engineering Journal* 12(1): 9–15.
- Aitsi Selmi, A., S. Egawa, H. Sasaki, C. Wannous and V. Murray. 2015. The Sendai Framework for disaster risk reduction: Renewing the global commitment to people's resilience, health, and well being. *International Journal of Disaster Risk Science* 6(2): 164–176.
- Alrammahi, F. S., Q. H. M. Al-Madhlom and S. A. Jassim. 2025. Evaluation of Manning's coefficients for the Al-Adhaim River Basin in Iraq utilizing modern techniques. *Engineering, Technology and Applied Science Research* 15(2): 21618–21626.
- Alstadt, B., A. Hanson and A. Nijhuis. 2022. Developing a global method for normalizing economic loss from natural disasters. *Natural Hazards Review* 23(1): 04021059.
- Chen, B., W. F. Krajewski, F. Liu, W. Fang and Z. Xu. 2017. Estimating instantaneous peak flow from mean daily flow. *Hydrology Research* 48(6): 1474–1488.
- Chen, Z., J. Zhou and Q. Chen. 2023. Research and application of the calculation method of river roughness coefficient with vegetation. *Water* 15(14): 2638.
- Daliran Firouz, H., F. Mokhtari, S. Soltani and S. A. R. Mousavi. 2016. Flood Damage Assessment in Ghamsar and Ghohrood Watershed Basins Using HEC-FIA. *Journal of Water and Soil Science* 19(74): 63–76 (in Farsi).
- Deesalegn, H. and A. Mulu. 2021. Mapping flood inundation areas using GIS and HEC RAS model at Ftam River upper Buy Basin, Ethiopia. *Scientific African* 12(1): e00834.
- Garrote Revilla, J., M. González Jiménez, C. Guardiola-Albert and A. Díez Herrero. 2021. The Manning's Roughness Coefficient Calibration Method to Improve Flood Hazard Analysis in the Absence of River Bathymetric Data: Application to the Urban Historical Zamora City Centre in Spain. *Applied Sciences* 11(19): 9267. <https://doi.org/10.3390/app11199267>
- Haces-Garcia F., N. Maslennikova, C. L. Glennie, H. S. Rifai, V. Hoskere and N. Ekhtari. 2023. Deep learning hydrodynamic forecasting for flooded region assessment in near-real-time (DL Hydro-FRAN). *arXiv preprint arXiv:2305.12052*. <https://arxiv.org/abs/2305.12052>
- Hasanzadeh Nafari, M. 2014. Flood damage assessment with the help of HEC-FIA model. Master Thesis, Politecnico di Milano. Milano, Italy. <https://hdl.handle.net/10589/86182>.
- Hudson, P. and W. W. Botzen. 2019. Cost-benefit analysis of flood zoning policies: A review of current practice. Wiley Interdisciplinary Reviews. *Water* 6(6): e1387.
- Hussein, S. M., N. Ashtray and A. Shabani Araghi. 2021. The impact of resolution DEM and Manning roughness coefficients of the model HEC RAS WMS in determining flood risk areas (Kashan River). *Geographical Planning of Space* 11(41): 95–110.

14. Ibrahim P. E. 2024. Assessment of flood simulation accuracy: comparative analysis of HEC-RAS with LiDAR and Sentinel-1A data. Bachelor Thesis, Universiti Teknologi MARA, Shah Alam, Malaysia. <https://ir.uitm.edu.my/id/eprint/102217>
15. Khalfallah, C. B. and S. Saidi. 2018. Spatiotemporal floodplain mapping and prediction using HEC RAS GIS tools: Case of the Mejerda River, Tunisia. *Journal of African Earth Sciences* 142: 44–51.
16. Khattak, M. S., F. Anwar, T. U. Saeed, M. Sharif, K. Sheraz and A. Ahmed. 2016. Floodplain mapping using HEC RAS and ArcGIS: A case study of Kabul River. *Arabian Journal for Science and Engineering* 41(4): 1375–1390.
17. Kute, S., S. Kakad, V. Bhoje and A. Walunj. 2014. Flood modeling of River Godavari using HEC RAS. *International Journal of Research in Engineering and Technology* 3(09): 81–87.
18. Lehman, W. and M. Light. 2016. Using HEC FIA to identify indirect economic losses. In: E3S Web of Conferences (3rd European Conference on Flood Risk Management).
19. Mohammadi, S. A., M. Nazariha and N. Mehrdadi. 2014. Flood damage estimate (quantity), using HEC FDA model. Case study: The Neka River. *Procedia Engineering* 70: 1173–1182.
20. Moya Quiroga, V. and A. Mano. 2016. Application of 2D numerical simulation for the analysis of the February 2014 Bolivian Amazonia flood: Application of the new HEC RAS version 5. *Revista Iberoamericana del Agua (RIBAGUA)* 3(1): 25–33.
21. National Research Council. 1993. Soil and Water Quality: An Agenda for Agriculture. National Academies Press, Washington.
22. Panahi, R. and M. M. Hoseinzadeh. 2021. Zoning and geomorphological analysis of the Dinvar River flood in Kermanshah Province using the HEC RAS model. *Journal of Geography and Natural Hazards* 9(4): 45–64 (in Farsi).
23. Rangari, V. A., N. Umamahesh and C. Bhatt. 2019. Assessment of inundation risk in urban floods using HEC RAS 2D. *Modeling Earth Systems and Environment* 5(4): 1839–1851.
24. Vinet, F. 2017. Flood impacts on loss of life and human health. PP. 33-51. In: F. Vinet (Ed.), *Floods*, Elsevier, Amsterdam.