Journal of Iranian Water Engineering Research

Research Article, P. 91-105

https://doi.org/10.22034/ijwer.2026.582802.1134

Development of a flood crisis management framework: a comparison of 1D and 2D HEC-RAS models

Seyed Hossein Mohajeri[1*], Saeed Kazemi Mohsen Abadi[2]

[1]Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kharazmi University,Tehran, Iran
[2]Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Buin Zahra Branch, Islamic Azad University, Buin Zahra, Iran

Corresponding Author's E-mail: Hossein.mohajeri@khu.ac.ir

Received: **27 May 2026** Accepted: **09 Aug. 2026**
Revised: **07 Aug. 2026** Published: **25 Mar. 2025**

Homepage: ijwer.uoz.ac.ir

Abstract: Floods are destructive natural hazards that can cause extensive human, financial, and environmental losses. Flood zoning for different return periods is an important tool for risk reduction, land management, and crisis decision-making. This study compares one-dimensional and two-dimensional HEC-RAS models for flood simulation along a reach of the Shor Eshtehard River in Alborz Province. Simulations were conducted for 25-, 50-, 100-, and 200-year return periods, and model execution time, flood travel time, inundation extent, and inundation area were analyzed. The results showed that the one-dimensional model was computationally faster, with execution times 77.24%, 79.16%, 67.55%, and 63.77% lower than the two-dimensional model. However, the two-dimensional model provided more detailed spatial representation of inundation and was more suitable for hazard mapping and operational flood crisis management.

Keywords: Flood crisis management; flood mapping; one-dimensional modelling; two-dimensional modelling; Shor Eshtehard River.

Introduction: Floods are among the most destructive natural hazards and can cause severe human, financial, environmental, agricultural, and infrastructural damages within a short period. Hydraulic modelling and flood inundation mapping play a central role in transforming technical hydrological data into practical information for crisis managers (UNDRR, 2015). Outputs such as inundation extent, inundated area, flood travel time, flow depth, and velocity can support flood hazard zoning, identification of critical areas, prioritization of evacuation zones, estimation of warning time, and operational emergency response (Merz et al., 2007).

HEC-RAS is a widely used hydraulic modelling tool that allows both one-dimensional and two-dimensional flood simulations. One-dimensional models are generally faster, simpler, and require less computational effort, making them useful for rapid preliminary assessments and scenario screening. In contrast, two-dimensional models provide a more realistic spatial representation of flow distribution over the river channel and floodplain but require more detailed topographic data and longer computational time (Samarasinghe et al., 2022).

The main objective of this study is to develop a flood crisis management framework based on the comparison of one-dimensional and two-dimensional HEC-RAS models. The study evaluates how outputs from these modelling approaches can be interpreted and used for flood warning, hazard mapping, evacuation planning, and operational decision-making. The case study is a reach of the Shor Eshtehard River in Alborz Province, Iran.

Methodology: The study was conducted on a 13-km reach of the Shor Eshtehard River, a seasonal river in northern Eshtehard, Alborz Province. HEC-RAS modelling was based on the governing equations of unsteady flow. The one-dimensional model represented the river along its main flow direction using cross sections, simplifying lateral variations in flow depth, velocity, and water-surface elevation, whereas the two-dimensional model represented the river and adjacent floodplain using a computational mesh.

Input data included geometry, cross sections, topographic and digital elevation data, Manning's coefficients, flood

hydrographs, and upstream and downstream boundary conditions. Flood hydrographs and normal depth were applied as the upstream and downstream boundary conditions, respectively. Simulations were conducted for 25-, 50-, 100-, and 200-year floods, with corresponding peak discharges of 119, 158.5, 208.1, and 270.7 m^3/s, respectively, as summarized inTable 2.

The outputs of the one-dimensional and two-dimensional models were compared such as model execution time, flood travel time, inundation extent, and inundated area. These outputs were then interpreted from a flood crisis management perspective. In this framework, model execution time was considered important for rapid assessment and real-time decision support. Flood travel time was interpreted as an indicator of warning time and evacuation opportunity. Inundation extent and inundated area were used to identify exposed and critical zones. Flow depth and velocity were considered important for evaluating hazard intensity, evacuation priority, and operational response planning.

Results and Discussion: The results revealed clear differences between the one-dimensional and two-dimensional HEC-RAS models in terms of computational performance and representation of flood inundation. The one-dimensional model required substantially less execution time for all return periods, with reductions of 77.24%, 79.16%, 67.55%, and 63.77% for the 25-, 50-, 100-, and 200-year floods, respectively. These substantial reductions in computational time indicate that the one-dimensional model is more suitable for rapid preliminary analysis, scenario screening, comparison of different flood scenarios, and time-sensitive decision-making.

However, the two-dimensional model provided a more realistic spatial representation of flood inundation. The simulated inundation extent and inundated area were generally larger than those predicted by the one-dimensional model. In the one-dimensional approach, a single water-surface elevation is assigned to each cross section and extended laterally across the floodplain. This simplification may result in an inaccurate representation of inundation boundaries, particularly in areas characterized by complex topography or significant lateral flood spreading. In contrast, the two-dimensional model computes hydraulic variables at the computational-cell level, enabling a more accurate simulation of local flow paths, lateral flood movement, and spatial variations in flow depth and velocity across the river and floodplain.

Flood travel time decreased with increasing return period in both models, indicating that more severe flood events move faster through the river reach. Consequently, the available time for flood warning, evacuation, and emergency response decreases as flood severity increases. Therefore, flood travel time should be considered an important indicator in flood warning systems, evacuation planning, and emergency response activities.

Overall, the results indicate that the one-dimensional model is better suited for rapid assessment and comparison of flood scenarios, whereas the two-dimensional model is preferable when detailed spatial information is required for flood hazard mapping and operational flood crisis management.

Conclusion: This study compared one- and two-dimensional HEC-RAS models for 25-, 50-, 100-, and 200-year floods along a 13-km reach of the Shor Eshtehard River and developed a practical flood crisis management framework. The one-dimensional model was computationally faster and more economical, making it suitable for rapid preliminary assessment, scenario screening, and early decision support. Conversely, the two-dimensional model provided more accurate spatial information on inundation extent, area, depth, and velocity, supporting detailed hazard mapping, vulnerable-zone identification, evacuation prioritization, and operational planning. Flood travel time decreased with increasing flood severity, reducing warning and evacuation opportunities and highlighting its importance in crisis management. The proposed framework therefore integrates both models: one-dimensional modelling for rapid screening and two-dimensional modelling for detailed hazard assessment and operational decisions. Model selection should consider study objectives, spatial accuracy, available time, input-data quality, and management requirements, thereby strengthening preparedness, warning, evacuation planning, and risk-informed management.

© 2025 University of Zabol, Zabol, Iran.

This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

نشریه علمی
پژوهش‌های مهندسی آب ایران

مقاله پژوهشی، ص ۱۰۵-۱۹

https://doi.org/10.22034/ijwer.2026.582802.1134

توسعه چارچوب مدیریت بحران سیلاب بر پایه مقایسه مدل‌های یک‌بعدی و دوبعدی HEC-RAS

سید حسین مهاجری[1*]، سعید کاظمی محسن آبادی[2]

[1]دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

[2]استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد بوئین زهرا، دانشگاه آزاد اسلامی، بوئین زهرا، ایران

پست الکترونیکی نگارنده مسئول: Hossein.mohajeri@khu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۱۸
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۵/۰۵/۱۶ تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۰۱/۰۵

وبگاه نشریه: ijwer.uoz.ac.ir

چکیده: سیل از جمله مخاطرات طبیعی مخرب است که می‌تواند خسارات جانی، مالی و زیست‌محیطی گسترده‌ای ایجاد کند. پهنه‌بندی سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف، ابزاری مهم برای کاهش ریسک، مدیریت اراضی و پشتیبانی از تصمیم‌گیری در مدیریت بحران محسوب می‌شود. در این پژوهش، مدل‌های یک‌بعدی و دوبعدی HEC-RASبرای شبیه‌سازی سیلاب در بازه‌ای از رودخانه شور اشتهارد واقع در استان البرز مقایسه شدند. شبیه‌سازی‌ها برای دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله انجام شد و خروجی‌هایی شامل زمان اجرای مدل، زمان سیر موج سیل، محدوده غرق‌شدگی و مساحت غرق‌شدگی مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل یک‌بعدی از نظر زمان محاسباتی سریع‌تر است؛ به‌طوری‌که زمان اجرای آن در دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله به‌ترتیب ۷۷.۲۴، ۷۹.۱۶، ۶۷.۵۵ و ۶۳.۷۷ درصد کمتر از مدل دوبعدی بود. در مقابل، مدل دوبعدی به دلیل نمایش دقیق‌تر توزیع مکانی جریان، محدوده و مساحت غرق‌شدگی بیشتری را نشان داد و برای شناسایی پهنه‌های در معرض خطر سیلاب مناسب‌تر بود. همچنین، کاهش زمان سیر سیل در سناریوهای شدیدتر نشان‌دهنده کاهش فرصت هشدار و تخلیه اضطراری است. بر این اساس، یک چارچوب پیشنهادی برای مدیریت بحران سیلاب بر پایه خروجی‌های مدل‌های یک‌بعدی و دوبعدی HEC-RAS[1] ارائه شد. در این چارچوب، مدل یک‌بعدی برای ارزیابی سریع اولیه و مدل دوبعدی برای تهیه نقشه خطر، شناسایی مناطق بحرانی و پشتیبانی از تصمیم‌گیری عملیاتی پیشنهاد می‌شود.

کلیدواژه‌ها: مدیریت بحران سیلاب، پهنه‌بندی سیلاب، مدل‌سازی یک‌بعدی، مدل‌سازی دوبعدی، رودخانه شور اشتهارد.

۱- مقدمه

سیلاب یکی از مهم‌ترین و مخرب‌ترین مخاطرات طبیعی است که می‌تواند در مدت زمانی کوتاه خسارات گسترده‌ای به سکونتگاه‌های انسانی، زیرساخت‌ها، اراضی کشاورزی، شبکه‌های حمل‌ونقل و فعالیت‌های اقتصادی وارد کند.

[1] Hydrologic Engineering Center's River Analysis System

ماهیت ناگهانی بسیاری از رخدادهای سیلابی سبب می‌شود مدیریت این پدیده صرفاً به اقدامات سازه‌ای محدود نباشد و اقدامات پیشگیرانه، آمادگی، هشدار، پاسخ اضطراری و برنامه‌ریزی برای کاهش خسارت را نیز دربرگیرد. مدیریت بحران سیلاب زمانی اثربخش خواهد بود که تصمیم‌گیران پیش از وقوع یا در مراحل اولیه رخداد، اطلاعات مکانی و زمانی قابل اعتماد درباره محدوده گسترش سیلاب، زمان رسیدن موج سیل، عمق و سرعت جریان و مناطق در معرض خطر در اختیار داشته باشند. تجربه نشان داده است که احداث سازه در مسیر رودخانه‌ها به‌تنهایی قادر به جلوگیری از خسارات سیل نیست و مدیریت کاربری اراضی، پهنه‌بندی خطر، سامانه‌های هشدار، برنامه‌ریزی تخلیه اضطراری و افزایش تاب‌آوری جوامع محلی نیز باید مورد توجه قرار گیرد. در همین راستا، مدیریت یکپارچه سیلاب در سطح جهانی مطرح شده است (Vatan Fada et al., 2009) و چارچوب سندای بر شناخت خطر، تقویت حکمرانی ریسک، سرمایه‌گذاری برای تاب‌آوری و افزایش آمادگی برای پاسخ مؤثر تأکید دارد.(UNDRR, 2015)

در مدیریت بحران سیلاب، نقشه‌های پهنه‌بندی و نتایج مدل‌سازی هیدرولیکی نقش مهمی در تبدیل داده‌های فنی به اطلاعات قابل استفاده برای تصمیم‌گیری دارند. خروجی‌هایی مانند محدوده و مساحت غرق‌شدگی، عمق و سرعت جریان و زمان سیر موج سیل می‌توانند مبنایی برای تعیین سطح خطر، شناسایی پهنه‌های بحرانی، اولویت‌بندی تخلیه، تعیین زمان هشدار و برنامه‌ریزی پاسخ اضطراری باشند. تحلیل سیلاب در مقیاس محلی نیز باید علاوه بر محدوده غرق‌شدگی، تفسیر مدیریتی خطر، آسیب‌پذیری و پیامدهای احتمالی را دربرگیرد.(Merz et al., 2007)

ابزارهای عددی مختلف امکان مدل‌سازی رودخانه‌ها و سیلاب‌دشت‌ها را با رویکردهای یک‌بعدی، دوبعدی و سه‌بعدی فراهم می‌کنند .(Arash & Yasi, 2023) مدل‌های یک‌بعدی به دلیل سادگی، سرعت اجرا و نیاز محاسباتی کمتر برای ارزیابی سریع اولیه، بررسی سناریوهای متعدد و تصمیم‌گیری در زمان محدود اهمیت دارند (Ahmad & Simonovic, 1999). با این حال، انتخاب ساختار مدل بر کیفیت نقشه خطر، برآورد زمان هشدار، شناسایی مناطق پرخطر و قابلیت استفاده از نتایج در تصمیم‌گیری عملیاتی اثرگذار است .(Jamali et al., 2019) در مدل‌سازی یک‌بعدی، رودخانه با مقاطع عرضی در امتداد مسیر جریان نمایش داده می‌شود، درحالی‌که در مدل دوبعدی رودخانه و سیلاب‌دشت به‌صورت شبکه‌ای از سلول‌های محاسباتی تعریف می‌شوند که توپوگرافی کانال و اراضی پیرامونی را با جزئیات بیشتری نمایش می‌دهد (Horritt & Bates, 2002; Crispino et al., 2015). بنابراین، در سیستم‌های پیچیده با گسترش جانبی سیلاب، تغییرات مکانی سرعت و مسیرهای فرعی جریان، مدل دوبعدی می‌تواند نمایش واقع‌بینانه‌تری از الگوی جریان، عمق و سرعت و محدوده غرق‌شدگی ارائه دهد.(Horritt & Bates, 2002; Dimitriadis et al., 2016)

مطالعات مختلف این تفاوت‌ها را بررسی کرده‌اند. محمدی و همکاران (۱۴۰۱) در رودخانه قوشقرای آذرشهر نشان دادند که مدل دوبعدی HEC-RAS در برآورد تراز سطح آب و محدوده سیلاب دقت بیشتری نسبت به مدل یک‌بعدی دارد Alruzuq and Mossa (2026) .با استفاده از HEC-RAS دوبعدی و داده‌های توپوگرافی با تفکیک‌پذیری بالا نشان دادند که تلفیق مدل‌سازی هیدرودینامیکی و سنجش از دور، دقت تعیین محدوده و عمق غرق‌شدگی و اعتبارسنجی مدل را افزایش می‌دهد Çelik et al. (2025) . با مقایسه مدل کوپل‌شده یک‌بعدی-دوبعدی و مدل کاملاً دوبعدی HEC-RAS نشان دادند که مدل دوبعدی، به‌ویژه در شرایط توپوگرافی و هیدرولیکی پیچیده، در شبیه‌سازی الگوی جریان، توزیع عمق و محدوده غرق‌شدگی دقیق‌تر است و انتخاب مدل باید بر اساس اهداف مطالعه، ویژگی‌های هیدرولیکی، دقت مورد انتظار و هزینه محاسباتی انجام شود Costabile et al. (2025) .نیز با استفاده از داده‌های SAR نشان دادند که مدل کاملاً دوبعدی در شبیه‌سازی مرز گسترش سیلاب و توزیع مکانی آبگرفتگی در مناطق پیچیده عملکرد بهتری دارد و داده‌های مشاهداتی قابلیت اطمینان نتایج را افزایش می‌دهند.

Gupta et al. (2025) در مطالعه‌ای مروری نشان دادند که توسعه HEC-RAS موجب بهبود دقت، انعطاف‌پذیری و کارایی شبیه‌سازی‌های یک‌بعدی، دوبعدی و کوپل‌شده شده و کاربرد آن را در پیش‌بینی سیلاب، پهنه‌بندی خطر و

تصمیم‌گیری مدیریت بحران افزایش داده است Godara et al. (2024) در مقایسه HEC-RAS 2D و TELEMAC-2D نشان دادند که هر دو مدل در شبیه‌سازی سیلاب‌های ناشی از بارش کوتاه‌مدت عملکرد قابل قبولی دارند، اما انتخاب مدل باید متناسب با نوع رخداد، ویژگی‌های حوضه و هدف مطالعه باشد Rios Arboleda (2023). نیز نشان داد که اگرچه مدل‌های یک‌بعدی و دوبعدی در بازه‌های مستقیم و نسبتاً یکنواخت نتایج مشابهی برای عمق و سرعت ارائه می‌دهند، مدل دوبعدی در تعیین محدوده غرق‌شدگی و توزیع عمق دقیق‌تر است.

قابلیت مدل دوبعدی HEC-RAS Bhandari et al. (2017) را در نمایش تغییرات زمانی و مکانی سطح آب، عمق و سرعت جریان نشان دادند Samarasinghe et al. (2022). نیز با مقایسه مدل‌های دوبعدی و ترکیبی یک‌بعدی/دوبعدی و ارزیابی با داده‌های مشاهده‌ای و ماهواره‌ای نشان دادند که ساختار ترکیبی می‌تواند دقت پیش‌بینی جریان و طغیان را در رخدادهای واقعی افزایش دهد Panahi et al. (2021). نیز نشان دادند تغییرات هندسی رودخانه، ضریب خمیدگی و شیب بستر می‌تواند موجب گسترش متفاوت پهنه سیلاب شود. با وجود این، بخش قابل توجهی از پژوهش‌ها بر جنبه فنی مدل‌سازی و تعیین محدوده غرق‌شدگی متمرکز بوده و کمتر به کاربرد نتایج مدل‌های یک‌بعدی و دوبعدی در چارچوب تصمیم‌گیری مدیریت بحران، هشدار، اولویت‌بندی تخلیه و کاهش خسارت پرداخته‌اند.

بر این اساس، هدف پژوهش حاضر توسعه یک چارچوب تصمیم‌یار برای مدیریت بحران سیلاب بر پایه مقایسه مدل‌های یک‌بعدی و دوبعدی HEC-RAS در رودخانه شور اشتهارد است. زمان اجرای مدل، زمان سیر موج سیل، محدوده و مساحت غرق‌شدگی در دوره‌های بازگشت مختلف و کاربرد نتایج در تصمیم‌گیری مدیریت بحران ارزیابی می‌شوند. نوآوری پژوهش، تبدیل تفاوت‌های عملکردی و خروجی‌های هیدرولیکی دو مدل به چارچوبی برای انتخاب مدل متناسب با نیاز مدیریتی است؛ به‌گونه‌ای که مدل یک‌بعدی برای ارزیابی سریع و غربالگری اولیه و مدل دوبعدی برای تحلیل مکانی تفصیلی، پهنه‌بندی خطر و برنامه‌ریزی عملیاتی به‌کار گرفته شود. همچنین، زمان سیر موج سیل، محدوده و مساحت غرق‌شدگی و توزیع عمق و سرعت جریان به‌عنوان شاخص‌هایی برای فرصت هشدار، شناسایی پهنه‌های در معرض خطر، اولویت‌بندی تخلیه و تصمیم‌گیری اضطراری تفسیر می‌شوند. بنابراین، چارچوب پیشنهادی استفاده مکمل از مدل‌های یک‌بعدی و دوبعدی را بر اساس هدف مدیریتی، زمان در دسترس و سطح جزئیات مورد نیاز پیشنهاد می‌کند.

۲- مواد و روشها

۲-۱- محدوده مورد مطالعه

رودخانه شور اشتهارد واقع در استان البرز، رودخانهای است فصلی که در شمال اشتهارد و از غرب به شرق جریان دارد.

در این مقاله، بخشی از رودخانه به طول ۱۳ کیلومتر که در بین طول های جغرافیایی "۵۰°۳۴’۴۷.۶۳ و "۵۰°۴۲’۱۴.۹۴ و عرض های جغرافیایی "۳۵ °۴۵’۵.۲۰ و "۳۵ °۴۴’۸۱ واقع می باشد، مدلسازی شده است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعه را در مقیاس ملی و استانی و همچنین امتداد تقریبی بازه ۱۳ کیلومتری مورد استفاده در مدل‌سازی هیدرولیکی نشان می‌دهد.به‌منظور تهیه هندسه مورد نیاز مدل هیدرولیکی، ابتدا توپوگرافی محدوده رودخانه شور بر اساس نقاط نقشه‌برداری‌شده و نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۱۰۰۰ در محیط ArcGIS[2] تهیه شد. بررسی اولیه داده‌ها نشان داد که عرض پوشش برداشت‌های زمینی برای نمایش کامل رودخانه و سیلاب‌دشت مجاور کافی نیست. ازاین‌رو، به‌منظور تکمیل اطلاعات ارتفاعی در خارج از محدوده برداشت زمینی، از مدل رقومی ارتفاع استخراج‌شده از داده‌های ماهواره ALOS استفاده شد. پس از تلفیق و آماده‌سازی اطلاعات توپوگرافی، DEM[3] نهایی محدوده مطالعه تهیه و به‌عنوان سطح مبنای مدل‌سازی هیدرولیکی مورد استفاده قرار گرفت. در مدل یک‌بعدی، مقاطع عرضی رودخانه با استفاده از ArcGIS و افزونه HEC-

[2] Architecture Geographic Information System

[3] Digital Elevation Model

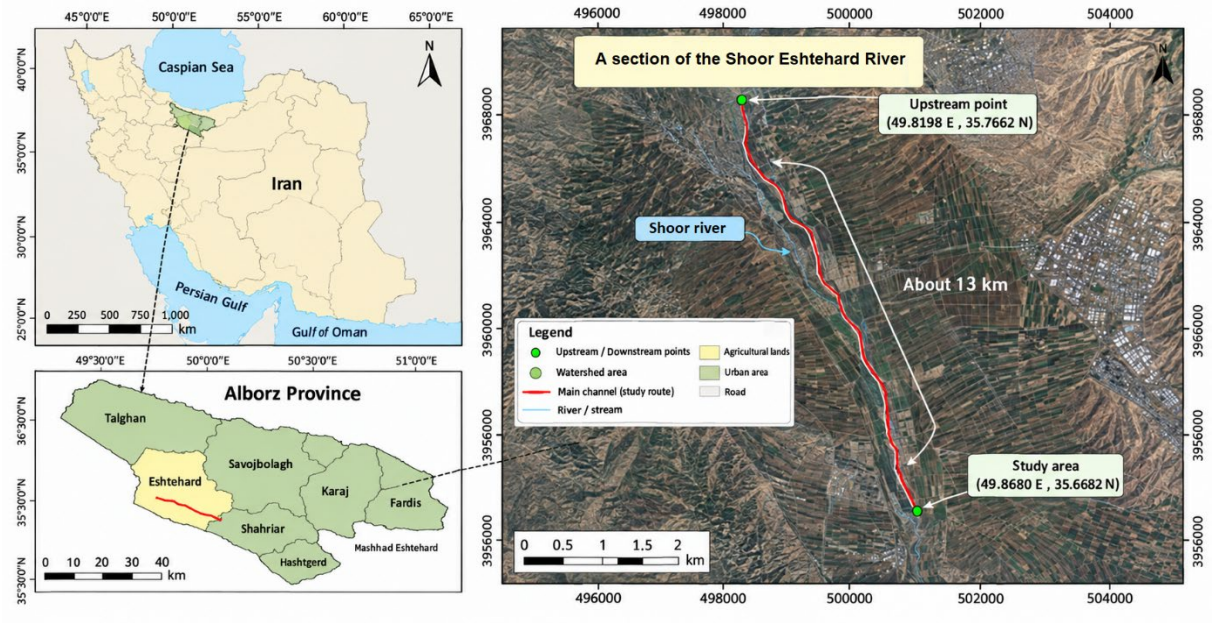


Fig. 1 Geographic location and study reach of the Shor Eshtehard River, Alborz Province, Iran

شکل ۱ موقعیت جغرافیایی و محدوده مورد مطالعه در رودخانه شور اشتهارد، استان البرز

GeoRAS از سطح توپوگرافی استخراج و به HEC-RAS منتقل شدند، در حالی‌که در مدل دوبعدی، DEM به‌عنوان مبنای تعیین ارتفاع سلول‌های محاسباتی و بازنمایی توپوگرافی رودخانه و سیلاب‌دشت مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۲- معادلات حاکم

معادلات حاکم بر مسئله را معادلات پیوستگی جریان و دینامیکی در جریانهای متغیر غیردائمی تشکیل میدهند که تحت عنوان معادلات سنتونانت مشهور هستند.

فرم دیفرانسیلی معادلات یکبعدی برای جریان غیردائمی به صورت زیر است (Subramanya, 2020):

معادله پیوستگی

$$\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial x}=q_l \qquad (1)$$

معادله مومنتوم

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{\partial QV}{\partial x}+gA\left(\frac{\partial z}{\partial x}+S_f\right)=0 \qquad (2)$$

و فرم دیفرانسیلی معادلات دوبعدی برای جریان غیردائمی به صورت زیر است:

معادله پیوستگی

$$\frac{\partial H}{\partial t}+\frac{\partial (hu)}{\partial x}+\frac{\partial (h\upsilon)}{\partial y}+q=0 \qquad (3)$$

معادله مومنتوم

$$\frac{\partial u}{\partial t}+\frac{u\partial u}{\partial x}+\frac{\upsilon\partial u}{\partial y}=-g\frac{\partial H}{\partial x}+\upsilon_t\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right)-C_f u+f\upsilon \qquad (4)$$

$$\frac{\partial \upsilon}{\partial t}+\frac{u\partial \upsilon}{\partial x}+\frac{\upsilon\partial \upsilon}{\partial y}=-g\frac{\partial H}{\partial y}+\upsilon_t\left(\frac{\partial^2 \upsilon}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 \upsilon}{\partial y^2}\right)-C_f u+f\upsilon \qquad (5)$$

۲-۳- معرفی مدل HEC-RAS

مدل HEC-RAS توسط اداره مهندسی ارتش آمریکا توسعه یافته که فلسفه عمومی سیستم مدلسازی HEC-RAS یک سیستم نرم افزاری یکپارچه است که برای استفاده تعاملی در یک محیط چند وظیفه ای طراحی شده است. این سیستم از یک رابط کاربری گرافیکی (GUI[4])، اجزای تجزیه و تحلیل مجزا، قابلیت‌های ذخیره‌سازی و مدیریت داده‌ها، امکانات گرافیکی، نقشه‌برداری و گزارش‌دهی تشکیل شده است (U.S. Army Corps of Engineers, 2023).

مولفه های تحلیل رودخانه توسط HEC-RAS یکبعدی و دوبعدی عباتند از: ۱) محاسبات پروفیل سطح آب جریان ثابت یکبعدی، ۲) شبیه سازی جریان غیردائم به صورت یک بعدی و دوبعدی، ۳) محاسبات انتقال رسوب مرز متحرک با جریان شبه غیردائم یا کاملا غیردائم به صورت یکبعدی و دوبعدی، ۴) تجزیه و تحلیل کیفیت آب به صورت یکبعدی می باشد.

۲-۴- هیدروگراف سیلاب ورودی جریان

با توجه به هدف پژوهش مبنی بر تهیه نقشه پهنه سیلاب برای دوره‌های بازگشت مختلف، شبیه‌سازی جریان غیرماندگار برای دوره‌های بازگشت ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال انجام شد. مقادیر دبی ورودی از نتایج گزارش هیدرولوژی سازمان آب منطقه‌ای البرز استخراج گردید. در مدل یک‌بعدی، هندسه رودخانه با استفاده از ۱۸ مقطع عرضی تعریف شد و ضریب زبری مانینگ بستر برابر ۰۳۵/۰ در نظر گرفته شد. در مدل دوبعدی نیز ضریب مانینگ ۰۳۵/۰ اعمال و بر اساس تحلیل حساسیت، اندازه نهایی سلول‌های محاسباتی ۵۰ متر انتخاب شد. برای شبیه‌سازی جریان غیرماندگار، هیدروگراف سیلاب با زمان پایه سه روز به‌عنوان شرط مرزی بالادست و عمق نرمال با شیب ۰/۰۰۲ به‌عنوان شرط مرزی پایین‌دست تعریف شد. اطلاعات دبی اوج هیدروگراف‌های مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است.

۲-۵- ارزیابی حساسیت و محدودیت اعتبارسنجی مدل

به‌منظور بررسی پایداری عددی نتایج نسبت به تفکیک مکانی، تحلیل حساسیت برای هر دو ساختار مدل انجام شد. در مدل یک‌بعدی، فاصله مقاطع عرضی با مقادیر تقریبی ۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر تغییر داده شد و اثر این تغییر بر پروفیل ارتفاع سطح آب بررسی گردید. در مدل دوبعدی نیز اندازه سلول‌های محاسباتی با ابعاد ۲۰، ۵۰ و ۸۰ متر مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کاهش اندازه سلول‌ها از ۵۰ به ۲۰ متر تغییر محسوسی در ارتفاع سطح آب ایجاد نمی‌کند، در حالی‌که افزایش اندازه سلول به ۸۰ متر موجب تغییر قابل توجه‌تری در نتایج شد؛ ازاین‌رو، اندازه سلول ۵۰ متر به‌عنوان یک مصالحه مناسب میان پایداری نتایج و هزینه محاسباتی انتخاب شد. همچنین، در مدل یک‌بعدی نیز فاصله مقاطع به‌گونه‌ای انتخاب شد که ضمن حفظ پایداری نتایج، زمان محاسبات کاهش یابد. با این حال، داده مشاهداتی کافی از یک رویداد واقعی سیلاب برای کالیبراسیون و اعتبارسنجی مستقل مدل‌ها در دسترس نبود. بنابراین، ارزیابی حاضر بر مقایسه ساختاری مدل‌ها و تحلیل حساسیت عددی استوار است و نتایج نباید به‌عنوان اثبات برتری مطلق یا دقت واقعی یکی از مدل‌ها نسبت به دیگری تفسیر شوند.

۳- نتایج و بحث

در این مطالعه، به دلیل نبود داده‌های مشاهداتی مناسب از یک رویداد واقعی سیلاب در محدوده رودخانه شور اشتهارد، کالیبراسیون و اعتبارسنجی مستقل مدل‌های یک‌بعدی و دوبعدی امکان‌پذیر نبود. ازاین‌رو، ارزیابی مدل‌ها بر مبنای مقایسه ساختاری نتایج، تحلیل حساسیت نسبت به تفکیک مکانی و بررسی تفاوت خروجی‌های هیدرولیکی انجام شد.

جدول ۱ دبی اوج هیدروگراف سیل رودخانه شور اشتهارد

Table 1 The peak discharge of the flood hydrograph of the Shor Eshtehard River

Return Period (yr)	25	50	100	200
Discharge Peak (m^3/s)	119	158.5	208.1	270.7

[4] Graphical User Interface

بنابراین، اصطلاحاتی مانند «دقت بیشتر» در تفسیر نتایج با احتیاط به کار رفته و تمرکز اصلی بر تفاوت در سطح جزئیات مکانی، زمان محاسبات و نحوه بازنمایی فرآیند جریان در دو مدل است.

۳-۱- نتایج مقایسه زمان اجرا

افزایش قابل توجه در زمان اجرا برای مدل دو بعدی با ماهیت پیچیده تر محاسبات مدل دوبعدی توضیح داده می شود. چندین فاکتور وجود دارد که در یک مدل یکبعدی فرض، نادیده گرفته شده یا از پیش تعیین شده اند ولی در محاسبات دو بعدی محاسبه می شوند، این عوامل عبارتند از: جهت جریان (از پیش تعیین شده در یکبعدی)، سرعت و مومنتوم عرضی (در یکبعدی نادیده گرفته شده)، توزیع سرعت عرضی (در یکبعدی فرض شده) و تغییرات عرضی در ارتفاع سطح آب (در یکبعدی نادیده گرفته شده است) (Colorado Water Resources Board, 2006). اگرچه محاسبه این فاکتورها زمان اجرای مدل را افزایش می دهد، اما مدل دقیق و دقیق تری نیز ارائه می دهد. در جدول ۲ اطلاعات مربوط به زمان اجزار مدل های یک بعدی و دو بعدی ارایه شده است. هنگامی که تنها در زمان اجرا در نظر گرفته می شود، واضح است که مدل یکبعدی برای یک پروژه نقشه برداری سیلاب مطلوب تر است زیرا پروژه ای که برای تکمیل زمان کمتری نیاز دارد، معمولا پروژه ای با بودجه مناسب تر است. یک مدل سریع‌تر همچنین امکان کالیبراسیون سریع‌تر را فراهم می کند. با این حال، عوامل محاسباتی که باعث می شود یک مدل دو بعدی کندتر اجرا شود، عواملی هستند که نتیجه مدل دقیق تری را ارائه می دهند. به ویژه در مناطقی که انتظار می رود جریان به دشت سیلابی گسترش یابد، همانطور که در مدلی برای نقشه برداری طغیان سیل انجام می شود. تفاوت زمان اجرا بین مدل های یکبعدی و دوبعدی سوالات مهمی را ایجاد می کند. از یک طرف، مدل یک بعدی احتمالا برای بودجه / محدوده پروژه بهتر است، در حالی که مدل دو بعدی احتمالا وسعت طغیان سیل را با دقت بیشتری پیش‌بینی می‌کند. این ایده در بخش‌های نتایج زیر بیشتر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

جدول ۲ مقایسه زمان اجرا مدل یک‌بعدی و دوبعدی برای رویدادهای سیل با دوره بازگشت های ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله

Table 2 Comparison of one-dimensional and two-dimensional model execution time for flood events with return periods of 25, 50, 100 and 200 years

Return Period (yr)	Model	Computation Task Run Times (m:s)	Difference (%)
25	1D	1:16	77.24
	2D	5:34	
50	1D	1:15	79.16
	2D	6:00	
100	1D	1:01	67.55
	2D	3:08	
200	1D	0:50	63.77
	2D	2:18	

۳-۲- نتایج مقایسه زمان سیر سیل

زمان سیر سیل از بالادست تا پایین‌دست در طول سیل با دوره بازگشتهای ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله محاسبه شده است. زمان سیر از طریق تفاضل زمان رسیدن به دبی پیک در دو مقطع بالادست و پایین‌دست محاسبه شده است. همچنین به منظور مقایسه بهتر، در شکل ۲ نمودار میله ای زمان سیر مدل های یک بعدی و دو بعدی نمایش داده شده است. مقایسه زمان سیر نشان میدهد با افزایش دوره بازگشت، زمان سیر در حالت یکبعدی و دوبعدی کاهش پیدا کرده است و در تمامی دوره بازگشتها زمان سیر درمدل یکبعدی بیشتر از مدل دوبعدی میباشد.مقایسه کمی نتایج در شکل ۲ نشان می دهد که با افزایش دوره بازگشت و دبی اوج سیلاب، زمان سیر موج در هر دو مدل کاهش می‌یابد. برای سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ سال و دبی اوج ۱۱۹ مترمکعب بر ثانیه، زمان سیر در مدل‌های یک‌بعدی و دوبعدی به‌ترتیب ۲۰ و ۳۰/۱۹ ساعت به‌دست آمد. این مقادیر برای دوره بازگشت ۵۰ سال با دبی اوج ۵/۱۶ مترمکعب بر ثانیه به‌ترتیب ۰۵/۱۹ و ۲۵/۱۸ ساعت، برای دوره بازگشت ۱۰۰ سال با دبی اوج ۱/۲۱ مترمکعب بر ثانیه ۰۴/۱۸ و ۳۰/۱۶ ساعت و برای دوره بازگشت ۲۰۰ سال با دبی اوج ۷/۲۷ مترمکعب بر ثانیه ۱۶/۵۶ و ۱۶/۱۶ ساعت محاسبه شد. اختلاف زمان سیر بین دو مدل برای دوره‌های بازگشت ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله به‌ترتیب ۷۰/۰، ۸۰/۰، ۷۴/۱ و ۴۰/۰ ساعت بود که نشان می‌دهد میزان اختلاف

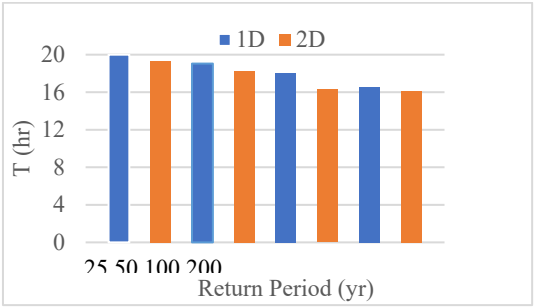


Fig. 2 Comparison of flood travel time of one-dimensional and two-dimensional model for flood events with return periods of 25, 50, 100 and 200 years.

شکل ۲ مقایسه زمان اجرا مدل یک‌بعدی و دوبعدی برای رویدادهای سیل با دوره بازگشت های ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله

دو ساختار مدل با افزایش دوره بازگشت روند یکنواختی ندارد.بنابراین، در تمامی سناریوهای مورد بررسی، مدل دوبعدی زمان سیر کمتری نسبت به مدل یک‌بعدی پیش‌بینی کرده است؛ هرچند میزان اختلاف بین دو مدل در سناریوهای مختلف یکسان نیست.

کاهش زمان سیر موج با افزایش دوره بازگشت را می‌توان به افزایش دبی و سرعت جریان در رویدادهای شدیدتر نسبت داد که موجب انتقال سریع‌تر موج سیلاب در طول بازه مورد مطالعه می‌شود. همچنین، تفاوت زمان سیر بین دو مدل می‌تواند ناشی از تفاوت در نحوه بازنمایی مسیرهای جریانو توزیع مکانی سرعت باشد. از دیدگاه مدیریت بحران، کاهش زمان سیر در سیلاب‌های شدیدتر به معنی کاهش فرصت زمانی برای هشدار، آمادگی و اجرای اقدامات اضطراری در پایین‌دست است. این نتایج نشان می‌دهد که انتخاب ساختار مدل هیدرولیکی می‌تواند بر برآورد زمان در دسترس برای هشدار و اقدامات اضطراری پیش از رسیدن موج سیلاب اثرگذار باشد.

۳-۳- نتایج مقایسه محدوده غرقشدگی

مقایسه محدوده غرق‌شدگی در شکل ۳ نشان می‌دهد که گستره سیلاب شبیه‌سازی‌شده توسط مدل دوبعدی، به‌ویژه در بخش‌های پایین‌دست محدوده مطالعه، از مدل یک‌بعدی بیشتر است. این تفاوت را می‌توان به نحوه بازنمایی جریان در دو ساختار مدل نسبت داد. در مدل یک‌بعدی، ارتفاع

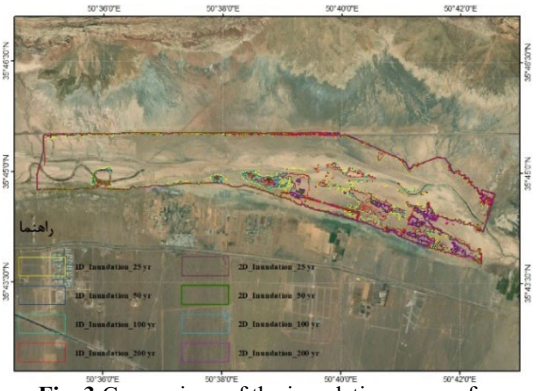


Fig. 3 Comparison of the inundation range of one-dimensional and two-dimensional models for flood events with return periods of 25, 50, 100, and 200 years.

شکل ۳ مقایسه محدوده غرق شدگی مدل یک‌بعدی و دوبعدی برای رویدادهای سیل با دوره بازگشت های ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله

سطح آب در هر مقطع عرضی محاسبه و در امتداد مقطع اعمال می‌شود، در حالی‌که در مدل دوبعدی، ارتفاع سطح آب و حرکت جریان در سطح سلول‌های محاسباتی تعیین شده و امکان بازنمایی مسیرهای جانبی جریان در سیلاب‌دشت فراهم می‌شود. ازاین‌رو، تفاوت مشاهده‌شده در گستره غرق‌شدگی بیش از آنکه به‌عنوان اثبات دقت بیشتر یکی از مدل‌ها تفسیر شود، بیانگر تفاوت ساختاری دو روش در بازنمایی جریان و توپوگرافی سیلاب‌دشت است. این تفاوت از دیدگاه مدیریتی می‌تواند در شناسایی پهنه‌های در معرض خطر و برنامه‌ریزی مکانی اقدامات اضطراری اهمیت داشته باشد.

۳-۴- نتایج مقایسه مساحت غرق¬شدگی

نتایج مربوط به مقایسه محدوده غرق شدگی مدل یک بعدی و دوبعدی برای رویدادهای سیل با دوره بازگشت های ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله در شکل ۴ نمایش داده شده است. مساحت غرق‌شدگی در مدل‌های یک‌بعدی و دوبعدی برای دوره بازگشت ۲۵ ساله به‌ترتیب ۵۹/۱۴ و ۹۱۳/۱۶ کیلومترمربع، برای دوره بازگشت ۵۰ ساله ۲۶/۱۵ و ۳۱۲/۱۷ کیلومترمربع، برای دوره بازگشت ۱۰۰ ساله ۷۱/۱۵ و ۵۱۹/۱۷ کیلومترمربع و برای دوره بازگشت ۲۰۰ ساله ۰۲/۱۶ و ۵۱۹/۱۷ کیلومترمربع محاسبه شد. بنابراین، مدل دوبعدی در تمامی سناریوها گستره بیشتری از

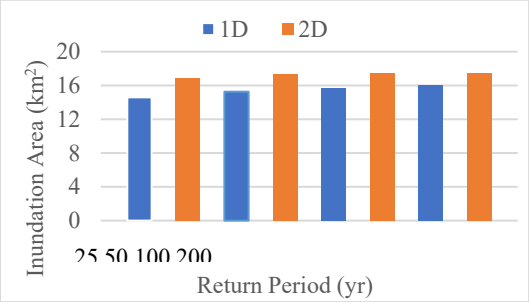


Fig. 4 Comparison of the Inundation area of one-dimensional and two-dimensional models for flood events with return periods of 25, 50, 100, and 200 years.

شکل ۴ مقایسه مساحت غرق‌شدگی مدل یک‌بعدی و دوبعدی برای رویدادهای سیل با دوره بازگشت های ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله

آبگرفتگی را شبیه‌سازی کرده است. مساحت غرق¬شدگی نشان می¬دهند که مناطق غرقاب مدل دوبعدی بزرگتر از مدل یک¬بعدی پیش بینی شده است. این تعجب آور نبود زیرا مدل دوبعدی دقت بیشتری دارد و کمترین حساسیت را نسبت به تغییر در پارامتر ورودی دارد. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل دوبعدی در تمامی دوره‌های بازگشت، مساحت غرق‌شدگی بیشتری نسبت به مدل یک‌بعدی برآورد کرده است. این تفاوت می‌تواند ناشی از نحوه بازنمایی جریان و توپوگرافی در دو ساختار مدل باشد؛ به‌طوری‌که در مدل دوبعدی، تغییرات مکانی ارتفاع سطح آب و مسیرهای جانبی جریان در سطح سلول‌های محاسباتی بازنمایی می‌شوند، در حالی‌که مدل یک‌بعدی جریان را عمدتا در امتداد مقاطع عرضی نمایش می‌دهد. با توجه به نبود داده مشاهده‌ای مستقل برای اعتبارسنجی، این تفاوت‌ها به‌عنوان تفاوت در بازنمایی هیدرولیکی دو مدل تفسیر می‌شوند و نه به‌عنوان اثبات دقت بیشتر یکی از آنها.

۳-۵- چارچوب عملیاتی پیشنهادی برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری در مدیریت بحران سیلاب

با توجه به هدف پژوهش حاضر، مقایسه مدل‌های یک‌بعدی و دوبعدی HEC-RAS صرفا از دیدگاه دقت هیدرولیکی و زمان محاسباتی انجام نشده است، بلکه تلاش شده است خروجی‌های این مدل‌ها در قالب یک چارچوب قابل استفاده برای مدیریت بحران سیلاب تفسیر شوند. در این چارچوب، داده‌های ورودی شامل اطلاعات توپوگرافی، مدل رقومی ارتفاعی، مقاطع عرضی رودخانه، هیدروگراف سیلاب، ضریب زبری مانینگ و شرایط مرزی، مبنای اجرای مدل‌های یک‌بعدی و دوبعدی قرار می‌گیرند. سپس خروجی‌های حاصل از مدل‌سازی، شامل زمان اجرا، زمان سیر موج سیل، محدوده غرق‌شدگی، مساحت غرق‌شدگی، عمق جریان و سرعت جریان استخراج و مقایسه می‌شوند.

این خروجی‌ها از دیدگاه مدیریت بحران دارای کاربردهای متفاوتی هستند. برای نمونه، زمان اجرای کمتر مدل یک‌بعدی می‌تواند در ارزیابی سریع اولیه و بررسی سناریوهای متعدد مورد استفاده قرار گیرد، در حالی‌که دقت مکانی بیشتر مدل دوبعدی برای شناسایی پهنه‌های بحرانی، تهیه نقشه خطر، اولویت‌بندی تخلیه اضطراری و پشتیبانی از تصمیم‌گیری عملیاتی اهمیت بیشتری دارد. بنابراین، چارچوب پیشنهادی این پژوهش بر استفاده مکمل از دو مدل استوار است؛ به‌گونه‌ای که مدل یک‌بعدی برای تحلیل سریع و غربالگری اولیه و مدل دوبعدی برای تحلیل تفصیلی و برنامه‌ریزی عملیاتی مدیریت بحران سیلاب به کار گرفته شود.

به‌منظور عملیاتی‌کردن چارچوب پیشنهادی، فرآیند استفاده از مدل‌ها در سه سطح تصمیم‌گیری تعریف شد. در سطح نخست، هدف «غربالگری و ارزیابی سریع» است؛ در این شرایط، هنگامی که بررسی هم‌زمان چند سناریوی سیلاب و دستیابی سریع به نتایج اهمیت بیشتری دارد، استفاده از مدل یک‌بعدی پیشنهاد می‌شود. در سطح دوم، هدف «هشدار و آمادگی» است که در آن زمان سیر موج سیلاب به‌عنوان شاخصی برای برآورد فرصت زمانی موجود پیش از رسیدن موج به مناطق پایین‌دست مورد استفاده قرار می‌گیرد. در سطح سوم، هدف «برنامه‌ریزی عملیاتی و مکانی» است؛ در این مرحله، در صورتی که تصمیم‌گیری نیازمند تعیین محدوده در معرض سیلاب و بررسی توزیع مکانی عمق و سرعت جریان باشد، استفاده از مدل دوبعدی مناسب‌تر است. بنابراین، انتخاب مدل در این چارچوب تابع نوع تصمیم مدیریتی، زمان در دسترس، خروجی مورد نیاز و سطح جزئیات مکانی مورد انتظار است و نه صرفا مقایسه کلی عملکرد دو مدل. مراحل این چارچوب در شکل ۵ ارائه شده است. فرآیند پیشنهادی از جمع‌آوری و آماده‌سازی

داده‌های ورودی آغاز شده و پس از اجرای مدل‌های یک‌بعدی و دوبعدی HEC-RAS، به استخراج خروجی‌های هیدرولیکی و تحلیل مقایسه‌ای مدل‌ها منتهی می‌شود. در این ساختار، خروجی‌های مدل‌سازی به شاخص‌های قابل استفاده در مدیریت بحران تبدیل می‌شوند؛ به‌طوری‌که زمان سیر موج سیل می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای برآورد زمان هشدار، محدوده و مساحت غرق‌شدگی به‌عنوان مبنایی برای تعیین پهنه‌های در معرض خطر، و عمق و سرعت جریان به‌عنوان معیارهایی برای تشخیص شدت خطر و اولویت‌بندی تخلیه مورد استفاده قرار گیرند. بر این اساس، چارچوب پیشنهادی امکان تفسیر نتایج هیدرولیکی در قالب تصمیم‌های مدیریتی را فراهم می‌کند و نشان می‌دهد که استفاده ترکیبی از مدل‌های یک‌بعدی و دوبعدی می‌تواند رویکردی کارآمد برای مدیریت بحران سیلاب باشد.

پس از ارائه چارچوب مفهومی در شکل ۵، لازم است نقش هر یک از مدل‌های یک‌بعدی و دوبعدی در فرآیند مدیریت بحران سیلاب به‌صورت مشخص تبیین شود. در این پژوهش، مقایسه مدل‌ها تنها بر مبنای دقت هیدرولیکی یا زمان محاسباتی انجام نشده است، بلکه قابلیت هر مدل برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری در مراحل مختلف مدیریت بحران نیز مورد توجه قرار گرفته است. بر این اساس، جدول ۳ مهم‌ترین معیارهای مقایسه دو مدل را از دیدگاه کاربرد در مدیریت بحران سیلاب نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود، مدل‌های یک‌بعدی و دوبعدی هر یک دارای مزایا و محدودیت‌هایی در فرآیند مدیریت بحران سیلاب هستند. مدل یک‌بعدی به دلیل زمان اجرای کمتر و نیاز داده‌ای محدودتر، می‌تواند در مرحله ارزیابی سریع اولیه، بررسی سناریوهای مختلف و پشتیبانی از تصمیم‌گیری در شرایط محدودیت زمانی مورد استفاده قرار گیرد. در مقابل، مدل دوبعدی به دلیل توانایی در نمایش مکانی عمق، سرعت و محدوده غرق‌شدگی، برای تحلیل تفصیلی خطر، شناسایی



Fig. 5 Proposed flood crisis management framework based on the comparison of one-dimensional and two-dimensional HEC-RAS models

شکل ۵ چارچوب پیشنهادی مدیریت بحران سیلاب بر پایه مقایسه مدل‌های یک‌بعدی و دوبعدی HEC-RAS.

جدول ۳ مقایسه قابلیت‌های مدل‌های یک‌بعدی و دوبعدی HEC-RAS در چارچوب مدیریت بحران سیلاب

Table 3 Comparison of the capabilities of 1D and 2D HEC-RAS models in the flood crisis management framework

معیار ارزیابی	مدل یک‌بعدی HEC-RAS	مدل دوبعدی HEC-RAS	تفسیر در مدیریت بحران سیلاب
زمان اجرای مدل	کوتاه‌تر و مناسب‌تر	طولانی‌تر به دلیل پیچیدگی محاسبات	مدل یک‌بعدی برای ارزیابی سریع اولیه، بررسی سناریوهای متعدد و پشتیبانی از تصمیم‌گیری در زمان محدود مناسب‌تر است.
دقت تعیین محدوده غرق‌شدگی	کمتر، به دلیل ساده‌سازی جریان در امتداد مقاطع عرضی	بیشتر، به دلیل نمایش توزیع مکانی جریان در سطح سلول‌های محاسباتی	مدل دوبعدی برای تهیه نقشه خطر، تعیین پهنه‌های بحرانی و شناسایی مناطق آسیب‌پذیر مناسب‌تر است.
نمایش مکانی سرعت و عمق جریان	محدود و وابسته به مقاطع عرضی	دقیق‌تر و دارای توزیع مکانی پیوسته	مدل دوبعدی امکان شناسایی نقاط دارای سرعت و عمق بحرانی را فراهم می‌کند و برای تعیین مناطق خطرناک برای افراد، خودروها و زیرساخت‌ها کاربرد بیشتری دارد.
برآورد زمان سیر موج سیل	سریع‌تر قابل محاسبه، اما با دقت مکانی کمتر	واقع‌بینانه‌تر، به‌ویژه در دشت‌های سیلابی و مسیرهای جریان جانبی	زمان سیر موج سیل می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای برآورد زمان هشدار و فرصت تخلیه اضطراری مورد استفاده قرار گیرد.
برنامه‌ریزی تخلیه و هشدار محلی	کاربرد محدودتر به دلیل نبود جزئیات مکانی کافی	کاربردی‌تر به دلیل ارائه نقشه‌های عمق، سرعت و محدوده غرق‌شدگی	مدل دوبعدی برای تعیین اولویت تخلیه، محدودیت تردد، هشدار محلی و جانمایی مسیرهای ایمن مناسب‌تر است.
هزینه، زمان و نیاز داده‌ای پروژه	کمتر و قابل اجرا با داده‌های ساده‌تر	بیشتر و نیازمند داده‌های توپوگرافی دقیق‌تر	انتخاب مدل باید بر اساس هدف مطالعه، زمان در دسترس، دقت مورد نیاز و سطح تصمیم‌گیری مدیریت بحران انجام شود.
نقش پیشنهادی در مدیریت بحران	غربالگری سریع و تحلیل اولیه خطر	تحلیل تفصیلی، تهیه نقشه خطر و تصمیم‌گیری عملیاتی	ترکیب دو مدل می‌تواند چارچوبی کارآمد ایجاد کند؛ مدل یک‌بعدی برای ارزیابی سریع و مدل دوبعدی برای برنامه‌ریزی دقیق بحران مناسب است.

پهنه‌های بحرانی، اولویت‌بندی تخلیه و برنامه‌ریزی عملیاتی مناسب‌تر است. بنابراین، چارچوب پیشنهادی پژوهش حاضر بر انتخاب مطلق یکی از دو مدل استوار نیست، بلکه بر استفاده مکمل از آن‌ها **تا**کید دارد. در این رویکرد، مدل یک‌بعدی می‌تواند به‌عنوان ابزار غربالگری سریع و مدل دوبعدی به‌عنوان ابزار تحلیل دقیق و تصمیم‌گیری عملیاتی در مدیریت بحران سیلاب مورد استفاده قرار گیرد.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، مدل‌های یک‌بعدی و دوبعدیHEC-RAS برای شبیه‌سازی سیلاب در بازه‌ای از رودخانه شور اشتهارد و در دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله مقایسه شدند. هدف اصلی پژوهش، ارزیابی تفاوت‌های هیدرولیکی و محاسباتی دو مدل و تبیین کاربرد نتایج آن‌ها در مدیریت بحران سیلاب بود. بدین منظور، شاخص‌هایی مانند زمان اجرای مدل، زمان سیر موج سیل، محدوده غرق‌شدگی و

مساحت غرق‌شدگی تحلیل شدند.

نتایج نشان داد که مدل یک‌بعدی از نظر زمان اجرا سریع‌تر از مدل دوبعدی است و می‌تواند برای ارزیابی اولیه، بررسی سناریوهای مختلف و تصمیم‌گیری در شرایط محدودیت زمانی به‌عنوان گزینه‌ای کارآمد مورد استفاده قرار گیرد. در مقابل، مدل دوبعدی به دلیل نمایش دقیق‌تر توزیع مکانی جریان، محدوده و مساحت غرق‌شدگی بیشتری را نشان داد و برای تهیه نقشه خطر، شناسایی پهنه‌های بحرانی، اولویت‌بندی تخلیه و برنامه‌ریزی عملیاتی مناسب‌تر است.

همچنین، کاهش زمان‌سیر موج سیل در سناریوهای شدیدتر نشان می‌دهد که فرصت هشدار و تخلیه اضطراری محدودتر می‌شود؛ بنابراین این شاخص می‌تواند در سامانه‌های هشدار و مدیریت بحران نقش مهمی داشته باشد. بر اساس چارچوب پیشنهادی، انتخاب مدل باید بر پایه هدف مطالعه، دقت موردنیاز، زمان در دسترس، کیفیت داده‌ها و نوع تصمیم مدیریتی انجام شود. در مجموع، استفاده ترکیبی از دو مدل می‌تواند پیوند مؤثری میان مدل‌سازی هیدرولیکی و نیازهای عملیاتی مدیریت بحران سیلاب ایجاد کند.

5- List of symbols

S_f (m/m)	Energy gradient
$z\ (m)$	Water level elevation above the datum
$g\ (m/s^2)$	Gravity acceleration
$a\ (m)$	Measured distance along the channel
$Q\ (m^3/s)$	Discharge
$t\ (s)$	Time
$A\ (m^2)$	Area
$q_1\ (m^2/s)$	Lateral discharge per unit length
$R\ (m)$	Hydraulic radius
f	Coriolis coefficient
C_f	Low friction coefficient
v_t	Horizontal vortex velocity
q	Source of the term flux
H	Water level
u	Velocity in the x-direction
v	Velocity in the y-direction

Credit Authorship Contribution Statement

Conceptualization, (SH. M.); Methodology (SH.M. and S.K.); Software (SH. M.); Writing-Original Draft Preparation (SH.M. and S.K.); Supervision (SH. M.)

All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding

All the work was carried out at the authors' own expense.

Data Availability Statement

The information used will be made available upon request.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

Abdelbasset, M., Abderrahim, L., Abdel Ali, C., Abdellah, B., Lahcen, B., & Laila, B. (2015). Integration of GIS and HEC-RAS in floods modeling of the Ouergha River, Northern Morocco. European Scientific Journal, 11(2). https://eujournal.org/index.php/esj/article/view/4969

Ahmad, S., & Simonovic, S. P. (1999). Comparison of one-dimensional and two-dimensional hydrodynamic modeling approaches for Red River Basin. Report to the International Joint Commission, Red River Basin Task Force. https://oasis.library.unlv.edu/fac_articles/121

Alruzuq, A. R., & Mossa, J. (2026). Advancements in large floodplain inundation mapping: Integrated computational modeling and remote sensing techniques. Energy Nexus, 21, 100650. https://doi.org/10.1016/j.nexus.2026.100650

Arash, A. M., & Yasi, M. (2023). The assessment for selection and correction of RS-based DEMs and 1D and 2D HEC-RAS models for flood mapping in different river types. Journal of Flood Risk Management, 16(1), e12871. https://doi.org/10.1111/jfr3.12871

Bhandari, M., et al. (2017).2D unsteady flow routing and flood inundation mapping for lower region of Brazos River watershed. World Environmental and Water Resources Congress 2017.

Çelik, M., Kılıç, B., & Aydın, M. (2025). Evaluation of simulation results of HEC-RAS coupled 1D/2D and 2D modeling approaches through scenario-based analysis. Water, 17(8), 1163. https://doi.org/10.3390/w17081163

Costabile, P., Costanzo, C., De Lorenzo, G., &

Macchione, F. (2025). Assessment of the predictive performance of 1D/2D, fully 2D and coarse-resolution 2D HEC-RAS models by integrating different evaluation metrics and SAR-derived flood boundary information. International Journal of River Basin Management. https://doi.org/10.1080/15715124.2025.2490293

Crispino, G., Gisonni, C., & Iervolino, M. (2015). Flood hazard assessment: Comparison of 1D and 2D hydraulic models. International Journal of River Basin Management, 13(2), 153-166. https://doi.org/10.1080/15715124.2014.928304

Dimitriadis, P., Tegos, A., Oikonomou, A., Pagana, V., Koukouvinos, A., Mamassis, N., Koutsoyiannis, D., & Efstratiadis, A. (2016). Comparative evaluation of 1D and quasi-2D hydraulic models based on benchmark and real-world applications for uncertainty assessment in flood mapping. Journal of Hydrology, 534, 478-492. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.01.020

Gharbi, M., et al. (2016). "Comparison of 1D and 2D hydraulic models for floods simulation on the medjerda riverin tunisia." J. Mater. Environ. Sci 7(8): 3017-3026.

Ghimire, E., et al. (2020). "Evaluation of one-dimensional and two-dimensional HEC-RAS models to predict flood travel time and inundation area for flood warning system." ISH Journal of Hydraulic Engineering: 1-17.

Ghimire, E. and S. Sharma (2021). "Flood damage assessment in HAZUS using various resolution of data and one-dimensional and two-dimensional HEC-RAS depth grids." Natural Hazards Review 22(1): 04020054.

Godara, N., Bruland, O., & Alfredsen, K. (2024). Comparison of two hydrodynamic models for their rain-on-grid technique to simulate flash floods in steep catchment. Frontiers in Water, 6, 1384205. https://doi.org/10.3389/frwa.2024.1384205

Gupta, J. P., Sahu, M. K., Dwarakish, G. S., & Shwetha, H. R. (2026). State-of-the-art hydraulic modelling: A comprehensive review of HEC-RAS for 1D and 2D applications. Hydrological Sciences Journal, 71(1), 166-190. https://doi.org/10.1080/02626667.2025.2581862

Horritt, M. S., & Bates, P. D. (2002). Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation. Journal of Hydrology, 268(1-4), 87-99. https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00121-X

Jamali, B., Bach, P. M., Cunningham, L., & Deletic, A. (2019). A cellular automata fast flood evaluation (CA-ffé) model. Water Resources Research, 55(6), 4936-4953. https://doi.org/10.1029/2018WR023679

Merz, B., Thieken, A. H., & Gocht, M. (2007). Flood Risk Mapping at the Local Scale: Concepts and Challenges. In S. Begum, M. J. F. Stive, & J. W. Hall (Eds.), Flood Risk Management in Europe, pp. 231–251. Springer, Dordrecht.

Midaoui, A., et al. (2015). "Integration of GIS and HEC-RAS in Floods Modelling of the Ouergha River." Northern Morocco, European scientific journal 11(2): 1857-7431.

Panahi, R., et al. (2022). "The Simulation of Mereg river floods using HEC_RAS hydraulic model (Case study: the distance between Dar Amroud Olya and Chalabeh Sofla villages, Mahidasht catchment, Kermanshah Province)." Researches in Earth Sciences 12(4): 6.(In Perian)

Quirogaa, V. M., et al. (2016). "Application of 2D numerical simulation for the analysis of the February 2014 Bolivian Amazonia flood: Application of the new HEC-RAS version 5." Ribagua 3(1): 25-33.

Rios Arboleda, J. D. (2023). Comparison of 1D and 2D HEC-RAS models for the simulation of urban rivers. Revista EIA, 20(40), 1-14. https://doi.org/10.24050/reia.v20i40.1661

Samarasinghe, J. T., et al.(2022). "Comparing combined 1D/2d and 2D hydraulic simulations using high-resolution topographic data: Examples from Sri Lanka—Lower kelani river basin." Hydrology 9(2): 39.

Subramanya, K. (2020). Flow in Open Channels (5th ed.). McGraw Hill Education.

UNDRR. (2015). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030. United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Geneva, Switzerland.

U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. (2023). HEC-RAS River Analysis System: User's Manual (Version 6.4.1). Davis, CA: U.S. Army Corps of Engineers.

Yalcin, E. (2020). "Assessing the impact of topography and land cover data resolutions on two-dimensional HEC-RAS hydrodynamic model simulations for urban flood hazard analysis." Natural Hazards 101(3): 995-1017.