An Investigation of DEM Resolution Influence on Flood Inundation (Case study: Karun River)

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Effective flood management requires flood mapping, estimating potential damages and risks in flood-prove areas, and designing a comprehensive plan to mitigate flood risks. Understanding the phenomena and the impacts of changes on flow conditions, as well as predicting hydraulic events in rivers, plays a significant role in minimizing damages and losses. Modern methodologies leverage techniques such as remote sensing, geographic information systems (SIS), and hydraulic and hydrological models to simulate river flows. Given the lack of high-accuracy topographic maps in many areas of the country, this study aims to investigate the impact of the quality of topographic maps for the Karun River basin, including the riverbed and floodplains areas from Molasani to Farsiat, on flood inundation mapping.

Materials and Methods

The study area covers approximately 110 km of the Karun River including three hydrometric stations: Molasani, Ahvaz, and Farsiat. For two-dimensional modeling in the HEC-RAS environment, a digital elevation map (DEM) of the study area is essential. Therefore, DEMs of the Karun River with tarying resolutions were prepared using existing survey data and aerial imagery. In aerial maps, riverbed elevation is represented as the water surface elevation. Due to the unavailability of a detailed elevation map for the Karun Riverbed, the riverbed was constructed in the GIS environment based on existing cross sections. For evaluating the impact of topographic map mality on floodplain mapping, maps with resolutions of 30 m, 50 m, 100 m, and 150 m were used. Subsequently, flood inundation map was generated using HEC-RAS model based on the different DEMs. To investigate the efficiency of the different DEMs with varying resolutions, Sentinel-2 satellite imagery and 12 quantitative metrics were employee. These metrics include Proportion Correct (PC), Threat Score (TS), Odds Ratio (θ), Bias, False Alarm Ratio (FAR), Hit Rate (H), False Alarm Rate (F), Extremal Dependence Index (EDI), Heidke Skill Score (HSS), Pierce Skill Score (PSS) as referse Ratio, and Odds Ratio Skill Score (ORSS).

Results

leved in HEC-RAS with varying pixel resolutions for the river and Analysis of the performance of 16 scenarios floodplain, focusing on the PC metric showed that models with smaller river pixel sizes (30 m and 50 m) consistently achieved the highest PC values. For 30 m pixels, the PC was approximately 0.799, while for 50 m pixels, it was slightly 0.791). Examination of the TS metric, which is suitable for rare event prediction, lower (ranging between 0.785 highest river pixel resolution (30 m) consistently achieved the highest TS values revealed that models with t (approximately 0.67) cross all floodplain pixel sizes, indicating strong performance. Additionally, higher-resolution river pixels consistently yielded the highest Odds Ratios (θ), reflecting high prediction reliability. For 30 m river pixels, θ started at 17.69 for 30 m floodplain pixels and slightly decreased to 17.51 for 150 m floodplain pixels. Increasing river pixel size from 30 m to 150 m led to a consistent rise in Bias, indicating over-prediction tendencies in larger pixel sizes. FAR also antly with larger river pixels, signifying more false alarms. For smaller river and floodplain pixels, FAR increased sign remained relatively low, ranging from 0.25 to 0.29, indicating fewer false alarms at higher resolutions. The ORSS analysis showed that smaller pixel sizes for both river and floodplain consistently yielded higher ORSS values, demonstrating superior skill.

Conclusion

Based on the main effect analysis of river pixel size, PC and TS scores decreased as river pixel size increased, particularly for floodplain pixel sizes of 100 m and 150 m. The Heidke, Pierce, and Gilbert skill scores also decreased with larger river pixel sizes, with Gilbert's score showing a steep decline for larger river pixels, reflecting weak flood prediction performance at lower resolutions. Bias increased with larger river pixel sizes, indicating a tendency for over-prediction. FAR followed a similar rising trend. Regarding the main effect of floodplain pixel size, PC and TS scores declined as floodplain pixel size increased, particularly for river pixel sizes of 100 m and 150 m. The drop in TS suggests that lower floodplain resolution reduces the model's ability to accurately predict floods. All skill scores decreased with larger floodplain pixel sizes, especially in scenarios with 100 m and 150 m river pixels. Increased floodplain pixel sizes also resulted in higher Bias, indicating a greater tendency for over-prediction in lower floodplain resolutions.

Running title/author name, et ۲al

Author Contributions

Conceptualization, Methodology, Formal analysis, Writing Original Draft, J.Z.; Methodology, Writing - Review & Editing, A.J.; Software, Writing - Review & Editing, M.Ch. and MJ.N. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank the reviewers and editor for their critical comments that helped to improve the paper. The authors gratefully acknowledge the support and facilities provided by the Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan [Grant number: 1/411/1078].

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Impact of DEM Resolution on Flood Inundation Mapping (Case study: Karun River)

ABSTRACT

One of the fundamental aspects of flood modeling is the digital elevation model (DEM) of the riverbed and its floodplains. Given that high-accuracy digital elevation maps (DEMs) are not available in many regions of the country, this study seeks to examine the impact of DEM quality of the Karun Riverbed and its floodplains, specifically from the Molasani to Farsiat stations, on flood inundation mapping. The study area encompasses approximately 110 kilometers of the Karun River, including three hydrometric stations: Molasani, Ahvaz, and Farsiat. For two-dimensional modeling in the HEC-RAS environment, the availability of an elevation map of the study area is essential. To this end, elevation maps area Karun River were prepared with varying accuracies using methods such as existing survey data and aeron imagery. Due to the unavailability of riverbed elevation maps, riverbed reconstruction was conducted in a GIS environment. In this study, to evaluate the quality of DEMs on flood mapping, maps with resolutions of 30, 50, 100, and 150 rs were unlized. For analyzing different scenarios, Sentinel-2 satellite images, along with 12 quantitative indices, were employed. The analysis results show that the Threat Score (TS) decreased from 67% for 30-meter resolution to 66%, 59%, and 56% for 50 m, 100 m, and 150 m resolutions, respectively, indicating an 11% reduction in accuracy with a fivefold decrease in map resolution. The results of various quantitative criteria indicate that intermediate pixel sizes 50×50 or 100×50 meters) can provide reasonable accuracy while reducing computational efforts. This is particularly useful for regional-scale studies or transregional analyses. Overall, the findings emphasize the importance of adjusting pixel resolution in accordance with the specific objectives and constraints of flood modeling tas

Keywords: Digital elevation map (DEM), Flood, HEC-RAS, Threat Score

Abbreviation Journal title, 2021; vol(no): page

تأثير وضوح مدل رقومي ارتفاع بر روى پهنه سيلاب (مطالعه موردي: رودخانه كارون)

چکیدہ

یکی از مهمترین بخشهای مدلسازی سیلاب، مدل رقومی ارتفاع بستر رودخانه و دشتهای سیلابی آن است. باتوجهبه اینکه در بسیاری از مناطق کشور، نقشههای توپوگرافی با دقت بالا در دسترس نیست، در این تحقیق سعی شده است تا تأثیر کیفیت نقشه توپوگرافی بستر رودخانه کارون و محدودههای اطراف آن در بازه ملاثانی تا فارسیات بر روی مدلسازی پهنه سیلاب مورد بررسی قرار گیرد. محدوده طرح حدود ۱۱۰ کیلومتر از رودخانه کارون افت که شامل سه ایستگاه آبسنجی ملاثانی، اهواز و فارسیات میباشد. برای مدلسازی دوبعدی در محیط حدود ۱۱۰ کیلومتر از بودن نقطه ارتفاعی منطقه فردمطالعه لازم است. بدین منظور نقشه ارتفاعی محدوده های اطراف رودخانه کارون با دقتهای مختلف از طریق دادههای تقشه ارتفاعی منطقه فردمطالعه لازم است. بدین منظور نقشه ارتفاعی محدوده های اطراف رودخانه کارون با دقتهای مختلف از طریق دادههای تقشههای توبگرافی موجود و تصاویر ماهوارهای تهیه گردید. به دلیل در دسترس نبودن نقشه ارتفاعی از بستر رودخانه کارون، بستر رودخانه در محیط CIS سافته مندوفر این مطالعه جهت بررسخ کیفیت نقشه توپوگرافی بر روی پهنه سیلاب از نقشههایی با دقت ۳۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ مر ستفاده شده است. بهت برود این مطالعه جهت بررسخ کیفیت نقشه توپوگرافی بر روی پهنه بندی سیلاب از نقشههایی با دقت ۳۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ مرد مرصد به دلیا در دسترس نبودن نقشه ارتفاعی از بستر رودخانه کارون، بستر رودخانه مراه ۱۲ شاخص کمی استفاده شده است تائیخ تحلیلها نشان میدهد که امتیاز تهدید از ۶۷ درصد بهازای رزولوشن ۳۰ متری به ۶۶ و ۶۵ و دوم در مانو از ۱۶ شاخص کمی ماهواره دعوگرافی با رزولوشنهای مختلف بر پهنه بندی سیلاب نیز از عکسهای ماهواره دعوگرافی درصد بهازای رزولوشنهای شده است تائیخ تحلیلها نشان میدهند کاهش ۱۱ درصدی بهازای رزولوشن ۳۰ متری به توبوگرافی محرصد بهازای رزولوشنهای شده می محمقان تری براین مطالیات در مایان میده که اندازه پیکسلهای میانه (۱۰ محمز می می اور در می می است در می می اور نود مند می میرون نقشه توپوگرافی محرصد بهازای رزولوشنهای کمی مختلف نشان مرد مدود که اندازه پیکسلهای میانه (۵۰×۵۰ یا ۱۰ مرد) می توانند دقت معقولی را با کاهش محاسبات فراهم کنند. این نسبت بهویژه برای مطالیات در ملیانی منازی سیلاب تأکید دارند.

کلیدواژهها: *امتیاز تهدید، سیلاب، مدل رقومی ارتفاع، HEC-RAS*

مقدمه

به منظور برنامهریزی جهت کنترل پدیده سیل، که از مسائل مهم دنیا و از جمله کشور ما است، مطالعات و تحقیقات زیادی صورت گرفته است. تنها در ایلات متحده آمریکا بین سالهای ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۲ خسارتی فراتر از ۳۰۰ میلیارد دلار تحت تاثیر سیلاب اتفاق افتاده است (Samadi et al., 2025). مديريت مؤثر سيلاب نياز به نقشهبرداري سيلاب، برآورد احتمالي خسارت و خطرات احتمالي در مناطق سیلاب و طراحی یک برنامه جامع برای کاهش خطر سیل دارد. بدیهی است شناخت پدیدهها و آثار ناشی از تغییرات آنها بر شرایط جریان و همچنین پیشبینی رخدادهای هیدرولیکی در رودخانهها، میتواند نقش مؤثری در بهحداقل رساندن خسارات سیل ایفا نماید. جهت مدلسازی جریان رودخانه مدلهای متعدد و متنوعی با فرضیات و روشهای عددی مختلف توسعهیافته و مورداستفاده قرار می گیرد. روش های نوین ارائه شده از تکنیک های مختلفی از قبیل سنجش ازدور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدلهای هیدولیکی و هیدرولوژیکی جهت مدلسازی جریان رودخانه سود میبرند (Merkuryeva et al., 2015). مدل های عددی در مدل سری هیدرودینامیک جریان رودخانه میتوانند رویکردهای یکبعدی، دوبعدی و یا سهبعدی داشته باشند. باوجود تفاوت در ظرفیت و دقت مدل برای مطالعه تأثیر انتشار سیلاب در رودخانهها و بهویژه برای برآورد سرعت جریان و سطح آب، از مدلهای یک بعدی استفاده می شود (Papaioannou et al., 2016)، در حالی که جهت مدل سازی پهنه سیلاب، مدل های دوبعدی توانایی بسيار بالاترى دارند. المهم ترين مدل هاي عددى مى توان به مدل هاى MIKE21 ، CCHE2D ، MIKE11 و HEC-RAS اشاره نمود. مدل عددی HEC RAS به دلیل کاربری گسترده در طرحهای مهندسی رودخانه از جمله پهنهبندی سیلاب، انتقال رسوب، رایگان بودن مدل عددی و همچنین قابلیت (تباط مناسب با راهای پردازشگر GIS برای شبیه سازی سیلاب کاربرد گستردهای داشته است. تکامل روشهای عددی و توسعه **ایر**ارهای محاسباتی قد تمند که کاربرد روشهای پیچیدهتر را تسهیل میکند، منجر به استفاده بیشتر از مدلهای هیدرولیک دوبعدی شده است (Haces-Garcia et al., 2024). نقشههای رقومی ارتفاع (DEM) و روشهای حل عددی الزامات اساسی در مدلسازی دوبعدی مستند. رشد اخیر در تهیه نقشههای رقومی از منابع مختلف (با وضوح مکانی و دقت متفاوت) مدلسازی هیدرودینامیکی را تسمیل کرده است (Horritt & Bates, 2001). یکی از مشکلات استفاده از مدلهای دو و سهبعدی، نیاز به نقشه ارتفاعی رودخانه و صحدوده اطراف أن است که میتواند بهشدت بر روی نتایج بهدست آمده از مدل عددی تأثیر گذار باشد. تهیه نقشه ارتفاعی شامل دو بخش است که بخش اول آن مربوط به دشتهای سیلابی رودخانه بوده که میبایست توسط سیستم سنجش از راه دور و یا نقشهبرداری میداری تهیه شهد. بخش دوم نقشه ارتفاعی مربوط به توپوگرافی بستر رودخانه است که تهیه آن بسیار مشکل بوده و نیاز به تکنیکهای نوین سنجش از را دور و یا انهازه گیری در محل دارد (Lai et al., 2018). اگرچه در زمینه مدلسازی پهنه سیلاب مطالعات متعددی صورت پذیرفته اسم، باای ال تأثیر وضوح DEM بر شبيهسازي طغيان سيل كمتر بررسي شده است (Hsu et al., 2016).

با توجه به اینکه در بسیاری از مناطق کشور، نقشههای توپوگرافی با دقت بالا در دسترس نیست. در این تحقیق سعی شده است تا تأثیر کیفیت نقشه توپوگرافی محدودههای اطراف رودخانه کارون و نیز بستر رودخانه در بازه مالانلی تا قارسیات بر روی نقشه پهنه سیلاب مورد بررسی قرار گیرد. بر همین اساس از نقشههای توپوگرافی با دقتهای مختلف و نیز مثل هیدرودینامیکی جریان جهت شبیهسازی سیلاب در بازه مورد نظر استفاده شده است. جهت تعیین کارایی نقشههای توپوگرافی مختلف در مدل هیدرودینامیکی، تصاویر ماهوارهای 2 Sentine به کار رفته است.

پیشینهٔ پژوهش

یکی از زمینههای بسیار مهم در علم مهندسی رودخانه مربوط به شبیهسازی هیدرولیک جریان و پهنه سیلاب است که علاقه بسیاری از محققین را به خود جلب کرده است. در زیر تعدادی از تحقیقات صورتگرفته در داخل و خارج کشور ارائه شده است.

Pena & Nardi (2018) به بررسی عدم قطعیت پارامترهای ورودی ناشی از سادهسازی اندازه مش زمین بر روی نتایج شبیهسازی دوبعدی انتشار موج سیلاب پرداختند. در این مطالعه روشی برای درونیابی بستر رودخانه جهت توسعه مدلهای دوبعدی بزرگمقیاس مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مدلسازی خطر سیلاب با استفاده از روش پیشنهادی پردازش زمین در حوضه رودخانه تیبر برای وضوح ۱۵۰ تا ۷۰۰ متر مورد آزمایش قرار گرفت. یافتههای این پژوهش نشان داد که شبیهسازی سیلاب با نقشههای رقومی با وضوح پایین در عرض چند ثانیه اجرا میشوند و میتوانند پهنه و عمق سیلاب را تا حدود مورد قبولی نشان دهند. Zeleňáková et al. (2019) اقدام به مدلسازی سیلاب در رودخانه Slatvinec با استفاده از نرمافزار HEC-RAS پرداختند. علاوه بر این از سیستم اطلاعات جغرافیایی جهت تعیین بازههایی از اطراف رودخانه که تحت تأثیر سیلاب قرار می گیرند، استفاده گردید. هدف از این تحقیق برآورد میزان خسارت وارد شده به محدودههای اطراف رودخانه تحت تأثیر سیلابهای با دورههای بازگشت متفاوت بو المحمد المالعة (2019) Ogania et al. ، عملكرد سه مدل رقومي ارتفاع با وضوحهاي مختلف با استفاده از نرمافزارهاي مدل سازی سیلاب مانند HEC-HMS و HEC-RAS ارزیابی شد. مدل دوبعدی با استفاده از سه مدل رقومی ارتفاع مختلف که از طریق فناور های لیرار (تشخیص و اندازه گیری نور)، Interferometric radar و Synthetic aperture radar بهدست آمده بودند، پردازش شدند تا شبه باری و مقایسه سیلا معای با دوره بازگشت ۵، ۲۵ و ۱۰۰ سال انجام شود. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل رقومی ارتفاع با وضوح بالاتر، نقشههای پهنه بندی سیلاب دقیقتری تولید میکند، در حالی که وضوحهای پایینتر تمایل به پیشبینی بیش از حد گستره سیلاب رد. <mark>ظهیری و آشناور (۱۴۰۰)</mark> از مدل عددی HEC-RAS جهت شبیهسازی یکبعدی هیدرودینامیک جریان در رودخانه کارون استفاد نمودند. با و مورداستفاده در این تحقیق، محدوده ملاثانی تا فارسیات بوده که ایستگاه اهواز به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. مایر شبیه سازی نشان می دهد که مدل HEC-RAS توانایی بالایی جهت شبیه سازی عمق و دبی جریان در شرایط غیرماندگار دارد. (2021) Muthusamy et al از نقشههای توپوگرافی با اندازه پیکسلهای مختلف از ۱ تا ۵۰ متر جهت شبیهسازی سیلاب در رودخانه درونت استفاده نمودند. نتایج نشان داد که با کاهش وضوح شبکه از ۱ متر به ۵۰ متر، وسعت سیلاب ۳۰ درصد و عمق متوسط سیلاب ۱۵۰ درصد افزایش می یابد. دلیل اصلی این امر کاهش دقت هندسه مقطع رودخانه و کاهش عمق تخمین زدهشده رودخانه است که منجر مرکامش ظرفیت انتقال آب آبراهه می شود. این امر به ویژه در نزدیکی رودخانه منجر به افزایش وسعت و عمق سیلاب می شود. می آثر زمانی که اندازه شبکه رقومی از عرض رودخانه بزرگتر شود، تشدید می شود. (2022) Parizi et al به بررسی تأثیر وضوح مدر های رقیمی ارتفاع تولید کده توسط پهپاد، در بازهای از ۱ متر تا ۳۰ متر، بر ویژگیهای سیلاب از جمله مساحت سیلاب، عمق میانگین جریان سرعت میانگین جریان پرداختند. سپس، خطاهای ویژگیهای سیلاب برای مدلهای رقومی جهانی شامل ALOS (۳۰ متر)، SRTM (۳۰ متر)، SRTM (۳۰ متر) و TDX و ۳۰ (۱۲ متر) با استفاده از اندازه گیری های پهپاد محاسبه شد. مدل دوبعدی HEC-RAS برای شبیرسازی سیلاب یا دوره بازگشت ۵ تا ۲۰۰ سال در طول ۲۰ کیلومتر از رودخانه اترک استفاده شد. اعتبارسنجی مدلسازی هیدرولیکی نش<mark>ان دا</mark>ر که مدل دوبعدی-HEC RAS همراه با مدل رقومی یهیاد، سیلاب را با دقت حدود ۹۲ درصد شبیهسازی می کند. مقایسه مدل های رقومی جهانی نشان داد که مدل رقومی TDX با خطای ۶/۱۵ درصد در مساحت سیلاب نزدیکترین نتایج را به اندازه گیریهای پهپاهارایه داد.

بررسی مطالعات صورت گرفته نشان میدهد که نرمافزارهای مدل سازی مانند HEC-RAS و HEC-HMS ابزارهای قدرتمندی برای شبیه سازی سیلاب هستند، اما دقت نتایج به شدت به کیفیت داده های ورودی مانند وضوح DEM وابسته است. وضوح مدل های رقومی ارتفاع نقش کلیدی در دقت شبیه سازی سیلاب دارد. مدل های با وضوح بالاتر نتایج دقیق تری در خصوص پهنه بندی سیلاب، عمق و سرعت جریان ارائه میدهند. کاهش وضوح شبکه می تواند منجر به پیش بینی بیش از حد گستره سیلاب و افزایش خطا در تخمین عمق و وسعت سیلاب شود. این مطالعات به طور کلی بر اهمیت استفاده از داده های با وضوح بالا و روش های پیشرفته پردازش داده ها برای بهبود دقت شبیه سازی سیلاب تأکید دارند.

روششناسی پژوهش

منطقه موردمطالعه

حوضه أبریز رودخانه کارون با مساحتی معادل ۴۲۷۵۴ کیلومتر مربع بین مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی و ۲۰ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته. رودخانه کارون به طول ۸۹۰ کیلومتر از چهار شاخه اصلی به نامهای خرسان، آب ونک، آب کیار و بازفت تشکیل گردیده است. رودخانه کارون پس از ورود به دشت خوزستان در شمال گتوند، به سمت جنوب جریان مییابد. در شوشتر، توسط بند میزان، رودخانه به دو شاخه شطیط یا دجیل و گرگر تقسیم می شود. در بند قیر دو شاخه مذکور به علاوه رودخانه دز به هم ملحق شده و به سمت جنوب جریان مییابد. رودخانه پس از عبور از مههر اهواز، همچنان مسیر جنوبی را ادامه داده تا در نزدیکی خرمشهر به بهمنشیر و اروندرود متصل می شود آبسنجی ملاثانی، اهواز و فارسیات می باشند که ایستگاههای ملاثانی و فارسیات به عنوان شرایط مرزی در بالادست و پایین دست در نظر گرفته شده و ایستاه اهواز به عنوان ایستگاه شاهد جهت صحتسنجی مدل مورداستفاده قرار گرفت. مشامل سه ایستگاه در نظر گرفته شده و ایستاه اهواز به عنوان ایستگاه شاهد جهت صحتسنجی مدل مورداستفاده قرار گرفت. مشامل است و پایین دست در نظر گرفته شده و ایستاه اهواز به عنوان ایستگاه شاهد جهت صحتسنجی مدل مورداستفاده قرار گرفت. مشامل دو بایستگاههای در نظر گرفته شده و ایستاه اهواز به عنوان ایستگاه شاهد جه محتسنجی مدل مورداستفاده قرار گرفت. می خوان است که شامل سه ایستگاه ای در نظر گرفته شده و ایستان می باشند که ایستگاه شاهد جهت صحتسنجی مدل مورداستفاده قرار گرفت. مشخصات ایستگاه مورد استفاده ای در بالادست و پایین دست



مشخصات ایستگاههای آبسنجی مورداستفاده در این مطالعه

شکل 1. موقعیت منطقه مورد مطالعه

اطلاعات مورداستفاده

اطلاعات مورداستفاده در این تحقیق شامل اطلاعات مقاطع رودخانه کارون، نقشههای توپوگرافی محدودههای اطراف رودخانه و دبی جریان و تراز سطح آب در سه ایستگاه آبسنجی ملاثانی، اهواز و فارسیات است. برای مدلسازی در محیط HEC-RAS، دردسترسبودن نقشه ارتفاعی منطقه موردمطالعه لازم است. بدین منظور نقشه ارتفاعی رودخانه کارون از دادههای نقشهبرداری موجود و تصاویر هوایی تهیه شد. به دلیل در دسترس نبودن نقشه ارتفاعی از بستر رودخانه کارون، در ابتدا می بایست بستر رودخانه در محیط GIS ساخته شود. بدین منظور مقاطع برداشت شده توسط سازمان آب و برق خوزستان در قسمتهای مختلف رودخانه کارون مورداستفاده قرار گرفتند. این مقاطع شامل نقاط ارتفاعی از بازه ایستگاه آب سنجی ملاثانی تا فارسیات هستند که سواحل و بستر رودخانه را در برمی گیرند. در این مقاطع شامل نقاط ارتفاعی از بازه ایستگاه آب سنجی ملاثانی تا فارسیات هستند که سواحل و بستر رودخانه را در برمی گیرند. در این مطالعه جهت بررسی تأثیر کیفیت مدلهای رقومی بر روی پهنه سیلاب از نقشههایی با دقت

مدلسازی جریان با استفاده از مدل هیدر ودینامیکی دوبعدی HEC-RAS

در این تحقیق جهد شبیه سازی درامترهای هیدرولیکی جریان در رودخانه کارون از مدل دوبعدی HEC-RAS که توسط گروه مهندسین مشاور ارتش آمریکا توسعه یافته است، استفاده گردید. در سال های اخیر شبیه سازی دوبعدی جریان نیز به مدل -HEC RAS اضافه شد که قابلیت های فراوانی را در زمینه مدل سازی جریان در اختیار مهندسان هیدرولیک قرار داده و از انعطاف پذیری بالایی برخوردار است. مدل دوبعدی HEC-RAS حریان را به صهرت ناپایدار شبیه سازی می کند و توانایی حل معادلات به دو صورت HEC-RAS مومنتوم کامل و موج دیفیوزیو را دارد (Brunner, 2023) معادلات پیوستگی و اندازه حرکت حاکم بر مدل دوبعدی RAS برای جریان غیرماندگار به صورت زیر می باشند:

 $\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial (hu)}{\partial x} + \frac{\partial (hv)}{\partial y}$

رابطه ۱)

رابطه ۲)

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + v_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f v + fu$$
 (real of the second secon

رابطه (۱) معادله پیوستگی و روابط (۲) و (۳) معادله اندازه حرکت را نشان میدهند. در این روابط ۲۰ تراز سطح آب، h عمق جریان، t زمان، u و v مؤلفههای سرعت در راستای طولی و عرضی رودخانه، q دبی ورودی یا خروجی در واحد عرض، v_t ضریب ویسکوزیته گردابی در راستای افقی، c_f ضریب اصطکاک کف، R شعاع هیدرولیکی، g شتاب گرانش و f ضریب کوریولیس میباشد.

پس از تهیه نقشههای رقومی منطقه موردمطالعه، عملیات مدلسازی در نرمافزار HEC-RAS انجام گردید. بدین منظور ابتدا نقشههای موردنظر به محیط RAS Mapper فراخوانی شده سپس عملیات شبکهبندی، تعیین شرایط مرزی و اولیه و مشخص کردن نقشه کاربری اراضی و اعمال ضرایب زبری مانینگ در مدل HEC-RAS برای محدوده مورد مطالعه اعمال شد. با توجه به مطالعات صورت گرفته، محدوده طرح به چهار بخش تقسیم شد و ضریب زبری مانینگ برای محدودههای مختلف بین ۲۰۲۶ تا ۲۰/۵ در نظر گرفته شد (<mark>ظهیری و آشناور، ۱۳۹۸</mark>). پس از این مراحل میتوان اقدام به شبیهسازی شرایط هیدرولیکی جریان و تهیه نقشه پهنهبندی سیلاب بهازای نقشههای مختلف توپوگرافی نمود. نمونهای از نقشه توپوگرافی با رزولوشن ۳۰ متر و مشبندی ایجاد شده در محیط HEC-RAS در شکل ۲ ارائه شده است.



معیارهای بررسی کار<mark>ای</mark>ی نقشههای توپو گرافی با کیفیتهای مختلف



شکل ۴. گردهای سیلاب مشاهداتی و شبیهسازی شده جهت محاسبه کارایی شبیهسازیهای صورت گرفته (ویلکس، ۲۰۱۹)

معیار دقت میزان همخوانی پیشبینیها با رویدادهای واقعی را نشان میدهد. در پیشبینیهای کاملاً دقیق، تمامی پیش بینیهای «بله» با وقوع رویداد و «نه» با عدم وقوع رویداد تطابق دارند. برای پیش بینیهای ناقص، معیارهای دقت مختلفی برای سنجش این همخوانی استفاده می شود. یکی از سادهترین معیارها، نسبت صحیح⁽ (PC) است که نشان دهنده درصد پیش بینی های درست از کل موارد پیش بینی است (Roux et al., 2020).

$$PC = \frac{a+d}{n}$$
 (f the second seco

<mark>ح</mark> پیش بینی های درست «بله» و «نه» را به طور مساوی ارزیابی می کند، اما در مواردی که رویداد «بله» نادر است، ممکن است مناملب نباشد. این معیار هر دو نوع خطا (هشدار نادرست و ازدستدادن) را یکسان جریمه میکند و مقدار ان بین ۰ (بدترین) و ۱ (بهترین) است. با اینکه این معیار درصد پیش بینیهای درست را نشان میدهد، اما بین پیش بینیهای صحیح رویداد و عدم رویداد تمایز قائل نمیشود. در چنین شرایطی، امتیاز تهدید (TS)^۲جایگزین مناسبی است که برای رویدادهای نادر مفیدتر است:

$$TS = \frac{a}{a+b+c}$$

امتیاز تهدید (TS) یا شاخص موفقیت روانی (CSI) معیادی برای ارزیابی عملکرد پیش بینی های دسته بندی شده است که برابر است با تعداد کل پیشبینیهای صحیح رویداد (رخوردها) تقسیم برمجموع تعداد پیشبینیهای رویداد بهعلاوه تعداد از دستدادنها (برخوردها +هشدارهای کاذب + از دستدادنها). دامیه آن از ۲ تا ۱ است، بهطوری که مقدار ۱ نشان دهنده پیش بینی کامل است. این شاخص در ارزیابی پیش بینی های مکانی، مانند هشداری بارش سنگین و پهنهبندی سیلاب کاربرد فراوانی دارد و به دلیل عدم نیاز به مشخص کردن نواحی پیشبینی «نه»، مفید <mark>م</mark>یت (Ebert & McBride, 2000). یکی دیگر از روشهای ارزیابی دقت، استفاده از نسبت احتمالات (θ) برای مقایسه پیش بینی ها و صحیح و هشدارهای نادرست است.

رابطه ۶)

رابطه ۵)

 $\theta = \frac{ad}{bc}$ مقادیر بالاتر این نسبت نشاندهنده دقت بیشتر پیشبینیها است. در حالتهایی که پیش بینیهای شاهدات مستقل هستند، مقدار این نسبت برابر ۱ است. این معیار توسط (2000) Stephenson به ارزیابی پیشبیک های هواشناسی معرفی شد و پیش تر در اًمار پزشکی استفاده میشد. بایاس (Bias) یا مقایسه میانگین پیشبینی با میانگین مشاهده معمولاً بهصورت یک نسبت برای ارزیابی نتایج مدل، مورد استفاده قرار گرفته و بهصورت زیر تعریف می شود:

رابطه ۷)

پیش بینی های بدون بایاس زمانی رخ میدهند که B = 1 باشد که نشان دهنده این است که رویداد به همان تعداد پیش بینی ا شده است که مشاهده شده است. بایاس اطلاعاتی درباره همخوانی بین پیشبینیها و مشاهدات در موقعیتهای خاص ارائه نمیدهد، بنابراین نمیتواند معیاری برای دقت باشد. بایاس بزرگتر از ۱ نشاندهنده پیشبینی بیش از حد است، یعنی سیلاب بیشتر از میزان مشاهدهشده پیش بینی شده است. در مقابل، بایاس کمتر از ۱ نشان دهنده پیش بینی کمتر از حد است، یعنی سیلاب كمتر از ميزان مشاهدهشده پيش بينی شده است (Pennelly et al. 2014).

¹ Proportion Correct

² Threat Score

 $B = \frac{a+a}{a+a}$

a + b

- ³ Critical Success Index
- ⁴ Odds Ratio

نسبت هشدار نادرست^۱ (FAR) معیاری برای ارزیابی دقت پیش بینیها است که نشان میدهد چه درصدی از پیش بینیهای «بله» اشتباه بودهاند. مقدار FAR هر چه کمتر باشد، دقت پیش بینی بالاتر است و ایده آل ترین مقدار FAR صفر است. این معیار در ارزیابی مدلهای پیش بینی به ویژه در مواقعی که هشدارهای نادرست مهم هستند، کاربرد دارد.

$$FAR = \frac{b}{a+b}$$
 (٨ رابطه)

نرخ برخورد^۲(H) و نرخ هشدار نادرست^۳(F) دو معیار مهم برای ارزیابی پی*ش*بینیها هستند. نرخ برخورد نشاندهنده درصد پیشبینیهایی است که صحیح بوده و رویداد موردنظر واقعاً رخ داده است. بهعبارتدیگر، این پارامتر نشاندهنده بخشی از پهنه سی*لا*ب است که بهدرستی پیشبینی شده است.

- رابطه ۹) اربطه ۹) نرخ هشدار نادرست نشان دهنده درصد پیش بینی های نادرستی است که در آن پیش بینی سیلاب صورت گرفته، ولی در واقعیت رخ نداده است. این هر به عنوان احتمال شناسایی نادرست⁴شناخته می شود.
 - رابطه ۱۰)

شاخص وابستگی حقم ^۵(EDI) که توسط (EDI) که توسط (EDI) Ferro & Stephenson پیشنهاد شد، برای ارزیابی دقت پیشبینیها در مواجهه با رویدادهای نادر طراحی شده است. این شاخص مقادیری بین –۱ تا +۱ می گیرد. مقادیر مثبت نشاندهنده برتری پیشبینیها نسبت به پیشبینیهای تصادفی بوده، در حالی که مقادیر منفی یا نزدیک به صفر به معنای عملکرد ضعیفتر از پیش بینیهای تصادفی است.

 $EDI = \frac{ln(F) - ln(H)}{ln(F) + ln(H)}$ (11 (1)

نمره مهارت هایدک⁹(HSS) یک معیار ارزیابی پیشبینی است کمبر اساس نسبت پیشبینیهای صحیح تعریف می شود. این نمره برای پیشبینیهای کامل مقدار ۱، برای پیشبینیهایی معادل پیش بینیهای مرجع مقدار صفر، و برای پیشبینیهای بدتر از پیش بینیهای مرجع مقدار منفی دارد. در این روش، پیش بینیهای مرجع مدیبی بینیهای تصادفی آماری مستقل اشاره دارند. رابطه ۱۲)

$$HSS = \frac{(a+c)(c+d) + (a+b)(b+d)}{(a+c)(c+d) + (a+b)(b+d)}$$

نمره مهارت پیرس ^vشباهتهایی با نمره هایدک دارد؛ اما از یک نرخ برخورد مرجع متفاوت استفاده میکند. این معیار را می توان
به عنوان تفاوت بین دو احتمال شرطی نرخ برخورد (H) و نرخ هشدار نادرست (F) در نظر گرفت.
ما با بر سره می (d + b) (d + c) + (b + d) (c + d)
$$(d + c)$$

$$PSS = \frac{(a+a)/n - [(a+b)(a+c) + (b+d)(c+d)]/n^2}{1 - [(a+c)^2 + (b+d)^2]/n^2} = \frac{ad-bc}{(a+c)(b+d)}$$
(1)"

¹ False Alarm Ratio

 $F = \frac{b}{b+d}$

² Hit Rate

³ False Alarm Rate

⁴ False Detection

⁵ Extremal Dependence Index

⁶ Heidke Skill Score

⁷ Peirce Skill Score

پیش بینی های کاملاً درست نمره یک دریافت می کنند (زیرا b = c = 0، یا به طور دیگر، H = 1 و F = 0). پیش بینی های تصادفی دارای ESS بوده زیرا H = F است و پیش بینی هایی که از پیش بینی های تصادفی بدتر باشند نمره منفی می گیرند. علاوه بر این، برخلاف نمره هایدک، سهم پیش بینی درست «نه» یا «بله» در نمره مهارت پیرس بسته به احتمال وقوع رویداد تغییر می کند؛ به طوری که اگر رویدادی کمتر یا بیشتر محتمل باشد، پیش بینی درست آن سهم بیشتری خواهد داشت.

امتیاز مهارت گیلبرت⁽(GSS) توسط (GSS) ارائه شد که میتوان آن را بهعنوان نسبت موفقیت نامید که نشاندهنده دقت کلی مدل محاسباتی در شبیهسازی پهنه سیلاب بوده و دارای یک عبارت تصحیح بوده که اثر تصادفی بودن شبیهسازی را کاهش میدهد. مقادیر مثبت نسبت موفقیت نشاندهنده کارایی بالای مدل بوده و یک شبیهسازی کاملاً صحیح دارای نسبت موفقیت برای است، درحالی که نسبت موفقیت صفر حاکی از تصادفی بودن شبیهسازی است (Pennelly et al., 2014).

$$GSS = \frac{a/(a+b+c) - a_{ref}/(a+b+c)}{1 - a_{ref}/(a+b+c)} = \frac{a - a_{ref}}{a - a_{ref}+b+c}$$

از آنجاکه برای معاسبهٔ GSS برخلاف n به حجم نمونه n بیاز است، GSS برخلاف TS به تعداد $(a_{ref} = (a + b)(a + b)/n)$ به حجم نمونه n بیاز است، GSS برخلاف TS به تعداد پیش بینیهای صحیح "م" نیز بستگی دارد (Ebert et al., 2007). نسبت شانس (Q) را می توان به صورت رابطه ۱۵ نوشت. پیش بینیهای تصادفی مقدار Q = 0 دارنده و پیش بینیهای کامل مقدار 1 = Q را تولید می کنند (Stephenson, 2000).

رابطه ۱۵)

, ابطه

$$Q = \frac{\theta - 1}{\theta + 1} = \frac{(ad/bc) - 1}{(ad/bc) + 1} = \frac{ad - bc}{ad + bc}$$

یافتههای پژوهش

در این تحقیق از ۴ اندازه مختلف برای پیکسلهای رودخانه و دشتهای سیلابی استفاده گردید که در مجموع ۱۶ نقشه توپوگرافی متفاوت در محیط QGIS تهیه شد. پس از تهیه نقشههای موپوگرافی ودخانه و دشتهای سیلابی و ترکیب کردن آنها از مدل دو بعدی HEC-RAS جهت شبیهسازی دو بعدی سیلاب استفاده شد. بر اسلول سناریوهای مختلف، نتایج شبیهسازی سیلاب ۹۸ با استفاده از اندازههای متفاوت پیکسلهای رودخانه و دشتهای سیلابی در شکار ۵ ارائه شده است.

نتایج آنالیزهای صورت گرفته شامل معیارهای نسبت صحیح، شاخص تهدید، نسبت شانس، بایاس، نسب هسدار نادرست، نرخ برخورد، نرخ هشدار نادرست، شاخص وابستگی حدی، نمره مهارت هایدک، نمره مهارت پیرس، نسبت موفقیت و نسبت شانس بر روی سناریوهای مختلف اجرا شده توسط مدل دوبعدی HEC-RAS در جدول ۲ ارائه شده است.

Foodlplain Pixel Size								
150 m	100 m	50 m	30 m					



شبکل ۵. پهنه سیلاب مشاهداتی و شبیهسازی شده توسط مدل HEC-RAS برای سناریوهای مختلف

جدول ۲. نتایج تحلیلهای صورت گرفته بر روی سناریوهای مختلف

River pixel size (m)	Floodplain pixel size (m)	PC	TS	θ	Bias	FAR	Н	F	EDI	HSS	PSS	GSS	Q
٣٠	۳.	٠/٧٩	·/9Y	17/89	١/١٣	•/74	۰/٨۶	٠/٢۵	۰/۸۰	۰/۶۰	۰/۶۰	•/4٣	٠/٨٩

											-	
10-	۰/۶۶	۰/۵۶	٧/٣	۱/۵۰	٠/۴٠	٠/٩٠	۰/۵۵	٠/۶٩	/٣۴	• ٣۴		۰/۷۵
۱۰۰	٠/٧٣	•/87	11/94	1/34	•/٣٣	٠/٨٩	۰/۴۱	•/٧٧	•/44	•/۴٨	•/٣	۰/۸۴
۵۰	٠/٧٣	۰/۶۱	۱۱/۴۸	1/34	•/٣۴	٠/٨٩	۰/۴۱	•/٧٧	•/۴٧	•/۴٨		۰/۸۴
٣.	۰/۷۶	•/۶۴	14/14	١/٢٧	•/٣•	•/\\	۰/۳۵	٠/٧٩	۰/۵۳	•/۵۳	•/٣۶	۰/٨۶
۱۵۰	٠/۶٩	۰/۵۸	٨/۵٢	۱/۴۰	•/٣٧	٠/٨٩	•/۴٨	•/٧٢	۰/۴۰	۰/۴۱	۰/۲۵	٠/٧٩
١	٠/٢٠	٠/۵٩	٩/۵	١/٣٨	•/٣۶	•/\\	•/49	٠/٧٣	•/47	•/۴٣	•/77	۰/۸۰
۵۰	۰/۷۶	•/۶۴	۱۳/۵۷	1/78	•/٣•	•/\\	۰/۳۵	•/YA	•/۵۲	۰/۵۳	۰/۳۵	۰/٨۶
٣٠	۰/۷۶	•/۶۴	۱۴/۱۹	1/14	٠/٢٩	•/\\	•/٣٣	٠/٧٩	۰/۵۴	۰/۵۴	•/٣٧	۰/٨۶
10-	•/٧٨	•/۶۶	10/08	١/١٧	•/77	۰/٨۶	٠/٢٩	٠/٧٩	•/۵Y	۰/۵۸	٠/۴٠	٠/٨٢
۱۰۰	•/٧٨	•/۶۶	۱۵/۸۸	۱/۱۶	۰/۲۶	۰/٨۶	•/٢٨	٠/٧٩	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۴۱	•/\\
۵۰	•/٧٨	•/88	۱۵/۸۵	۱/۱۶	•/7۶	۰/٨۶	•/7٨	٠/٧٩	۰/۵۸	۰/۵۸	٠/۴١	•/\\
۳۰	٠/٧٩	•/88	۱۶/۳۰	١/١۵	•/7۶	۰/٨۶	•/77	٠/٧٩	۰/۵۸	٠/۵٩	٠/۴١	•/\\
۱۵۰	٠/٧٩	۰/۶۷	۱۲/۵۱	۱/۱۴	•/۲۴	۰/٨۶	۰/۲۶	٠/٨٠	•/8•	•/۶•	•/۴٣	٠/٨٩
۱	٠/٧٩	۰/۶۷	۱۲/۵۵	1/14	•/74	۰/٨۶	۰/۲۶	۰/۸۰	۰/۶۰	۰/۶۰	•/۴٣	٠/٨٩
۵۰	٠/٧٩	۰/۶۷	۱۲/۶۰	١/١٣	•/۲۴	۰/٨۶	۰/۲۶	٠/٨٠	•/۶•	۰/۶۰	•/۴٣	٠/٨٩
	۵۰ ۱۰۰ ۳۰ ۱۵۰ ۲۰۰ ۱۵۰ ۲۰۰ ۱۵۰	Δ· ·/٧٩ `··· ·/٧٩ `··· ·/٧٩ `·· ·/٧٩ `·· ·/٧٩ `·· ·/٧٩ `·· ·/٧٩ `·· ·/٧٩ `·· ·/٧٩ `·· ·/٧٨ `·· ·/٧٨ `·· ·/٧۶ `·· ·/٧۶ `·· ·/٧۶ `·· ·/٧۶ `·· ·/٧۶ `·· ·/٧۶ `·· ·/٧۶ `·· ·/٧۶ `·· ·/٧۶ `·· ·/٧۶ `·· ·/٧۶ `·· ·/٧۶ `·· ·/٧۶ `·· ·/۶۶	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\Delta \cdot$ $\cdot //Yq$	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$

نتایج تحلیل عملکرد ۱۶ سناریو باعدل HEC-RAS با وضوح پیکسلی مختلف برای رودخانه و دشت سیلابی با تمرکز بر معیار نسبت صحیح نشان داد که مدلهایی بالادانه پیکسل کوچکتر رودخانه (۳۰ و ۵۰) به طور مداوم بالاترین PC را به دست آوردهاند. با افزایش اندازه پیکسل رودخانه به ۱۰۰ متر، کاهش قابل توجهی در PC مشاهده میشود. پایین ترین مقادیر PC در وضوح ۱۵۰ متر برای رودخانه ثبت شده است، جایی که مقدار PC از ۱۷۶۲ (برای پیکسلهای دشت سیلابی ۳۰ متر) به ۱۶۶۳ (برای پیکسلهای دشت سیلابی ۱۵۰ متر) کاهش مییابه به خور کلی، اندازههای پیکسل کوچکتر برای رودخانه و دشت سیلابی مقادیر PC بالاتری را ارائه میدهند، در حالی که تأثیر افزایش اندازه پیکسل رودخانه بیشتر از تأثیر پیکسلهای دشت سیلابی

بررسی شاخص تهدید که برای پیشبینی رویدادهای قدر مناسب است، نمان میدهد که مدلهایی با بالاترین وضوح پیکسلی برای رودخانه (۳۰ متر) به طور مداوم بالاترین مقادیر TS (معادل ۱/۶۷ را در نمامی اندازههای پیکسلی سیلاب دشت کسب می کنند که نشان دهنده عملکرد قوی آنها است. با کاهش وضوح پیکسلی رودخانه (۱۰ و ۱۵۰ متر) مقادیر TS به ویژه در ترکیب با اندازههای بزرگتر پیکسلی سیلاب دشت، کاهش قابل توجهی نشان میدهد. به طور کلیه وضوحهای بالاتر برای پیکسلهای رودخانه و سیلاب دشت (۳۰ یا ۵۰ پیکسل) اکثراً مقادیر TS بهتری را ارائه میدهند و پیش پی دقیق دری از رویدادهای نادر را تضمین می کنند. وضوحهای پایین تر، به ویژه در مقیاس ۱۰۰ یا ۱۵۰ متر برای هر دو رودخانه و سیلاب دشت، منجر به کاهش قابل توجهی در مقادیر TS می شوند که نشان دهنده عملکرد ضعیف تر مدل است.

جدول ۲ نشان میدهد که رزولوشنهای بالاتر پیکسلهای رودخانه (۳۰ و ۵۰ متر) به طور مداوم بالاترین سببت تعامل (θ) را ارائه میدهند که نشاندهنده قابلیت اطمینان بالای پیشبینی است. با این حال، نسبت شانسها برای رزولوشنهای متوسط پیکسل رودخانه (۱۰۰ متر) به شدت کاهش می یابد و مقادیر آن از اندازه پیکسل سیلاب دشت ۳۰ متر (۱۴/۱۹) به ۱۵۰ متر (۸/۵۳) تقریباً نصف می شود، که نشاندهنده کاهش قابل توجه در عملکرد مدل است. در سناریوهای رودخانه با اندازه پیکسل در شت تر (۱۰۰ متر)، نسبت شانسها بیشتر افت می کند که نشاندهنده تأثیر منفی تر کیب رزولوشنهای در ست پیکسلهای رودخانه و سیلاب دشت بر قابلیت اطمینان پیشرینیها است. به طور کلی، دادهها نشان میدهند که رزولوشنهای درشت پیکسلهای رودخانه و سیلاب دشت و سیلاب دشت) بهترین تعادل را بین پیش بینی صحیح و هشدارهای اشتباه ایجاد می کند، در حالی که رزولوشنهای درشتتر منجر به کاهش قابلیت اطمینان پیش بینی می شوند. با افزایش اندازه پیکسل رودخانه از ۳۰ به ۱۵۰، بایاس به طور مداوم افزایش میجر به کاهش قابلیت اطمینان پیش بینی می شوند. با افزایش اندازه پیکسل رودخانه از ۳۰ به مین تر زیاس های در شت ر می بد که نشاندهنده بیش برآوردی بیش بینی صحیح و هشدارهای اشتباه ایجاد می کند، در حالی که رزولوشنهای در شت ر می بد که نشاندهنده بیش برآوردی بیش بینی می شوند. با افزایش اندازه پیکسل رودخانه از ۳۰ به ۱۵۰، بایاس به طور مداوم افزایش می باید که نشاندهنده بیش برآوردی بیشتر در اندازههای پیکسل بزرگ تر است. به همین تر تیب، افزایش اندازه پیکسل دشت مقادیر بایاس بین ۱/۱۳–۱/۱۷ را حفظ میکنند، در حالی که اندازههای بزرگتر (مثلاً ۲۰۰×۱۰۰ یا ۱۵۰×۱۵۰) مقادیر بایاس تا ۱/۵۰ را نشان میدهند. علاوه بر این، با افزایش اندازه پیکسل رودخانه، افزایش قابل توجهی در FAR مشاهده می شود که نشان میدهد مدلهایی با اندازه پیکسل رودخانه بزرگتر، هشدارهای اشتباه بیشتری تولید میکنند. علاوه بر این با افزایش اندازه پیکسل دشت سیلابی، FAR نیز به طور کلی افزایش می یابد که نشان دهنده هشدارهای اشتباه بیشتر در پیش بینی های مدل است. مدلهایی با اندازه پیکسلهای کوچک رودخانه و دشت سیلابی FAR نسبتاً کمی (حدود ۰/۲۴ تا ۰/۲۷) نشان میدهند که نشانگر هشدارهای اشتباه کمتر و پیش بینیهای قابل اعتمادتر است. این در حالی است که مدل هایی با اندازه پیکسل های بزرگ (مثلاً ۲۰۰×۱۰۰ یا ۱۵۰×۲۵۲) FAR به طور قابل توجهی افزایش می یابد و در بعضی موارد به ۲۶۶ و حتی ۲۴ می رسد. نرخ برخورد (H) برای پیکسلهای کوچکتر رودخانه و دشت سیلابی (۳۰×۳۰ یا ۳۰×۵۰) ثابت و برابر با ۱/۸۶ باقی میماند که نشان دهنده توانایی متوسط مدل در شناسایی صحیح رویدادهای مثبت است. این ثبات در اندازههای مختلف پیکسل دشت سیلابی نیز حفظ می شود و نشار می دهد که در این وضوحهای دقیق، بهبود یا کاهش عملکرد قابل توجهی رخ نمی دهد. با افزایش اندازه پیکسل، نرخ برخورد اندکی بهبود مییابد و نشاندهنده افزایش دقت شناسایی در وضوحهای درشتتر است. دلیل این امر این است که مدل در نقشههای ا پیکس های درستتر، بیش برازش بیشتری در شبیه سازی سیلاب در مقایسه با پیکسل های ریزتر داشته و در نتیجه نرخ برخورد بهبود یافته است. برای اندازههای کوچکتر پیکسل رودخانه و دشت سیلابی (۳۰×۳۰ یا ۳۰×۵۰) نرخ هشدار اشتباه نسبتاً پایین و در محدوده ۲۵/۲۵ تا ۲۹/ باقی می ماند. این موضوع هشدارهای اشتباه کمتری را در وضوحهای دقیق تر نشان می دهد. در مقابل، با افزایش اندازه پیکسل رودخانه به ۱۵۰، نرخ هشدار اشتباه به طور قابل توجهی افزایش می یابد و در محدوده ۳۵/۰ تا م ۸۵۵ قرار می گیرد که بیشترین مقادیر آن در بزرگ ترین اندازههای پیکسل دشت سیلابی مانند ۱۵۰ مشاهده می شود. روند افزایش نرخ هشدار اشتباه با بزرگتر شدن اندازه پیکسر در نقشههای بردخانه و دشت سیلابی ثابت است. در اندازههای پیکسل متوسط مانند ۱۰۰×۱۰۰ نرخ هشدار اشتباه به ۰/۴۶ تا ۰/۴۸ افرایش می بابد و در بزرگترین اندازهها (مانند ۱۵۰×۱۵۰) به محدوده ۰/۴۱ تا ۰/۵۵ میرسد. برای اندازههای پیکسل کوچکتر رودخاند و دشت سیلابی مقدار EDI به طور مداوم بالا و حدود ۰/۸ باقی میماند که نشاندهنده وابستگی قوی و پایدار بین رویدادهای ح<mark>دی</mark> است. با افزای**ش ا**ندازه پیکسل، مقدار EDI به تدریج کاهش می یابد و نشاندهنده تضعیف وابستگی بین رویدادهای حدی است. امتیاز مهارین هایدک (HSS) و امتیاز مهارت پیرس (PSS) در اندازههای کوچکتر پیکسل رودخانه و دشت سیلابی دقت و عملکرد بهتری د<mark>ارد</mark>. برای این وضوحهای بالاتر، مقادیر HSS و PSS به طور مداوم حدود ۰/۶ باقی میماند که نشاندهنده عملکرد پایدار و قوی مدر در پیش بینی رویدادهای سیلابی است. این موضوع نشان میدهد که اندازههای کوچکتر پیکسل به طور مؤثری دینامیک سیلاب را ثبت کرده و میبرات کمی اردر پیکربندیهای مختلف به همراه دارند. با افزایش اندازه پیکسل هر دو معیار HSS و PSS به طور قابل توجهی کامش میابند که نشان دهنده کاهش دقت و مهارت پیش بینی است. تحلیل نمره مهارت گیلبرت (GSS) نشان میدهد که اندازه پیکسل مای کوچکت رودخانه و دشت سیلابی به مقادیر GSS نسبتاً بالا و ثابتی بین ۰/۴ تا ۰/۴۳ منجر می شود که بیانگر عملکرد پاید رود فیق در پیش بینی سیلاب است. این وضوح بالاتر به مدل کمک می کند تا وقایع مثبت سیلاب را بهتر تشخیص دهد و هشدارهای اشتباه و وقایع ازدست فته را به حداقل برساند، و بدین ترتیب عملکرد مدل را با کمترین تغییرات در پیکربندیها تضمین میکند. در مق**ابل ب**افزایش اندازه پیکسلها مقادیر GSS به طور قابلتوجهی کاهش مییابد که کاهش مهارت پیش بینی را نشان میدهد. تحلیل امتیاز مهارت نسبت شانس (ORSS) نشان میدهد که اندازههای کوچکتر پیکسلهای رودخانه و دشت سیلاب به طور مداوم مقادیر بالای ORSS را دارند که بین ۰/۸۷۹ تا ۰/۸۹۳ متغیر است. این نشان دهنده ارتباط قوی بین رویدادهای پیش بینی شده و مشاهدات سیلاب است و عملکرد خوبی را در شناسایی صحیح رویدادهای مثبت واقعی بازتاب میدهد. عملکرد مدل در اندازههای پیکسل کوچک پایدار است و نشان میدهد که رزولوشنهای دقیق تر توانایی مدل را در پیش بینی دقیق رویدادهای سیلاب افزایش میدهند. با افزایش اندازه پیکسلها مقادیر ORSS کاهش می یابد که نشان دهنده کاهش اندک در مهارت پیش بینی مدل است. جهت بررسی دقیق تر تأثیر اندازه پیکسلهای رودخانه و دشتهای سیلابی بر روی شاخصهای مورداستفاده در این مطالعه از نقشههای کانتور استفاده شده است. در شکل ۶ تغییرات شاخصهای آماری مختلف براساس اندازه پیکسلهای رودخانه و دشتهای سیلابی رودخانه کارون برای سناریوهای مختلف شبیه سازی شده توسط مدل هیدرودینامیکی دو بعدی HEC-RAS بهازای سیلاب سال ۱۳۹۸ به صورت نقشههای کانتور ارائه شده است.



نقشههای کانتور ارائه شده در شکل ۶ تأثیر اندازههای مختلف پیکسلهای رودخانه و دشت سیلابی را بر معیارهای ارزیابی مدلسازی سیلاب نشان میدهند. در تمامی نقشههای کانتور، اندازه پیکسل دشتهای سیلابی تاثیر ملموسی بر روی شاخصهای مورد استفاده به ازای پیکسل رودخانه ۳۰ متر نداشته است. با افزایش اندازه پیکسل رودخانه، تاثیر اندازه پیکسل دشتهای سیلابی بیشتر شده، بویژه در اندازه پیکسل ۱۵۰ متر رودخانه، تغییرات پیکسل دشتهای سیلابی به شدت بر روی میزان شاخصهای مورد استفاده تاثیرگذار بوده است. در حالت کلی اندازههای پیکسل کوچکتر عملکرد بهتری در معیارهای ارزیابی مانند امتیاز تهدید (TS)، نسبت صحیح (PC) و امتیاز مهارت هایدک (HSS) دارند. این عملکرد بالا به توانایی وضوح بالای مدل در شبیهسازی فرأیندهای هیدرولوژیکی و پهنه بندی سیلاب مربوط است. علاوه بر این، معیارهایی مانند بایاس به مقدار ایدهاًل نزدیک هستند که نشاندهنده پیش بینی های متوازن با حداقل تخمین بیش از حد یا کمتر از حد مناطق مستعد سیلاب است. همچنین شاخص خطای تشخص (EDI) و نسبت هشدار اشتباه (FAR) در وضوحهای دقیق بهبود قابل توجهی نشان میدهند و نرخ پایین پیش بینی های مثبت کافب را تأیید می کنند. امتیازهای بالای معیارهای مهارت مانند HSS و امتیاز مهارت گیلبرت (GSS) نیز بر قابلیت اطمیزان وضوح بالاتحد مدلسازی سیلاب تأکید دارند. با افزایش اندازه پیکسل به وضوحهای پایینتر (۱۰۰×۱۰۰ یا ۱۵۰×۱۵۰) کاهش قابل توجهی در عملکرد مدر مشاهده میشود. این کاهش نشاندهنده ناتوانی وضوحهای پایین در نمایش مؤثر فرآیندهای هیدرودینام کمی در دشت محکمی و رودخانه است. وضوحهای بزرگتر منجر به نمایش هموارتر پهنه سیلاب شده و توانایی مدلسازی پهنههای سیلابی کوری ا دارند. این اثرِ در افزایش مقادیر FAR (که در وضوحهای پایین تر به بیش از ۰/۳۵ می سد) و افزایش مقادیر Bias (تا ۱/۳۸) که نثان دهنده تعلیل به بیش برآورد گستره سیلاب است، آشکار است. علاوه بر این، معیارهای مهارت مانند GSS و PSS کاهش توانایم پیش بینی مدار در وضوحهای پایین تر را نشان میدهند که بیانگر کاهش دقت مدل در تعیین گستره سیلاب است.

نقشههای کانتور نشاندهنده رابطه بین وضوح مکانی کارایی محاسباتی در مدل سازی سیلاب میباشند. درحالی که وضوحهای بالا نتایج بسیار دقیق و قابل اطمینانی ارائه میدهند، اما به محاسبات و زمان بیشتری نیاز دارند (Brunner, 2023) که ممکن است برای مطالعات بزرگمقیاس یا پیشبینیهای سیلاب در زمان واقعی اعکارینایر نباشد. از سوی دیگر، وضوحهای پایین تر از مزایای محاسباتی برخوردارند اما باعث کاهش دقت و مهارت مدل شده و برای کاربردهایی که نیازمند تعیین دقیق گستره سیلاب هستند، مانند مدیریت سیلابهای شهری، مناسب نیستند. شاخصهایی مانند **اطلاب** سایر معیارهای قابلیت اطمینان نشان میدهند که اندازه پیکسلهای میانه (۵۰×۵۰ یا ۱۰۲×۵۰ متر) میتوانند دقت معقولی را با کاهش محاسبات فراهم کند. این تعادل به ویژه برای مطالعات در مقیاس منطقه ای یا تجزیه وتحلیلهای فرامنطقه ای مفید است.

ضریب تهدید محاسبه شده توسط (2001) Horritt & Bates که از مدل LISFLOOD-FP جهت سبیه سازی پهنه سیلاب با رزولوشنهای مختلف استفاده نمودند، بهازای رزولوشن ۵۰ متر برابر با ۷۲/۲ درصد و بهازای رزولوشن ۵۰ متر برابر با ۶۱/۲ درصد محاسبه شد که نشان دهنده کاهش ۱۱ درصدی میزان کارایی مدل با افزایش ۵ برابری رزولوشن نقشه توپر مافد از ۵۰ متر به ۲۵۰ متر است. در مطالعه حاضر نیز با اینکه از مدل متفاوت HEC-RAS در منطقه متفاوت استفاده شده است، میزان ضریب تهدید از ۶۷ درصد بهازای رزولوشن ۳۰ متری به ۵۶ درصد بهازای رزولوشن ۱۵۰ متری رسیده است که نشان دهنده کاهش ۱۱ درصدی بهازای کاهش ۵ برابری رزولوشن نقشه توپوگرافی بوده است. مقایسه نتایج مطالعه حاضر با تحقیق صورت گرفته توسط ۲۵۵ شا بهازای کاهش ۵ برابری رزولوشن نقشه توپوگرافی بوده است. مقایسه نتایج مطالعه حاضر با تحقیق صورت گرفته توسط ۲۵۵ پهنه بندی سیلاب در رودخانه استرودس کریک^۱ با استفاده از مدل HEC-RAS استفاده شد که ضریب تهدید کاهش ۱۱ درصدی پهنه بندی سیلاب در رودخانه استرودس کریک^۱ با استفاده از مدل HEC-RAS استفاده شد که ضریب تهدید کاهش حدود ۱۰ پهنه بندی سیلاب در رودخانه استرودس کریک^۱ با استفاده از مدل HEC-RAS استفاده شد که ضریب تهدید کاهش حدود ۱۰ پهنه بندی سیلاب در رودخانه استرودس کریک^۱ با استفاده از مدل HEC-RAS استفاده شد که ضریب تهدید کاهش حدود ۱۰ برای رزولوشن ۱۰۰ متر، ۵۹ درصد محاسبه گردید که نشان میدهد با افزایش اندازه پیکسلها، ۸ درصد کاهش در ضریب تهدید اتفاق افتاده است. امتیاز تهدید مربوط به نقشه توپوگرافی با رزولوشن ۳۰ متری در مطالعه (2021). Muthusamy et al برابر با ۰/۶۸ محاسبه شد که نزدیکی بالایی با مطالعه حاضر دارد. هرچند امتیاز تهدید بهازای رزولوشن ۵۰ متری حدود ۰/۶ محاسبه گردید که نسبت به تحقیق حاضر کمتر محاسبه شده است. عوامل مختلفی میتواند در این زمینه موثر باشد که از آن جمله میتوان به تفاوت در شرایط توپوگرافی دو منطقه مورد مطالعه اشاره نمود.

نتیجهگیری و پیشنهادها

در این مطالعه تأثیر اندازههای پیکسل رودخانه و دشتهای سیلابی بر روی شبیهسازی پهنه سیلاب توسط مدل دوبعدی -HEC RAS مورد برسی قرار گرفته است. بر اساس تحلیل اثر اصلی اندازه پیکسل رودخانه، نسبت صحیح و امتیاز تهدید با افزایش اندازه پيکسل رودانه بهويژه براي اندازههاي پيکسل دشت سيلابي ۱۰۰ و ۱۵۰ متر کاهش مييابد. امتيازهاي مهارتي هايدک، پيرس و گیلبرت یا فزایش انداده پیکسل رودخانه کاهش می یابند. امتیاز مهارتی گیلبرت بهویژه برای پیکسل های بزرگتر رودخانه کاهش شدیدی نشان میدهد که نشاندهنده عملکرد ضعیفتر پیشبینی سیل در وضوحهای پایینتر است. با افزایش اندازه پیکسل رودخانه، بایاس افریش می یابد، که نشان دهنده تمایل به پیش بینی بیش از حد است. نسبت هشدار اشتباه نیز روند افزایشی مشابهی را نشان میدهد. براساس بررسی اثر اصلی اندازه پیکسل دشت سیلابی، نسبت صحیح و امتیاز تهدید با افزایش اندازه پیکسل دشت سیلابی بهویژه برای اندازههای پیکسل ودخانهای ۱۰۰ و ۱۵۰ متر کاهش مییابند. کاهش در امتیاز تهدید نشان میدهد که وضوح پایین تر دشت سیلابی توانایی مدل در پیشرینی دقیق سیل 📢 کاهش میدهد. همه امتیازهای مهارتی با افزایش اندازه پیکسل دشت سیلابی بهویژه در سناریوهای پیکسل رومخانوای ۱۰۰ و ۱۵ متر کاهش می یابند. با افزایش وضوح دشت سیلابی، بایاس افزایش می یابد، که نشان دهنده تمایل بیشتر به پیشبینی بیش از حد در وضوحهای پایین تر دشت سیلابی است. بررسی تأثیرات متقابل نشان میدهد که ترکیب وضوح پایین برای هر و پیکسل رودخانه و دشت سیلابی (مثلاً ۱۰۰ × ۱۵۰ متر) منجر به پایین ترین امتیازهای مهارتی می شود (HSS = 0.34، GSS = 💶 برای 🗛 × ۱۵۰ متر) که نشان دهنده عملکرد ضعیف تر مدل است. بایاس و نسبت هشدار اشتباه برای ترکیبات اندازه پیکرهای بزی رو خانه و دشت سیلابی (مثلاً ۱۵۰ × ۱۵۰ متر) بالاترین هستند، که منعکس کننده روند پیشبینی بیش از حد است. مقادیر EDI برای و**ن**وح پایین دشت سیلابی و اندازههای بزرگتر پیکسل رودخانه بالاترین هستند، که نشان دهنده چالشهای بیشتر در پیش بینی است. بر اساس اثرات اصلی هر دو اندازه پیکسل رودخانه و دشت سیلابی بر شاخصها تأثیر دارند، اما تأثیر اندازه پیکسل دشت سیلابی رجستهتر است اندازههای پیکسل بزرگتر منجر به کاهش دقت و امتیازهای مهارتی، افزایش بایاس و نسبت هشدار اشتباه می شوند. بر اساس اثرات متقابل نیز ترکیب وضوح پایین برای هر دو پیکسل رودخانه و دشت سیلابی منجر به بیشترین کاهش عملکرد در تمام شاخص ها میشود. به طور کلی، یافته ها تأكيد دارند. بر اهمیت استفاده از وضوح مدل رقومی متناسب با اهداف و محدودیتهای موجود در مدلسازی س**یلا**

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان بابت تأمین هزینههای طرح پژوهشی کاربردی با کد قرارداد ۱/۴۱۱/۱۰۷۸ کمال تشکر را دارند.

فهرست منابع

- ظهیری، جواد و آشناور، مهران (۱۳۹۸). مدلسازی دوبعدی هیدرولیک جریان در رودخانه کارون. *نشریه نشریه علوم آب و خاک*، ۲۳ (۴)، ۳۴۴–۳۳۲.
- ظهیری، جواد و آشناور، مهران (۱۴۰۰). کارایی HEC-RAS و GIS در شبیهسازی یکبعدی هیدرودینامیک جریان در رودخانه. *نشریه* مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تبریز، ۵۱ (۲)، ۶۳–۷۲.

REFERENCES

- Brunner, G. W. (2023). *HEC-RAS River Analysis System: Hydraulic Reference Manual, Version 6.4.* US Army Corps of Engineers–Hydrologic Engineering Center, CPD-69.
- Cook, A., & Merwade, V. (2009). Effect of topographic data, geometric configuration and modeling approach on flood inundation mapping. *Journal of Hydrology*, *377*(1–2), 131–142. https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2009.08.015.
- Ebert, E. E., & McBride, J. L. (2000). Verification of precipitation in weather systems: determination of systematic errors. *Journal of Hydrology*, 239(1–4), 179–202. <u>https://doi.org/ch4m9p</u>.
- Ferro, C. A. T., & Stephenson, D. B. (2011). Extremal Dependence Indices: Improved Verification Measures for Deterministic Forecasts of Rare Binary Events. *Weather and Forecasting*, 26(5), 699– 713. <u>https://doi.org/10.1175/WAF-D-10-05030.1</u>.
- Haces-Garcia, F., Ross, N., Glennie, C. L., Rifai, H. S., Hoskere, V., & Ekhtari, N. (2024). Rapid 2D hydrodynamic flood modeling using deep learning surrogates. *Journal of Hydrology*, 132561. https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2024.132561.
- Horritt, M. S., & Bates, P. D. (2001). Effects of spatial resolution on a raster-based model of flood flow. *Journal of Hydrology*, 253(1), 239–249. <u>https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)0490-5</u>.
- Hsu, Y. C., Prinsen, G., Bouaziz, L., Lin, Y. J., & Dahm, R. (2016). An Investigation of DEM Resolution Influence on Flood Inundation Simulation. *Procedur Engineering*, 154, 826–834. https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2016.07.435.
- Kashefipour, S. M., & Zahiri, J. (2010). Comparison of Empirical Equations' Application in the Advection-Dispersion Equation on Sediment Transport Modelling *World Appl. Sci.*, 11(8), 1015-1024.
- Lai, R., Wang, M., Yang, M., & Zhang, C. (2018). Method based on the Laplace equations to reconstruct the river terrain for two-dimensional hydrodynamic numerical modeling. *Computers & Geosciences*, 111, 26–38. <u>https://doi.org/10.1016/J.CAGEO.2017.10.006</u>.
- Merkuryeva, G., Merkuryev, Y., Sokolov, B. v., Potryasaev, S., Zelentsov, V. A., & Lektauers, A. (2015). Advanced river flood monitoring, modelling and forecasting. *Journal of Computational Science*, 10, 77–85. <u>https://doi.org/10.1016/J.JOCS.2014.10.004</u>.
- Muthusamy, M., Casado, M. R., Butler, D., & Leinster, P. (2021). Understanding the effects of Digital Elevation Model resolution in urban flovial flood modelling. *Journal of Hydrology*, 596. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.120088.
- Ogania, J. L., Puno, G. R., Alivio, M. B. T., & Taylaran, J. M. G. (2019). Effect of digital elevation model's resolution in producing flood bazard maps. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 3(1), 95–106. https://doi.org/10.22034/GJESM.2019.01.08.
- Papaioannou, G., Loukas, A., Vasiliades, L., & Aronica, G. T. (2016). Flood inundation mapping sensitivity to riverine spatial resolution and modelling approach. *Natural Hazards*, 83(1), 117–132. <u>https://doi.org/10.N07/S11069-016-2382-1/METRICS</u>.
- Parizi, E., Khojeh, S., Hosseini, S. M., & Moghadam, Y. J. (2022). Application of Unmanned Aerial Vehicle DEM in flood modeling and comparison with global DEMs: Case study of Atrak River Basin, and Iran. Journal of Environmental Management, 317, 115492. https://dvi.org/10.1016/J.JENVMAN.2022.115492.
- Peña, F., & Nardi, F. (2018). Floodplain Terrain Analysis for Coarse Resolution 2D Flood Modeling. *Hydrology 2018, Vol. 5, Page 52, 5*(4), 52. <u>https://doi.org/10.3390/HYDROLOGY5040052</u>.
- Pennelly, C., Reuter, G., & Flesch, T. (2014). Verification of the WRF model for simulating heavy precipitation in Alberta. *Atmospheric Research*, *135–136*, 172–192. https://doi.org/10.1016/J.ATMOSRES.2013.09.004.
- Roux, H., Amengual, A., Romero, R., Bladé, E., & Sanz-Ramos, M. (2020). Evaluation of two hydrometeorological ensemble strategies for flash-flood forecasting over a catchment of the eastern Pyrenees. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20(2), 425–450. <u>https://doi.org/10.5194/NHESS-20-425-2020</u>.
- Samadi, A., Jafarzadegan, K., & Moradkhani, H. (2025). DEM-based pluvial flood inundation modeling at a metropolitan scale. *Environmental Modelling & Software*, *183*, 106226. <u>https://doi.org/10.1016/J.ENVSOFT.2024.106226</u>.

Stephenson, D. B. (2000). Use of the "odds ratio" for diagnosing forecast skill. Weather and Forecasting, 15(2), 221-232. https://doi.org/10.1175/1520-0434(2000)015% 3C0221:UOTORF% 3E2.0.CO;2.

Wilks D. (2019). Statistical methods in the atmospheric sciences. *Elsevier*. <u>https://cir.nii.ac.jp/crid/1370853567635628434</u>.

- Zahiri, J., & Ashnavar, M. (2019). Two-dimensional hydraulic modeling of Karun river. *JWSS-Isfahan* University of Technology, 23(4), 331-344. (In Persian).
- Zahiri, J., & Ashnavar, M. (2021). River Flow Simulation by Integrating Numerical Methods and Satellite Images. *Journal of Civil and Environmental Engineering*, *51.2*(103), 63–72. https://doi.org/10.22034/jcee.2019.9090. (In Persian).
- Zeleňáková, M., Fijko, R., Labant, S., Weiss, E., Markovič, G., & Weiss, R. (2019). Flood risk modelling of the Slatvinec stream in Kružlov village, Slovakia. *Journal of Cleaner Production*, 212, 109–118. <u>https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.12.008</u>.