

EXTENDED ABSTRACT

Simulating the Effect of River Dredging on the Extent, Depth, and Risk of Flooding Using The HEC-RAS (2D) Model in Areas with a Low Slope (Case Study: Agh-Ghala City)

Laleh Rezaei Ghaleh^a, Hossein Rezaie^{a,*}, Khalil Ghorbani^b

^aDept. of Science and Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

^bDept. of Water Engineering, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Received: 21 December 2023; **Reviewed:** 18 February 2024; **Accepted:** 28 February 2024

Keywords:

Gorgan-Roud, Dredging, 2D Simulation, HEC-RAS, Flood.

1. Introduction

Throughout the world, hydraulic models are used to simulate floods. Gorgan Roud River has historically caused significant damage to Golestan province. This study aimed to investigate the impact of dredging on the 2018 flood in Golestan province. Riverbed adjustments of 0.5, 1, and 2 meters were applied to the Gorgan Roud River using GIS software and the HEC-GeoRAS plugin from the outlet of Voshangir dam to Agh-Ghala City. The DEM of the region was corrected to account for these changes. The flood area, depth, and velocity of the 2018 flood in Golestan province were simulated using HEC-RAS (2D) software, taking into account the effects of dredging. The results indicate that dredging increased the water flow capacity of the Gorgan Roud River but did not reduce the flood extent, especially in the upstream area. However, it reduced the level of flooding in Agh-Ghala. Risk maps demonstrate that dredging to 0.5, 1, and 2 meters, reduced the depth of high-risk areas in Agh Ghala city by 1.1%, 4.7%, and 12.7%, respectively.

2. Methodology

This study utilized the HEC-geoRAS plugin in GIS software to create input DEMs for the HEC-RAS model. To begin, a TIN layer was established for the study location using a topographic contour map. Next, the center line of the river and its left and right banks were added to the TIN layer, followed by the creation of a cross-section along the river. The height information from the cross-section layer was then used to adjust the riverbed heights to depths of 0.5, 1, and 2 meters, resulting in three different rasters for the river. The DEM layer was inputted into the model with the desired geographic coordinate system defined. Additionally, a land use map of the target area and Manning coefficients for various land uses were entered. A two-dimensional flow Area was then defined as a polygonal layer for the designated area, and hourly flow hydrographs were inputted into the model as unsteady flow characteristics with the upstream and downstream boundary conditions specified. Once the model was implemented, depth and velocity maps and an orthophoto were generated as input for GIS software. This process was repeated for three DEMs resulting from changes in the riverbed height, as well as the base DEM of the area. The aforementioned procedure is depicted in Fig. 1.

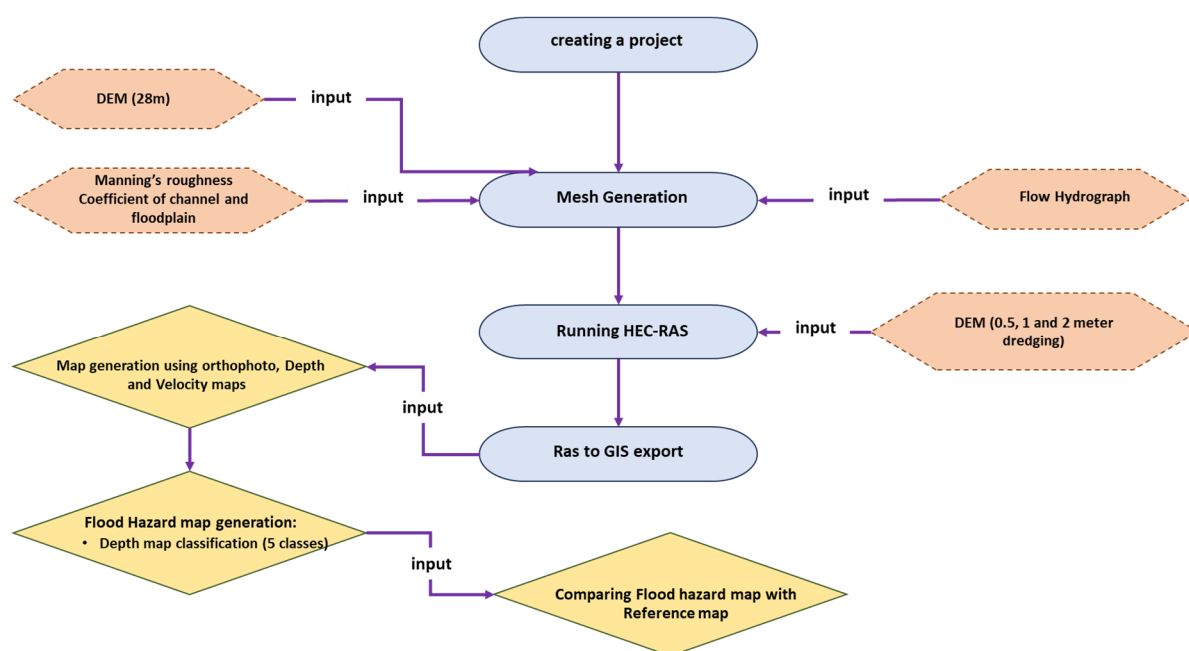


Fig. 1. Model implementation Flowchart

3. Results and discussion

Through the figures presented, it is evident that increasing dredging depth leads to the largest area of inundation being related to low to medium-risk classes. The volume of flood in this basin further extends from the flood plain to the residential areas of Agh-Ghala City, which are located in low-altitude areas. This has created dangerous areas in the north of Agh-Ghala City, as depicted in the first figure. The southern access road of Gorgan to the city of Agh-Ghala shows a high depth of flooding. However, dredging can significantly reduce the extent of high-risk areas. As per the risk class classification table, increasing dredging depth leads to a decrease in high and severe risk classes, by 6.4 and 6.3 percent, respectively. Additionally, dredging up to a height of 2 meters has reduced the flood zone by 26.7% in Agh-Ghala City, while medium-risk areas have become low-risk areas. However, it must be noted that the urban development of Agh-Ghala City in the territory of the Gorgan-Roud River has not been in accordance with the flood zones of this river, leading to significant damage in recent years. Floods of this river usually occur in the old paths towards the Etrak basin. Although dredging has reduced the flood zone, flooding is still observed in the northern and northwestern parts of the city. Therefore, it is necessary to consider the urban development of Agh-Ghala city while keeping a safe distance from these areas.

4. Conclusions

Based on the flood zone maps, it appears that the area's most susceptible to flooding are mainly used for agriculture. However, the recent flood in April 2018 in Golestan province exposed urban areas like Agh-Ghala to flood damage. The HEC-RAS model was able to accurately simulate the Gorgan-Roud River flood, highlighting its capability to produce water levels in desired locations with reasonable precision. One of the factors that can increase river flow is dredging, which has been found to reduce high-risk areas and the flood extent in the urban area of Agh-Ghala. While it doesn't significantly reduce the flood volume upstream, dredging still plays a critical role in minimizing damages in Agh-Ghala.

تأثیر لایروبی بر پهنه و عمق سیلاب در مناطق با شیب کم با استفاده از شبیه‌سازی دوبعدی (مطالعه موردی: شهرستان آق‌قلا)

لاله رضائی قلعه¹، حسین رضایی^{2*}، خلیل قربانی³

¹ دانشجوی دکتری منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

² استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

³ دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

دریافت: 1402/10/3، بازنگری: 1402/11/29، پذیرش: 1402/12/9، نشر آنلاین: 1402/12/9

چکیده

سیل شایع‌ترین بلای طبیعی است که بیشتر جمعیت جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اخیراً سیل‌های شدید در مناطق شهری به دلیل شهرنشینی کنترل نشده و تغییرات اقلیمی، بیشتر اتفاق می‌افتد و در سال‌های آینده نیز به رشد خود ادامه خواهد داد. پیشگیری از چنین حوادثی ممکن نیست، اما با پیشرفت تکنولوژی، می‌توان مناطق آسیب‌پذیر در برابر سیل را از طریق مدل‌سازی دوبعدی رویدادهای حدی بارش شناسایی کرد. مدل HEC-RAS از محبوب‌ترین مدل‌های هیدرولیکی است که از آن جهت شبیه‌سازی سیلاب‌ها استفاده می‌شود. گرگان‌رود به‌عنوان پرآب‌ترین رودخانه استان گلستان، همواره خسارات زیادی را به این استان وارد نموده است. در این مطالعه به‌منظور بررسی اثر لایروبی بر سیلاب سال 1398 استان گلستان، ارتفاع‌های کف رودخانه گرگان‌رود از خروجی سد وشمگیر تا شهر آق‌قلا به‌ازای 0/5، 1 و 2 متر با استفاده از نرم‌افزار GIS و افزونه HEC-GeoRAS تغییر یافت و DEM منطقه جهت اعمال این تغییرات اصلاح گردیدند. از نرم‌افزار HEC-RAS (2D) به‌منظور شبیه‌سازی پهنه، عمق و سرعت سیلاب سال 98 در استان گلستان با در نظر گرفتن اثر لایروبی استفاده گردید. نتایج نشان داد که لایروبی ضمن افزایش ظرفیت عبور آب گرگان‌رود، تأثیر چشمگیری را در کاهش پهنه سیلابی خصوصاً در بالادست محدوده مورد مطالعه نشان نداد اما باعث کاهش سطح آب‌گرفتگی در شهر آق‌قلا گردید. همچنین نقشه‌های خطر نشان داد که با اعمال لایروبی به‌میزان 0/5، 1 و 2 متر، به‌ترتیب 1/1، 4/7 و 12/7 درصد از عمق مناطق پرخطر در شهر آق‌قلا کاهش یافت.

کلیدواژه‌ها: گرگان‌رود، لایروبی، شبیه‌سازی دوبعدی، HEC-RAS، سیلاب.

1- مقدمه

مدت و فراوانی رویدادهای مخاطره‌آمیز آب و هواشناسی داشته است (Kvocka و همکاران، 2015؛ Sant' Anna، 2018؛ IPCC، 2019).

پدیده سیل، گسترده‌ترین، مکررترین و پرهزینه‌ترین بلای طبیعی برای جوامع بشری می‌باشد (Banholzer و همکاران، 2014؛ Gigovic و همکاران، 2017) و پس از طوفان و زلزله، شایع‌ترین خطر طبیعی و سومین مخاطره‌آمیزترین خطر در سطح جهان محسوب می‌شود (Wilby و Keenan، 2012؛ Wallemacq و همکاران، 2015). این مشکل نه تنها برای کشورهای در حال توسعه، بلکه برای کشورهای توسعه یافته نیز وجود دارد.

در دهه‌های گذشته، بلایای طبیعی مرتبط با تغییرات اقلیمی و گرم شدن زمین، به مقیاس فاجعه‌بارتری رسیده‌اند (Hall و همکاران، 2015؛ Bloschl و همکاران، 2017؛ Alfieri و همکاران، 2014؛ Halgamuge و همکاران، 2016؛ Jeneiova و همکاران، 2016؛ Holmes و همکاران، 2012).

بسیاری از الگوهای بلایای طبیعی تحت تأثیر تغییرات اقلیمی، متنوع و اصلاح شده‌اند (Mertz و همکاران، 2009؛ Bloschl و همکاران، 2010؛ Yoon و همکاران، 2014). در این بین، تشدید چرخه هیدرولوژیکی تأثیر بی‌سابقه‌ای بر بزرگی، گستردگی مکانی،



مدل‌های دقیق مکانی (دوبعدی) طبقه‌بندی کرد که معادلات آب را به صورت دوبعدی حل می‌کنند (Apel و همکاران، 2009). توصیه می‌شود از مدل ساده یک‌بعدی برای رودخانه‌هایی با شیب تند، جایی که پخش آب قابل توجه نیست، استفاده شود (Leandro و همکاران، 2009؛ Manfreda و همکاران، 2015).

مدل‌های دوبعدی در مواردی توصیه می‌شود که همراه با بالا رفتن سطح آب، جهت جریان تغییر کرده و در یک منطقه بزرگ پخش شود (Quiroga و همکاران، 2016؛ Horritt و Bates، 2002). همچنین پیشنهاد می‌شود در مناطق شهری از شبیه‌سازی‌های دوبعدی استفاده شود زیرا در آن‌ها پیش‌بینی‌های دقیقی از عمق و سرعت آب که متغیرهای اساسی برای ارزیابی خطر هستند، ارائه می‌شود (Martínez-Gomariz و همکاران، 2018؛ Bermúdez و Zischg، 2018؛ Arrighi و همکاران، 2019؛ Macchione و همکاران، 2019؛ Costabile و همکاران، 2020؛ Petaccia و همکاران، 2020؛ Mignot و همکاران، 2006). در میان بسته‌های نرم‌افزاری که از معادلات فیزیک مبنا استفاده می‌کنند، سیستم تجزیه و تحلیل رودخانه مرکز مهندسی هیدرولوژیک (HEC-RAS) که توسط مهندسين ارتش ایالات متحده توسعه یافته است، از شناخته‌شده‌ترین و پرکاربردترین مدل‌ها می‌باشد. Farooq و همکاران (2019) به مدل‌سازی دوبعدی سیلاب با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS در رودخانه سوات پاکستان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که پهنه سیلاب به صورت خطی با افزایش دوره بازگشت سیل، افزایش می‌یابد. بیشترین تنوع کاربری اراضی را زمین‌های کشاورزی و باغات در این منطقه تشکیل داده‌اند که با افزایش دوره بازگشت سیلاب بیشترین آسیب را در منطقه مواجه می‌شوند.

Khojeh و همکاران (2022) به شبیه‌سازی دوبعدی سیلاب فروردین سال 1398 گرگان‌رود (ایستگاه گنبد تا سد وشمگیر) با استفاده از مدل‌های رقومی ارتفاعی متفاوت پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد که دقت و توانایی تصاویر ALOS و 30 STRM متری در شبیه‌سازی پهنه سیلابی بیشتر از سایر تصاویر بوده است. Quiroga و همکاران (2016) سیلاب فوریه 2014 را با استفاده از HEC-RAS به صورت دوبعدی در رودخانه ممور¹، بولیوی شبیه‌سازی نمودند. طبق نتایج مدل به خوبی توانست این سیلاب را شبیه‌سازی کند. همچنین سرعت سیلاب در بیشتر مناطق سیلابی کمتر از 0/25 متر بر ثانیه تخمین زده شد. آن‌ها همچنین از HEC-RAS دوبعدی به عنوان ابزار قدرتمندی جهت شبیه‌سازی سیلاب یاد کردند.

Jamal و همکاران (1398) خطرپذیری سناریوی احداث راه‌آهن را در مجاورت رودخانه ایران‌شهر مورد ارزیابی قرار دادند.

از دیگر عوامل مؤثر بر وقوع سیل، تغییر کاربری اراضی و توسعه فعالیت‌های اجتماعی-اقتصادی در مناطق مستعد سیل (Dobrovičová و همکاران، 2015؛ Bankoff، 2003) و مقررات ضعیف که به دلیل ناتوانی مقامات مسئول در اجرای سیاست‌های کارآمد، می‌باشد (Mustafa و همکاران، 2018؛ Mustafa و همکاران، 2018). چنین اقداماتی بر رفتار طبیعی هیدرولوژی رودخانه و واکنش دشت‌های سیلابی به خطر سیل تأثیر می‌گذارد. استراتژی‌های مدیریت ریسک سیلاب همراه با اطلاعاتی کافی در مورد مناطق مستعد، می‌تواند خطرات مرتبط با سیلاب را کاهش دهد (Teng و همکاران، 2017؛ Miha-Pintilie و همکاران، 2019).

ارزیابی و پیش‌بینی سیل و تأثیر آن از دیرباز یک ضرورت بوده است. با پیشرفت‌های اخیر در قدرت محاسباتی و همچنین فناوری، این امر در دسترس‌تر شده است. علاوه بر این، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) همراه با داده‌های سنجش از دور (RS) به طور قابل توجهی تولید نقشه خطر سیل را تسهیل کرده است. سنجش از دور علاوه بر فراهم نمودن داده‌های ورودی برای ساخت مدل، داده‌هایی را برای اعتبارسنجی مدل نیز فراهم می‌کند (Patel و همکاران، 2017). ترکیب مدل‌های آب و هوایی، هیدرولوژیکی و هیدرودینامیکی، هدف اصلی را از شناسایی ساده منطقه غرقابی به سمت تدوین استراتژی‌های سازگاری آب و هوا و کاهش خطر گسترش داده است (Shustikova و همکاران، 2016). با این حال، ماهیت پیچیده رویدادهای سیل و همچنین عدم قطعیت‌های مربوط به مدل‌سازی، منجر به چالش‌های مهمی برای مدل‌سازی دقیق و سریع سیل در وضوح بالا می‌شود (Shustikova و همکاران، 2016).

مدل‌سازی هیدرولوژیکی جریان یک ابزار مفید و کارآمد در شبیه‌سازی رویدادهای سیل، شناسایی مناطق آسیب‌پذیر و تخمین اطلاعات توزیع مکانی در الگوهای سیلاب (مانند عمق آب و سرعت جریان) می‌باشد (Kim و همکاران، 2014).

از سال 1970، تلاش‌های قابل توجهی به منظور بهبود قابلیت‌ها و عملکردهای این تکنیک صورت گرفته است. پیشرفت‌های محاسباتی اخیر در مدل‌سازی هیدرولیک فرصت‌های جدیدی را جهت تصمیم‌گیری و سازگاری با این پدیده ارائه می‌دهد (Pasquier و همکاران، 2018). کاربرد این مدل‌ها در مطالعاتی نظیر ارزیابی خطر سیلاب و بازسازی سیلاب‌های گذشته کارآمد معرفی شده است (Frank و همکاران، 2001؛ Patel و همکاران، 2017؛ Schumann و همکاران، 2013؛ Bohorquez و Darby، 2008). بسته به روش و مقیاس ریاضی انتخاب شده، مدل‌ها را می‌توان به دو روش درونیابی ساده (یک‌بعدی) و

مقطع کف رودخانه در محیط نرم افزار GIS جهت شبیه سازی اثر لایروبی گرگان رود در نظر گرفته شد تا ضمن تهیه مدل هیدرولیکی دوبعدی با استفاده از نرم افزار HEC-RAS، سرعت، عمق و پهنه آبگرفتگی در زمان سیلاب در آق قلا با اعمال لایروبی بررسی شود.

2- مواد و روش ها

2-1- منطقه مورد مطالعه

حوضه گرگان رود واقع در شمال شرق ایران، 47 درصد از مساحت استان گلستان و 67 درصد از آب های سطحی استان (828 میلیون مترمکعب) را تشکیل می دهد. به دلیل وسعت زیاد (11380 کیلومتر مربع) این حوضه به دو زیرحوضه گرگان رود غربی و سد وشمگیر تقسیم می شود. منطقه مورد مطالعه در این تحقیق در قسمت غربی زیرحوضه سد وشمگیر قرار دارد. 3600 متر، ارتفاع بلندترین نقطه واقع در جنوب غربی و 26- متر ارتفاع پست ترین نقطه در ورودی دریای خزر در حوضه می باشد.

کاربری های کشاورزی، مرتعی و جنگلی از جمله کاربری های اصلی این حوضه می باشد. آب و هوای حوضه از نیمه خشک در شرق تا مرطوب در بخش های غربی حوضه متغیر است. میزان بارندگی سالانه حوضه از 231 تا 848 میلی متر متغیر است. همچنین میانگین حداقل و حداکثر دمای حوضه به ترتیب برابر با 11 درجه سانتی گراد و 18/1 درجه سانتی گراد است. دبی سالانه در ایستگاه گرگان رود واقع در خروجی برابر با 14/3 مترمکعب بر ثانیه است که از 3/2 مترمکعب بر ثانیه در اسفند ماه تا 41/8 مترمکعب بر ثانیه در شهریور متغیر است. وقوع باران های شدید بر روی خاک های حساس به فرسایش همراه با تغییر کاربری شدید اراضی از جنگل به اراضی دیم، پتانسیل تشکیل رواناب و در نتیجه فرسایش خاک و رسوب را در حوضه فراهم کرده است.

2-2- داده ها

در این مطالعه از نقشه توپوگرافی گرگان رود جهت تولید مقاطع عرضی بر روی رودخانه استفاده شد. در محدوده سد وشمگیر تا دریا به طول 127000 متر، تعداد 760 مقطع عرضی ایجاد شد. از نقشه DEM، 28 متری منطقه جهت انجام شبیه سازی دوبعدی در HEC-RAS استفاده شد (شکل 1). همچنین از هیدروگراف ساعتی سیلاب سد وشمگیر و باغسالیان همراه با نقشه کاربری اراضی منطقه جهت مدل سازی سیلاب 1398 استان گلستان استفاده شد (شکل های 2 و 3).

طبق نتایج استفاده از مدل دوبعدی HEC-RAS سبب شبیه سازی دقیق جریان در دشت سیلابی شده و همچنین راه آهن ضمن قرارگیری در مجاورت سیلاب در محدوده خطر متوسط واقع می شود.

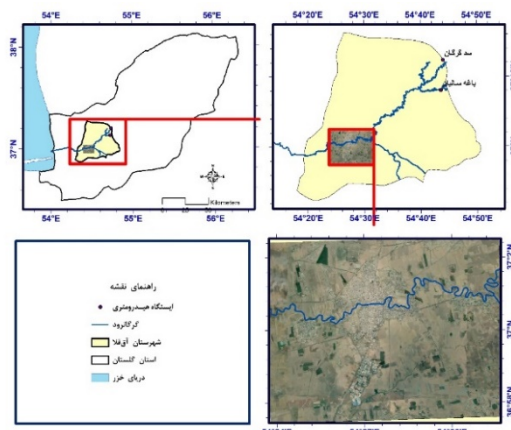
Mihu-Pintilie و همکاران (2019) به شبیه سازی جریان در منطقه شهری و حومه شهری شهر باکائو (شمال شرقی رومانی) با استفاده از مدل هیدرولیکی دوبعدی HEC-RAS (نسخه 5.0.3) و داده های LiDAR پرداختند. نتایج نشان داد که تعریف سناریوهای متفاوت با در نظر گرفتن دبی های متفاوت برای خروجی مخازن می تواند اطلاعات دقیقی در مورد آسیب پذیری خطر سیل را ارائه کند.

سیل شهری یکی از رایج ترین بلایای حال حاضر است و موجب خسارات عمده اقتصادی و مالی و گاهی تلفات جانی می شود. پیشگیری از چنین حوادثی امکان پذیر نیست، اما با پیشرفت تکنولوژی می توان مناطق مستعد سیل، عمق آبگرفتگی و نهایتاً گستره منطقه ای آن را شناسایی کرد و از آن برای تهیه نقشه خطر سیل برای مناطق معین استفاده کرد. نقشه های خطر تهیه شده می تواند برای شناسایی مناطق بحرانی، هشدارهای اولیه به مردم در صورت وقوع رویداد احتمالی، کمک به تصمیم گیری ادارات مسئول در مواقع اضطراری مورد استفاده قرار گیرد.

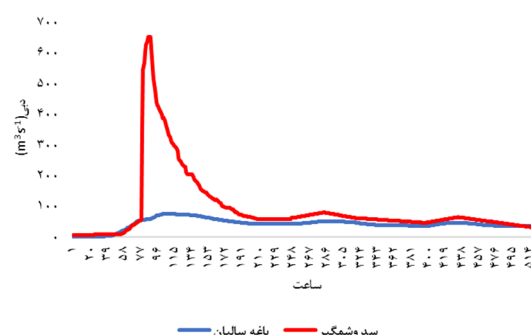
سیل همواره خسارات زیادی را به استان گلستان وارد نموده که بیشتر این خسارات همیشه از جانب گرگان رود به استان گلستان وارد شده است. این رودخانه بیشترین حجم آب های استان را تشکیل می دهد. بارندگی های شدید در تاریخ 26 اسفند 1397 باعث جاری شدن سیل در این استان شد. با سرریز شدن سدهای بوستان و گلستان در شرق استان گلستان رودخانه های گرگان رود و چهل چای طغیان نمودند (Rajabi-Zadeh و همکاران 1398). این سیلاب ضمن عبور از شهر گنبد با اضافه شدن سیلاب رودخانه های نرماب، ارازکوسه و خرمالو با حجمی معادل 147 میلیون مترمکعب وارد مخزن سد وشمگیر شد و حجم 139 میلیون مترمکعب و با دبی معادل 666 مترمکعب بر ثانیه از مخزن سد سرریز گردید. سپس با پیوستن حجم سیلاب رودخانه های مسیر گرگان رود به حجم خروجی از سد وشمگیر، حجم سیلابی معادل 185 میلیون مترمکعب با دبی 800 مترمکعب بر ثانیه وارد شهر آق قلا گردید و این خود باعث بروز سیلی مخرب در ترکمن صحرا و به ویژه آق قلا شد. بارش های ممتد شدید همراه با پر بودن حجم مخازن و عدم لایروبی رودخانه های استان به ویژه گرگان رود از عوامل بروز این سیل ویرانگر در ترکمن صحرا می باشد. لایروبی از جمله راه کارهایی است که می تواند با افزایش ظرفیت عبور حجم آب در رودخانه های استان گلستان به کنترل بهتر سیلاب در این استان کمک کند. در پژوهش حاضر به منظور بررسی اثر لایروبی در سیلاب 1398 استان گلستان، سه عمق متفاوت برای تغییر

2-4- تغییر ارتفاع کف رودخانه در محیط نرم افزار GIS

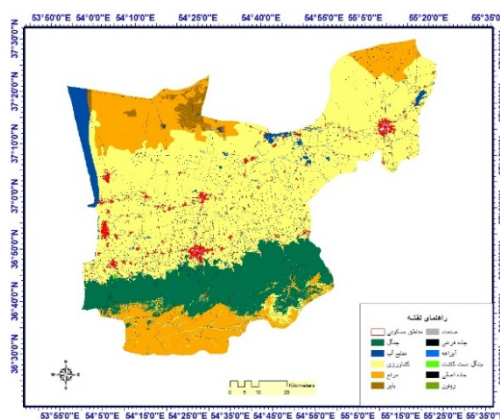
در این مطالعه به منظور تولید DEM های ورودی مدل HEC-RAS، از افزونه HEC-geoRAS در نرم افزار GIS استفاده شد. ابتدا لایه TIN برای محدوده مورد مطالعه با استفاده از نقشه خطوط توپوگرافی ایجاد شد. سپس خط مرکزی رودخانه و ساحل چپ و راست بر روی لایه TIN ایجاد شد. در ادامه مقطع عرضی در طول رودخانه تولید شد. سپس با استفاده از اطلاعات ارتفاعی لایه مقطع عرضی، ارتفاع های کف رودخانه به ازای اعماق 0/5، 1 و 2 متر تغییر یافت و سه رستر متفاوت برای رودخانه تهیه شد.



شکل 1- منطقه مطالعاتی



شکل 2- هیدروگراف ساعتی ایستگاه های مورد مطالعه



شکل 3- نقشه کاربری اراضی استان گلستان

2-3- افزونه HEC-GeoRAS در نرم افزار GIS

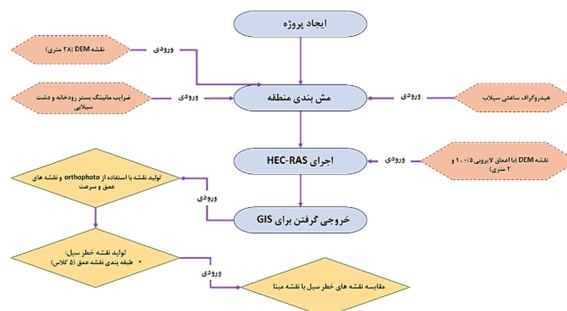
HEC-GeoRAS افزونه ای برای استفاده در محیط GIS می باشد که یک سری روش ها، ابزارها و امکانات را برای کاربر فراهم می آورد تا با استفاده از آن بتوان داده های GIS را برای ورود به محیط HEC-RAS آماده سازی کند و یا خروجی های HEC-RAS را از طریق آن وارد محیط GIS نماید.

2-5- اجرای مدل دوبعدی با استفاده از نرم افزار HEC-RAS

مطالعه حاضر یک رویکرد شبیه سازی دوبعدی سیلاب را برای شبیه سازی سیل فروردین سال 1398 گرگان رود (از سد وشمگیر تا شهرستان آق قلا) نشان می دهد، که طغیان سیل گرگان رود را بازسازی می کند و یک نقشه خطر برای منطقه مورد مطالعه ایجاد می کند. HEC-RAS 6.1 مجهز به قابلیت های شبیه سازی دوبعدی رودخانه و دشت سیلابی (HEC-RAS 2016) می باشد. این مدل از معادلات دوبعدی سنت-وانانت² و موج انتشار برای شبیه سازی سیل استفاده می کند (HEC 2018). معادلات دوبعدی موج انتشار می تواند به طور دقیقی بسیاری از موقعیت ها را شبیه سازی کند و پایداری بیشتری داشته باشد و همچنین اجازه می دهد که مدل سریعتر اجرا شود (HEC 2018). در ابتدا لایه DEM وارد مدل شده و سیستم مختصات جغرافیای منطقه مورد نظر تعریف شد. سپس نقشه کاربری اراضی منطقه مورد نظر فراخوانی و ضرایب مانینگ کاربری های متفاوت وارد شدند. در این مطالعه ضرایب مانینگ با استفاده از کتاب Chow (1959) و گزارشات انجام شده در منطقه برای کاربری های متفاوت سیلاب دشت و مسیر اصلی رودخانه تعیین شد (Chow, 1959).

در ادامه سطح جریان دوبعدی به عنوان سطح چند ضلعی برای منطقه مورد نظر تعریف و پس از شبکه بندی 50 متر در 50 متر، با مشخص کردن شرایط مرزی بالادست و پائین دست جریان، هیدروگراف دبی ساعتی به عنوان مشخصات جریان غیرماندگار وارد مدل شدند و نهایتاً مدل اجرا شد. سپس از نقشه های عمق و سرعت و orthophoto به عنوان ورودی برای نرم افزار GIS خروجی گرفته شد. تمامی این مراحل برای سه DEM حاصل از تغییر ارتفاع کف رودخانه و همچنین DEM مبنای منطقه تکرار شد. شکل (4)، مراحل اجرای مدل را نشان می دهد.

با خروج از بستر اصلی رودخانه، از سیلاب دشت به سمت مناطق مسکونی شهر آق قلا که در نواحی کم ارتفاع واقع شده‌اند هدایت شده و طبق شکل (5) نواحی پر خطر را در شمال شهر آق قلا ایجاد نموده است. شهر آق قلا دارای چهار مسیر دسترسی می‌باشد. جاده‌های دسترسی: 1- از سمت گرگان، 2- اوچ تپه و علی آباد، 3- اینچه برون و تنگلی، 4- بندر ترکمن.



شکل 4- فلوجارت اجرای مدل

6-2- تهیه نقشه‌های خطر سیلاب

برای تولید طبقه‌های خطر سیل، اعماق آب برای هر گستره سیل بر اساس معیارهای وزارت زیرساخت‌های زمینی و حمل و نقل ژاین (MLIT) طبقه‌بندی شد. این روش پنج طبقه را برای خطر سیلاب نشان می‌دهد (جدول (1)).

جدول 1- طبقه‌بندی کلاس خطر

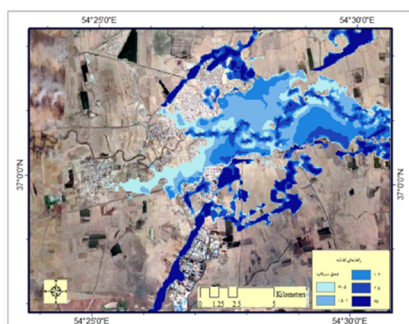
کلاس خطر	عمق سیلاب
خیلی کم (H1)	$<0/5$
کم (H2)	$0/5-1$
متوسط (H3)	$1-2$
زیاد (H4)	$2-5$
شدید (H5)	>5

3- نتایج شبیه‌سازی

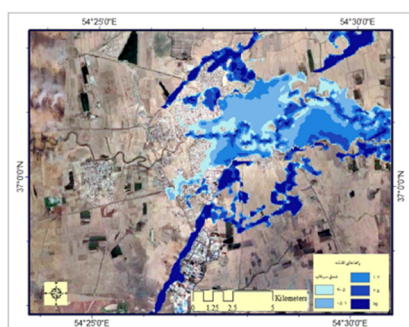
نقشه‌های پهنه سیلاب با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی، نقشه‌های رقمی - ارتفاعی و همچنین داده‌های هیدروگراف سیلاب تهیه شدند. مقطع رودخانه گرگان رود از ابتدای خروجی سد گرگان تا شهرستان آق قلا به منظور بررسی اثر لایروبی مقطع رودخانه بر وسعت پهنه سیلابی شهرستان آق قلا به‌ازای ارتفاع‌های متفاوت (0/5، 1 و 2 متر) در محیط نرم‌افزار GIS تغییر یافت. سپس نقشه‌های حاصل از تغییر ارتفاع مقطع رودخانه روی نقشه رقمی ارتفاعی منطقه اصلاح شد و نهایتاً این سه نقشه به‌عنوان ورودی‌های مدل HEC-RAS در نظر گرفته شدند. سپس نقشه‌های پهنه سیلاب برای سه نقشه رقمی - ارتفاعی حاصل از تغییر مقطع‌های مختلف تهیه شدند.

3-1- طبقه‌بندی خطر سیل

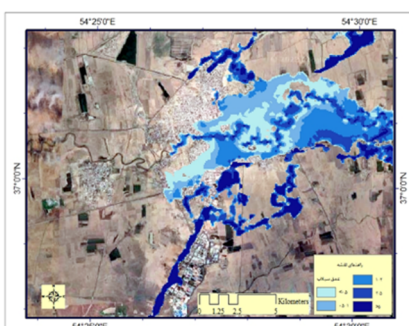
همان‌طور که شبیه‌سازی دوبعدی سیلاب به‌ازای اعماق مختلف لایروبی (شکل‌های (5) تا (8)) نشان می‌دهد با افزایش عمق لایروبی بیشترین مساحت آبگرفتگی مربوط به کلاس‌های خطر خیلی کم تا متوسط می‌باشد (جدول (2)). حجم سیلاب در این حوضه در امتداد شیب زمین (شرق به غرب، جنوب به شمال)



شکل 5- پهنه سیلاب 1398 استان گلستان در شهر آق قلا



شکل 6- پهنه سیلاب 1398 استان گلستان در شهر آق قلا با تغییر 0/5 متری ارتفاع کف رودخانه

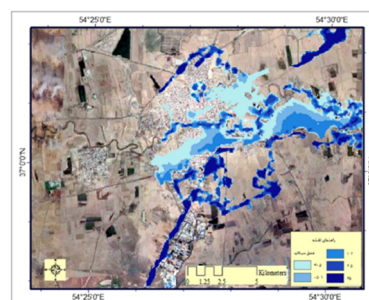


شکل 7- پهنه سیلاب 1398 استان گلستان در شهر آق قلا با تغییر یک متری ارتفاع کف رودخانه

3-2- پهنه سیلاب شبیه سازی شده

از خروجی های مهم فرآیند مدل سازی دوبعدی، سرعت سیلاب می باشد، که با ثبت حداکثر سرعت برای هر سلول در شبکه محاسباتی بدون توجه به زمانی که در کل دوره شبیه سازی 24 ساعت اندازه گیری شده است، محاسبه می شود. همان طور که در شکل های (10) و (11)، پیداست بیشترین فراوانی سرعت مربوط به سرعت 0/01-1 متر بر ثانیه می باشد. افزایش عمق لایروبی باعث کاهش سرعت های بالای 10 متر بر ثانیه در دشت سیلابی بالادست بازه موردنظر شده است. طبق شکل های (10) و (11)، قسمت های شمالی شهر آق قلا و نواحی جنوبی آن که عمق آبگرفتگی بیشتری را نشان می دهند از سرعت جریان بیشتری برخوردار می باشند.

مطابق شکل های (10) و (11) (سمت چپ) با توجه به کم بودن شیب رودخانه و دشت سیلابی، باعث تجمع بیشتر آب در دشت سیلابی می شود. علاوه بر این طبق شکل های (10-الف) و (11-الف) سرعت جریان در دشت های سیلابی سمت چپ بیشتر از دشت های سیلابی سمت راست می باشد که این مسئله با در نظر گرفتن جهت شیب زمین باعث پخش بیشتر سیلاب در دشت های سیلابی سمت راست شده است. بر اساس شکل (10-ب) و (11-ب) جریان سیلابی قبل از ورود به آق قلا در دشت سیلابی و سپس در شهر آق قلا پخش شده است.

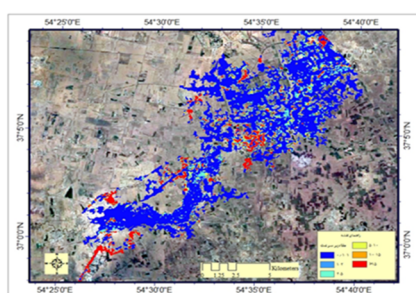


شکل 8- پهنه سیلاب 1398 استان گلستان در شهر آق قلا با تغییر دو متری ارتفاع کف رودخانه

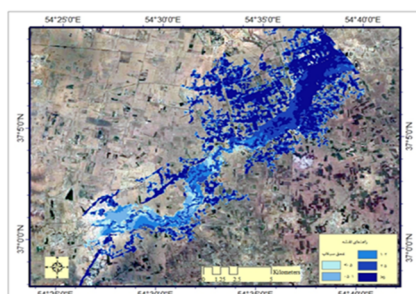
جدول 2- طبقه بندی کلاس خطر

نوع نقشه	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	شدید
نقشه مبنا	17/2%	23%	23%	18/4%	18/3%
لایروبی با عمق 0/5 متر	13%	21/5%	21/1%	18/3%	17/3%
لایروبی با عمق 1 متر	17/2%	18/4%	21%	17%	15%
لایروبی با عمق 2 متر	21/4%	13%	15%	12%	12%

بر اساس شکل (5) جاده دسترسی گرگان به شهر آق قلا در جنوب این شهر عمق بالای آبگرفتگی را نشان می دهد که با انجام لایروبی از وسعت این مناطق با کلاس شدید خطر، کاسته می شود. طبق جدول طبقه بندی کلاس خطر، با افزایش عمق لایروبی شاهد کاهش کلاس خطر زیاد و شدید به ترتیب به میزان 6/4 و 6/3 درصد هستیم (جدول 2). همچنین با افزایش عمق لایروبی علاوه بر کاهش پهنه های سیلابی، پهنه های با کلاس خطر متوسط تبدیل به مناطقی با خطر بسیار کم شده اند. لایروبی تا ارتفاع دو متری پهنه سیلابی را به میزان 26/7 درصد در شهر آق قلا کاهش داده است و همچنین باعث افزایش کلاس خطر خیلی کم به میزان 4/2 درصد شده است (شکل 9).



الف



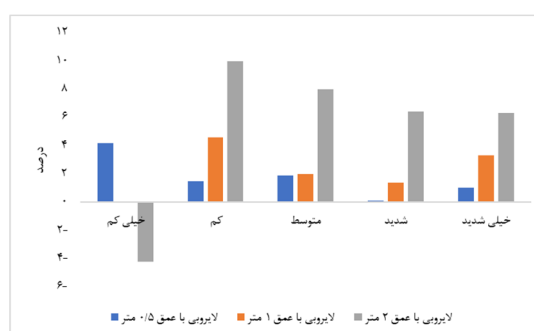
ب

شکل 10- نقشه توزیع سرعت از ابتدا تا انتهای بازه مورد مطالعه

(سد وشمگیر تا شهر آق قلا)، به ازای 0/5 متر لایروبی؛

الف) نقشه پهنه سیلابی از ابتدا تا انتهای بازه مورد مطالعه

(سد وشمگیر تا شهر آق قلا)، ب) به ازای 0/5 متر لایروبی



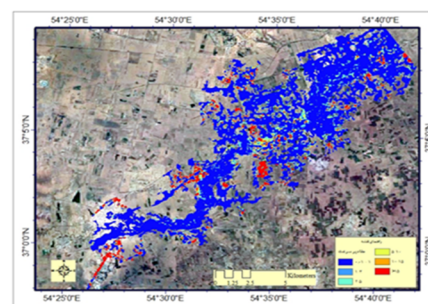
شکل 9- درصد کاهش کلاس خطر

به دلیل داشتن شیب اندک و قرارگیری در امتداد شیب زمین‌های اطراف و همچنین داشتن کاربری‌های متفاوت از اهمیت بسیار برخوردار است (Namazi Rad و همکاران، 2021).

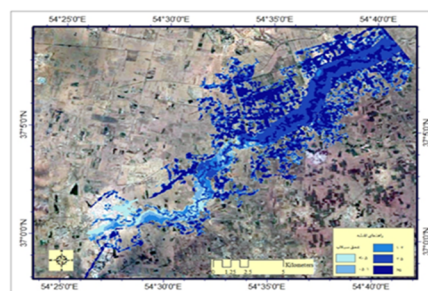
لایروبی رودخانه از جمله عواملی است که باعث افزایش آبگذری رودخانه می‌شود. طبق گزارش آب منطقه‌ای استان گلستان (Ministry of Energy، 2019)، انجام لایروبی نمی‌توانست از سیلاب‌دشت جلوگیری کند. نتایج نشان می‌دهد لایروبی تأثیر چشمگیری را در کاهش حجم سیلاب در بالادست بازه مورد نظر ندارد ولی کاهش مناطق پرخطر و همچنین کاهش وسعت سیلاب در منطقه شهری آق‌قلا را نشان می‌دهد. انجام لایروبی به میزان 1 و 2 متر، به ترتیب باعث کاهش پهنه‌های سیلابی به میزان 8/8، 11/4 و 26/7 درصد می‌شود. همچنین کلاس خطر شدید و خیلی شدید در اثر اعمال لایروبی دو متری به ترتیب به میزان 6/4 و 6/3 درصد کاهش می‌یابد. نواحی شرقی آق‌قلا بیشترین ظرفیت نگهداری و جذب آب را دارا می‌باشند، لذا می‌توان با انجام لایروبی از تجمع آب در این نواحی جلوگیری به عمل آورد (شکل (6) تا (8)). مدل‌سازی دوبعدی با استفاده از DEM تمایل بیشتر آب برای حرکت در دشت سیلابی را نشان می‌دهد و همچنین توزیع آب در جهت عرضی رخ می‌دهد که باعث افزایش ناحیه سیل‌زده می‌شود. از دیگر مشکلات مرتبط با مدیریت سیلاب در حوضه، تجاوز مردم به حریم رودخانه است. برای اطمینان از حفاظت جان و دارایی‌های مردم در برابر سیل، سیلاب دشت‌ها باید به صورت حفاظت شده باقی بمانند یا به حالت توسعه نیافته خود بازگردند. تجاوز نکردن به دشت‌های سیلابی می‌تواند خسارات ناشی از سیل را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. به-کارگیری رویکرد ارائه شده در اینجا، ادارات دولتی را قادر می‌سازد تا به کاهش قابل توجه خسارات ناشی از سیل دست یابند.

5- مراجع

- Alfieri L, Pappenberger F, Wetterhall F, Haiden T, Richardson D, Salamon P, "Evaluation of ensemble streamflow predictions in Europe", *Journal of Hydrology*, 2014, 517, 913-922.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.06.035>
 Apel H, Aronica GT, Kreibich H, Thielen AH, "Flood risk analyses-how detailed do we need to be?", *Nat. Hazards*, 2009, 49, 79-98.
<https://doi.org/10.1007/s11069-008-9277-8>
 Arrighi C, Pregolato M, Dawson RJ, Castelli F, "Preparedness against mobility disruption by floods", *Science of the Total Environment*, 2019, 654, 1010-1022.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.191>
 Banholzer S, Kossin J, Donner S, "The Impact of Climate Change on Natural Disasters, In Reducing Disaster, Early Warning Systems for Climate Change" Singh A, Zommers Z, Eds, Springer, Dordrecht The Netherlands, 2016, 21-49.



الف



ب

شکل 11- نقشه توزیع سرعت از ابتدا تا انتهای بازه مورد مطالعه

(سد وشمگیر تا شهر آق‌قلا)، به‌ازای دو متر لایروبی؛

الف) نقشه پهنه سیلابی از ابتدا تا انتهای بازه مورد مطالعه

(سد وشمگیر تا شهر آق‌قلا)، ب) به‌ازای دو متر لایروبی

توسعه شهری آق‌قلا در حریم رودخانه گرگان‌رود مطابق با پهنه‌های سیلابی این رودخانه نبوده است در نتیجه شهر آق‌قلا را با خسارت‌های فراوانی در سال‌های اخیر مواجه نموده است. حرکت سیلاب‌های این رودخانه معمولاً در مسیرهای قدیمی (به سمت حوضه اترک) اتفاق می‌افتد. قسمت‌های شمالی و شمال‌غربی آق‌قلا در نزدیکی یکی از مسیرهای قدیمی گرگان‌رود واقع شده است. همان‌طور که در شکل‌های (10-ب) و (11-ب) مشخص می‌باشد هرچند لایروبی باعث کاهش پهنه سیلابی شد اما باز هم حجم آب‌گرفتگی بیشتری در قسمت‌های شمالی و شمال‌غربی این شهر مشاهده می‌شود (انتهای بازه) که این خود ضرورت توسعه شهری آق‌قلا با رعایت فاصله از این مناطق را نشان می‌دهد.

4- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به بررسی اثر تأثیر لایروبی گرگان‌رود بر پهنه و عمق سیلاب در شهر آق‌قلا با استفاده از شبیه‌سازی دوبعدی توسط مدل HEC-RAS می‌پردازد. نقشه‌های پهنه سیلاب نشان می‌دهد که مناطق مستعد سیل، بیشتر دارای کاربری کشاورزی می‌باشد. طبق نتایج، مناطق شهری مانند آق‌قلا در معرض آسیب سیل قرار گرفتند که در سیل فروردین 1398 استان گلستان نیز مشهود بوده است. محافظت از شهرهای آسیب‌پذیری چون آق‌قلا

- Gigović L, Pamucar D, Bajić Z, Drobnjak S, "Application of GIS interval rough ahp methodology for flood hazard mapping in urban areas", *Water*, 2017, 9, 360. <https://doi.org/10.3390/w9060360>
- Halgamuge MN, Nirmalathas A, "Analysis of large flood events, Based on flood data during 1985-2016 in Australia and India", *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2017, 24, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.05.011>
- Hall J, Arheimer B, Bilibashi A, Bonacci O, Borga M, Burlando P, Castellarin A, Chirico GB, Claps P, Gaál L, Kiss A, Kjeldsen T, Kohnová S, Mediero L, Merz B, Merz R, Montanari A, Parajka JD, Perdigão RA, Blöschl G, "A european flood database: facilitating comprehensive flood research beyond administrative boundaries", In *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, (pp. 89-95), *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*. <https://doi.org/10.5194/piahs-370-89-2015>
- HEC-RAS, "River analysis system, hydraulic reference manual", USACE version 5.0, US Army Corps of Engineers, 2016, CPD-68.
- Holmes RR, Jr, Schwein NO, Shadic CE, "Flood risk awareness during the 2011 floods in the central united states, showcasing the importance of hydrologic data and interagency collaboration", *Leadership and Management in Engineering*, 2012, 12, 101-110. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.000018](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.000018)
- Horritt MS, Bates PD, "Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation", *Journal of Hydrology*, 2002, 268, 87-99. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00121-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00121-X)
- Hydrologic Engineering Center (HEC) HEC-RAS 5.0 Hydraulic Reference Manual [Online] <http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/docum%20entat%20ion.aspx>, Accessed on 1 May 2018
- IPCC, "Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation, in a special report of working groups i and ii of the intergovernmental panel on climate change", Field CB, Barros V, Stocker TF, Qin D, Dokken DJ, Ebi KL, Mastrandrea MD, Mach KJ, Plattner GK, Allen SK, Tignor M, Midgley PM, Eds, Cambridge University Press, Cambridge UK; New York NY USA, 2012, 582, Available online, [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX \(accessed on 22 April 2019\)](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX%20accessed%20on%2022%20April%202019.pdf),
- Jamal A, Parvan A, Valizadeh D, "Floodplain hazard mapping in the iranshahr river by using two-dimensional numerical modelling and GIS", *Jwss*, 2019, 23 (4), 71-83. (In Persian) URL <http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-3618-fa.html> <https://doi.org/10.47176/jwss.23.4.38301>
- Jeneiová K, Kohnová S, Hall J, Parajka J, "Variability of seasonal floods in the upper danube river basin", *Journal of Hydrology, Hydromech*, 2016, 64, 357-366. <https://doi.org/10.1515/johh-2016-0037>
- Khojeh S, Ataie-Ashtiani B, Hosseini SM, "Effect of DEM resolution in flood modeling, a case study of Gorganrood River Northeastern Iran", *Natural Hazards*, 2022, 112 (3), 2673-2693. https://doi.org/10.1007/978-94-017-8598-3_2
- Bankoff G, "Constructing vulnerability, The historical natural and social generation of flooding in metropolitan Manila", *Disasters*, 2003, 27, 224-238. <https://doi.org/10.1111/1467-7717.00230>
- Bermúdez M, Zischg AP, "Sensitivity of flood loss estimates to building representation and flood depth attribution methods in micro-scale flood modelling", *Nat. Hazards*, 2018, 92, 1633-1648. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3270-7>
- Blöschl G, Hall J, Parajka J, Perdigão RAP, Merz B, Arheimer B, Aronica GT, Bilibashi A, Bonacci O, Borga M, Čanjevac I, Castellarin A, Chirico GB, Claps P, Fiala K, Frolova N, Gorbachova L, Gül A, Hannaford J, Harrigan S, Kireeva M, Kiss A, Kjeldsen TR, Kohnová S, Koskela JJ, Ledvinka O, Macdonald N, Mavrova-Guirguinova M, Mediero L, Merz R, Molnar P, Montanari A, Murphy C, Osuch M, Ovcharuk V, Radevski I, Rogger M, Salinas JL, Sauquet E, Šraj M, Szolgay J, Viglione A, Volpi E, Wilson D, Zaimi K, Živković N, Changing climate shifts timing of European floods, *Science*, 2017 Aug 11, 357 (6351), 588-590. <https://doi.org/10.1126/science.aan2506>. PMID: 28798129. Blöschl
- Montanari A, "Climate change impacts-throwing the dice?", *Hydrological Process*, 2010, 24, 374-381. <https://doi.org/10.1002/hyp.7574>
- Bohorquez P, Darby SE, "The use of one- and two-dimensional hydraulic modelling to reconstruct a glacial outburst flood in a steep Alpine valley", *Journal of Hydrology*, 2008, 361, 240-261. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.07.043>
- Cammerer H, Thieken AH, Verburg PH, "Spatio-temporal dynamics in the flood exposure due to land use changes in the Alpine Lech Valley in Tyrol (Austria)", *Natural Hazards*, 2013, 68, 1243-1270. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0280-8>
- Chow VT, "Open channel hydraulics", McGraw-Hill New York, 1959, 110-113.
- Costabile P, Costanzo C, De Lorenzo G, Macchione F, "Is local flood hazard assessment in urban areas significantly influenced by the physical complexity of the hydrodynamic inundation model?", *Journal of Hydrology*, 2020, 580, 124231. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124231>
- Dobrovičová S, Dobrovič R, Dobrovič J, "The economic impact of floods and their importance in different regions of the world with emphasis on europe", *Procedia Economics and Finance*, 2015, 34, 649-655. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)01681-0](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)01681-0)
- Farooq M, Shafique M, Khattak MS, "Flood hazard assessment and mapping of River Swat using HEC-RAS 2D model and high-resolution 12-m TanDEM-X DEM (WorldDEM)", *Natural Hazards*, 2019, 97, 477-492. <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03638-9>
- Frank E, Ostan A, Coccato M, Stelling GS, "Use of an integrated one dimensional-two dimensional hydraulic modelling approach for flood hazard and risk mapping", *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 2001, 50, 99-108. <https://doi.org/10.2495/RM010091>

- Teller J, "Procedural generation of flood-sensitive urban layouts", *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 2018.
<https://doi.org/10.1177/2399808318812>
- Namazi Rad A, Mohseni N, Hosseinzadeh SR, "Flood inundation monitoring using Sentinel SAR data and hydraulic modeling", *Quantitative Geomorphological Research*, 2021, 10 (3), 40-56.
<https://doi.org/10.22034/gmpj.2021.311053.1311>
- Pasquier U, He Y, Hooton S, Goulden M, Hiscock K.M, "An integrated 1D-2D hydraulic modelling approach to assess the sensitivity of a coastal region to compound flooding hazard under climate change", *Natural Hazards*, 2018, 94, 1-23.
<https://doi.org/10.1007/s11069-018-3462-1>
- Patel DP, Ramirez JA, Srivastava PK, Bray M, Han D, "Assessment of flood inundation mapping of Surat city by coupled 1D/2D hydrodynamic modeling, A case application of the new HEC-RAS 5", *Nat. Hazards*, 2017, 89, 93-130.
<https://doi.org/10.1007/s11069-017-2956-6>
- Petaccia G, Natale L, "1935 Sella Zerbino dam break case revisited, A new hydrologic and hydraulic analysis", *Journal of Hydraulic Engineering*, 2020, 146.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0001760](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001760)
- Quiroga VM, Kure S, Udo K, Mano A, "Application of 2D numerical simulation for the analysis of the February 2014 Bolivian Amazonia flood, Application of the new HEC-RAS version 5", *Ribagua*, 2016, 3, 25-33. <https://doi.org/10.1016/j.riba.2015.12.001>
- Rajabizadeh Y, Ayyoubzadeh SA, Zahiri A, "Flood survey of golestan province in 2018-2019 and providing solutions for its control and management in the future", *Journal of Ecohydrology*, 2019, 6 (4), 921-942.
<https://doi.org/10.22059/ije.2019.283004.1137>
- Ramirez JA, Rajasekar U, Patel DP, Coulthard TJ, Keiler M, "Flood modeling can make a difference, Disaster risk-reduction and resilience-building in urban areas", *Hydrology and Earth System Sciences*, 2016, 18, 1-21. <https://doi.org/10.5194/hess-2016-544>
- Sant'Anna AA, "Not So Natural, Unequal Effects of Public Policies on the Occurrence of Disasters", *Ecological Economics*, 2018, 152, 273-281.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.06.011>
- Schumann GJP, Neal JC, Voisin N, Andreadis KM, Pappenberger F, Phanhuwongpakdee N, Hall AC, Bates PD, "A first large-scale flood inundation forecasting model", *Water Resources Research*, 2013, 49, 6248-6257.
<https://doi.org/10.1002/wrcr.20521>
- Shustikova I, Domeneghetti A, Neal JC, Bates P, Castellarin A, "Comparing 2D capabilities of HEC-RAS and LISFLOOD-FP on complex topography", *Hydrological Sciences Journal*, 2019, 64, 1769-1782.
<https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1671982>
- Teng J, Jakeman AJ, Vaze J, Croke BFW, Dutta D, Kim S, "Flood inundation modelling, A review of methods recent advances and uncertainty analysis", *Environmental Modeling and Software*, 2017, 90, 201-216.
<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.01.006>
- <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05283-1>
- Kim B, Sanders BF, Schubert JE, Famiglietti JS, "Mesh type tradeoffs in 2D hydrodynamic modeling of flooding with a Godunov-based flow solver", *Adv. Water Resources*, 2014, 68, 42-61.
<https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2014.02.013>
- Kvočka D, Falconer RA, Bray M, "Appropriate model use for predicting elevations and inundation extent for extreme flood events", *Nat. Hazards*, 2015, 79, 1791-1808.
<https://doi.org/10.1007/s11069-015-1926-0>
- Leandro J, Chen AS, Djordjević S, Savic DA, "Comparison of 1D/1D and 1D/2D Coupled (Sewer/Surface) Hydraulic Models for Urban Flood Simulation", *Journal of Hydraulic Engineering*, 2009, 135, 495-504.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000037](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000037)
- Macchione F, Costabile P, Costanzo C, Gangi F, "Modello idraulico per l'analisi a scala di bacino della pericolosità delle piene impulsive, In Fully-hydrodynamics watershed model for flash-flood hazard analysis", *Proceedings of the Italian Conference on Integrated River Basin Management (ICIRBM-Guardia 2019)*, Guardia Piemontese CS Italy, 2019, 19-22 June; EdiBios, Cosenza Italy, 40, 105-117, ISSN 2282-5517.
<https://hdl.handle.net/20.500.11770/296988>
- Manfreda S, Samela C, Gioia A, Consoli GG, Iacobellis V, Giuzio L, Cantisani A, Sole A, "Flood-prone areas assessment using linear binary classifiers based on flood maps obtained from 1D and 2D hydraulic models", *Natural Hazards*, 2015, 79, 735-754.
<https://doi.org/10.1007/s11069-015-1869-5>
- Martínez-Gomariz E, Gómez M, Russo B, Djordjević S, "Stability criteria for flooded vehicles", 2018.
<https://doi.org/10.1111/jfr3.12262>
- Mertz O, Halsnæs K, Olesen JE, Rasmussen K, "Adaptation to climate change in developing countries", *Journal of Environmental Management*, 2009, 45, 743-752.
<https://doi.org/10.1007/s00267-008-9259-3>
- Mignot E, Paquier A, Haider S, "Modeling floods in a dense urban area using 2D shallow water equations", *Journal of Hydrology*, 2006, 327, 186-199.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.11.026>
- Mihu-Pintilie A, Cîmpianu CI, Stoleriu CC, Pérez MN, Paveluc LE, "Using high-density LiDAR data and 2D streamflow hydraulic modeling to improve urban flood hazard maps, A hec-ras multi-scenario approach", *Water*, 2019, 11, 1832.
<https://doi.org/10.3390/w11091832>
- Ministry of Energy, Technical Report on the 2019 Golestan Flood Based on Standard No. 668, Golestan Waterworks Consulting Engineers, 2019.
- Mustafa A, Bruwier M, Archambeau P, Erpicum S, Piroton M, Dewals B, Teller J, "Effects of spatial planning on future flood risks in urban environments", *Journal of Environmental Management*, 2018, 225, 193-204.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.090>
- Mustafa A, Wei Zhang X, Aliaga DG, Bruwier M, Nishida G, Dewals B, Erpicum S, Archambeau P, Piroton M,

Wallemacq P, Guha-Sapir D, McClean D, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR), "The Human Cost of weather-related disasters, 1995-2015", Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, UNISDR, Louvain Belgium, 2015, 30.

<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17677.33769>

Wilby RL, Keenan R, "Adapting to flood risk under climate change", Progress in Physical Geography, Earth Environ, 2012, 36, 348-378.

<https://doi.org/10.1177/0309133312438908>

Yoon SK, Kim JS, Moon YI, "Integrated flood risk analysis in a changing climate, A case study from the Korean Han River Basin", KSCE Journal of Civil Engineering, 2014, 18, 1563-1571.

<https://doi.org/10.1007/s12205-014-0147-5>