

Flood hazard mapping using the CCHE2D numerical model in the Hable-rud River-a reach located downstream of Bone-Kuh Village

Saeed Poorzaman¹, Amir Sadoddin^{2*}, Abdolreza Bahremand³

1. PhD student in Watershed Management Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
2. *Corresponding Author*, Associate Professor, Faculty of Range and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource, Iran.
3. Associate Professor, Faculty of Range and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: 24 October 2020

Revised: 31 July 2021

Accepted: 20 October 2021

Keywords:

Flood hazard,
CCHE2D model,
The Hable-rud River,
Bone-Kuh Village.

ABSTRACT

In this research, given the condition of the Hable-rud River in a reach placed downstream of Bone-Kuh Village in Semnan Province, probability of flood occurrence and consequent damages, and also the exposure of various valuable elements of the floodplain to floods, using the CCHE2D numerical model, the flood hazard map was created for the 100-year return period as the base-flood. This research aims to map the base-flood zone and to identify the areas exposed to the flood in line with flood risk management. For this purpose, the required data for modeling, such as a large-scale topography map were prepared and flow characteristics (velocity and depth) were measured in the study area. Consequently, the computational grid has been assigned. To achieve the best simulation, the model calibration was performed by choosing the superior network and by changing the roughness coefficient. To evaluate the simulation, the model estimations were compared with the measured values for velocity and flow depth in three sections along the reach. For flow velocity, the model error was estimated to be 0.084 and 7.41% considering the RMSE and the MAE criteria, respectively. Given the flood hazard map created for the return period of 100-year, it is predicted that the area which is covered by orchards, croplands, and rangelands will be inundated with the base flood. Also, the analysis shows that about 18% of the study area is located in the moderate to high flood risk classes. Providing the findings of this research to the local communities in the form of the map illustrating the position of various land uses on the 100-year return period flood zone can be very effective in enhancing awareness and flood risk perception of them.

Cite this article: Poorzaman, S., Sadoddin, A., Bahremand, A. (2022). Flood hazard mapping using the CCHE2D numerical model in the Hable-rud River-a reach located downstream of Bone-Kuh Village. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 11(31), 137-152. DOI: 10.22111/jneh.2021.35687.1717



© Amir Sadoddin

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/jneh.2021.35687.1717

* Corresponding Author Email: amir.sadoddin@gau.ac.ir

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره یازدهم، شماره ۳۱، بهار ۱۴۰۱

پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از مدل عددی CCHE2D در رودخانه حبله‌رود بازه پایین دست روستای بن کوه

سعید پورزمان^۱، امیر سعدالدین^{۲*}، عبدالرضا بهره مند^۳

۱. دانشجوی دکتری مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲. دانشیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان (نویسنده مسئول)
۳. دانشیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۰۳</p> <p>تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۵/۰۹</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۲۸</p> <p>واژه‌های کلیدی: خطر سیل، مدل CCHE2D، رودخانه حبله‌رود، روستای بن کوه.</p>	<p>در این پژوهش باتوجه به وضعیت رودخانه حبله‌رود در بازه پایین‌دست روستای بن کوه در استان سمنان و احتمال وقوع سیل و خسارت‌های ناشی از آن و در معرض‌بودن عناصر متعدد و بارزش واقع در سیلاب‌دشت، با استفاده از مدل عددی CCHE2D، نقشه خطر سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله به‌عنوان سیل مینا تهیه شد. هدف از انجام این پژوهش، تعیین پهنه سیل مینا و مشخص کردن مناطق در معرض خطر در راستای مدیریت ریسک سیل است. بدین منظور، ابتدا داده‌های موردنیاز برای اجرای مدل در منطقه مورد مطالعه از قبیل نقشه بزرگ‌مقیاس توپوگرافی تهیه شده و مشخصات جریان (سرعت و عمق) اندازه‌گیری شد و سپس شبکه محاسباتی تنظیم شد. واسنجی مدل به‌منظور ارائه بهترین برآورد مدل ابتدا از طریق انتخاب شبکه برتر و سپس با تغییر ضریب زبری انجام شد. صحت‌سنجی شبیه‌سازی انجام‌شده با مقایسه نتایج برآوردی مدل با مقادیر برداشت‌شده سرعت و عمق جریان در سه مقطع در طول بازه انجام شد. خطای مدل برای پارامتر سرعت جریان، با شاخص‌های RMSE و MAE به‌ترتیب برابر ۰/۰۸۴ و ۷/۴۱ درصد برآورد شد. باتوجه به نقشه خطر سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله مشخص شد که بیشتر مناطقی که دارای کاربری‌های باغ، زراعت، مرتع و مسکونی هستند زیر پوشش سیل ۱۰۰ ساله قرار خواهند گرفت و تقریباً ۱۸ درصد منطقه در طبقه خطر متوسط و زیاد قرار خواهد داشت. انتقال یافته‌های این پژوهش به جوامع محلی به‌صورت نقشه و نمایش وضعیت قرارگیری کاربری‌های مختلف در پهنه سیل ۱۰۰ ساله می‌تواند در ارتقاء آگاهی و ادراک آن‌ها از خطر سیل بسیار مؤثر باشد.</p>
<p>استناد: پورزمان، سعید، سعدالدین، امیر، بهره مند، عبدالرضا. (۱۴۰۱). پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از مدل عددی CCHE2D در رودخانه حبله رود-بازه پایین‌دست روستای بن کوه. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۱(۳۱): ۱۵۲-۱۳۷. DOI: 10.22111/jneh.2021.35687.1717</p>	
ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان	© سعید پورزمان، امیر سعدالدین، عبدالرضا بهره مند.



مقدمه

در بین مخاطرات طبیعی سیل، زلزله و خشکسالی به لحاظ خسارت‌های مالی و جانی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. به استناد آمار و اطلاعات، بین سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۲ در جهان جمعیتی در حدود ۲۴۸۰ میلیون نفر تحت تأثیر پدیده سیل بوده‌اند که در واقع معادل بیش از نصف جمعیتی است که از همه انواع مخاطرات طبیعی متأثر شده‌اند. (بالیکا و همکاران^۱، ۲۰۱۵) شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک حاکم بر بخش وسیعی از ایران باعث شده همزمان با وارد شدن خسارت‌های سنگین ناشی از بروز خشکسالی، در بیشتر سال‌ها شاهد بروز سیلاب‌های مخرب با دامنه خسارت وسیع باشیم. طغیان رودخانه یکی از فراوان‌ترین و مهم‌ترین مخاطرات محیطی است که می‌تواند منجر به خسارت‌های شدیدی از قبیل مرگومیر شده و آثار اقتصادی و اجتماعی طولانی‌مدتی را بر جای گذارد و ممکن است باعث تخریب املاک، ایجاد اختلال در زیرساخت‌های ارتباطی و شستن زمین‌های کشاورزی شود (آکرم،^۲ ۱۹۹۲). بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که علت افزایش خسارت‌های سیل در دنیا، افزایش یا بزرگی طغیان‌ها نبوده، بلکه افزایش استفاده از اراضی سیلاب‌دشت‌ها و اراضی سیل‌گیر مجاور رودخانه‌ها هستند (قمی اوپلی و همکاران، ۱۳۸۹). با اقدام‌های مدیریتی می‌توان خسارت‌های جانی و مالی و اثرهای نامطلوب ناشی از سیل را کاهش داد؛ اما نیازمند به‌کارگیری روش‌های مدیریتی پهنه‌بندی خطر سیل در بازه‌های رودخانه‌ای است. پهنه‌بندی خطر سیل اطلاعات بارزشی برای مدیریت سیلاب در دشت‌های سیلابی در اختیار مدیران و کارشناسان قرار می‌دهد. از اساسی‌ترین گام‌ها در مدیریت دشت‌های سیلابی، تعیین مرزهای دقیق آنها، تخمین خسارت‌های سیل و تعیین حق بیمه سیل است که دستیابی به این اطلاعات با تحلیل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی میسر می‌شود (کمان بدست، ۱۳۹۰). باتوجه به اهمیت موضوع تاکنون مطالعات متعددی در راستای تهیه نقشه خطر سیل انجام‌شده که به ذکر برخی از آن‌ها به شرح زیر بسنده می‌شود. (خسروی، ۱۳۹۱)، از مدل دوبعدی CCHE2D برای شبیه‌سازی الگوی جریان و رسوب در بازه‌ای از رودخانه میناب در استان هرمزگان پرداخت و به این نتیجه رسید که مدل از قابلیت خوبی جهت پیش‌بینی مشخصات جریان در رودخانه‌های پیچان‌رودی برخوردار است. (ملک عباسلو، ۱۳۹۲)، با استفاده از مدل CCHE2D به پهنه‌بندی سیلاب در رودخانه‌ی مخروط‌افکنه رودان هرمزگان پرداخت و به این نتیجه رسیدند که مدل یادشده در پیش‌بینی مقادیر سرعت و عمق جریان، خطای کمی را داشته و نتایج حاصل از مدل اختلاف ناچیزی با مقادیر اندازه‌گیری‌شده دارد و پهنه سیل به‌دست‌آمده به‌وسیله مدل تطابق زیادی با بستر تعیین‌شده از بازدیدهای میدانی و عکس‌های هوایی دارد. (پورزمان و همکاران، ۱۳۹۵)، در منطقه بن‌کوه سمنان، اقدام به تهیه پهنه سیل با دبی با دوره بازگشت‌های متفاوت کردند و مشخص نمودند که در هر دوره بازگشت، چه قسمت‌هایی از منطقه، تحت تأثیر سیلاب قرار خواهد گرفت. (خیری زاده، ۱۳۹۷)، به پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب در حوضه‌ی آبریز مردقچای در آذربایجان شرقی با استفاده از مدل ANP پرداختند و به این نتیجه رسیدند که باتوجه به وزن نهایی، متغیرها شیب و ارتفاع رواناب دارای بیشترین تأثیر در ایجاد خطر هر پهنه سیل هستند. (رئیسی، ۱۳۹۷)، با استفاده از مدل CCHE2D به بررسی نحوه رسوب‌گذاری و فرسایش‌پذیری در قوس رودخانه در بازه‌ای از رودخانه کرخه پرداخت و به این نتیجه رسیدند که مدل CCHE2D و همچنین استفاده از مدل دینامیک

1 - Balica et al

2 - Acreman

سیالات محاسباتی (CFD) توانایی خوبی در شبیه‌سازی الگوی جریان واقعی رودخانه‌ها خواهد داشت. پهنه‌بندی با مدل دوبعدی، نقشه‌های پهنه سیل با دقت بسیار بالاتری از نقشه‌های تهیه‌شده با مدل‌های تک‌بعدی ارائه می‌دهد که مهمترین دلایل این موضوع نقشه‌های توپوگرافی بزرگ‌مقیاس و داده‌های دقیق هستند. (رستمی، ۱۳۹۸)، برای پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر ایلام و تعیین محدوده‌های بحرانی بافت شهری در برابر سیلاب با استفاده از روش AHP و GIS صورت گرفته است و به این نتیجه رسیدند که مناطق با خطر خیلی کم ۰/۸ درصد، مناطق با خطر کم ۸/۵ درصد، مناطق با خطر متوسط ۴۹/۶ درصد، مناطق با خطر زیاد ۳۲/۵۴ درصد و مناطق با خطر خیلی زیاد ۸/۵۶ درصد از مساحت حوزه آبخیز شهر ایلام را تشکیل می‌دهند و همچنین مؤثرترین عوامل در بروز خطر سیلاب در منطقه مورد مطالعه به ترتیب شامل فاصله از مسیل، ضریب CN، ارتفاع و کاربری اراضی هستند. (فرناندز^۱، ۲۰۱۰)، پژوهشی را با استفاده از روش ترکیبی GIS و تحلیل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاری برای پهنه‌بندی خطر سیل در نواحی شهری استان توکومان آرژانتین انجام دادند که نتایج پژوهش آنها نشان داد که مناطق توسعه‌یافته‌ی شهری و مناطق پست بیشترین خطر را دارند. (سالون کی^۲ و همکاران، ۲۰۱۸)، با استفاده از مدل CCHE2D به موضوع مدل‌سازی خطر طغیان سیل با استفاده از مدل هیدرودینامیکی CCHE2D و داده‌های مکانی برای سناریوی شکست خاکریز رودخانه براهماپوترا در آسام پرداختند و به این نتیجه رسیدند که با استفاده از شبیه‌سازی مدل و همچنین استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و شبیه‌سازی سرعت و عمق سیلاب در صورت شکست خاکریز، قسمت وسیعی از منطقه مورد مطالعه حتی مناطق با ارتفاع بالا نیز دچار سیلاب می‌شوند. بررسی داده‌های ثبت‌شده در ایستگاه هیدرومتری بن‌کوه (شرکت مدیریت منابع آب ایران) حاکی از آن است که رخدادهای جریان سیلابی متعددی در بازه مورد بررسی تاکنون ثبت شده است. از بین آنها می‌توان به سیل‌های اردیبهشت ۱۳۴۰ و اردیبهشت ۱۳۶۴ با دبی‌های به ترتیب ۳۲۰ و ۱۱۴ مترمکعب اشاره کرد. نکته قابل توجه این است که اکثر سیل‌های بزرگ در فصل بهار اتفاق افتاده‌اند.

منطقه مورد مطالعه باتوجه به موقعیت جغرافیایی و احتمال وقوع سیل و خسارت‌های ناشی از آن باتوجه به در معرض بودن عناصر متعدد و بارزش واقع در سیلاب‌دشت، انتخاب شد. باتوجه به اینکه سیل ۱۰۰ به‌عنوان سیل مبنا انتخاب می‌شود، در این پژوهش نیز سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ سال به‌عنوان سیل مبنا انتخاب شده است. هدف از انجام این پژوهش تعیین پهنه سیل مبنا برای تعیین مناطق در معرض خطر و جلوگیری از آسیب‌های احتمالی ناشی از سیلاب است.

داده‌ها و روش‌ها

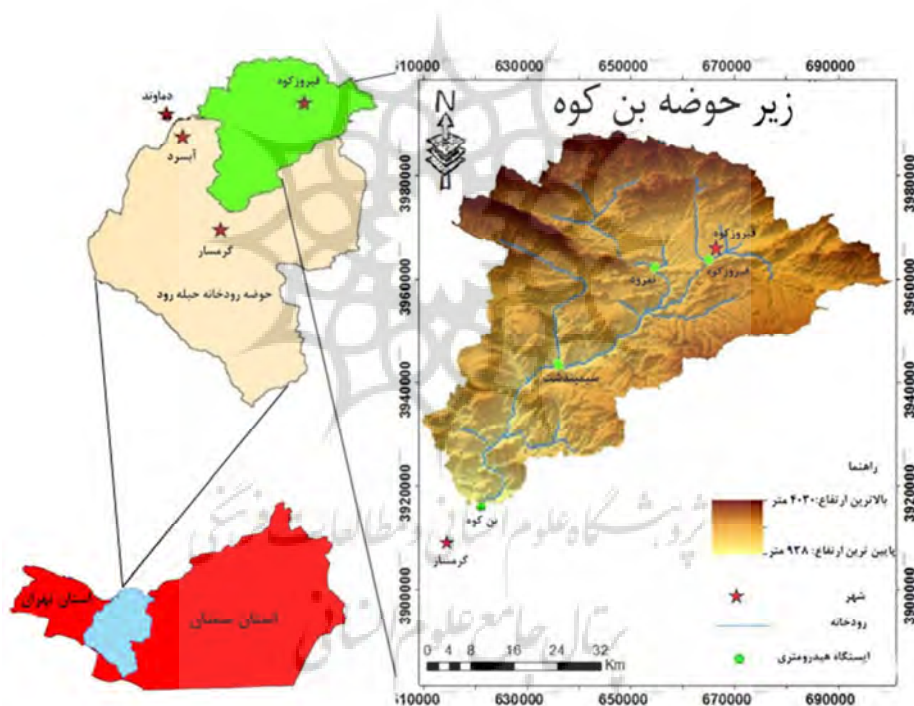
بازه مورد مطالعه

حوضه رودخانه جله‌رود با مساحت حدود ۱۱۶۰۰ کیلومتر مربع شامل قسمت‌هایی از غرب استان تهران و شرق استان سمنان است. حله‌رود از تلاقی سرشاخه‌های خود به نام‌های گورسفید و نمرو در شهرستان فیروزکوه تشکیل

¹ -Fernandez

² - Salunkhe

می‌شود. در ابتدای مسیر به نام رودخانه فیروزکوه هم نامبرده می‌شود که از ارتفاعات البرز سرچشمه گرفته و در دره فیروزکوه شاخه‌های اولیه آن به هم اتصال می‌یابد. در جهت جنوب غربی از شهر فیروزکوه می‌گذرد و در سیمین-دشت به رودخانه نمرود می‌پیوندد. سپس رودخانه دلی‌چای از سمت راست به آن می‌ریزد و از بن‌کوه گذشته و وارد دشت گرمسار می‌شود (یزدانی و همکاران، ۱۳۹۵). بازه مکانی مورد مطالعه، در زیرحوضه بن‌کوه در پایین دست حوضه رودخانه حبله‌رود و در ۱۳ کیلومتری شمال شهر گرمسار در استان سمنان واقع است. زیر حوضه بن‌کوه با مساحتی حدود ۱۰۲۰ کیلومترمربع در محدوده جغرافیایی "۱۷°۳۵' تا ۲۰°۳۵' عرض شمالی و "۱۴°۲۴' تا ۲۶°۵۲' طول شرقی واقع شده و طول بازه رودخانه ۲٫۵ کیلومتر است که در پایین دست زیر حوضه بن‌کوه با توجه به شرایط جغرافیایی و مساعد بودن منطقه برای سیل‌گیری، انتخاب شده است. حداکثر ارتفاع بازه مورد نظر ۴۰۳۰ متر و حداقل آن ۹۳۸ متر است (شکل ۱).



شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه در آبخیز حبله‌رود

مدل عددی CCHE2D

یک مدل عددی برای شبیه‌سازی جریان غیر دائم آشفته و انتقال رسوب در کانال‌های باز است که در مرکز بین‌المللی علوم هیدرولیک و مهندسی محاسباتی (NCCE)^۱، دانشکده فنی دانشگاه می‌سی‌سی‌پی آمریکا تهیه شده و توسعه یافته است. این مدل جزء مدل‌های هیدرودینامیکی دوبعدی بوده که برای حل میدان جریان از معادلات رینولدز متوسط‌گیری شده در عمق استفاده می‌کند و برای شبیه‌سازی انتقال آشفته‌گی دو مدل صفر معادله‌ای توزیع سهموی و مدل طول اختلاط لزجت گردابه‌ای و نیز مدل دو معادله‌ای $k-\epsilon$ را به کار می‌برد.

¹ - National Center for Computational Hydro-Science and Engineering

ساخت هندسه و شبکه‌بندی میدان مطالعاتی در یک نرم‌افزار مجزای پیش‌پردازنده تحت عنوان CCHE-MESH صورت می‌گیرد و حل میدان جریان و انتقال رسوب و همچنین مشاهده نتایج در محیط گرافیکی نرم‌افزار، CCHE-GUI، انجام می‌شود. گسسته‌سازی معادلات میدان جریان و انتقال رسوب با استفاده از روش مبتنی بر المان محدود صورت می‌گیرد و حل معادلات جبری میدان جریان و انتقال رسوب به ترتیب با استفاده از روش تصحیح سرعت و روش‌های تکرار گوس-سایدل و SIP^۱ انجام می‌شود (جیا و وانگ، ۲۰۰۶).

معادلات دوبعدی اصلی را که این مدل بر اساس آن‌ها پایه‌گذاری شده است، می‌توان به صورت زیر ارائه نمود:

معادله پیوستگی:

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

معادلات گشتاور:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial z}{\partial x} + \frac{1}{h} \left(\frac{\partial(h\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{xy})}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{bx}}{ph} + f_{cor} v \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial z}{\partial y} + \frac{1}{h} \left(\frac{\partial(h\tau_{yx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{yy})}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{by}}{ph} + f_{cor} u \quad (3)$$

در معادلات بالا:

u و v به ترتیب بیانگر مؤلفه‌های سرعت متوسط‌گیری شده در عمق در راستای x ، y ، t زمان، g شتاب جاذبه، z بیانگر تراز ارتفاعی سطح آب، ρ دانسیته آب (وزن مخصوص آب)، h عمق جریان و f_{cor} ضریب مربوط به شتاب کوریولیس، τ_{yx} ، τ_{xy} ، τ_{xx} ، τ_{yy} تنش‌های رینولدز متوسط‌گیری شده در عمق و τ_{bx} و τ_{by} تنش‌های برشی بستر در راستای x و y هستند (جیا و وانگ، ۲۰۰۶).

داده‌های موردنیاز برای اجرای مدل CCHE2D

روال عمومی تعیین داده‌های موردنیاز برای استفاده از مدل CCHE2D را می‌توان به صورت زیر تقسیم نمود:

جمع‌آوری انواع داده‌های موردنیاز برای اجرای مدل که شامل نقشه توپوگرافی بزرگ‌مقیاس، عمق و سرعت جریان (عمق و سرعت در شش مقطع مطابق شکل (۴) برای واسنجی و شکل (۵) برای صحت‌سنجی برداشت شد)، ضریب زبری (بر اساس رابطه شماره (۴) با روش کوان محاسبه شد).

نقشه‌برداری و اندازه‌گیری پارامترهای جریان (عمق و سرعت) بازه مورد مطالعه

در این پژوهش، ابتدا در بازه مورد مطالعه نقشه‌برداری با دوربین توتال استیشن انجام شده است و علاوه بر آن نیز مقاطع مختلفی در طول بازه برداشت شده که اطلاعات عمق و سرعت جریان به ثبت رسیده‌اند. سرعت و عمق در

این مقاطع به وسیله خط کش رود^۱ اندازه‌گیری شده‌اند که مقادیر اندازه‌گیری شده در بخش نتایج این مقاله ارائه شده و با مقادیر برآوردی مدل مقایسه می‌شوند. قبل از اندازه‌گیری مقادیر سرعت و عمق جریان، خط کش رود به وسیله میکرومولینه واسنجی شده است. برای کنترل دقت سرعت‌های اندازه‌گیری شده در بعضی مقاطع از میکرومولینه نیز استفاده شده است (شکل ۲).



شکل ۲: عملیات میدانی نقشه‌برداری و اندازه‌گیری پارامترهای جریان در بازه مورد مطالعه

مراحل فرایند مدل‌سازی

در مدل CCHE2D، شبکه‌بندی (مش‌بندی) توسط یک نرم‌افزار پیش‌پردازنده به نام CCHE-MESH انجام می‌گیرد که در ادامه در شکل‌های (۲) و (۳) شبکه محاسباتی و تولید یک فایل با فرمت (geo) توسط این نرم‌افزار ارائه می‌شود. سایر گام‌ها عبارتند از:

- * تنظیم شرایط مرزی
- * تنظیم پارامترهای اولیه جریان
- * اجرای مدل (انجام فرآیند شبیه‌سازی)
- * واسنجی و صحت‌سنجی

ابتدا داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای در طول دوره آماری به‌منظور تهیه پهنه سیل با دوره بازگشت‌های مختلف در ایستگاه هیدرومتری بن‌کوه بررسی و از لحاظ داشتن روند^۱ با روش من-کندال^۲ ارزیابی شدند و به‌علت اینکه داده‌ها دارای روند کاهشی معنادار در سطح ۹۵ درصد بودند، ابتدا روند داده‌ها حذف شده و داده‌ها به نرم‌افزار SMADA وارد شدند. سپس با بررسی توزیع‌های آماری از طریق مقادیر مجموع مربعات باقی‌مانده (R.S.S)، توزیع پیرسون به‌عنوان بهترین توزیع انتخاب شد و با مدل عددی CCHE2D پهنه سیل به ازای هر دوره بازگشت به‌دست آمد که نتایج آن در جدول شماره (۱) ارائه شده است.

جدول ۱: مقادیر دبی با دوره بازگشت مختلف (m^3/s)

دوره بازگشت (سال)	Q_2	Q_3	Q_5	Q_{10}	Q_{25}	Q_{50}	Q_{100}	Q_{200}
دبی جریان (مترمکعب بر ثانیه) بر اساس توزیع پیرسون	۷۵,۹۴	۱۰۵,۶۳	۱۴۵,۴۷	۲۱۰,۶	۳۱۷,۳۴	۴۱۵,۷۱	۵۳۹,۱۵	۶۷۸,۵۷

در مرحله اول برای واسنجی مدل، اقدام به تحلیل شبکه محاسباتی و انتخاب بهترین شبکه شد که شبکه محاسباتی با ابعاد « ۳۰۰×۲۰۰ » نسبت به شبکه با ابعاد « ۲۵۰×۱۸۰ » نتایج بهتری را نشان می‌داد.

جدول ۲: مقایسه پارامتر سرعت متوسط جریان در حالت تغییر ابعاد شبکه محاسباتی

مقاطع اندازه‌گیری شده	پارامتر سرعت جریان اندازه‌گیری شده (متر بر ثانیه)	پارامتر سرعت جریان پیش‌بینی شده با مدل
مقطع ۶	۱/۱۶	۰/۹۱
مقطع ۸	۱/۱۸	۱/۰۷
مقطع ۱۲	۱/۳۱	۰/۸۵

جدول ۳: مقایسه پارامتر عمق متوسط جریان در حالت تغییر ابعاد شبکه محاسباتی

مقاطع اندازه‌گیری شده	پارامتر عمق جریان اندازه‌گیری شده (متر)	پارامتر عمق جریان پیش‌بینی شده با مدل
مقطع ۶	۰/۶۷	۰/۸۳
مقطع ۸	۰/۸۷	۱/۱۴
مقطع ۱۲	۰/۷۱	۰/۵۶

در مرحله دوم، اقدام به واسنجی مدل از طریق تغییر ضریب زبری و با شبکه برتر گردید. ضریب زبری منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش کوان^۳ محاسبه شده است (رابطه ۴). در این پژوهش با استفاده از نمونه‌برداری‌های میدانی در ۲۰ مقطع و انجام عملیات آزمایشگاهی برای دانه‌بندی و تهیه عکس از مقاطع مورد مطالعه و تطبیق با روش کوان، مقدار ضریب زبری محاسبه شده است.

^۱ - Trend
^۲ - Mann-Kendal
^۳ - Cowan

$$n = (nb + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m \quad (۴)$$

nb : ضریب مانینگ پایه که بر اساس دانه‌بندی مواد تشکیل‌دهنده جداره آبراهه و یا سیلاب‌دشت تعیین می‌شود

n_1 : ضریب مانینگ تعدیلی برای درجه بی‌نظمی سطح آبراهه اصلی و یا سیلاب‌دشت

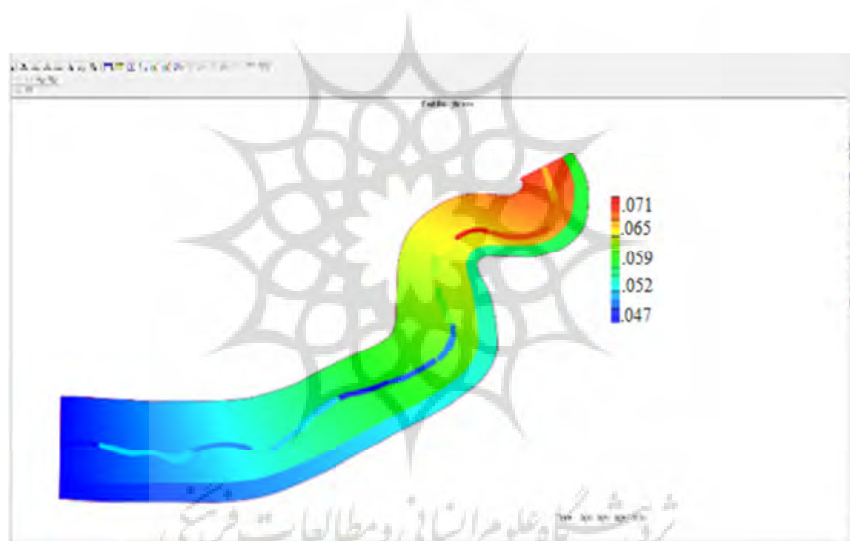
n_2 : ضریب مانینگ تعدیلی برای تغییرهای مقاطع عرضی

n_3 : ضریب مانینگ تعدیلی برای موانع آبراهه اصلی و یا سیلاب‌دشت

n_4 : ضریب مانینگ تعدیلی برای پوشش گیاهی آبراهه اصلی و یا سیلاب‌دشت

m : ضریب اصلاحی زبری بر اساس درجه پیچان‌رودی آبراهه اصلی

در شکل (۳) نحوه تنظیم ضریب زبری در مدل هیدرودینامیکی CCHE2D نشان داده شده است.



شکل ۳: تنظیم زبری رودخانه در مدل CCHE2D

در شکل شماره (۳)، منظور از تنظیم ضریب زبری این است که در هر بازه باتوجه به پوشش و همچنین نمونه‌برداری‌های انجام‌شده و تطبیق با جداول کوان، ضریب زبری برای هر بازه تعیین گردید.

در جدول شماره (۴)، مقادیر سرعت جریان اندازه‌گیری‌شده و محاسبه‌شده به‌وسیله مدل در حالت تغییر ضریب زبری برای مقاطع مختلف مقایسه شده است و در شکل (۴) نیز موقعیت مقاطع برداشت‌شده برای واسنجی مدل نشان داده شده است.



شکل ۴: محل برداشت مقاطع اندازه‌گیری سرعت و عمق جریان برای واسنجی مدل

جدول ۴: مقایسه پارامتر سرعت جریان در حالت تغییر شبکه محاسباتی و ضریب زبری

پارامتر سرعت جریان پیش‌بینی شده با مدل		پارامتر سرعت جریان اندازه‌گیری شده	مقاطع اندازه‌گیری شده
شبکه محاسباتی ۲۵۰×۱۸۰۰	شبکه محاسباتی ۳۰۰×۲۰۰۰		
ضریب زبری ۰/۷۱ - ۰/۴۷	ضریب زبری ۰/۷۹-۰/۵	ضریب زبری ۰/۷۱ - ۰/۴۷	
۰/۹۱	۰/۸۲	۱	مقطع ۶
۱/۰۷	۱/۱۲	۱/۲۴	مقطع ۸
۰/۸۵	۱/۲	۱/۲۵	مقطع ۱۲

همان‌طور که از جدول (۴) که نتایج واسنجی مدل را نشان می‌دهد، معلوم است که شبکه محاسباتی 300×2000 و ضریب زبری $0.47 - 0.71$ نتایج نزدیک‌تری نسبت به مقادیر اندازه‌گیری برآورد کرده است که به‌همین دلیل به‌عنوان شبکه محاسباتی مناسب برای انجام شبیه‌سازی و اجرای مدل استفاده می‌شود.

در مرحله بعد اقدام به صحت‌سنجی مدل شد. در این مرحله با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده سرعت و عمق در سه مقطع که در مرحله واسنجی استفاده نشده‌اند، صحت‌سنجی مدل انجام شد که نتایج آن در جدول (۵) ارائه شده است. در شکل (۵) نیز موقعیت مقاطع برداشت شده برای صحت‌سنجی مدل نشان داده شده است.



شکل ۵: محل برداشت مقاطع اندازه‌گیری سرعت و عمق جریان برای صحت‌سنجی مدل

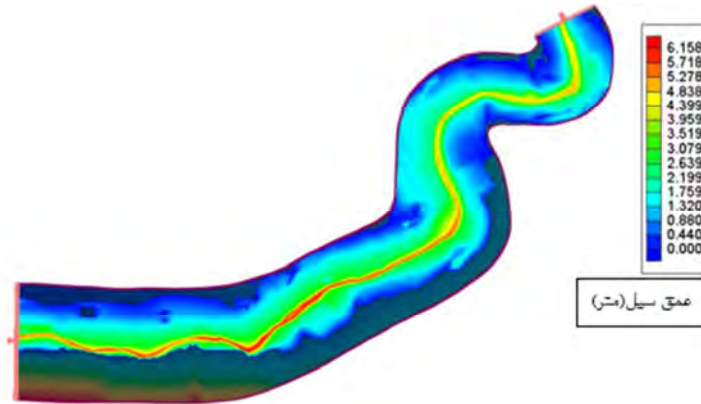
جدول ۵: صحت‌سنجی مدل مورد مطالعه

مقطع	پارامتر عمق جریان اندازه‌گیری شده (متر)	پارامتر عمق جریان برآورد با مدل (متر)
D	۰/۸۴	۰/۹۲
E	۰/۷۹	۰/۸۷
F	۰/۴۸	۰/۴

باتوجه به جدول (۵) که نتایج صحت‌سنجی مدل را نشان می‌دهد، این نتیجه حاصل شد که مدل از توانایی خوبی برای شبیه‌سازی در منطقه مورد مطالعه برخوردار است. با انجام مراحل قبل، مدل آماده شبیه‌سازی جریان رودخانه است که با استفاده از داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای ایستگاه بن‌کوه برای ورودی مدل CCHE2D، پهنه سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله استخراج شد و خروجی مدل وارد GIS و با استفاده از GIS نقشه خطر سیل استخراج گردید.

یافته‌های پژوهش

پهنه سیلاب بر اساس دبی جریان با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله با مدل CCHE2D به‌دست آمد.



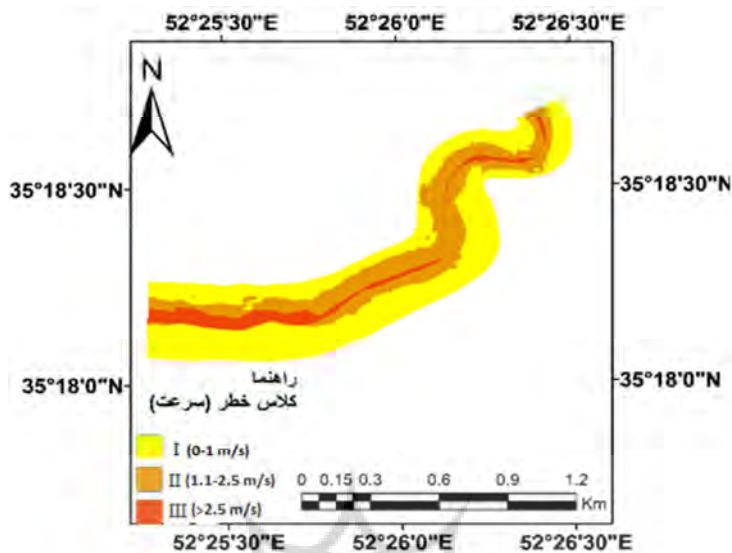
شکل ۶: پهنه سیلاب با دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله در بازه رودخانه‌ای منطقه بن‌کوه

ضمن مقایسه پهنه جریان در روز ۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۵ (حدود ۴ هکتار) با پهنه سیل ایجادشده در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله (حدود ۴۱ هکتار) مشخص شد که پهنه سیل‌گیر، برای شرایط سیل مبنا بیش از ده برابر خواهد شد که افزایش قابل توجهی محسوب می‌شود.

با انجام شبیه‌سازی و تهیه پهنه سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ سال و استفاده از خروجی مدل CCHE2D در GIS نقشه خطر سیل تهیه شد که ابتدا این نقشه بر اساس سرعت جریان (جدول ۶) و شکل (۷) و سپس بر اساس عمق جریان (جدول ۵) و شکل (۸) تهیه شد.

جدول ۶: کلاس خطر سیل بر اساس سرعت جریان

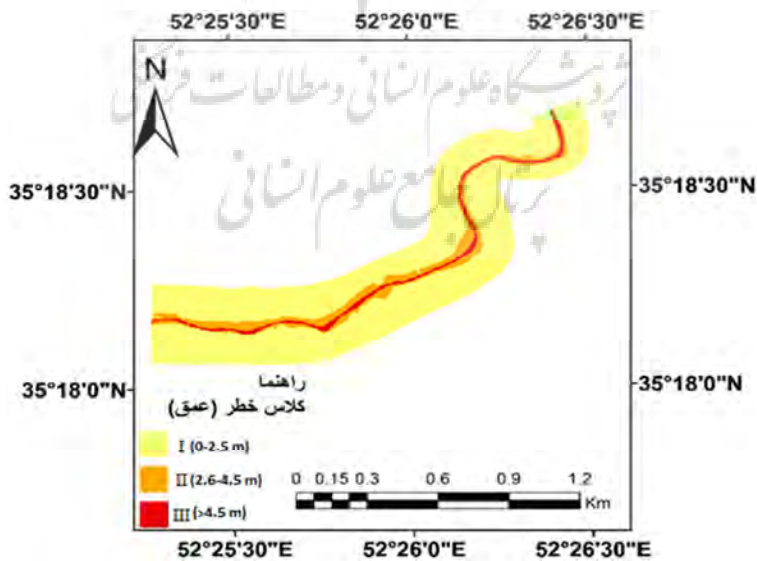
ردیف	کلاس خطر	طبقات کیفی	سرعت جریان (متر بر ثانیه)
۱	I	کم	۰-۱
۲	II	متوسط	۱/۱-۲/۵
۳	III	زیاد	بیشتر از ۲/۵



شکل ۷: نقشه خطر سیل بر اساس سرعت جریان برای دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ سال

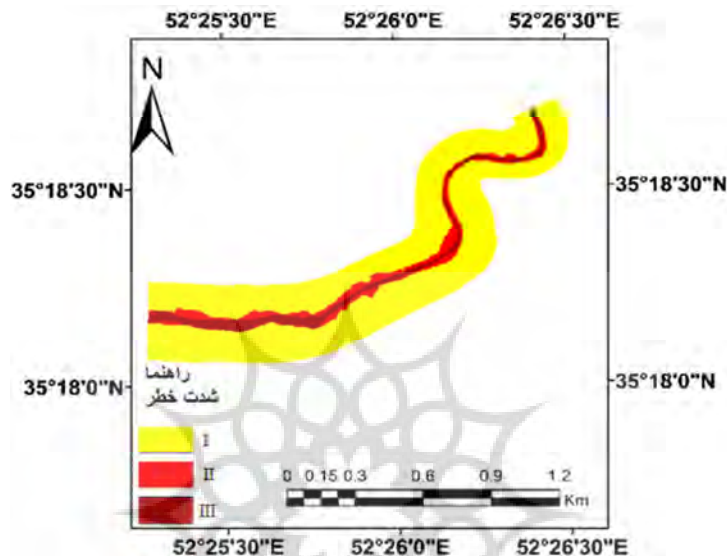
جدول ۷: کلاس خطر سیل بر اساس عمق جریان

ردیف	کلاس خطر	طبقات کیفی	عمق جریان (متر)
۱	I	کم	۰-۲/۵
۲	II	متوسط	۲/۶-۴/۵
۳	III	زیاد	بیشتر از ۴/۵



شکل ۸: نقشه خطر سیل بر اساس عمق جریان برای دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله

و در نهایت نقشه خطر سیل با تلفیق دو نقشه بالا بر اساس روش ترکیب خطی وزنی عمق و سرعت جریان استخراج شد (شکل ۹). بدین ترتیب که به سرعت جریان با توجه به قدرت تخریب بیشتر، وزن ۰,۶ و به عمق جریان وزن ۰,۴ اختصاص داده شد.



شکل ۹ نقشه خطر سیل بر اساس تلفیق سرعت و عمق جریان برای دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله

بحث

با توجه به نتایج مدل عددی CCHE2D می‌توان گفت که مدل یادشده در پیش‌بینی مقادیر سرعت و عمق جریان (جدول شماره ۵)، خطای کمی را داشته و نتایج حاصل از مدل اختلاف ناچیزی با مقادیر اندازه‌گیری شده دارد. بنابراین نتایج پژوهش، توانمندی بالای مدل را در پیش‌بینی دقیق پارامتر سرعت و عمق جریان، تایید نمود که با نتایج خسروی (۱۳۹۱) که با استفاده از مدل دوبعدی CCHE2D برای شبیه‌سازی الگوی جریان و رسوب در میناب در استان هرمزگان پرداخت و ملک عباسلو (۱۳۹۲) که با استفاده از مدل CCHE2D به پهنه‌بندی سیلاب در رودخانه‌ی مخروط‌افکنه رودان هرمزگان پرداخت همخوانی دارد.

باتوجه به متصل‌بودن اراضی زراعی و باغات و مناطق مسکونی منطقه موردنظر به رودخانه، تقریباً درصد خیلی زیادی از منطقه به زیر سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ سال می‌رود. البته در قسمت چپ منطقه به‌علت اینکه رودخانه به کوه متصل است، پهنه سیلاب وسعت زیادی از منطقه را دربر نمی‌گیرد. طبق شرایط حاکم بر طبیعت، عارضه‌های نزدیک به رودخانه در کلاس خطر (III) و هرچه از رودخانه فاصله بگیریم کلاس خطر، وسیع‌تر و خطر کمتر می‌شود. بر اساس نقشه خطر سیل به‌دست‌آمده مشخص شد که از کاربری زراعی، ۳ درصد در کلاس خطر III، ۹ درصد در کلاس خطر II و بقیه در کلاس خطر I قرار دارد. در کاربری نوع باغ، ۲/۷ درصد در کلاس خطر III، ۳ درصد در کلاس خطر II و مابقی در کلاس خطر I قرار دارد. در نهایت از مناطق مسکونی موجود در منطقه حدود ۱۵ درصد در کلاس خطر (II) و ۸۵ درصد در کلاس خطر (I) قرار دارد.

نتیجه‌گیری

پژوهش موردنظر به‌منظور تهیه نقشه خطر سیلاب در پایین‌دست حوضه رودخانه‌ای حبله‌رود واقع در منطقه بن‌کوه در استان سمنان انجام گردید. در این پژوهش، ابتدا داده‌های اولیه موردنیاز مدل (دانه‌بندی بستر و کناره‌ها و پارامترهای جریان (عمق و سرعت)) در مقاطع مختلف اندازه‌گیری گردید و سپس با استفاده از دوربین توتال استیشن، نقشه توپوگرافی منطقه برداشت شد و درنهایت با استفاده از مدل CCHE2D و GIS نقشه خطر سیلاب برای این منطقه تهیه شد. بر اساس نقشه خطر به‌دست‌آمده از سیلاب در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله، در صورت وقوع سیلاب با این دوره بازگشت، می‌توان گفت که درصد بالایی از منطقه زیر سیلاب می‌رود و خسارت‌های فراوانی به بار خواهد آورد که با توجه به تمرکز زیاد کاربری‌های مورد اشاره در مجاورت رودخانه حبله‌رود و ریسک بالای زندگی در این مناطق که هم از نظر مالی و هم جانی مردم منطقه را تهدید می‌کند، اهمیت این یافته‌ها را چند برابر می‌کند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده پیشنهاد می‌شود که کاربری‌های موجود در کلاس خطر III که ریسک زیادی دارند، حریم رودخانه را رعایت کرده و حتی‌الامکان در این کلاس خطر حضور نداشته باشند. کاربری‌های با کلاس خطر II به‌خصوص کاربری مسکونی، موارد مربوط به مقاوم‌سازی را حتماً رعایت کنند و در مورد کاربری مسکونی کلاس I آموزش‌های لازم برای مواجهه با شرایط خاص و سیلابی، به افراد محلی ارائه داده شود. انتقال یافته‌های این پژوهش به جوامع محلی به‌صورت نقشه و نمایش وضعیت قرارگیری کاربری‌های مختلف در شرایط پهنه سیلاب ۱۰۰ ساله می‌تواند در ارتقاء آگاهی و ادراک آن‌ها از خطر سیلاب نقش مؤثری داشته باشد. بدین ترتیب، پس از آن می‌توان توصیه‌های فنی و ترویجی برای اجتناب از خطر و همچنین کاهش آسیب‌پذیری را در دستور کار قرار داده و نیز برنامه‌های آموزشی لازم را برای جوامع محلی در منطقه مورد مطالعه تدوین کرد.

برای حصول نتایج بهتر پیشنهاد می‌شود با جمع‌آوری داده‌های موردنیاز، پارامترهای تنش برشی، عدد فرود و چسبندگی (لزجت) گردابه نیز محاسبه‌شده و برای حصول نتایج بهتر در مدل‌سازی از آنها استفاده شود.

منابع

- پورزمان، سعید. سعدالدین، امیر. بهره مند، عبدالرضا. (۱۳۹۵). پهنه‌بندی سیلاب با دبی با دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از مدل هیدرودینامیکی CCHE2D، مطالعه موردی: رودخانه حبله‌رود. منطقه بن‌کوه، اولین همایش بین‌المللی و دومین همایش ملی کشاورزی، محیط‌زیست و امنیت غذایی، جیرفت، <https://civilica.com/doc/638431>
- خسروی، غلامرضا. (۱۳۹۱). شبیه‌سازی عددی جریان و رسوب توسط مدل CCHE2D (مطالعه موردی: پیچان‌رود پایین دست میناب)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه هرمزگان.
- خیری زاده، منصور، ملکی، جبرئیل، عمونیا، حمید. (۱۳۹۷). پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب در حوضه‌ی آبریز مردق‌چای با استفاده از مدل ANP. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، (۳): ۳۹-۵۶
- رستمی، نورالدین. کاظمی، یونس. (۱۳۹۸). پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر ایلام با استفاده از روش AHP و GIS. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۶ (۱): ۱۷۹-۱۹۲. DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.10
- رئیس‌ی، امین. مهرفر، حسام‌الدین. محمدی مطلق، رضا. معتضدی، احمد. (۱۳۹۷). بررسی نحوه رسوب‌گذاری و فرسایش‌پذیری در قوس رودخانه با استفاده از مدل دوبعدی CCHE2D، (مطالعه موردی: بازه‌ای از رودخانه کرخه). فصلنامه مهندسی عمران و سازه، ۲ (۳): ۳۸-

قمی اوپلی، فرشته، صادقیان، محمدصادق، جاوید، امیرحسین، میرباقری، سید احمد. (۱۳۸۹). شبیه‌سازی پهنه سیل با استفاده مدل HEC-RAS، مطالعه موردی: رودخانه کارون حدفاصل بند قیر تا اهواز، فصلنامه علوم و فنون منابع طبیعی، سال پنجم، شماره اول، بهار: ۱۰۵-۱۱۵

کمان‌بدست، امیرعباس. (۱۳۹۰). آموزش نرم‌افزار CCHE2D (راهنمای تشکیل و شبیه‌سازی رسوب و الگوی جریان)، دانشگاه آزاد اسلامی اهواز، ۳۰۸ صفحه.

ملک عباسلو، احسان. حاجی‌کندی، هومن. محمودی وانعلیا، محسن و وثوق، مسعود. (۱۳۹۱). پهنه‌بندی سیلاب در رودخانه‌های مخروط-افکنه‌ای با استفاده از مدل دوبعدی CCHE2D، یازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، ارومیه، <https://civilica.com/doc/186341>

یزدانی محمدرضا، ذوالفقاری علی‌اصغر. (۱۳۹۵). بررسی اثر شاخص‌های پیوند از دور بر میزان کارایی پیش‌بینی جریان رودخانه (مطالعه موردی: حوضه رودخانه حبله‌رود). مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران). Available from: ۵۲۸-۵۱۵:۲(۶۹);۰۲May۲۰۲۱[cited ۲۹۹۲۶۴]

<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=۲۹۹۲۶۴>

Acreman.S and Farquharson.T, 1992, Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information systems analysis. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54(11),1593-1600

Balica S.F. 3, Q. Dinh 2 and I. Popescu.(2015). Vulnerability and exposure in developed and developing countries: Large-scale assessments, In: Hydro-Meteorological hazards, risks, and disasters, Ed.: Shroder, J.F., Paron, P., Baldassarre, G.D., Elsevier Pub. 288 pp.

Fernandez D.S. and M.A. Lutz. 2010. Urban Flood Hazard Zoning in Tucuman Province, Argentina, Using GIS and Multicriteria Decision Analysis, Engineering Geology, 111: 90-98

Jia, Y., Zhang, Y., Wang, S., Raible, A., 2006. Numerical Simulations of channel Response to the river in Structures in Arkansas river, The 7th Int. Conf. on Hydrosience and Engineering ICHE-2006. Sep. 10 – Sep. 13, Philadelphia, USA.

Salunkhe, S.S., Rao, S.S., Prabu, I. et al. (2018). Flood Inundation Hazard Modelling Using CCHE2D Hydrodynamic Model and Geospatial Data for Embankment Breaching Scenario of Brahmaputra River in Assam. J Indian Soc Remote Sens 46, 915–925. <https://doi.org/10.1007/s12524-018-0749-3>

Semswa (Southeast metro Stormwater authority), 2007. Floodplain terminology, <https://www.semswa.org/floodplain-terminology.aspx>.

References

References (in Persian)

- Kamanbedast, A. (2011). CCHE2D software training (guideline for formation and simulation of sediment and flow pattern), Islamic Azad University of Ahvaz, 308 pages. [In Persian]
- Khosravi, G. (2012). Numerical simulation of flow and sediment by CCHE2D model (Case study: downstream meander of Minab River), M.Sc. Thesis, Hormozgan University. [In Persian]
- Khairizadeh, M., Maleki, J., Amunia, H. (2018). Zoning of flood risk potential in Mordeghachai catchment using ANP model. *Quantitative Geomorphological Research*. 1 (3), pp 39-56. [In Persian]
- Malek Abbaslu, E. Haji Kandy, H., Mahmoudi Vanalia, M., Vosough, M. (2012). Flood zoning in alluvial rivers using two-dimensional model CCHE2D, 11th Iran Hydraulic Conference, Urmia, <https://civilica.com/doc/186341>. [In Persian]
- Poorzaman, Saeed. Sadoddin, Amir. Bahremand, Abdulreza. (۲۰۱۷). Flood zonation with the discharge with different return periods using CCHE2D hydrodynamic model, Case study: Hablehroud river. Bonekooh region, the First International Conference and the Second National Conference on Agriculture, Environment and Food Security, Jiroft, <https://civilica.com/doc/638431>. [In Persian]
- Qomi Oili, Fereshteh., Sadeghian, Mohammad Sadegh., Javed, Amir Hussein., Mirbagheri, Seyed Ahmad., Flood Zone Simulation Using HEC- RAS Model, Case Study: Karun River between Qir Dam and Ahvaz, *Quarterly Journal of Natural Resources Science and Technology*, Year 5, Number 1, Spring 2010: 105-115 . [In Persian]
- Raisi, A., Mehrfar, H., Mohammadi Motlagh, R., Motazedi, A. (2019) Investigation of sedimentation and susceptibility to erosion on the curve of rivers using the two-dimensional CCHE2D model (Case study: a reach of the Karkheh River). *Quarterly Journal of Civil and Structural Engineering*. 2 (3), pp 38-49. [In Persian]
- Rostami, N., Kazemi, Y. (2019). Flood hazard zoning in Ilam city using AHP and GIS. *Spatial Analysis of Environmental Hazards Journal*. 6 (1), pp 179-192. DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.10 .[In Persian]
- Yazdani M.R., Zolfaghari A.A. Investigating the effect of remote linking indices on the efficiency of river flow prediction (Case study: the Hable-rud River Basin). *Rangeland and watershed management (Iranian natural resources)*. 1395 [cited 2021May02]; 69 (2): 515-528. Available from: <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=299264>. [In Persian].

References (in English)

- Acreman.S and Farquharson.T, 1992, Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information systems analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54(11),1593-1600
- Balica S.F. 3, Q. Dinh 2 and I. Popescu.(2015). Vulnerability and exposure in developed and developing countries: Large-scale assessments, In *Hydro-Meteorological hazards, risks, and disasters*, Ed.: Shroder, J.F., Paron, P., Baldassarre, G.D., Elsevier Pub. 288 pp.
- Fernandez D.S. and M.A. Lutz. 2010. Urban Flood Hazard Zoning in Tucuman Province, Argentina, Using GIS and Multicriteria Decision Analysis, *Engineering Geology*, 111: 90-98
- Jia, Y., Zhang, Y., Wang, S., Raible, A., 2006. Numerical Simulations of channel Response to the river in Structures in Arkansas river, The 7th Int. Conf. on Hydrosience and Engineering ICHE-2006. Sep. 10 – Sep. 13, Philadelphia, USA.
- Salunkhe, S.S., Rao, S.S., Prabu, I. et al. (2018). Flood Inundation Hazard Modelling Using CCHE2D Hydrodynamic Model and Geospatial Data for Embankment Breaching Scenario of Brahmaputra River in Assam. *J Indian Soc Remote Sens* 46, 915–925. <https://doi.org/10.1007/s12524-018-0749-3>
- Semswa (Southeast metro Stormwater authority), 2007. Floodplain terminology, <https://www.semswa.org/floodplain-terminology.aspx>.