Flood Inundation Mapping Using HAND (A Case Study of Kashkan River, Western Iran)

Kaveh Ghahraman [a,*], **Mojtaba Yamani** [b], **Balázs Nagy** [c]
[a] *PhD Candidate in Geomorphology, Department of Physical Geography, Eötvös Loránd University, Budapest, Hungary*
[b] *Professor in Geomorphology, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran*
[c] *Associate Professor in Geomorphology, Department of Physical Geography, Eötvös Loránd University, Budapest, Hungary*

Research Full Paper
Article History (Received: 04/06/2023 Accepted: 19/09/2023)

Extended abstract

1- Introduction

Floods pose significant risks as natural disasters on a global scale. In addition to climate change, anthropogenic activities have exacerbated the damaging effects of flooding over the past decade. Findings indicate that over 91 billion hectares of land in Iran are susceptible to flooding. Extensive hydrologic records reveal a total of 467 flooding events in the country up until 2002, contributing to a loss of 630 lives between 1982 and 1992. These alarming statistics underscore the necessity of studying and analyzing floods, as well as mapping inundation areas, in order to mitigate potential damage associated with future flooding events. One particular region in western Iran that has been heavily affected by recurring floods is the Kashkan River. This river traverses numerous urban and rural areas that are prone to annual flooding. Although various methodologies exist to investigate floods and identify areas susceptible to inundation, many of these approaches require data that may not be readily accessible. Consequently, this study employs the Height Above the Nearest Drainage (HAND) model to examine the flood-prone sections along the Kashkan River. Unlike other methods, the HAND model solely relies on a Digital Elevation Model (DEM), making it a promising and accurate technique for mapping inundation areas. By utilizing the HAND model, this research aims to identify specific sections of the Kashkan River that are prone to flooding. The findings of this study will contribute to a better understanding of flood dynamics in the region, enabling the development of effective strategies to minimize potential damage.

2 -Methodology

In order to examine the areas that are prone to flooding, we employed the Height Above Nearest Drainage (HAND) model. This model was originally introduced by Rennó et al. (2008) and operates by utilizing a Digital Elevation Model (DEM) to compute the distance between a grid-cell within the topography data and the nearest cell along the stream it drains into. By considering cells with HAND values below a specific threshold as inundated, we can identify areas that are susceptible to flooding. Notably, the HAND model offers the advantage of being raster-based, eliminating the need for the construction of cross-sections, which is a requirement for alternative techniques like HEC-RAS. For our investigation, we employed the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) DEM, which possesses a resolution of 30 meters. To validate the findings obtained from the HAND model, we employed flood maps generated from Sentinel-1 Synthetic Aperture Radar (SAR) data from March 2019. These flood maps were created using the Sentinel Application Platform (SNAP) software and the

* **Corresponding Author: kevingh70@gmail.com**

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.1]

OTSU thresholding method. This method allows us to distinguish flooded areas within the study region and validate the results obtained from the HAND model.

3- Results

The findings from this study indicate that a significant portion of the study area, encompassing 54.49 square km, is classified as highly flood prone. Additionally, an area measuring 31.78 square km is categorized as flood prone. Based on the HAND maps, it is evident that more than 30 percent of the study area is susceptible to flooding with varying intensities. The outcomes further reveal that the majority of both rural and urban regions situated alongside the Kashkan River are located within highly flood prone sections. Moreover, a comparison between the flood maps derived from Synthetic Aperture Radar (SAR) and the HAND results demonstrates that the HAND model successfully identified and classified the flood area in March 2019 as highly flood prone and flood prone. By examining the cross-section along the river, it becomes apparent that the inner banks of meanders are more susceptible to flooding when compared to the outer banks. Cross-section 1 analysis revealed that the sections with a high susceptibility to flooding are situated at higher elevations when compared to the maximum flood level observed in March 2019. This implies that in the event of more sever floods in the future, a larger portion of the areas along cross-section 1 will likely to be inundated. Additionally, the analysis demonstrated that during elevated flood flows, the outer bank of the meander is more prone to flooding compared to the inner bank. Similarly, in cross-section 2, the outer bank of the meander exhibits a greater extent of highly flood-prone areas compared to the inner bank. Furthermore, cross-section 2 findings indicate that the flood flow during March 2019 did not reach the upper limit of the highly flood-prone category. In contrast to the previous cross-sections, cross-sections 3 and 4 primarily experienced flooding along the inner bank of the meanders, and the HAND model also classified them as highly flood prone. These results suggest that the distribution of inundation in the Kashkan river is predominantly influenced by the underlying topography.

4- Discussion & Conclusions

The findings indicated that both rural and urban regions situated along the Kashkan river exhibit a high vulnerability to flooding, with a propensity for inundation during flooding events. The results revealed the efficacy of the HAND model in accurately identifying the flood-prone segments of the Kashkan River. Analysis of cross-sections along the river revealed that the inundation patterns in mountainous meandering rivers are predominantly influenced by the underlying topography. Overall, the HAND model represents a swift and precise approach for delineating areas at risk of flooding, thereby assisting authorities in enhancing planning strategies and implementing effective measures for mitigating damages.

Key Words: Flood, HAND model, Kashkan, Flood mapping, Inundation.

Cite this article: Ghahraman, K., Yamani, M., & Nagy, B. (2024). Flood Inundation Mapping Using HAND (A Case Study of Kashkan River, Western Iran). *Journal of* Environmental *Erosion Research. 2024; 14 (1):1-17.* http//doi.org/

© The Author(s).
DOI: http//doi.org/
Published by Hormozgan University Press.
URL: http://magazine.hormozgan.ac.ir

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.1]

پیش‌بینی پهنه‌های سیل‌گیر با استفاده از مدل HAND
(مطالعه موردی: رودخانه کشکان)

کاوه قهرمان*: *دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیای طبیعی، دانشگاه اتوِوش لورند، بوداپست، مجارستان*
مجتبی یمانی: *استاد ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران*
بالاژ نایج: *دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیای طبیعی، دانشگاه اتوِوش لورند، بوداپست، مجارستان*

نوع مقاله: پژوهشی
تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۳/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۲۶)
DOI: http//doi.org/

چکیده

سیلاب به عنوان یکی از مخرب‌ترین مخاطرات طبیعی در ایران و جهان، هرساله خسارات جانی و مالی زیادی بر جوامع وارد می‌آورد. بر همین اساس تعیین مناطق مستعد سیلاب می‌تواند نقش مهمی در کاهش خسارات ناشی از سیلاب‌های احتمالی در آینده ایفا کند. در این پژوهش، پهنه‌های سیل‌گیر در محدوده رودخانه کشکان با استفاده از مدل HAND تعیین شدند. به منظور تعیین پهنه‌های سیل‌گیر، از مدل رقومی ارتفاعی منطقه مورد مطالعه استفاده شد. همچنین از نرم افزارهای QGIS و Excel برای تهیه نقشه مناطق مستعد سیلاب و نیمرخ‌های ارتفاعی استفاده شد. در نهایت به منظور صحت‌سنجی نتایج مدل HAND، مناطق سیل‌زده در سیلاب فروردین ماه ۱۳۹۸ با استفاده از تصاویر راداری ماهواره سنتینل-۱، نرم‌افزار SNAP و روش آستانه‌گذاری OTSU استخراج شدند و نقشه مناطق سیل‌زده در منطقه مورد مطالعه تهیه شد. نتایج این تحقیق نشان داد که تقریباً تمام مناطق شهری و روستایی در اطراف رودخانه کشکان در طبقه بسیار پرمخاطره و پرمخاطره قرار دارند. مقایسه نقشه HAND و مناطق سیل‌زده مستخرج از تصاویر راداری نشان داد که مدل HAND توانسته است با دقت بسیار بالایی پهنه‌های سیل‌گیر را تعیین کند. همچنین نتایج این پژوهش مشخص کرد که بخش‌های داخلی مئاندر در محدوده رودخانه کشکان جزو مناطق مهم مستعد سیلاب به شمار می‌روند. بر اساس نتایج، در رودخلنه‌های مئلندریِ واقع در مناطق کوهستانی، محدودیت یا عدم محدودیت توپوگرافی نقش تعیین کننده‌ای در سیل‌خیزی بخش‌های بیرونی یا داخلی مئاندر دارد. این در حالی است که در رودخانه‌های مئاندری مستقر در دشت‌های سیلابی، به دلیل عدم وجود محدودیت توپوگرافی، بخش بیرونی مئاندر بیشتر از بخش داخلی آن مستعد سیل‌خیزی و غرق‌شدگی است.

واژگان کلیدی: پهنه سیل‌گیر؛ سیلاب؛ کشکان؛ مدل **HAND**.

* **نویسندهٔ مسئول:** **Kevingh70@gmail.com**

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.1]

۱ـ مقدمه

سیلاب به عنوان یکی از رایج‌ترین و مهمترین مخاطرات طبیعی در سرتاسر جهان شناخته می‌شود (Ashtari et al., 2022; Ezzine et al., 2020; Zhang et al., 2018). در دهه‌های اخیر، علاوه بر تغییرات اقلیمی و پیامدهای ناشی از آن (مانند بارش‌های حدی و سیلاب‌های شدید و ناگهانی)، گسترش فعالیت‌های انسانی و افزایش جمعیت نیز منجر به تشدید خسارات ناشی از سیل شده است (Asadi & Emami, 2021; Saghafi & RezaeiMoghadam, 2012). براساس برآوردهای انجام شده، ۹۱ میلیون هکتار از اراضی کشور در گروه مناطق سیل‌خیز قرار دارند (Geravand et al., 2021). همین موضوع باعث شده است تا ایران در بین کشورهای پرمخاطره از نظر وقوع سیلاب قرار بگیرد (Ghahraman & Zanganeh Asadi, 2022). ایستگاه‌های هیدرومتری در سطح کشور، ۴۶۷ فقره سیلاب را تا سال ۱۳۸۱ به ثبت رسانده‌اند (Negaresh et al., 2013). علاوه بر این، بین سال‌های ۱۳۶۱ تا ۱۳۷۱، ۶۳۰ نفر در اثر وقوع سیلاب در کشور جان باخته‌اند (Dastoorani et al., 2014). همه این موارد بر لزوم توجه به پدیده سیلاب از جنبه‌های مختلف، از جمله موارد مدیریتی و قانون‌گذاری (خصوصاً در بحث ساخت‌وساز در دشت‌های سیلابی)، بررسی نقش عوامل طبیعی و انسانی در افزایش و یا کاهش خسارات ناشی از سیل و همچنین تعیین مناطق مستعد سیلاب با استفاده از ابزارهای کارآمد و به‌روز اشاره دارند. رودخانه کشکان یکی از پُرآب‌ترین شاخه‌های رودخانه کرخه به حساب می‌آید. مناطق شهری و روستایی واقع در اطراف این رودخانه هرساله در اثر وقوع سیلاب‌های پرقدرت دچار خسارات متعدد می‌شوند (Mehdinasab, 2019). بنابراین تعیین موقعیت مناطق پرمخاطره می‌تواند نقش مهمی در کاهش خسارات ناشی از سیلاب‌های محتمل در آینده ایفا کند.

بررسی و اندازه‌گیری‌های میدانی یکی از بهترین روش‌ها برای تعیین مناطق مستعد سیلاب به‌شمار می‌روند؛ با این حال به دلیل هزینه‌های فراوان و طولانی بودن فرآیند گردآوری اطلاعات، سازمان‌ها و حتی محققان معمولاً تمایلی برای انجام پروژه‌های مداوم میدانی نشان نمی‌دهند. همین موضوع باعث شده است تا استفاده از ابزارهای سنجش از دوری نقش پررنگی در تحقیقات مرتبط با سیلاب ایفا کنند. ابزارها و روش‌های متعددی برای بررسی سیلاب و تعیین مناطق سیل‌زده با اتکا به داده‌های سنجش از دوری در دنیا بکار گرفته شده است. از معروف‌ترین آنها می‌توان به مدل HEC-RAS، مدل سلسله مراتبی، منطق فازی، ابزارهای مختلف یادگیری ماشین مانند جنگل تصادفی و SVM ، تصاویر ماهواره‌ای راداری و اپتیکال، استفاده از مدل رقومی ارتفاعی و مدل HAND اشاره کرد.

در میان محققان ایرانی، Yamani و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از مدل HEC-RAS پهنه‌های سیل‌گیری در بالادست پل طالقان را تعیین کردند. براساس نتایج بدست آمده، از مجموع مساحت در قلمرو سیلِ ۲۰۰ ساله، حدود ۸۸/۱۶ درصد مستعد سیل‌گیری توسط سیلاب‌هایی با دوره بازگشت ۲۵ سال و کمتر است. Hosseini و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از مدل HEC-HMS، سیلاب‌های تاریخی رودخانه کشکان را پیش‌بینی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل HEC-HMS در شبیه‌سازی رواناب روزانه طی دوره تَرسالی کارایی بالایی دارد. همچنین مشخص شد که مدل مذکور در تعیین حداکثر دبی لحظه‌ایِ سیلاب به ازای دوره‌های بازگشت کمتر از ۳۰۰ سال، نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد. Mohammad Nejhad (۲۰۲۱) با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل-۱، سیلاب سال ۱۳۹۸ در شهر پلدختر را

* نویسندهٔ مسئول: Kevingh70@gmail.com

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.1]

مورد بررسی قرار داد و نقشه گسترش سیلاب را برای منطقه مورد مطالعه تهیه کرد. نتایج این تحقیق نشان داد که ۷/۹۹ کیلومتر مربع از محدوده مطالعه شده در اثر سیلاب‌های سال ۱۳۹۸ به زیر آب رفته است. Yousefi و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین، پتانسیل سیل‌خیزی در حوضه رودخانه کشکان را مورد بررسی قرار دادند. براساس نتایج این تحقیق، از میان مدل‌های بکار گرفته شده، مدل CART دقیق‌ترین روش در تعیین پتانسیل سیل‌خیزی در محدوده مورد مطالعه بوده است. مساحت زیر منحنی در روش مذکور ۹۱ درصد محاسبه شد.

در مقیاس بین‌المللی، محققان متعددی پدیده سیلاب را از جنبه‌های مختلف و با استفاده از ابزارهای متفاوت مورد بررسی قرار داده‌اند. Zheng و همکاران (۲۰۱۸) نقشه مناطق مستعد سیلاب با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی را برای مناطق پهناور تهیه کردند. برای انجام این کار علاوه بر مدل رقومی ارتفاعی از مدل HAND نیز استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که نقشه خروجی از مدل HAND بین ۶۰ تا ۹۰ درصد با نقشه سیلاب ارائه شده توسط FEMA[1] همخوانی دارد. Tamiru و Dinka (۲۰۲۱) با تلفیق مدل HEC-RAS و ANN[2]، نقشه مناطق مستعد سیلاب برای رودخلنه‌بارو آکوبو[3] واقع در اتیوپی را تهیه کردند. براساس نتایج، تلفیق این دو مدل منجربه افزایش قابل توجه در دقت نقشه مناطق مستعد سیلاب خواهد شد. Khosravi و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از مدل شبکه عصبی پیچشی[4]، پراکندگی فضایی مناطق مستعد سیلاب را در مقیاس ملی برای کشور ایران مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که مناطق مستعد سیلاب در کلاس‌های زیاد و خیلی زیاد به ترتیب ۱۲ درصد و ۳ درصد از مساحت کشور را به خود اختصاص داده است. همچنین این تحقیق مشخص کرد که ۴۹ درصد از شهرهای کشور دارای استعداد خیلی زیاد سیلاب هستند.

یکی از مهمترین مشکلات و محدودیت‌های مدل‌های مختلف تهیه نقشه مناطق مستعد سیلاب، نیاز به جمع‌آوری داده‌های میدانی و سنجش از دوری است. مدل HAND تنها با بهره‌گیری از مدل رقومی ارتفاعی قادر است با دقت بسیار خوبی مناطق مستعد سیلاب را مشخص کند. منطقه مورد مطالعه هر ساله در اثر وقوع سیلاب دچار خسارات مالی و جانی می‌شود. با توجه به تعدد نقاط شهری و روستایی در اطراف رودخانه کشکان، تعیین پهنه‌های سیل‌گیر با روشی سریع و کم‌هزینه از اهمیت زیادی برخوردار است. تهیه نقشه مناطق مستعد سیلاب علاوه بر ارائه اطلاعات کاربردی برای برنامه‌ریزان و سازمان‌های تصمیم گیرنده، می‌تواند نقش مهمی در آگاه‌سازی مردم محلی نسبت به مناطق پرمخاطره و مستعد سیلاب ایفا کند. بر این اساس، هدف از انجام این تحقیق تعیین پهنه‌های سیل‌گیر با استفاده از مدل HAND در محدوده رودخانه کشکان است.

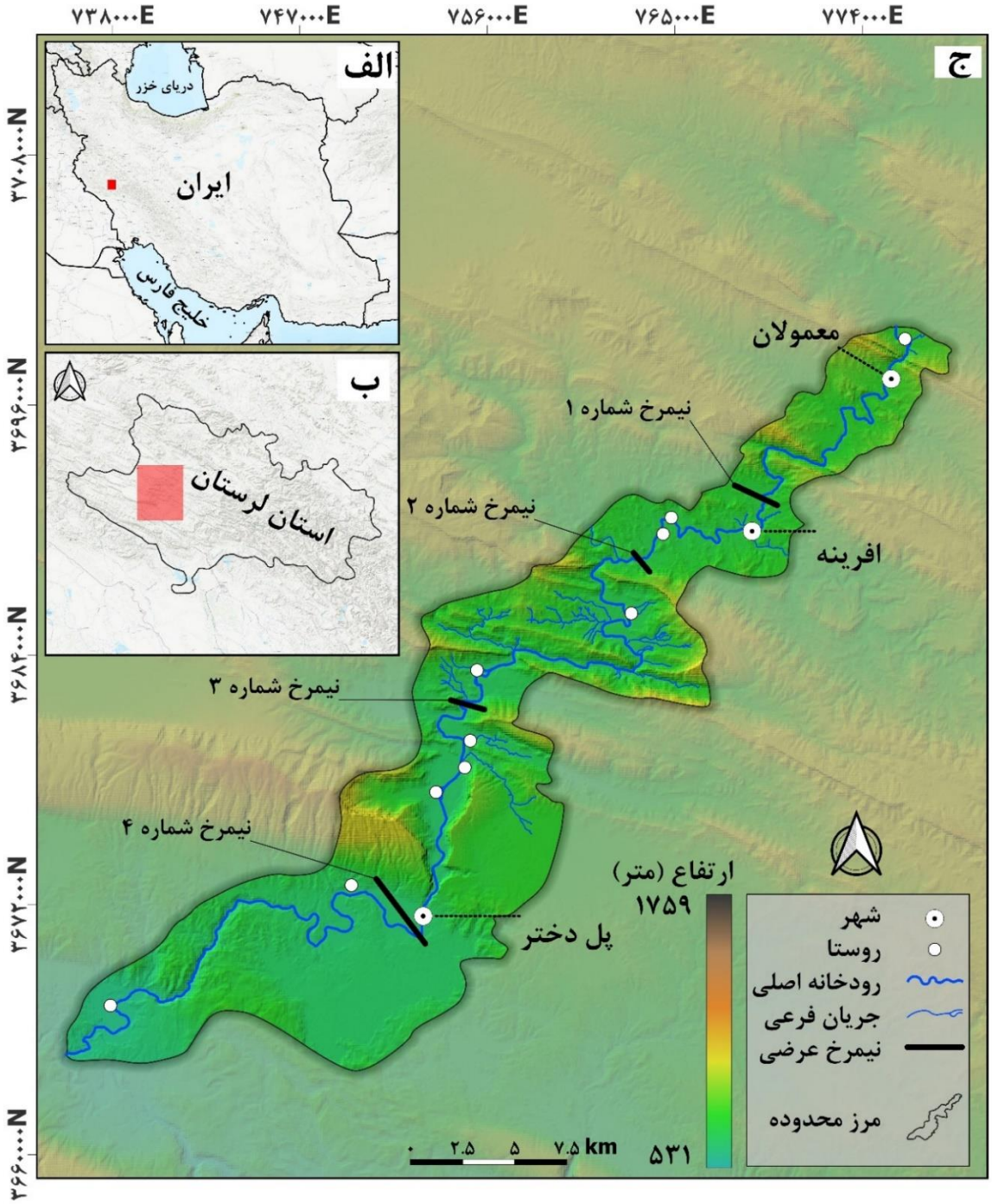
۲ـ منطقهٔ مورد مطالعه

رودخانه کشکان به عنوان یکی از رودخانه‌های مهم غرب کشور، وظیفه زهکشی بخش عمده‌ای از مناطق کوهستانی استان لرستان را بر عهده دارد. این رودخانه یکی از پر آب‌ترین شعبه‌های رودخانه کرخه به حساب می‌آید. همچنین با ثبت ۱۶ سیلاب با دبی بزرگتر از ۱۰۰۰ مترمکعب بر ثانیه، رودخانه کشکان به عنوان سیل‌خیزترین رودخانه استان لرستان نیز به شمار می‌رود (Geravand et al., 2021). در این تحقیق بخشی از رودخانه کشکان از حدود شهرستان

[1] Federal Emergency Management Agency
[2] Artificial Neural Network
[3] Baro Akobo
[4] Convolutional Neural Network

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.1]

معمولان تا بعد از شهرستان پلدختر مورد بررسی قرار گرفت. بازه مورد مطالعه هرساله در اثر وقوع سیلاب‌های شدید دچار خسارت مالی و جانی می شود. محدوده جغرافیایی منطقه مورد مطالعه بین طول‌های "۴۷°۳۱'۱۲ تا "۴۸°۰۰'۰۰ شرقی و عرض‌های "۳۳°۰۶'۰۰ تا "۳۳°۲۴'۰۰ شمالی قرار دارد. به طور کلی بازه مورد مطالعه حدود ۱۰۰ کیلومتر از مسیر رودخانه کشکان را شامل می‌شود. براساس مدل رقومی ارتفاعی، حداکثر ارتفاع در بازه مورد بررسی ۱۷۵۹ متر و حداقل ارتفاع ۵۳۱ متر است (شکل ۱). علاوه بر سه شهر معمولان، افرینه و پلدختر، ۳۱ روستا در محدوده مورد بررسی قرار دارند. میانگین بارندگی سالانه در محدوده مطالعاتی، بین ۴۵۰ تا ۶۵۰ میلیمتر برآورد شده است (Hosseini et al., 2015). براساس طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه، حوضه آبریز رودخانه کشکان در اقلیم نیمه مرطوب سرد قرار دارد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و موقعیت نیمرخ‌های عرضی در مسیر رودخانه کشکان

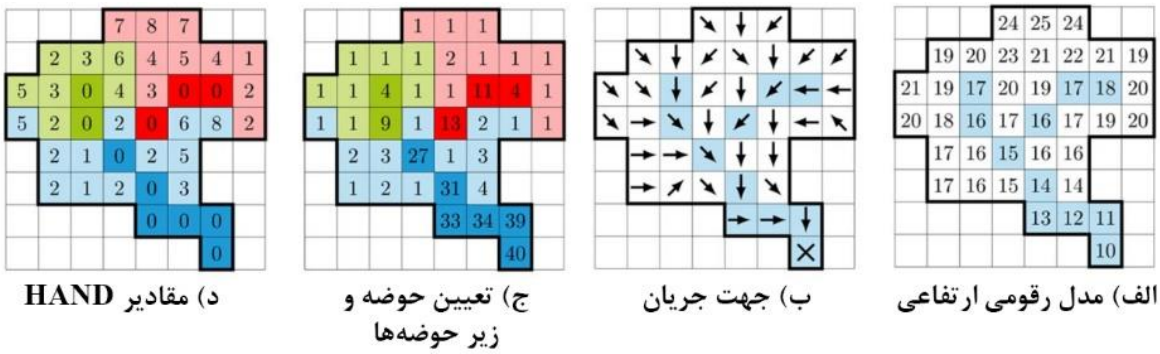
[DOI: 10.61186/jeer.14.1.1]

۳ـ مواد و روش

برای تعیین مناطق مستعد سیلاب در محدوده مورد مطالعه از مدل رقومی ارتفاعی با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر به عنوان داده ورودی استفاده شد. مطالعات نشان دادند که مدل رقومی ارتفاعی با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر از دقت و کارایی کافی برای تهیه نقشه مناطق مستعد سیلاب با مدل HAND برخوردار است (Li et al., 2020). همچنین از مدل رقومی ارتفاعی برای تهیه نیمرخ‌های عرضی استفاده شد. به منظور صحت‌سنجی نتایج مدل HAND، از تصاویر راداری ماهواره سنتینل-۱ مربوط به سیلاب فروردین ماه ۱۳۹۸ استفاده شد. به طور کلی ابزارهای استفاده شده در این تحقیق شامل نرم‌افزار QGIS به منظور پردازش مدل رقومی ارتفاعی و تهیه مدل HAND، نرم‌افزارهای QGIS و اکسل برای تهیه نیمرخ‌های عرضی (شکل ۱)، نرم‌افزار SNAP[1] به منظور پیش‌پردازش و پردازش تصاویر راداری و نرم‌افزار متلب برای اعمال روش آستانه‌گذاری OTSU، می‌شود. در مجموع، پس از تهیه نقشه مناطق مستعد سیلاب با مدل HAND و همچنین نقشه مناطق سیل‌زده با تصاویر راداری ماهواره سنتینل-۱، که منعکس کننده نحوه گسترش سیلاب در شرایط واقعی است، دلیل سیل‌گیری پهنه‌های مختلف رودخانه کشکان مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

۳ـ۱ـ مدل HAND

مدل HAND اولین بار توسط Rennó و همکاران (۲۰۰۸) ارائه شد. این مدل با بهره‌گیری از مدل رقومی ارتفاعی، ارتفاع هر نقطه از سطح زمین که بالاتر از سلول مربوط به نزدیک‌ترین آبراهه است را تعیین می‌کند (شکل ۲). با توجه به توانایی این مدل، محققان از مدل HAND برای تعیین پتانسیل آب در خاک (Nobre et al., 2011)، پتانسیل‌سنجی آب‌های زیرزمینی (Rahmati et al., 2018) و تعیین مناطق مستعد سیلاب (Nobre et al., 2016) استفاده کرده‌اند.

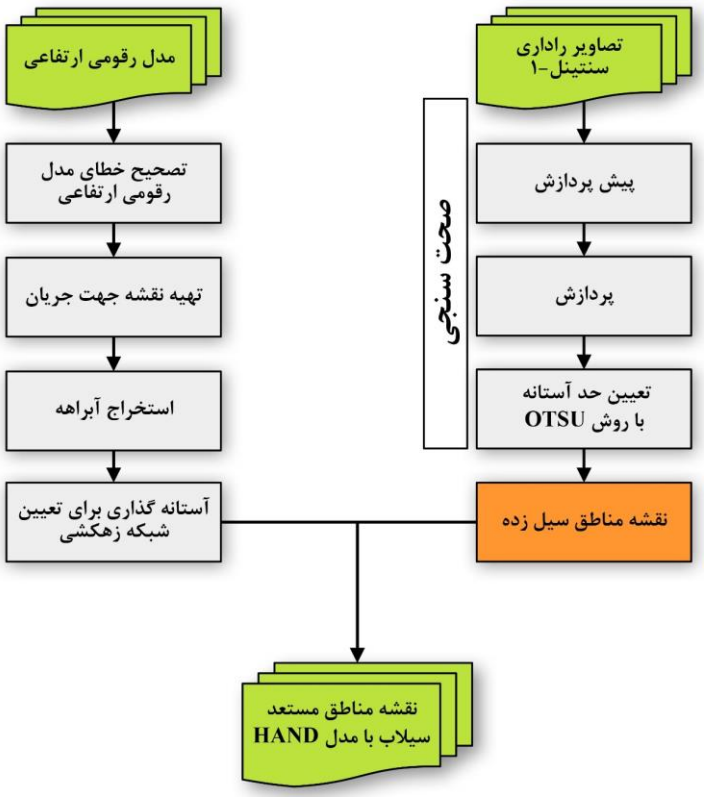


شکل ۲: نحوه عملکرد مدل HAND در تعیین مناطق مستعد سیلاب (برگرفته شده از Rebolho و همکاران (۲۰۱۸))

در مدل HAND، فاصله عمودی بین یک سلول در داده توپوگرافی (در مورد این تحقیق مدل رقومی ارتفاعی) و نزدیکترین سلول در مسیر نزدیکترین آبراهه به عنوان مقدار HAND در نظر گرفته می‌شود (Afshari et al., 2018; Li et al., 2020). در نهایت تمامی سلول‌هایی که مقادیر کوچکتری از حد آستانه (سطح آب) دارند به عنوان پهنه سیل‌گیر شناخته می‌شوند. از آنجایی که مدل HAND روشی تصویر محور[2] است، برخلاف روش‌های دیگر مانند روش HEC-RAS، به تهیه مقاطع عرضی برای تعیین پهنه‌های سیل‌گیر نیازی ندارد. شکل ۳ نمودار مراحل تهیه نقشه مناطق مستعد سیلاب مبتنی بر مدل HAND در این تحقیق را نمایش می‌دهد.

[1] Sentinel Application Platform
[2] Raster

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.1]



شکل ۳: نمودار مراحل تهیه نقشه مناطق سیلاب مبتنی بر مدل HAND و مراحل تهیه نقشه صحت‌سنجی

۳ـ۲ـ صحت سنجی نقشه مناطق مستعد سیلاب

محققان برای صحت‌سنجی نقشه‌های مناطق سیل‌زده از تصاویر راداری و شاخص‌های مبتنی بر تصاویر اپتیکال مانند شاخص NDWI استفاده می‌کنند. با این حال تصاویر راداری با توجه به مزایایی همچون قابلیت تصویر برداری شبانه‌روزی، قابلیت عبور از ابر، عدم تأثیرپذیری از شرایط بد جوی و موارد دیگر، بیشتر از تصاویر اپتیکال مورد استفاده محققان قرار می‌گیرند. در این تحقیق به منظور صحت‌سنجی نقشه مناطق مستعد سیلاب مبتنی بر مدل HAND، از تصاویر راداری ماهواره سنتینل-۱ استفاده شد. بنابراین پس از برگرفتن تصاویر راداری مربوط به روزهای پنجم، یازدهم و سیزدهم فروردین ۱۳۹۸ از پایگاه Copernicus Open Access Hub، مراحل پیش‌پردازش و پردازش و اعمال آستانه‌گذاری با روش OTSU بر روی تصاویر صورت گرفت. درنهایت نقشه مناطق سیل‌زده به منظور مقایسه و صحت‌سنجی مدل HAND تهیه شد.

۴- یافته‌ها

براساس نتایج مدل HAND (جدول ۱)، ۵۴/۴۹ کیلومتر مربع از محدوده مورد مطالعه در طبقه بسیار پرمخاطره، به لحاظ سیل‌گیری (یا غرق‌شدگی[1])، قرار دارد. همچنین ۳۱/۷۸ کیلومتر مربع از اراضی اطراف رودخانه کشکان در طبقه پرمخاطره قرار گرفته‌اند. مناطق کم‌مخاطره و دارای خطر متوسط به ترتیب ۲۶/۴۵ و ۲۷/۰۵ کیلومتر مربع از مساحت منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده‌اند. در مجموع و با توجه به نتایج مدل HAND، ۳۰/۱۳ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه، با درجات مختلف، متأثر از وقوع سیلاب خواهد شد و ۶۰/۸۷ درصد از مساحت منطقه، از خطر

[1] Inundation

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.1]

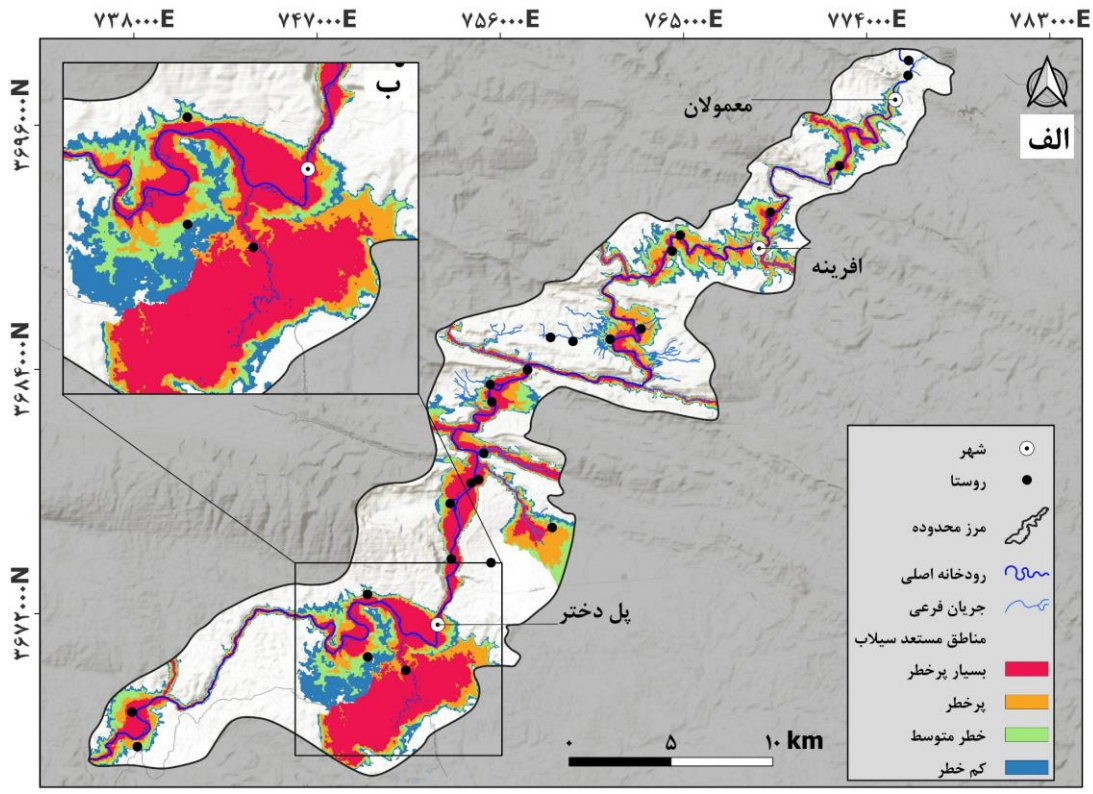
غرق‌شدگی در امان خواهد بود. باید توجه داشت عدد ۶۰/۸۷ درصد بیانگر مناطقی است که مقادیر آنها فراتر از حد آستانه در طبقه‌بندی مناطق مستعد سیلاب بوده است. به عبارتی در زمان وقوع سیلاب، این مناطق دچار غرق‌شدگی نخواهند شد. همچنین باید توجه داشت که بخش قابل توجهی از مساحت مذکور شامل مناطق مرتفع و پرشیب می‌شود.

جدول ۱: مساحت طبقات مستعد سیلاب در مدل HAND

طبقه	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت	تعداد پیکسل
بسیار پرمخاطره	۵۴/۴۹	۱۵/۲۰	۶۴۸۳۶
پرمخاطره	۳۱/۷۸	۸/۹۲	۳۷۸۱۱
خطر متوسط	۲۷/۰۵	۷/۵۹	۳۲۱۸۶
کم‌مخاطره	۲۶/۴۵	۷/۴۲	۳۱۴۷۱
مجموع	۱۳۹/۷۷	۳۹/۱۳	مجموع مساحت منطقه مورد مطالعه: ۳۵۶/۲۴ کیلومتر مربع

نقشه مناطق مستعد سیلاب با مدل HAND (شکل ۴) نشان می‌دهد که بخش مهمی از اراضی مجاور رودخانه کشکان در طبقه بسیار پرمخاطره و پرمخاطره قرار دارند. همچنین شکل ۴ حاکی از آن است که تقریباً تمام نقاط شهری و روستایی در محدوده مورد مطالعه در طبقات بسیار پرمخاطره و پرمخاطره قرار دارند. با توجه به شکل ۴، در محل مئاندرها، معمولاً سواحل داخلی (محدب) مساحت بیشتری از طبقات بسیار پرمخاطره و پرمخاطره را در مقایسه با ساحل بیرونی (مقعر) به خود اختصاص می‌دهد. این در حالی است که در رودخلنه‌های مئلندری، به دلیل وجود جریان پرسرعت و قدرتمند در ساحل بیرونی، در مقایسه با ساحل داخلی، سواحل بیرونی بیشتر مستعد سیلاب و غرق‌شدگی هستند (Willetts & Hardwick, 1993). بر این اساس، دو نیمرخ عرضی در محل مئاندرهایی با مناطق بسیار پرمخاطره در ساحل بیرونی و همچنین دو نیمرخ عرضی در محل مئاندرهایی با مناطق بسیار پرمخاطره در ساحل داخلی تهیه شد تا دلیل این اختلاف مورد بررسی دقیق قرار بگیرد.

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.1]



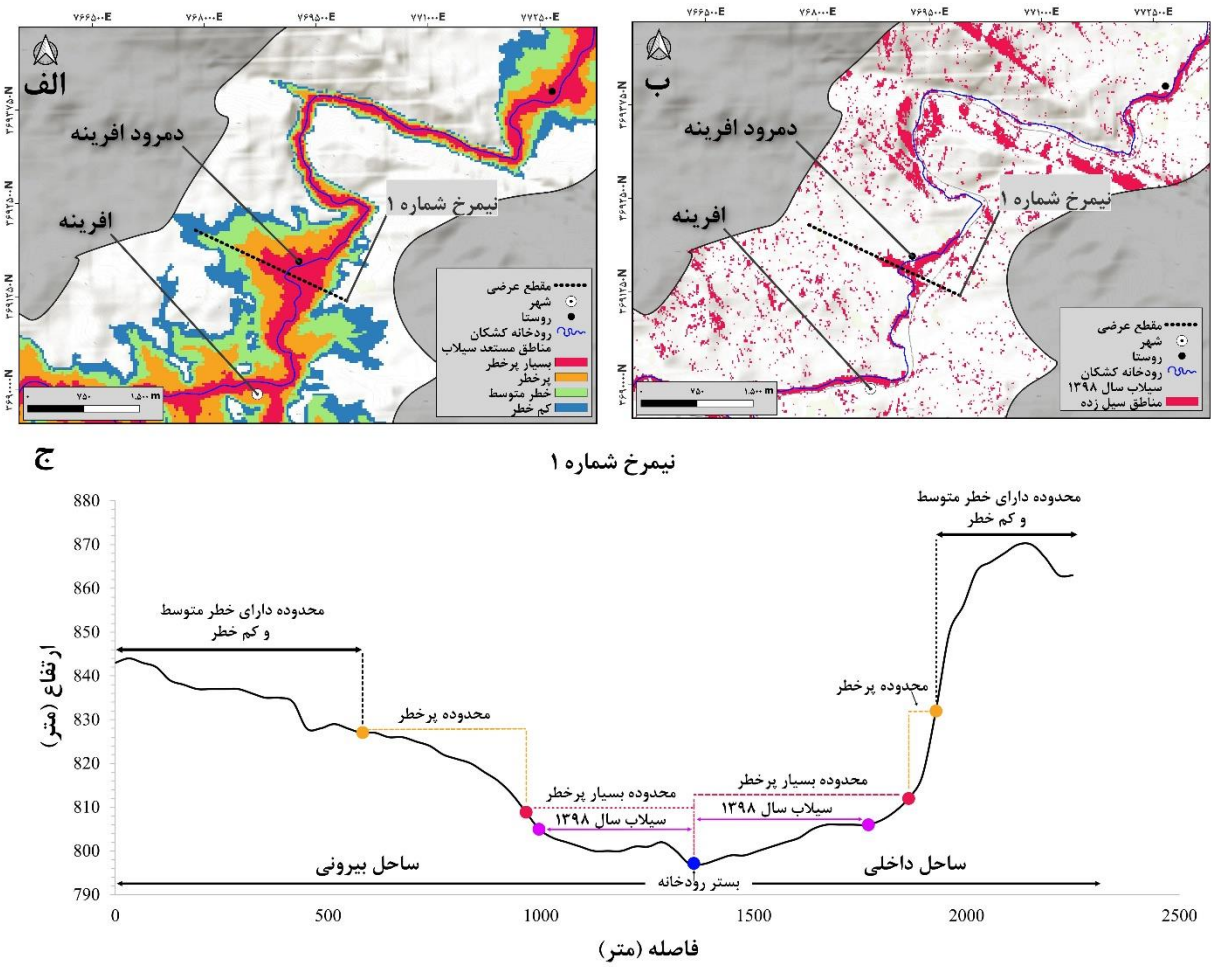
شکل ۴: الف) مناطق مستعد سیلاب بر اساس مدل HAND، ب) نمای بزرگ شده از مناطق مستعد سیلاب در محدوده شهر پلدختر و اراضی اطراف آن

مقایسه شکل ۵الف و ۵ب نشان می‌دهد که مدل HAND، به درستی مناطق بسیار پرمخاطره و پرمخاطره را شناسایی کرده است؛ به طوری که مناطق سیل‌زده در سیلاب سال ۱۳۹۸، در نقشه مدل HAND نیز در کلاس‌های بسیار پرمخاطره و پرمخاطره قرار دارند. همچنین شکل ۵ب حاکی از آن است که در سیلاب سال ۱۳۹۸ بخش بیرونی مئاندر (در محل نیمرخ عرضی) و قسمتی از ساحل داخلی آن دچار سیل شده‌اند. نتایج مدل HAND نیز مناطق مذکور را جزو طبقه بسیار پرمخاطره قرار داده است. بنابراین نتایج مدل با نتایج تصاویر راداری که منعکس کننده شرایط واقعی است هماهنگی دارند.

نیمرخ عرضی شماره یک (شکل ۵ج) نحوه گسترش جریان سیلاب در فروردین ماه سال ۱۳۹۸، و همچنین محدوده و حد انتهایی طبقات مناطق مستعد سیلاب در مدل HAND را نمایش می‌دهد. با توجه به شکل ۵ج، حد انتهایی طبقه بسیار پرمخاطره (در هر دو بخش داخلی و بیرونی مئاندر) بالاتر از حد گسترش سیلاب سال ۱۳۹۸ قرار دارد. بنابراین در صورت بروز سیلاب‌های قدرتمند احتمالی، محدوده مشخص شده به عنوان منطقه بسیار پرمخاطره، جزو مناطق سیل‌زده قرار خواهند داشت. همچنین شکل ۵ج بیانگر رابطه توپوگرافی و نحوه گسترش سیلاب در محل مئاندرها است. توپوگرافی و شیب ملایم در ساحل داخلی باعث شده است تا جریان سیلابی به راحتی در این بخش گسترش یابد. این درحالی است که در ساحل بیرونی، شیب تند اولیه باعث می‌شود تا جریان‌هایی با قدرت و ارتفاع کم قادر به عبور از توپوگرافی تندِ اولیه نشوند و بنابراین مساحت کمتری در بخش بیرونی دچار غرقشدگی می‌شود. با این حال چنانچه ارتفاع جریان سیلابی از دامنه تند قسمت بیرونی عبور کند (همانطور که در شکل ۵ج نمایش داده شده است)، بخش گسترده‌ای از قسمت بیرونی مئاندر دچار غرقشدگی خواهد شد. در مرحله بعد، شیب بسیار تند در محدوده بین منطقه بسیار پرمخاطره و پرمخاطره در قسمت داخلی، باعث شده است تا مساحت بسیار کمی از این بخش در طبقه پرمخاطره

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.1]

قرار بگیرد. این در حالی است که شیب ملایم‌تر در ساحل بیرونی باعث می‌شود که مساحت بیشتری از بخش بیرونی مئاندر در طبقه پرمخاطره قرار داشته باشد.

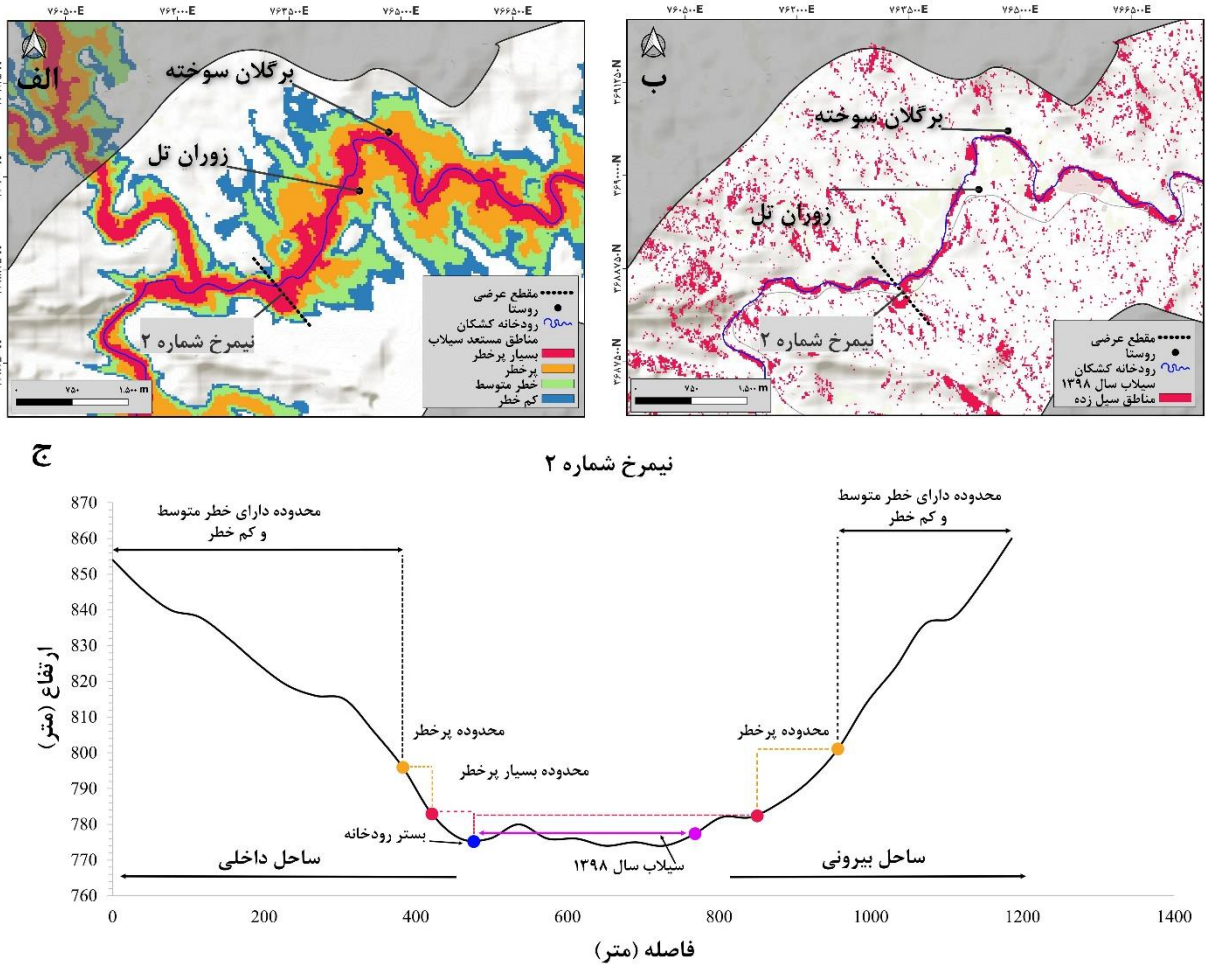


شکل ۱: الف) نمای بزرگ شده نقشه مناطق مستعد سیلاب با مدل HAND، ب) نمای بزرگ شده مناطق سیل‌زده با استفاده از تصاویر راداری، ج) نیمرخ عرضی شماره یک

در شکل ۶ بخش بیرونی مئاندر در سیلاب سال ۱۳۹۸ جزو مناطق سیل‌زده قرار داشته است، درحالی که در بخش داخلی مئاندر، مناطق سیل‌زده دیده نمی‌شوند. مدل HAND نیز نتایج مشابهی را ارائه داده است، به طوری که بخش بیرونی مئاندر محدوده بزرگتری از طبقه بسیار پرمخاطره را در مقایسه با بخش داخلی، به خود اختصاص داده است. تجزیه و تحلیل نیمرخ شماره دو (شکل ۶ج) حاکی از آن است که در سیلاب سال ۱۳۹۸، بخش قابل توجهی از ساحل بیرونی مئاندر جزو مناطق سیل‌زده بوده است؛ در حالی که در بخش داخلی، مناطق سیل‌زده یا وجود نداشته‌اند یا بسیار ناچیز بوده‌اند. همچنین شکل ۶ج نشان می‌دهد که ارتفاع جریان در محل نیمرخ شماره دو، در سیلاب سال ۱۳۹۸، حدود ۸ متر بالاتر از بستر رودخانه بوده است. همین موضوع باعث شده است تا جریان سیلابی از شیب اولیه در ساحل بیرونی عبور کند و محدوده بیرونی مئلندر را دچار غرق‌شدگی کند. طبق نتایج مدل HAND، در محل نیمرخ شماره دو، محدوده بسیار پرمخاطره در سمت بیرونی مئاندر، مساحت بسیار بیشتری در مقایسه با بخش داخلی را به خود اختصاص داده است. همچنین محدوده طبقه پرمخاطره در بخش بیرونی بیشتر از بخش داخلی است. این موضوع در ارتباط با

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.1]

محدودیت توپوگرافیکی در بخش‌های داخلی و بیرونی مئاندر می‌باشد. به طور کلی شکل ۶ نشان‌دهنده همخوانی نتایج مدل HAND با شرایط واقعی است.

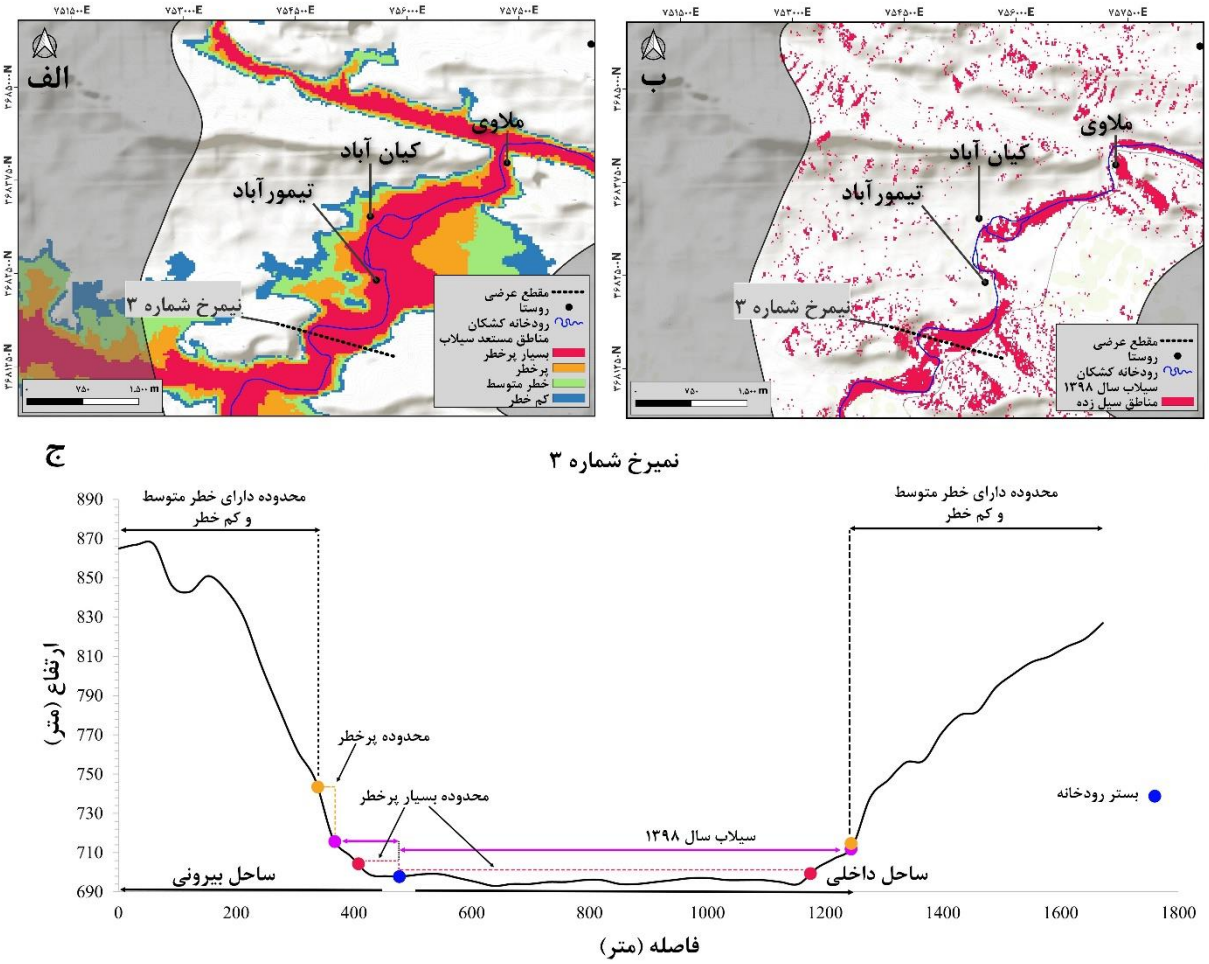


شکل ۶: الف) نمای بزرگ شده نقشه مناطق مستعد سیلاب با مدل HAND، ب) نمای بزرگ شده مناطق سیل‌زده با استفاده از تصاویر راداری، ج) نیمرخ عرضی شماره دو

شکل ۷ نشان‌دهنده مناطق مستعد سیلاب در بخش داخلی مئاندر در مقایسه با بخش بیرونی آن است. همانطور که پیش‌تر اشاره شد، در رودخانه‌های مئاندری، بخش‌های بیرونی به دلیل وجود جریان قدرتمند و پرسرعت، بیشتر از بخش داخلی مستعد سیل‌زدگی یا غرق‌شدگی هستند. با این حال بر اساس نتایج مدل HAND و همچنین نقشه مناطق سیل‌زده با تصاویر راداری، در محل مئاندر شماره سه، بخش داخلی مئاندر دچار سیل شده و در مدل HAND نیز در طبقه بسیار پرمخاطره و پرمخاطره قرار دارد. باید توجه داشت که قسمت غربی مئاندر در شکل ۷ب جزو مناطق سیل‌زده شناخته شده است. در نتایج مدل HAND (شکل ۷الف) نیز این مناطق در طبقه بسیار پرمخاطره قرار دارند. بررسی نیمرخ شماره سه حاکی از آن است که محدوده گسترده‌ای از بخش داخلی مئاندر (شکل ۷ج) در محدوده بسیار پرمخاطره قرار دارد. با این حال، در محل این مئاندر، بخش مهمی از محدوده پرمخاطره در ساحل داخلی، تحت تأثیر سیلاب به زیر آب رفته و تا حدود مرز انتهایی این طبقه گسترش یافته است. این در حالی است که در ساحل بیرونی، جریان سیلابی کمی بالاتر محدوده بسیار پرمخاطره را دچار سیلاب کرده است (به عبارتی حدود یک سوم محدوده پرمخاطره دچار سیل

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.1]

شده است). بنابراین به دلیل عدم وجود محدودیت توپوگرافیکی در بخش داخلی و از طرفی محدودیت در بخش بیرونی، جریان سیلابی در قسمت داخلی مئاندر گسترش یافته و در نتیجه از ارتفاع جریان کاسته است. به همین دلیل جریان قادر نبوده است تا حد انتهایی طبقه پرمخاطره در ساحل بیرونی گسترش یابد. محدودیت توپوگرافیکی بخش بیرونی مئاندر در نیمرخ شماره سه مشهود است.

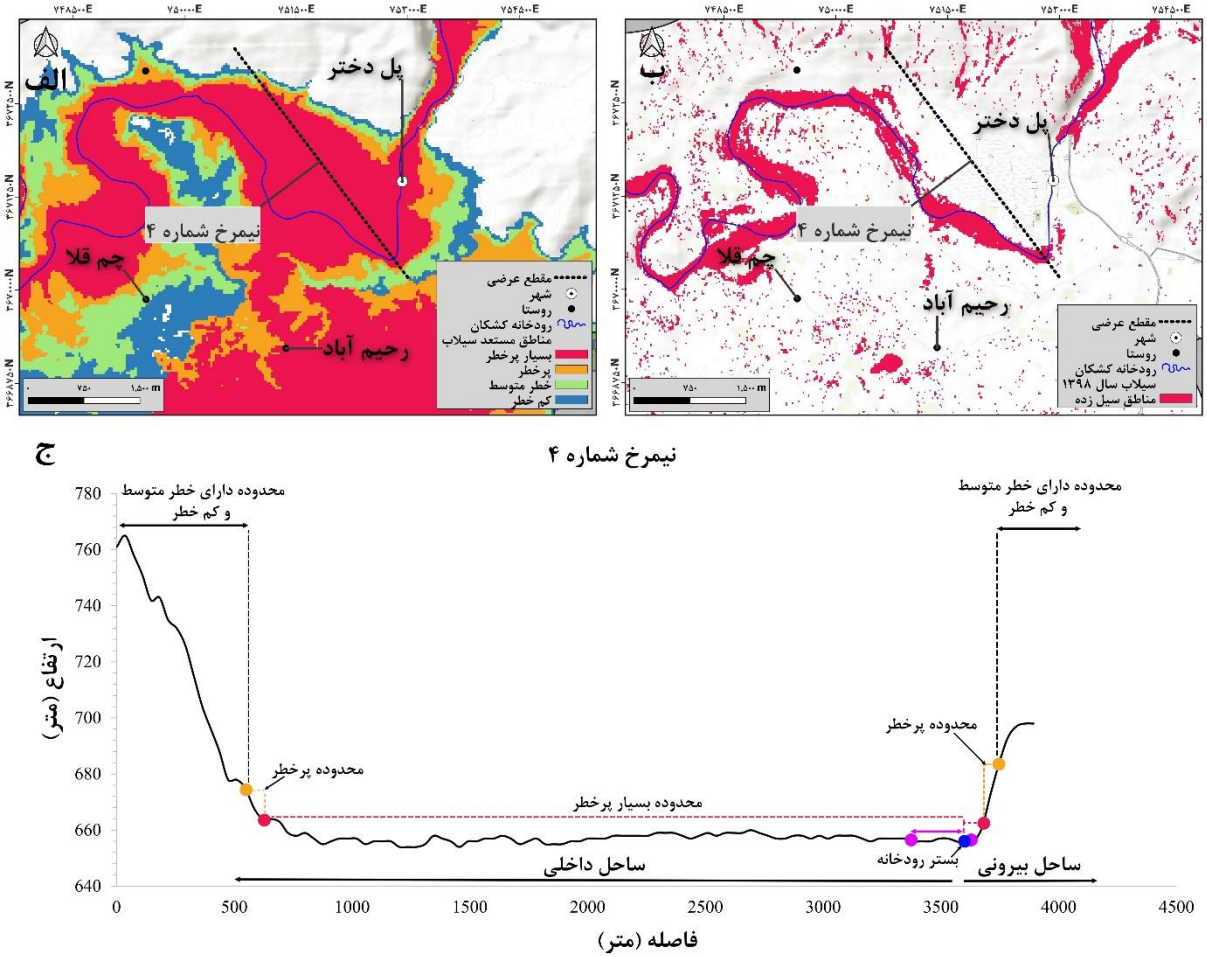


شکل ۷: الف) نمای بزرگ شده نقشه مناطق مستعد سیلاب با مدل HAND، ب) نمای بزرگ شده مناطق سیل‌زده با استفاده از تصاویر راداری، ج) نیمرخ عرضی شماره سه

متأسفانه در جریان سیلاب فروردین سال ۱۳۹۸ در رودخانه کشکان، شهرستان پلدختر دچار خسارات سهمگین شد. شکل ۸ب نشان‌دهنده بخشی از مناطق سیل‌زده در اطراف رودخانه کشکان در حوالی شهرستان پلدختر است. برخلاف مدل HAND که به خوبی توانسته است مناطق بسیار پرمخاطره در محدوده شهر پلدختر را تعیین کند، نقشه مناطق سیل‌زده که توسط تصاویر راداری تهیه شده است قادر به تعیین مناطق سیل‌زده در بخش شهری نبوده است. این موضوع می‌تواند ناشی از عوامل مختلف از جمله زمان تصویربرداری، بازپراکنش تصاویر راداری در مناطق شهری و... باشد. با توجه به شکل ۸الف، تقریباً تمام محدوده شهر پلدختر در طبقه بسیار پرمخاطره قرار دارد. نیمرخ شماره چهار نشان می‌دهد که بخش داخلی مئاندر، که به لحاظ توپوگرافی تقریباً هموار است، در طبقه بسیار پرمخاطره قرار دارد. این در

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.1]

حالی است که در ساحل بیرونی، به دلیل وجود توپوگرافی پرشیب، محدوده‌های بسیار پرمخاطره و پرمخاطره مساحت ناچیزی را به خود اختصاص داده‌اند.



شکل ۲: الف) نمای بزرگ شده نقشه مناطق مستعد سیلاب با مدل HAND، ب) نمای بزرگ شده مناطق سیل‌زده با استفاده از تصاویر راداری، ج) نیمرخ عرضی شماره چهار

۵ـ بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق از مدل HAND به منظور تعیین مناطق مستعد سیلاب در محدوده رودخانه کشکان استفاده شد. همچنین از تصاویر راداری ماهواره سنتینل-۱ برای صحت‌سنجی نتایج مدل HAND استفاده شد. نتایج نشان داد که تقریباً تمام مناطق شهری و روستایی در اطراف رودخانه کشکان در طبقات بسیار پرمخاطره و پرمخاطره قرار دارند. همچنین مشخص شد که حدود ۳۹ درصد از اراضی اطراف رودخانه کشکان با درجات مختلف تحت تأثیر سیلاب قرار خواهند گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که نقشه مناطق مستعد سیلاب تهیه شده با مدل HAND همخوانی بسیار خوبی با نقشه‌های مناطق سیل‌زده مستخرج از پردازش تصاویر راداری دارد. این موضوع حاکی از دقت این مدل در تعیین پهنه‌های مستعد سیلاب است. تجزیه و تحلیل نیمرخ‌های عرضی در محل مئاندرها نشان داد که توپوگرافی عامل تعیین کننده در سیل‌خیزی بخش‌های بیرونی یا داخلی رودخانه‌های مئاندری در مناطق کوهستانی می‌باشد. این موضوع با نتایج Ghahraman و Zanganeh Asadi (۲۰۲۲) و Mohamad Nejhad (۲۰۲۱) همخوانی دارد. چنانچه رودخانه مئاندری در

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.1]

دشت سیلابی بدون محدودیت توپوگرافیکی جریان داشته باشد، بخش بیرونی مئاندر به دلیل وجود جریان قدرتمند و پرسرعت در این قسمت، نسبت به بخش داخلی بیشتر مستعد سیلاب است. با این حال نتایج این تحقیق نشان داد که در مناطق کوهستانی، مناطق مستعد سیلاب در محل مئاندرها تا حد بسیار زیادی تحت تأثیر محدودیت یا عدم محدودیت توپوگرافیکی در اطراف مئلندر است.به طوری که چنانچه بخش بیرونی دارای محدودیت و بخش داخلی دارای عدم محدودیت توپوگرافیکی باشند، بخش داخلی بیشتر از بخش بیرونی مستعد سیل‌خیزی خواهد بود.

به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که مدل HAND به عنوان یک ابزار ساده، از دقت بسیار بالایی در تعیین مناطق مستعد سیلاب برخوردار است. این موضوع با نتایج تحقیقات متعددی همچون Zhang و همکاران (۲۰۱۸)، Afshari و همکاران (۲۰۱۸)، Hu و Demir (۲۰۲۱) همخوانی دارد.

منابع

1. Afshari, S., Tavakoly, A. A., Rajib, M. A., Zheng, X., Follum, M. L., Omranian, E., & Fekete, B. M. (2018). Comparison of new generation low-complexity flood inundation mapping tools with a hydrodynamic model. Journal of Hydrology, 556, 539-556. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.11.036
2. Ashtari, N., Goorabi, A., Rahmati, M., & Darban Astaneh, A. (2022). Evaluation of Flood Hazard Potential and Investigation of Damage Caused by it in Talar Drainage Watershed. Environmental Erosion Research, 12(4), 1-25. http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-708-en.html (in Persian)
3. Dastoorani, M., Hayatzadeh, M., Fathzadeh, A., & Hakimzadeh, M. (2014). Review the Efficiency of Empirical Relations on Estimating the Peak Flow Rate of Flood in Arid Areas of Central Iran. Geography and Development, 12(36), 145-160. https://doi.org/10.22111/gdij.2014.1715 (in Persian)
4. Ezzine, A., Saidi, S., Hermassi, T., Kammessi, I., Darragi, F., & Rajhi, H. (2020). Flood mapping using hydraulic modeling and Sentinel-1 image: Case study of Medjerda Basin, northern Tunisia. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 23(3), 303-310. https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2020.03.001
5. Geravand, F., Mohamadkhan, S., Hosseini, S. M., & Pirani, P. (2021). Evaluating of Land Use Changes on Hydrological Characteristics of Basins and River Flood Plains (Case Study: Kashkan Basin in Lorestan Province). Iranian Water Research Journal, 15(2), 87-98. https://iwrj.sku.ac.ir/article_10770.html?lang=en (in Persian)
6. Ghahraman, K., & Zanganeh Asadi, M. (2022). Determination of flood-prone areas using Sentinel-1 Radar images (Case study: Flood on March 2019, Kashkan River, Lorestan Province) [Applicable]. Journal title, 9(3), 103-118. http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-3276-en.html (in Persian)
7. Hosseini, Jafarbeiglu, M., Yamani, M., & Geravan, F. (2015). Prediction of historical floods of Kashkan river using HEC-HMS hydrological model. Quantitative Geomorphology Research, 4(1), 118-133. https://dorl.net/dor/20.1001.1.22519424.1394.4.1.9.2 (in Persian)
8. Hosseini, S., JafarBeiglu, M., & Geravand, F. (2015). Modeling of Hydraulic Behavior of Kashkan River and Determination of Floodplain Limits Using HEC-Geo-RAS. Environmental Hazards Management, 2(3), 355-369. https://doi.org/10.22059/jhsci.2015.58102 (in Persian)
9. Hu, A., & Demir, I. (2021). Real-time flood mapping on client-side web systems using hand model. Hydrology, 8(2), 65. https://doi.org/10.3390/hydrology8020065

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.1]

10. Khosravi, K., Panahi, M., Golkarian, A., Keesstra, S. D., Saco, P. M., Bui, D. T., & Lee, S. (2020). Convolutional neural network approach for spatial prediction of flood hazard at national scale of Iran. Journal of Hydrology, 591, 125552. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125552
11. Li, Z., Mount, J., & Demir, I. (2020). Evaluation of model parameters of HAND model for real-time flood inundation mapping: Iowa case study. Hydrological Science Journal. EarthArXiv. July, 1. https://doi.org/10.31223/osf.io/hqpzg
12. Mehdinasab, M. (2019). Analysis of the flooding events on Kashkan river in March 2019. Environment and Interdisciplinary Development, 5(67), 17-30. https://doi.org/10.22034/envj.2020.181143 (in Persian)
13. Mohamad Nejhad, V. (2021). Flood extent area mapping using sentinel 1 SAR image (a case study: the flood of Poledokhtar, march 1398). Geographical Planning of Space, 11(41), 69-80. https://doi.org/10.30488/gps.2020.226387.3224 (in Persian)
14. Negaresh, H., Azhdareimogadam, M., & Aramesh, M. (2013). The Usage of Artificial Neural Network in Simulation and Prediction of Flood at Sarbaz Drainage Basin. Geography and Development, 11(31), 15-28. https://doi.org/10.22111/gdij.2013.791 (in Persian)
15. Nobre, A. D., Cuartas, L. A., Hodnett, M., Rennó, C. D., Rodrigues, G., Silveira, A., & Saleska, S. (2011). Height Above the Nearest Drainage–a hydrologically relevant new terrain model. Journal of Hydrology, 404(1-2), 13-29. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.03.051
16. Nobre, A. D., Cuartas, L. A., Momo, M. R., Severo, D. L., Pinheiro, A., & Nobre, C. A. (2016). HAND contour: a new proxy predictor of inundation extent. Hydrological Processes, 30(2), 320-333. https://doi.org/10.1002/hyp.1058
17. Rahmati, O., Kornejady, A., Samadi, M., Nobre, A. D., & Melesse, A. M. (2018). Development of an automated GIS tool for reproducing the HAND terrain model. Environmental modelling & software, 102, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.01.004
18. Rebolho, C., Andréassian, V., & Le Moine, N. (2018). Inundation mapping based on reach-scale effective geometry. Hydrology and Earth System Sciences, 22(11), 5967-5985. https://doi.org/10.5194/hess-22-5967-2018
19. Rennó, C. D., Nobre, A. D., Cuartas, L. A., Soares, J. V., Hodnett, M. G., & Tomasella, J. (2008). HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. Remote Sensing of Environment, 112(9), 3469-3481. https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.03.018
20. Saghafi, M., & RezaeiMoghadam, M. H. (2012). Evaluation of geomorphology method application for flood Hazards risk classification using Fuzzy Logic (Case study: Ojan Chay drainage basin) [Research]. Environmental Erosion Research, 2(1), 13-28. http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-84-en.html (in Persian)
21. Tamiru, H., & Dinka, M. O. (2021). Application of ANN and HEC-RAS model for flood inundation mapping in lower Baro Akobo River Basin, Ethiopia. Journal of Hydrology: Regional Studies, 36, 100855. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100855
22. Willetts, B., & Hardwick, R. (1993). Stage dependency for overbank flow in meandering channels. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Maritime and Energy, 101(1), 45-54 .
23. Yamani, M., Toorani, M., & Chezghe, S. (2012). Determination of the Flooding Zones by using HEC-RAS Model (Case Study: Upstream the Taleghan Dam). Journal of Geography and Environmental Hazards, 1(1), 1-16. https://doi.org/https://doi.org/10.22067/geo.v1i1.16519 (in Persian)

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.1]

24. Yousefi, H., Yonesi, H. a., Davoudimoghadam, D., Arshia, A., & Shamsi, Z. (2022). Determination of Flood potential Using CART, GLM and GAM Machine learning Models. Irrigation and Water Engineering, 12(4), 84-105. https://doi.org/https://doi.org/10.22125/iwe.2022.150684 (in Persian)
25. Zhang, J., Huang, Y. F., Munasinghe, D., Fang, Z., Tsang, Y. P., & Cohen, S. (2018). Comparative analysis of inundation mapping approaches for the 2016 flood in the Brazos River, Texas. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 54(4), 820-833. https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1752-1688.12623
26. Zheng, X., Maidment, D. R., Tarboton, D. G., Liu, Y. Y., & Passalacqua, P. (2018). GeoFlood: Large-Scale Flood Inundation Mapping Based on High-Resolution Terrain Analysis. Water Resources Research, 54(12), 10,013-010,033. https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2018WR023457

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.1]