Incidents and Disasters Resilience

Homepage: https://disaster.ndri.ac.ir/

Preparation and assessment of flood risk with a focus on vulnerability component using land-cover data

Arman Ebrahimi[1], **Hamid Ebadi**[2], and **Abbas Kiani**[3]✉

1. M.Sc. Student, Department of Photogrammetry and Remote Sensing, Faculty of Surveying Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran. Email: arman.ebrahimi66@gmail.com
2. Professor, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K.N Toosi University of Technology, Tehran, Iran. Email: ebadi@kntu.ac.ir
3. Corresponding Author, Assistant professor, Faculty of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran. Email: a.kiani@nit.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 24 May 2025
Received in revised form 6 October 2025
Accepted 19 November 2025
Available online 30 December 2025

Keywords:
Hazard,
Vulnerability,
Flood Risk,
Remote Sensing,
Crisis Management.

ABSTRACT

Objective: The objective of this research is to create a flood risk map in two regions: Chabahar in Sistan and Baluchestan and Aqqala in Golestan. Floods, as one of the most destructive disasters worldwide and in Iran, pose significant threats to human life, infrastructure, and the environment. Accurate identification of flood-prone areas is essential for effective disaster management, risk reduction, and planning for prevention. In this context, flood hazard and risk maps serve as vital tools for visualizing at-risk areas and guiding risk reduction efforts, and can play an effective role in strategic decision-making and crisis management.

Method: Flood risk is derived from the combination of the hazard and vulnerability maps, highlighting areas that simultaneously have a high probability of flooding and high vulnerability. In this study, the hazard map was generated using SRTM digital elevation model and Landsat 8 imagery, while the vulnerability map was produced by reclassifying the ESA World Cover land-use/land-cover data. Finally, the final risk map was generated by combining the hazard and vulnerability maps.

Results: In the hazard section, the total percentage of high and very high hazard in Chabahar and Aqqala is 37 and 34 percent, respectively. However, according to the generated risk map, 2 percent in Chabahar and 21 percent in Aqqala and western Golestan were identified as points with high risk. The clear difference between the two regions in the risk section compared to the hazard indicates more areas with high vulnerability in the Aqqala region compared to Chabahar.

Conclusions: This research identifies areas that are most in need of management and efforts to reduce and prepare for disasters. The findings from both study areas emphasize that in crisis management planning, focusing solely on hazard is not sufficient, and for effective decision-making and preventive measures, risk must be considered as a composite index of hazard and vulnerability. Therefore, the output of this research is necessary and useful for principled crisis management, planning, and sound decision-making to reduce risks caused by floods.

Cite this article: Ebrahimi., A. Ebadi., H. & Kiani., A. (2026). Preparation and assessment of flood risk with a focus on vulnerability component using land-cover data. ***Incidents and Disasters Resilience***, *1*(4), 59-74.

© Author(s) retain the copyright.

Publisher: Natural Disasters Research Institute (NDRI).

تاب‌آوری در برابر حوادث و سوانح

Homepage: https://disaster.ndri.ac.ir

تهیه و ارزیابی ریسک سیلاب با تمرکز بر مؤلفه آسیب‌پذیری با استفاده از داده پوشش اراضی

آرمان ابراهیمی[1]، حمید عبادی[2]، عباس کیانی[3] ✉

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه فتوگرامتری و سنجش‌ازدور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران. رایانامه: arman.ebrahimi66@gmail.com

۲. استاد، گروه فتوگرامتری و سنجش‌ازدور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران. رایانامه: ebadi@kntu.ac.ir

۳. نویسنده مسئول، استادیار، گروه نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، مازندران، ایران. رایانامه: a.kiani@nit.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۰۳
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۸
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۰۹

کلیدواژه‌ها:
خطر،
آسیب‌پذیری،
ریسک سیل،
سنجش‌ازدور،
مدیریت بحران.

چکیده

هدف: هدف این پژوهش ایجاد نقشه ریسک سیل در دو منطقه چابهار در سیستان و بلوچستان و آق‌قلا در گلستان است. سیل به‌عنوان یکی از مخرب‌ترین سوانح در سراسر جهان و همچنین ایران، تهدیدهای قابل‌توجهی برای زندگی انسان، زیرساخت‌ها و محیط‌زیست ایجاد می‌کنند. شناسایی دقیق مناطق مستعد سیل برای مدیریت مؤثر سوانح، کاهش خطر و برنامه‌ریزی در جهت پیشگیری ضروری است. در این زمینه، نقشه‌های خطر و ریسک سیل به‌عنوان ابزارهای حیاتی برای تجسم مناطق در معرض خطر و هدایت تلاش‌های کاهش خطر عمل می‌کنند و می‌تواند نقش مؤثری در تصمیم‌گیری‌های راهبردی و مدیریت بحران ایفا کنند.

روش پژوهش: ریسک سیل از ترکیب نقشه خطر و آسیب‌پذیری حاصل می‌شود که مناطقی که به‌طور هم‌زمان احتمال وقوع سیل و آسیب‌پذیری بالایی دارند را برجسته می‌کند. در این مطالعه، نقشه خطر با استفاده از مدل ارتفاعی SRTM و تصاویر لندست ۸ و نقشه آسیب‌پذیری از طریق بازطبقه‌بندی داده کاربری/ پوشش زمین ESA World Cover تولید شد. در انتها از ترکیب نقشه‌های خطر و آسیب‌پذیری، ریسک نهایی تولید شد.

یافته‌ها: در بخش خطر، مجموع درصد خطر زیاد و خیلی زیاد در چابهار و آق‌قلا به ترتیب مقادیر ۳۷ و ۳۴ درصد است. این در حالی است که طبق نقشه ریسک تولیدشده، در چابهار ۲ درصد و در آق‌قلا و غرب گلستان ۲۱ درصد از سطح منطقه به‌عنوان نقاط با ریسک بالا شناسایی شد. اختلاف واضح موجود بین دو منطقه در بخش ریسک در مقایسه با خطر نشان‌دهنده مناطق بیشتر با آسیب‌پذیری بالا در منطقه آق‌قلا در مقایسه با چابهار است.

نتیجه‌گیری: این پژوهش مناطقی را که بیشترین نیاز به مدیریت و تلاش جهت کاهش و آمادگی در برابر سوانح دارند، شناسایی می‌کند. نتایج دریافتی از هر دو منطقه مطالعاتی تأکید می‌کند که در برنامه‌ریزی مدیریت بحران، تمرکز صرف بر خطر کافی نیست و برای تصمیم‌گیری مؤثر و اقدامات پیشگیرانه، باید ریسک به‌عنوان شاخص ترکیبی از خطر و آسیب‌پذیری مدنظر قرار گیرد. بنابراین خروجی این تحقیق برای مدیریت اصولی بحران، برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری‌های درست جهت کاهش خطرات ناشی از سیل ضرورت و کاربرد دارد.

استناد: ابراهیمی؛ آرمان، عبادی؛ حمید، کیانی؛ عباس. (۱۴۰۴). تهیه و ارزیابی ریسک سیلاب با تمرکز بر مؤلفه آسیب‌پذیری با استفاده از داده پوشش اراضی. *تاب‌آوری در برابر حوادث و سوانح*، ۱ (۴)، ۵۹-۷۴.

CC BY NC

© نویسندگان.

ناشر: پژوهشکده سوانح طبیعی.

مقدمه

سیل‌ها سوانحی هستند که آثار عمیق و مخربی بر زندگی انسان‌ها، شرایط اجتماعی–اقتصادی، زیرساخت‌ها و محیط‌زیست دارند. آن‌ها زمانی اتفاق می‌افتند که سرریز آب روی زمین‌های معمولاً خشک وجود داشته باشد که منجر به غرق شدن مناطق مختلف می‌شود. سیل می‌تواند ناشی از بارندگی شدید، ذوب برف، شکست سدها یا طوفان‌های ساحلی باشد و فراوانی و شدت آن تحت تأثیر عوامل مختلفی ازجمله موقعیت جغرافیایی، توپوگرافی، الگوهای آب و هوایی و تغییرات کاربری زمین است (Hamidi, Peter, Moftakhari, & Moradkhani, 2025; Usmani et al., 2025).

سنجش‌ازدور به‌عنوان ابزاری کارآمد در پایش سیل و تولید شاخص‌های مکانی، با فراهم کردن داده‌هایی وسیع و به‌روز، امکان نظارت بر پدیده‌های سیل در مناطق گسترده را فراهم می‌سازد. به‌وسیله این منابع داده می‌توان نقشه‌های خطر و ریسک جامعی تولید کرد که ضمن شناسایی مناطق سیل‌خیز، برنامه‌ریزی مؤثر در کاربری زمین و اقدامات کاهش خطر را امکان‌پذیر می‌سازد (Al-Areeq et al., 2022). در تولید نقشه ریسک به پارامتر و ویژگی‌های متعدد مؤثر بر سیل نیاز است. این ویژگی‌ها می‌توانند بر اساس ویژگی‌های طیفی تصاویر نوری و راداری و یا بر اساس ویژگی‌های مرتبط با توپوگرافی از مشتقات داده‌های سنجش‌ازدوری مانند مدل ارتفاعی حاصل شوند.

ریسک سیل که از ترکیب خطر و آسیب‌پذیری حاصل می‌شود، به‌احتمال وقوع سیل و پیامدهای نامطلوب احتمالی مرتبط با آن اشاره دارد و مدیریت آن برای تضمین ایمنی و رفاه جوامع، حفاظت از زیرساخت‌ها و حفظ محیط‌زیست از اهمیت بالایی برخوردار است (Armenakis et al., 2017; Wondim, *2016*). درک و پیش‌بینی سیل یکی از جنبه‌های اساسی مدیریت ریسک سیل است که در این راستا تحقیقات نقش مهمی در کشف فرایندهای پیچیده درگیر در تشکیل سیل، مانند الگوهای بارندگی، سیستم‌های رودخانه‌ای و شرایط خاک ایفا می‌کند. بامطالعه این عوامل، محققان می‌توانند مدل‌ها و ابزارهایی را توسعه دهند که به پیش‌بینی سیل و سیستم‌های هشدار زودهنگام کمک می‌کنند و به مقامات اجازه می‌دهند تا اقدامات به‌موقع و مناسب برای حفاظت از جان و اموال انجام دهند (Antzoulatos et al., 2022). درنتیجه، ریسک سیل یک چالش مهم است که نیاز به تحقیقات جامع برای درک، پیش‌بینی و مدیریت مؤثر آثار آن دارد.

پیشینه پژوهش

در مطالعات پیشین انجام‌شده در بخش خطر، پس از استخراج داده سنجش‌ازدوری منطقه و تولید عوامل مؤثر بر سیل، به‌طورکلی از سه روش تصمیم‌گیری چند معیاره (Parsian et al., 2021; Rincón, Khan, & Armenakis, 2018)، یادگیری ماشین (Al-Areeq et al., 2022; Habibi et al., 2023) و مدل‌سازی هیدرولیکی (Khaing et al., 2019; Vojtek & Vojteková, 2016) در تولید نقشه خطر استفاده‌شده است. در روش تصمیم‌گیری چند معیاره وزن‌دهی و تعیین اهمیت و وزن پارامترهای مؤثر در سیل طبق نظر متخصصان انجام می‌شود (Varma et al., 2025). مراحل این روش ساده و قابل‌فهم است، ولی روند مقایسه زوجی و تعیین وزن در حالت تعداد پارامترهای زیاد پیچیده است و به شکل کلی می‌تواند تحت تأثیر سلیقه و جهت‌گیری‌های ذهنی متخصصین باشد (Liu et al., 2019; Parsian et al., 2021). یادگیری ماشین بر اساس داده واقعیت برچسب‌گذاری شده، اطلاعات ورودی را به خروجی مطلوب ربط می‌دهد و روابط و الگوها را کشف می‌کند. باتوجه‌به وجود داده واقعی به شکل خودکار و مستقیم می‌توان الگوها را کشف کرد و ارزیابی مدل را انجام داد که این نشان‌دهنده وابستگی مدل به داده آموزشی است، درنتیجه داده آموزشی بی‌کیفیت باعث تولید نتایج غیرقابل اطمینان می‌شود (Farhadi & Najafzadeh, 2021). مدل هیدرولیکی به تعداد داده ورودی کمتری نیاز دارد و ویژگی‌های مهمی مثل عمق آب و سرعت را تولید می‌کند و در نقطه مقابل به حجم پردازشی بالا نیاز دارد و به‌دقت ورودی‌ها وابسته است. همچنین برای بهبود دقت و تصحیح پارامترها و معادلات مدل به انجام کالیبراسیون نیاز دارد (Nguyen et al., 2021).

ارزیابی آسیب‌پذیری یکی دیگر از اجزای حیاتی مدیریت ریسک سیل است که به حساسیت یک منطقه در برابر تأثیرات رویداد سیل اشاره دارد (Darabi et al., 2019; Pham et al., 2021). درواقع میزان خسارت ناشی از سیل واردشده به یک منطقه به آسیب‌پذیری وابسته است، به‌عبارت‌دیگر به پتانسیل آن منطقه در آسیب دیدن وابسته است (Schanze, Zeman, & Marsalek, 2007). در تولید و ترکیب نقشه‌های تشکیل‌دهنده آسیب‌پذیری به‌طورمعمول از روش تصمیم‌گیری چند معیاره مانند تحلیل سلسله مراتبی AHP استفاده می‌شود (Danumah et al., 2016; Nguyen et al., 2021). در تحقیقات گذشته از داده‌های مختلف در تولید آسیب‌پذیری استفاده شده است. (Antzoulatos et al., 2022) از شاخص‌های آسیب‌پذیری مردم، فعالیت‌های اقتصادی، محیط‌زیست و باستان‌شناسی در تولید نقشه آسیب‌پذیری استفاده کرد و درنهایت با ترکیب آن با نقشه خطر، نقشه ریسک سیل را تولید کرد. پارامترهای تحقیق رینکان[1] و همکاران (۲۰۱۸) در بخش اقتصادی و اجتماعی شامل سن افراد، درآمد، تحصیلات، تراکم جمعیت و ساختمان‌های اجاره‌ای می‌شود. وجتک و وجتکووا[2] (۲۰۱۶) از داده کاربری زمین و دانوما[3] و همکاران (۲۰۱۶) و رضوان، العزبا و موسعد[4] (۲۰۱۹) از ترکیب کاربری اراضی، تراکم جمعیت و سیستم زهکشی در تهیه نقشه آسیب‌پذیری استفاده کردند. از میزان فقر و تعداد بیمارستان در همسایگی نیز می‌توان به‌عنوان پارامترهای دیگر نام برد (Nguyen et al., 2021). بنابراین به‌طورکلی شامل در نظر گرفتن عواملی مانند تراکم جمعیت، کیفیت زیرساخت، کاربری زمین، شرایط اجتماعی–اقتصادی و دسترسی به منابع است که دراین‌بین می‌توان کاربری زمین را به‌عنوان داده مهم و پرتکرار در تحقیقات در نظر گرفت.

درنهایت، باتوجه‌به اینکه معمولاً افزودن لایه‌های اطلاعاتی به ارتقای کیفیت تحلیل آسیب‌پذیری منجر می‌شود، در این مطالعه به‌منظور ارزیابی ریسک سیل، با پذیرش فرض کمبود داده و تمرکز بر پوشش زمین به‌عنوان داده‌ای پرتکرار در مطالعات پیشین، رویکردی مبتنی بر داده‌های در دسترس اتخاذ شده است. این رویکرد امکان تولید سریع و به‌موقع نقشه ریسک با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای رایگان و موجود را فراهم می‌کند و ضمن کاهش هزینه‌ها و صرفه‌جویی در زمان، امکان تصمیم‌گیری فوری در مدیریت بحران را فراهم می‌کند. بدین ترتیب، از داده پوشش زمین برای استخراج لایه آسیب‌پذیری و در بخش خطر از داده‌های مدل ارتفاعی و تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده است. تلفیق این دو لایه امکان تولید نقشه ریسک و شناسایی مناطق بحرانی را فراهم می‌آورد. این رویکرد قادر است تصویری کاربردی از وضعیت ریسک در منطقه برای مدیریت، برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری‌های اصولی ارائه دهد.

روش‌شناسی پژوهش

نقشه ریسک سیل یک نمایش جغرافیایی از بخش‌های در معرض خطر سیل را در یک منطقه مشخص نشان می‌دهد. این نقشه‌ها ابزارهای ضروری برای برنامه‌ریزی شهری، مدیریت سوانح طبیعی و ایمنی عمومی هستند. این نقشه معمولاً برای نشان دادن سطوح مختلف ریسک سیل، از کم تا زیاد، دارای کد رنگی است و به پارامترهای مختلف بستگی دارد. ارزیابی ریسک، که شامل تجزیه‌وتحلیل خطر سیل و آسیب‌پذیری است، برای تعیین سطح خطر و توسعه استراتژی‌های مدیریت سیل مؤثر است. با ترکیب این دو لایه، نقشه نهایی ریسک سیل تولید می‌شود که نقاطی را برجسته می‌کند که هم‌زمان دارای احتمال بالای وقوع سیل و سطح بالای آسیب‌پذیری هستند. این نقشه به‌عنوان ابزاری راهبردی، به شناسایی دقیق مناطقی کمک می‌کند که بیشترین نیاز را به اقدامات پیشگیرانه، کاهش ریسک و برنامه‌ریزی برای آمادگی در برابر سوانح طبیعی دارند.

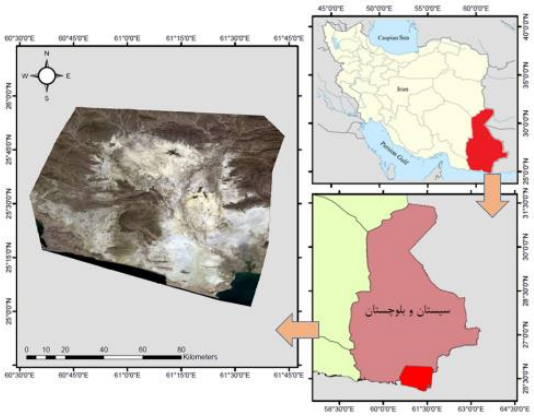
1. Rincón
2. Vojtek & Vojteková
3. Danumah
4. Radwan, Alazba, & Mossad

منطقه موردمطالعه

- چابهار

این مطالعه بر منطقه چابهار، واقع در جنوب شرقی استان سیستان و بلوچستان ایران در امتداد ساحل دریای عمان متمرکز است (شکل ۱). این شهر بندری مهم استراتژیک در یک دشت ساحلی عمدتاً کم ارتفاع در مجاورت کوه‌ها قرار دارد. آب‌وهوای چابهار خشک است که با میانگین بارندگی سالانه کم مشخص می‌شود، اما در معرض تغییرات زیاد و رویدادهای بارشی شدید و کوتاه‌مدت است. این باران‌های شدید سد موجود در منطقه و سیستم‌های رودخانه‌ای را تغذیه می‌کنند که به‌سرعت به سمت دریا تخلیه می‌شوند و پتانسیل بالایی برای سیل در سراسر منطقه ایجاد می‌کنند. این منطقه که با ترکیبی از مناطق شهری، زمین‌های بایر و پوشش گیاهی کم مشخص می‌شود، میزان رواناب سطحی بالایی را نشان می‌دهد که خطر سیل را تشدید می‌کند. آسیب‌پذیری چابهار در برابر سیلاب‌ها که ناشی از شرایط محیطی و توپوگرافی آن است، خطرات قابل‌توجهی را برای جمعیت و زیرساخت‌های آن ایجاد می‌کند. ماهیت پویای این سیل‌ها، همراه با مقیاس جغرافیایی و توسعه منطقه، آن را برای تجزیه‌وتحلیل با استفاده از تکنیک‌های سنجش‌ازدور برای نقشه‌برداری سیلاب، ارزیابی آثار و پایش عوامل محیطی مؤثر بر وقوع سیل بسیار مناسب می‌سازد.

ترکیبی از رویدادهای شدید بارندگی، تولید سریع رواناب از نهرها، توپوگرافی کم ارتفاع و کم شیب و افزایش شهرنشینی، منطقه چابهار را در برابر سیلاب‌ها و طغیان‌های احتمالی آسیب‌پذیر کرده است. سوابق تاریخی و رویدادهای چند سال اخیر سیل در این منطقه شامل سیل دی ۱۳۹۸، فروردین ۱۳۹۹ و اسفند ۱۴۰۲ است که حساسیت منطقه را برجسته می‌کند. لازم به ذکر است که سیل سال ۱۳۹۸ و ۱۴۰۲ مشابهت زیادی ازنظر وسعت سیل و مناطق سیل‌زده دارند، به‌عبارت‌دیگر الگوی سیل، شدت، وسعت و مناطق درگیر سیل در هر دو زمان کاملاً به هم نزدیک است.

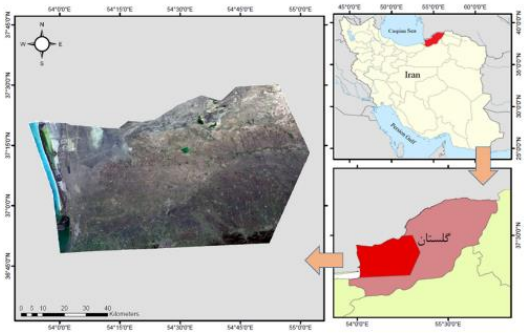


شکل ۱. منطقه چابهار

- آق‌قلا

منطقه دوم موردمطالعه در این تحقیق، محدوده غربی استان گلستان و شهر آق‌قلا واقع در عرض جغرافیایی ′36°58 و طول ′54°16 در محدوده شمال شرقی ایران است (شکل ۲). آق‌قلا که در دشت گرگان واقع شده است، منطقه‌ای پست و هموار است که به دلیل توپوگرافی مسطح، بارندگی فصلی و نزدیکی به رودخانه‌هایی مانند رود گرگان (گرگان رود) ازنظر جغرافیایی و هیدرولوژیکی مستعد سیل است. آق‌قلا به دلیل آسیب‌پذیری در برابر خطرات سیل، به‌ویژه پس از رویداد سیل قابل‌توجهی که در فروردین ۱۳۹۸ رخ داد، موردتوجه ویژه‌ای قرار گرفته است. این سیل براثر بارش‌های شدید و مداوم به وقوع پیوست که منجر به طغیان رودخانه‌ها و آب‌گرفتگی گسترده در زمین‌های کشاورزی و مناطق مسکونی شد. این حادثه خسارات زیادی به زیرساخت‌ها و معیشت مردم وارد کرد. به دلیل توپوگرافی نسبتاً مسطح منطقه و نبود سامانه زهکشی مناسب، امکان تخلیه سریع آب وجود نداشت و درنتیجه آب حاصل از سیلاب برای مدت طولانی در مناطق مختلف باقی ماند. قرار گرفتن آق‌قلا در معرض خطرات

سیل، آن را به مکانی حیاتی برای مطالعه سیل و خطرات آن با استفاده از سنجش‌ازدور و تحلیل‌های مکانی تبدیل می‌کند. انتظار می‌رود یافته‌های این تحقیق به اتخاذ استراتژی‌های منطقه‌ای کاهش خطر و برنامه‌ریزی کاربری اراضی در استان گلستان کمک کند.

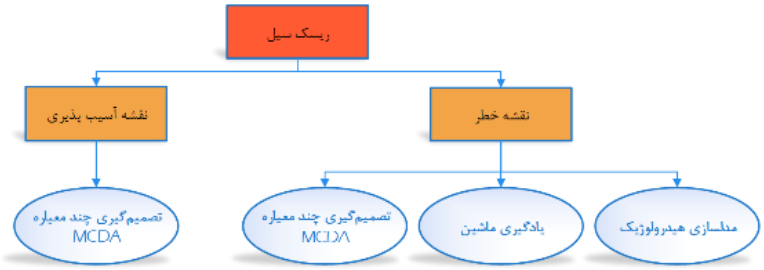


شکل ۲. منطقه آق‌قلا

اجزای مختلف در ارزیابی ریسک

سیل یک سانحه طبیعی مکرر و مخرب است که بر توسعه اجتماعی و اقتصادی و زندگی میلیون‌ها نفر در سراسر جهان تأثیر منفی می‌گذارد. هرساله تعداد افرادی که تحت تأثیر مخاطرات طبیعی ازجمله سیل قرار می‌گیرند، به‌طور قابل‌توجهی در سراسر جهان در کشورهای توسعه‌یافته و همچنین درحال‌توسعه افزایش می‌یابد (Pham et al., 2021). باتوجه‌به رشد جمعیت و تغییرات اقلیمی، انتظار می‌رود مناطق شهری به‌طور خاص به شکل جدی توسط آثار افزایش شدت و فراوانی سیل در معرض تهدید قرار گیرند (Nguyen et al., 2021).

ریسک سیل به‌عنوان ترکیبی از احتمال یک رویداد و آثار نامطلوب بالقوه آن تعریف می‌شود و اجزای اصلی آن شامل خطر[5] و آسیب‌پذیری[6] است (شکل ۳) (Nguyen et al., 2021; Usta & Duha, 2021). به‌طور خلاصه خطر به ویژگی‌های فیزیکی یک رویداد سیل، مانند احتمال و شدت سیل در یک منطقه اشاره دارد و آسیب‌پذیری به عناصر در معرض خطر، مانند آسیب‌پذیری مناطق مسکونی یا توانایی افراد برای مقابله با آثار رویداد سیل اشاره دارد (Antzoulatos et al., 2022; Nguyen et al., 2021). برآورد خطر سیل و آسیب‌پذیری و درنهایت ترکیب این دو نقشه، ریسک سیل را حاصل می‌کند که در جلوگیری از تلفات جانی و خسارات، اهمیت دارد (Al-Areeq et al., 2022).



شکل ۳. بخش‌های تشکیل‌دهنده در مطالعه ریسک، شامل خطر و آسیب‌پذیری به همراه روش‌ها و مدل‌های مورداستفاده

نقشه خطر سیل

نقشه خطر نشان‌دهنده احتمال و شدت احتمالی سیل در هر منطقه بر اساس ویژگی‌های مورداستفاده است و برای محاسبه آن در ابتدا شاخص‌های متعدد به‌وسیله مدل ارتفاعی زمین و تصاویر ماهواره‌ای و سایر پایگاه‌های اطلاعاتی تولید می‌شوند. در این مطالعه از نقشه خطر تولیدشده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل ارتفاعی، حاصل از روش یادگیری ماشین جنگل تصادفی استفاده شده است.

5. Hazard
6. Vulnerability

نقشه آسیب‌پذیری سیل

در این مطالعه، نقشه آسیب‌پذیری سیل برای شناسایی مناطقی که احتمال بیشتری دارد در صورت وقوع سیل، عواقب قابل‌توجهی را تجربه کنند، تهیه شد. برخلاف نقشه‌های خطر سیل که بر پایه پارامترهای فیزیکی و توپوگرافی هستند، نقشه آسیب‌پذیری از شاخص‌هایی مانند کاربری زمین و تراکم جمعیت تولید می‌شود. در این تحقیق از داده کاربری اراضی *ESA World Cover* برای تشکیل نقشه آسیب‌پذیری استفاده شده است؛ به‌نحوی‌که در این نقشه‌ها مناطق ساختمانی، جاده‌ها و زمین‌های کشاورزی با دریافت امتیاز بالاتر در آسیب‌پذیری، بازطبقه‌بندی شدند. نقشه حاصل، سطوح مختلف آسیب‌پذیری را ترسیم می‌کند و بخش‌هایی مانند مناطقی مسکونی، زیرساخت‌ها، جاده‌ها، زمین‌های کشاورزی و غیره را که حساسیت بیشتری به آثار سیل دارند، برجسته می‌کند.

نقشه ریسک سیل

ریسک سیل نتیجه تعامل بین خطر سیل (احتمال و شدت وقوع سیل) و آسیب‌پذیری عناصر در معرض سیل مانند تراکم جمعیت، زیرساخت‌ها و کاربری زمین است. در این مطالعه، نقشه‌های ریسک سیل از ادغام دو مؤلفه خطر سیل و آسیب‌پذیری تولید شده است. درحالی‌که نقشه‌های خطر، احتمال و شدت سیل در مناطق مختلف را بر اساس ویژگی‌های مختلف توپوگرافی و طیفی شناسایی می‌کنند، نقشه‌های آسیب‌پذیری مناطقی را برجسته می‌کنند که در صورت وقوع سیل دچار آسیب بیشتر و شدیدتری خواهد شد. با تلفیق این دو لایه (رابطه ۱)، نقشه نهایی ریسک سیل حاصل می‌شود که مناطقی را برجسته می‌کند که به‌طور هم‌زمان احتمال وقوع سیل و آسیب‌پذیری بالا از خود نشان می‌دهند، درنتیجه مناطقی را که بیشترین نیاز به ملاحظات و تلاش جهت کاهش و آمادگی در برابر سوانح دارند، شناسایی می‌کند.

ریسک = خطر × آسیب‌پذیری (رابطه ۱)

داده مورداستفاده

در این تحقیق از مدل ارتفاعی SRTM و تصاویر لندست ۸ با حد تفکیک ۳۰ متر و داده بارش CHIRPS در تولید نقشه خطر جهت تشخیص شدت و احتمال سیل، استفاده شده است. در تولید آسیب‌پذیری نیز از داده کاربری زمین مربوط به سری داده ESA World Cover حاصل از تصاویر سنتینل ۲ استفاده شده است و مانند سایر داده‌ها از کتابخانه گوگل ارث انجین [7] (GEE) به‌صورت زمین مرجع شده و با حد تفکیک ۳۰ متر دریافت شده است. لازم به ذکر است که سیستم مختصات تمام داده‌ها در WGS-84 و یکسان است.

جدول ۱. داده‌های مورداستفاده در تحقیق

کاربرد	داده مورداستفاده
خطر	مدل ارتفاعی SRTM ، تصاویر لندست ۸ و داده بارش CHIRPS
آسیب‌پذیری	کاربری زمین ESA World Cover

معیارهای ارزیابی

در ارزیابی قابلیت اعتماد نقشه‌های خطر سیل، از شاخص‌های دقت (Accuracy)، Precision، Recall، امتیاز F1، ضریب کاپا و AUC-ROC استفاده شد. دقت نسبت نمونه‌های به‌درستی طبقه‌بندی‌شده به کل نمونه‌ها را نشان می‌دهد، اما در داده‌های نامتوازن می‌تواند گمراه‌کننده باشد (رابطه ۲). Precision بیانگر نسبت مناطق پیش‌بینی‌شده به‌عنوان سیل‌زده است که واقعاً دچار سیلاب شده‌اند و مقادیر بالای آن نشان‌دهنده FP کمتر است، به این معنی که مدل پیش‌بینی‌های نادرست کمتری در مناطق سیل‌زده انجام داده است (رابطه ۳). Recall توانایی مدل در شناسایی صحیح مناطق سیل‌زده واقعی را می‌سنجد (رابطه ۴). امتیاز F1 به‌عنوان میانگین هارمونیک Precision وRecall ، توازن میان این دو معیار را فراهم می‌کند و در شرایط داده‌های نامتعادل مفید است (رابطه ۵). ضریب کاپا میزان توافق مدل را نسبت به طبقه‌بندی تصادفی نشان می‌دهد (رابطه ۶). درنهایت،

7. Google Earth Engine

معیار *AUC-ROC* توانایی مدل در تمایز بین مناطق سیل‌زده و غیرسیل‌زده را ارزیابی کرده است (رابطه ۷).

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$ رابطه ۲)

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$ رابطه ۳)

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$ رابطه ۴)

$$F1\ Score = 2 \times \frac{Precision\ \times\ Recall}{Precision +\ Recall}$$ رابطه ۵)

$$Kappa = \frac{P_o - P_e}{1 -\ P_e}$$ رابطه ۶)

$$AUC = \frac{\sum TP +\ \sum TN}{P + N}$$ رابطه ۷)

TP مناطق مثبت درست شناسایی‌شده، TN مناطق منفی درست شناسایی‌شده، FP مناطق منفی که به‌اشتباه طبقه‌بندی‌شده‌اند و FN مناطق مثبت که به‌اشتباه تشخیص داده‌شده‌اند.

روش پیشنهادی

روند انجام تحقیق مطابق شکل ۴ انجام شده است و در ادامه مراحل آن شرح داده شده است.

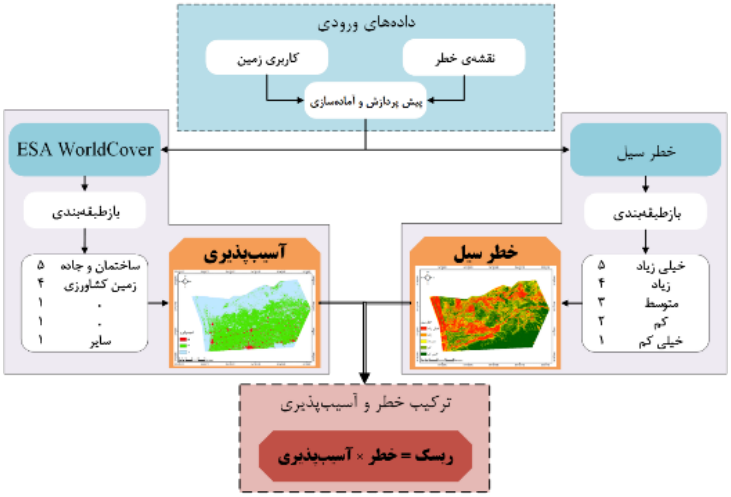
داده‌های ورودی

همان‌طور که پیشتر گفته شد، ارزیابی ریسک سیل مبتنی بر تولید و استفاده از نقشه‌های خطر و آسیب‌پذیری است و به همین جهت نقشه خطر با استفاده از داده‌های مدل ارتفاعی *SRTM* تصاویر لندست ۸، داده بارش تولید شد. همچنین داده اولیه در تولید آسیب‌پذیری یعنی پوشش زمین *ESA World Cover* از کتابخانه *GEE* در محدوده مطالعاتی دریافت شد.

تولید نقشه ریسک سیل

نقشه خطر تهیه‌شده در این مطالعه بر اساس ترکیب و طبقه‌بندی مجموعه‌ای از ویژگی‌های مؤثر بر سیلاب ساخته شد. این ویژگی‌ها شامل پارامترهای ارتفاع، شیب، جهت، تجمع جریان، ارتفاع بالاتر از نزدیک‌ترین زهکشی (HAND)[8]، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)[9]، شاخص موقعیت توپوگرافی[10] (TPI)، شاخص ناهمواری توپوگرافی[11] (TRI)، انحنای زمین، بارش، NDVI، MNDWI، فاصله از رود و تراکم رود است. از داده‌های مدل ارتفاعی SRTM تصاویر لندست ۸ و داده بارش CHIRPS در تولید این ویژگی‌ها استفاده شد. طبقه‌بندی نیز به‌وسیله مدل جنگل تصادفی انجام شد و از طریق نمونه‌برداری از نقشه مناطق سیل‌زده آموزش و اعتبارسنجی مدل انجام شد. نقشه خطر اولیه که شدت و احتمال سیل را به‌صورت پیوسته از ۰ تا ۱ نمایش می‌دهد، در پنج سطح بازطبقه‌بندی شد و به‌این‌ترتیب عدد ۱ به معنی کمترین خطر و عدد ۵ به معنای بالاترین سطح از خطر در منطقه است. در بخش آسیب‌پذیری از نقشه پوشش زمین ESA World Cover استفاده شده است که بر اساس حساسیت مناطق مختلف بازطبقه‌بندی شده است. به این صورت که مناطقی مانند نقاط مسکونی و کشاورزی نسبت به سایر نقاط امتیاز و درنتیجه آسیب‌پذیری بالاتری دریافت کردند. درنهایت با ترکیب نقشه خطر و آسیب‌پذیری، نقشه ریسک سیل به‌عنوان داده‌ای که شدت و احتمال سیل و همچنین آسیب‌پذیری مناطق را به‌طور هم‌زمان نشان می‌دهد، حاصل می‌شود. باتوجه‌به اینکه حد تفکیک داده‌های ورودی برابر با ۳۰ متر است، بنابراین حد تفکیک نقشه ریسک نهایی نیز ۳۰ متر خواهد بود.

8. Height Above Nearest Drainage
9. Topographic Wetness Index
10. Topographic Position Index
11. Terrain Ruggedness Index



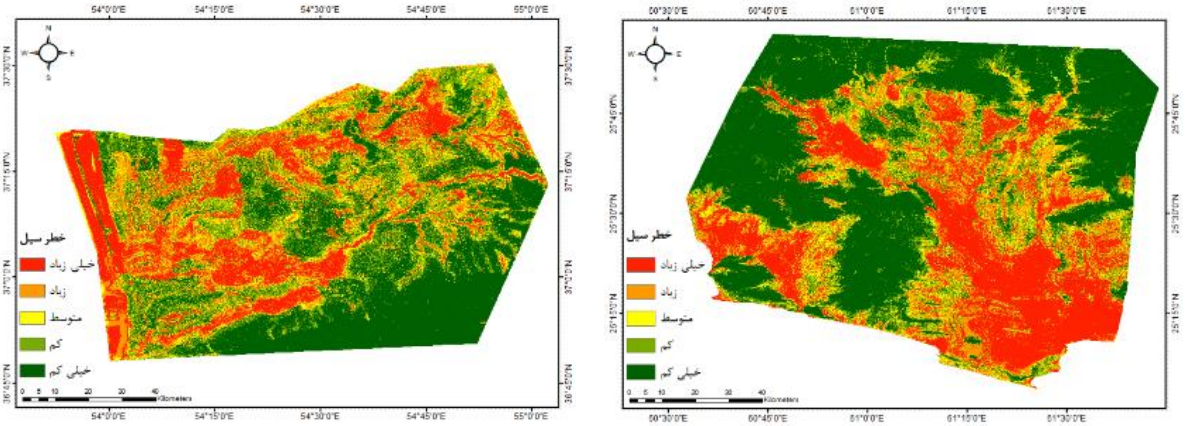
شکل ٤. روند انجام تحقیق

یافته‌های پژوهش

هدف این تحقیق ارزیابی ریسک سیل است و طبق روش بیان‌شده، مراحل آن شامل اخذ و آماده‌سازی داده، بازطبقه‌بندی نقشه خطر، تولید نقشه آسیب‌پذیری و درنهایت ترکیب نقشه خطر و آسیب‌پذیری به‌منظور تشکیل نقشه ریسک سیل است. در ادامه، نتایج حاصل‌شده بر اساس روند تحقیق ارائه شده است.

نقشه خطر سیل

در این بخش نقشه‌های خطر تولیدشده نمایش داده شده است. همان‌طور که در بخش روش بیان شد، این نقشه‌ها در هر دو منطقه چابهار و آق‌قلا (شکل ۵) به روش یادگیری ماشین و مدل جنگل تصادفی تولید شدند. هر نقشه خطر، احتمال و شدت سیل را بر اساس ویژگی‌های منطقه، طبقه‌بندی می‌کند و از ۰ تا ۱ یعنی از خطر کم تا زیاد محاسبه شده است که برای نمایش و درک بهتر و همچنین یکسان‌سازی مقیاس عددی در پنج کلاس بازطبقه‌بندی شده است. نقشه‌های خطر حاصل به‌وضوح تغییرات در الگوهای خطر سیل را بسته به منطقه و ویژگی‌های محیطی آن نشان می‌دهند.



آق‌قلا چابهار

شکل ۵. نقشه خطر سیل بازطبقه‌بندی‌شده در مناطق چابهار و آق‌قلا

***هر نقشه پنج سطح از خطر را به کمک ترکیب رنگی موجود نشان می‌دهد، رنگ سبز به‌عنوان کمترین و قرمز به‌عنوان بیشترین سطح خطر در منطقه مشخص شده است.**

نتایج اعتبارسنجی نقشه‌های خطر دریافت‌شده برای منطقه چابهار و آق‌قلا در جدول ۲ نمایش داده شده است. همان‌طور که در جدول مشخص شده است، نقشه موجود در منطقه چابهار دقت ۹۶/۳۸ و کاپای ۹۲/۷۵ و همچنین در آق‌قلا دقت ۹۱/۶۶ و

کاپای ۸۳/۲۹ را نشان می‌دهد. مقادیر بیان‌شده و سایر معیارهای ارزیابی در جدول، قابلیت اطمینان نقشه‌های موجود را تأیید می‌کند.

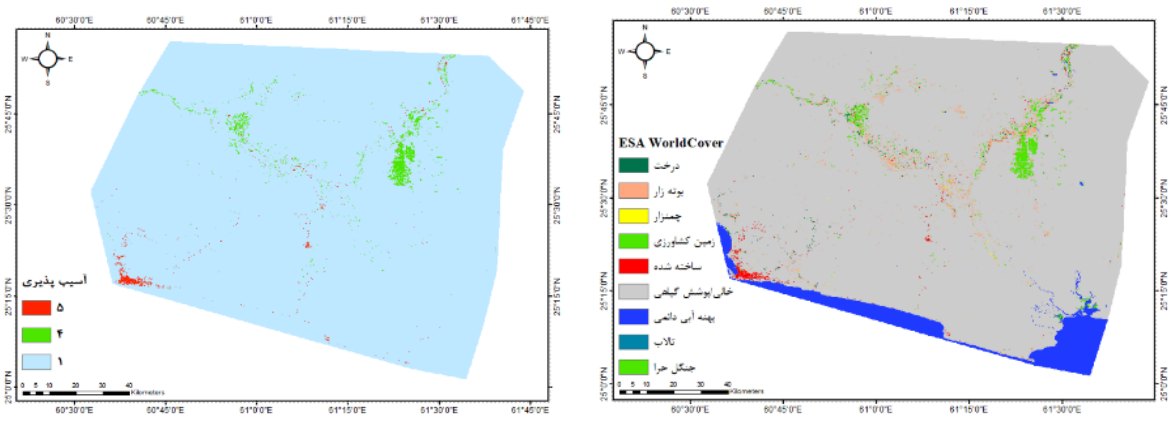
جدول ۲. نتایج اعتبارسنجی نقشه خطر موجود در مناطق چابهار و آق‌قلا

	چابهار	آق‌قلا
دقت	۹۶/۳۸۸۷	۹۱/۶۶
امتیاز F1	۹۶/۵۶۱۴	۹۱/۹۸۹۸
Precision	۹۵/۶۱۰۹	۹۲/۹۵۷۷
Recall	۹۷/۵۳۰۹	۹۱/۰۴۱۹
AUC	۹۶/۳۴۱۳	۹۱/۶۹۳۹
ضریب کاپا	۹۲/۷۵۹۸	۸۳/۲۹۳۵

نقشه آسیب‌پذیری

پس از تهیه نقشه خطر سیل، ارزیابی آسیب‌پذیری سیل به‌منظور ارزیابی ریسک سیل ضروری است. نقشه آسیب‌پذیری بر اساس اطلاعات کاربری و پوشش زمین نمایش مکانی از مناطقی را ارائه می‌دهد که بیشتر در معرض آثار نامطلوب سیل احتمالی هستند. این نقشه به‌عنوان یک ورودی کلیدی در ارزیابی نهایی ریسک سیل عمل می‌کند که ترکیب آن با نقشه خطر، مناطق با سطوح مختلف ریسک سیل را مشخص می‌کند. در این مطالعه، آسیب‌پذیری سیل با استفاده از داده‌های پوشش زمین از مجموعه داده‌های ESA World Cover استخراج شد که طبقه‌بندی پوشش زمین جهانی ارائه می‌دهد. این مجموعه داده بر اساس حساسیت انواع مختلف پوشش زمین به خسارات مرتبط با سیل، بازطبقه‌بندی شدند. در این فرایند به مناطق ساخت بشر و زمین‌های کشاورزی به ترتیب نمرات آسیب‌پذیری بالاتر یعنی ۵ و ۴ اختصاص داده شد. این امتیازدهی باتوجه‌به حضور و تراکم جمعیت در مناطق شهری و همچنین آسیب‌پذیری اقتصادی زمین‌های کشاورزی در صورت وقوع سیل در این مناطق انجام شده است. این مناطق به دلیل پتانسیل آسیب ساختاری قابل‌توجه، آسیب‌پذیرتر در نظر گرفته‌شده‌اند و به سایر مناطق پوشش زمین ازجمله پوشش گیاهی طبیعی، آبراهه‌ها و زمین‌های بایر و خالی مقدار آسیب‌پذیری پایین ۱ اختصاص داده شد که نشان‌دهنده قرار گرفتن در معرض تأثیرات نسبتاً کمتر است.

داده‌های پوشش زمین ESA World Cover و تبدیل آن به نقشه‌های آسیب‌پذیری برای مناطق مطالعاتی چابهار و آق‌قلا در شکل ۶ وشکل ۷ نمایش داده شده است. تصویر (الف) طبقه‌بندی‌های اولیه پوشش زمین و تصویر (ب) نقشه‌های آسیب‌پذیری بازطبقه‌بندی‌شده را نشان می‌دهند که در آن طبقات خاص موردنظر یعنی مناطق ساخته‌شده (شهرها و سایر مناطق ساخت دست بشر به رنگ قرمز) و زمین‌های کشاورزی (سبز)، برای نشان دادن مناطق با آسیب‌پذیری بالای انسانی و اقتصادی تفکیک شده‌اند.

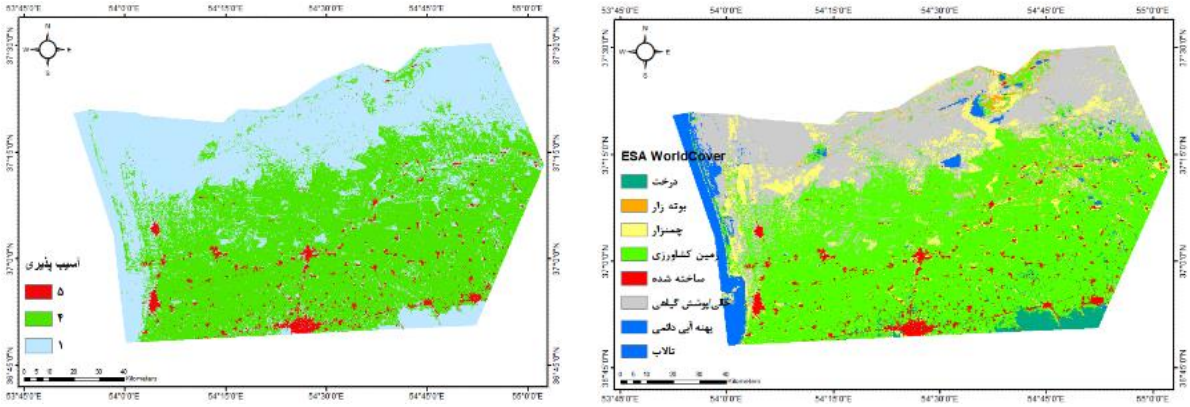


آسیب‌پذیر پوشش

شکل ٦. پوشش زمین و نقشه آسیب‌پذیری منطقه چابهار

***بخش الف) پوشش زمین را نشان می‌دهد که در آن با کد رنگی مناطق مختلف مانند ساخته‌شده، زمین کشاورزی، درخت و سایر عوارض مشخص‌شده است. بخش ب) آسیب‌پذیری منطقه را مشخص می‌کند که در آن مناطق ساخت بشر (ساختمان و جاده‌ها) در سطح ۵، زمین‌های کشاورزی در سطح ٤ و سایر نقاط در سطح ۱ قرار دارند.**

این نقشه به‌طور دقیق محیط خشک چابهار را به تصویر می‌کشد. این منطقه عمدتاً شامل نقاط توسعه‌نیافته مانند زمین‌های بایر، بیابان و پوشش گیاهی پراکنده است. بخش‌های کلیدی، نقاط کوچک و متمرکز زمین‌های کشاورزی به رنگ سبز و مناطق ساخته‌شده به رنگ قرمز هستند که عمدتاً در امتداد ساحل و در مناطق مرکزی و داخلی واقع شده‌اند. در تضاد کامل با چابهار، نقشه آق‌قلا چشم‌اندازی را نشان می‌دهد که تحت سلطه فعالیت‌های انسانی است. مناطق گسترده سبزرنگ نشان‌دهنده وسعت بالایی از زمین‌های زراعی سراسر منطقه هستند. بین این زمین‌های کشاورزی، نقاط قرمز متعددی وجود دارد که نشان‌دهنده شهرها، روستاها و مناطق مسکونی هستند. برخلاف چابهار، زمین‌های کشاورزی در اینجا یک ویژگی جزئی نیستند، بلکه کاربری غالب زمین هستند که نشان‌دهنده یک منطقه وسیع با آسیب‌پذیری اقتصادی است. نقشه آسیب‌پذیری نشان می‌دهد که در منطقه آق‌قلا، آسیب‌پذیری پراکنده و گسترده است. خطر محدود به چند شهر نیست، بلکه در کل دشت کشاورزی گسترش می‌یابد و کل منطقه را ذاتاً مستعد آسیب‌های گسترده ناشی از یک رویداد سیل می‌کند. نقشه آسیب‌پذیری نقاط ساخته‌شده و زمین‌های کشاورزی در این مناطق را، به‌عنوان عناصری که بیشترین آسیب‌پذیری را در برابر آسیب‌های سیل دارند، برجسته کرده است.



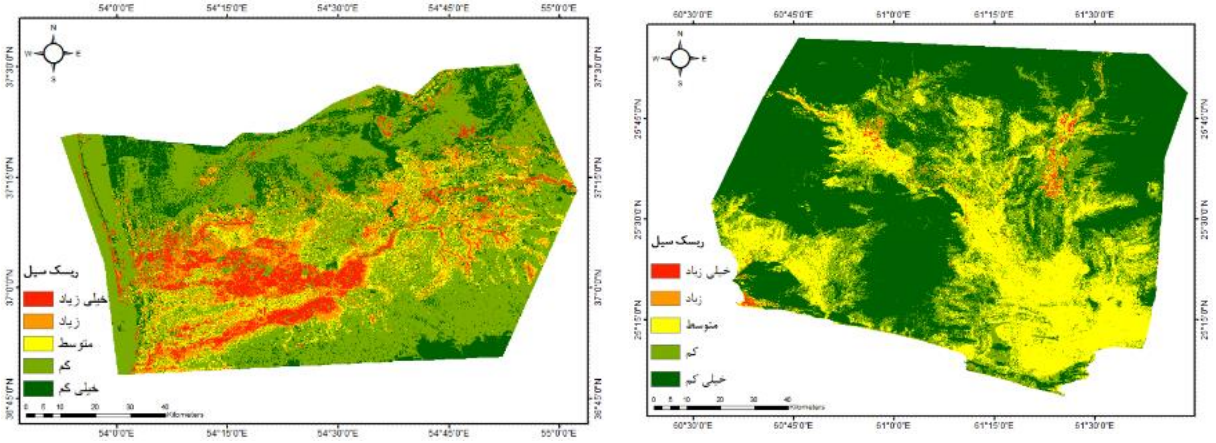
الف) پوشش زمین **ب) نقشه آسیب‌پذیری**

شکل ۷. پوشش زمین و نقشه آسیب‌پذیری منطقه آق‌قلا

***بخش الف) پوشش زمین را نشان می‌دهد که در آن با کد رنگی مناطق مختلف مانند ساخته‌شده، زمین کشاورزی، درخت و سایر عوارض مشخص‌شده است. بخش ب) آسیب‌پذیری منطقه را مشخص می‌کند که در آن مناطق ساخت بشر (ساختمان و جاده‌ها) در سطح ۵، زمین‌های کشاورزی در سطح ٤ و سایر نقاط در سطح ۱ قرار دارند.**

نقشه ریسک سیل

در این پژوهش، با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور نقشه‌های نهایی ریسک سیل برای دو منطقه موردمطالعه تولید شد. هدف از این نقشه‌ها، شناسایی نواحی با پتانسیل بالای خطر و آسیب‌پذیری سیل به‌طور هم‌زمان بوده است. خروجی نقشه‌های ریسک نهایی (ترکیب خطر و آسیب‌پذیری)، به روش Natural Breaks (Jenks) بازطبقه‌بندی شدند و برای منطقه چابهار و آق‌قلا به ترتیب در شکل ۸ (الف) و (ب) ارائه‌شده‌اند.



الف) چابهار

ب) آق‌قلا

شکل ۸. نقشه نهایی ریسک سیل دو منطقه چابهار و آق‌قلا

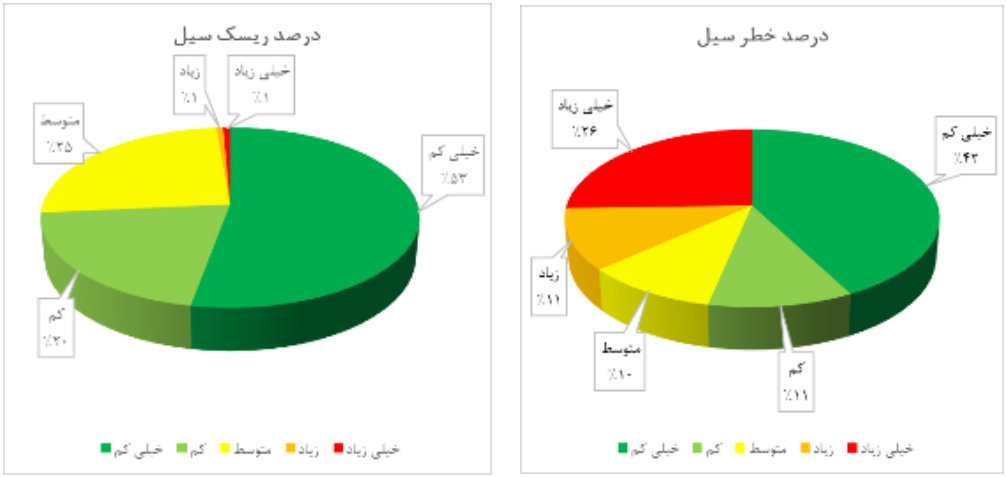
***هر نقشه سطوح مختلف ریسک را به کمک ترکیب رنگی موجود نشان می‌دهد، رنگ سبز به‌عنوان کمترین و قرمز به‌عنوان بیشترین سطح ریسک در منطقه مشخص شده است.**

بحث

سیلاب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تهدیدات زیست‌محیطی و اجتماعی، نیازمند تحلیل دقیق مناطق پرریسک به‌منظور برنامه‌ریزی برای کاهش آسیب‌ها و مدیریت بحران است. یافته‌های این پژوهش دیدگاه‌های مهمی در این زمینه ارائه می‌دهند. نقشه‌های ریسک به‌عنوان ابزارهای حیاتی برای تجسم مناطق در معرض خطر می‌توانند نقش مؤثری در تصمیم‌گیری‌های راهبردی و مدیریت بحران ایفا کنند. در ادامه، نتایج به‌طور تفصیلی موردبحث قرار گرفته و پیامدهای آن‌ها در ارزیابی ریسک سیل بررسی می‌شود.

در شکل ۹، فراوانی میزان خطر (الف) و ریسک (ب) در سطح منطقه چابهار به درصد مشخص شده است. گستره نواحی با خطر خیلی زیاد و زیاد در نقشه خطر نسبتاً زیاد است و ۳۷ درصد منطقه را شامل می‌شود. این امر نشان می‌دهد که از دیدگاه ویژگی‌های منطقه‌ای و محیطی، نواحی زیادی در منطقه (حدود ۴۰ درصد) مستعد وقوع سیلاب هستند. اما در نقشه ریسک، بخش قابل‌توجهی از این مناطق مستعد (حدود ۷۳ درصد منطقه)، به دلیل آسیب‌پذیری کم مانند زمین‌های بایر یا مناطق غیرمسکونی، ریسک پایینی دارند. درصد کمی از این منطقه شامل بخش‌هایی نظیر نواحی مسکونی یا زمین‌های کشاورزی است. این نقاط که دارای آسیب‌پذیری بالا هستند، به‌عنوان نواحی پرریسک در نقشه نهایی مشخص‌شده‌اند که تنها شامل حدود ۲ درصد این منطقه می‌شود. ۲۵ درصد منطقه نیز ریسک متوسط در برابر سیل را نشان می‌دهد.

نمودارهای درصد خطر و ریسک منطقه به‌وضوح نشان می‌دهد که باوجود بالا بودن درصد نواحی در معرض خطر بالا، تنها درصد نسبتاً محدودی از منطقه دارای ریسک بالا یا خیلی بالا است. این نتیجه، اهمیت در نظر گرفتن هم‌زمان دو مؤلفه خطر و آسیب‌پذیری در تحلیل ریسک سیلاب را برجسته می‌کند. لازم به ذکر است که محدود بودن مناطق با ریسک یا آسیب‌پذیری بالا به معنای بی‌اهمیت بودن نیست. باتوجه‌به تکرار وقوع سیلاب (سال‌های ۱۳۹۸و ۱۳۹۹ و ۱۴۰۲) و شباهت الگوی مناطق سیل‌زده در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۴۰۲، این منطقه همچنان مستعد وقوع بحران‌های مشابه است و نیازمند مدیریت اصولی، برنامه‌ریزی پیشگیرانه و اتخاذ تدابیر مناسب برای کاهش خطرات ناشی از سیل است.



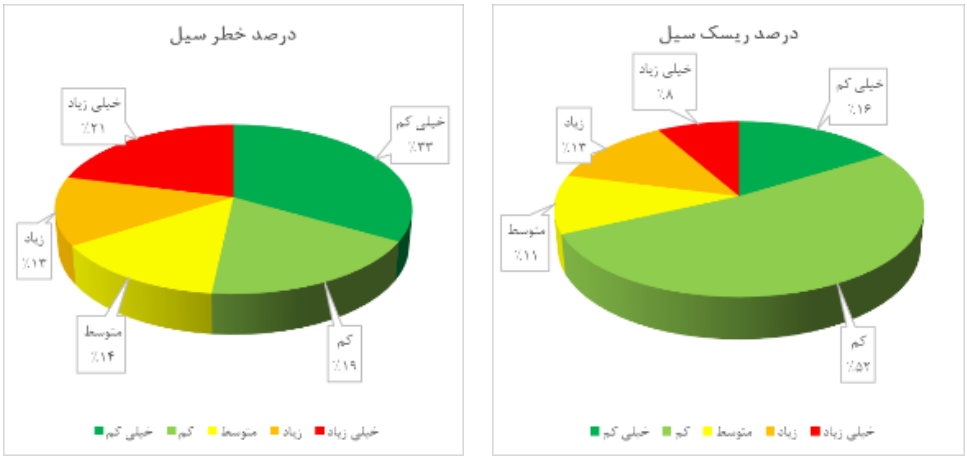
الف ب

شکل ۹. دسته‌بندی درصد منطقه اشغال‌شده در چابهار بر اساس میزان خطر و ریسک سیل

***درصد خطر در شکل (الف) و درصد ریسک در شکل (ب) نمایش داده شده است. شدت خطر و ریسک با کد رنگی از خیلی کم تا خیلی زیاد به همراه درصد منطقه اشغال‌شده مشخص شده است.**

در منطقه آق‌قلا، پراکندگی مناطق پرخطر به‌ویژه در نواحی نزدیک به رودخانه گرگان‌رود و اراضی کشاورزی پایین‌دست مشخص شده‌اند. در نقشه خطر، بخش‌های وسیعی از منطقه به‌ویژه در اطراف رودخانه‌ها و نواحی پست، در دسته خطر متوسط تا بالا قرارگرفته‌اند که حدود ۵۰ درصد از منطقه غرب گلستان را شامل می‌شود. با در نظر گرفتن آسیب‌پذیری، بخش‌هایی از مناطق پرخطر که دارای کاربری کشاورزی یا مسکونی هستند، در نقشه ریسک به‌عنوان نواحی با ریسک بالا یا خیلی بالا مشخص‌شده‌اند. در مقابل، برخی از نواحی پرخطر در نواحی شمالی که آسیب‌پذیری کمی دارند، در نقشه نهایی سطح پایین‌تری از ریسک را نشان می‌دهند.

بر اساس نمودارهای موجود در شکل ۱۰، می‌توان مشاهده کرد که نسبت نواحی با خطر بالا در منطقه قابل‌توجه است، اما با اضافه شدن لایه آسیب‌پذیری، فقط بخشی از این نواحی به‌عنوان ریسک بالا یا خیلی بالا طبقه‌بندی‌شده‌اند. نمودار نشان داد که مجموع مناطق با خطر زیاد و خیلی زیاد ۳۴ درصد و ریسک زیاد و خیلی زیاد ۲۱ درصد از این ناحیه را شامل می‌شود. اختلاف زیاد در مقادیر درصد ریسک در دو منطقه نشان‌دهنده مناطق بیشتر با آسیب‌پذیری بالا در منطقه آق‌قلا در مقایسه با چابهار است. درمجموع، نتایج آق‌قلا نیز همانند چابهار تأکید می‌کند که در برنامه‌ریزی مدیریت بحران، تمرکز صرف بر خطر کافی نیست و برای تصمیم‌گیری مؤثر و اقدامات پیشگیرانه، باید ریسک به‌عنوان شاخص ترکیبی از خطر و آسیب‌پذیری مدنظر قرار گیرد.



الف ب

شکل ۱۰. دسته‌بندی درصد منطقه اشغال‌شده آق‌قلا بر اساس میزان خطر و ریسک سیل

***درصد خطر در شکل (الف) و درصد ریسک در شکل (ب) نمایش داده شده است. شدت خطر و ریسک با کد رنگی از خیلی کم تا خیلی زیاد به همراه درصد منطقه اشغال‌شده مشخص شده است.**

همان‌طور که پیشتر بیان شد، چابهار به دلیل توپوگرافی متنوع‌تر (ترکیب دشت‌های ساحلی با پهنه‌های مرتفع‌تر) معمولاً دارای شیب‌ها و مسیرها متفاوت است و درنتیجه، آب می‌تواند تا حدی در جهت شیب‌های مختلف پخش یا هدایت شود. در مقابل، آق‌قلا با پستی‌وبلندی کمتر و نوسانات ارتفاعی محدود شناخته می‌شود که این ویژگی‌ها باعث می‌گردد رواناب و سیلاب کمتر امکان تخلیه و جابه‌جایی مؤثر داشته باشند. در چنین شرایطی، تغییرات ارتفاعی کم در آق‌قلا به‌طور ویژه موجب تمرکز جریان، تجمع آب و ماندگاری بیشتر سیلاب می‌شود. این موضوع را می‌توان در نمونه‌های واقعی نیز مشاهده کرد؛ به‌عنوان‌مثال، سیل فروردین ۱۳۹۸ که در آن به علت محدود بودن ظرفیت تخلیه و شیب‌های کم، آب برای مدت طولانی‌تر در سطح مناطق باقی ماند و آثار سیلاب شدت و تداوم بیشتری پیدا کرد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

شناسایی دقیق مناطق مستعد سیل به کمک ابزارهای نوین، نظیر داده‌های سنجش‌ازدور و مدل‌سازی مکانی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تهیه نقشه‌های ریسک سیل با دقت و قابلیت اطمینان بالا به‌عنوان ابزاری کلیدی در مدیریت ریسک و کاهش آسیب‌پذیری، می‌تواند نقش مؤثری در تصمیم‌گیری‌های راهبردی و مدیریت بحران ایفا کند. تحقیق حاضر نیز باهدف پیش‌بینی مناطق پرریسک انجام شد که نتایج آن می‌تواند جهت بهبود سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی در حوزه مدیریت سیلاب مورداستفاده قرار گیرد.

در این پروژه، هدف تولید سریع و به‌موقع نقشه ریسک با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای رایگان و موجود است. رویکردی که ضمن کاهش هزینه‌ها و صرفه‌جویی در زمان، امکان تصمیم‌گیری فوری در مدیریت بحران را فراهم می‌کند. بنابراین با فرض محدودیت در دسترسی به داده‌های متعدد و تفصیلی، نقشه خطر به‌عنوان نمایانگر شدت و احتمال سیل منطقه، تولید شد و مورداستفاده قرار گرفت و برای تولید نقشه آسیب‌پذیری از داده‌های با دقت بالا و در دسترس ESA World Cover بهره گرفته شد. پس از بازطبقه‌بندی این داده، مناطق ساخت بشر، جاده‌ها و زمین‌های کشاورزی به‌عنوان مناطق با آسیب‌پذیری بیشتر نسبت به سایر عوارض مشخص شدند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، در منطقه چابهار ۲ درصد و در آق‌قلا ۲۱ درصد از منطقه در دسته ریسک زیاد و خیلی زیاد قرار دارد. همان‌طور که در نتایج بررسی شد، نمودارهای درصد خطر و ریسک در هر دو منطقه مطالعاتی بیانگر آن است که باوجود بالا بودن مناطق با خطر زیاد و خیلی زیاد، به‌ویژه در چابهار پس از ترکیب با آسیب‌پذیری، درصد کمتری از منطقه دارای ریسک بالا و خیلی بالا است. این موضوع که باعث تشخیص مناطق بااهمیت بالاتر ازنظر احتمال آسیب و خسارات دیدن براثر سیل می‌شود، اهمیت ارزیابی ریسک سیلاب را برجسته می‌کند. بنابراین برای مدیریت اصولی بحران،

برنامه‌ریزی پیشگیرانه و اتخاذ تدابیر مناسب برای کاهش خطرات ناشی از سیل باید اطلاعات و جنبه‌های مختلف را در نظر گرفت. در این زمینه داده ریسک این امکان را فراهم می‌کند که به‌طور هم‌زمان احتمال و شدت سیل و همچنین حساسیت منطقه به خسارت دیدن در نظر گرفته شود.

پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی تمرکز بیشتری بر تولید نقشه‌های آسیب‌پذیری شود. با افزودن لایه‌های اطلاعاتی نظیر تراکم جمعیت و کاربری/پوشش زمین با طبقه‌بندی دقیق‌تر و سایر اطلاعات از منابعی مانند ادارات دولتی و ترکیب این داده‌ها به‌وسیله روش‌هایی مانند AHP، نقشه‌های آسیب‌پذیری جامع‌تری تولید شود.

References

Al-Areeq, A. M., Abba, S., Yassin, M. A., Benaafi, M., Ghaleb, M., & Aljundi, I. H. (2022). Computational Machine Learning Approach for Flood Susceptibility Assessment Integrated with Remote Sensing and GIS Techniques from Jeddah, Saudi Arabia. *Remote Sensing, 14*(21), 5515 .

Antzoulatos, G., Kouloglou, I.-O., Bakratsas, M., Moumtzidou, A., Gialampoukidis, I., Karakostas, A., . . . Ferri, M. (2022). Flood hazard and risk mapping by applying an explainable machine learning framework using satellite imagery and GIS data. *Sustainability, 14*(6), 3251 .

Armenakis, C., Du, E. X., Natesan, S., Persad, R. A., & Zhang, Y. (2017). Flood risk assessment in urban areas based on spatial analytics and social factors. *Geosciences, 7*(4), 123 .

Danumah, J. H., Odai, S. N ,.Saley, B. M., Szarzynski, J., Thiel, M., Kwaku, A., . . . Akpa, L. Y. (2016). Flood risk assessment and mapping in Abidjan district using multi-criteria analysis (AHP) model and geoinformation techniques,(cote d'ivoire). *Geoenvironmental Disasters, 3*, 1 .۱۳-

Darabi, H., Choubin, B., Rahmati, O., Haghighi, A. T., Pradhan, B., & Kløve, B. (2019). Urban flood risk mapping using the GARP and QUEST models: A comparative study of machine learning techniques. *Journal of hydrology, 569*, 142-154 .

Farhadi, H & ,.Najafzadeh, M. (2021). Flood risk mapping by remote sensing data and random forest technique. *Water, 13*(21), 3115 .

Habibi, A., Delavar, M. R., Nazari, B., Pirasteh, S., & Sadeghian, M. S. (2023). A novel approach for flood hazard assessment using hybridized ensemble models and feature selection algorithms. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 122*, 103443 .

Hamidi, E., Peter, B. G., Moftakhari, H., & Moradkhani, H. (2025). A multi-source remote sensing-based geocommunication tool for global flood monitoring and management. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 142*, 104701 .

Khaing, Z. M., Zhang, K., Sawano, H., Shrestha, B. B., Sayama, T., & Nakamura, K. (2019). Flood hazard mapping and assessment in data-scarce Nyaungdon area, Myanmar. *PLoS One, 14*(11), e0224558 .

Liu, J., Xu, Z., Chen, F., Chen, F., & Zhang, L. (2019). Flood hazard mapping and assessment on the Angkor world heritage site, Cambodia. *Remote Sensing, 11*(1), 98 .

Nguyen, H .D., Fox, D., Dang, D. K., Pham, L. T., Viet Du, Q. V., Nguyen, T. H. T., . . . Nguyen, Q.-H. (2021). Predicting future urban flood risk using land change and hydraulic modeling in a river watershed in the central Province of Vietnam. *Remote Sensing, 13* .۲۶۲ ,(۲)

Parsian, S., Amani, M., Moghimi, A., Ghorbanian, A., & Mahdavi, S. (2021). Flood hazard mapping using fuzzy logic, analytical hierarchy process, and multi-source geospatial datasets. *Remote Sensing, 13*(23), 4761 .

Pham, B. T., Luu, C., Van Dao, D ,.Van Phong, T., Nguyen, H. D., Van Le, H., . . . Prakash, I. (2021). Flood risk assessment using deep learning integrated with multi-criteria decision analysis. *Knowledge-based systems, 219*, 106899 .

Radwan, F., Alazba, A., & Mossad, A. (2019). Flood risk assessment and mapping using AHP in arid and semiarid regions. *Acta Geophysica, 67*, 215-229 .

Rincón, D., Khan, U. T., & Armenakis, C. (2018). Flood risk mapping using GIS and multi-criteria analysis: A greater Toronto area case study. *Geosciences, 8* .۲۷۵ ,(۸)

Schanze, J., Zeman, E., & Marsalek, J. (2007). *Flood risk management: hazards, vulnerability and mitigation measures* (Vol. 67): Springer Science & Business Media.

Usmani, M., Bhatti, H. M. T., Nanni, R., Bovolo, F., & Napolitano, M. (2025). Flood mapping and impact analysis by fusion of remote sensing and open geospatial data: Sindh case study. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 28*(2), 357-369 .

Usta, M., & Duha, A. (2021). *The role of risk components and spatial dependence in flood risk estimations*.

Varma, A. K., Dhote, A., Mathew, A., Naresh, C., & Shekar, P. R. (2025). Flood Hazard Zonation Using Remote Sensing, Geographic Information System, and Analytic Hierarchy Process in the Bhagirathi River Basin, Uttarakhand, India. *Results in Earth Sciences*, 100105 .

Vojtek, M., & Vojteková, J. (2016). Flood hazard and flood risk assessment at the local spatial scale: a case study. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, *7*(6), 1973-1992 .

Wondim, Y. K. (2016). Flood hazard and risk assessment using GIS and remote sensing in lower Awash sub-basin, Ethiopia. *Journal of Environment and Earth Science*, *6*(9), 69-86 .