

Assessment of Social and Structural Vulnerability of Human Settlements Exposed to Flood Risk

Case Study: A Six-Kilometer River Reach between Amir Kabir Dam and Karaj City

Original Article

Fatemeh Zarghami¹, Seyed Ali Jozi^{2*}, Mojgan Zaeimdar³, Rokhshad Hejazi³

1- Ph.D. Candidate, Department of Environment, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- Professor, Department of Environment, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

3- Assistant Professor, Department of Environment, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article History

Received: 2025-03-05

Revised: 2025-04-26

Accepted: 2025-05-07

Keywords

Alborz

Flood Hazard

Flood Risk

Resilience

Social Vulnerability

ABSTRACT

Introduction

Rivers have long played a central and multifaceted role in shaping human civilizations and supporting natural ecosystems. As dynamic and life-sustaining components of the environment, rivers are critical sources of freshwater for drinking, irrigation, and industrial use, but also serve as natural corridors for transportation, biodiversity conservation, and ecological balance. Historically, many human settlements have been established near rivers due to the availability of water, fertile lands, and ease of access and trade. However, the very characteristics that make rivers vital—their variability and dynamic flow patterns—also make them sources of natural hazards, particularly flooding. This is especially pronounced in mountainous regions or areas subject to intense and irregular rainfall, where the risk of flash floods is significantly elevated. Floods are among the most frequent and destructive natural disasters globally, resulting in yearly loss of life, displacement, and economic damage. With the ongoing impacts of climate change, precipitation and runoff patterns have become increasingly unpredictable, amplifying the frequency and intensity of flood events. This heightened flood risk is especially problematic in regions where urban development has outpaced infrastructure planning or where governance systems cannot implement and enforce adequate water and land management strategies. In such contexts, vulnerability to flood disasters is markedly increased, particularly in areas where populations are concentrated and infrastructure is either aging or poorly constructed.

One of the most vulnerable zones in any riverine system is the downstream area of large dams. While dams are typically constructed to regulate water flow, generate hydroelectric power, and manage water supply, they can inadvertently contribute to increased flood risk under certain conditions, such as unexpected discharge, structural failure, or extreme weather events. Moreover, human encroachment into riverbeds and buffer zones further exacerbates vulnerability. Illegal construction, lack of zoning regulations, inadequate early warning systems, and low public awareness about flood risks are all contributing factors. The current study focuses on a six-kilometer stretch of the Karaj River located downstream of the Amir Kabir Dam, situated in Alborz Province within the urban limits of Karaj city. This area has been identified as particularly susceptible to sudden and severe flood events due to several compounding factors, including steep topography, high population density, and irregular water releases from the dam. In addition to these environmental and infrastructural vulnerabilities, social factors such as poverty, lack of education, and limited access to information further contribute to the region's overall exposure to flood risks.

Materials and Methods

To comprehensively assess the vulnerability of human communities to flood hazards in the selected area, a mixed-methods approach was adopted, incorporating both quantitative and qualitative research meth-

* Corresponding author: jozi1973seyedali@gmail.com

odologies. The study was executed in three phases: hydrological and statistical analysis, hydraulic modeling, and social-physical vulnerability assessment. In the first phase, historical hydrological data on the Karaj River's peak instantaneous discharge rates were collected and analyzed. Flood frequency analysis was conducted using SMADA (Stormwater Management and Design Aid), a software for hydrological modeling and statistical analysis. This involved fitting various probability distributions to the discharge data to estimate flood magnitudes for different return periods, such as the 10-year, 50-year, and 100-year floods. The outputs from this phase provided critical input parameters for subsequent flood hazard modeling and risk assessments. The second phase involved the hydraulic simulation of flood behavior under different scenarios using the HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) software, a powerful and widely-used tool for modeling one-dimensional and two-dimensional surface water flow. Inputs for the model included a Digital Elevation Model (DEM), cross-sectional profiles of the river, hydrological discharge data from the previous phase, and relevant boundary conditions. The model enabled the generation of flood inundation maps for varying levels of flow intensity, clearly delineating flood-prone zones and allowing for precise spatial identification of areas at risk. Once flood hazard zones were mapped, the third phase focused on identifying and analyzing human settlements in at-risk areas. A total of 588 residential units were identified within the study buffer, with 72 directly located in high-risk zones. These were analyzed in detail based on location, construction type, usage status, and demographic composition. Further investigation included a physical vulnerability assessment of buildings, which took into account factors such as construction materials, building elevation, structural age, and resistance to water flow and moisture. To provide a more holistic understanding of vulnerability, social data were collected through structured questionnaires distributed to 136 households and semi-structured interviews with six technical experts and four professionals in the fields of urban planning, hydrology, and disaster management. Additionally, secondary data were obtained from statistical yearbooks, municipal records, and official zoning maps. The collected data were analyzed using statistical and spatial analysis techniques, and composite indices for social and physical vulnerability were developed to guide interpretation and policy recommendations.

Findings

The study's findings reveal a high degree of social vulnerability in the study area. Residents were categorized into four vulnerability levels based on indicators, including educational attainment, income level, family size, past flood experience, social cohesion, and risk awareness. The results indicated that 9% of the population falls into the "very high" social vulnerability category, 25% into "high," 44% into "moderate," and 22% into "low." Many community members lack ade-

quate knowledge of flood risks and are not engaged in disaster preparedness or response planning. In terms of physical vulnerability, 44% of the buildings were found to have "low" sensitivity to floods, 33% "moderate," 18% "high," and 4% "very high." High-sensitivity buildings are typically located closest to the river channel and often constructed with inadequate materials or design standards. Many of these buildings lack the necessary elevation above flood levels and are not designed to withstand water flow pressures during flooding events. The juxtaposition of these two dimensions—social and physical vulnerability—paints a concerning picture of the area's overall flood risk. The findings highlight the convergence of environmental exposure, infrastructural weakness, and social fragility, compounding the region's susceptibility to disaster.

Conclusion

The results of this study underscore the urgent need for comprehensive, multi-sectoral interventions to reduce flood risk and build community resilience in the Karaj River's downstream zone. The current state of infrastructure, governance, and community preparedness is insufficient to cope with the scale and intensity of potential flood hazards. Several key factors have contributed to the region's vulnerability, including weak enforcement of land use policies, low public awareness, unauthorized development in flood-prone areas, and the absence of real-time monitoring and warning systems.

To address these challenges, the study offers the following strategic recommendations:

1. Development and regular updating of flood hazard maps based on advanced hydrological and hydraulic modeling to support informed decision-making;
2. Enforcement of construction restrictions in high-risk areas, coupled with the introduction of robust legal frameworks to prevent unauthorized development;
3. Investment in flood management infrastructure, including stormwater drainage systems and retention basins to regulate and control runoff;
4. Implementation of community education and awareness programs focused on flood risk, emergency response, and resilient behaviors;
5. Strengthening of local capacity and community empowerment initiatives to enhance social cohesion and adaptive capacity in the face of natural hazards;
6. Deployment of early warning technologies and emergency communication systems tailored to local needs and capacities.

Ultimately, the analytical and methodological framework developed in this study can serve as a replicable model for flood risk assessment in other vulnerable regions across the country. Integrating numerical modeling, spatial analysis, and social assessment with participatory approaches offers a powerful foundation for designing more effective and inclusive disaster risk reduction strategies at both local and national levels.

COPYRIGHTS

©2022 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.



HOW TO CITE THIS ARTICLE

Zarghami F. Jozi S. A. Zaeimdar M. Hejazi R. Assessment of Social and Structural Vulnerability of Human Settlements Exposed to Flood Risk; Case Study: A Six-Kilometer River Reach between Amir Kabir Dam and Karaj City. *Urban Economics and Planning* Vol 6(2):52-69. [In Persian]

DOI: 10.22034/UEP.2025.510211.1607



ارزیابی آسیب‌پذیری اجتماعی و ساختاری سکونتگاه‌های انسانی در معرض خطر سیل مطالعه موردی: (بازه رودخانه به طول شش کیلومتر حد واسط سد امیر کبیر و شهر کرج)

مقاله پژوهشی

فاطمه زرغامی^۱؛ سید علی جوزی^۲؛ مژگان زعیمدار^۳؛ رخشاد حجازی^۲

۱- پژوهشگر دوره دکتری، گروه محیط زیست، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- استاد، گروه محیط زیست، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳- استادیار، گروه محیط زیست، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده

مقدمه

رودخانه‌ها به عنوان عناصر حیاتی و پویای اکوسیستم‌های طبیعی، از دیرباز نقش محوری در شکل‌گیری تمدن‌ها و توسعه زیست‌محیطی ایفا کرده‌اند. این عناصر طبیعی نه تنها منبع مهمی برای تأمین آب شرب، کشاورزی و صنعت هستند، بلکه در شکل‌گیری سکونتگاه‌های انسانی، ایجاد بسترهای حمل‌ونقل طبیعی و حفظ تعادل زیست‌بوم‌ها نیز نقشی اساسی دارند. با این حال، ویژگی‌های پویا و گاه غیرقابل پیش‌بینی رفتار رودخانه‌ها، به‌ویژه در مناطق کوهستانی یا مناطقی با بارش‌های شدید، همواره زمینه‌ساز وقوع خطرانی همچون سیلاب بوده است. پدیده سیلاب، که به عنوان یکی از بلاهای رایج و مخرب طبیعی شناخته می‌شود، سالانه خسارت‌های مالی و جانی گسترده‌ای در سراسر جهان به جا می‌گذارد. در شرایط اقلیمی فعلی که با تغییرات قابل توجهی در الگوهای بارندگی و شدت جریان‌ها همراه است، ریسک سیلاب‌ها نیز به طور چشمگیری افزایش یافته است. این افزایش ریسک، به‌ویژه در مناطقی که از نظر تراکم جمعیتی، توسعه نامتوازن شهری، فقدان زیرساخت‌های مناسب و عدم مدیریت اصولی منابع آب در شرایط بحرانی هستند، می‌تواند به بروز بحران‌های جدی و گسترده منجر شود. در این میان، نواحی واقع در پایین دست سدها، که از یک سو تحت تأثیر تغییرات مصنوعی در رژیم جریان و از سوی دیگر، در معرض رشد نامنظم سکونتگاه‌های انسانی هستند، با خطراتی مضاعف مواجه‌اند. مطالعه حاضر با هدف تحلیل و ارزیابی میزان آسیب‌پذیری جوامع انسانی نسبت به خطر وقوع سیلاب، در بازه‌ای شش کیلومتری از رودخانه کرج واقع در پایین دست سد امیر کبیر (در استان البرز و محدوده شهری کرج) طراحی و اجرا شده است. این منطقه، به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص، شیب زیاد، تمرکز بالای جمعیت، و نیز تخلیه منظم و گاه پیش‌بینی نشده آب از سد، مستعد وقوع سیلاب‌های شدید و ناگهانی است. ساخت‌وسازهای غیرمجاز، اشغال غیرقانونی بستر و حریم رودخانه، و نبود سیستم‌های هشدار سریع از دیگر عواملی هستند که بر شدت آسیب‌پذیری منطقه افزوده‌اند.

مواد و روش‌ها

برای دستیابی به تحلیل دقیق و چندجانبه از وضعیت آسیب‌پذیری در محدوده مورد نظر، این پژوهش از ترکیبی از روش‌های کمی و کیفی بهره گرفته است. در گام نخست، با استفاده از داده‌های تاریخی ثبت‌شده از دبی‌های حداکثر لحظه‌ای رودخانه، تحلیل‌های آماری مربوط به فراوانی سیلاب انجام شد. ابزار اصلی این مرحله، نرم‌افزار SMADA بود که با تحلیل سری‌های زمانی و محاسبه پارامترهای توزیع آماری، جریان‌های با احتمال وقوع‌های متفاوت (از جمله دوره بازگشت صدساله) را مدل‌سازی کرد. این اطلاعات پایه‌ای برای سنجش میزان خطرپذیری منطقه و انتخاب شرایط طراحی در مراحل بعدی بود. در مرحله دوم، مدل‌سازی هیدرولیکی رودخانه با بهره‌گیری از نرم‌افزار HEC-RAS صورت گرفت. این نرم‌افزار از پرکاربردترین ابزارهای شبیه‌سازی جریان‌های سطحی و رودخانه‌ای به شمار

اطلاعات مقاله

تاریخ‌های مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۷

کلمات کلیدی

آسیب‌پذیری اجتماعی
البرز
تاب‌آوری
خطر سیل
ریسک سیل

دارند. معیارهای سنجش در این بخش شامل نوع مصالح ساختمانی، ارتفاع بنا از سطح زمین، سن سازه، نحوه ساخت، و مقاومت در برابر رطوبت و جریان سیلاب بود. درخور یادآوری است که بخش عمده‌ای از واحدهای با حساسیت بالا در نزدیکی‌ترین فاصله از بستر رودخانه واقع شده‌اند که همین امر، خطر را دوچندان می‌کند.

نتیجه‌گیری

ترکیب یافته‌های اجتماعی و کالبدی این پژوهش نشان می‌دهد منطقه مورد مطالعه در معرض چالشی جدی و چندبعدی از نظر خطر سیلاب قرار دارد. ضعف زیرساخت‌های ایمنی، ناآگاهی عمومی، ساخت‌وسازهای غیراصولی، و نبود برنامه‌ریزی جامع برای مدیریت حریم رودخانه از مهم‌ترین عوامل تشدیدکننده آسیب‌پذیری در این منطقه هستند. بر این اساس، ضرورت مداخله فوری و چندجانبه برای کاهش ریسک، اجتناب‌ناپذیر است. در این راستا، پیشنهاد می‌شود اقدامات زیر در اولویت قرار گیرند:

۱. تهیه و به‌روزرسانی نقشه‌های خطر سیلاب بر مبنای مدل‌های هیدرولوژیکی دقیق؛
 ۲. محدودسازی و مدیریت ساخت‌وساز در نواحی پرخطر از طریق وضع قوانین بازدارنده؛
 ۳. توسعه زیرساخت‌های ایمن‌سازی و زهکشی برای کنترل و هدایت روان‌آب‌ها؛
 ۴. ارتقای آگاهی عمومی و آموزش همگانی در حوزه مدیریت بحران و رفتارهای ایمن؛
 ۵. توانمندسازی جوامع محلی برای افزایش تاب‌آوری اجتماعی در برابر بحران‌های طبیعی؛
 ۶. استفاده از فناوری‌های هشدار سریع و سامانه‌های اطلاع‌رسانی اضطراری در سطح محلی.
- در مجموع، یافته‌های این پژوهش با ارائه چارچوبی تحلیلی و کاربردی، می‌تواند به عنوان الگویی برای ارزیابی آسیب‌پذیری در سایر نواحی کشور نیز مورد استفاده قرار گیرند. ادغام روش‌های مدل‌سازی عددی با تحلیل‌های اجتماعی و مشارکت مردمی، می‌تواند راهگشای تدوین سیاست‌هایی جامع‌تر و کارآمدتر برای مدیریت و کاهش خطرات سیلاب در سطح ملی باشد.

می‌رود که توانایی مدل‌سازی دوبعدی جریان‌های سیلابی را دارد. ورودی‌های این مدل شامل مدل رقمی ارتفاع (DEM)، مقاطع عرضی رودخانه، اطلاعات هیدرولوژیکی دبی و داده‌های شرایط مرزی بودند. با استفاده از این داده‌ها، نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیلاب برای سناریوهای مختلف تولید شد. این نقشه‌ها به روشنی نواحی در معرض خطر را تفکیک کرده و مبنایی برای تحلیل مکانی سکونتگاه‌ها فراهم کردند. پس از تهیه نقشه‌های خطر، شناسایی و تحلیل سکونتگاه‌های انسانی در محدوده انجام گرفت. در مجموع، ۵۸۸ واحد مسکونی در حریم مورد مطالعه قرار داشت که از این تعداد، ۷۲ واحد مستقیم در معرض خطر قرار داشتند. این واحدها به لحاظ موقعیت مکانی، نوع ساخت، وضعیت بهره‌برداری و ویژگی‌های جمعیتی بررسی شدند و به عنوان نمونه‌های حساس‌تر مورد تحلیل عمیق‌تر قرار گرفتند. برای تکمیل ارزیابی، به تحلیل آسیب‌پذیری اجتماعی و کالبدی منطقه پرداخته شد. در این راستا، داده‌های ثانویه‌ای از منابع آماری، گزارش‌های نهادهای مسئول (نظیر سازمان مدیریت بحران، شهرداری و آب منطقه‌ای)، و نقشه‌های رسمی شهری گردآوری شد. به‌علاوه، داده‌های میدانی با استفاده از پرسشنامه‌های ساختارمند از ۱۳۶ خانوار ساکن در منطقه و نیز مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با ۶ کارشناس ۴ متخصص حوزه‌های مرتبط جمع‌آوری شد. تحلیل داده‌ها با رویکردهای آماری و مکانی انجام شده و شاخص‌هایی برای آسیب‌پذیری اجتماعی و کالبدی تعریف و محاسبه شد.

یافته‌ها

نتایج تحلیل‌ها نشان داد آسیب‌پذیری اجتماعی در منطقه مورد مطالعه از شدت و تنوع بالایی برخوردار است. به‌طور دقیق‌تر، ۹ درصد از جمعیت منطقه در محدوده دارای آسیب‌پذیری اجتماعی «خیلی زیاد»، ۲۵ درصد «زیاد»، ۴۴ درصد «متوسط» و ۲۲ درصد «کم» قرار گرفتند. این سطوح آسیب‌پذیری، بر مبنای عواملی همچون سطح سواد، درآمد، تعداد اعضای خانوار، سابقه مواجهه با سیلاب، میزان مشارکت اجتماعی و آگاهی از خطرات سنجیده شد. نتایج حاکی از آن بود که بسیاری از ساکنان منطقه نسبت به خطرات سیلاب آگاهی کافی نداشته و از برنامه‌های پیشگیرانه نیز اطلاع چندانی ندارند.

از منظر کالبدی، نتایج تحلیل حساسیت فیزیکی ساختمان‌ها نسبت به سیلاب نشان داد ۴۴ درصد ساختمان‌ها در طبقه «کم»، ۳۳ درصد در طبقه «متوسط»، ۱۸ درصد در طبقه «زیاد» و ۴ درصد در طبقه «خیلی زیاد» قرار

مقدمه

سیلاب‌ها از مخرب‌ترین مخاطرات طبیعی در جهان محسوب می‌شوند. درک دقیق‌تر خطر سیل و پیامدهای احتمالی آن برای جامعه، نقش اساسی در تدوین سیاست‌های کنترل سیلاب، اجرای پروژه‌های کاهش ریسک و توسعه استراتژی‌های مدیریت سیل ایفا می‌کند (Peng & Zhang, 2022). طی زمان، نیاز به حفاظت در برابر سیلاب و باور به توانایی انسان در کنترل آن، منجر به گسترش دیدگاه‌های مبتنی بر مهار و مدیریت سیل شده است. با این حال، از اوایل قرن بیستم، مفاهیم مدرن مدیریت ریسک سیلاب مطرح و توسعه یافتند (Rezai moghadam & Rahimpur, 2024). با افزایش تحقیقات و هم‌زمان رشد خسارت‌های ناشی از سیلاب، ضرورت اتخاذ رویکردی جدید تحت عنوان «ریسک سیل» احساس شد؛ رویکردی که مفهوم ریسک را نه فقط در چارچوب نظری، بلکه در فرایندهای عملی تصمیم‌گیری نیز به کار گیرد (Alexander & Mees, 2016). ریسک سیل حاصل تعامل میان خطر سیل (ترکیب احتمال وقوع و شدت آن) و آسیب‌پذیری انسان‌ها، املاک و دارایی‌های آن‌ها است. میزان خطر و آسیب‌پذیری، ارتباط مستقیمی با نوع سیل و فرایندهای مؤثر بر آن دارد (Yin et al., 2021). نتایج ارزیابی ریسک سیل، میزان پیامدهای احتمالی ناشی از وقوع سیلاب در یک منطقه را نشان می‌دهد. استفاده از این نقشه‌ها در کنار ارزیابی‌های اقتصادی، ابزاری کارآمد برای برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری به شمار می‌رود. بنابراین، ضروری است که روش‌ها و ابزارهای بررسی پیامدهای نامطلوب ریسک سیل، به صورت جامع، منسجم و یکپارچه توسعه یابند تا تصمیم‌گیران و کارشناسان بتوانند با شناسایی راهکارهای اولویت‌دار، میان ملاحظات اقتصادی، اجتماعی و محیطی تعادل برقرار کنند و تعارض‌های اجتماعی را کاهش دهند. به طور کلی، ارزیابی ریسک سیل شامل سه مؤلفه اصلی است: خطر، آسیب‌پذیری و میزان قرارگیری در معرض سیلاب (Cai et al., 2019). در این میان، آسیب‌پذیری یکی از عناصر کلیدی در مدیریت مبتنی بر ریسک سیلاب محسوب می‌شود. نقشه آسیب‌پذیری، ترکیبی از عوامل فیزیکی و محیطی به همراه شاخص‌های اجتماعی، رفتاری و ساختاری است (Dong et al., 2024; Balica et al., 2015). با وجود وقوع سیلاب‌های اخیر در محدوده مورد مطالعه (رودخانه حد واسط سد امیرکبیر و شهر کرج)، دستگاه‌های متولی همچنان بر رویکرد کنترل تمرکز دارند. متأسفانه، این رویکرد نتوانسته است از خسارت‌های ناشی از سیلاب جلوگیری کند. به طور کلی، در ایران بیشتر بر مؤلفه‌های خطر سیلاب تأکید شده است، اما این تنها یکی از عوامل مؤثر در جلوگیری از خسارت‌ها و تبعات ناشی از سیلاب‌ها نیست. به بیان دیگر، رویکرد کنونی، که بیشتر بر کنترل سیلاب‌ها از طریق اقدامات فنی و مهندسی متمرکز است، نه تنها نتوانسته است به طور مؤثر از آسیب‌ها و خسارت‌ها جلوگیری کند، بلکه در مواردی موجب افزایش آسیب‌پذیری مناطق مختلف در برابر سیلاب‌ها نیز شده است. این امر نشان‌دهنده نیاز به یک نگرش جامع‌تر و به‌روزتر در مواجهه با بحران‌های طبیعی است. در بسیاری از نقاط کشور، تمرکز بر مؤلفه‌های خطر سیلاب، مانند میزان بارندگی، شدت سیلاب و ویژگی‌های طبیعی محیطی مانند شیب زمین، به تنهایی نمی‌تواند پاسخ‌گوی مشکلات و آسیب‌های ناشی از سیلاب‌ها باشد. این در حالی است که سیلاب‌ها به عنوان یک پدیده پیچیده و چندبعدی، علاوه بر مؤلفه‌های خطر، نیازمند توجه به سایر عوامل نیز هستند. از جمله این عوامل می‌توان به آسیب‌پذیری جوامع و زیرساخت‌ها و نیز معرض قرار گرفتن مناطق مختلف اشاره کرد. به بیان دیگر، این واقعیت که بسیاری از مناطق مسکونی و زیرساخت‌ها در معرض خطر سیلاب‌ها قرار دارند، به تنهایی نشان‌دهنده ناکافی بودن رویکردهای کنترل سنتی است. در این راستا، این تحقیق روی یکی از مؤلفه‌های مهم رویکرد ریسک‌محور سیلاب متمرکز می‌شود و به بررسی مؤلفه‌های خطر، آسیب‌پذیری و معرض قرار گرفتن می‌پردازد. رویکرد ریسک‌محور به طور خاص بر تحلیل و ارزیابی مجموعه عوامل مختلفی که در وقوع و تبعات سیلاب تأثیرگذارند، متمرکز است. این رویکرد به جای تمرکز صرف بر کنترل سیلاب‌ها، به شناسایی و کاهش آسیب‌پذیری مناطق در برابر سیلاب و

همچنین، مدیریت معرض قرار گرفتن آن‌ها در برابر این پدیده طبیعی می‌پردازد. در این تحقیق، برای بررسی و تحلیل مؤلفه‌های مختلف ریسک سیلاب، بازه‌ای از رودخانه پایین‌دست سد امیرکبیر (سد کرج) به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است. این منطقه به دلیل ویژگی‌های خاص جغرافیایی و زیست‌محیطی، به عنوان یک الگو برای بررسی و تحلیل پدیده سیلاب در نظر گرفته شده است. انتخاب این منطقه به عنوان نمونه‌ای از مناطق مستعد سیلاب، امکان شبیه‌سازی و پیش‌بینی خطرات احتمالی را در شرایط مختلف فراهم می‌آورد و می‌تواند به عنوان الگویی برای سایر مناطق نیز مورد استفاده قرار گیرد. هدف این تحقیق، ارائه چارچوبی جامع برای مدیریت ریسک‌محور سیلاب‌ها است که علاوه بر توجه به مؤلفه‌های خطر، به سایر جنبه‌های پیچیده این پدیده، از جمله آسیب‌پذیری و معرض قرار گرفتن، پرداخته شود. به این ترتیب، این تحقیق می‌تواند به ارتقای سطح آگاهی و توانمندی دستگاه‌های متولی در مدیریت بهینه بحران سیلاب کمک کند و موجب بهبود وضعیت تاب‌آوری جوامع در برابر این پدیده طبیعی شود.

پیشینه تحقیق

احمدی و همکاران (۲۰۲۳) به ارزیابی آسیب‌پذیری کشاورزان در برابر وقوع سیل در روستاهای حوضه آبخیز افرینه، استان لرستان پرداخته‌اند. این تحقیق با استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده از ۳۵ خانوار و ارزیابی آسیب‌پذیری با رویکرد مبتنی بر شاخص‌ها در قالب سه مؤلفه مواجهه، حساسیت و ظرفیت سازگاری انجام شده است. تحلیل داده‌ها با استفاده از تحلیل خوشه‌ای و تحلیل واریانس صورت گرفته است. طبق نتایج تحقیق، اکثر خانوارها در طبقه آسیب‌پذیری متوسط قرار دارند. تحقیق یادشده نشان داده است متنوع‌سازی محصولات و منابع درآمدی، تسهیل به مشارکت در تشکلات روستایی و تقویت سرمایه اجتماعی می‌تواند به کاهش اثرات مخاطره سیل کمک کند.

آوند و همکاران (۲۰۲۲) به ارزیابی آسیب‌پذیری حوضه آبخیز تجن از نظر سیلاب با استفاده از روش BWM پرداخته‌اند. در این تحقیق از روش BWM برای ارزیابی آسیب‌پذیری در برابر سیلاب استفاده شده است. نتایج تحقیق یادشده نشان می‌دهد این روش ابزاری مؤثر برای ارزیابی آسیب‌پذیری حوضه‌های آبخیز در برابر سیلاب‌ها است و قادر است به طور دقیق عوامل آسیب‌پذیری را شناسایی و تحلیل کند. همچنین، یافته‌ها نشان‌دهنده این است که می‌توان از این مدل برای برنامه‌ریزی بهتر و مدیریت ریسک سیلاب در این حوزه‌ها استفاده کرد.

میر اسدالمهی و همکاران (۲۰۲۰) به آسیب‌پذیری و تاب‌آوری سکونتگاه‌های شهری در برابر سیلاب با تأکید بر شاخص‌های اقتصادی و اجتماعی (مطالعه موردی: شهر گرگان) پرداخته‌اند. روش تحقیق پیمایشی و ابزار گردآوری اطلاعات پرسشنامه و روش تجزیه و تحلیل بر اساس آزمون‌های همبستگی و رگرسیون انجام شده است. جامعه آماری شامل شهروندان ساکن در اطراف رودخانه و مناطق سیل‌گیر بوده است. طبق یافته‌های تحقیق میانگین تاب‌آوری اجتماعی ۶۰/۸، میانگین تاب‌آوری اقتصادی (میزان خسارت‌ها) ۵۳/۴، میانگین ظرفیت تاب‌آوری جبران خسارت‌ها ۶۹/۸ و در نهایت میانگین توانایی برگشت به شرایط مناسب ۶۷/۴ درصد است. پایدار و سنجری (۲۰۱۶) طی پژوهشی به ارزیابی آسیب‌پذیری محلات شهر جیرفت در مقابل سیلاب پرداخته‌اند. در تحقیق یادشده معیارهای تلفات جانی، تعداد مصدوم‌ها، تخریب سکونتگاه‌ها در سه دهه اخیر، تخریب زیرساخت‌ها، کیفیت تأسیسات فیزیکی و سازه‌ای در نظر گرفته شده است. در تحقیق یادشده از مدل ارزیابی تولید وزن تجمعی و مدل WP استفاده شده است. طبق یافته‌های تحقیق ۲۵ درصد از مناطق مسکونی و ۱۸ درصد از زیرساخت‌ها در قلمروی رودخانه در معرض کلاس سیل خیلی زیاد هستند. مطوف و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیقی به ارزیابی آسیب‌پذیری و خطر سیل ناشی از عوامل انسانی در استان تهران با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS پرداخته‌اند. نتایج تحقیق یادشده نشان داد کاهش فاصله سکونتگاه‌های انسانی از حریم رودخانه‌ها و مسیل‌ها،

هستند و نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیلاب می‌توانند برای مدیریت بهینه خطر و پیشگیری از بلایا به کار گرفته شوند. ژانگ و همکاران (۲۰۲۱) در یک پژوهش جدید، رویکردی نوین برای ارزیابی خطر سیلاب‌های شهری بر اساس شبیه‌سازی‌های دقیق ارائه دادند. در این تحقیق، قانون توریجلی در یک مدل دینامیکی سیالات دوبعدی گنجانده شد و مدلی تحلیلی برای تخمین میزان آبگرفتگی ساختمان‌ها و شبیه‌سازی فرایندهای سیلابی توسعه یافت. این مدل برای شبیه‌سازی یک رویداد سیلاب واقعی در شهر اومیه‌چیما در ژاپن استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی با معیار کارایی نش - ساتکلیف (NSE) به ترتیب $0/7182$ و $0/6488$ نشان از دقت زیاد مدل داشت. این تحقیق نشان‌دهنده پتانسیل بالای این مدل برای ارزیابی خطر سیلاب‌های شهری است که می‌تواند در برنامه‌ریزی و مدیریت سیلاب‌ها مفید باشد. لین و همکاران (۲۰۱۹) یک چهارچوب جدید به منظور بررسی آسیب‌پذیری و برآورد ریسک سیل شهری، با در نظر گرفتن سه جنبه آسیب‌پذیری، خطر و تاب‌آوری ارائه می‌دهند. در این مقاله شاخص‌ها به کمک تجزیه و تحلیل داده‌های جغرافیایی هیدرولوژیکی و اقتصادی اجتماعی استخراج شده و شاخص‌ها به کمک روش AHP وزن‌دهی شده و در نهایت، نقشه توزیع مکانی ریسک سیلاب (برای منطقه شهری ژنگزو چین) به کمک GIS از طریق تجزیه و تحلیل وقایع سیل تاریخی از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۵ و داده‌های نظرسنجی ارائه شده است (Lin et al., 2019). باتاچارخ و بهرا (۲۰۱۸) به بررسی عوامل تعیین‌کننده آسیب‌پذیری و سازگاری خانوارها در مواجهه با سیل در غرب بنگال، هندوستان پرداختند. آنان به منظور ایجاد یک چهارچوب جامع برای اندازه‌گیری میزان آسیب‌پذیری خانوارها در معرض سیل از چهارچوب آسیب‌پذیری پیشنهاد شده توسط IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) و چهارچوب معیشت پایدار که توسط DFID (Department for international development) تهیه شده است استفاده کردند. نتایج پژوهش یادشده نشان داد ۳۵ درصد از سکونتگاه‌های انسانی در کلاس خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارند (Bhattacharjee and Behera., 2018). سولین و همکاران (۲۰۱۸) به ارزیابی آسیب‌پذیری خانوارها در مدیریت ریسک سیل در حوزه بالادست میجاوا در اسلوواکی پرداختند. داده‌ها از طریق آمار و پرسشنامه از خانوارها به دست آمده است. مواردی که پرسشنامه مطرح شده در ارتباط با در معرض قرار گرفتن هر خانوار به خطرات سیل، حساسیت ملک خانوارها به آسیب، حساسیت خانواده‌ها به آسیب‌های جسمانی و روحی و توانایی خانواده برای بهبودی از پیامدهای سیل بود. نتایج این تحقیق نشان داد در هر جامعه، هم اقدامات فردی و هم نهادی برای کاهش آسیب‌پذیری خانوارها به خطرات سیل لازم است (Solin et al., 2018). سیلوا و کاواساکی (۲۰۱۸) به بررسی تأثیر سیل و خشکسالی بر آسیب‌پذیری اقتصادی اجتماعی جامعه محلی سرلانکا پرداختند. آن‌ها رابطه بین ریسک بلایا، فقر و آسیب‌پذیری مرتبط با خانوارها و جوامع را بررسی کردند. داده‌ها از طریق نظرسنجی خانوارها جمع‌آوری شد نتایج آنان نشان داد خانواده‌ها برای معیشت خود به شدت به منابع طبیعی وابسته‌اند و کسانی که درآمد کم دارند از سیل بیشتر آسیب می‌بینند (Silva and Kawasaki., 2018). کوز و همکاران (۲۰۱۵) از ترکیب خطر، در معرض قرار گرفتن و آسیب‌پذیری اجتماعی به عنوان داده‌های ورودی به منظور مدیریت ریسک سیل برای شهر روتردام هلند استفاده کردند. در این تحقیق ویژگی‌های اجتماعی و جمعیت‌شناختی در سطح خانوار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و روشی مبتنی بر داده و آمار برای ارزیابی آسیب‌پذیری اجتماعی و ترکیب آن با خطر و در معرض قرار گرفتن ارائه شده است. همچنین، از شاخص‌های اجتماعی به‌دست‌آمده برای ارزیابی شیوه‌های مدیریت ریسک سیلاب و برای راهنمایی سیاست‌گذاران و دست‌اندرکاران به منظور مدیریت و اجرای سیاست‌های کاهش ریسک استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان داد اقدامات مدیریت ریسک سیلاب مانند تخلیه یا پوشش بیمه سیل، نباید در مناطق بزرگ به صورت همگن اعمال شود، بلکه باید بر اساس ویژگی‌های اجتماعی و اقتصادی هر خانوار و منطقه انجام گیرد (Koks et al., 2015). گین و همکاران (۲۰۱۵) یک رویکرد جامع ارزیابی ریسک سیل

تراکم آن‌ها در حریم رودخانه و دیگر موارد باعث افزایش میزان آسیب‌پذیری و افزایش خطر سیل می‌شود. در این تحقیق نتایج نشان می‌دهد ۲۲ درصد از ساخت‌وسازهای سکونتگاه‌ها و حتی زیرساخت‌های مانند شبکه حمل‌ونقل که در حریم رودخانه‌ها و مسیل‌ها بنا شده‌اند در معرض خطر سیل هستند. صفاری و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و منطق فازی به ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر خطر سیل پرداختند. نتایج این مطالعه که در منطقه ۳ تهران انجام شد نشان داد این منطقه مستعد خطرات ناشی از سیل است و رعایت نکردن حریم مسیل، مقاومت پایین ساختمان‌ها، ضریب رواناب بالا در مناطق مسکونی بیشترین اهمیت را در آسیب‌پذیری منطقه دارد و بیش از ۱۲ درصد منطقه کاملاً آسیب‌پذیر است. دونگ و همکاران (۲۰۲۴) یک چهارچوب جامع برای ارزیابی ریسک سیلاب‌های شهری در منطقه زهکشی گانگشی در ووهان، چین ارائه کردند. این چهارچوب شامل شبیه‌سازی‌های سناریویی و ارزیابی سیستم‌های خطر، معرض و آسیب‌پذیری است. از مدل‌های هیدرودینامیکی یک‌بعدی و دوبعدی برای تحلیل ویژگی‌های هیدرولوژیکی بحرانی، مانند عمق آب و سرعت جریان، استفاده شد. سپس، با ارزیابی شاخص‌های آسیب‌پذیری و معرض، ریسک سیلاب در مقیاس ریزمقیاس برای افراد و زیرساخت‌ها مورد بررسی قرار گرفت. این چهارچوب می‌تواند به عنوان مدل فنی برای اقدامات پیشگیری و کاهش فاجعه در سایر شهرها نیز به کار گرفته شود. دونگ و همکاران (۲۰۲۳) ارزیابی خطر سیلاب شدید شهری در ژنگزو، چین را انجام دادند. در این مطالعه، یک مدل هیدرودینامیکی و چهارچوب ارزیابی ریسک سیلاب برای بازسازی فرایند سیلاب شهری با ارزیابی دقیق خطرات مربوط به افراد و وسایل نقلیه ارائه شد. نتایج مدل یادشده نشان داد ۲۸/۹ درصد از ساختمان‌ها در معرض عمق آب بیش از ۰/۵ متر قرار دارند و جاده‌ها با عمق و سرعت جریان آب بالا بیشتر در معرض آسیب بودند. این تحقیق به طور خاص خطرات سیلاب را برای مردم و وسایل نقلیه مورد توجه قرار داده و می‌تواند در افزایش آگاهی و تاب‌آوری شهری مؤثر باشد. یلدیریم و همکاران (۲۰۲۳) در ایالت آیووا، آمریکا، ارزیابی خطر سیلاب در مقیاس اجتماعی را انجام دادند. در این پژوهش، از نقشه‌های سیل با دقت زیاد و داده‌های جامع برای تحلیل خطر سیلاب در سطح جامعه استفاده شد. نتایج نشان داد جوامع شرقی آیووا بیشتر در معرض خطر سیلاب هستند. این مطالعه به‌ویژه نشان داد داده‌های با وضوح پایین معمولاً در مطالعات سیلاب به تخمین‌های نادرستی منجر می‌شود و استفاده از داده‌های با وضوح بالا، تحلیل دقیق‌تری از خطر سیلاب فراهم می‌آورد. وو و همکاران (۲۰۲۲) در تحقیقی با استفاده از مدل تحلیل چندمعیاره AHP-Entropy، ریسک سیلاب بلندمدت و کوتاه‌مدت را در حوضه دریاچه پویانگ در چین ارزیابی کردند. در این تحقیق شش عامل خطر سیلاب و چهار عامل آسیب‌پذیری شناسایی و وزن‌دهی شدند. نتایج پژوهش یادشده نشان داد مناطق شمال شرقی حوضه دریاچه پویانگ بیشتر مستعد سیلاب هستند و نقشه‌های ارزیابی خطر نشان‌دهنده دقت زیاد مدل در پیش‌بینی خطر سیلاب بود. این مطالعه می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد برای مدیریت سیلاب و برنامه‌ریزی پیشگیرانه استفاده شود. پنگ و ژانگ (۲۰۲۲) ارزیابی خطر سیلاب شهری را در شهر ژنگزو با استفاده از روش ترکیبی نظریه بازی انجام دادند. این مطالعه نشان داد با استفاده از شش شاخص مختلف، مدل ترکیبی نظریه بازی توانست ارزیابی دقیقی از خطر سیلاب در این شهر ارائه دهد. نتایج پژوهش یادشده نشان داد این روش در شبیه‌سازی ریسک سیلاب بسیار مؤثر است و می‌تواند به عنوان ابزاری سریع و کارآمد برای ارزیابی خطر سیلاب در محیط‌های شهری استفاده شود. مناطق پرخطر عمدتاً در بخش‌های کم‌ارتفاع و بالاترین توسعه اقتصادی قرار دارند. چن و الکساندر (۲۰۲۲) در تحقیقی ارزیابی یکپارچه ریسک سیلاب در حوضه‌های رودخانه‌ای را بررسی کردند. این مطالعه در حوضه رودخانه دادر در جنوب غربی چین انجام شد و از ترکیب فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای ارزیابی خطر سیلاب استفاده کرد. نتایج پژوهش یادشده نشان داد بخش‌های جنوبی و پایین‌دست حوضه بیشتر در معرض سیلاب‌های مکرر

ارائه شده و مراحل انجام آن در شکل ۱ ارائه شده است.

$R = HVE$

(۱)

که در آن: R: ریسک (Risk); H: خطر (Hazard); V: آسیب‌پذیری (Vulnerability); E: مؤلفه در معرض قرار گرفتن (Exposure)، است. جزئیات هر یک از این مؤلفه‌ها در منبع (Giupponi et al, 2014) ارائه شده است. تمرکز اصلی این تحقیق روی مؤلفه‌های آسیب‌پذیری اجتماعی و ساختاری و همچنین درک و آگاهی جوامع محلی محدوده مورد مطالعه از ریسک سیل است تا وضعیت ظرفیت سازگاری و مدارا آن‌ها نسبت به خطر سیل مشخص شود. لذا مطابق شکل ۱، مراحل انجام این تحقیق به شرح زیر است:

۱- بخش اول: تهیه پهنه خطر: با توجه به اینکه تجزیه و تحلیل هیدرولوژیکی در ابتدای فرایند ارزیابی ریسک سیل قرار می‌گیرد، در بخش اول ابتدا تحلیلی از آمار بلندمدت دبی‌های حداکثر لحظه‌ای به منظور برآورد دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ سال توسط نرم‌افزار SMADA در محل ایستگاه هیدرومتری حوضه مورد به عمل آمد. در ادامه، بخش اول بر اساس نتایج هیدرولوژیکی و سایر پارامترهای فیزیکی، با استفاده از مدل هیدرودینامیکی HEC RAS به ارزیابی هیدرولوژیکی و تهیه متغیرهای جریان سیل در محدوده مکانی مورد مطالعه پرداخته شده است.

۲- بخش دوم: تعیین کاربری مناطق مسکونی و تعداد افراد در معرض پهنه خطر سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ سال

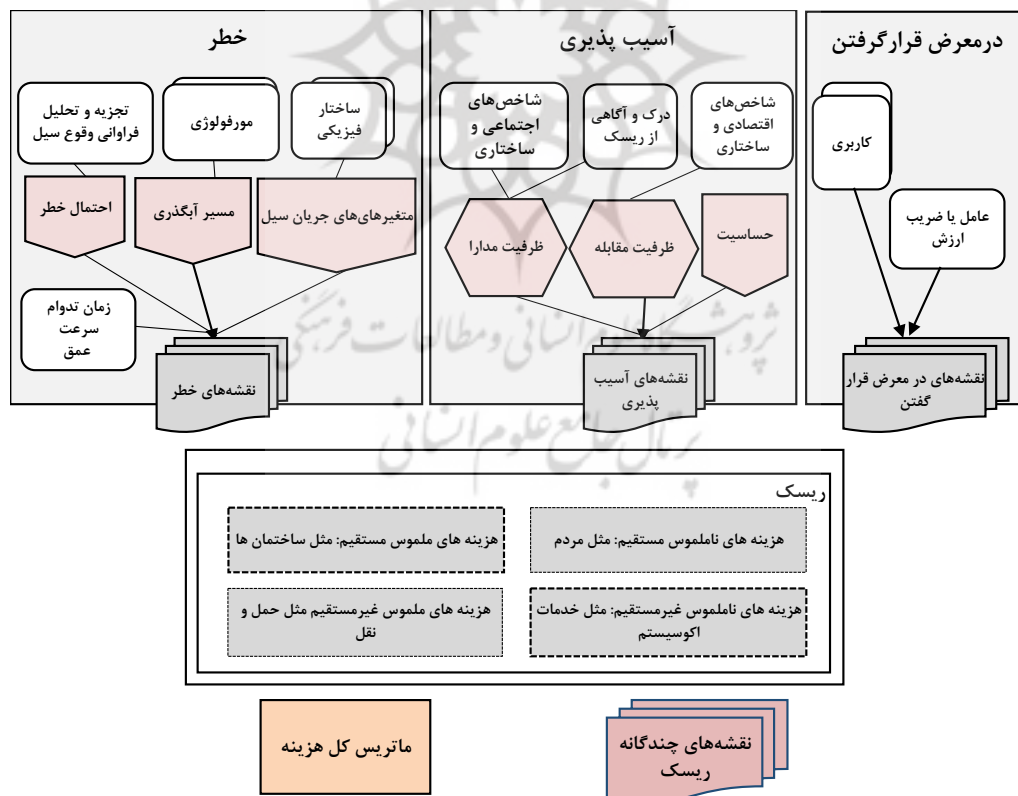
۳- بخش سوم: بررسی شاخص‌های آسیب‌پذیری شامل ظرفیت سازگاری، ظرفیت مدارا و حساسیت

با هدف ارزیابی خسارت ملموس، غیرملموس، مستقیم و غیرمستقیم همراه با در نظر گرفتن خطرات فیزیکی و آسیب‌پذیری‌های اجتماعی ارائه داده‌اند. در این پژوهش خطر سیل برای دوره‌های بازگشت مختلف با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-RAS محاسبه شده و آسیب‌پذیری از طریق تجمیع ابعاد مختلف اجتماعی (شاخص‌های ظرفیت‌های مقابله و ظرفیت انطباق و حساسیت) ارزیابی شده است. برای تجمیع شاخص‌ها، یک درخت سلسله‌مراتبی رسم شده و نتایج نهایی این مقاله، ماتریس هزینه کل و نقشه‌های ریسک برای منطقه مورد مطالعه است (Gain et al., 2015). جمع‌بندی این تحقیقات نشان می‌دهد ارزیابی آسیب‌پذیری سیل امری بسیار پیچیده بوده و بسته به رویکرد و منطقه مطالعاتی می‌تواند تغییر داشته باشد. ارزیابی آسیب‌پذیری در عمده این تحقیقات انجام شده در چهارچوب ارزیابی ریسک سیل انجام نشده است. همچنین، برای ارزیابی آسیب‌پذیری کمتر به بعد اجتماعی مدیریت ریسک سیل پرداخته شده است. لذا در این تحقیق بر اساس چهارچوب‌های استاندارد ریسک محور سیل ابتدا با استفاده از نتایج هیدرولوژیکی و مدل هیدرودینامیکی، مؤلفه‌های خطر و در معرض قرار گرفتن خطر بررسی شده و سپس به ارزیابی آسیب‌پذیری اجتماعی و ساختاری سکونتگاه‌های انسانی در معرض خطر پرداخته شده است.

■ مواد و روش‌ها

روش تحقیق

به طور کلی، جامع‌ترین رویکرد مورد استفاده برای محاسبه ریسک سیل به عنوان تابعی از خطر، آسیب‌پذیری و در معرض قرار گرفتن است در رابطه ۱



شکل ۱. چارچوب ریسک سیل (Giupponi et al, 2014)

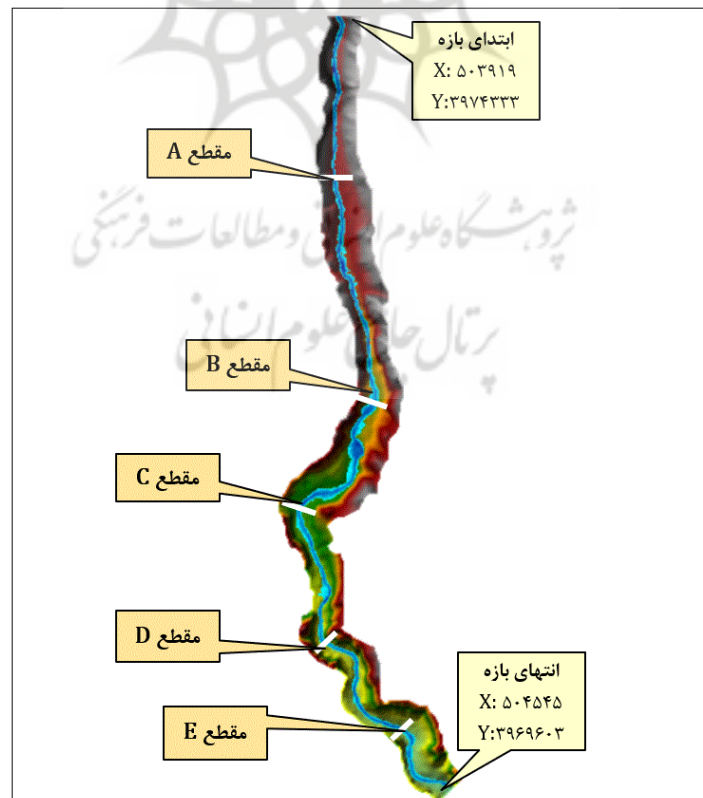
هیدرولوژیکی، نیازمند محاسبه دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ سال است. در این راستا، با استفاده از توزیع‌های آماری و نرم‌افزار SMADA، دبی مرتبط با دوره بازگشت ۱۰۰ سال از دبی‌های حداکثر لحظه‌ای طی دوره آماری برای خروجی

در این مطالعه، به منظور تولید نقشه سیلاب و انجام ارزیابی خطر سیلاب، از مدل HEC-RAS 2D که به عنوان یکی از مدل‌های مؤثر هیدرودینامیکی شناخته می‌شود، بهره‌گیری شده است. ارزیابی ریسک سیلاب بر اساس معیار

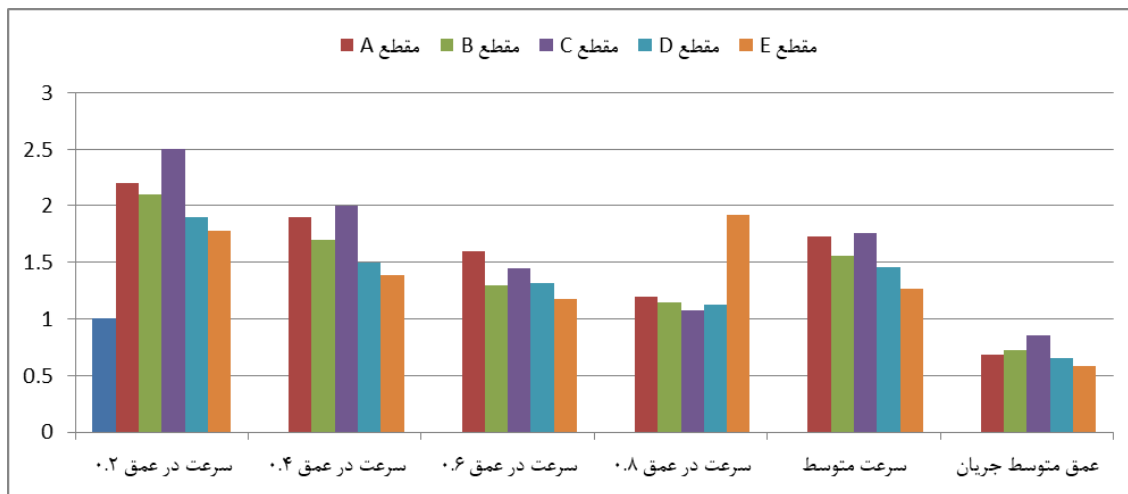
ارزیابی ریسک سیل محاسبه دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ سال است در این بخش با استفاده از توزیع‌های آماری و نرم‌افزار SMADA، دبی با دوره بازگشت‌های ۱۰۰ سال از دبی‌های حداکثر لحظه‌ای طی دوره آماری برای خروجی سد امیرکبیر برآورد شد. توپوگرافی و پلان رودخانه در محدوده مورد مطالعه شامل بستر اصلی، بستر سیلاب‌دشت با عرض کافی برای مرزهای پیشروی احتمالی حداکثر سیلاب مورد نظر و همچنین عوارض طبیعی و مصنوعی است. مقیاس نقشه توپوگرافی ۱:۱۰۰۰ است و دقت تفکیک مکانی آن نیم متر است. این نقشه از سوی شرکت آب منطقه‌ای استان البرز تهیه شده است. پس از ورود داده‌های هندسی به محیط نرم‌افزار و تعیین مرزها، محدوده مورد نظر شبکه‌بندی شد به منظور ارزیابی واسنجی و صحت‌سنجی نتایج مدل، در پنج مقطع از مقاطع نقشه‌برداری شده به اندازه‌گیری پارامترهای جریان (سرعت، عمق و عرض گسترش جریان) پرداخته شد و بیشترین تأکید روی قوس‌های متوالی رودخانه بود تا بتوان تأثیر جریان‌های ثانویه و نیروهای گریز از مرکز را بر متغیرهای جریان بررسی کرد (شکل ۲). برای اندازه‌گیری سرعت جریان و عمق آب از دستگاه سرعت‌سنج مولینه و شاخص اندازه‌گیری استفاده شد. برای اندازه‌گیری دقیق سرعت جریان، دستگاه سرعت‌سنج مولینه به طور کامل در داخل جریان آب قرار گرفته و جریان آب از ساحل سمت چپ تا راست و از سطح آب تا کف بستر در فواصل ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ از عمق برداشت شد. سرعت متوسط طی هر مقطع (با توجه به عرض هر مقطع) حداقل در ده نقطه و حداکثر در ده نقطه با فواصل مساوی از عمق آب اندازه‌گیری شد (Alizadeh, 2009). همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، برای دبی اندازه‌گیری شده در آبان ۱۴۰۲ با دبی ۱۱/۲ مترمکعب بر ثانیه، پارامترهایی از قبیل سرعت، دبی و عمق جریان در مقاطع اندازه‌گیری شده ارائه شده است. مقادیر اندازه‌گیری شده جریان آب به عنوان مبنای برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل هک راس مورد استفاده قرار گرفتند.

سد امیرکبیر محاسبه شد. توپوگرافی و نقشه رودخانه در ناحیه مورد مطالعه شامل بستر اصلی، بستر سیلاب‌دشت و عوارض طبیعی و مصنوعی است که باید برای پیشروی‌های احتمالی حداکثر سیلاب در نظر گرفته شود. مقیاس نقشه توپوگرافی ۱:۱۰۰۰ و دقت تفکیک مکانی آن نیم متر است. این نقشه توسط شرکت آب منطقه‌ای استان البرز تهیه شده است. پس از وارد کردن داده‌های هندسی به نرم‌افزار و تعیین مرزها، ناحیه مورد نظر به شبکه تقسیم‌بندی شد. به منظور ارزیابی صحت و واسنجی نتایج مدل، در پنج مقطع از محدوده نقشه‌برداری شده، پارامترهای جریان شامل سرعت، عمق و عرض گسترش جریان اندازه‌گیری شد و بیشترین توجه به قوس‌های متوالی رودخانه معطوف شد تا تأثیر جریان‌های ثانویه و نیروهای گریز از مرکز روی متغیرهای جریان مورد بررسی قرار گیرد. برای اندازه‌گیری سرعت جریان و عمق آب از دستگاه سرعت‌سنج مولینه و شاخص‌های اندازه‌گیری استفاده شد. دستگاه سرعت‌سنج مولینه به طور کامل در جریان آب قرار گرفت و اندازه‌گیری‌ها از سمت چپ تا راست و از سطح آب تا کف بستر در عمق‌های ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ انجام شد. سرعت متوسط در هر مقطع (با توجه به عرض آن) حداقل در شش نقطه و حداکثر در ده نقطه با فواصل مساوی از عمق آب اندازه‌گیری شد (Alizadeh, 2009). همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده، برای دبی اندازه‌گیری شده در آبان ۱۴۰۲ که برابر با ۱۱/۲ مترمکعب بر ثانیه است، پارامترهای مختلفی از جمله سرعت، دبی و عمق جریان در مقاطع اندازه‌گیری شده ارائه شده است. مقادیر اندازه‌گیری شده جریان آب به عنوان مبنای برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل هک راس مورد استفاده قرار گرفتند.

در این پژوهش از مدل HEC-RAS 2D که به عنوان یکی از مدل‌های کاربردی هیدرودینامیکی است به منظور تهیه نقشه سیل و مطالعات برآورد خطر سیل استفاده و مورد ارزیابی قرار گرفته است. با توجه به اینکه معیار هیدرولوژیکی



شکل ۲. موقعیت مقاطع عرضی اندازه‌گیری شده روی لایه رقومی ارتفاعی (DEM) با دقت نیم متر



شکل ۳. نمودار مقادیر پارامترهای سرعت (متر بر ثانیه)، عمق (متر) اندازه‌گیری شده برای دبی ۱۱/۲ مترمکعب بر ثانیه در مقاطع اندازه‌گیری شده (آبان ۱۴۰۲)

در معرض خطر سیل بر اساس نتایج ارزیابی‌های هیدرولیکی، ارزیابی سنجش از دوری و همچنین ارزیابی میدانی شناسایی شد و سپس با استفاده از پرسشنامه و مصاحبه با جوامع محلی، سالنامه‌های آماری، اطلاعات سرشماری نفوس و مسکن، تعداد افراد در معرض خطر سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ به دست آمد.

در این تحقیق برای ارزیابی آسیب‌پذیری از چهارچوب ارائه شده در منبع (Giupponi et al, 2014) استفاده شده است. پس از تهیه پهنه خطر سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ سال و شناسایی وضعیت افراد، مناطق مسکونی و سایر دارایی‌های انسانی ملموس واقع در مناطق پرخطر در ادامه به بررسی مؤلفه‌های آسیب‌پذیری در معرض خطر پرداخته شد، جزئیات شاخص‌های آسیب‌پذیری در منبع (Giupponi et al, 2014; Jamal et al, 2018) تشریح شده است. شایان یادآوری است که مؤلفه‌های فیزیکی / محیطی آسیب‌پذیری به وسیله احتمال وجود سازه‌ها و زیرساخت‌ها در منطقه که به طور بالقوه در معرض آسیب هستند تعریف می‌شود. مؤلفه‌های اجتماعی آسیب‌پذیری از طریق ارزیابی آمادگی پیشین جامعه با توجه به درک و آگاهی آنان از ریسک برای مواجهه با خطر و کاهش اثرات نامطلوب (ظرفیت سازگاری) و مهارت‌های پیشین آنان برای مدارا و غلبه بر اثرات خطر (ظرفیت مقابله) تشریح می‌شود. ظرفیت سازگاری به قبل رخداد سیل مرتبط است که شاخص‌های اجتماعی و ساختاری و نیز میزان درک سیل جامعه محلی را در بر می‌گیرد. ظرفیت مدارا نیز به بعد از رخداد سیل برمی‌گردد شامل شاخص‌های رفتاری و ساختاری است که بر توانایی واکنش در برابر اثرات نامطلوب و کاهش آن‌ها در زمان تجربه خطر دلالت دارد. به منظور تعیین آسیب‌پذیری در تحقیق حاضر شاخص‌های مورد استفاده از مطالعات منبع (Giupponi et al, 2014) بر اساس شرایط منطقه هدف استخراج شدند که در جدول ۱ ارائه شده است. به منظور تعیین مقادیر شاخص‌های آسیب‌پذیری، داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز از طریق پرسشنامه و مصاحبه با جوامع محلی، سالنامه‌های آماری، اطلاعات سرشماری نفوس و مسکن، دستورالعمل‌ها و راهنمای سامانه مدیریت آمار و اطلاعات بیمارستانی، و همچنین گزارش‌های رسمی ارائه شده از سوی دستگاه‌های اجرایی جمع‌آوری شد. همچنین، مراجعه حضوری به ادارات مرتبط در سطح شهرستان و استان نیز به انجام رسید. جامعه آماری مورد نظر در محدوده پهنه سیلاب با دوره بازگشت صد سال و حریم آن مشخص شد.

پس از انتخاب و تعیین شاخص‌ها، به دلیل تنوع مقیاس‌ها و واحدهای مختلف شاخص‌ها، ضروری است که ویژگی‌ها و ماهیت آن‌ها به واحدهای قابل مقایسه و استاندارد (بی‌بعد) تبدیل شوند. سپس، شاخص‌ها وزن‌دهی شدند. وزن شاخص، به عنوان عنصر کلیدی در تحلیل حساسیت، مبنایی برای قضاوت محسوب می‌شود. در این پژوهش، از روش BWM برای وزن‌دهی

به منظور تعیین ضریب زبری، ابتدا بر اساس بازدهی‌های صحرائی از رودخانه و مشاهده تغییرات پارامترهای مؤثر در تعیین ضریب زبری، محدوده مورد مطالعه بر اساس وضعیت مورفولوژیکی و کاربری‌ها همگن‌بندی شدند. سپس ضریب زبری کناره‌های هر محدوده در چهارچوب روش کاون (Alexander, 2016) و با توجه به عکس‌ها و توصیفات مندرج در مرجع چاو و همچنین سایر کتاب‌ها و مراجع دیگر مثل مرجع USGS، تعیین شده‌اند.

واسنجی و آنالیز حساسیت مدل HEC-RAS

منابع عدم قطعیت در نتایج مدل‌های هیدرولیکی، ناشی از عدم قطعیت در مدل و پارامترهای آن است. حساس‌ترین عوامل در این زمینه، دقت ضریب زبری مانینگ و تعیین معادلات و شبکه محاسباتی مدل هستند (Dong et al, 2023). به منظور کاهش این عدم قطعیت‌ها، پارامترهای یادشده در بخش واسنجی و آنالیز حساسیت مدل بهینه‌سازی شدند. در این تحقیق با بهینه‌سازی مقادیر ضریب زبری مانینگ، ابعاد شبکه محاسباتی و معادلات مدل بر اساس متغیرهای عمق و سرعت اندازه‌گیری شده برای دبی جریان آب در آبان ۱۴۰۲ در پنج مقطع اندازه‌گیری، عملیات واسنجی و آنالیز حساسیت انجام شد. تحلیل‌های انجام شده از طریق ارزیابی پارامترهای اندازه‌گیری شده (عمق، سرعت و عرض گسترش جریان) و نتایج شبیه‌سازی پنج مقطع مشاهداتی، به همراه معیارهای آماری ارزیابی شامل جذر میانگین مربع خطا (RMSE) و میانگین درصد خطای مطلق (MAPE) انجام شد که روابط آن‌ها به شرح ذیل است:

$$R.M.S.E = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_o - Q_e)^2} \quad (2)$$

که در این معادله، Q_o مقدار مشاهداتی در طبیعت و Q_e مقدار محاسباتی مدل است.

$$M.A.P.E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}}{y_i} \right| * 100 \quad (3)$$

که در این معادله، y_i مقدار مشاهداتی در طبیعت و \hat{y} مقدار محاسباتی مدل است.

پس از تهیه پهنه خطر سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ سال (ترکیب نقشه عمق، سرعت و پارامتر ضریب جریان واریزه‌های)، در مرحله بعد وضعیت افراد، مناطق مسکونی، و سایر دارایی‌های انسانی ملموس واقع در مناطق پرخطر (در معرض خطر قرار گرفتن) مشخص شد (شکل ۳). در این بخش تعداد مناطق مسکونی

شامل تمام خانوارها (۱۳۶ خانوار) در معرض خطر سیل در محدوده مطالعه است. نتایج دو بخش شاخص‌های سازگاری و مدارا در لایه مشترک ادغام شده و برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری مورد استفاده قرار می‌گیرند. درجه آسیب‌پذیری منطقه هدف بر اساس نقشه به‌دست‌آمده و جدول ۲ طبقه‌بندی خواهد شد.

شاخص‌ها استفاده شده است که جزئیات آن در منبع (Avand et al, 2022) ارائه شده است. برای تعیین قابلیت شاخص تهیه‌شده در ارزیابی آسیب‌پذیری، روایی پرسشنامه بر اساس شاخص‌های توصیه‌شده در منبع چهارچوب ریسک سیل (Giupponi et al, 2014) و همچنین، دریافت نظرات کارشناسان و خبرگان، مورد بررسی قرار گرفت. پس از تأیید روایی پرسشنامه، این پرسشنامه در محدوده مورد مطالعه تکمیل شد. جامعه آماری مورد بررسی در این تحقیق

جدول ۱. شاخص‌های مرجع برای اندازه‌گیری ظرفیت سازگاری و مدارای توصیه‌شده در (Giupponi et al, 2014; Jamal et al, 2018)

ردیف	شاخص	ظرفیت سازگاری	ظرفیت مدارا	معرف شاخص	نحوه گردآوری آمار و اطلاعات
۱	سن		x	درصد جمعیت زیر پنج سال، درصد جمعیت بالای ۶۵ سال؛ میان‌سال	مرکز آمار و پرسشنامه
۲	جنسیت		x	درصد زنان؛ درصد خانم‌های سرپرست خانوار	مرکز آمار و پرسشنامه
۳	ساختار خانواده		x	درصد خانواده‌های تک‌والدین، درصد خانوارهای دارای بیش از چهار نفر جمعیت	پرسشنامه
۴	نسبت افراد ناتوان	x	x	درصد ساکنان در خانه‌های سالمندان، درصد بیماران یا معلولان	پرسشنامه و ادارات مرتبط
۵	سطح درآمد	x	x	سرانه درآمد؛ متوسط درآمد؛ ارزش مسکن‌های مالکان؛ اجاره متوسط برای مستأجران واحدهای مسکونی	پرسشنامه و مرکز آمار
۶	نابرابری اجتماعی	x	x	شاخص درآمد جینی؛ درصد خانوارهایی که درآمد بیش از X دارند؛ درصد خانوارهایی که درآمد کمتر از Y دارند؛ وابسته به خدمات اجتماعی	شاخص جینی یا ضریب جینی شاخصی اقتصادی برای محاسبه توزیع ثروت در میان مردم است. بالا بودن این ضریب در یک کشور معمولاً به عنوان شاخصی از بالا بودن اختلاف طبقاتی و نابرابری درآمدی در این کشور در نظر گرفته می‌شود. پرسشنامه و مرکز آمار
۷	تحصیلات	x		درصد جمعیت زیر ۲۵ سال و بالاتر بدون دیپلم دبیرستان؛ درصد مردم با تحصیلات عالی	پرسشنامه
۸	اشتغال	x		درصد نیروی انسانی بیکار؛ نوع اشتغال (تمام‌وقت، پاره‌وقت، خود اشتغال و غیره)	پرسشنامه و مرکز آمار
۹	اعتماد		x	اندازه‌گیری میزان اعتماد در جامعه (اعتماد بین اقشار جوامع محلی و بین جوامع محلی و دولتی) با استخراج نظرات خبرگان	استخراج نظرات خبرگان
۱۰	ادراک ریسک	x	x	اندازه‌گیری میزان آگاهی در جامعه با استخراج نظرات خبرگان	استخراج نظرات خبرگان

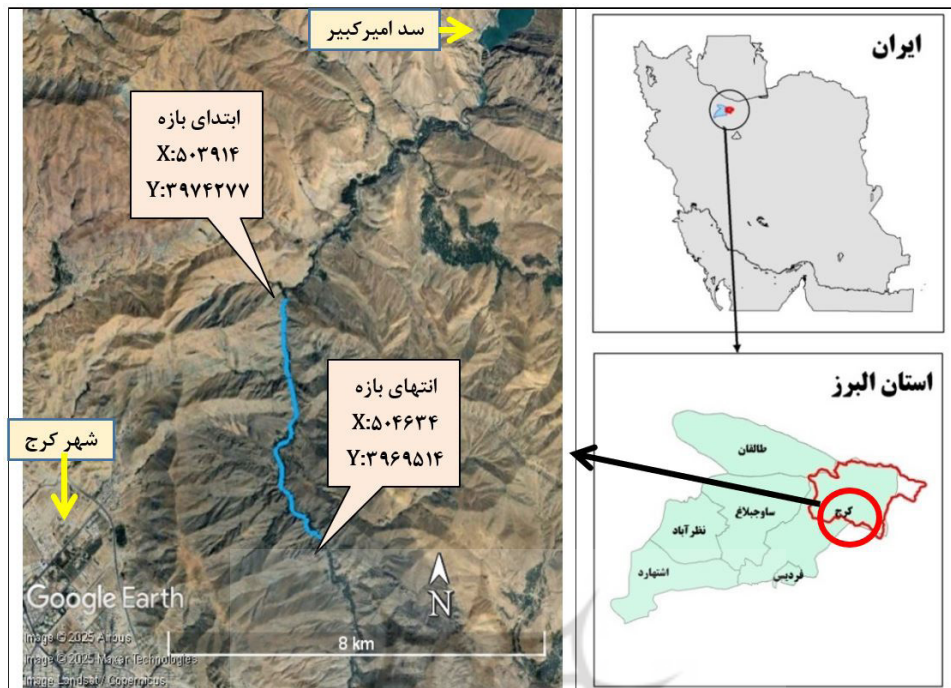
جدول ۲. امتیازدهی شاخص‌های نرمال‌شده

امتیاز نرمال شده	درجه آسیب‌پذیری
۰	آسیب‌پذیر نیست
۰.۲۵	کمی آسیب‌پذیر
۰.۵	زیاد آسیب‌پذیر
۰.۷۵	بسیار زیاد آسیب‌پذیر
۱	کاملاً آسیب‌پذیر

منبع (Giupponi et al, 2014; Jamal et al, 2018)

محدوده مورد مطالعه همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده، محدوده مورد مطالعه بازه‌ای مکانی از رودخانه پایین دست سد امیر کبیر واقع در استان البرز است. موقعیت ورودی این بازه (503919 X و 3974333 Y) و خروجی بازه (504545 X و 3969603 Y) قرار گرفته است. طول بازه حدود ۶ کیلومتر و با توجه به تراز توپوگرافی ابتدا و انتهای بازه به ترتیب حدود ۱۵۳۳ و ۱۴۳۶ متر بالاتر از سطح دریا است.

محدوده مورد مطالعه همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده، محدوده مورد مطالعه بازه‌ای مکانی از رودخانه پایین دست سد امیر کبیر واقع در استان البرز است. موقعیت ورودی این بازه (503919 X و 3974333 Y) و خروجی بازه (504545 X و 3969603 Y) قرار گرفته است. طول بازه حدود ۶ کیلومتر و با توجه به تراز توپوگرافی ابتدا و انتهای بازه به ترتیب حدود ۱۵۳۳ و ۱۴۳۶ متر بالاتر از سطح دریا است.



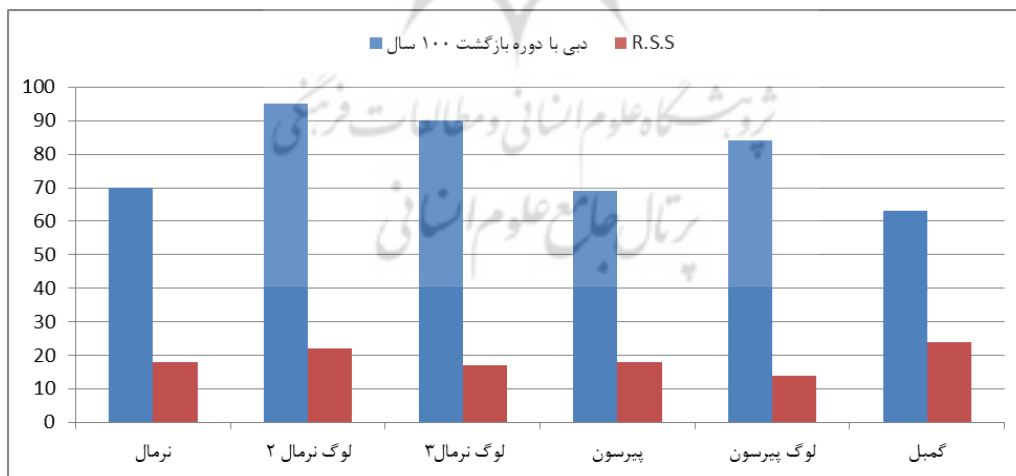
شکل ۴. موقعیت بازه مکانی مورد مطالعه نسبت به حوضه سد امیرکبیر، استان البرز و ایران

امیرکبیر (m^3/s) برای توزیع‌های مختلف ارائه شده است. برای توزیع لوگ پیرسون، مقادیر پیش‌بینی شده برآزش و انطباق خوبی با داده‌های مشاهداتی دارد و نیز کمترین مقدار R.S.S. را نسبت به سایر توزیع‌ها دارد، بنابراین مناسب‌ترین توزیع برای برآورد دبی‌های حداکثر لحظه‌ای است.

یافته‌ها و بحث

نتایج دبی با دوره بازگشت مختلف

در شکل ۵ مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت مختلف و مقادیر مجموع مربعات باقی‌مانده (R.S.S.) برای آمار دبی خروجی از سد



شکل ۵. مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت ۱۰۰ سال و مقادیر مجموع مربعات باقی‌مانده (R.S.S.) برای آمار دبی خروجی از سد امیرکبیر (m^3/s)

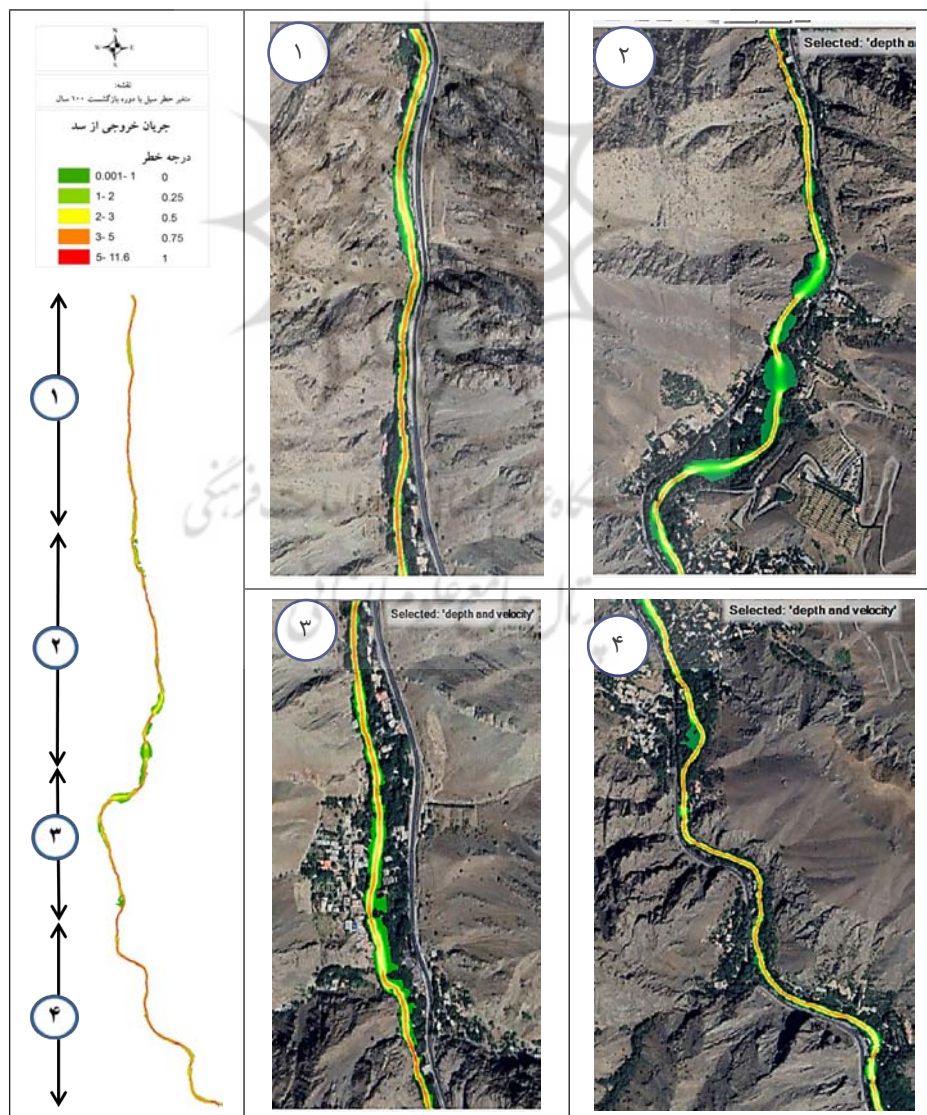
طبقه‌بندی نقشه خطر، دامنه تغییرات آن در پنج کلاس تعریف شد. درجات خطر در نقشه پهنه‌بندی شده و مساحت هر طبقه در شکل ۶ و جدول ۷ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد درصد مساحت در معرض خطر زیاد و خیلی زیاد سیل به ترتیب ۳۰ و ۱۳ درصد است. به طور کلی، مجموع مساحت در معرض خطر زیاد و خیلی زیاد سیل حدود ۶ هکتار است.

نتایج پهنه‌بندی خطر سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ سال

مطابق معادله تشریح شده در منبع (Giupponi et al, 2014) پهنه خطر سیل بر اساس نقشه پهنه عمق، سرعت جریان و ضریب جریان واریزه‌ای توسط مدل HEC-RAS به دست آمد. با توجه به بازدید میدانی، نظرات جوامع محلی و آمار بار معلق و بستر، میزان انتقال رسوب از سد به پایین دست کم است لذا برای ضریب جریان واریزه‌ای عدد یک در نظر گرفته شد. سپس به منظور



شکل ۶. مساحت در معرض خطر سیل با دوره بازگشت صد سال در محدوده مورد مطالعه



شکل ۷. نقشه طبقه بندی متغیر خطر سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ سال در محدوده مورد مطالعه

نتایج ارزیابی کارایی مدل

دقت مدل در تخمین متغیرهای سرعت جریان و عمق آب، که از اهمیت ویژه‌ای در تحلیل‌های هیدرودینامیکی برخوردار هستند، به کار می‌رود. همان‌طور که در جدول ۳ مشخص است، برای داده‌های دبی اندازه‌گیری شده در آبان ۱۴۰۲، مدل‌های پیش‌بینی شده نسبت به داده‌های مشاهده‌ای (شامل متغیرهای سرعت و عمق آب) دقت بیشتری را در معادله موج پخشیده و ضریب زبری در بازه (۰/۰۳۲ تا ۰/۰۶۸) نشان می‌دهند. این موضوع نشان می‌دهد مدل‌ها در شرایط خاص این بازه ضریب زبری قادر به پیش‌بینی دقیق‌تری از پارامترهای هیدرودینامیکی هستند.

جدول ۳ نشان‌دهنده دقت و عملکرد مدل در تخمین پارامترهای سرعت جریان و عمق آب برای دو معادله هیدرودینامیکی مختلف است. همچنین، این ارزیابی تحت شرایط مختلفی از جمله ضریب زبری و ابعاد شبکه صورت گرفته است. ضریب زبری در بازه‌های (۰/۰۳۲ تا ۰/۰۶۸) و (۰/۰۳۳ تا ۰/۰۵۴) و همچنین در ابعاد شبکه ۵ متر و ۱۰ متر، به عنوان پارامترهای مهم در این تحلیل مورد استفاده قرار گرفته‌اند. برای انجام این ارزیابی، از معیارهای آماری معمول در تحلیل مدل‌ها، یعنی RMSE (خطای مربعات میانگین ریشه‌ای) و MAPE (میانگین درصد خطای مطلق) استفاده شده است. این معیارها برای سنجش

جدول ۳. نتایج مقایسه سرعت جریان، عمق آب مشاهداتی و برآوردی بر اساس دو معیار آماری RMSE و MAPE

واقع و مقدار سیل	نوع روش	پارامتر سرعت جریان آب				پارامتر عمق آب			
		معادله موج پخشیده		معادله موج کاملاً دینامیک		معادله موج پخشیده		معادله موج کاملاً دینامیک	
		زبری	زبری	زبری	زبری	زبری	زبری	زبری	زبری
		زبری -۰/۰۵۴ (۰/۰۳۳)	زبری -۰/۰۶۸ (۰/۰۳۲)	زبری -۰/۰۵۴ (۰/۰۳۳)	زبری -۰/۰۶۸ (۰/۰۳۲)	زبری -۰/۰۵۴ (۰/۰۳۳)	زبری -۰/۰۶۸ (۰/۰۳۲)	زبری -۰/۰۵۴ (۰/۰۳۳)	زبری -۰/۰۶۸ (۰/۰۳۲)
دبی ۱۱/۲ مترمکعب بر ثانیه (آبان ۱۴۰۲)	RMSE MAPE	۰/۰۳۷ ۰/۰۳۱	۰/۰۳۵ ۰/۰۲۸	۰/۰۳۹ ۰/۰۳۵	۰/۰۳۸ ۰/۰۳۴	۰/۰۷۳ ۰/۰۴۱	۰/۰۶۸ ۰/۰۳۷	۰/۰۸۴ ۰/۰۴۹	۰/۰۰۸ ۰/۰۴۶

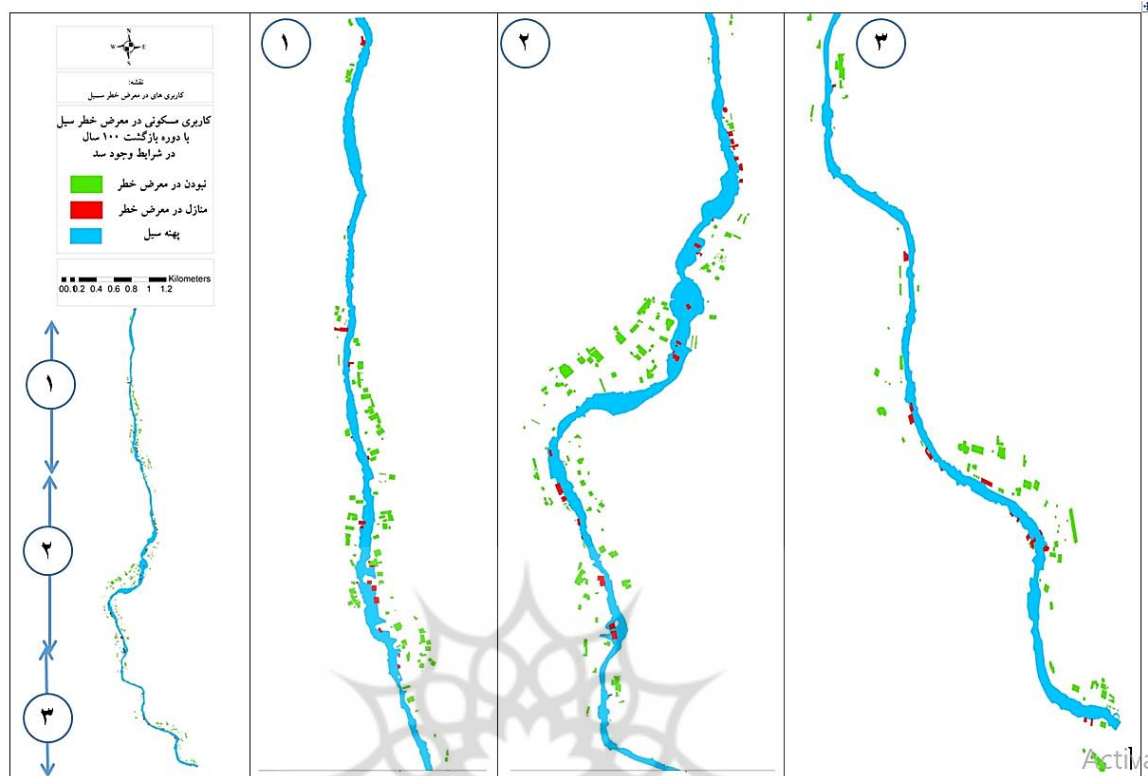
کاهش آسیب‌های انسانی ناشی از سیلاب‌ها را روشن می‌کند. از سوی دیگر، تعداد منازل مسکونی که در حاشیه رودخانه‌ها قرار دارند و در معرض خطر مستقیم و غیرمستقیم سیل هستند، حدود ۵۸۸ واحد است. این منازل در معرض تهدیدهای مختلفی از جمله جاری شدن سیلاب، آسیب‌های ناشی از تخریب زیرساخت‌های محلی و احتمال تخریب کامل ساختمان‌ها قرار دارند. از این تعداد، ۷۲ منزل مسکونی مستقیم در معرض خطر سیل قرار دارند. این خانه‌ها به طور خاص نیازمند توجه ویژه‌ای در برنامه‌ریزی برای پیشگیری از خسارت‌های سیلاب هستند.

نتایج کاربری‌ها مسکونی در معرض خطر سیل

در این بخش از تحقیق، نتایج مربوط به کاربری‌های مسکونی در مناطق آسیب‌پذیر در برابر سیلاب‌ها به تفصیل آورده شده است. به‌ویژه، تعداد جمعیت و منازل مسکونی در معرض خطر سیل و همچنین آن‌هایی که در حریم سیل قرار دارند، بررسی شده‌اند. اطلاعات مربوط به این نتایج در جدول ۴ و شکل ۸ به طور کامل ارائه شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، تعداد جمعیت در معرض خطر سیل حدود ۳۱۱ نفر است. این نشان‌دهنده خطراتی است که ممکن است افراد در معرض آن‌ها قرار بگیرند، و اهمیت ارائه تدابیر لازم برای

جدول ۴. نتایج کمی تعداد جمعیت و منازل مسکونی در معرض خطر سیل

تعداد جمعیت در معرض خطر مستقیم سیل	تعداد منازل مسکونی در معرض مستقیم خطر سیل	تعداد منازل مسکونی حریم سیل
۳۱۱	۷۲	۵۸۸



شکل ۸. نقشه وضعیت کاربری‌های مسکونی در معرض مستقیم خطر سیل (رنگ قرمز) و در حریم سیل (رنگ سبز)

شاخص‌هایی مانند مجموع درصد جمعیت کمتر از ۵ ساله و بیش از ۶۵ ساله، درصد زنان سرپرست خانوار، و اندازه‌گیری میزان اعتماد در جامعه در سطح آسیب‌پذیری کم قرار دارند. این شاخص‌ها به نوعی نشان‌دهنده جوامع با توانمندی‌های سازگاری و تاب‌آوری بیشتر هستند، زیرا این جوامع قادر هستند از منابع و امکانات خود بهتر بهره‌برداری کنند و بنابراین در برابر خطرات طبیعی مانند سیل مقاوم‌تر هستند. شاخص‌های دیگر مانند درصد خانواده‌های تک‌والدین، درصد خانوارهای دارای بیش از چهار نفر، درصد بیماران خاص یا معلولان، ارزش مسکن‌های مالکان و متوسط اجاره مستأجران، آسیب‌پذیری متوسطی را نشان می‌دهند. این شاخص‌ها به طور کلی در جوامعی که نیازمند توجه خاص در سیاست‌گذاری‌های اجتماعی هستند، قرار دارند. به عنوان مثال، جوامعی که درصد بالایی از خانوارهای تک‌والدین دارند، ممکن است برای مقابله با بحران‌های طبیعی مانند سیل نیاز به حمایت‌های ویژه داشته باشند.

از طرف دیگر، نتایج دومین بخش از ارزیابی آسیب‌پذیری یعنی حساسیت فیزیکی منازل مسکونی در معرض مستقیم خطر سیل و همچنین در حریم سیل در جدول ۶ ارائه شده است. نتایج وزن‌دهی بین سه مؤلفه آسیب‌پذیری بر اساس مدل BWM در جدول ۱۰ و شکل ۶ نشان داده شده است. جدول ۶ وضعیت حساسیت فیزیکی منازل مسکونی را در معرض مستقیم خطر سیل و در حریم سیل نمایش می‌دهد. این جدول به چهار دسته‌بندی از کم تا خیلی زیاد تقسیم‌بندی شده است. بیشترین تعداد منازل در دسته «کم» با ۴۴ درصد (۲۶۱ خانه) قرار دارند که به معنای این است که بسیاری از منازل از نظر فیزیکی در برابر سیل آسیب‌پذیر نیستند یا کم‌اثر هستند. این امر ممکن است ناشی از ساخت‌وسازهایی باشد که در مناطق کم‌خطر یا با تدابیر مهندسی مناسب انجام شده‌اند. با این حال، حدود ۱۸ درصد از منازل (۱۰۸ خانه) در دسته «زیاد» و ۴ درصد در دسته «خیلی زیاد» قرار دارند، که نشان می‌دهد تعدادی از منازل در مناطق پرخطر سیل قرار دارند و در برابر سیل بسیار

نتایج ارزیابی شاخص‌های آسیب‌پذیری سیل (ظرفیت سازگاری و مدارا)

به طور کلی، بر اساس نتایج کمی ۲۰ شاخص ارزیابی آسیب‌پذیری سیل (جدول ۵) عمدتاً سطح آسیب‌پذیری آن‌ها متوسط تا زیاد است. از این بین، شاخص‌های درصد جمعیت زنان، میزان درآمد و پس‌انداز، نوع اشتغال و تعداد سرانه بیمارستان جامعه و دسترسی به مکان ایمن دارای امتیاز بیشتر از ۰/۷۵ و سطح آسیب‌پذیری زیاد و کاملاً آسیب‌پذیر هستند. به طور کلی، سطح آسیب‌پذیری شاخص‌های ظرفیت سازگاری و ظرفیت مدارا به شرح زیر است. سه شاخص شامل: ۱- مجموع درصد جمعیت کمتر از ۵ ساله و بیش از ۶۵ ساله؛ ۲- درصد زنان سرپرست خانوار؛ ۳- اندازه‌گیری میزان اعتماد در جامعه دارای سطح آسیب‌پذیری کم هستند. ۱۰ شاخص شامل: ۱- درصد خانواده‌های تک‌والدین؛ ۲- درصد خانوارهای دارای بیش از چهار نفر؛ ۳- درصد بیماران خاص یا معلولان؛ ۴- ارزش مسکن‌های مالکان؛ ۵- متوسط اجاره مستأجران؛ ۶- وابسته به خدمات اجتماعی؛ ۷- درصد مردم با تحصیلات عالی؛ ۸- درصد نیروی انسانی بیکار؛ ۹- آگاهی از خطر و خسارت سیل از گذشته تا کنون و ۱۰- آگاهی از خطرات سیل در امتداد رودخانه دارای سطح آسیب‌پذیری متوسط هستند. ۵ شاخص شامل: ۱- درصد زنان؛ ۲- پس‌انداز؛ ۳- متوسط درآمد؛ ۴- نوع اشتغال و ۵- تعداد سرانه بیمارستان جامعه دارای سطح آسیب‌پذیری زیاد و در نهایت از نظر شاخص دسترسی به مکان ایمن کاملاً آسیب‌پذیر است. نتایج جدول ۵، که بر اساس ۲۰ شاخص ارزیابی آسیب‌پذیری سیل تنظیم شده است، نشان می‌دهد آسیب‌پذیری جوامع از جنبه‌های مختلف بسیار متفاوت است. برخی از این شاخص‌ها مانند درصد جمعیت زنان، میزان درآمد و پس‌انداز، نوع اشتغال و تعداد سرانه بیمارستان جامعه، در سطح آسیب‌پذیری زیادی قرار دارند که به معنای آسیب‌پذیری شدید این جوامع نسبت به این شاخص‌ها در برابر سیل است. این شاخص‌ها به شدت تحت تأثیر عوامل اقتصادی و اجتماعی قرار دارند و نشان می‌دهند اقبال آسیب‌پذیرتر جامعه، به ویژه زنان و افراد کم‌درآمد، در معرض خطر بیشتری قرار دارند. در مقابل،

آسیب‌پذیر هستند. جدول ۱۰ آسیب‌پذیری کلی جوامع محلی در برابر سیل را بر اساس ارزیابی امتیازهای مختلف تقسیم کرده است. نتایج جدول ۱۰ نشان می‌دهد ۴۴ درصد از جوامع در سطح آسیب‌پذیری متوسط قرار دارند. این درصد نشان‌دهنده این است که بسیاری از جوامع نه در سطح بالا و نه در سطح پایین آسیب‌پذیری قرار دارند، بلکه در میانه این طیف قرار دارند و به این ترتیب نیازمند اقداماتی هستند که این سطح آسیب‌پذیری را بهبود بخشند.

۲۵ درصد از جوامع در سطح آسیب‌پذیری زیاد و ۹ درصد در سطح آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار دارند. این آمار نشان می‌دهد اقبال خاصی از جامعه (مانند جوامعی که در مناطق سیل خیز یا با ظرفیت کم در مقابله با بحران‌ها زندگی می‌کنند) در معرض خطرات شدیدتری قرار دارند. در این جوامع، تقویت زیرساخت‌ها، برنامه‌های آموزشی و ارتقای آگاهی می‌تواند به کاهش آسیب‌پذیری کمک کند.

جدول ۶. ارزش متغیرها شاخص‌های ظرفیت سازگاری و مدار، سطح آسیب‌پذیری و وزن اختصاص یافته به شاخص‌ها

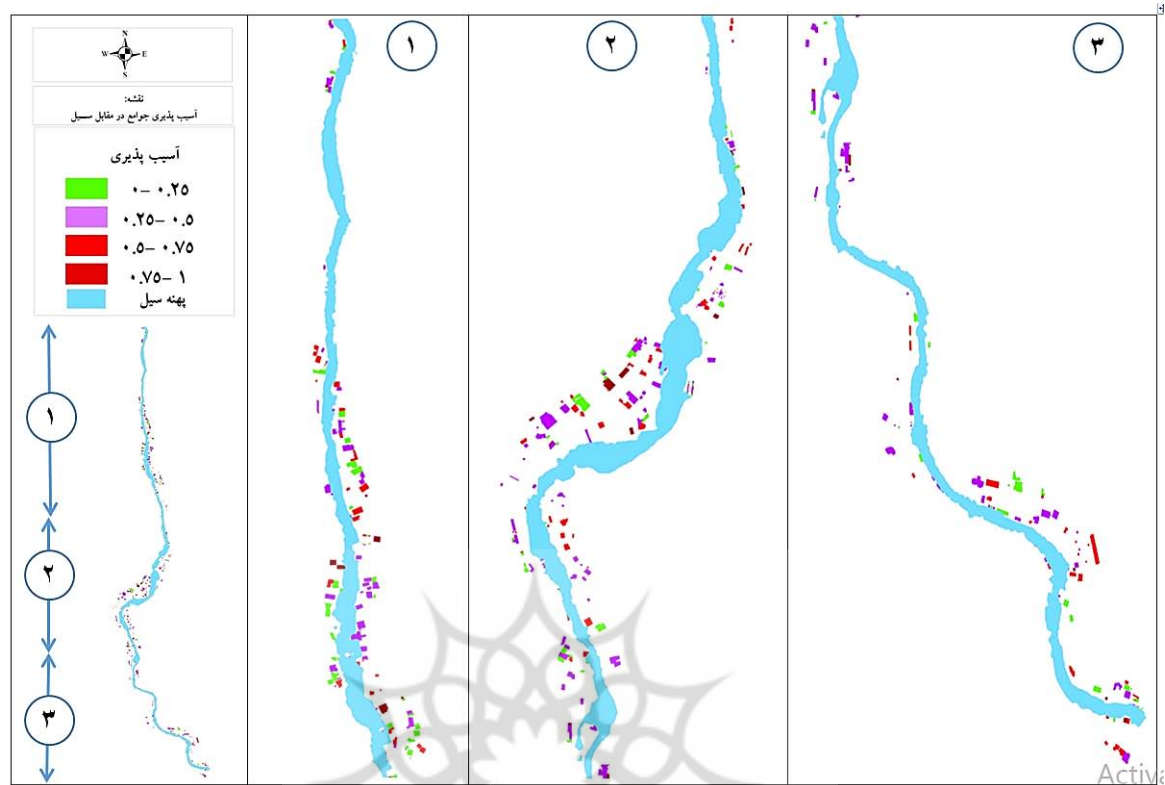
متغیر	شاخص‌ها	سطح آسیب‌پذیری	ارزش متغیر	امتیاز (طیف لیکرت)	وزن
سن	مجموع درصد جمعیت کمتر از ۵ ساله و بیش از ۶۵ ساله	کم	۰/۲۵	۰/۲۵	۱
جنسیت	درصد زنان	زیاد	۰/۵	۰/۷۵	۰/۵
	درصد زنان سرپرست خانوار	کم	۰/۵	۰/۲۵	۰/۵
ساختار خانواده	درصد خانواده‌های تک‌والدین	متوسط	۰/۵	۰/۵	۰/۵
	درصد خانوارهای دارای بیش از چهار نفر	متوسط	۰/۵	۰/۵	۰/۵
نسبت افراد ناتوان	درصد ساکنان در خانه‌های سالمندان	آسیب‌پذیر نیست	۰/۲۵	۰/۵	۰/۵
	درصد بیماران خاص یا معلولان	متوسط	۰/۲۵	۰/۵	۰/۵
سطح درآمد	پس‌انداز	زیاد	۰/۶۲۵	۰/۷۵	۰/۲۵
	متوسط درآمد	زیاد		۰/۷۵	۰/۲۵
	ارزش مسکن‌های مالکان	متوسط		۰/۵	۰/۲۵
	متوسط اجاره مستأجران	متوسط		۰/۵	۰/۲۵
نابرابری اجتماعی	وابسته به خدمات اجتماعی	متوسط	۰/۵	۰/۵	۰/۲۵
تحصیلات	درصد مردم با تحصیلات عالی	متوسط	۰/۵	۰/۵	۰/۵
اشتغال	درصد نیروی انسانی بیکار	متوسط	۰/۶۲۵	۰/۵	۰/۵
	نوع اشتغال (تمام وقت، پاره وقت، خوداشتغال و غیره)	زیاد		۰/۷۵	۰/۵
اعتماد	اندازه‌گیری میزان اعتماد در جامعه	کم	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۵
ادراک ریسک	آگاهی از خطر و خسارت سیل از گذشته تا کنون	متوسط	۰/۵	۰/۵	۰/۲۵
	آگاهی از خطرات سیل در امتداد رودخانه	متوسط		۰/۵	
مدیریت ریسک	تعداد سرانه بیمارستان جامعه	زیاد	۰/۸۵	۰/۷۵	۰/۲
	دسترسی به مکان ایمن	کاملاً آسیب‌پذیر		۱	

جدول ۷. وضعیت حساسیت فیزیکی منازل مسکونی در معرض مستقیم خطر سیل و در حريم سيل

حساسیت فیزیکی	امتیاز	تعداد	درصد
کم	۰-۰/۲۵	۲۶۱	۴۴
متوسط	۰/۲۵-۰/۵	۱۹۶	۳۳
زیاد	۰/۵-۰/۷۵	۱۰۸	۱۸
خیلی زیاد	۰/۷۵-۱	۲۵	۴

جدول ۸. وضعیت کلی آسیب‌پذیری جوامع محلی در مقابل سیل

آسیب‌پذیری	امتیاز	تعداد	درصد
کم	۰-۰/۲۵	۱۲۸	۲۲
متوسط	۰/۲۵-۰/۵	۲۵۹	۴۴
زیاد	۰/۵-۰/۷۵	۱۵۰	۲۵
خیلی زیاد	۰/۷۵-۱	۵۳	۹



شکل ۶. شمایی از وضعیت آسیب پذیری جوامع محلی در مقابل سیل

نتیجه گیری

می‌دهد آسیب‌پذیری اجتماعی جوامع بیشتر تحت تأثیر شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و خدمات عمومی است. برای مثال، شاخص‌هایی همچون درصد جمعیت زنان، میزان درآمد، پس‌انداز، نوع اشتغال و تعداد سرانه بیمارستان جامعه، که به طور مستقیم به وضعیت اقتصادی و اجتماعی جوامع مرتبط هستند، سطح آسیب‌پذیری زیادی دارند. این موضوع نشان می‌دهد اقشار آسیب‌پذیر جامعه، به‌ویژه زنان و افراد کم‌درآمد، بیشترین تهدید را در برابر سیلاب‌ها دارند. بر این اساس، نیاز به تقویت ظرفیت اقتصادی این اقشار و بهبود دسترسی آن‌ها به خدمات عمومی همچون بهداشت و درمان و آموزش بیشتر احساس می‌شود. در مقابل، شاخص‌هایی همچون درصد جمعیت کمتر از ۵ ساله و بیش از ۶۵ ساله، درصد زنان سرپرست خانوار، و میزان اعتماد اجتماعی، به‌طور کلی آسیب‌پذیری کمتری دارند. این شاخص‌ها نشان‌دهنده جوامعی با توانمندی‌های بیشتر در مواجهه با بحران‌ها هستند، که به دلیل ظرفیت بالاتر در تاب‌آوری و مدیریت بحران، می‌توانند در برابر سیلاب‌ها مقاوم‌تر عمل کنند. بر اساس این تحلیل، توجه ویژه به اقشار آسیب‌پذیر همچون زنان سرپرست خانوار، افراد کم‌درآمد و بیکار، می‌تواند به بهبود تاب‌آوری جامعه در برابر خطرات سیلاب کمک کند.

یکی دیگر از ابعاد مهم آسیب‌پذیری، حساسیت فیزیکی ساختمان‌ها به سیلاب است. نتایج نشان می‌دهند ۴۴ درصد از منازل در سطح حساسیت کم قرار دارند؛ به این معنا که بسیاری از این خانه‌ها از نظر ساختاری نسبت به سیلاب مقاوم هستند. این مقاوم‌سازی ممکن است به دلیل اجرای استانداردهای ساختمانی در مناطق کم‌خطر یا انجام تدابیر مهندسی مناسب در ساخت‌وسازها باشد. با این حال، ۱۸ درصد از منازل در سطح حساسیت زیاد و ۴ درصد در سطح حساسیت خیلی زیاد قرار دارند که این آمار نشان‌دهنده آسیب‌پذیری بالای برخی از ساختمان‌ها در برابر سیلاب است. بنابراین، یکی از راهکارهای مهم در کاهش آسیب‌پذیری، مقاوم‌سازی ساختمان‌ها و اجرای

در این پژوهش، آسیب‌پذیری اجتماعی و ساختاری جوامع ساکن در حاشیه رودخانه در پایین‌دست سد امیرکبیر در استان البرز مورد بررسی قرار گرفت. هدف اصلی این تحقیق، تحلیل خطر سیلاب و اثرات آن بر سکونتگاه‌های مجاور رودخانه با استفاده از معیارهای هیدرولوژیکی و مورفولوژیکی بوده است. نتایج حاصل از این تحلیل‌ها، به‌ویژه با استفاده از داده‌های هیدرولوژیکی و ارزیابی‌های اجتماعی و اقتصادی، چشم‌انداز روشنی از میزان آسیب‌پذیری جوامع در برابر سیلاب‌ها ارائه می‌دهد. در این نتیجه‌گیری، با توجه به یافته‌های پژوهش و جدول‌های مختلف، تحلیل‌ها و توصیه‌هایی برای کاهش آسیب‌پذیری و بهبود تاب‌آوری جوامع ارائه می‌شود.

نتایج پژوهش نشان می‌دهد ۳۰ درصد از مساحت محدوده مورد مطالعه در معرض خطر زیاد و ۱۳ درصد در معرض خطر خیلی زیاد قرار دارد. به طور کلی، ۶۶ هکتار از این منطقه در معرض خطر شدید سیلاب است. این اطلاعات نشان می‌دهند مناطق وسیعی از جوامع در معرض تهدید جدی سیلاب قرار دارند و به همین دلیل، تدابیر پیشگیرانه و اقدامات حفاظتی باید در اولویت قرار گیرند. عمق و سرعت جریان سیلاب‌ها از مهم‌ترین عوامل مؤثر در افزایش یا کاهش شدت خطر سیلاب در این منطقه است که این مقادیر به ۳/۲۴ متر برای حداکثر عمق جریان رسیده است. در این زمینه، ویژگی‌های مورفولوژیکی رودخانه و شرایط فیزیکی منطقه، همچون تنگ شدن مقاطع جریان و وجود قوس‌های رودخانه‌ای، بر شدت خطر تأثیر زیادی دارند. بنابراین، برای کاهش خطر سیلاب، باید پروژه‌های مهندسی و اقدامات اصلاحی در این نواحی انجام شود.

نتایج بررسی آسیب‌پذیری اجتماعی و اقتصادی نشان می‌دهند این آسیب‌پذیری در ابعاد مختلف بسیار متفاوت است. در این تحقیق، ۳۰ شاخص ارزیابی آسیب‌پذیری سیلاب مورد تحلیل قرار گرفت که نتایج آن نشان

و مورفولوژیکی بر ارزیابی خطر سیلاب در مناطقی با ویژگی‌های خاص زمین‌شناختی بررسی شده است. در هر دو مطالعه، تأکید بر نقش فیزیکی محیط در پیش‌بینی خطرات سیلاب و ارزیابی آن‌ها دیده می‌شود. در این تحقیق پیشنهاد شد که برای کاهش آسیب‌پذیری، مقاوم‌سازی ساختمان‌ها و اجرای استانداردهای ساخت‌وساز مقاوم در برابر سیلاب ضروری است. این نتیجه مشابه با مطالعه صفری و همکاران (۲۰۱۱) است که در آن از GIS و منطق فازی برای ارزیابی آسیب‌پذیری شهری در برابر سیلاب‌ها استفاده شده است و یکی از راهکارهای اصلی آن‌ها نیز مقاوم‌سازی و اجرای مقررات ساخت‌وساز ایمن بود. در این تحقیق بر لزوم توجه به اقشار آسیب‌پذیر، به‌ویژه زنان و افراد کم‌درآمد تأکید شده است. این هم‌راستا با مطالعه باتاچارجی و بهرا (۲۰۱۸) است که در آن به بررسی عوامل آسیب‌پذیری خانوارها و راهکارهای سازگاری با سیلاب‌ها پرداخته شده است، که نشان می‌دهد اقشار آسیب‌پذیر، به‌ویژه زنان و کم‌درآمدها، بیشترین آسیب‌ها را از سیلاب‌ها متحمل می‌شوند.

■ مشارکت نویسندگان

درصد مشارکت نویسندگان در نگارش این مقاله برابر بوده است.

■ تشکر و قدردانی

این مقاله از رساله دکتری تخصصی مصوب در دانشگاه آزاد اسلامی تهران شمال استخراج شده است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر و قدردانی خود را از حوزه معاونت پژوهش دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال که ما را در انجام این تحقیق یاری کردند، اعلام کنند.

■ تعارض منافع

در این پژوهش هیچ‌گونه تعارض منافی توسط نویسندگان بیان نشده است.

استانداردهای ساخت‌وساز مقاوم در برابر سیلاب است. برای این‌منظور، اعمال مقررات سخت‌گیرانه در مناطق پرخطر، مانند جلوگیری از ساخت‌وساز در حریم رودخانه‌ها و تقویت زیرساخت‌های موجود، می‌تواند از آسیب‌های احتمالی در آینده جلوگیری کند.

تحلیل کلی آسیب‌پذیری جوامع در برابر سیلاب نشان می‌دهد ۴۴ درصد از جوامع در سطح آسیب‌پذیری متوسط قرار دارند؛ به این معنا که بسیاری از جوامع نه در معرض خطر بسیار زیاد هستند و نه در سطح ایمن قرار دارند، بلکه در وضعیت متوسطی قرار دارند که نیازمند اقدامات پیشگیرانه و بهبود تاب‌آوری است. ۲۵ درصد از جوامع در سطح آسیب‌پذیری زیاد و ۹ درصد در سطح آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار دارند. این گروه‌ها به‌ویژه در معرض تهدید سیلاب‌ها قرار دارند و باید به‌طور ویژه تحت پوشش برنامه‌های مقابله با بحران و مدیریت سیلاب قرار گیرند.

این پژوهش با بررسی دقیق شاخص‌های مختلف آسیب‌پذیری در برابر سیلاب‌ها و تحلیل دقیق داده‌های هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و اجتماعی، به‌ویژه از طریق جدول‌ها و نمودارهای ارائه‌شده، نشان داده است که جوامع ساکن در حاشیه رودخانه‌ها و مناطق پایین‌دست سد امیرکبیر با چالش‌های جدی در برابر سیلاب‌ها روبه‌رو هستند. بنابراین، برای کاهش این آسیب‌پذیری‌ها و بهبود تاب‌آوری جوامع، باید رویکردی جامع و چندبعدی در مدیریت سیلاب و بحران‌های طبیعی اتخاذ شود.

برای مقایسه نتیجه‌گیری این پژوهش با برخی از منابع اشاره‌شده، می‌توان به چندین نکته کلیدی اشاره کرد که هم‌راستا با تحقیقات دیگر و نیز تفاوت‌های موجود را نمایان می‌کند.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهند آسیب‌پذیری اجتماعی بیشتر تحت تأثیر شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و خدمات عمومی است. این یافته‌ها مشابه با تحقیق سیلوا و کاوازاکی (۲۰۱۸) هستند که در مورد آسیب‌پذیری اجتماعی و اقتصادی در برابر بلایای طبیعی در یک جامعه روستایی در سری‌لانکا بررسی کرده‌اند و به این نتیجه رسیدند که وضعیت اقتصادی و اجتماعی جوامع تأثیر زیادی بر تاب‌آوری آنان در برابر سیلاب‌ها دارد. در این تحقیق اشاره شد که ویژگی‌های مورفولوژیکی رودخانه مانند تنگ شدن مقاطع جریان و وجود قوس‌های رودخانه‌ای بر شدت خطر سیلاب تأثیر دارند. این موضوع مشابه با تحقیق کای و همکاران (۲۰۱۹) است که در آن تأثیر ویژگی‌های هیدرودینامیکی

- Ahmadi, S., Ghanbari, R., & Rahimian, M. (2023). Assessment of farmers' vulnerability to flood occurrence (Case study: Villages in the Afriyeh watershed, Lorestan Province). *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 54(2), 439–457. [In Persian]
- Alexander, M., Priest, S., & Mees, H. J. (2016). A framework for evaluating flood risk governance. *Environmental Science & Policy*, 64(1), 38–47. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.06.004>
- Alizadeh, A. (2009). Principles of applied hydrology (19th ed.). Ferdowsi University of Mashhad Press. [In Persian]
- Avand, M., Moradi, H., & Ramazanzadeh, M. (2022). Evaluation of flood vulnerability in the Tajen watershed using the BWM method. *Watershed Research Journal*, 13(26), 10–20. DOI: [10.52547/jwmr.13.26.10](https://doi.org/10.52547/jwmr.13.26.10) [In Persian]
- Balica, S. F., Dinh, Q., & Popescu, I. (2015). Vulnerability and exposure in developed and developing countries: Large-scale assessments. In F. Shroder, J. Paron, P. Baldassarre, & G. Di Giuliano (Eds.), *Hydro-meteorological hazards, risks, and disasters* (pp. 125–162). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394846-5.00005-9>
- Bhattacharjee, K., & Behera, B. (2018). Determinants of household vulnerability and adaptation to floods: Empirical evidence from the Indian state of West Bengal. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 31(3), 101077. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.07.017>
- Cai, T., Li, X., Ding, X., Wang, J., & Zhan, J. (2019). Flood risk assessment based on hydrodynamic model and fuzzy comprehensive evaluation with GIS technique. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 35(5), 101077. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.07.017>
- Chen, Y., & Alexander, D. (2022). Integrated flood risk assessment of river basins: Application in the Dadu river basin, China. *Journal of Hydrology*, 613, 128456. <https://doi.org/10.1016/j.jhy-drol.2022.128456>
- Dong, B., Xia, J., Wang, X. (2024). Comprehensive flood risk assessment in highly developed urban areas. *Journal of Hydrology*, 132, 391. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.132391>
- Dong, B., Xia, J., Zhou, M., Li, Q., Ahmadian, R., & Falconer, R. A. (2023). Integrated modeling of 2D urban surface and 1D sewer hydrodynamic processes and flood risk assessment of people and vehicles. *Science of The Total Environment*, 827(3), 154098. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154098>
- Gain, K., Mojtahed, V., Biscaro, C., Balbi, S., & Giupponi, C. (2015). An integrated approach of flood risk assessment in the eastern part of Dhaka City. *Natural Hazards*, 62(5), 1289–1295. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1911-7>
- Jamal, Sh., Saadeddin, A., & Sheikh, N. (2018). Assessment of the vulnerability of local communities in the face of flood events [Master's thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources]. [In Persian]
- Koks, E. E., Jongman, B., Husby, T. G., & Botzen, W. J. (2015). Combining hazard, exposure, and social vulnerability to provide lessons for flood risk management. *Environmental Science & Policy*, 42(6), 124–078. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.10.013>
- Lin, K., Chen, H., Xu, C.-Y., Yan, P., Lan, T., Liu, Z., et al. (2020). Assessment of flash flood risk based on improved analytic hierarchy process method and integrated maximum likelihood clustering algorithm. *Journal of Hydrology*, 584(3), 124696. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124696>
- Lin, L., Wu, Z., & Liang, Q. (2019). Urban flood susceptibility analysis using a GIS-based multicriteria analysis framework. *Natural Hazards*, 73(9), 1398–1399. <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03615-2>
- Matouf, Sh., & Mahdipour, H. (2015). Assessment of flood risk caused by human factors using GIS (Case study: Tehran Province). *Quarterly Journal of Urban Landscape Research*, 2(4). [In Persian]
- Morrison, A., Westbrook, C. J., & Noble, B. F. (2018). A review of the flood risk management governance and resilience literature. *Journal of Flood Risk Management*, 11(3), 291–304. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12315>
- Paydar, A., & Sanjari, A. (2016). Evaluation of neighborhood vulnerability to floods in Jiroft and proposing protective measures. *Journal of Urban Area Studies, Shahid Bahonar University of Kerman*, 3(3), 21–42. [In Persian]
- Peng, J., & Zhang, J. (2022). Urban flooding risk assessment based on GIS-game theory combination weight: A case study of Zhengzhou City. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 77(6), 103080. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.103080>
- Rezaei Moghaddam, M., & Rahimpour, T. (2024). Assessment of flood hazard potential using bivariate statistical analysis (Case Study: Ajichay Watershed). *Journal of Quantitative Geomorphology Research*, 12(4), 91–107. <https://doi.org/10.22034/gmpj.2024.429929.1473>. [In Persian]
- Saffari, A., Sasanpour, F., & Mosivand, J. (2011). Urban vulnerability assessment against flood risk using GIS and fuzzy logic (Case Study: District 3 of Tehran). *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 17(20), 125–150. [In Persian]
- Silva, M. M. G. T. De, & Kawasaki, A. (2018). Socioeconomic vulnerability to disaster risk: A case study of flood and drought impact in a rural Sri Lankan community. *Journal of Ecological Economics*, 152(4), 131–140. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.05.010>
- Solin, L., Sladekova Madajova, M., & Michaleje, L. (2018). Vulnerability assessment of households and its possible reflection in flood risk management: The case of the upper Myjava basin, Slovakia. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 5(3), 69–96. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.01.015>
- Wu, J., Chen, X., & Lu, J. (2022). Assessment of long- and short-term flood risk using the multi-criteria analysis model with the AHP-Entropy method in Poyang Lake Basin. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 75(3), 102968. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.102968>
- Yildirim, E., Just, C., & Demir, I. (2023). Flood risk assessment and quantification at the community and property level in the State of Iowa. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 77, 103106.
- Yin, J., Guo, S., Gentine, P., Sullivan, S. C., Gu, L., He, S., Chen, J., & Liu, P. (2021). Does the hook structure constrain future flood intensification under anthropogenic climate warming? *Water Resources Research*, 57(2), e2020WR028491. <https://doi.org/10.1029/2020WR028491>
- Zhang, H., Wu, W., Hu, C., Hu, C., Li, M., & Hao, X. (2021). A distributed hydrodynamic model for urban storm flood risk assessment. *Journal of Hydrology*, 600, 126513. <https://doi.org/10.1016/j.jhy-drol.2021.126513>