



Civil and Project Journal
<http://www.cpjournals.com/>

Research Article

Urban Flood Risk Management using GIS and Integration of Data Analysis, Civil Engineering, and Urban Planning

Gholamhossein Lighvani Oskuee¹, Mehdi Sadeghzadeh Tabrizi^{*2}

1- Senior GIS Expert, Tabriz Metropolitan Municipality

*2- Ph.D. in Mechatronics, Deputy of Technical and Urban Development, Tabriz Metropolitan Municipality, Iran

Received: 01 January 2026; Revised: 21 January 2026; Accepted: 01 February 2026; Published: 20 February 2026

Abstract

Floods, following earthquakes and tropical storms, have been recognized as the third most damaging natural hazard worldwide in recent years. Considering that many cities are located in floodplains and coastal areas due to economic advantages, urban flood risk management has become a critical component of urban planning. The potential for flood damage in urban environments is high because river overflows, combined with concentrated populations and valuable assets, lead to extensive losses. In this study, flood risk is defined as a function of hazard, vulnerability, and exposure, with special attention given to the role of poverty in exacerbating flood impacts. The research methodology is based on analyzing historical flood data and assessing the social, economic, and cultural characteristics of urban flood-prone areas. The findings indicate that risk management strategies should be designed according to cultural, economic, and developmental differences among urban regions, and participatory planning involving affected communities and stakeholders is crucial. The innovation of this study lies in presenting an integrated framework for urban flood risk management that combines data analysis, civil engineering, and urban planning. This framework can enhance urban resilience, reduce potential damages, and improve response to flood emergencies in urban areas

Keywords: Urban Flood Risk, Integrated Management, Data Analysis, Civil Engineering, Urban Planning,

Cite this article as Lighvani Oskuee, G and Sadeghzadeh Tabrizi, M. (2026). Urban Flood Risk Management using GIS and Integration of Data Analysis, Civil Engineering, and Urban Planning. (e239393). Civil and Project, 7(12), e239393 doi: <https://doi.org/10.22034/cpj.2026.573088.1427>

ISSN: 2676-511X / **Copyright:** © 2026 by the authors.

Open Access: This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Journal's Note: CPJ remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



نشریه عمران و پروژه
<http://www.cpjournals.com/>

مدیریت ریسک سیل شهری با استفاده از GIS و تلفیق تحلیل داده، مهندسی عمران و برنامه‌ریزی شهری

غلامحسین لیقوانی اسکویی^۱، مهدی صادقزاده تبریزی^{۲*}

۱- کارشناس ارشد GIS، شهرداری کلانشهر تبریز، ایران

۲*- دکتری مکترونیک، معاونت فنی و عمرانی شهرداری کلانشهر تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۱ دی ۱۴۰۴؛ تاریخ بازنگری: ۰۱ بهمن ۱۴۰۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۲ بهمن ۱۴۰۴؛ تاریخ انتشار آنلاین: ۰۱ اسفند ۱۴۰۴

چکیده

سیل‌ها پس از زلزله و طوفان‌های استوایی به‌عنوان سومین عامل خسارت‌زا در جهان طی سال‌های اخیر شناخته شده‌اند. با توجه به اینکه بسیاری از شهرها به دلیل مزیت‌های اقتصادی در دشت‌های سیلابی و سواحل واقع شده‌اند، مدیریت ریسک سیل به موضوعی حیاتی و ضروری در برنامه‌ریزی شهری تبدیل شده است. پتانسیل خسارت سیل در محیط‌های شهری بسیار بالا است، زیرا طغیان رودخانه‌ها در کنار تمرکز جمعیت و دارایی‌های ارزشمند موجب افزایش گسترده خسارات می‌شود. در این پژوهش، ریسک سیل به‌عنوان تابعی از مخاطره، آسیب‌پذیری و در معرض بودن تعریف شده و نقش فقر در تشدید خطر سیل نیز مورد توجه قرار گرفته است. روش تحقیق مبتنی بر تحلیل داده‌های تاریخی و بررسی ویژگی‌های اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی مناطق شهری سیل‌خیز است. نتایج نشان می‌دهد که استراتژی‌های مدیریت ریسک باید بر اساس تفاوت‌های فرهنگی، اقتصادی و توسعه‌ای مناطق مختلف طراحی شود و مدیریت مشارکتی با حضور جوامع آسیب‌دیده و ذینفعان اهمیت ویژه‌ای دارد. نوآوری مقاله در ارائه چارچوبی یکپارچه و جامع برای مدیریت ریسک سیل شهری است که تلفیقی از تحلیل داده، مهندسی عمران و برنامه‌ریزی شهری را در بر می‌گیرد. این چارچوب می‌تواند تاب‌آوری شهری را افزایش دهد، خسارات را کاهش دهد و پاسخ‌دهی به بحران‌های سیل در محیط‌های شهری را بهبود بخشد.

کلمات کلیدی: مدیریت ریسک سیل، آسیب‌پذیری، در معرض بودن، سیل شهری، تاب‌آوری شهری

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: mahdi_sadeghzadeh_tabrizi@yahoo.com

۱- مقدمه

در میان بلایای طبیعی مرتبط با تغییرات اقلیمی در دو دهه گذشته، سیلاب‌ها به‌عنوان شایع‌ترین مخاطره شناخته می‌شوند و بنا بر گزارش (UNISDR، ۲۰۱۵) حدود ۴۷ درصد از کل بلایا را شامل شده‌اند. این پدیده تاکنون بیش از ۲/۳ میلیارد نفر را در سطح جهان تحت تأثیر قرار داده و از منظر اقتصادی نیز در رتبه سوم خسارات مالی قرار گرفته است؛ به‌گونه‌ای که زیان ناشی از سیلاب‌ها در این دوره بالغ بر ۶۶۲ میلیارد دلار برآورد شده است. سیل به‌طور کلی به پوشیده شدن موقتی بخشی از زمین با آب در شرایطی اطلاق می‌شود که به‌طور معمول در آن منطقه آب وجود ندارد، یا زمانی که سطح آب رودخانه از حد ماکزیمم مورد انتظار فراتر رود (Blöschl et al., ۲۰۱۵). افزایش وقوع سیلاب‌ها می‌تواند پیامدهای گسترده‌ای همچون تخریب زمین‌های کشاورزی، آسیب به زیرساخت‌های حیاتی و جابجایی جوامع انسانی را به‌همراه داشته باشد (Smith, ۲۰۱۳).

در دهه‌های اخیر، روند وقوع سیلاب‌ها به‌طور چشمگیری افزایش یافته و تغییرات قابل توجهی در وضعیت طبیعی زمین ایجاد کرده است (Kentel & Samu, ۲۰۱۸). مناطق شهری به دلیل تراکم جمعیت و تمرکز دارایی‌های ارزشمند، بیش از سایر مناطق تحت تأثیر سیلاب قرار گرفته‌اند (Jha et al., ۲۰۱۲). این مسئله در کشورهای در حال توسعه شدت بیشتری دارد؛ چرا که در این کشورها سیل شهری به‌خوبی درک و مطالعه نشده است (Jiang et al., ۲۰۱۸; Nkwunonwo et al., ۲۰۱۶). نبود سیستم‌های زهکشی مناسب و افزایش سطوح نفوذناپذیر، تولید رواناب سطحی را تشدید کرده و خطر وقوع سیلاب‌های ویرانگر را افزایش می‌دهد (Bruwier et al., ۲۰۱۸). همچنین رشد جمعیت در مناطق سیل‌خیز و سکونت در بستر یا حریم رودخانه‌ها، آسیب‌پذیری شهری را دوچندان کرده است (Braun & Aßheue, ۲۰۱۱).

از منظر مدیریت ریسک، سیلاب‌های شهری به دلیل بارش‌های شدید و ناکارآمدی سیستم‌های زهکشی، خسارات قابل توجهی ایجاد می‌کنند. تمرکز جمعیت و دارایی‌های ارزشمند در شهرها موجب می‌شود که حتی سیلاب‌های کوچک نیز آسیب‌های گسترده‌ای به‌همراه داشته باشند. در چنین شرایطی، مدیریت پایدار ریسک سیلاب شهری به یک وظیفه پیچیده و چالش‌برانگیز برای جوامع و نهادهای مسئول تبدیل شده است (APFM, ۲۰۰۸). تجربه‌های ایران در دهه‌های اخیر نشان می‌دهد که برخی از ویرانگرترین سیلاب‌ها خسارات گسترده‌ای به زیرساخت‌ها و سکونتگاه‌ها وارد کرده‌اند. مطالعات انجام‌شده بر روی سیلاب‌های گلابدره (۱۳۶۶) و گرگانرود (۱۳۸۰) نشان می‌دهد که اقدامات غیرسازه‌ای مانند توسعه سیستم‌های هشدار سیل، در کنار اقدامات سازه‌ای، می‌تواند نقش مهمی در کاهش خسارات ایفا کند (امامی و همکاران، ۱۳۸۹؛ محمدی استادکلیه و همکاران، ۱۳۸۶). همچنین بررسی سیلاب دروازه قرآن شیراز (۱۳۹۸) نشان داده است که وجود مخازن کوچک ذخیره رواناب می‌تواند از شدت خسارات بکاهد (محمدزاده هابیلی و همکاران، ۱۳۹۸؛ امینا و حکمت‌زاده، ۱۴۰۰).

این شواهد بیانگر آن است که مدیریت ریسک سیلاب شهری باید پویا، یکپارچه و چندبعدی باشد؛ به‌گونه‌ای که اقدامات پیشگیرانه، سازه‌ای و غیرسازه‌ای، همراه با مشارکت فعال جوامع محلی، در کنار یکدیگر به کار گرفته شوند. چنین رویکردی نه تنها موجب کاهش خسارات مستقیم سیلاب‌ها می‌شود، بلکه زمینه‌ساز ارتقای تاب‌آوری شهری در برابر تغییرات اقلیمی و مخاطرات طبیعی خواهد بود. از این رو، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی جامع ریسک سیلاب شهری و ارائه چارچوبی برای مدیریت یکپارچه آن، تلاش دارد تا با ترکیب داده‌های هیدرولوژیکی، تحلیل‌های فضایی و رویکردهای اجتماعی-اقتصادی، راهکارهایی علمی و عملی برای کاهش آسیب‌پذیری و افزایش تاب‌آوری شهرها در برابر سیلاب ارائه دهد.

جدول ۱: ویژگی‌ها و خسارات سیل‌های برجسته شهری در ایران

محل وقوع	تاریخ وقوع	خسارات	توضیحات
سیل تجریش گلابدره - دره‌های دربند و گلابدره، شمال تهران	۴ مرداد ۱۳۶۶	۳۰۰ نفر کشته؛ ۷۵۷ میلیارد ریال خسارت مالی	در این تاریخ با وجود گرمای هوا، رگبار و تگرگ شدیدی آغاز شد. در مدت ۱۰۷ دقیقه، ۲۸ میلی‌متر بارش ثبت شد. دبی سیلاب معادل ۳۵۶ مترمکعب بر ثانیه برآورد گردید.
سیل امامزاده داوود - رودخانه کن	اردیبهشت ۱۳۷۴	۵ نفر کشته؛ خسارت مالی قابل توجه	چند شب قبل از سیل، طوفان شدید همراه با رگبار بسیاری از قصبات شمال و جنوب تهران را ویران کرد و تلفات جانی و مالی فراوانی به جا گذاشت.
سیل رودخانه مادرسو - گرگانرود	۲۰ مرداد ۱۳۸۰	بیش از ۵۰۰ کشته؛ میلیاردها تومان خسارت	از این سیل به‌عنوان ویرانگرترین سیل تاریخ ایران یاد می‌شود. دبی عبوری بالغ بر ۱۶۵۰ مترمکعب بر ثانیه گزارش شد.
سیل چهارچشمه مشهد	۱۶ خرداد ۱۳۷۱	۲۵ نفر کشته؛ خسارات مالی فراوان	بیشترین شدت بارش در فاصله ۱۵ دقیقه‌ای در ایستگاه دانشکده کشاورزی ۱۱۲ میلی‌متر در ساعت ثبت شد. دوره بازگشت این سیل ۳۸۰ سال برآورد گردید.
سیل دروازه قرآن شیراز	۵ فروردین ۱۳۹۸	۲۱ نفر کشته زن، مرد، کودک و خردسال	بارش ناگهانی با شدت ۷۷۶ میلی‌متر در ساعت منجر به وقوع سیلاب در حوضه دروازه قرآن شد.
سیل محدوده ارتفاعات جنوبی مشهد	۲۶ اردیبهشت ۱۴۰۳ ساعت ۳ بعد از ظهر	حداقل ۵ نفر کشته؛ خسارات جدی به منازل و زیرساخت‌های شهری	در طول ۲۴ ساعت حدود ۳۸ میلی‌متر بارندگی رخ داد. در مدت ۴۰ دقیقه، ۲۸ میلی‌متر بارش همراه با تگرگ ثبت شد. تغییر کاربری اراضی طبیعی و تخریب آبراهه‌ها از عوامل اصلی خسارت بودند.

سیلاب‌های شهری در دهه‌های اخیر به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی، چالش‌های گسترده‌ای را برای جوامع انسانی و زیرساخت‌های شهری ایجاد کرده‌اند. افزایش شدت و فراوانی بارش‌های حدی، تغییرات اقلیمی، رشد سریع شهرنشینی و توسعه بی‌رویه سطوح نفوذناپذیر، همگی موجب افزایش رواناب سطحی و دبی اوج سیلاب‌ها شده‌اند. این شرایط نه تنها خسارات انسانی و اقتصادی قابل توجهی به‌همراه دارد، بلکه پایداری و تاب‌آوری شهرها را نیز به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. در واقع، سیلاب‌های شهری به دلیل تراکم جمعیت و تمرکز دارایی‌های ارزشمند در شهرها، حتی در صورت وقوع در مقیاس کوچک، می‌توانند پیامدهای ویرانگری داشته باشند و روند توسعه پایدار شهری را با اختلال جدی مواجه سازند.

مطالعات اخیر نشان می‌دهد که مدیریت ریسک سیلاب شهری غالباً با دیدگاهی محدود و صرفاً مهندسی — هیدرولیکی انجام می‌شود؛ در حالی که ابعاد فضایی، اکولوژیکی، اجتماعی-اقتصادی و سیاسی این پدیده نادیده گرفته می‌شوند (Aerts et al., 2018). چنین رویکردهای تک‌بعدی معمولاً بر کنترل مطلق یا جلوگیری از وقوع سیلاب تمرکز دارند، اما در عمل به دلیل پیچیدگی‌های سیستم‌های شهری و تغییرات کاربری اراضی، نه تنها کارآمدی محدودی دارند بلکه در برخی موارد موجب تشدید خسارات در پایین‌دست نیز می‌شوند. برای مثال، ایجاد شبکه‌های زهکشی که رواناب را به سرعت به پایین‌دست منتقل می‌کنند، می‌تواند حجم سیلاب و دبی اوج را در مناطق دیگر افزایش دهد و خسارات غیرمنتظره‌ای به بار آورد. این امر نشان می‌دهد که مدیریت سیلاب شهری نیازمند نگرشی جامع‌تر و بین‌رشته‌ای است که تمامی ابعاد خطر را در نظر گرفته و تعامل میان انسان و زیرسیستم‌های فیزیکی را لحاظ کند.

در کشورهای در حال توسعه، مدیریت ریسک سیلاب شهری به دلیل تراکم جمعیت در مناطق سیل‌خیز، ضعف زیرساخت‌ها، نبود سیستم‌های زهکشی کارآمد و محدودیت منابع مالی و نهادی، چالش‌برانگیزتر است (Sampson et al., 2015). در این کشورها، سیلاب‌های شهری اغلب به‌عنوان یک بحران مقطعی تلقی می‌شوند و برنامه‌های جامع و پایدار برای کاهش ریسک و ارتقای تاب‌آوری کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. در حالی که هدف اصلی باید ایجاد شهری تاب‌آور باشد؛

شهری که بتواند خسارات انسانی و اقتصادی ناشی از سیلاب را به حداقل برساند و ظرفیت سازگاری و بازیابی خود را افزایش دهد. (Tingsanchali, 2012)

۲- علل و پیامدهای ریسک سیل شهری

برای دستیابی به چنین هدفی، ابتدا لازم است تا تعریف دقیق و واحدی از مفاهیم کلیدی مرتبط با ریسک سیلاب ارائه شود. ریسک به طور ساده به وقوع رویدادهای طبیعی شدید مانند سیل، خشکسالی، زلزله، طوفان یا رانش زمین اطلاق می شود که توسط نیروهای طبیعی به تنهایی یا در ترکیب با عوامل انسانی ایجاد می شوند. در این میان، مخاطره تنها بخشی از معادله ریسک است. دومین مؤلفه حیاتی، وجود چیزی یا شخصی است که در معرض این خطرات قرار گرفته و در برابر آن ها آسیب پذیر است. (Gain et al., 2015; Santos et al., 2020) بنابراین معادله ریسک سیلاب به شکل زیر تعریف می شود:

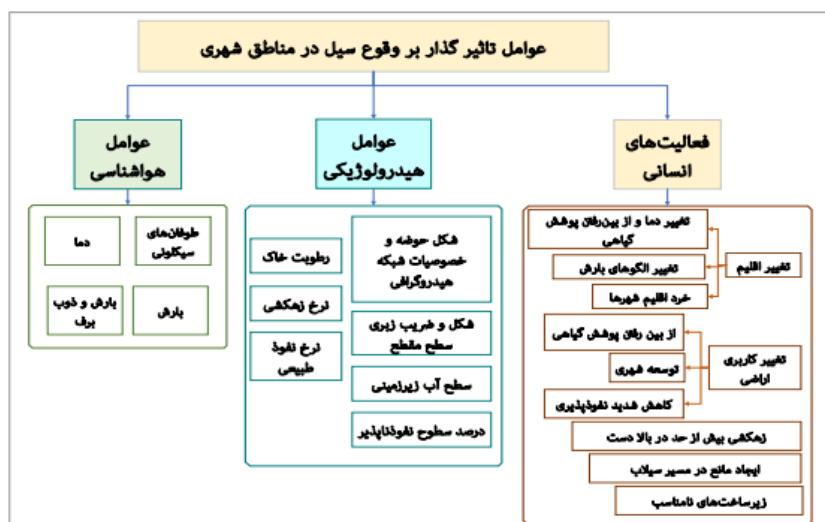
$$\text{Risk} = f(\text{Hazard} \times \text{Exposure} \times \text{Vulnerability}) \quad (1)$$

بر اساس این معادله، سه مؤلفه اصلی ریسک شامل مخاطره، قرار گرفتن در معرض و آسیب پذیری هستند. ریسک فاجعه به پتانسیل از دست دادن جان، جراحات، تخریب یا آسیب دارایی ها اطلاق می شود که می تواند برای یک سیستم، گروه یا جامعه در یک دوره زمانی خاص رخ دهد. مخاطره به پدیده یا فعالیت انسانی گفته می شود که ممکن است باعث از دست دادن جان، جراحات یا سایر پیامدهای بهداشتی، آسیب به اموال، اختلالات اجتماعی و اقتصادی یا تخریب محیط زیست شود. قرار گرفتن در معرض به وضعیت افراد، زیرساخت ها، مسکن، ظرفیت های تولید و سایر دارایی های انسانی ملموس اشاره دارد که در مناطق پرخطر واقع شده اند. نهایتاً، آسیب پذیری شرایطی است که توسط عوامل یا فرآیندهای فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و محیطی تعیین می شود و حساسیت یک فرد، جامعه یا سیستم را نسبت به پیامدهای مخاطرات نشان می دهد.

شناخت دقیق این مؤلفه ها برای مدیریت ریسک سیلاب شهری ضروری است. عوامل متعددی در زمینه های مختلف بر وقوع سیلاب تأثیر می گذارند. علاوه بر عوامل طبیعی مانند شدت بارش، مدت زمان بارندگی و شرایط هیدرولوژیکی، در بسیاری از موارد سیلاب تحت تأثیر عوامل انسانی نیز قرار دارد. تغییر کاربری اراضی، افزایش سطوح نفوذناپذیر، تخریب آبراه ها و نبود سیستم های زهکشی کارآمد، همگی از جمله عوامل انسانی هستند که شدت و پیامدهای سیلاب را در محیط های شهری افزایش می دهند. بنابراین مخاطرات سیلاب در محیط های ساخته شده توسط انسان باید به عنوان پیامد ترکیبی عوامل طبیعی و انسانی شناخته شوند.

سیلاب ها را اساساً می توان به چهار دسته تقسیم کرد: سیلاب های محلی، سیلاب های رودخانه ای، سیلاب های ساحلی و سیلاب های ناگهانی. سیلاب های شهری اغلب ترکیبی از این انواع هستند و برای مدیریت مؤثر آنها، شناخت دقیق علل و پیامدهای هر یک ضروری است.

در نهایت، این مقاله با هدف ارائه یک چارچوب مفهومی جامع برای مدیریت ریسک سیلاب شهری تدوین شده است؛ چارچوبی که نه تنها به توصیف مخاطره می پردازد، بلکه قرار گرفتن در معرض و آسیب پذیری را نیز در نظر گرفته و راهبردهای نوآورانه برنامه ریزی را برای کاهش ریسک و ارتقای تاب آوری شهری پیشنهاد می کند. نوآوری این پژوهش در آن است که فراتر از مفهوم «مخاطره» حرکت کرده و راهبردهای برنامه ریزی نوآورانه را نه تنها برای کاهش آسیب پذیری، بلکه برای مدیریت قرار گرفتن در معرض خطر نیز بررسی می کند. بدین ترتیب، این مطالعه می تواند به توسعه سیاست ها و اقدامات چندبعدی و بین رشته ای کمک کند؛ اقداماتی که تعامل میان انسان و زیر سیستم های فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی را در نظر گرفته و به ارتقای تاب آوری شهری در برابر سیلاب های آینده منجر شود.



شکل ۱- عوامل تأثیر گذار بر وقوع سیل شهری

شدت و مدت بارندگی بسیار زیاد در طول فصل‌های بارانی، به‌ویژه در مناطق مستعد، گاهی به دلیل رگبارهای فصلی ایجاد می‌شود و در شرایطی که خاک‌ها اشباع یا نفوذناپذیر باشند، شدت و پیامدهای آن تشدید می‌گردد. محیط‌های انسان ساخت مانند شهرها، به دلیل وجود سطوح غیرقابل نفوذ نظیر آسفالت و بتن، رواناب سطحی بیشتری تولید می‌کنند که معمولاً بیش از ظرفیت زهکشی محلی است و در نتیجه باعث ایجاد سیلاب‌های محلی می‌شود (Yang & Zhang, 2011). علاوه بر این، سیلاب‌های رودخانه‌ای در اثر بارش شدید باران یا ذوب برف در نواحی بالادست ایجاد می‌شوند و زمانی رخ می‌دهند که دبی رواناب رودخانه از ظرفیت عبور جریان فراتر رود (Rahman et al., 2021). نوع دیگری از سیلاب‌ها، سیلاب‌های ناگهانی هستند که در نتیجه رهاسازی سریع آب‌های روان از نواحی کوهستانی بالادست اتفاق می‌افتد (Yang et al., 2019). در این نوع سیلاب، رواناب به سرعت به مقدار حداکثر می‌رسد و تقریباً با همان سرعت کاهش می‌یابد (Cánovas-Ballesteros et al., 2015). این سیلاب‌ها به‌ویژه در مناطق پرجمعیت، به دلیل ماهیت غیرقابل پیش‌بینی و جریان‌های غیرمعمول که حجم زیادی از رسوبات و زباله‌ها را با خود حمل می‌کنند، نسبت به سایر انواع سیلاب مخرب‌تر هستند (Alexander et al., 2010). همچنین سیلاب‌های ساحلی عمدتاً بر شهرهای نزدیک مصب رودخانه‌ها، مناطق جزر و مدی و مناطق کم‌ارتفاع ساحلی تأثیر می‌گذارند (Ferrarin et al., 2015).

با توجه به تغییرات آب‌وهوایی، بسیاری از زیرسیستم‌های چرخه جهانی آب تشدید شده‌اند و در نتیجه بزرگی و فراوانی سیلاب‌ها در بسیاری از مناطق افزایش یافته است (Yi-Dao et al., 2001; Bermúdez et al., 2021). مناطق شهری به دلیل وجود سطوح انسان ساخت با دمای بالاتر نسبت به مناطق طبیعی اطراف، موجب افزایش رعد و برق و ایجاد گردش‌های هوای محلی می‌شوند که پدیده «جزیره گرمایی شهری» را شکل می‌دهد و در نهایت می‌تواند به وقوع طوفان‌های شدید کمک کند (Qie et al., 2021). افزایش سطح دریا نیز خطر سیلاب‌های ساحلی را به‌ویژه در صورت وقوع طوفان افزایش می‌دهد (Hall et al., 2005). علاوه بر این، میکرو اقلیم شهرها که عموماً موجب افزایش دما در محدوده شهری می‌شود، بارش‌ها را بیشتر به صورت باران و نه برف ایجاد می‌کند و این امر خود موجب افزایش دبی اوج و کوتاه شدن زمان اوج سیلاب می‌گردد.

پیامدهای سیلاب‌های شهری بسیار گسترده‌اند و به‌ویژه از نظر خسارات اقتصادی مستقیم و غیرمستقیم اهمیت دارند. خطر سیلاب تابعی از مواجهه مردم و فعالیت‌های اقتصادی در کنار آسیب‌پذیری بافت اجتماعی و اقتصادی است. بنابراین تأثیر چنین سیلاب‌هایی بر زندگی و معیشت مردم باید به‌عنوان تابعی از آسیب‌پذیری آن‌ها درک شود. تعدادی از ویژگی‌های شهری، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، با افزایش خطر سیلاب ارتباط مستقیم دارند؛ از جمله تراکم زیاد جمعیت، سطوح غیرقابل نفوذ گسترده و ساخت‌وسازهای بی‌رویه، سیستم‌های زهکشی نامناسب، ساخت مسکن بدون رعایت استانداردهای ایمنی و بهداشتی و افزایش جمعیت غیر اصولی در حاشیه شهر (Du et al., 2015; Brody & Lee, 2018; Thieken et al., 2022; Muzamil et al., 2022; Guo et al., 2021).

یکی از مؤلفه‌های کلیدی در ریسک سیلاب شهری، «قرار گرفتن در معرض» است که به این پرسش اشاره دارد که آیا افراد یا دارایی‌ها در محدوده سیلاب قرار دارند یا خیر. افزایش تعداد افراد و دارایی‌هایی که در شهرها به‌صورت فیزیکی در معرض سیلاب قرار می‌گیرند، یکی از عوامل اصلی افزایش خسارات سیلاب شهری است. رشد سریع و برنامه‌ریزی نشده شهرها موجب شده است که تعداد افرادی که در مناطق سیل‌گیر زندگی می‌کنند، افزایش یابد (Beringer & Kaewsuk, 2018; Ayala'D et al., 2020). مهاجرت بی‌سابقه از مناطق روستایی به شهرها منجر به گسترش بی‌رویه شهری، رشد صنعتی و توسعه زیرساخت‌ها در مناطق پرخطر مانند حاشیه رودخانه‌ها، زمین‌های اطراف رودخانه، دریا یا سطح مخزن و حتی داخل بستر رودخانه‌ها شده است. همچنین رشد اقتصادی منجر به انباشت دارایی‌ها در مناطق شهری گردیده که این امر آسیب‌پذیری آن‌ها را در برابر سیلاب افزایش داده و حتی از رشد جمعیت نیز پیشی گرفته است (Jiménez-Bayas et al., 2022).

متأسفانه، به دلیل اقدامات حفاظتی که در برابر سیلاب ایجاد می‌شود، تصور عمومی بر این است که توسعه سکونتگاه‌های انسانی و زیرساخت‌ها در این مناطق از سیلاب مصون هستند. این تفکر، خطرات باقی‌مانده مرتبط با هر سیستم حفاظت در برابر سیلاب را نادیده می‌گیرد (Haer et al., 2019; Webber et al., 2020). با این حال، اگر خطرات سیلاب در فرآیندهای برنامه‌ریزی کاربری زمین در نظر گرفته شوند، رشد شهری لزوماً به تشدید خطرات منجر نمی‌شود. گاهی اوقات تعهد به «برنامه‌ریزی شهری حساس به خطر سیلاب» به فراوانی وقوع سیلاب بستگی دارد. اگر سال‌ها یا دهه‌ها سیلاب‌های بزرگ در یک منطقه رخ ندهند، حفظ آگاهی مردم و مقامات نسبت به خطر سیلاب دشوارتر می‌شود، درک عمومی نسبت به سیلاب کاهش می‌یابد و قرار گرفتن در معرض به شکل قابل توجهی افزایش پیدا می‌کند (Verlynde et al., 2019; Inamura-Sado & Fukush, 2019). متأسفانه بسیاری از فرآیندهای شهرنشینی یا بدون برنامه‌ریزی یا با برنامه‌ریزی‌هایی انجام می‌شوند که خطرات سیلاب را نادیده گرفته یا دست‌کم می‌گیرند؛ مانند فقدان مقررات کاربری زمین، نظارت ناکارآمد بر ساخت و سازها و نبود سیستم‌های زهکشی مناسب (Beringer & Kaewsuk, 2018).

آسیب‌پذیری به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های حیاتی ریسک سیل، نقش تعیین‌کننده‌ای در شدت و گستره خسارات ناشی از این پدیده دارد. از گذشته تاکنون تعاریف و رویکردهای متعددی برای مفهوم آسیب‌پذیری ارائه شده است (Balica et al., 2009; Gheorghe, 2005; Green, 2004; Watson et al., 1996). آسیب‌پذیری مشخص می‌کند که آیا قرار گرفتن در معرض خطر می‌تواند منجر به وقوع فاجعه شود یا خیر. در واقع، سطح آسیب و زیان در درجه نخست توسط میزان آسیب‌پذیری افراد و جوامع تعیین می‌شود (Tucci, 2008).

یکی از مباحث مهم در تعیین آسیب‌پذیری، نقش فقر است. رابطه بین فقر و آسیب‌پذیری در برابر سیل پیچیده و چندوجهی بوده و عوامل متعددی در آن دخیل هستند. بسیاری از مطالعات انجام شده در این زمینه بر جوامع روستایی تمرکز داشته‌اند (Mahanta & Das, 2017; McElwee et al., 2017)، اما باید توجه داشت که در شهرهای بزرگ نیز این موضوع اهمیت دارد. در شهرهای بزرگ، جوامع فقیر اغلب به دلیل محدودیت منابع در مناطق آسیب‌پذیر مانند حاشیه شهرها سکونت دارند. این سکونتگاه‌ها معمولاً فاقد استانداردهای لازم برای مقابله با سیلاب هستند و حتی وقوع سیلاب‌های کوچک می‌تواند منجر به از بین رفتن تمامی دارایی‌های یک خانواده شود. در مقابل، در مناطق برخوردار شهری، سیلاب‌های مشابه تنها بخشی از دارایی‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

مطالعات نشان داده‌اند که میزان قرار گرفتن در معرض سیلاب در مناطق کم‌برخوردار تفاوت چندانی با سایر بخش‌های شهر ندارد، اما سطح آسیب‌پذیری خانوارهای فقیر به مراتب بالاتر است. فقر همچنین ظرفیت انطباق را کاهش می‌دهد؛ به همین دلیل افراد فقیر معمولاً دسترسی محدودی به منابع مالی، اطلاعات و شبکه‌های اجتماعی دارند که می‌توانند در آماده‌سازی و بهبود شرایط پس از سیلاب مؤثر باشند. علاوه بر این، خانوارهای کم‌برخوردار ممکن است به منابعی مانند بیمه، سیستم‌های هشدار یا زیرساخت‌های مقاوم دسترسی نداشته باشند.

به‌طور خلاصه، فقر و آسیب‌پذیری سیل از طریق عوامل مختلفی مانند قرار گرفتن در معرض، حساسیت، ظرفیت سازگاری، دسترسی به منابع، وابستگی معیشتی، وضعیت بهداشت و آموزش، آسیب‌پذیری اجتماعی و کیفیت حکمرانی به یکدیگر مرتبط هستند. درک و پرداختن به این عوامل برای توسعه راهبردهای مؤثر در کاهش تأثیر سیلاب بر جوامع فقیر، بسیار ضروری است.

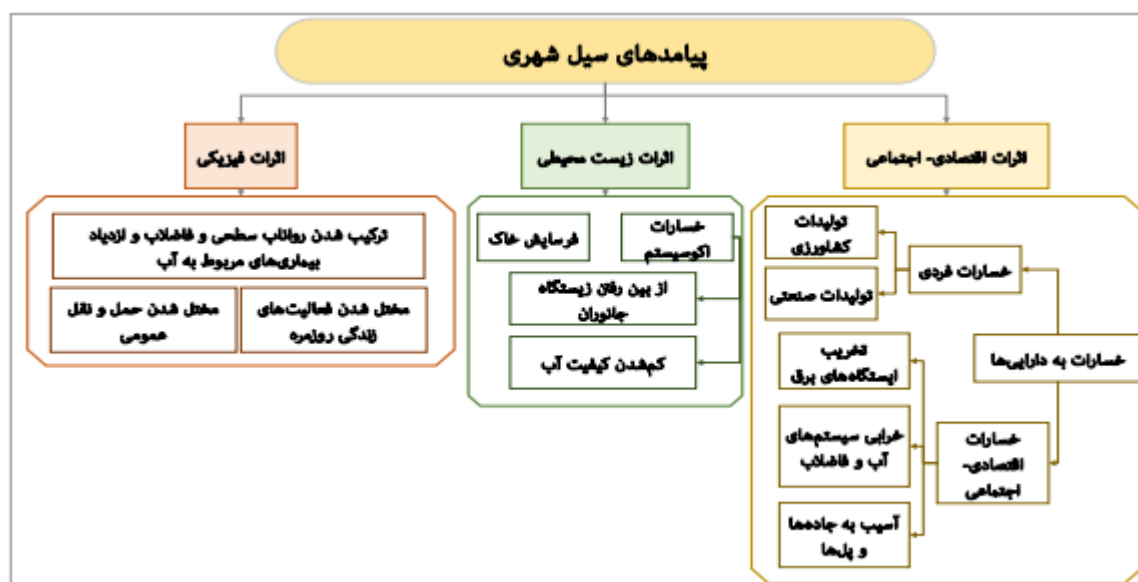
۳-مروری بر برخی از جدیدترین مطالعات انجام شده در ایران

در ادامه تعدادی از مطالعات انجام شده بر روی جنبه های مختلف تابع ریسک سیل در ایران در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲ - مطالعات اخیر سیل در ایران از جنبه های مختلف مدیریت ریسک سیل

عنوان مقاله	موضوع	نتایج	سال چاپ /نویسندگان	پارامتر دخیل در ریسک سیل
پهنه بندی پتانسیل سیل گیری با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در استان کردستان	تهیه نقشه پتانسیل سیل گیری با AHP و GIS	معیارهای بارش، شیب و فاصله از رودخانه بیشترین اهمیت را داشتند؛ پتانسیل سیل گیری در نواحی پایین دست و کم شیب استان زیاد بود.	اکرمی مقدم و همکاران (1403)	مخاطره و در معرض بودن
تهیه نقشه پتانسیل خطر وقوع سیل با استفاده از دو روش نسبت فراوانی و شاخص آماری (مطالعه موردی: حوضه آبریز آجی چای)	پهنه بندی ریسک سیل با روش های SI و FR	مناطق پایین دست و اطراف آبراهه های اصلی بیشترین ریسک را داشتند؛ هر دو مدل عملکرد عالی داشتند.	رضایی مقدم و رحیم پور (1402)	مخاطره و در معرض بودن
مدلسازی و پهنه بندی دو بعدی سیلاب شهری در حوضه شامل شهر کرج با استفاده از HEC-RAS 2D	شبیه سازی سیلاب شهری و پهنه بندی خطر	مناطق با بافت فرسوده و شبکه زهکشی قدیمی بیشترین آسیب پذیری را داشتند؛ شاهین ویلا و گوهردشت تاب آوری کمتر، عظیمیه و جهان شهر تاب آوری بیشتر.	خاتونی و همکاران (1402)	مخاطره و آسیب پذیری
بررسی اثرات سیل بر معیشت پایدار خانوارهای روستایی (دهستان آبستان، خرم آباد)	اثرات سیل بر سرمایه های معیشتی	سرمایه اجتماعی بیشترین و سرمایه انسانی کمترین میانگین را داشت؛ سیل سبب کاهش همه ابعاد سرمایه های معیشتی شد.	آذینی و همکاران (1402)	مخاطره و آسیب پذیری
ارزیابی مولفه های تاب آوری محلات شهری در برابر سیلاب (تهران 22 و 102، 305 مناطق)	سنجش تاب آوری محلات شهری	بالا ترین تاب آوری مربوط به بعد اقتصادی و کمترین مربوط به بعد کالبدی؛ میانگین تاب آوری 3.39 بود.	پوراحمد و صادقی (1402)	مخاطره و تاب آوری
الگوی مناسب مدیریت بحران سیلاب شهر ایلام	تحلیل ضعف های مدیریت شهری	راهبردهای پیشنهادی شامل مدیریت بافت فرسوده، رعایت حریم رودخانه ها، افزایش سطوح نفوذپذیر و کنترل فقر.	زیاری و همکاران (1402)	آسیب پذیری و در معرض بودن
مروری بر راهبردهای مدیریت ریسک سیل و چالش های قانونی و عملی	بررسی حکمرانی سیل در ایران	برنامه های موجود ناکافی؛ پیشنهاد مشارکت بخش خصوصی و استفاده از دانش محلی در سیاست گذاری.	طاهری و مساعدی (1402)	عدم وجود مدیریت ریسک
مطالعه جامعه شناختی چالش مدیریت آب های سطحی و تأثیر آن بر زندگی روزمره شهروندان اهوازی (1398-سیلاب اهواز و کارون (1400)	تحلیل پیامدهای اجتماعی سیلاب	نتایج نشان داد نبود مدیریت ریسک کارآمد و شکنندگی اقلیمی استان موجب نارضایتی مردم و خسارات گسترده شد.	بهمنی و محمدی ده چشمه (1402)	آسیب پذیری و در معرض بودن
بررسی عوامل مؤثر در بروز سیل جهت مدیریت خسارات در ناحیه گردشگری سیرج	مدلسازی سه بعدی و تحلیل سلسله مراتبی فازی	واحدهای زمین شناسی و شیب ناحیه مهم ترین عوامل طبیعی؛ بخش مسکونی و گردشگری بیشترین آسیب پذیری؛ پیشنهاد احداث تأسیسات سیل گیر و بازیابی پوشش گیاهی.	حسنی (1402)	مخاطره و آسیب پذیری

سیلاب‌های شهری به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی در دهه‌های اخیر، آثار گسترده‌ای بر جنبه‌های مختلف زندگی شهری داشته‌اند و پیامدهای آن‌ها نه‌تنها در حوزه‌های فیزیکی و اقتصادی بلکه در ابعاد اجتماعی و روانی نیز قابل توجه است. شدت و مدت بارندگی‌های شدید، به‌ویژه در فصل‌های بارانی، در شرایطی که خاک‌ها اشباع یا نفوذناپذیر باشند، موجب افزایش رواناب سطحی و بروز سیلاب‌های محلی می‌شود. محیط‌های انسان‌ساخت مانند شهرها به دلیل وجود سطوح غیرقابل نفوذ نظیر آسفالت و بتن، رواناب بیشتری تولید می‌کنند که فراتر از ظرفیت زهکشی محلی است و در نتیجه باعث آب‌گرفتگی و سیلاب‌های شهری می‌شود. علاوه بر این، سیلاب‌های رودخانه‌ای در اثر بارش‌های شدید یا ذوب برف در نواحی بالادست رخ می‌دهند و زمانی اتفاق می‌افتند که دبی رودخانه از ظرفیت عبور جریان فراتر رود. نوع دیگری از سیلاب‌ها، سیلاب‌های ناگهانی هستند که در نتیجه رها سازی سریع آب‌های روان از نواحی کوهستانی بالادست ایجاد می‌شوند و به سرعت به حداکثر دبی می‌رسند و تقریباً با همان سرعت کاهش می‌یابند. این نوع سیلاب‌ها به‌ویژه در مناطق پرجمعیت به دلیل ماهیت غیرقابل پیش‌بینی و حمل حجم زیادی از رسوبات و زباله‌ها، مخرب‌تر از سایر انواع سیلاب هستند. همچنین سیلاب‌های ساحلی عمدتاً بر شهرهای نزدیک مصب رودخانه‌ها، مناطق جزر و مدی و مناطق کم‌ارتفاع ساحلی تأثیر می‌گذارند.

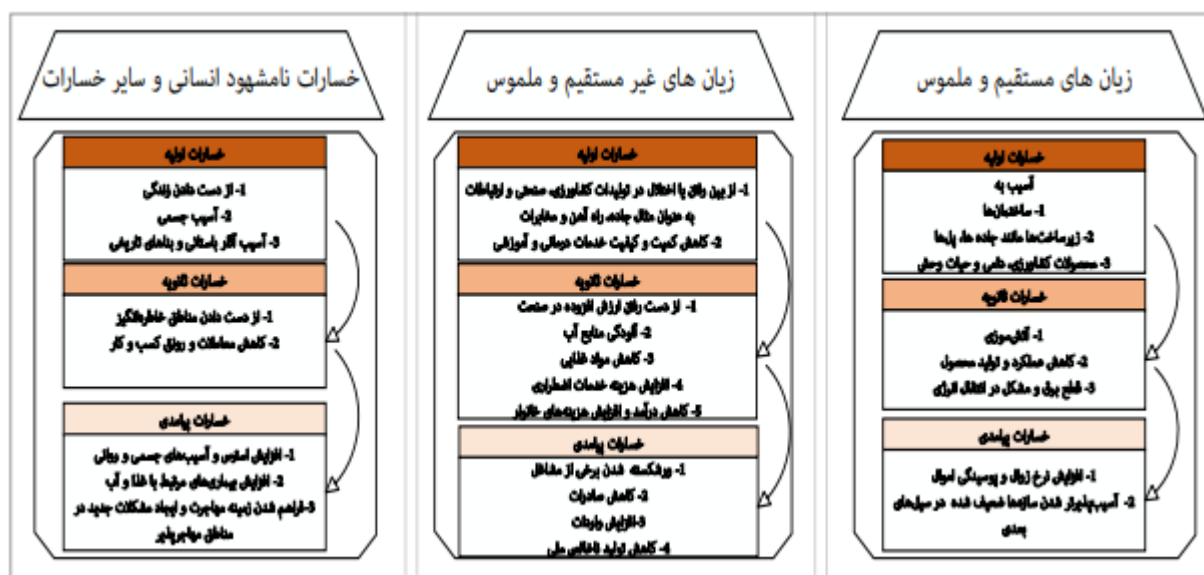


شکل ۲- پیامدهای سیل شهری در زمینه‌های مختلف

تغییرات اقلیمی نیز نقش مهمی در تشدید این پدیده دارند. گرم شدن زمین موجب تشدید چرخه جهانی آب و افزایش بزرگی و فراوانی سیلاب‌ها در بسیاری از مناطق شده است. در شهرها، سطوح انسان‌ساخت با دمای بالاتر نسبت به مناطق طبیعی اطراف، موجب ایجاد جزایر گرمایی شهری می‌شوند که می‌توانند به وقوع طوفان‌های شدید کمک کنند. افزایش سطح دریا نیز خطر سیلاب‌های ساحلی را به‌ویژه در صورت وقوع طوفان افزایش می‌دهد. علاوه بر این، تغییرات میکرو اقلیم شهری که معمولاً موجب افزایش دما در محدوده شهر می‌شوند، بارش‌ها را بیشتر به صورت باران و نه برف ایجاد می‌کنند و این امر خود موجب افزایش دبی اوج و کوتاه شدن زمان اوج سیلاب می‌گردد.

پیامدهای سیلاب‌های شهری را می‌توان در چند دسته اصلی طبقه‌بندی کرد. خسارات مستقیم شامل آسیب‌هایی است که به‌طور مستقیم به ساختمان‌ها، زیرساخت‌ها و دارایی‌های فیزیکی وارد می‌شود و می‌تواند وقفه در فعالیت‌های تجاری و افزایش هزینه‌های واکنش اضطراری مانند عملیات آتش‌نشانی را به‌همراه داشته باشد. خسارات غیرمستقیم به زیان‌هایی اطلاق می‌شود که ناشی از پیامدهای ثانویه سیلاب هستند، مانند اختلال در حمل‌ونقل، زیان‌های تجاری غیرقابل جبران و از دست دادن درآمد خانوارها. مطالعات نشان داده‌اند که این اختلالات می‌توانند حتی بخش‌های اقتصادی خارج از مناطق سیل‌خیز را نیز تحت تأثیر قرار دهند. زیان‌های ملموس شامل از دست دادن دارایی‌هایی است که ارزش پولی دارند و قابل جایگزینی هستند،

مانند ساختمان‌ها، دام‌ها، زیرساخت‌ها و محصولات کشاورزی. در مقابل، زیان‌های ناملموس به دارایی‌هایی اشاره دارند که ارزش پولی ندارند و قابل خرید و فروش نیستند، مانند جان انسان‌ها، میراث فرهنگی و یادگاری‌ها. برخی مطالعات نشان داده‌اند که ساکنان مناطق سیل‌زده بیش از خسارات مالی، از مشکلات سلامت روانی ناشی از سیلاب رنج می‌برند. در مجموع، سیلاب‌های شهری نه تنها خسارات اقتصادی و فیزیکی به همراه دارند، بلکه پیامدهای اجتماعی و روانی گسترده‌ای نیز ایجاد می‌کنند. این دسته‌بندی از خسارات نشان می‌دهد که مدیریت ریسک سیلاب باید چندبعدی باشد و علاوه بر کاهش خسارات مستقیم، به پیامدهای غیرمستقیم و ناملموس نیز توجه ویژه داشته باشد. بنابراین، اتخاذ رویکردی جامع و بین‌رشته‌ای که تمامی ابعاد مخاطره، آسیب‌پذیری و قرار گرفتن در معرض خطر را در نظر گیرد، برای ارتقای تاب‌آوری شهری در برابر سیلاب‌های آینده ضروری است.



شکل ۳- انواع خسارات سیل

۴- رویکردهای مدیریت سیل

مدیریت سیل در طول تاریخ همواره در حال تکامل بوده و با توجه به پیشرفت دانش، فناوری و نیازهای اجتماعی تغییر کرده است. در دوران باستان، تمدن‌هایی مانند بین‌النهرین، مصر، چین و هند روش‌های مختلفی برای آبیاری، زهکشی و کنترل سیلاب توسعه دادند تا از مزایای طغیان رودخانه‌ها برای کشاورزی و گسترش تمدن استفاده کنند. آن‌ها با ساخت خاکریزها، کانال‌ها، سدها و مخازن تلاش داشتند سکونتگاه‌های خود را در برابر آسیب‌های ناشی از سیلاب محافظت کنند. در اروپای قرون وسطی نیز اربابان فئودال و صومعه‌ها در امتداد رودخانه‌ها خاکریزهایی بنا می‌کردند تا زمین‌های کشاورزی و سکونتگاه‌ها را بازپس گیرند. (Mohanty et al., 2020; Sayers et al., 2013)

با ورود به عصر مدرن، صنعتی شدن و شهرنشینی تقاضا برای منابع آب و زمین را افزایش داد و اقدامات گسترده‌تری برای کنترل سیلاب صورت گرفت. این اقدامات اغلب ظرفیت طبیعی رودخانه‌ها و تالاب‌ها را برای ذخیره و انتقال سیلاب کاهش می‌داد. (Sayers et al., 2013; National Research Council, 2013) در اواخر قرن بیستم، محدودیت‌ها و پیامدهای منفی اقدامات صرفاً سازه‌ای آشکار شد و نیاز به توجه به جنبه‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی مدیریت سیل افزایش یافت. این امر منجر به ظهور رویکرد مدیریت یکپارچه سیل شد؛ رویکردی کل‌نگر که هدف آن بهره‌برداری پایدار از دشت‌های سیلابی در کنار کاهش خسارات انسانی و اقتصادی است. مدیریت یکپارچه سیل ترکیبی از اقدامات ساختاری و غیرساختاری را شامل

می‌شود؛ از جمله برنامه‌ریزی کاربری زمین، پیش‌بینی و هشدار سیل، آمادگی و واکنش اضطراری، بیمه سیل، آگاهی و مشارکت عمومی و بازسازی اکوسیستم.

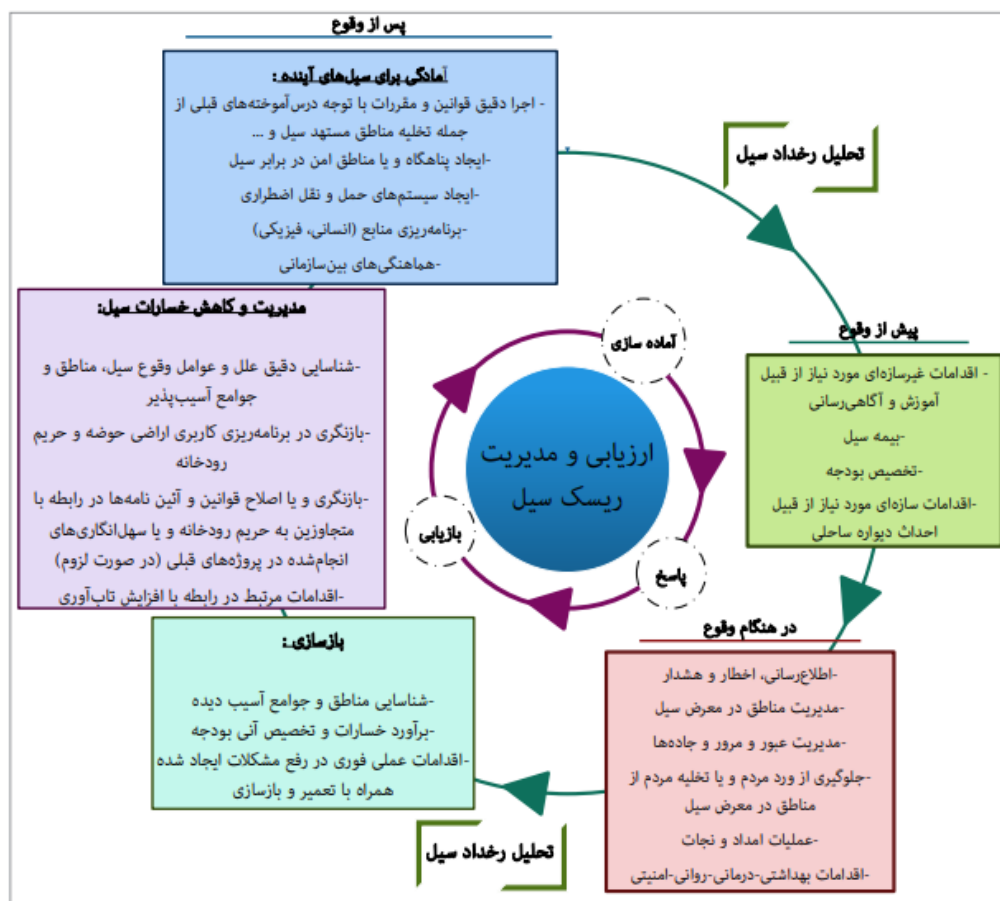
در قرن بیست و یکم، تغییرات اقلیمی و پیامدهای آن بر رژیم‌های هیدرولوژیکی چالش‌ها و عدم قطعیت‌های جدیدی را برای مدیریت سیل ایجاد کرده است. در این شرایط، نیاز به اتخاذ رویکردهای انطباقی و انعطاف‌پذیر بیش از پیش احساس می‌شود. (Sayers et al., 2013; National Research Council, 2013) هدف نهایی مدیریت یکپارچه ریسک سیل شهری در دو جنبه اساسی خلاصه می‌شود: نخست، به حداقل رساندن خسارات انسانی و اقتصادی؛ دوم، استفاده از منابع طبیعی به نفع و رفاه مردم. با این حال، باید پذیرفت که امنیت مطلق در برابر سیل امکان‌پذیر نیست و مدیریت سیل در تلاش برای حذف کامل خطرات نیست، بلکه برای کاهش آن‌ها برنامه‌ریزی می‌کند.

۴-۱-۱- مراحل اساسی مدیریت یکپارچه سیل

۴-۱-۱-۱- ارزیابی ریسک: هر طرح مدیریت ریسک سیل شهری باید با ارزیابی خطرات جاری و آینده آغاز شود. ارزیابی ریسک ابزاری مؤثر برای کاهش اثرات سیل شهری است. (Bin et al., 2023) این ارزیابی باید جامع و یکپارچه باشد و جنبه‌های مختلف خطر را شامل کند. (Liu & Chen, 2019) ویژگی‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی حوضه رودخانه، همراه با جنبه‌های اقتصادی، سیاسی، اجتماعی-فرهنگی و اکولوژیکی مناطق مستعد سیل باید در نظر گرفته شوند. سناریوهای متعددی برای توضیح تغییرات آبی مانند شهرنشینی، نوسانات آب و هوا و تغییرات کاربری زمین باید مدلسازی شوند تا بینش‌هایی در مورد احتمال وقوع سیل، بزرگی آن (اندازه، عمق، مدت زمان و سرعت جریان) و شناسایی مناطق در معرض خطر ارائه دهند (Feng et al., 2021; Sertel et al., 2019; Karami et al., 2024). اقدامات کاهش خطر و محافظت از مناطق شهری در برابر سیلاب‌های ویرانگر استفاده می‌شوند. (Diakakis et al., 2020) این نقشه‌ها علاوه بر شناسایی مناطق پرخطر، امکان مقایسه کمی عوامل مختلف خطر را نیز فراهم می‌کنند و نشان می‌دهند که اقدامات پیشگیرانه در کجا می‌تواند مؤثرتر باشد.

۴-۱-۱-۲- برنامه‌ریزی و اجرای اقدامات: مدیریت ریسک سیل باید یک چرخه ساختاریافته داشته باشد که شامل اقدامات پیشگیرانه، واکنشی و بازسازی است. اقدامات پیشگیرانه برای جلوگیری از تبدیل خطرات احتمالی به فاجعه طراحی می‌شوند و شامل توسعه و به‌روزرسانی سیستم‌های هشدار سیل، ایجاد شبکه‌های زهکشی مناسب، طراحی مسیرهای انتقال رواناب، جلوگیری از تغییر کاربری اراضی بالادست، احیای مراتع و در برخی موارد ساخت بندهای انحرافی یا مخازن ذخیره‌کننده سیلاب هستند. اقدامات واکنشی یا پاسخ در حین یا بلافاصله پس از وقوع سیل اجرا می‌شوند و نیازمند برنامه‌ریزی و آمادگی قبلی برای شرایط اضطراری هستند. مرحله بازسازی شامل بازسازی یا بهبود شرایط گروه یا جامعه آسیب‌دیده است که باید همسو با اصول توسعه پایدار و رویکرد «بازسازی بهتر» انجام شود تا ریسک سیلاب‌های آینده کاهش یابد.

در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، اقدامات پیشگیرانه و مرحله آماده‌سازی نادیده گرفته می‌شوند و مدیریت سیل بیشتر بر اقدامات واکنشی پس از بحران تمرکز دارد. این در حالی است که نقش حیاتی برنامه‌ریزی پیشگیرانه در طول چرخه سیل، از جمله آمادگی قبل از وقوع و واکنش به موقع در زمان حادثه، باید مورد تأکید قرار گیرد. یکی از ابزارهای مهم در این زمینه بیمه سیل است که فشار مالی بر افراد و دولت‌ها را پس از وقوع سیلاب به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. تشویق جامعه به پذیرش بیمه سیل می‌تواند بازسازی را تسریع کند و تاب‌آوری بلندمدت در برابر سیلاب‌های آینده ایجاد نماید.



شکل ۴- چرخه مدیریت ریسک سیل FRM این چرخه شامل اقدامات پیشگیرانه و آمادگی، پاسخ و اقدامات واکنشی

۴-۲-۳- برنامه ریزی و اقدامات کاهش خطر: مدیریت سیل در طول زمان همواره در حال تکامل بوده و با پیشرفت دانش، فناوری و نیازهای اجتماعی تغییر کرده است. در دوران باستان، تمدن‌هایی مانند بین‌النهرین، مصر، چین و هند روش‌های مختلفی برای آبیاری، زهکشی و کنترل سیلاب توسعه دادند تا از مزایای طغیان رودخانه‌ها برای کشاورزی و گسترش تمدن استفاده کنند. آن‌ها با ساخت خاکریزها، کانال‌ها، سدها و مخازن تلاش داشتند سکونتگاه‌های خود را در برابر آسیب‌های ناشی از سیلاب محافظت کنند. در اروپای قرون وسطی نیز اربابان فئودال و صومعه‌ها در امتداد رودخانه‌ها خاکریزهایی بنا می‌کردند تا زمین‌های کشاورزی و سکونتگاه‌ها را بازپس گیرند. با ورود به عصر مدرن، صنعتی شدن و شهرنشینی تقاضا برای منابع آب و زمین را افزایش داد و اقدامات گسترده‌تری برای کنترل سیلاب صورت گرفت که اغلب ظرفیت طبیعی رودخانه‌ها و تالاب‌ها را برای ذخیره و انتقال سیلاب کاهش می‌داد.

در اواخر قرن بیستم، محدودیت‌ها و پیامدهای منفی اقدامات صرفاً سازه‌ای آشکار شد و نیاز به توجه به جنبه‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی مدیریت سیل افزایش یافت. این امر منجر به ظهور رویکرد مدیریت یکپارچه سیل شد؛ رویکردی کل‌نگر که هدف آن بهره‌برداری پایدار از دشت‌های سیلابی در کنار کاهش خسارات انسانی و اقتصادی است. مدیریت یکپارچه سیل ترکیبی از اقدامات ساختاری و غیر ساختاری را شامل می‌شود؛ از جمله برنامه‌ریزی کاربری زمین، پیش‌بینی و هشدار سیل، آمادگی و واکنش اضطراری، بیمه سیل، آگاهی و مشارکت عمومی و بازسازی اکوسیستم. در قرن بیست و یکم، تغییرات اقلیمی و پیامدهای آن بر رژیم‌های هیدرولوژیکی چالش‌ها و عدم قطعیت‌های جدیدی را برای مدیریت سیل ایجاد کرده است و نیاز به اتخاذ رویکردهای انطباقی و انعطاف‌پذیر بیش از پیش احساس می‌شود. هدف نهایی مدیریت یکپارچه ریسک سیل شهری در دو جنبه اساسی خلاصه می‌شود: نخست، به حداقل رساندن خسارات انسانی و اقتصادی؛ دوم، استفاده از منابع

طبیعی به نفع و رفاه مردم. با این حال باید پذیرفت که امنیت مطلق در برابر سیل امکان پذیر نیست و مدیریت سیل در تلاش برای حذف کامل خطرات نیست، بلکه برای کاهش آن‌ها برنامه‌ریزی می‌کند.

مراحل اساسی مدیریت یکپارچه سیل شامل ارزیابی ریسک، برنامه‌ریزی و اجرای اقدامات و ارزیابی مجدد ریسک است. ارزیابی ریسک نخستین گام در فرآیند مدیریت سیل است و باید جامع و یکپارچه باشد تا جنبه‌های مختلف خطر را شامل کند. این ارزیابی باید ویژگی‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی حوضه رودخانه، همراه با جنبه‌های اقتصادی، سیاسی، اجتماعی-فرهنگی و اکولوژیکی مناطق مستعد سیل را در بر گیرد. سناریوهای متعددی برای توضیح تغییرات آبی مانند شهرنشینی، نوسانات آب و هوا و تغییرات کاربری زمین باید مدلسازی شوند تا بینش‌هایی در مورد احتمال وقوع سیل، بزرگی آن و شناسایی مناطق در معرض خطر ارائه دهند. محصول ارزیابی ریسک، نقشه‌های ریسک هستند که برای توسعه اقدامات کاهش خطر و محافظت از مناطق شهری در برابر سیلاب‌های ویرانگر استفاده می‌شوند. این نقشه‌ها علاوه بر شناسایی مناطق پرخطر، امکان مقایسه کمی عوامل مختلف خطر را نیز فراهم می‌کنند و نشان می‌دهند که اقدامات پیشگیرانه در کجا می‌تواند مؤثرتر باشد.

برنامه‌ریزی و اجرای اقدامات کاهش خطر شامل اقداماتی است که از تبدیل خطرات احتمالی به فاجعه جلوگیری می‌کنند. این اقدامات می‌توانند شامل توسعه و به‌روزرسانی سیستم‌های هشدار سیل، ایجاد شبکه‌های زهکشی مناسب، طراحی مسیرهای انتقال رواناب، جلوگیری از تغییر کاربری اراضی بالادست، احیای مراتع و در برخی موارد ساخت بندهای انحرافی یا مخازن ذخیره‌کننده سیلاب باشند. اقدامات واکنشی یا پاسخ در حین یا بلافاصله پس از وقوع سیل اجرا می‌شوند و نیازمند برنامه‌ریزی و آمادگی قبلی برای شرایط اضطراری هستند. مرحله بازسازی شامل بازسازی یا بهبود شرایط گروه یا جامعه آسیب‌دیده است که باید همسو با اصول توسعه پایدار و رویکرد «بازسازی بهتر» انجام شود تا ریسک سیلاب‌های آینده کاهش یابد.

در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، اقدامات پیشگیرانه و مرحله آماده‌سازی نادیده گرفته می‌شوند و مدیریت سیل بیشتر بر اقدامات واکنشی پس از بحران تمرکز دارد. این در حالی است که نقش حیاتی برنامه‌ریزی پیشگیرانه در طول چرخه سیل، از جمله آمادگی قبل از وقوع و واکنش به‌موقع در زمان حادثه، باید مورد تأکید قرار گیرد. یکی از ابزارهای مهم در این زمینه بیمه سیل است که فشار مالی بر افراد و دولت‌ها را پس از وقوع سیلاب به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. تشویق جامعه به پذیرش بیمه سیل می‌تواند بازسازی را تسریع کند و تاب‌آوری بلندمدت در برابر سیلاب‌های آینده ایجاد نماید.

در کنار این اقدامات، کاهش مواجهه با خطرات سیل نیز اهمیت دارد. این امر به اقداماتی اطلاق می‌شود که از قرار گرفتن سکونتگاه‌ها و زیرساخت‌ها در مناطق پرخطر جلوگیری می‌کند. برنامه‌ریزی شهری حساس به سیلاب باید مانع از تشدید خطرات ناشی از توسعه شهری شود. برای گنجاندن مؤثر خطرات سیلاب در برنامه‌ریزی بلندمدت شهری، برنامه‌ریزان باید دانش کافی از خطرات جاری و آینده داشته باشند. این دانش از طریق ترکیب مدل‌های سیلاب با سناریوهایی که عواملی مانند رشد جمعیت، توسعه اقتصادی، تغییر سبک زندگی و تغییر کاربری زمین را در نظر می‌گیرند، حاصل می‌شود. اجرای طرح‌های کاربری زمین برای کاهش مواجهه با خطرات سیلاب یک چالش مهم است و روش‌های اجرای آن را می‌توان در چهار گروه اصلی طبقه‌بندی کرد: مقررات محدودکننده مانند ممنوعیت ساخت‌وساز در مناطق پرخطر یا اسکان مجدد، مشوق‌های اقتصادی مانند مالیات ترجیحی برای کاربری‌های مطلوب، افزایش دانش و آگاهی عمومی از طریق کمپین‌های آموزشی و سرمایه‌گذاری عمومی مانند خرید زمین و انتقال امکانات عمومی به خارج از دشت‌های سیلابی.

در نهایت، ارزیابی مجدد ریسک مرحله‌ای حیاتی در مدیریت یکپارچه سیلاب است. این ارزیابی معمولاً پس از وقوع یک حادثه سیلاب انجام می‌شود و هدف آن شناسایی مناطقی است که در ارزیابی اولیه نادیده گرفته شده‌اند اما در جریان حادثه دچار خسارت شده‌اند. تکرار ارزیابی ریسک پس از اجرای اقدامات، امکان بررسی کامل اثربخشی هر اقدام خاص و شناسایی جنبه‌های جدید خطر را فراهم می‌کند. این فرآیند پویا موجب می‌شود که مدیریت ریسک سیلاب همواره با شرایط جدید اقلیمی، اجتماعی و کالبدی سازگار باقی بماند و تاب‌آوری شهری در برابر سیلاب‌های آینده تقویت شود.

۵- چارچوب مفهومی برای مدیریت ریسک سیل شهری

شهرها به دلیل تمرکز جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی، فشار قابل توجهی بر منابع طبیعی وارد می‌کنند و این فعالیت‌ها به شدت به هم مرتبط بوده و بر یکدیگر و بر ریسک سیل تأثیر می‌گذارند. علاوه بر این، فعالیت‌های توسعه منطقه‌ای مانند کشاورزی، آبخیزداری، تولید انرژی و حفاظت از محیط زیست در خارج از محدوده شهر نیز بر مدیریت ریسک سیل شهری

اثرگذار هستند. بنابراین، ادغام ملاحظات ریسک سیل در تمامی این فعالیت‌های به هم پیوسته بسیار ضروری است و خطرات سیل باید در راهبردها و سیاست‌های بخشی مختلف کشور لحاظ شوند. ایجاد چنین جریان سیاسی و مدیریتی مستلزم تحلیل و درک دقیق تأثیر سیل بر برنامه‌ها و پروژه‌های توسعه، تأثیر این برنامه‌ها بر ایجاد سیل، بزرگی ریسک و میزان آسیب‌پذیری جامعه در برابر خطرات سیل است.

برای دستیابی به این اهداف، مدیریت یکپارچه سیل ترکیبی از اقدامات سیاستی، نظارتی، مالی و فیزیکی را در بر می‌گیرد که سازگاری با سیل را در اولویت قرار می‌دهد و اذعان می‌کند که سیل را نمی‌توان به طور کامل کنترل کرد. این رویکرد خواستار تغییر نگرش از «کنترل سیلاب» به «مدیریت سیل» است که روابط پیچیده میان سیل و انسان را به رسمیت می‌شناسد. چارچوب مفهومی مدیریت ریسک سیل شهری بر اصولی مانند مدیریت جامع چرخه آب، مدیریت یکپارچه منابع آب، مدیریت سیلاب در سطح حوضه و مدیریت پایدار سیستم‌های زهکشی شهری استوار است.

کاهش مؤثر ریسک سیل شهری مستلزم ترکیبی از اقدامات فضایی، فنی و سازمانی در سطح شهرداری است. مفاهیم مدیریت جامع چرخه آب و مدیریت یکپارچه سیل بر اهمیت استفاده مناسب از زمین تأکید دارند. هنگام تدوین مقررات و آیین‌نامه‌های کاربری زمین، توجه به خطرات احتمالی سیل مرتبط با کاربری‌های مختلف و اتخاذ اقداماتی برای به حداقل رساندن آن‌ها ضروری است. یکی از اجزای حیاتی یک استراتژی جامع مدیریت ریسک سیل، مدیریت آب‌های سطحی است. شفاف‌سازی قانونی در مورد تخلیه آب‌های سطحی و مدلسازی دقیق فرآیندهای سیل، شامل بررسی رویدادهای تاریخی، سیستم‌های زهکشی سطحی و زیرسطحی و تعامل منابع مختلف سیلاب، از اقدامات اساسی در این زمینه محسوب می‌شوند. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که ترکیب مدل‌های یک‌بعدی مدیریت رواناب شهری با مدل‌های دوبعدی طغیان سیل می‌تواند درک بهتری از پویایی سیلاب‌های شهری فراهم کند.

توسعه برنامه‌های مدیریت ریسک سیل و اجرای اقدامات مربوطه وظایفی نیستند که یک بار انجام شوند، بلکه باید به‌عنوان یک فرآیند یادگیری مداوم در نظر گرفته شوند. برای ارتقای مستمر سیاست‌ها و اقدامات، نظارت و ارزیابی منظم آن‌ها ضروری است. از آنجا که شرایط هیدرولوژیکی، اجتماعی-اقتصادی، سیاسی و اکولوژیکی از شهری به شهر دیگر متفاوت است، این رویکرد باید متناسب با شرایط هر منطقه تعریف شود. ارزیابی این اقدامات گامی اساسی در مدیریت ریسک سیل است و ارتباط مستقیمی با ارزیابی مجدد خود ریسک دارد.

در نهایت، چارچوب مدیریت ریسک سیل شهری بر اصول مشارکتی استوار است. به طور سنتی، کنترل سیل با تصمیم‌گیری از بالا به پایین هدایت می‌شد، اما در کشورهای در حال توسعه به دلیل ساختار سلسله‌مراتبی سیستم‌های اداری، اقدامات کنترل سیل اغلب بدون مشارکت جوامع آسیب‌دیده و سایر ذی‌نفعان برنامه‌ریزی می‌شود. این موضوع در بسیاری از موارد منجر به اقدامات ناپایدار شده و حتی می‌تواند به درگیری‌های اجتماعی منجر شود. مطالعات متعدد بر نقش مشارکت عمومی در مدیریت ریسک سیل تأکید کرده‌اند، زیرا مشارکت جوامع محلی و ذی‌نفعان تأثیر مستقیمی بر کاربری اراضی و میزان در معرض بودن دارد. مشارکت ذی‌نفعان سه هدف اصلی را دنبال می‌کند: نخست، گردآوری دانش از دیدگاه‌های مختلف برای ایجاد درک عمیق‌تر از خطرات سیل؛ دوم، فراهم کردن فرصت برای جوامع آسیب‌دیده تا نیازها و خواسته‌های خود را در تصمیم‌گیری‌ها وارد کنند؛ و سوم، شناسایی و اجرای اقدامات مدیریت سیل مؤثر و پایدار که با حمایت اکثریت ذی‌نفعان همراه باشد. این رویکرد مشارکتی نه تنها موجب افزایش کارآمدی اقدامات می‌شود، بلکه تاب‌آوری اجتماعی و نهادی در برابر سیلاب‌های آینده را نیز تقویت می‌کند.

۶- نتیجه گیری

در مجموع می‌توان گفت که سه‌گانه‌ی مخاطره، آسیب‌پذیری و انعطاف‌پذیری چارچوبی جامع برای مدیریت ریسک سیل شهری فراهم می‌آورد. شناخت پیچیدگی و درهم‌تنیدگی این عناصر برای طراحی راهبردهایی که از رویکردهای سنتی فراتر می‌روند و رویکردی چندرشته‌ای را در بر می‌گیرند، حیاتی است. شهری تاب‌آور تنها شهری نیست که اثرات مخاطرات را کاهش می‌دهد، بلکه شهری است که به جوامع قدرت می‌بخشد تا فعالانه در حفاظت و کاهش ریسک سیل مشارکت کنند. چنین رویکردی مسیر دستیابی به محیط‌های شهری پایدار و سازگار را هموار می‌کند؛ محیط‌هایی که توان مقاومت در برابر چالش‌های غیرقابل پیش‌بینی آینده را دارند.

مسئولیت کاهش پیامدهای سیل شهری ذاتاً یک وظیفه عمومی است و نیازمند مشارکت فعال ارگان‌های دولتی، شهرداری‌ها و سایر نهادهای عمومی است. همراهی این نهادها و پایبندی آن‌ها به قوانین سختگیرانه مرتبط با مدیریت سیل، تأثیر قابل توجهی بر نگرش عمومی نسبت به جدی بودن خطر سیل دارد. از این رو، مدیریت موفق سیل یک تلاش مشترک است که بخش عمومی و سهامداران را در مسیری هماهنگ برای ایجاد شهری تاب‌آور متحد می‌سازد. با این حال، در بسیاری از کشورهای جهان سوم، سازمان‌های دولتی و نیمه‌دولتی خود به‌عنوان عواملی عمل می‌کنند که آسیب‌پذیری جوامع را افزایش می‌دهند؛ موضوعی که نشان‌دهنده ضعف نهادی و مدیریتی در این کشورهاست.

برای کاهش ریسک سیل شهری، انجام مطالعات گسترده و جامع متناسب با شرایط اقلیمی، توپوگرافی و اجتماعی هر منطقه ضروری است. این مطالعات باید تفاوت‌های فرهنگی و اجتماعی را در نظر بگیرند و با توجه به ظرفیت‌ها و پتانسیل اقتصادی هر منطقه، راهکارهای مناسب و واقع‌بینانه‌ای ارائه دهند. تنها با چنین رویکردی می‌توان به مدیریت ریسک سیل شهری کارآمد دست یافت؛ مدیریتی که نه تنها بر کاهش خسارات متمرکز است، بلکه بر ارتقای تاب‌آوری و توان سازگاری جوامع شهری نیز تأکید دارد.

منابع

- 1) Azini, K., Ghanbarbimoahad, R., Rezvan, & Rahimian, M. (۲۰۲۳). Effects of flood on sustainable livelihoods of rural households: Case study of Abestan Rural District, Khorramabad County. *Geographical Studies of Mountainous Areas, ۴*(۲), ۱۸۷-۲۰۴
- 2) Akrami Moghadam, B., Ilkhani Pour Zinali, R., & Nikmehr, S. (۲۰۲۴). Flood susceptibility mapping using analytic hierarchy process in Kurdistan Province. *Environment and Water Engineering, ۱۰*(۱), ۷۹-۹۳
- 3) Emami, K., Kabarfard, M., & Karari, Z. (۲۰۱۰). Optimization of urban flood management using non-structural methods: Case study of Galab Darreh flood early warning system. *First National Conference on Urban Flood Management*, Tehran, Iran.
- 4) Amina, Z., & Hekmatzadeh, A. (۲۰۲۱). Flash flood estimation in small watersheds: Case study of Dorzadeh Quran watershed, Shiraz. *۲۰th Iranian Hydraulic Conference*, Gorgan, Iran.
- 5) Bahmani, S., & Mohammadi Dehcheshmeh, M. (۲۰۲۳). Socio-cognitive study of surface water management challenges and their impact on daily life of Ahvaz citizens: Case study of urban floods and wastewater overflow in Ahvaz and Karun cities (۲۰۱۹-۲۰۲۱). *Journal of Social Development, ۱۸*(۱), ۲۲۷-۲۵۰
- 6) Pour Ahmad, A., & Sadeghi, A. (۲۰۲۳). Assessment of urban resilience components against flood: Case study of neighborhoods along river paths in Tehran municipality (districts ۱, ۲, ۳, ۵, and ۲۲). *Geographical Studies of Mountainous Areas, ۴*(۲), ۲۳-۴۲
- 7) Hassani, M. J. (۲۰۲۳). Factors influencing flood occurrence and management of flood damages in Sirch tourist area. *Journal of Urban Management and Environmental Engineering, ۱*(۴), ۸۵-۱۰۲
- 8) Khatouni, K., Hoshiyaripour, F., Noori, R., & Malek Mohammadi, B. (۲۰۲۳). ۲D modeling and flood zoning of urban areas in Karaj using ۲D RAS-HEC. *Journal of Water Engineering, ۱۱*(۱), ۹۹-۱۱۰
- 9) Rezai Moghadam, M. H., & Rahimpour, T. (۲۰۲۳). Flood hazard mapping using frequency ratio and statistical index methods: Case study of Ajichay watershed. *Environmental Risk Management, ۱۰*(۴), ۲۹۱-۳۰۸

- 10)Ziyari, K. A., Rajai, S. A., & Darabkhani, R. (۲۰۲۳). Suitable urban flood crisis management pattern. **Journal of Sustainable Development of Geographical Environment*, ۵*(۹), ۷۲–۸۹
- 11)Taheri, M., & Masaedi, A. (۲۰۲۳). Review of flood risk management strategies and legal/practical challenges. **Journal of Water and Sustainable Development*, ۱۰*(۳), ۳۵–۵۰
- 12)Ghahraman, B. (۲۰۰۳). Comprehensive study of the ۱۶Khordad ۱۳۷۱rainfall in Mashhad. **Journal of Agricultural and Horticultural Products Processing*, ۷*(۲), ۲۹–۴۱
- 13)Mohammadzadeh Habili, J., Hosseini, Z., Khalili, D., Hern, T., Zand Parsa, S., & Talebnejad, R. (۲۰۱۹). Hydrograph production of ۵Farvardin flood in Dorzadeh Quran, Shiraz based on physical, hydraulic, and hydrological modeling. **۱۱th Iranian Hydraulic Conference**, Tehran, Iran.
- 14)
- 15)Mohammadi Stadkaliyeh, A., Masaedi, A., & Alaghmand, S. (۲۰۰۷). Effects of August ۱۳۸۰ Golestan flood on the morphology of Madarsu River. **Journal of Agricultural and Natural Resources Sciences*, ۱۴*(Special Issue on Natural Resources), ۹–۱۷
- 16)Rd, C. S., Loughlin, J., Sušnik, J., Barclay, J., Alexander, S., Crosweller, S., & Darnell, A. R. (2010). Extent varying and synchronous fall tephra influence on flash floods: Montserrat. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 194(4), 127–138. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2010.05.002>
- 17)APFM. (2008). Integrated flood management tool. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
- 18)Wright, G. N., & Douben, N., Balica, S. (2009). Spatially varying indices at different scales for flood vulnerability. *Water Science and Technology*, 60(10), 2571–2580. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.183>
- 19)Stoffel, M., Salguero-Sánchez, R., Rubiales, M. J., Gómez-fanoGaró, V., Morata-Rodríguez, C., & Cánovas-Ballesteros, A. J. (2015). Unravelling past flash flood activity in a forested mountain catchment in Spain. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 529, 468–479. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.11.027>
- 20)Boano, F., Rey-Iglesias, P., Solano-Martínez, J. F., & Jiménez-Bayas, L. (2022). Economic analysis of flood. *Water*, 18(14), 2901. <https://doi.org/10.3390/w18142901>
- 21)Kaewsuk, J., & Beringer, L. A. (2018). Emerging urban vulnerabilities and livelihoods in an urbanizing climate: Case of secondary environment, Thailand. *Sustainability*, 10(10), 1452. <https://doi.org/10.3390/su10101452>
- 22)Cea, L., Willems, P., Farfán, J., & Bermúdez, M. (2021). Assessing climate change effects on flooding in coastal river areas. *Water*, 10(57), e2020WR029321. <https://doi.org/10.1029/2020WR029321>
- 23)Shen, R., Zhuang, Y., Pan, H., Xu, K., & Bin, L. (2023). Characterizing flood risk: Exposure, hazard, and vulnerability assessment in urban areas. *Environmental Science and Pollution Research*, 36(30), 86463–86477. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28578-7>
- 24)Nester, J., Komma, A., Kiss, J., Hall, L., Gaál, G., Blöschl, R., Rogger, L., Plavcová, L., Perdigão, R., & Parajka, J. (2015). Increasing river floods: Reality or fiction? *Water: Interdisciplinary Reviews*, 4(2), 329–344. <https://doi.org/10.1002/wat2.1079>
- 25)Aßheuer, T., & Braun, B. (2011). Floods in megacity: Vulnerability and coping strategies of slum dwellers in Dhaka, Bangladesh. *Natural Hazards*, 58(2), 771–787. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9752-5>
- 26)Vu, H., Le, H., Nghiem, T., & McElwee, P. (2017). Vulnerability among rural households in the Red River Delta, Vietnam: Implications for future climate adaptation and risk. *Natural Hazards*, 86, 451–465. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2701-6>
- 27)Karmakar, S., Mudgil, S., & Mohanty, P. M. (2020). A review focused on current status and future challenges in disaster risk reduction in India. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 49, 101660. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101660>
- 28)Ahmad, H., & Mohd, B. M. S. N. N. (2022). Proposed framework for flood disaster management cycle in Malaysia. *Sustainability*, 14(7), 4088. <https://doi.org/10.3390/su14074088>

- 29)Baily, B., Whitworth, M., & Nkwunonwo, C. U. (2016). A critical review and analysis of flood risk management efforts in Lagos, Nigeria. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(2), 349–369. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-349-2016>
- 30)VedoQue, J., Cembrano, G., Puig, V., & Martinez-Ocampo, C. (2013). Application of predictive control strategies in complex urban water networks. *IEEE Control Systems Magazine*, 33(1), 15–41. <https://doi.org/10.1109/MCS.2012.2225919>
- 31)Singh, K. K., & Osheen. (2019). A review of sustainable urban flooding: Rain garden solution. In *Proceedings of EGRWSE 2018* (pp. 27–35). https://doi.org/10.1007/4_5-6717-13-981-978
- 32)Lu, J., Liu, D., Wang, D., Chen, Z., Yuan, S., Qie, X., & Zhang, H. (2021). Understanding microphysical, electrical and dynamical processes associated with severe thunderstorms over metropolitan Beijing. *Earth Science China*, 64(10), 10–26. <https://doi.org/10.1007/s11430-020-9656-8>
- 33)Román-Quesada, A. (2022). Flood risk index development at municipal level in Costa Rica: A methodological framework. *Environmental Science & Policy*, 133, 98–106. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.03.012>
- 34)Liu, E., Alam, M., & Washakh, R. (2021). Flooding, land cover change, population growth, and road density in urban areas. *Frontiers in Geoscience*, 12(6), 101224. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101224>
- 35)Fukushi, K., & Inamura-Sado, Y. (2019). Empirical analysis of flood risk perception using historical data in Tokyo. *Land Use Policy*, 82, 13–29. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.11.031>
- 36)Freer, E. J., Fieri, L., Neal, C. J., Bates, D. P., Smith, M. A., & Sampson, C. C. (2015). A global high-resolution flood hazard model. *Water Resources Research*, 51(9), 7358–7381. <https://doi.org/10.1002/2015WR016954>
- 37)Kentel, S. A., & Samu, R. (2018). Flood mitigation and management measures in Zimbabwe. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 31, 691–697. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.07.013>
- 38)Oliveira, C. S., & Garcia, A. R., Reis, E. (2020). A comprehensive approach to understanding flood risk at municipal level. *Journal of Environmental Management*, 260, 110127. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110127>
- 39)Rowse-Penning, G., Galloway, L., Yuanyuan, L., Sayers, P., Le Quesne, T., Yiwei, C., Kang, W., Fuxin, S., & Erturk, A. (2013). Strategic approach to flood risk management in the Philippines. Asian Development Bank & UNESCO, Manila.
- 40)Cuceloglu, G., Imamoglu, Z. M., & Sertel, E. (2019). Impacts of rapid urbanizing mid-latitude regions on hydrological processes and land use/cover changes. *Water*, 11(5), 1075. <https://doi.org/10.3390/w11051075>
- 41)Kandasamy, J., & Singkran, N. (2016). Developing a strategic framework for flood risk management in Bangkok, Thailand. *Natural Hazards*, 84, 933–957. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2467-x>
- 42)Smith, K. (2013). *Environmental hazards: Assessing risk and reducing disaster*. London: Routledge.