2024, Vol.11, No.3, Pages 41 to 58
Journal of Water and Sustainable Development

سال یازدهم، شماره ۳، ۱۴۰۳، صفحات ۴۱ تا ۵۸
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Review Article/ Conceptual paper

نوع مقاله: مروری/ مفهومی

The Necessity of Creating a Comprehensive Perspective for Urban Flood Risk Management

S. Attaran[1], A. Mosaedi[2*]

1, 2- Ph.D. Student and Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

*(Corresponding Author Email: mosaedi@um.ac.ir)

Received: 07-02-2024 Revised: 19-06-2024
Accepted: 09-07-2024 Available Online: 19-12-2024

Abstract

Floods have been the third most destructive disaster after earthquakes and tropical storms in the past few years. Since many cities are located in floodplains or on the coasts due to economic interests, flood risk management has become a significant issue. The potential for flood damage in cities is very high because, in addition to river flooding causing flooding in cities, the concentration of population and valuable assets causes flood damage to be very widespread in urban areas. Therefore, it is necessary to understand the components of the flood risk function properly and to make effective plans for each one according to the conditions of each region. In this study, flood risk is defined as a function of hazard, vulnerability, and exposure. Considerable focus has been placed on the role of poverty in exacerbating flood risk because, in big cities, management strategies in different urban areas should be different, depending on the cultural situation and level of economic development of those areas. Also, this article emphasizes the necessity of participatory management and planning in flood-prone areas and highlights the consequences of excluding affected communities and stakeholders. Finally, various sections are presented to create a comprehensive framework for flood risk management.

Keywords: Flood Risk Management, Vulnerability, Exposure, Urban Flood.

ضرورت ایجاد یک دیدگاه جامع به منظور مدیریت ریسک سیل شهری

سارا عطاران[1]، ابوالفضل مساعدی[2*]

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکترای علوم و مهندسی آب-آبیاری و زهکشی و استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: mosaedi@um.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۹ تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۹/۲۹

چکیده

سیل‌ها، بعد از زلزله و طوفان‌های استوایی سومین بلای خسارت‌ساز در چند سال گذشته بوده‌اند. از آنجایی که بسیاری از شهرها به دلیل منافع اقتصادی در دشت‌های سیلابی و یا در سواحل واقع شده‌اند، مدیریت ریسک سیل به یک موضوع مهم و قابل توجه تبدیل شده‌است. پتانسیل خسارت سیل در شهرها بسیار زیاد است، زیرا علاوه بر این که طغیان رودخانه موجب وقوع سیل در شهرها می‌شود، تمرکز جمعیت و دارایی‌های باارزش سبب می‌شود که خسارات سیل در مناطق شهری بسیار گسترده باشد. بنابراین لازم است تا اجزای تابع ریسک سیل به درستی درک شوند و برای هریک، برنامه‌ریزی‌های موثری با توجه به شرایط هر منطقه انجام گیرد. در این پژوهش ریسک سیل به عنوان تابعی از مخاطره، آسیب‌پذیری و در معرض بودن تعریف شده‌است. تمرکز قابل توجهی به نقش فقر در تشدید خطر سیل معطوف شده‌است؛ زیرا در شهرهای بزرگ راهبردهای مدیریتی در مناطق مختلف شهری با توجه به وضعیت فرهنگی و سطح توسعه اقتصادی آن مناطق باید متفاوت باشد. همچنین این مقاله بر ضرورت مدیریت و برنامه‌ریزی مشارکتی در مناطق سیل‌خیز تأکید می‌کند و پیامدهای حذف جوامع آسیب‌دیده و ذی‌نفعان را برجسته می‌کند. در نهایت، بخش‌های مختلف ایجاد یک چارچوب جامع در مدیریت ریسک سیل ارائه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مدیریت ریسک سیل، آسیب‌پذیری، در معرض بودن، سیل شهری.

How to cite this article: S. Attaran, & Mosaedi, A. (2024). The Necessity of Creating a Comprehensive Perspective for Urban Flood Risk Management. Journal of Water and Sustainable Development, 11(3), 41-58. doi: http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v11i3.2402-1308

مقدمه

از بین تمام بلایای مربوط به آب و هوا در دو دهه گذشته، سیل با اختلاف، شایع‌ترین (۴۷٪) آن‌هاست که ۲/۳ میلیارد نفر را در جهان تحت تأثیر قرار داده‌است. سیل‌ها در ۲۰ سال گذشته در رتبه سوم ایجاد خسارت اقتصادی (۶۶۲ میلیارد دلار) قرارگرفته‌اند (UNISDR، ۲۰۱۵). سیل به پوشیده شدن موقتی بخشی از زمین با آب که به طور معمول آب در آن نیست، یا شرایطی که سطح آب بالاتر از ماکزیمم حد مورد انتظار برای یک رودخانه باشد، گفته شده‌است (Blöschl و همکاران، ۲۰۱۵). افزایش وقایع سیل می‌تواند منجر به تخریب زمین‌های کشاورزی، زیرساخت‌های حیاتی و جابجایی جوامع شود (Smith، ۲۰۱۳).

سیل در دهه‌های اخیر به طور چشم‌گیری افزایش یافته‌است و این پدیده، منجر به تغییرات قابل توجهی در وضعیت طبیعی زمین شده‌است (Samu and Kentel، ۲۰۱۸). در این میان، مناطق شهری، پیامدها[1]ی قابل توجه‌تر را از سیل تجربه کرده‌اند (Jha و همکاران، ۲۰۱۲). به نظر می‌رسد ریسک سیل شهری در کشورهای در حال توسعه بسیار بیشتر است. در این کشورها سیل شهری به خوبی درک نشده و مورد مطالعه قرار نگرفته‌است (Jiang و همکاران ۲۰۱۸؛ Nkwunonwo و همکاران، ۲۰۱۶). عدم وجود سیستم زهکشی مناسب در کشورهای درحال توسعه و افزایش سطوح نفوذناپذیر باعث تولید رواناب سطحی بیشتری می‌شود (Bruwier و همکاران، ۲۰۱۸). عموماً در کشورهای در خال توسعه، جمعیت رو به افزایش در مناطق سیل‌خیز در بستر یا حریم رودخانه‌ها ساکن می‌شوند (Braun و Aßheue، ۲۰۱۱). همچنین در این کشورها اغلب روابط قابل اعتماد شدت-مدت-فراوانی[2] (IDF) برای تخمین میزان بارندگی (Nkwunonwo و همکاران، ۲۰۱۶) و برنامه‌های مناسب برای مدیریت ریسک سیل[3] در موقعیت‌های مختلف وجود ندارد.

سیل‌های شهری، به دلیل بارش شدید و یا سیستم‌های زهکشی ناکارآمد و ناکافی، باعث ایجاد خسارات زیادی می‌شوند. از طرفی تمرکز جمعیت و دارایی‌های با ارزش در شهرها باعث می‌شود که حتی سیل‌های جزئی آسیب‌های قابل توجهی را به‌همراه داشته‌باشند. در این شرایط مدیریت پایدار ریسک سیل شهری به یک وظیفه چالش برانگیز برای جوامع شهری و مقامات مسئول تبدیل می‌شود (APFM، ۲۰۰۸). نمونه‌های این نوع سیلاب‌های شهری در ایران در طول دهه‌های اخیر بسیار مشاهده شده‌است. برخی از ویران‌گرترین سیلاب‌های چند دهه گذشته در ایران در جدول (۱) آورده شده‌است.

در مطالعاتی که برروی سیلاب‌های گلابدره (با تأکید بر سیلاب سال ۱۳۶۶) انجام شده‌است، روش‌های غیرسازه‌ای مانند گسترش سیستم‌های هشدار سیل را به عنوان راه‌حل عملی برای کاهش خسارات پیشنهاد کرده‌اند (امامی و همکاران، ۱۳۸۹). اما باید به این نکته توجه داشت که «هشدار» تنها بخشی از فرایند مدیریت ریسک سیل است که در زمان وقوع حادثه انجام می‌شود و رویکرد جامع مدیریت سیلاب باید شامل اقدامات پیش، حین و پس از وقوع سیل باشد. مطالعاتی که برروی سیلاب سال ۱۳۸۰ گرگانرود انجام شده، نشان می‌دهد که پس از وقوع سیل، ضریب پیچان‌رود رودخانه تغییرات قابل توجهی داشته است، ضریب خمیدگی کاهش و عرض رودخانه تقریبا ۷ برابر افزایش یافته‌است(محمدی استاد کلایه و همکاران، ۱۳۸۶). این نتایج نشان می‌دهد که برنامه‌ریزی برای مدیریت ریسک سیل باید پویا باشد و در طول زمان متناسب با تغییرات اقلیم، مرفولوژی و با توجه به تغییرات بافت اجتماعی، تغییر کند. بنابراین لازم است تا مدیریت یکپارچه سیلاب شامل ارزیابی ریسک، برنامه‌ریزی و اجرای اقدامات و ارزیابی مجدد ریسک باشد (در بخش مدیریت یکپارچه سیلاب‌های شهری به طور کامل به این موضوع پرداخته شده‌است).

مطالعاتی که بر روی سیل دروازه قرآن شیراز انجام شد نشان می‌دهد که برای باران ۱ ساعته با دوره بازگشت ۲۵ ساله در شرایط رطوبتی متوسط و زیاد، سیلاب متوسط شهری در این منطقه به ترتیب ۲۴ و ۶۹ متر مکعب بر ثانیه است. همچنین عنوان شده‌است که در شرایط رطوبتی بالا، سیلاب ناشی از بارش یک ساعته با دوره بازگشت ۲۵ سال، پتانسیل ایجاد سیلاب خطرناک را دارد (امینا و حکمت‌زاده، ۱۴۰۰). همچنین در مطالعه دیگری که توسط محمدزاده هابیلی و همکاران (۱۳۹۸) انجام گرفت بیان شد که وجود یک مخزن با حجم کم بر روی مسیل دروازه قرآن، می تواند حجم سیلاب سال ۱۳۹۸ را قبل از رسیدن به تنگه دروازه قرآن ذخیره نماید و از خسارات شدید جلوگیری کند. این نتایج حاکی از آن است که برنامه‌های مدیریتی ریسک سیل باید ابعاد مختلف سازه‌ای و غیرسازه‌ای را به طور همزمان مورد نظر قراردهند و از همه مهم‌تر همراه با مشارکت‌های مردم محلی باشد (همانطور که در بخش «چارچوب مفهومی برای مدیریت ریسک سیل شهری» اشاره شده‌است).

جدول ۱- برخی از خسارت‌بارترین سیلاب‌های دهه‌های اخیر در ایران

محل وقوع	تاریخ وقوع	خسارات	توضیحات
سیل تجریش (گلابدره) دره‌های دربند و گلاب‌دره، در شمال تهران	۴ مرداد ۱۳۶۶	۳۰۰ نفر کشته شدند و ۷۵۷ میلیارد ریال خسارت مالی	در این تاریخ باوجود گرمای هوا، رگبار و تگرگ شدیدی آغاز شد. شدت رگبار به‌گونه‌ای بود که در مدت ۱۰۷ دقیقه، ۲۸ میلی‌متر بارش ثبت شد. دبی این سیلاب معادل ۳۵۶ متر مکعب در ثانیه برآورد شده‌است (پایگاه خبری و تحلیلی انصاف، ۱۴۰۱)

محل وقوع	تاریخ وقوع	خسارات	توضیحات
سیل امامزاده داوود رودخانه کن	اردیبهشت ۱۳۷۴	۵ نفر کشته و خسارت مالی قابل‌توجه	از چند شب قبل از سیل، طوفان موحشی توأم با رگبار شدید، بسیاری از قصبات شمال و جنوب و اطراف تهران را ویران کرد و تلفات جانی و مالی فراوانی وارد کرد (پایگاه خبری و تحلیلی انصاف، ۱۴۰۱، درگاه الکترونیکی خبر آنلاین، ۱۴۰۱)
سیل رودخانه مادرسو گرگانرود	۲۰ مرداد ۱۳۸۰	تلفات این سیل به بیش از ۵۰۰ کشته رسید. و میلیاردها تومان خسارت وارد کرد.	از این سیل به عنوان ویرانگرترین سیل تاریخ ایران یاد شده‌است. دبی عبوری بالغ بر ۱۶۵۰ مترمکعب بر ثانیه در این رودخانه گزارش شده‌است (محمدی استادکلایه و همکاران، ۱۳۸۶).
سیل چهارچشمه مشهد	۱۶ خرداد ۱۳۷۱	۲۵ نفر جان خود را ازدست دادند و خسارات مالی فراوانی وارد گردید.	بیش‌ترین شدت بارش مزبور در یک فاصله زمانی ۱۵ دقیقه‌ای در ایستگاه دانشکده کشاورزی ۱۱۲ میلی‌متر در ساعت در این تاریخ ثبت شده‌است. و دوره بازگشت این سیل برابر ۳۸۰ سال برآورد شده‌است (قهرمان، ۱۳۸۲)
سیل دروازه قرآن شیراز	۵ فروردین ۱۳۹۸	جان ۲۱ نفر از هم وطنان از زن و مرد، کودک و خردسال را گرفت.	بارش ناگهانی با شدت ۷ / ۷۶ میلی‌متر درساعت، منجر به وقوع سیل در حوضه دروازه قرآن شیراز (ورودی شمالی شیراز) شد (خبرگزاری ایسنا، ۱۳۹۸؛ خبرگزاری مهر، ۱۳۹۸)
سیل محدوده ارتفاعات جنوبی مشهد	۲۶ اردیبهشت ۱۴۰۳ (ساعت ۳ بعد از ظهر)	حداقل ۵ نفر جان باختند و منازل و بخشی از زیرساختهای شهری دچار خسارات جدی شدند.	در طول ۲۴ ساعت حدود ۳۸ میلی‌متر بارندگی رخ داد و در مدت حدود ۴۰ دقیقه، ۲۸ میلی‌متر بارندگی همراه با تگرگ اتفاق افتاد. شدت، مدت و مقدار بارندگی در نقاط مختلف شهر متفاوت بود. تغییر کاربری اراضی طبیعی و از بین‌بردن و یا تغییر مسیردادن برخی از آبراهه‌ها و همچنین خراب‌شدن برخی از موانعی که در مسیر جریان ایجاد نموده‌بودند، از عوامل اصلی خسارات این سیل بوده‌اند (مشاهدات، تحقیقات و بازدیدهای میدانی‌نویسندگان).

بنابراین برای تقویت مدیریت ریسک سیل و کاهش خطر، یک رویکرد جامع‌تر و بین رشته‌ای که همه اجزای ریسک را یکپارچه می‌کند، ضروری است. این رویکرد باید تعامل بین انسان و زیرسیستم‌های فیزیکی را در نظر بگیرد (Aerts و همکاران، ۲۰۱۸). اغلب اوقات مدیریت سیل شهری با یک دید محدود در مورد سیل، با تمرکز بر جنبه‌های هیدرولیکی و مهندسی مدیریت سیل، انجام می‌شود. در حالی که جنبه‌ها و خطرات فضایی، اکولوژیکی، سیاسی و اجتماعی-اقتصادی نادیده گرفته می‌شوند. هدف چنین دیدگاه‌های محدودی معمولاً جلوگیری از وقوع سیل یا کنترل مطلق آن است. افزایش سطوح نفوذ ناپذیر و تغییر کاربری اراضی باعث می‌شود تا مقدار نفوذ باران و رواناب در سطح حوضه کاهش یافته و درنتیجه حجم رواناب و دبی اوج افزایش یابد. از طرفی ایجاد سیستم‌های زهکشی که تمام رواناب را به پایین دست شهر منتقل می‌کنند، باعث افزایش غیرمنتظره حجم سیل و افزایش دبی اوج سیل در پایین‌دست می‌شوند. با توجه به مواردی که ذکر شد، برنامه‌های مدیریت ریسک سیل شهری در کشورهای در حال توسعه به دلیل منابع زیادی که تحت تأثیر ریسک قرار می‌گیرند چالش برانگیزتر است (Sampson و همکاران، ۲۰۱۵). با این حال، هدف کلی، ایجاد شهری تاب‌آور برای به حداقل رساندن خسارات انسانی و اقتصادی است (Tingsanchali، ۲۰۱۲).

هدف از نگارش این مقاله ارائه یک درک جامع از مدیریت ریسک سیل شهری است که جنبه‌های مختلفی از علل و پیامدهای سیل شهری تا رویکردهای مدیریت سیل تاریخی و راهبردهای یکپارچه مدرن را در بر می‌گیرد. سیل شهری به دلیل عواملی مانند تغییرات آب و هوایی، شهرنشینی سریع و زیرساخت‌های نامناسب به یک نگرانی بزرگ برای مدیران و برنامه‌ریزان تبدیل شده‌است. در این مطالعه، یک چارچوب مفهومی برای مدیریت ریسک سیل شهری با یک رویکرد جامع ارائه خواهد شد تا بتواند سیاست‌گذاران، برنامه‌ریزان شهری و ذی‌نفعان را در تصمیم‌گیری آگاهانه و اتخاذ اقدامات پیشگیرانه برای کاهش پیامدهای سیل شهری راهنمایی کند. در حالی که ارزیابی‌های سنتی ریسک سیل شهری، بر توصیف مخاطره متمرکز است، این مطالعه با پیشنهاد یک چارچوب برنامه‌ریزی جامع که به کل عملکرد خطر سیل می‌پردازد، زمینه جدیدی را ایجاد می‌کند. در این پژوهش سعی شده‌است تا فراتر از «مخاطره» حرکت‌شود تا از این طریق راهبردهای برنامه‌ریزی نوآورانه نه تنها برای کاهش آسیب‌پذیری، بلکه برای در معرض خطر قرار گرفتن هم بررسی شود.

علل و پیامدهای ریسک سیل شهری

برای به دست آوردن درک جامعی از خطرات سیل شهری، درک عناصر مختلف تشکیل دهنده آن ضروری است. اغلب، ریسک (Risk) به طور ساده به عنوان وقوع رویدادهای طبیعی شدید (مانند سیل، خشکسالی، زلزله، طوفان یا رانش زمین) که توسط نیروهای طبیعی به تنهایی یا درترکیب با عوامل انسانی ایجاد می‌شود، گفته می‌شود. در حالی که خود رویداد، که به عنوان مخاطره (Hazard) شناخته می‌شود، تنها بخشی از معادله ریسک است. دومین مؤلفه حیاتی، وجود چیزی یا شخصی است که در معرض این خطرات قرارگرفته و در برابر آن‌ها آسیب‌پذیر است (Gain و همکاران، ۲۰۱۵، Santos و همکاران، ۲۰۲۰). بنابراین معادله ریسک سیل به شکل زیر تعریف می‌شود:

Risk=function (Hazard×Exposure×Vulnerability)

برای درک بهتر ریسک سیل ابتدا نیاز است تا تعریف واحدی از پارامترهای موجود در این تابع ارائه شود:

ریسک فاجعه (Disaster Risk): پتانسیل از دست دادن جان، جراحات، تخریب یا آسیب دارایی‌ها، که می‌تواند برای یک سیستم، گروه یا جامعه در یک دوره زمانی خاص رخ دهد که به عنوان تابعی از مخاطره (Hazard)، قرارگرفتن در معرض(Exposure) و آسیب‌پذیری (Vulnerability) تعیین می‌شود.

مخاطره (Hazard): پدیده یا فعالیت انسانی که ممکن است باعث از دست دادن جان، جراحت یا سایر پیامدهای بهداشتی، آسیب به اموال، اختلالات اجتماعی و اقتصادی یا تخریب محیط زیست شود. خطرات ممکن است منشأ طبیعی، انسانی یا انسانی-طبیعی داشته باشند.

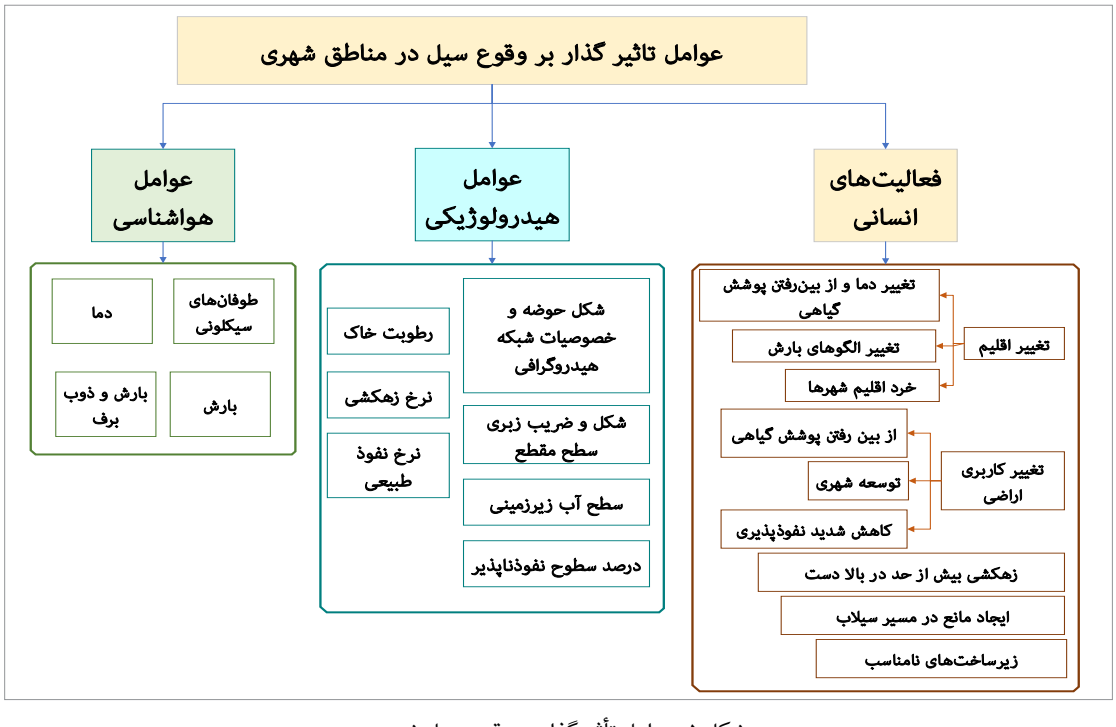
قرارگرفتن در معرض (Exposure): وضعیت افراد، زیرساخت‌ها، مسکن، ظرفیت‌های تولید و سایر دارایی‌های انسانی ملموس که در مناطق پرخطر (Hazard-prone) واقع شده‌اند.

آسیب‌پذیری (Vulnerability): شرایطی که توسط عوامل یا فرآیندهای فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و محیطی تعیین می‌شود که حساسیت یک فرد، یک جامعه، دارایی‌ها یا سیستم‌ها را نسبت به پیامدهای مخاطرات نشان می‌دهد.

- درک مخاطره (Hazard) سیل شهری

عوامل متعددی در زمینه‌های مختلف بر وقوع سیل تأثیر می‌گذارد. شکل (۱) این عوامل را نشان می‌دهد. علاوه بر این در بیشتر موارد، سیل تحت تأثیر عوامل انسانی است. بنابراین مخاطرات سیل در محیط‌های ساخته شده توسط انسان (مانند شهرها) باید به عنوان پیامد عوامل طبیعی-انسانی شناخته شود.

سیل‌ها را اساساً می‌توان به چهار دسته تقسیم کرد: سیلاب‌های محلی، سیلاب‌های رودخانه‌ای، سیلاب‌های ساحلی، سیلاب‌های ناگهانی. سیل در مناطق شهری را می‌توان به یک یا ترکیبی از انواع فوق نسبت داد. برای مدیریت سیلاب‌های شهری، شناخت علل و پیامدهای هر یک از آن‌ها ضروری است.



شکل ۱- عوامل تأثیرگذار بر وقوع سیل شهری

شدت و مدت بارندگی بسیار زیاد در طول فصل بارانی گاهی به دلیل رگبارهای فصلی ایجاد می‌شود و به دلیل خاک‌های اشباع یا نفوذ ناپذیر تشدید می‌شود. محیط‌های انسان ساخت (مانند شهرها) رواناب سطحی بیشتری تولید می‌کنند که بیش از ظرفیت زهکشی محلی است و در نتیجه باعث ایجاد سیلاب‌های محلی می‌شود (Yang و Zhang، ۲۰۱۱). سیل‌های رودخانه‌ای در اثر بارش شدید باران یا ذوب برف در نواحی بالادست ایجاد می‌شوند. طغیان رودخانه زمانی اتفاق می‌افتد که دبی رواناب رودخانه از ظرفیت عبور جریان بیشتر شود (Rahman و همکاران، ۲۰۲۱). سیلاب‌های ناگهانی در نتیجه رهاسازی سریع آب‌های روان از نواحی کوهستانی بالادست اتفاق می‌افتند (Yang و همکاران، ۲۰۱۹). در این نوع سیلاب، رواناب به سرعت به مقدار حداکثر می‌رسد و تقریباً به همان سرعت کاهش می‌یابد. (Ballesteros-Cánovas و همکاران، ۲۰۱۵). این سیل‌ها، به خصوص 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 سیل مخرب‌تر هستند (Alexander و همکاران، ۲۰۱۰). سیلاب‌های ساحلی عمدتاً بر شهرهای نزدیک مصب، مناطق جزر و مدی و مناطق کم ارتفاع ساحلی تأثیر می‌گذارند (Ferrarin و همکاران، ۲۰۱۵).

- تغییرات آب و هوایی و سیل در مناطق شهری

به دلیل گرم شدن زمین، بسیاری از زیرسیستم‌های چرخه جهانی آب تشدید می‌شوند و در نتیجه در بسیاری از مناطق، بزرگی و فرکانس سیل افزایش می‌یابد (Dao-yi و همکاران، ۲۰۰۱؛ Bermúdez و همکاران، ۲۰۲۱). مناطق شهری ممکن است باعث افزایش رعد و برق شوند، زیرا سطوح انسان ساخت (مانند آسفالت) دارای دمای بالاتری نسبت به مناطق طبیعی اطراف هستند، این موضوع باعث ایجاد گردش هوای محلی می‌شود و «جزیره گرمایی شهری» ایجاد می‌کند و در نهایت ممکن است به ایجاد طوفان بزرگ کمک کند (Qie و همکاران، ۲۰۲۱). افزایش سطح دریا خطر سیلاب‌های ساحلی را به ویژه در صورت طوفان افزایش می‌دهد (Hall و همکاران، ۲۰۰۵). علاوه بر این، میکرو اقلیم شهرها که عموماً باعث افزایش دما در محدوده شهر می‌شود، موجب تبدیل بارش‌ها به باران (و نه برف) می‌شود، که این مورد خود موجب افزایش دبی اوج و کوتاه شدن زمان اوج سیلاب می‌شود.

- پیامدهای مولفه‌های ریسک سیل شهری

سیل‌های شهری پیامدهای زیادی به ویژه از نظر خسارات اقتصادی مستقیم و غیرمستقیم دارند. خطر سیل تابعی از مواجهه مردم و فعالیت‌های اقتصادی در کنار آسیب‌پذیری بافت اجتماعی و اقتصادی است. به این‌ترتیب تأثیر چنین سیل‌هایی بر زندگی و معیشت مردم، باید به عنوان تابعی از آسیب‌پذیری آن‌ها، درک شود. تعدادی از ویژگی‌های شهری به ویژه در کشورهای در حال توسعه که با افزایش خطر سیل ارتباط دارند عبارتند از: تراکم زیاد جمعیت، سطوح غیرقابل‌نفوذ گسترده و ساخت ساختمان‌ها، سیستم‌های زهکشی نامناسب، ساخت مسکن بدون هیچ گونه استاندارد بهداشتی و ایمنی و افزایش جمعیت غیر اصولی حاشیه شهرها (Du و همکاران، ۲۰۱۵؛ Lee and Brody، ۲۰۱۸؛ Thieken و همکاران، ۲۰۲۲؛ Muzamil و همکاران، ۲۰۲۲؛ Guo و همکاران، ۲۰۲۱).

- در معرض (Exposure) سیل بودن در مناطق شهری

«در معرض بودن» در اینجا به این سؤال اشاره می‌کند که آیا افراد یا دارایی‌ها در محدوده سیلاب هستند یا خیر. یکی از عوامل اصلی افزایش خسارات سیل شهری صرفاً افزایش تعداد افراد و دارایی‌هایی است که در شهرها به صورت فیزیکی در معرض سیل قرارمی‌گیرند. رشد سریع و برنامه‌ریزی نشده شهرها باعث می‌شود تعداد افرادی که در مناطق سیل‌گیر زندگی می‌کنند، افزایش پیدا کند (Beringer و Kaewsuk، ۲۰۱۸؛ D'Ayala و همکاران، ۲۰۲۰).

شهرها در بسیاری از کشورهای در حال توسعه به سرعت در حال رشد هستند. 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 یا حتی داخل بستر رودخانه‌ها، شده‌است. همچنین رشد اقتصادی منجر به انباشت دارایی‌هایی در مناطق شهری شده‌است که این امر آسیب‌پذیری آنها را در برابر سیل افزایش می‌دهد و این موضوع حتی از رشد جمعیت نیز پیشی گرفته‌است (Bayas-Jiménez و همکاران، ۲۰۲۲). متأسفانه، به دلیل اقدامات حفاظتی که در برابر سیل ایجاد می‌شود، تصور می‌شود که توسعه سکونتگاه‌های انسانی و زیرساخت‌ها در این مناطق از سیل مصون هستند. این تفکر، خطرات باقیمانده[۴] مرتبط با هر سیستم حفاظت در برابر سیل را نادیده می‌گیرد (Haer و همکاران، ۲۰۱۹؛ Webber و همکاران، ۲۰۲۰). با این حال، اگر خطرات سیل در فرآیندهای برنامه‌ریزی کاربری زمین در نظر گرفته شود، رشد شهری لزوماً به تشدید خطرات منجر نمی‌شود. گاهی اوقات تعهد به «برنامه‌ریزی شهری حساس به خطر سیل» به فراوانی سیل بستگی دارد. اگر سال‌ها یا دهه‌ها سیل‌های بزرگ در یک منطقه اتفاق نیافتند، حفظ آگاهی مردم و مقامات نسبت به سیل دشوارتر می‌شود، درک عمومی نسبت به سیل کاهش می‌یابد و قرارگرفتن در معرض، به شکل قابل توجهی افزایش می‌یابد (Verlynde و همکاران، ۲۰۱۹؛ Sado-Inamura و Fukush، ۲۰۱۹). متأسفانه، بسیاری از فرآیندهای شهرنشینی یا بدون برنامه‌ریزی یا با برنامه‌ریزی‌هایی که خطرات سیل را نادیده می‌گیرند یا دست کم می‌گیرند، (مانند فقدان مقررات کاربری زمین، نظارت ناکارآمد بر ساخت ساختمان‌ها و عدم وجود زهکشی مناسب) انجام می‌شود (Beringer و Kaewsuk، ۲۰۱۸).

- آسیب‌پذیری (Vulnerability) در برابر سیل در مناطق شهری:
از گذشته تا کنون تعاریف و رویکردهای متعددی برای آسیب‌پذیری ارائه شده‌است (Balica و همکاران، ۲۰۰۹؛ Gheorghe، ۲۰۰۵؛ Green، ۲۰۰۴؛ Watson و همکاران، ۱۹۹۶). آسیب‌پذیری یک جنبه حیاتی از خطر است، زیرا تعیین می‌کند که آیا قرارگرفتن در معرض خطر می‌تواند منجر به فاجعه شود یا خیر. سطح آسیب و زیان در درجه اول توسط آسیب‌پذیری «افراد آسیب‌دیده» تعیین می‌شود (Tucci، ۲۰۰۸). یک مبحث مهم که باید در تعیین آسیب‌پذیری مورد توجه قرار گیرد، میزان فقر است. رابطه بین فقر و آسیب‌پذیری سیل پیچیده و چند وجهی است و عوامل متعددی در این رابطه نقش دارند. بیشتر مطالعات انجام شده در زمینه ارتباط فقر و آسیب‌پذیری در برابر سیل بر جوامع روستایی متمرکز بوده‌اند (Mahanta و Das، ۲۰۱۷؛ McElwee و همکاران، ۲۰۱۷). با این حال باید توجه داشت که در شهرهای بزرگ نیز این موضوع در برنامه‌ریزی‌ها مورد نظر قرارگیرد. چرا که در شهرهای بزرگ نیز جوامع فقیر اغلب به دلیل منابع محدود در مناطق آسیب‌پذیر مانند حاشیه شهرها زندگی می‌کنند.
علاوه بر این جوامع کم‌برخوردار، دارای بافت آسیب‌پذیرتر هستند. این امر اولاً باعث می‌شود تا خانه‌ها و محیط شهری استانداردهای لازم برای جلوگیری و سازگاری با سیل را نداشته باشند؛ و از طرفی سیل‌های کوچکی که در این مناطق رخ می‌دهد، ممکن است باعث از بین رفتن تمام دارایی یک خانواده شوند. این در حالی است که در مناطق برخوردار شهر، در صورت رخدادن سیل‌های مشابه، فقط بخشی از دارایی‌ها خسارت می‌بینند. برخی مطالعات نشان داده که با توجه به اینکه میزان در معرض سیل بودن در بخش‌های کمتر برخوردار شهر تفاوتی با بخش‌های دیگر نداشته‌است، اما آسیب‌پذیری خانواده‌هایی که در این بخش‌ها زندگی می‌کنند، بسیار بیشتر برآورد شده‌است. همچنین فقر، اغلب ظرفیت انطباق را کاهش می‌دهد، به همین دلیل افراد فقیر ممکن است منابع مالی، دسترسی به اطلاعات و شبکه‌های اجتماعی که می‌توانند به آماده‌سازی و بهبود پس از سیلاب کمک کنند، نداشته‌باشند. خانوارهای کم‌تر برخوردار ممکن است دسترسی محدودی به منابعی مانند بیمه، سیستم‌های هشدار یا زیرساخت‌هایی داشته باشند.
به طور خلاصه، فقر و آسیب‌پذیری سیل از طرق مختلف مانند قرارگرفتن در معرض، حساسیت، ظرفیت سازگاری، دسترسی به منابع، وابستگی معیشتی، بهداشت، آموزش، آسیب‌پذیری اجتماعی و حکمرانی به هم مرتبط هستند. درک و پرداختن به این عوامل برای توسعه راهبردهای موثر برای کاهش تأثیر سیل بر جوامع فقیر، بسیار مهم است.

مروری بر برخی از جدیدترین مطالعات انجام شده در ایران

در ادامه تعدادی از مطالعات انجام شده بر روی جنبه‌های مختلف تابع ریسک سیل در ایران در جدول (۲) آورده شده‌است.

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

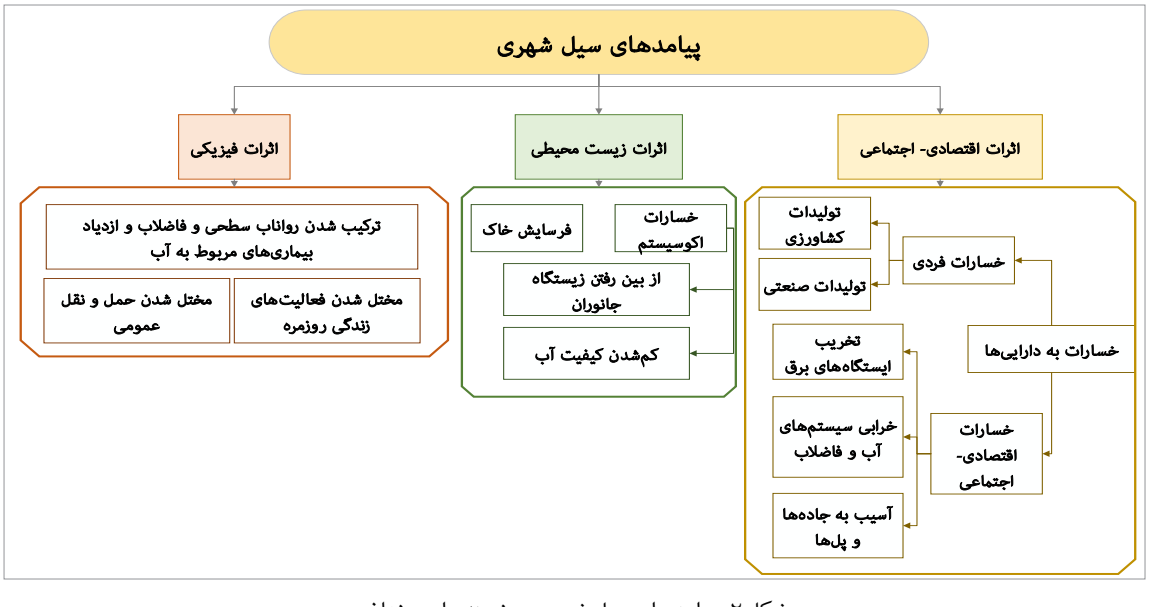
عنوان مقاله	موضوع	نتایج	سال چاپ/ نویسندگان	پارامتر دخیل در ریسک‌سیل
پهنه‌بندی‌پتانسیل سیل‌گیری با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در استان کردستان	در این پژوهش پهنه‌بندی نقشه پتانسیل سیل‌گیری در استان کردستان انجام شد. برای این کار روش تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد استفاده قرارگرفت. در این مطالعه از متغیرهای بارش، شیب، تراکم زهکشی، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی و شاخص رطوبت توپوگرافی استفاده‌شد و هر یک از این متغیرها توسط نرم‌افزار Expert Choice وزن‌دهی شدند.	نتایج نشان داد که معیارهای بارش، شیب و فاصله از رودخانه به‌ترتیب بیش‌ترین اهمیت را در پتانسیل سیل‌گیری این منطقه داشتند. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که پتانسیل سیل‌گیری در خروجی حوزه‌های آبریز، محدود به نواحی پایین‌دست و کم‌شیب رودخانه‌های پرآب در بخش‌های غربی و مرکزی استان کردستان، بسیار زیاد بود.	اکرمی مقدم و همکاران، (۱۴۰۳)	مخاطره و درمعرض‌بودن
تهیهٔ نقشهٔ پتانسیل خطر وقوع سیل با استفاده از دو روش نسبت فراوانی و شاخص آماری (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبریز آجی‌چای)	حوضه آبریز آجی چای در استان آذربایجان یکی از حوضه‌های کشور است که هر ساله شاهد سیلاب‌های مخرب است. در این پژوهش نقشه پتانسیل ریسک وقوع سیل در سطح این حوضه تهیه شد. به این منظور از هجده پارامتر موثر در وقوع و دو روش آماری نسبت فراوانی (FR) و شاخص آماری (SI) استفاده‌شد.	نتایج نشان داد که مناطق پایین‌دست حوضه و اطراف آبراهه‌های اصلی منطقه، مناطقی هستند که بیش‌ترین ریسک سیل را دارند. ارزیابی دقت نتایج هر دو مدل با منحنی ROC نشان داد که مقادیر سطح زیر منحنی برای مدل‌های SI مناسب بوده‌است و درنتیجه هر دو مدل عملکرد عالی در تهیه نقشه پتانسیل ریسک وقوع سیل را نشان می‌دهد.	رضایی مقدم و رحیم پور، (۱۴۰۲)	مخاطره و درمعرض‌بودن

عنوان مقاله	موضوع	نتایج	سال چاپ/ نویسندگان	پارامتر دخیل در ریسک‌سیل
مدل‌سازی و پهنه‌بندی دو بعدی سیلاب شهری در حوضه شمال شهرکرج با استفاده از 2D HEC-RAS	در بسیاری از مناطق، سیلاب شهری و اجرا سیستم مناسب کنترل آن هنوز به عنوان یک مسأله جدی در طراحی بافت شهری در نظر گرفته نشده‌است. این مطالعه به استخراج پهنه‌های خطر سیلاب شهری و تحلیل آسیب‌پذیری زیرساخت‌های شهری که در معرض ریسک سیل هستند پرداخته‌است. ارزیابی ریسک سیل به منظور بررسی میزان آسیب‌پذیری و مواجه با خطر انجام می‌شود. در این مطالعه از نرم‌افزار HEC-RAS برای شبیه‌سازی دو بعدی سیلاب و پهنه‌بندی عمق و سرعت آن با دوره بازگشت طرح (۲۵ ساله) در چهار منطقه کرج (شاهین ویلا، گوهردشت، عظیمیه و جهانشهر) استفاده‌شده‌است.	نتایج مطالعه نشان می‌دهد که بیشتر مناطق مستعد سیل و آبگرفتگی بافت فرسوده دارند و طراحی شبکه زهشکی قدیمی‌تری دارند و مناطق شاهین‌ویلا و گوهردشت تاب‌آوری کمتری نسبت به دو منطقه دیگر دارد و در مقابل دو منطقه عظیمیه و جهانشهر کرج تاب‌آوری بهتری دارند.	خاتونی و همکاران (۱۴۰۲)	مخاطره و آسیب‌پذیری
بررسی اثرات سیل بر معیشت پایدار خانوارهای روستایی (مطالعه موردی دهستان آبستان، شهرستان خرم‌آباد)	در این مطالعه اثرات سیل بر معیشت پایدار خانواده‌های روستایی دهستان آبستان در شهرستان خرم‌آباد مورد بررسی قرارگرفت. از روش نمونه‌گیری احتمالی با روش تصادفی ساده برای انتخاب نمونه‌های مورد مطالعه استفاده‌شد. همچنین برای جمع‌آوری داده از پرسش‌نامه استفاده‌شد و داده‌های جمع‌آوری شده، به روش کمی با استفاده از آمار توصیفی و آمار استنباطی مانند آزمون t مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفتند.	نتایج نشان داد که سرمایه اجتماعی با بیش‌ترین میانگین در رتبه اول قرار دارد و سرمایه انسانی با کم‌ترین میانگین در رتبه آخر قرار دارد. همچنین محققان بیان کردند که وقوع سیل سبب کاهش ابعاد پنج‌گانه سرمایه‌های معیشتی (سرمایه مالی، اجتماعی، انسانی، فیزیکی و طبیعی) روستاییان شده‌است.	آذینی و همکاران، (۱۴۰۲)	مخاطره و آسیب‌پذیری
ارزیابی مولفه‌های تاب‌آوری محلات شهری در برابر سیلاب (مورد مطالعه: محلات واقع بر مسیر رودخانه‌ها در مناطق ۱، ۲، ۳، ۵ و ۲۲ شهرداری تهران)	این مطالعه به بررسی تاب‌آوری محلات مناطق ۱، ۲، ۳، ۵ و ۲۲ شهرداری تهران واقع شده بر مسیر رودخانه‌ها در برابر سیلاب می‌پردازد. برای گردآوری داده‌ها از پرسش‌نامه و برای سنجش تاب‌آوری محلات منتخب از تکنیک تحلیل عاملی و آزمون آماری T-Test استفاده‌شده‌است.	نتایج نشان می‌دهد که بالاترین میزان تاب‌آوری مربوط به بعد اقتصادی و کم‌ترین آن مربوط به بعد کالبدی است. به طور کلی میانگین تاب‌آوری محلات واقع شده بر مسیر رودخانه‌ها ۳/۳۹ است. همچنین یافته‌ها نشان می‌دهد از بین عوامل موثر در تاب‌آوری منطقه مورد مطالعه، عامل اقتصادی و مالی مهم‌ترین عوامل بوده‌اند. همچنین عواملی مانند برنامه‌ریزی و آمادگی، بازیابی و خودسازمان‌دهی، رعایت اصول و قوانین و... اهمیت بالایی در میزان تاب‌آوری این منطقه دارند.	پوراحمد و صادقی (۱۴۰۲)	مخاطره و تاب‌آوری
الگوی مناسب مدیریت بحران سیلاب شهر ایلام	ضعف‌های مدیریت شهری و شیوه‌های سنتی مدیریت بحران (تکیه بر امداد و نجات پس از بحران) سبب شده‌است تا شهر ایلام تلفات جانی و مالی زیادی را از سیل متحمل شود. مهم‌ترین ابعادی که برای مدیریت بحران در این پژوهش مورد نظر قرار داده‌شد، شامل: ابعاد طبیعی، کالبدی، مدیریتی، اقتصادی و اجتماعی بود.	یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد مهم‌ترین راهبردهای متناسب با وضعیت موجود برای مدیریت ریسک سیل شامل: مدیریت بافت فرسوده و نوسازی، نظارت بر ساخت و سازهای جدید و رعایت حریم رودخانه‌ها، افزایش سطوح نفوذپذیر در مناطق شهری و کنترل فقر بودند.	زیاری و همکاران (۱۴۰۲)	آسیب‌پذیری و درمعرض‌بودن
مروری بر راهبردهای مدیریت ریسک سیل و چالش‌های قانونی و عملی	در این مطالعه علل وقوع سیل و راهبردهای اصلاحی کنترل سازه‌ای و غیرسازه‌ای سیل و مدیریت یکپارچه آن مورد بررسی قرارگرفته‌است. همچنین رویکردهای حکمرانی سیل در ایران با در نظر گرفتن پنج جنبه پیشگیری، دفاعی، کاهش اثرات رویداد، آمادگی در برابر حادثه و بازیابی بیان شده‌است.	نویسندگان بیان کردند که در شرایط فعلی برنامه‌ها و ضوابط مربوط به مدیریت سیل در ایران به هیچ وجه در سطح مطلوبی قرار ندارد. همچنین پیشنهاد شده‌است بخش‌های خصوصی و دولتی در سیاست گذاری‌های مربوط به مدیریت سیل وارد شوند. همچنین از دانش محلی در این راستا استفاده شود.	طاهری و مساعدی (۱۴۰۲)	عدم وجود مدیریت‌ریسک

عنوان مقاله	موضوع	نتایج	سال چاپ/ نویسندگان	پارامتر دخیل در ریسک‌سیل
مطالعه جامعه شناختی چالش مدیریت آب‌های سطحی و تأثیر آن بر زندگی روزمره شهروندان اهوازی (مطالعه موردی: حادثه سیلاب شهری و بالازدگی فاضلاب در شهرهای اهواز و کارون، سال ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰)	استان خوزستان همیشه در معرض بلایا طبیعی مانند سیل بوده‌است. در چند دهه اخیر سیل و آبگرفتگی برای مردم این منطقه خسارت‌های زیادی همراه داشته‌است. همچنین رویدادهای سیل تبعات اجتماعی گسترده به دنبال داشته است. در این مقاله به شناسایی و تحلیل ابعاد مختلف و پیامدهای اجتماعی این پدیده پرداخته شده‌است.	یافته‌های این مطالعه حاکی از این است که زمینه‌های اجتماعی مربوط به این پدیده در استان شامل عدم وجود برنامه مدیریت ریسک سیل کارامد، شکنندگی اقلیمی استان و... است که مهم‌ترین نتیجه آن شکل‌گیری فضای هیجانی پیرامون برنامه‌های مدیریتی، نارضایتی مردم از عملکرد مدیران، خسارت به زیرساخت‌ها و منازل و... است.	بهمنی و محمدی ده چشمه (۱۴۰۲)	آسیب‌پذیری و در معرض‌بودن
بررسی عوامل موثر در بروز سیل جهت مدیریت خسارات ناشی از آن در ناحیه گردشگری سیرچ	این مطالعه به بررسی سیل ناحیه گردشگری سیرچ در شرق کرمان می‌پردازد. این ناحیه هر ساله دچار خسارات شدیدی از سیل می‌شود. در این پژوهش به منظور بررسی عوامل موثر در سیل‌خیزی این ناحیه از مدل‌سازی‌های سه بعدی بهره گرفته شده‌است. و وزن‌دهی لایه‌های اطلاعاتی بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی فازی انجام شده‌است.	طبق نتایج این پژوهش مشخص شد که مهم‌ترین عامل طبیعی موثر در ایجاد سیل واحدهای زمین شناختی و شیب ناحیه هستند. از طرفی مدل سازی‌ها نشان داده‌اند که بخش مسکونی و محل گردشگری سیرچ، بیش‌ترین آسیب‌پذیری را در مقابل سیل دارد. پیشنهاد شده تا برای مدیریت و کاهش خسارات سیل در ناحیه تأسیسات سیل‌گیر احداث شود و پوشش گیاهی منطقه بازیابی شود.	حسنی (۱۴۰۲)	مخاطره و آسیب‌پذیری

• پیامدهای سیل شهری

به طور کلی، سیل شهری تأثیر گسترده‌ای بر جنبه‌های فیزیکی، اقتصادی و زیست‌محیطی دارد و پیامدهای آن می‌تواند بر زیرساخت‌ها، اقتصاد و محیط‌زیست تأثیر بگذارد (شکل ۲).



شکل ۲- پیامدهای سیل شهری در زمینه‌های مختلف

خسارات ناشی از سیل را می‌توان در چند دسته، طبقه‌بندی کرد (Fatemi و همکاران، ۲۰۲۰؛ Tanoue و همکاران، ۲۰۲۰).

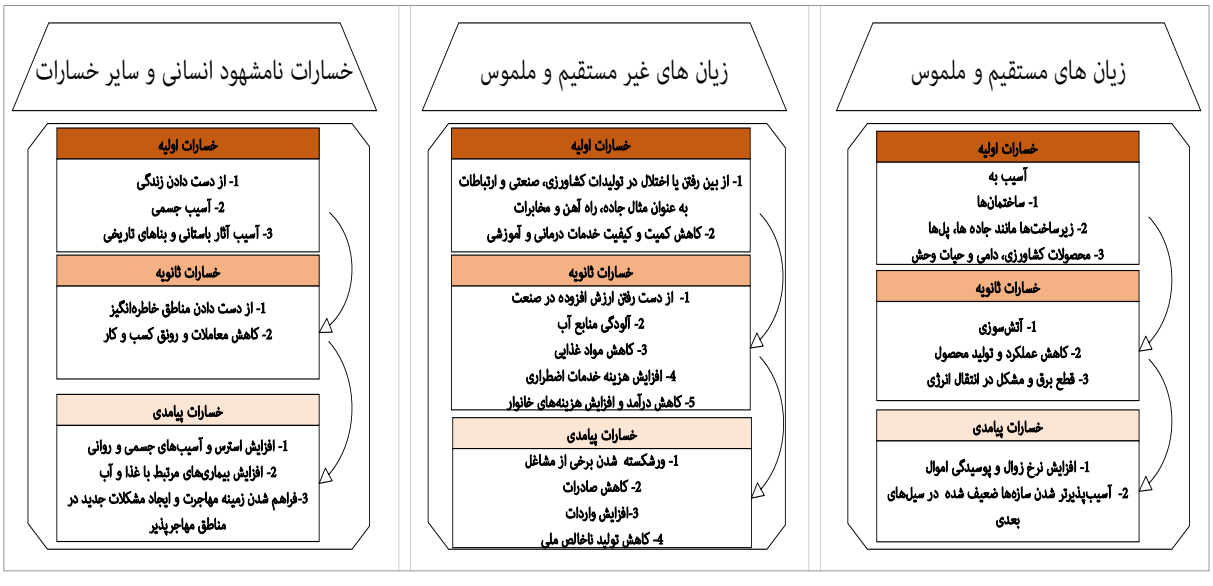
خسارات مستقیم (Direct losses): خسارات ناشی از تماس مستقیم با سیل، که به ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها وارد می‌شود. این مورد می‌تواند شامل آسیب به دارایی‌های فیزیکی، وقفه در فعالیت‌های تجاری و افزایش هزینه‌های واکنش‌های اضطراری مانند آتش‌نشانی شود.

خسارات غیرمستقیم (Indirect losses): زیان‌های ناشی از رویداد

اما نه از تأثیر مستقیم آن، به عنوان مثال، اختلال در حمل و نقل، زیان‌های تجاری که قابل جبران نیست، از دست دادن درآمد خانواده و غیره. Hu و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که اختلالات ناشی از سیل می‌تواند بخش‌های اقتصادی را که در مناطق سیل‌خیز واقع نشده‌اند، نیز تحت تأثیر قرار دهد.

زیان‌های ملموس (Tangible losses): از دست دادن چیزهایی که ارزش پولی (جایگزینی) دارند، به عنوان مثال، ساختمان‌ها، دام‌ها، زیرساخت‌ها، محصولات زراعی و غیره.

زیان‌های ناملموس (Intangible losses): از دست دادن چیزهایی که خرید و فروش نمی‌شوند، به عنوان مثال، جان و جراحات، اقلام میراثی، یادگاری و غیره. برخی مطالعات نشان می‌دهند که ساکنان سیل‌زده از مشکلات سلامت روانی ناشی از سیل بیشتر از خسارات مالی رنج می‌برند (Thieken و همکاران، ۲۰۱۶). دسته‌بندی خسارات سیل و نمونه‌هایی از انواع آن در شکل (۳) ارائه شده است.



شکل ۳- انواع خسارات سیل

رویکردهای مدیریت سیل

رویکردهای مدیریت سیل در طول زمان تکامل یافته‌است و با دانش، فناوری و نیازهای اجتماعی در حال تغییر و سازگاری است. این بخش شامل مروری بر رویکردهای مدیریت سیل از گذشته تا کنون می‌باشد:

تمدن‌های باستانی، مانند تمدن‌های بین‌النهرین، مصر، چین و هند، روش‌های مختلف آبیاری، زهکشی و کنترل سیلاب را توسعه دادند تا از مزایای طغیان رودخانه‌ها برای کشاورزی و گسترش تمدن استفاده کنند. آن‌ها خاکریزها، کانال‌ها، سدها و مخازن را برای محافظت از سکونتگاه‌های خود در برابر آسیب سیل ساختند. در اروپای قرون وسطی، اربابان فئودال و صومعه‌ها در امتداد رودخانه‌ها برای بازپس‌گیری زمین‌های کشاورزی و سکونتگاه‌ها، خاکریزهایی می‌ساختند (Mohanty و همکاران، ۲۰۲۰؛ Sayers و همکاران، ۲۰۱۳). در عصر مدرن، صنعتی شدن و شهرنشینی، تقاضا برای منابع آب و زمین را افزایش داد که منجر به اقدامات فشرده‌تر و گسترده‌تر کنترل سیل شد. این اقدامات اغلب ظرفیت طبیعی رودخانه‌ها و تالاب‌ها را برای ذخیره و انتقال سیلاب کاهش می‌داد (Sayers و همکاران، ۲۰۱۳؛ National Research Council، ۲۰۱۳).

در اواخر قرن بیستم، محدودیت‌ها و پیامدهای منفی اقدامات سازه‌ای کنترل سیل و همچنین نیاز به در نظر گرفتن جنبه‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی مدیریت سیل به طور قابل توجهی افزایش یافت. این موضوع منجر به ظهور مدیریت یکپارچه سیل یا Integrated Flood Management (IFM) شد، که یک رویکرد کل‌نگر است با این هدف که سود خالص از دشت‌های سیلابی به حداکثر برسد، در حالی که خسارات جانی و مالی ناشی از سیل را به حداقل می‌رساند. مدیریت یکپارچه سیل شامل‌ترکیبی از اقدامات ساختاری و غیرساختاری، مانند برنامه‌ریزی کاربری زمین، پیش‌بینی و هشدار سیل، آمادگی و واکنش اضطراری، بیمه سیل، آگاهی و مشارکت عمومی، و بازسازی اکوسیستم است. در قرن بیست و یکم، تغییرات اقلیمی و پیامدهای آن بر رژیم‌های هیدرولوژیکی، چالش‌ها و عدم قطعیت‌های جدیدی را برای مدیریت سیل ایجاد کرده‌است. نیاز به اتخاذ رویکردهای انطباقی و انعطاف‌پذیرتری است (Sayers و همکاران، ۲۰۱۳؛ National Research Council، ۲۰۱۳).

هدف نهایی مدیریت یکپارچه ریسک سیل شهری در دو جنبه اساسی است: ۱- به حداقل رساندن خسارات انسانی و اقتصادی. ۲- استفاده از منابع طبیعی به نفع و رفاه مردم. یک مدیریت یکپارچه و کارآمد ریسک سیل مستلزم درک جامع متغیرهای محرک سیل است (Quesada-Román، ۲۰۲۲). با این حال، مشخص است که امنیت مطلق در برابر سیل در بیشتر موارد امکان‌پذیر نیست، بنابراین باید آن‌ها را مدیریت کرد. در نتیجه، مدیریت سیل در تلاش برای حذف کامل خطرات سیل نیست، بلکه برای کاهش آن‌ها تلاش می‌کند. مراحل اساسی یک فرآیند مدیریت یکپارچه عبارتند از: ارزیابی ریسک، برنامه‌ریزی و اجرای اقدامات و ارزیابی مجدد ریسک (Singkran و Kandasamy، ۲۰۱۶؛ Tucci، ۲۰۰۸؛ Gain و همکاران، ۲۰۱۵).

- ارزیابی ریسک

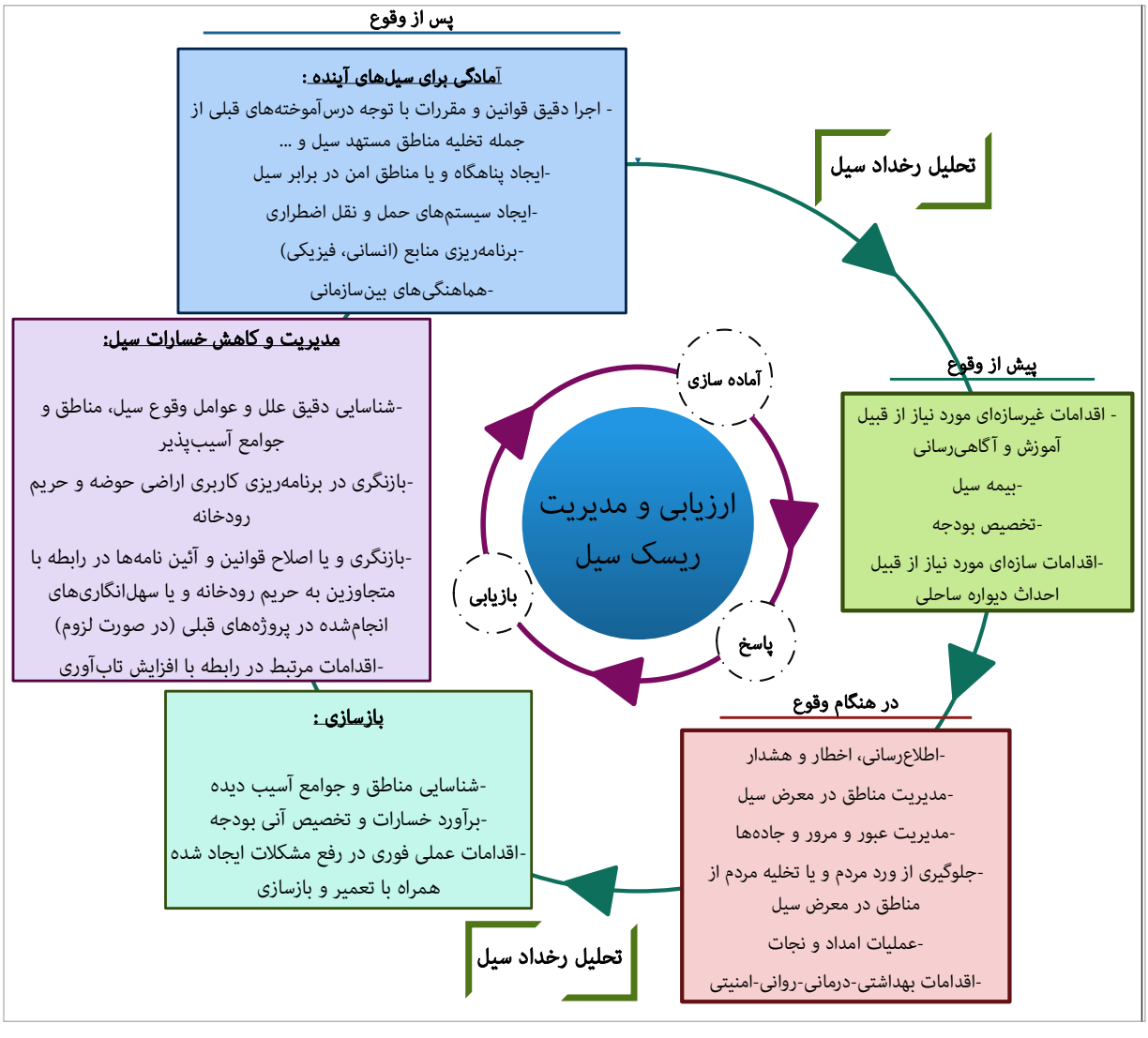
یک طرح مدیریت ریسک سیل شهری باید با ارزیابی خطرات جاری و آینده سیل آغاز شود. ارزیابی ریسک، وسیله‌ای موثر برای کاهش اثرات سیل شهری است (Bin و همکاران، ۲۰۲۳). اولین گام در فرآیند مدیریت ریسک، درک، تجزیه و تحلیل و ارزیابی جامع خطرات سیل است. ارزیابی ریسک باید یک رویکرد یکپارچه داشته باشد و جنبه‌های مختلف خطر[۵] را مورد مطالعه قرار دهد (Liu و Chen، ۲۰۱۹). این ارزیابی باید ویژگی‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی در حوضه رودخانه، همراه با جنبه‌های اقتصادی، سیاسی، اجتماعی-فرهنگی و اکولوژیکی مناطق مستعد سیل را در بر گیرد. سناریوهای متعددی باید برای توضیح تغییرات آتی مانند شهرنشینی، نوسانات آب و هوا، و تغییرات کاربری زمین مدل‌سازی شوند. این مدل‌ها بینش‌هایی در مورد احتمالات سیل، بزرگی (اندازه، عمق، مدت زمان و سرعت جریان) و شناسایی مناطق و عوامل در معرض خطر ارائه می‌دهند. تعیین مناطق مستعد سیل در شهرها به دلیل تغییرات زیادی که در شکل رودخانه و دشت‌های سیلابی ایجاد کرده‌اند، باید با درک بیشتری انجام شود (Feng و همکاران، ۲۰۲۱؛ Sertel و همکاران، ۲۰۱۹؛ Karami و همکاران، ۲۰۲۴).

ارزیابی «در معرض بودن» می‌تواند با بررسی ارزش‌های اقتصادی و دارایی‌های واقع در مناطق سیل‌گیر به دست آید. محصولات ارزیابی ریسک، نقشه‌های ریسک هستند که برای توسعه اقدامات کاهش خطر برای محافظت از مناطق شهری در برابر سیل‌های ویرانگر، مورد استفاده قرار می‌گیرند (Diakakis و همکاران، ۲۰۲۰). این ارزیابی‌ها، نه تنها مناطق پرخطر را شناسایی می‌کنند، بلکه امکان مقایسه کمی عوامل مختلف خطر را نیز فراهم می‌کنند. چنین اطلاعاتی نشان می‌دهد که اقدامات پیشگیرانه در کجا می‌تواند در کاهش ریسک مؤثرتر باشد. از طرفی باید در نظر داشت که ارزیابی ریسک نباید فقط به جنبه‌های اقتصادی بپردازد، بلکه باید آسیب‌پذیری اجتماعی و زیست‌محیطی را نیز ارزیابی کند. یک رویکرد ارزیابی یکپارچه خطر سیل، زمانی ارزشمند است که جنبه‌های فیزیکی خطر و قرارگرفتن در معرض، با جنبه‌های اجتماعی آسیب‌پذیری ترکیب شود (Zarghami و Dumrak، ۲۰۲۱؛ Gain و همکاران، ۲۰۱۵).

- برنامه‌ریزی و اجرای اقدامات

همان‌طور که بیان شد تجزیه ریسک، هدف دوگانه‌ای را دنبال می‌کند که شامل اقدامات مربوط به مدیریت خطر سیل و بهبود رفاه کلی مردم است. مدیریت ریسک سیل، باید یک چرخه ریسک ساختاریافته داشته باشد. این چرخه در شکل (۴) نمایش داده‌شده‌است.

اقدامات پیشگیرانه برای جلوگیری از تبدیل خطرات احتمالی به فاجعه هستند. این موضوع شامل کاهش خطرات سیل به سطح قابل قبول و مقرون به صرفه از نظر اقتصادی است. برای مثال این اقدامات می‌توانند شامل گسترش و به‌روزرسانی سیستم‌های هشدار سیل، ایجاد سیستم‌های زهکشی مناسب، ایجاد مسیرهای مناسب انتقال رواناب، جلوگیری از تغییر کاربری اراضی بالادست، احیا مراتع و در برخی موارد ساخت بندهای انحرافی یا ذخیره کننده سیلاب باشد. اقدامات واکنشی یا پاسخ، در حین یا دقیقاً پس از وقوع سیل، اجرا می‌شوند که به برنامه‌ریزی و آمادگی قبلی برای پاسخ به شرایط اضطراری نیاز دارند. بازیابی شامل بازسازی یا بهبود شرایط گروه یا جامعه آسیب‌دیده از بلایا، همسو با اصول توسعه پایدار و «بازسازی بهتر» برای جلوگیری یا کاهش ریسک سیل‌های آینده است. به طور کلی، به ویژه در کشورهای درحال توسعه، اقدامات پیشگیرانه و مرحله آماده‌سازی نادیده گرفته می‌شوند. در کشور ما برنامه‌های مدیریت سیل موجود اغلب اقدامات واکنشی را در اولویت قرار می‌دهند. اما باید بر نقش حیاتی برنامه‌ریزی پیشگیرانه در طول چرخه سیل، از جمله آمادگی و در زمان خود رویدادهای سیل تأکید کرد. یکی از اقداماتی که باید در این زمینه مورد توجه قرار گیرد، بیمه سیل است که ابزاری حیاتی است ولی در کشور کم‌تر به آن توجه شده است. استفاده از بیمه سیل فشار مالی افراد و دولت‌ها را پس از وقوع سیل به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. با تشویق جامعه به پذیرش بیمه سیل، دولت می‌تواند بازسازی را تسریع بخشد و تاب‌آوری طولانی‌مدت در برابر سیل‌های آینده ایجاد کند.



شکل ۴- چرخه مدیریت ریسک سیل (FRM)

این چرخه شامل اقدامات پیشگیرانه و آمادگی، پاسخ و اقدامات واکنشی و بازیابی است.

- برنامه‌ریزی و اقدامات کاهش خطر

سیلاب‌ها پدیده‌های طبیعی آب و هواشناسی همراه با برهم‌کنش آن‌ها با ویژگی‌های حوضه هستند (Gopinath و همکاران، ۲۰۲۲). از طریق مداخلات در تغییر ویژگی‌های حوضه‌آبریز، می‌توان فرآیندهای ایجاد رواناب را تغییر داد و در نتیجه امکان کاهش میزان خطر سیل را فراهم کرد (Li و همکاران، ۲۰۲۳). پیشگیری از سیل محلی در مناطق شهری به سیستم‌های زهکشی، از جمله کانال‌ها متکی است که سیلاب را از مکان‌های آسیب‌پذیر منحرف می‌کند. به طور معمول، هدف برنامه‌ریزی سیل شهری، حذف سریع آب است. کاهش رواناب سطحی را می‌توان با اجرای اقداماتی انجام داد که جذب آب و تبخیر و تعرق را در حوضه‌های مستعد سیلاب‌های محلی افزایش می‌دهد. از طرف دیگر مدیریت کیفیت سیلاب نیز یک چالش مهم در مدیریت ریسک سیل شهری است. سیلاب‌های آلوده در بسیاری از مناطق شهری یک مشکل اساسی است. سیلاب‌های آلوده می‌توانند خاک، آب‌های سطحی و منابع آب زیرزمینی را آلوده کنند و خطرات درازمدت سلامتی را به همراه داشته باشند. برخی مطالعات راه حل‌های مبتنی بر طبیعت برای جلوگیری از آلودگی خاک و آب در اثر سیل پیشنهاد کرده‌اند؛ برای مثال باغ‌های بارانی[۶] (این مکان‌ها با هدف کاهش مقدار رواناب تولید شده از سطوح غیرقابل نفوذ شهری و افزایش نفوذ در این مکان‌ها، طراحی می‌شوند) می‌توانند اوج سیل را کاهش داده و به تأخیر بیاندازند، تنوع زیستی را افزایش دهند و سیلاب را فیلتر کنند. همچنین می‌توان اقدامات مدیریتی در جهت جداسازی سیستم زهکشی سیلاب از فاضلاب شهری در بالا دست شهرها تعبیه کرد تا از اختلاط احتمالی آلودگی جلوگیری شود. در این

راستا برنامه‌های بازیافت مؤثر، فراهم کردن امکان دفع زباله‌های خطرناک و آموزش جامعه در مورد دفع صحیح باید در دستور کار برنامه‌های مدیریت ریسک سیل قرار گیرد. (Dwarapureddi و همکاران، ۲۰۲۲؛ Osheen و Singh، ۲۰۱۹).

- برنامه‌ریزی و اقدامات کاهش در معرض بودن

کاهش مواجهه به اقدامات برنامه‌ریزی شهری اطلاق می‌شود که از قرارگرفتن سکونتگاه‌ها و زیرساخت‌ها در مناطقی که در معرض خطر هستند، جلوگیری کند. در حالت ایده‌آل، برنامه‌ریزی شهر حساس به سیل باید از تشدید خطرات سیل که در نتیجهٔ فعالیت‌های توسعه ایجاد می‌شوند، اجتناب کند. اما در شهرهایی با نرخ زیاد رشد جمعیت و/یا تقاضاهای زیاد برای توسعه اقتصادی، اجتناب از افزایش قرارگرفتن در معرض سیل دشوار است. برای گنجاندن موثر خطرات سیل در برنامه‌ریزی بلندمدت شهری، برنامه‌ریزان باید دارای دانش و آگاهی کافی از خطرات جاری و آینده سیل باشند. این درک را می‌توان ازترکیب مدل‌های سیل با سناریوهایی به دست آورد که عواملی مانند رشد جمعیتی و اقتصادی، پیشرفت‌های فناوری، تغییر سبک زندگی و موارد دیگر را در نظر می‌گیرند. از آنجایی که این تغییرات ارتباط نزدیکی با تغییر کاربری زمین دارد، مدل‌سازی سناریوهای مختلف می‌تواند به ایجاد درک موثری از چگونگی قرارگرفتن در معرض کمک کند. اجرای موثر طرح‌های کاربری اراضی یک چالش مهم در کاهش مواجهه با خطرات سیل است. روش‌های اجرای این طرح‌ها را می‌توان به طور کلی به چهار گروه اصلی طبقه‌بندی کرد: مقررات محدود کننده (ممنوعیت، مجازات، اسکان مجدد)، مشوق‌های اقتصادی (مالیات‌ترجیحی برای کاربری مورد نظر، مالیات اضافی برای موارد نامطلوب کاربری زمین)، افزایش دانش (اطلاعات در مورد خطرات سیل، کمپین‌های آگاهی)، سرمایه‌گذاری عمومی (خرید ملک و قرار دادن امکانات عمومی در خارج از دشت سیلابی) (APFM، ۲۰۰۸؛ Burby، ۲۰۱۴).

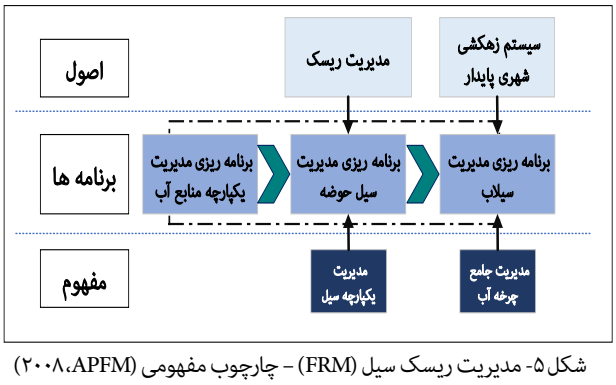
- ارزیابی مجدد ریسک

ارزیابی مجدد ریسک عموماً بعد از وقوع یک حادثه سیل انجام می‌شود و به دنبال یافتن مناطقی است که در ارزیابی اولیه به آن‌ها توجه نشده‌است، اما در هنگام وقوع سیل دچار خسارت شده‌اند. تکرار ارزیابی ریسک پس از اجرا، امکان ارزیابی کامل اثربخشی هر اقدام خاص و شناسایی جنبه‌هایی از ریسک را فراهم می‌کند.

چارچوب مفهومی برای مدیریت ریسک سیل شهری

شهرها به دلیل تمرکز جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی، فشار قابل توجهی بر منابع طبیعی وارد می‌کنند. این فعالیت‌ها به شدت به هم مرتبط هستند 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 تأثیر می‌گذارد. بنابراین، ادغام ملاحظات ریسک سیل در تمام این فعالیت‌های به هم پیوسته، بسیار مهم است. درنتیجه، خطرات سیل باید در راهبردها و سیاست‌های بخشی مختلف کشور لحاظ شود (Wilby و Keenan، ۲۰۱۲). ایجاد چنین جریان سیاسی و مدیریتی، مستلزم تجزیه و تحلیل و درک موارد زیر است: تأثیر سیل بر برنامه‌ها و پروژه‌های مختلف توسعه، تأثیر برنامه‌ها و پروژه‌های مختلف توسعه بر ایجاد سیل، بزرگی ریسک سیل، و آسیب‌پذیری جامعه در برابر خطرات سیل. شکل (۵) نشان‌دهندهٔ نحوه این جریان‌سازی است.

برای دستیابی به این اهداف، IFM ترکیبی از اقدامات سیاستی، نظارتی، مالی و فیزیکی است که سازگاری با سیل را در اولویت قرار می‌دهد و در عین حال اذعان می‌کند که سیل را نمی‌توان به طور کامل کنترل کرد. IFM خواستار تغییر رویکرد از «کنترل سیلاب» به رویکرد «مدیریت سیل» است که روابط پیچیده بین سیل و انسان را تشخیص می‌دهد.



شکل ۵- مدیریت ریسک سیل (FRM) – چارچوب مفهومی (APFM، ۲۰۰۸)

- مدیریت زمین و کاربری اراضی

باید توجه داشت که کاهش موثر ریسک سیل شهری، مستلزم ترکیبی از اقدامات فضایی، فنی و سازمانی در سطح شهرداری است. مفاهیم مدیریت جامع چرخه آب، مدیریت یکپارچه سیل، و مدیریت جامع منطقه‌بندی همگی بر اهمیت استفاده مناسب از زمین تأکید می‌کنند (Chen و همکاران، ۲۰۱۶؛ Ocampo و همکاران، ۲۰۱۳). هنگام تدوین مقررات و آئین‌نامه‌های کاربری زمین، توجه به خطرات احتمالی سیل مرتبط با کاربری‌های مختلف زمین و اتخاذ اقداماتی برای به حداقل رساندن آن‌ها بسیار مهم است.

- مدیریت آب‌های سطحی

یکی از اجزای حیاتی یک استراتژی جامع و هماهنگ مدیریت ریسک سیل، برنامه مدیریت آب‌های سطحی است. شفاف‌سازی قانونی در مورد تخلیه آب‌های سطحی یکی از اقدامات اساسی در کاهش ریسک سیل است (Ellis و Revitt، ۲۰۱۰). وظیفه

اصلی طرح‌های مدیریت آب‌های سطحی، تقویت درک مشترک از مسائل مربوط به خطر سیل در میان ذی‌نفعان در سطوح مختلف است. برای انجام این ارزیابی‌ها به طور موثر، مدل‌سازی دقیق فرآیندهای سیل، اغلب ضروری است. این مدل‌سازی باید درک کاملی از رویدادهای تاریخی سیل، سیستم‌های زهکشی سطحی و زیرسطحی، و نحوه تعامل سیل‌های منابع مختلف با یکدیگر را در برگیرد. مطالعاتی در رابطه با مدیریت آب‌های سطحی و سیلاب صورت گرفته‌است. برای مثال Yang و همکاران (۲۰۲۰) روشی جدید برای مدل‌سازی سیلاب‌های شهری با ترکیب یک مدل یک بعدی مدیریت روان‌آب‌های شهری (SWMM) با یک مدل طغیان سیل دو بعدی (ECNU Flood-Urban) معرفی کردند.

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

- برنامه‌ریزی مشارکتی

تمام مفاهیمی که زیربنای چارچوب مدیریت ریسک سیل شهری است، بر اصول مشارکتی استوار است. به طور سنتی، کنترل سیل با تصمیم‌گیری از بالا به پایین هدایت می‌شود. در کشورهای در حال توسعه به دنبال ساختار سلسله مراتبی سیستم‌های اداری، عموماً اقدامات کنترل سیل بدون مشارکت جوامع آسیب‌دیده و سایر ذی‌نفعان برنامه‌ریزی می‌شود. در بسیاری از موارد این موضوع منجر به اقدامات ناپایدار می‌شود که نیازهای ذی‌نفعان مربوطه را برآورده نمی‌کند. در موارد شدیدتر تصمیم‌گیری انحصاری از بالا به پایین حتی می‌تواند منجر به درگیری‌های جدی شود. مطالعات زیادی بر نقش مشارکت عمومی در مدیریت ریسک سیل تأکید کرده‌اند، چرا که مشارکت جوامع محلی و ذی‌نفعان تأثیر مستقیمی بر کاربری اراضی و همچنین در معرض بودن دارد (Thaler و Levin-Keitel، ۲۰۱۶)

به منظور حصول اطمینان از اینکه همه ذی‌نفعان امکان مشارکت در سطوحی از فرآیند تصمیم‌گیری را دارند، شناسایی دقیق ذی‌نفعان برای موفقیت فرآیند مشارکت، بسیار مهم است. مشارکت ذی‌نفعان سه هدف اصلی را برآورده می‌کند (APFM، ۲۰۰۸).

۱. گردآوری دانش از دیدگاه‌های مختلف باعث ایجاد درک عمیق‌تری از خطرات سیل می‌شود.

۲. اعضای جوامع آسیب‌دیده این شانس را دارند که نیازهای جامعه را بیان کنند و خواسته‌های خود را در تصمیم‌گیری‌ها وارد کنند.

۳. بر اساس دو هدف اول، مشارکت ذی‌نفعان امکان شناسایی و اجرای اقدامات مدیریت سیل موثر و پایدار را فراهم می‌کند، زیرا اکثر سهامداران از آن‌ها حمایت می‌کنند.

نتیجه‌گیری

در مجموع، سه‌گانه مخاطره، آسیب‌پذیری و انعطاف‌پذیری، چارچوبی نسبتاً جامع برای مدیریت ریسک سیل شهری ارائه می‌کند. شناخت پیچیدگی و به هم پیوستگی این عناصر برای ابداع راهبردهایی که از رویکردهای سنتی فراتر می‌روند و رویکردی چند رشته‌ای را در بر می‌گیرند، حیاتی است. یک شهر تاب‌آور، شهری است که نه تنها تأثیر مخاطرات را کاهش می‌دهد، بلکه به جوامع قدرت می‌دهد تا فعالانه در حفاظت در برابر سیل مشارکت کنند. مدیریت ریسک سیل شهری به این شیوه، مسیری را به سوی محیط‌های شهری پایدار و سازگار ارائه می‌دهد که قادر به مقاومت در برابر چالش‌های غیرقابل پیش‌بینیِ آینده است.

مسئولیت کاهش پیامدهای سیل شهری ذاتاً یک وظیفه عمومی است و نیاز به مشارکت فعال ارگان‌های دولتی، شهرداری‌ها و سایر نهادهای عمومی دارد. مشارکت این نهادها و پیروی آن‌ها از قوانین سخت‌گیرانهٔ مربوطه بسیار مهم است و تأثیر قابل توجهی بر دیدگاه عمومی نسبت به جدی بودن خطر سیل دارد. در نتیجه، این تحقیق تأکید می‌کند که مدیریت موفق سیل یک تلاش مشترک است که بخش عمومی و سهامداران را در تلاشی هماهنگ برای ایجاد شهری تاب‌آور در برابر سیل متحد می‌کند. متأسفانه در موارد متعدد بخصوص در کشورهای جهان سوم سازمان‌های دولتی و یا نیمه‌دولتی خود از عوامل موثر در آسیب‌پذیرتر نمودن جوامع هستند.

لازم به ذکر است که برای کاهش ریسک سیل شهری، مطالعات گسترده و جامعی برای هر منطقه و متناسب با شرایط اقلیمی، توپوگرافی و اجتماعی هر جامعه مورد نیاز است. این مطالعات باید تفاوت‌های فرهنگی و اجتماعی را در نظر بگیرند و با توجه به پتانسیل اقتصادی هر منطقه راهکارهای مناسبی را ارائه کنند.

پی‌نوشت‌ها

1-Impacts

2-Intensity-Duration-Frequency

3-Flood Risk Management (FRM)

4-Residual Risks

5-Multi-Hazard Assessment

6-Rain gardens

منابع

آذینی، کیومرث، قنبری‌موحد، رضوان، و رحیمیان، مهدی. (۱۴۰۲). بررسی اثرات سیل بر معیشت پایدار خانوارهای روستایی (مطالعه موردی دهستان آبستان، شهرستان خرم آباد). فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی، ۴(۲)، ۱۸۷-۲۰۴. http://gsma.lu.ac.ir/article-1-518-fa.html

اکرمی مقدم، بهار، ایلخانی پور زینالی، رسول، و نیک مهر، سامان. (۱۴۰۳). پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌گیری با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در استان کردستان. محیط زیست و مهندسی آب، ۱۰(۱)، ۷۹-۹۳. https://doi.org/10.22034/ewe.2023.388125.1850

امامی, کامران، کبارفرد، محمد، و کراری، زینب. (۱۳۸۹). بهینه سازی مدیریت سیلاب شهری با روش‌های غیرسازه‌ای مطالعه موردی سیستم هشدار سیل گلابدره دربند. اولین کنفرانس ملی مدیریت سیلاب‌های شهری. تهران، ایران.

امینا، زهرا، و حکمت زاده، علی‌اکبر. (۱۴۰۰). تخمین سیلاب برق آسا در حوضه‌های آبریز کوچک: مطالعه موردی حوضه آبریز دروازه قرآن شیراز. بیستمین کنفرانس هیدرولیک ایران، گرگان، ایران.

بهمنی، سجاد، و محمدی ده چشمه، مصطفی. (۱۴۰۲). مطالعه جامعه شناختی چالش مدیریت آب‌های سطحی و تأثیر آن بر زندگی روزمره شهروندان اهوازی (مطالعه موردی: حادثه سیلاب شهری و بالازدگی فاضلاب در شهرهای اهواز و کارون سال ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰). فصلنامه توسعه اجتماعی، ۱۸(۱)، ۲۲۷-۲۵۰. https://doi.org/10.22055/qjsd.2023.41990.2734

پوراحمد، احمد، صادقی، علیرضا. (۱۴۰۲). ارزیابی مولفه‌های تاب‌آوری محلات شهری در برابر سیلاب (مورد مطالعه: محلات واقع بر مسیر رودخانه‌ها در مناطق ۱، ۲، ۳، ۵ و ۲۲ شهرداری تهران). فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی، ۴(۲)، ۲۳-۴۲. http://gsma.lu.ac.ir/article-1-485-fa.html

حسنی، محمدجواد. (۱۴۰۲). بررسی عوامل موثر در بروز سیل جهت مدیریت خسارات ناشی از آن در ناحیه گردشگری سیرچ. فصلنامه مدیریت شهری و مهندسی محیط‌زیست، ۱(۴)، ۸۵-۱۰۲. doi: 10.48306/jumee.2024.445725.1039

خاتونی، کوشا، هوشیاری‌پور، فرهاد، نوری، روح‌الله، و ملک محمدی، بهرام. (۱۴۰۲). مدلسازی و پهنه‌بندی دو بعدی سیلاب شهری در حوضه شمال شهر کرج با استفاده از HEC-RAS 2D. دو فصلنامه مهندسی آب، ۱۱(۱)، ۹۹-۱۱۰. https://sanad.iau.ir/fa/Article/1024540?FullText=FullText

درگاه الکترونیکی پایگاه خبری و تحلیلی انصاف، (۱۴۰۱)، https://en-safnews.com/ ، کد خبر، ۳۶۰۴۳۰، تاریخ به‌روز رسانی، ۱۴۰۱/۵/۴.

درگاه الکترونیکی خبرگزاری ایسنا. (۱۳۹۸). گزارش خبری: رودخانه منتهی به دروازه قرآن لایروبی نشده بود، کوتاهی مسئولین شهرداری شیراز علی‌رغم هشدارها، https://www.isna.ir/news

درگاه الکترونیکی خبرگزاری خبر آنلاین، (۱۴۰۱)، سیلاب‌های مرگبار تهران پس از انقلاب؛ از ۳۰۰ کشته سیل تجریش تا سیلاب امامزاده داوود، https://www.khabaronline.ir/news/1656037

درگاه الکترونیکی خبرگزاری مهر. (۱۳۹۸). اخبار ایران و جهان، «پیگیری قضائی بررسی سهل انگاری سیل شیراز /رودخانه لایروبی نشده بود»، https://www.mehrnews.com/news

رضایی‌مقدم، محمد حسین، و رحیم‌پور، توحید. (۱۴۰۲). تهیهٔ نقشهٔ پتانسیل خطر وقوع سیل با استفاده از دو روش نسبت فراوانی و شاخص آماری (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبریز آجی‌چای). مدیریت مخاطرات محیطی، ۱۰(۴)، ۲۹۱-۳۰۸. doi: 10.22059/jhsci.2024.369163.803

زیاری، کرامت اله، رجایی، سید عباس، و داراب خانی، رسول. (۱۴۰۲). الگوی مناسب مدیریت بحران سیلاب شهرایلام. فصلنامه توسعه پایدار محیط جغرافیایی، ۵(۹)، ۷۲-۸۹. doi: 10.48308/sdge.2023.230355.1114

طاهری، سیده محدثه، و مساعدی، ابوالفضل. (۱۴۰۲). مروری بر راهبردهای مدیریت ریسک سیل و چالش های قانونی و عملی. دو فصلنامه آب و توسعه پایدار، ۱۰(۳)، ۳۵-۵۰. https://doi.org/10.48308/sdge.2023.230355.1114

قهرمان، بیژن. (۱۳۸۲). بررسی جامع رگبار ۱۶ خرداد ۱۳۷۱ مشهد. دوفصلنامه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۷(۲)، ۲۹-۴۱. http://jcpp.iut.ac.ir/article-1-462-fa.html

محمدزاده هابیلی، جهانشیر، حسینی، زهرا، خلیلی، داور، هنر، تورج، زند پارسا، شاهرخ، و طالب‌نژاد، رضوان. (۱۳۹۸). تولید هیدروگراف سیلاب ۵ فروردین دروازه قرآن شهر شیراز بر مبنای مدلسازی فیزیکی، هیدرولیکی و هیدرولوژیکی. هجدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، تهران، ایران.

محمدی‌استادکلایه، امین، مساعدی، ابوالفضل، و علاقمند، سینا. (۱۳۸۶). بررسی اثرات سیل مرداد ۱۳۸۰ شرق گلستان بر مورفولوژی رودخانه مادرسو. علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۴(ویژه نامه منابع طبیعی (ضمیمه))، ۹-۱۷.

Aerts, J. C., Botzen, W. J., Clarke, K. C., Cutter, S. L., Hall, J. W., Merz, B., Michel-Kerjan, E., Mysiak, J., Surminski, S., & Kunreuther, H. (2018). Integrating human behaviour dynamics into flood disaster risk assessment. Nature Climate Change, 8(3), 193-199. https://doi.org/10.1038/s41558-018-0085-1

Alexander, J., Barclay, J., Sušnik, J., Loughlin, S. C., Herd, R. A., Darnell, A., & Crosweller, S. (2010). Sediment-charged flash floods on Montserrat: the influence of synchronous tephra fall and varying extent

Braun, B., & Aßheuer, T. (2011). Floods in megacity environments: 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

Bruwier, M., Mustafa, A., Aliaga, D. G., Archambeau, P., Erpicum, S., Nishida, G., Zhang, X., Pirotton, M., Teller, J., & Dewals, B. (2018). Influence of urban pattern on inundation flow in floodplains of lowland rivers. Science of the Total Environment, 622, 446-458. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.325

Burby, R. (2014). Land-use planning for flood hazard reduction: the United States experience. In Floods (pp. 6-18). Routledge. Washington, D.C., United States.

Chen, A. S., Leandro, J., & Djordjević, S. (2016). Modelling sewer discharge via displacement of manhole covers during flood events using 1D/2D SIPSON/P-DWave dual drainage simulations. Urban Water Journal, 13(8), 830-840. https://doi.org/10.1080/1573062X.2015.1041991

National Research Council. (2013). Levees and the National Flood Insurance Program: Improving Policies and Practices. Washington, DC: The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/18309

D'Ayala, D., Wang, K., Yan, Y., Smith, H., Massam, A., Filipova, V., & Pereira, J. J. (2020). Flood vulnerability and risk assessment of urban traditional buildings in a heritage district of Kuala Lumpur, Malaysia. Natural Hazards and Earth System Sciences, 20(8), 2221-2241. https://doi.org/10.5194/nhess-20-2221-2020

Dao-yi, G., Jin-hong, Z., & Shao-wu, W. (2001). Flooding 1990s along the Yangtze River, has it concern of global warming? Journal of Geographical Sciences, 11(1), 43-52. https://doi.org/10.1007/BF02837375

Diakakis, M., Deligiannakis, G., Antoniadis, Z., Melaki, M., Katsetsiadou, N., Andreadakis, E., Spyrou, N., & Gogou, M. (2020). Proposal of a flash flood impact severity scale for the classification and mapping of flash flood impacts. Journal of Hydrology, 590, 125452. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125452

Du, S., Shi, P., Van Rompaey, A., & Wen, J. (2015). Quantifying the impact of impervious surface location on flood peak discharge in urban areas. Natural Hazards, 76(3), 1457-1471. https://doi.org/10.1007/s11069-014-1463-2

of vegetation damage. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 194(4), 127-138. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2010.05.002

APFM, A. (2008). Tool for Integrated Flood Management: Urban Flood Risk Management. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.

Balica, S., Douben, N., & Wright, N. G. (2009). Flood vulnerability indices at varying spatial scales. Water science and Technology, 60(10), 2571-2580. https://doi.org/10.2166/wst.2009.183

Ballesteros-Cánovas, J. A., Rodríguez-Morata, C., Garófano-Gómez, V., Rubiales, J. M., Sánchez-Salguero, R., & Stoffel, M. (2015). Unravelling past flash flood activity in a forested mountain catchment of the Spanish Central System. Journal of Hydrology, 529, 468-479. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.11.027

Bayas-Jiménez, L., Martínez-Solano, F. J., Iglesias-Rey, P. L., & Boano, F. (2022). Economic Analysis of Flood Risk Applied to the Rehabilitation of Drainage Networks. Water, 14(18), 2901. https://doi.org/10.3390/w14182901

Beringer, A. L., & Kaewsuk, J. (2018). Emerging livelihood vulnerabilities in an urbanizing and climate uncertain environment for the case of a secondary city in Thailand. Sustainability, 10(5), 1452. https://doi.org/10.3390/su10051452

Bermúdez, M., Farfán, J., Willems, P., & Cea, L. (2021). Assessing the effects of climate change on compound flooding in coastal river areas. Water resources research, 57(10), e2020WR029321. https://doi.org/10.1029/2020WR029321

Bin, L., Xu, K., Pan, H., Zhuang, Y., & Shen, R. (2023). Urban flood risk assessment characterizing the relationship among hazard, exposure, and vulnerability. Environmental Science and Pollution Research, 30(36), 86463-86477. https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-023-28578-7

Blöschl, G., Gaál, L., Hall, J., Kiss, A., Komma, J., Nester, T., Parajka, J., Perdigão, R. A., Plavcová, L., & Rogger, M. (2015). Increasing river floods: fiction or reality? Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 2(4), 329-344. https://doi.org/10.1002/wat2.1079

models and future challenges, Hydrol. Earth Syst. Sci., 25, 2843–2860. https://doi.org/10.5194/hess-25-2843-2021

Haer, T., Husby, T. G., Botzen, W. W., & Aerts, J. C. (2019). The safe development paradox: An agent-based model for flood risk under climate change in the European Union. Global Environmental Change, 60 (2), 102009. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.102009

Hall, J. W., Sayers, P. B., & Dawson, R. J. (2005). National-scale assessment of current and future flood risk in England and Wales. Natural Hazards, 36 (1), 147-164. https://doi.org/10.1007/s11069-004-4546-7

Hu, X., Pant, R., Hall, J. W., Surminski, S., & Huang, J. (2019). Multi-scale assessment of the economic impacts of flooding: evidence from firm to macro-level analysis in the Chinese manufacturing sector. Sustainability, 11(7), 1933. https://doi.org/10.3390/su11071933

Jha, A. K., Bloch, R., & Lamond, J. (2012). Cities and flooding: a guide to integrated urban flood risk management for the 21st century. World Bank Publications, Washington, D.C., United States.

Karami, M., Abedi Koupai, J., & Gohari, S. A. (2024). Integration of SWAT, SDSM, AHP, and TOPSIS to detect flood-prone areas. Natural Hazards, 120 (7), 6307-6325. https://doi.org/10.1007/s11069-024-06483-7

Lee, Y., & Brody, S. D. (2018). Examining the impact of land use on flood losses in Seoul, Korea. Land use policy, 70(2), 500-509. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.11.019

Li, Z., Wu, Y., Li, J., Qi, P., Sun, J., & Sun, Y. (2023). Attribution Analysis of Runoff Variation in the Second Songhua River Based on the Non-Steady Budyko Framework. Water, 15(3), 451. https://doi.org/10.3390/w15030451

Liu, X., & Chen, H. (2019). Integrated assessment of ecological risk for multi-hazards in Guangdong province in southeastern China. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 10(1), 2069-2093. https://doi.org/10.1080/19475705.2019.1680450

Mahanta, R., & Das, D. (2017). Flood induced vulnerability to poverty: evidence from Brahmaputra Valley, Assam, India. International journal of disaster risk reduction, 24, 451-461. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.04.014

Dwarapureddi, B. K., Dash, S., Raj, A., Garika, N. S., Kumar, A., & Vara, S. (2022). Prevention of soil erosion and torrential floods. In Prevention and Management of Soil Erosion and Torrential Floods (pp. 92-111). IGI Global. https://doi.org/10.4018/978-1-7998-8459-0.ch005

Ellis, J. B., & Revitt, D. M. (2010). The management of urban surface water drainage in England and Wales. Water and Environment Journal, 24(1), 1-8. https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2009.00203.x

Fatemi, M. N., Okyere, S. A., Diko, S. K., Kita, M., Shimoda, M., & Matsubara, S. (2020). Physical vulnerability and local responses to flood damage in peri-urban areas of Dhaka, Bangladesh. Sustainability, 12(10), 3957. https://doi.org/10.3390/su12103957

Feng, B., Zhang, Y., & Bourke, R. (2021). Urbanization impacts on flood risks based on urban growth data and coupled flood models. Natural Hazards, 106 (1), 613-627. https://doi.org/10.1007/s11069-020-04480-0

Ferrarin, C., Tomasin, A., Bajo, M., Petrizzo, A., & Umgiesser, G. (2015). Tidal changes in a heavily modified coastal wetland. Continental Shelf Research, 101, 22-33. https://doi.org/10.1016/j.csr.2015.04.002

Gain, A. 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, 79 (3), 1499-1530. https://doi.org/10.1007/s11069-015-1911-7

Gheorghe, A. V. (2005). Integrated risk and vulnerability management assisted by decision support systems: Relevance and impact on governance (Vol. 8). Springer Science & Business Media, Dordrecht, Netherlands.

Gopinath, N., Aruneraj, J., & Ragul, V. (2022). IoT based model for flood warning system in waterfall. 2022 1st International Conference on Computational Science and Technology (ICCST). Chennai, India. https://doi.org/10.1109/ICCST55948.2022.10040286

Green, C. (2004). The evaluation of vulnerability to flooding. Disaster Prevention and Management: An International Journal, 13(4), 323-329. https://doi.org/10.1108/09653560410556546

Guo, K., Guan, M., & Yu, D. (2021). Urban surface water flood modelling – a comprehensive review of current

Rahman, M., Ningsheng, C., Mahmud, G., Islam, M., Pourghasemi, H., Ahmad, H., Habumugisha, J., Washakh, R., Alam, M., & Liu, E. (2021). Flooding and its relationship with land cover change, population growth, and road density. Geosci. Front, 12(6), 101224. https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101224

Sado-Inamura, Y., & Fukushi, K. (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

Sampson, C. C., Smith, A. M., Bates, P. D., Neal, J. C., Alfieri, L., & Freer, J. E. (2015). A high-resolution global flood hazard model. Water resources research, 51(9), 7358-7381. https://doi.org/10.1002/2015WR016954

Samu, R., & Kentel, A. S. (2018). An analysis of the flood management and mitigation measures in Zimbabwe for a sustainable future. International journal of disaster risk reduction, 31, 691-697. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.07.013

Santos, P. P., Pereira, S., Zêzere, J. L., Tavares, A. O., Reis, E., Garcia, R. A., & Oliveira, S. C. (2020). A comprehensive approach to understanding flood risk drivers at the municipal level. Journal of environmental management, 260, 110127. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110127

Sayers, P., Yuanyuan, L., Galloway, G., Penning-Rowsell, E., Fuxin, S., Kang, W., Yiwei, C., & Le Quesne, T. (2013). Flood risk management: A strategic approach. In: Asian Development Bank, GIWP, UNESCO and WWF-UK, Manila, Philippines.

Sertel, E., Imamoglu, M. Z., Cuceloglu, G., & Erturk, A. (2019). Impacts of land cover/use changes on hydrological processes in a rapidly urbanizing mid-latitude water supply catchment. Water, 11(5), 1075. https://doi.org/10.3390/w11051075

Singkran, N., & Kandasamy, J. (2016). Developing a strategic flood risk management framework for Bangkok, Thailand. Natural Hazards, 84, 933-957. https://doi.org/10.1007/s11069-016-2467-x

Smith, K. (2013). Environmental hazards: assessing risk and reducing disaster. Routledge, London, United Kingdom.

McElwee, P., Nghiem, T., Le, H., & Vu, H. (2017). Flood vulnerability among rural households in the Red River Delta of Vietnam: implications for future climate change risk and adaptation. Natural Hazards, 86, 465-492. https://doi.org/10.1007/s11069-016-2701-6

Mohanty, M. P., Mudgil, S., & Karmakar, S. (2020). Flood management in India: A focussed review on the current status and future challenges. International journal of disaster risk reduction, 49, 101660. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101660

Muzamil, S. A. H. B. S., Zainun, N. Y., Ajman, N. N., Sulaiman, N., Khahro, S. H., Rohani, M. M., Mohd, S. M. B., & Ahmad, H. (2022). Proposed framework for the flood disaster management cycle in Malaysia. Sustainability,14(7), 4088. https://doi.org/10.3390/su14074088

Nkwunonwo, U. C., Whitworth, M., & Baily, B. (2016). A review and critical analysis of the efforts towards urban flood risk management in the Lagos region of Nigeria. Natural Hazards and Earth System Sciences, 16(2), 349-369. https://doi.org/10.5194/nhess-16-349-2016

Ocampo-Martinez, C., Puig, V., Cembrano, G., & Quevedo, J. (2013). Application of predictive control strategies to the management of complex networks in the urban water cycle [applications of control]. IEEE Control Systems Magazine, 33(1), 15-41. https://doi.org/10.1109/MCS.2012.2225919

Osheen, & Singh, K.K. (2019). Rain garden—A solution to urban flooding: A review. Sustainable Engineering: Proceedings of EGRWSE 2018, 27-35. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6717-5_4

Qie, X., Yuan, S., Chen, Z., Wang, D., Liu, D., Sun, M., Sun, Z., Srivastava, A., Zhang, H., & Lu, J. (2021). Understanding the dynamical-microphysical-electrical processes associated with severe thunderstorms over the Beijing metropolitan region. Science China Earth Sciences, 64, 10-26. https://doi.org/10.1007/s11430-020-9656-8

Quesada-Román, A. (2022). Flood risk index development at the municipal level in Costa Rica: A methodological framework. Environmental Science & Policy, 133, 98-106. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.03.012

Webber, J., Fletcher, T., Cunningham, L., Fu, G., Butler, D., & Burns, M. (2020). Is green infrastructure a viable strategy for managing urban surface water flooding? Urban Water Journal, 17(7), 598-608. https://doi.org/10.1080/1573062X.2019.1700286

Wilby, R. L., & Keenan, R. (2012). Adapting to flood risk under climate change. Progress in physical geography, 36(3), 348-378. https://doi.org/10.1177/0309133312438908

Yang, J.-L., & Zhang, G.-L. (2011). Water infiltration in urban soils and its effects on the quantity and quality of runoff. Journal of soils and sediments, 11, 751-761. https://doi.org/10.1007/s11368-011-0356-1

Yang, L., Smith, J., Baeck, M. L., & Morin, E. (2019). Flash flooding in arid/semiarid regions: climatological analyses of flood-producing storms in central Arizona during the North American monsoon. Journal of Hydrometeorology, 20(7), 1449-1471. https://doi.org/10.1175/JHM-D-19-0016.1

Yang, Y., Sun, L., Li, R., Yin, J., & Yu, D. (2020). Linking a storm water management model to a novel two-dimensional model for urban pluvial flood modeling. International Journal of Disaster Risk Science, 11, 508-518. https://doi.org/10.1007/s13753-020-00278-7

Zarghami, S. A., & Dumrak, J. (2021). A system dynamics model for social vulnerability to natural disasters: Disaster risk assessment of an Australian city. International journal of disaster risk reduction, 60, 102258 https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102258

Tanoue, M., Taguchi, R., Nakata, S., Watanabe, S., Fujimori, S., & Hirabayashi, Y. (2020). Estimation of direct and indirect economic losses caused by a flood with long-lasting inundation: application to the 2011 Thailand flood. Water resources research, 56(5), e2019WR026092. https://doi.org/10.1029/2019WR026092

Thaler, T., & Levin-Keitel, M. (2016). Multi-level stakeholder engagement in flood risk management—A question of roles and power: Lessons from England. Environmental Science & Policy, 55, 292-301. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.04.007

Thieken, A. H., Bessel, T., Kienzler, S., Kreibich, H., Müller, M., Pisi, S., & Schröter, K. (2016). The flood of June 2013 in Germany: how much do we know about its impacts? Natural Hazards and Earth System Sciences, 16(6), 1519-1540. https://doi.org/10.5194/nhess-16-1519-2016

Thieken, A. H., Samprogna Mohor, G., Kreibich, H., & Müller, M. (2022). Compound inland flood events: different pathways, different impacts and different coping options. Natural Hazards and Earth System Sciences, 22(1), 165-185. https://doi.org/10.5194/nhess-22-165-2022

Tingsanchali, T. (2012). Urban flood disaster management. Procedia engineering, 32, 25-37. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.1233

Tucci, C. (2008). Urban flood risk management: A tool for integrated flood management. Geneva, world meteorological organisation.

UNISDR, C. (2015). The human cost of natural disasters: A global perspective. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. UN Office for Disaster Risk Reduction.

Verlynde, N., Voltaire, L., & Chagnon, P. (2019). Exploring the link between flood risk perception and public support for funding on flood mitigation policies. Journal of Environmental Planning and Management, 62(13), 2330-2351. https://doi.org/10.1080/09640568.2018.1546676

Watson, R. T., Zinyowera, M. C., & Moss, R. H. (1996). Climate Change 1995: Impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific technical analyses. Published By: Cambridge University Press.