



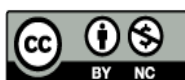
## Urban flood risk management, a solution for the protection of ecosystems (Case study: Arak City)

Mahmood Ghabd Beygi<sup>1</sup> | Hamid Mazaheri<sup>2</sup> | Homa Shafiei<sup>3</sup> | Mehdi Mardian<sup>4</sup> 

1. MSc, Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Islamic Azad University, Khomein, Iran. E-mail: [m.ghadbeygi1975@gmail.com](mailto:m.ghadbeygi1975@gmail.com)
2. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Islamic Azad University, Khomein, Iran. E-mail: [Ha.mazaheri@iau.ac.ir](mailto:Ha.mazaheri@iau.ac.ir)
3. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Islamic Azad University, Khomein, Iran. E-mail: [Omik.ir@live.com](mailto:Omik.ir@live.com)
4. Corresponding Author, Researcher of Environmental Hydrology, Ph.D. of Watershed Management and Engineering, Sari University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Sari, Iran. E-mail: [mehdimardian@gmail.com](mailto:mehdimardian@gmail.com)

Article Info	Abstract
<b>Article type</b> Research Article	<b>Objective:</b> In the present research, the risk management of Arak urban flood was investigated as a solution for the protection of ecosystems. <b>Methods:</b> First, different flood risks were weighted using AHP multi-criteria decision making model. Then, the spatial layers of risks were extracted from databases to prepare a spatial map of risk potential based on weighted layers. Then, 13 strategies for Arak urban flood risk management were determined based on the review of researches and expert opinions that using the TOPSIS model, strategies were prioritized. <b>Results:</b> The results showed that the slope factor with a weight of 0.65 in the topography criteria, the population factor with a weight of 0.452 in the density criteria, and the distance from the river and waterway network with a weight of 0.70 in the hydrology criteria, have more effect than other sub-criteria. The results showed that about 777 hectares of the city's area, which includes 6.63% and mainly includes the city center around the Karehrood River, has a high flood risk potential. In these areas where the flood risk potential of Arak city is higher, mainly the slope is less, the distance to the river and canals is less and the population density is higher. In the solution prioritization section, it was found that organizing the wall and the river bed with a closeness factor of 0.8872 is known as the best option, and after that, removing the occupation and releasing it is with a closeness factor of 0.7945. <b>Conclusion:</b> The following priorities include dredging the river channel, optimizing the dimensions of bridge spans, raising awareness and increasing public knowledge. In the general, it should be stated that the urban flood risk management of Arak, in order to protect human ecosystems, requires the participation of all sections of the society.
<b>Article history</b> Received: 2 April 2024 Revised: 6 April 2024 Accepted: 6 April 2024 Published: 16 March 2024	
<b>Keywords:</b> Arak City AHP model Flood Risk management TOPSIS model	

**Cite this article:** Ghabd Beygi, M., Mazaheri, H., Shafiei, H. & Mardian, M. (2024). Urban flood risk management, a solution for the protection of ecosystems (Case study: Arak City). *Research in Ethnobiology and Conservation*, 1(2), 38-50. <https://doi.org/10.22091/ethc.2024.10558.1018>







## مدیریت ریسک سیلاب شهری، راهکاری بر حفاظت از زیست بوم‌ها (مطالعه موردی: شهر اراک)

محمود قدیگی<sup>۱</sup> | حمید مظاهری<sup>۲</sup> | هما شفیعی<sup>۳</sup> | مهدی مردیان<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، گروه عمران، دانشکده عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، خمین، ایران. رایانامه: [m.ghadbeygi1975@gmail.com](mailto:m.ghadbeygi1975@gmail.com)

<sup>۲</sup> استادیار، گروه عمران، دانشکده عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، خمین، ایران. رایانامه: [Ha.mazaheri@iau.ac.ir](mailto:Ha.mazaheri@iau.ac.ir)

<sup>۳</sup> استادیار، گروه عمران، دانشکده عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، خمین، ایران. رایانامه: [Omik.ir@live.com](mailto:Omik.ir@live.com)

<sup>۴</sup> نویسنده مسئول، پژوهشگر هیدرولوژی محیط‌زیست، دکتری آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه:

[mehdimardian@gmail.com](mailto:mehdimardian@gmail.com)

### چکیده

### اطلاعات مقاله

**هدف:** آگاهی از تغییرات ریسک سیلاب شهری در ارتباط با فعالیت‌های انسانی و تغییرات کاربری اراضی در حوضه‌های آبخیز شهری نقش تعیین‌کننده‌ای در حفاظت از زیست بوم‌ها دارد. در پژوهش حاضر به بررسی مدیریت ریسک سیلاب شهری اراک به عنوان راهکاری بر حفاظت از زیست بوم‌ها پرداخته شد.

**مواد و روش‌ها:** با تعریف ریسک‌های مرتبط با منشاء، یک برنامه مدیریتی بر اساس اولویت‌بندی راهکارهای مدیریت ریسک سیلاب شهری اراک ارائه شد. ابتدا با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP، ریسک‌های مختلف سیلاب وزن‌دهی شدند. سپس، لایه‌های مکانی ریسک‌ها از بانک‌های اطلاعاتی استخراج شدند تا نقشه مکانی پتانسیل ریسک بر اساس لایه‌های وزن‌دار تهیه شود. در مرحله بعد، ۱۳ استراتژی برای مدیریت ریسک سیلاب شهری اراک بر اساس مرور سوابق تحقیق و نظر کارشناسان خبره تعیین شد. سپس با استفاده از مدل TOPSIS، اولویت‌بندی گزینه‌ها انجام شد.

**نتایج:** نتایج نشان داد در معیار توپوگرافی عامل شیب با وزن ۰/۶۵، در معیار تراکم عامل جمعیت با وزن ۰/۴۵۲ و در معیار هیدرولوژی عامل فاصله از شبکه رودخانه و آبراهه با وزن ۰/۷۰ اثر بیشتری نسبت به سایر زیرمعیارها دارند. همچنین نتایج نشان داد، حدود ۷۷۷ هکتار از مساحت شهر که ۶/۶۳ درصد را شامل می‌شود و عمدتاً مرکز شهر و پیرامون رودخانه کرهرود را در بر می‌گیرد، دارای پتانسیل ریسک بالای سیلاب است. در این مناطق که پتانسیل ریسک سیلاب شهر اراک بالاتر است، عمدتاً شیب کمتر، فاصله تا رودخانه و مسیل‌ها کمتر و تراکم جمعیت بالاتر می‌باشد. در بخش اولویت‌بندی راهکارها مشخص شد که ساماندهی دیواره و بستر رودخانه با ضریب نزدیکی ۰/۸۸۷۲ به عنوان گزینه برتر شناخته شده است و پس از آن رفع تصرف و آزادسازی با ضریب نزدیکی ۰/۷۹۴۵ قرار دارد. در اولویت‌های بعدی نیز، لایروبی مسیل رودخانه، بهینه‌سازی ابعاد دهنه پل‌ها، آگاه‌سازی و افزایش دانش عمومی قرار دارند.

**نتیجه‌گیری:** در جمع‌بندی کلی از این پژوهش باید بیان کرد که مدیریت ریسک سیلاب شهری اراک، به منظور حفاظت از زیست بوم‌های انسانی، نیازمند مشارکت همه بخش‌های جامعه است.

نوع مقاله

پژوهشی

تاریخچه

دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۴

بازنگری: ۱۴۰۳/۰۱/۱۸

پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۱۸

انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۲۶

کلیدواژه‌ها

سیلاب

کلانشهر اراک

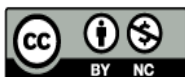
مدل AHP

مدل TOPSIS

مدیریت ریسک

**استناد:** قدیگی، محمود، مظاهری، حمید، شفیعی، هما، و مردیان، مهدی (۱۴۰۲). مدیریت ریسک سیلاب شهری، راهکاری بر حفاظت از زیست بوم‌ها.

پژوهش‌های زیست‌قوم‌شناختی و حفاظت، ۱(۲)، ۳۸-۵۰. <https://doi.org/10.22091/ethc.2024.10558.1018>



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه قم

## مقدمه

پدیده سیل یکی از جدی‌ترین بلایای طبیعی است که جوامع بشری و زیست بومها را مورد تهدید قرار می‌دهد. افزایش خسارات جانی و مالی ناشی از سیلاب‌های مخرب طی سه دهه گذشته علیرغم پیشرفت علوم و تکنولوژی در زمینه تجهیزات الکترونیک و سیستم‌های سریع و هوشمند، محسوس بوده است و بیانگر عدم امکان کنترل قطعی خسارات ناشی از سیلاب می‌باشد (Tajari et al., 2016). افزایش تعداد وقوع، حجم و میزان خسارات ناشی از وقوع سیل در سال‌ها و دهه‌های اخیر در سطح ملی و نیز در سطح جهان متأثر از عوامل گوناگونی است. در این بین، افزایش جمعیت، تغییر کاربری اراضی و توسعه و افزایش مناطق مسکونی، از مهمترین دلایل افزایش خسارت‌ها محسوب می‌شوند (Rahman et al., 2021). افزایش سطوح نفوذناپذیر و نیز محدود کردن عرض و مجرای عبوری مسیل‌ها، رودخانه‌ها و آبراهه‌های طبیعی، آسیب‌پذیری مناطق مسکونی و تأسیسات شهری را در مقابل سیلاب‌های شهری افزایش داده است (Salata et al., 2021). از سوی دیگر حساسیت‌های اجتماعی، اقتصادی و سیاسی، به بحث سیلاب در امر مدیریت شهری به عنوان یک دستور کار برای مقامات و سازمان‌های مسئول اهمیت داده است. موفقیت مدیریت سیلاب و تصمیم‌گیری در مورد میزان حفاظت منطقه، نیازمند مدیریت ریسک سیل می‌باشد (Faraji Sabokbar and Rezaie Narimisa, 2017).

مطابق با نشریه شماره ۶۵۹ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی<sup>۱</sup> (2008) برنامه‌ریزی مدیریت ریسک اولین مرحله و قدم آغازین از فرایندهای تکرار شونده مدیریت ریسک، یعنی برنامه‌ریزی مدیریت ریسک، شناسایی ریسک، ارزیابی ریسک (کیفی و کمی)، برنامه‌ریزی پاسخ‌گویی به ریسک و پایش، کنترل و بازنگری ریسک است. به طور کلی در مواجهه با پدیده سیل و کنترل و کاهش نسبی خسارات ناشی از آن، دو دیدگاه سازه‌ای و غیر سازه‌ای وجود دارد. طرح سامانه‌های هشدار سیل، تعیین حدود بستر و حریم رودخانه‌ها با اولویت رودخانه‌های سیل خیز، برنامه‌های آموزش، مشارکت مدیران، اصلاح قوانین و تهیه چهارچوبی نظام‌مند در بیمه سیل، از مواردی هستند که می‌توان به عنوان اقدامات غیر سازه‌ای نام برد (Tajari et al., 2016). در مورد روش‌های سازه‌ای نیز می‌توان به سدهای مخزنی ذخیره سیلاب در مخزن و کاهش پیک سیلاب، سیستم‌های جمع‌آوری آب، سیل بندها، مخازن تاخیری کاهش پیک سیلاب، اصلاح و بهسازی مسیر رودخانه‌ها، افزایش سرعت جریان در آبروها و گذردهی رودخانه و حفاظت از کناره‌ها و بستر آن و نیز انحراف سیلاب اشاره کرد (Bazari et al., 2016).

با توجه به توسعه روز افزون کلانشهر اراک و بارش‌های بعضاً سیلابی، یکی از مهمترین مشکلاتی که می‌تواند در مدیریت شهری اراک اختلال ایجاد کند، موضوع پتانسیل سیل خیزی و افزایش رواناب شهری می‌باشد که در صورت وقوع می‌تواند منجر به خسارت‌های مالی به پروژه‌های عمرانی و حتی خسارات جانی نیز گردد. بنابراین به جهت مدیریت این مشکل و رفع موانع مدیریتی در حفاظت از زیست بومها، لازم است تحقیقی در زمینه ارزیابی ریسک سیلاب برای این کلانشهر صورت پذیرد که بدین منظور از ابزارهای مدیریتی چندمعیاره استفاده می‌شود. از مهمترین ابزارهای مدیریتی که در پروژه‌های مدیریتی حفاظت از زیست بومها کاربرد دارند، می‌توان به مدل‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)<sup>۲</sup> و TOPSIS<sup>۳</sup> اشاره کرد. در مدل AHP معمولاً از روش وزن‌دهی به مقایسه زوجی برای تعیین وزن معیارها استفاده می‌شود. در این روش، معیارها دو به دو با یکدیگر مقایسه شده و اهمیت آنها نسبت به یکدیگر تعیین می‌گردد. سپس یک ماتریس ایجاد می‌شود که ورودی آن همان وزن‌های تعیین شده و خروجی آن وزن‌های نسبی مربوط به معیارهاست. در مدل TOPSIS نیز با بهره‌مندی از قضاوت خبرگان و بر اساس معیارها، اولویت‌بندی گزینه‌ها یا راهکارها ارائه می‌شود (Pathan et al., 2022). با توجه به وضعیت کنونی کشور و محدودیت‌های مالی و بودجه‌ای موجود، نیازهای فنی، اجتماعی محیط زیستی و... عملاً به کارگیری اقدامات تک بعدی با چالش روبرو است. لذا اهمیت و ضرورت انجام تحقیق از این جهت است که بتوان با ابزارهای مدیریتی ضمن شناسایی و ارزیابی کمی (مرتبط با منشاء) ریسک شهری اراک، راهکارهای مناسب در قالب استراتژی‌های پاسخ به ریسک را انجام داد. مطابق با نشریه شماره ۶۵۹ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی (2008)، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از سیلاب و مدیریت

<sup>1</sup>. Publication No. 659 of Vice President of Strategic Planning and Monitoring

<sup>2</sup>. Analytical Hierarchy Process

<sup>3</sup>. Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

ریسک در پروژه‌ها شامل: اجتناب، کاهش (احتمال وقوع، احتمال/پیامد)، انتقال و پذیرش هستند که ضروری است با استفاده از نظرات کارشناسان خبره بومی و با ابزارهای مدیریتی اشاره شده، اولویت‌بندی شوند.

در خصوص بررسی مدیریت ریسک سیلاب شهری، Varvani و همکاران (2012) با بررسی کاربرد سیستم‌های استحصال رواناب سیلابی در آبخیز شهری اراک نشان دادند با توجه به اینکه تانک‌های آب از رواناب سقف تأسیسات تغذیه می‌شوند، لذا اجرای این سیستم استحصالی در آبخیز شهری اراک می‌تواند به خوبی به عنوان یک منبع مکمل آب برای مصارف غیرشرب به حساب آید. Falahi Zarandi و Taherion (2013) با انجام مطالعاتی روی تاثیر روش‌های توسعه کم اثر بر کیفیت و کمیت سیلاب‌های شهری نشان دادند که روش‌های جوی باغچه و پشت بام سبز اثرات مثبتی بر کیفیت و کمیت سیلاب‌های شهری دارند. Faraji Sabokbar و Rezaie Narimisa (2017) با تبیین و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری منطقه شش شهر تهران در هنگام و پس از وقوع سیل نشان دادند که بخش‌های با آسیب‌پذیری بالا در مناطق با تراکم جمعیتی و کالبدی شهری قرار دارند. Barani و Khadem Hamzeh (2017) با بهینه‌سازی سیستم‌های انحراف سیلاب با استفاده از روش ریسک - هزینه نشان دادند که نادیده گرفتن عدم قطعیت‌های موجود در فرآیند طراحی می‌تواند منجر به طراحی یک سیستم غیرایمن گردد. Gholami و Chenarestan olia و همکاران (2019) با بررسی مدیریت ریسک و مهندسی ارزش در پروژه مهار سیلاب رودخانه بشار یاسوج نشان دادند از نظر درجه قابلیت ریسک‌های پروژه، ریسک‌های اقتصادی کمترین درجه قابلیت مدیریت و ریسک‌های بهره‌برداری و نگهداری بیشترین درجه را دارد. Sadiq و همکاران (۲۰۱۹) با مرور مطالعات مدیریت ریسک سیل جامعه در ایالات متحده نتیجه گرفتند که تعداد مطالعات مربوط به مدیریت ریسک سیل در جامعه رو به افزایش است. اکثر مطالعات از متغیرهای وابسته به آنها برای کاهش سیلاب و تأثیر سیلاب استفاده می‌کنند. Atanga (۲۰۲۰) با بررسی نقش رهبران جامعه محلی در ایجاد استراتژی مدیریت ریسک در برابر سیلاب در آکرا نشان داد که رهبران فقط در مرحله اجرای استراتژی‌های مدیریت ریسک سیل شرکت می‌کنند. لذا یک استراتژی موثر مدیریت ریسک سیل و اجرای آن نیاز به مشارکت فعال و بازی نقش رهبران جامعه مستعد سیل دارد. Suresh و همکاران (۲۰۲۳) با کمی‌سازی کارایی توسعه‌های کم اثر برای کاهش سیل در حوضه‌های آبخیز خرد شهری در شمال شرقی هند نشان دادند که در بین چهار اقدامات توسعه کم اثر (LID) در نظر گرفته شده (بام سبز، روسازی‌های نفوذپذیر، ترانشه‌های نفوذی و بشکه‌های باران)، بام سبز بیشترین درصد کاهش در خصوصیات رواناب را نشان داد. بررسی مطالعات انجام شده نشان می‌دهد اکثر مطالعات به بررسی بخشی از عوامل تاثیر گذار در مدیریت سیل پرداخته‌اند؛ در حالی که مدیریت ریسک امری چند وجهی، مشتکل از عوامل هواشناسی، فیزیوگرافی و حوضه آبریز، مسایل سازه‌ای و عوامل اجتماعی می‌باشد که پژوهش پیش رو به دنبال شناسایی و بررسی عوامل در قالب روش تصمیم‌گیری سیستماتیک می‌باشد. با توجه به اینکه تاکنون پژوهشی مشابه در خصوص مدیریت ریسک سیلاب شهری با استفاده از مدل‌های AHP و TOPSIS انجام نشده است، از این جهت نیز نوآوری پژوهش مشهود است.

## مواد و روش‌ها

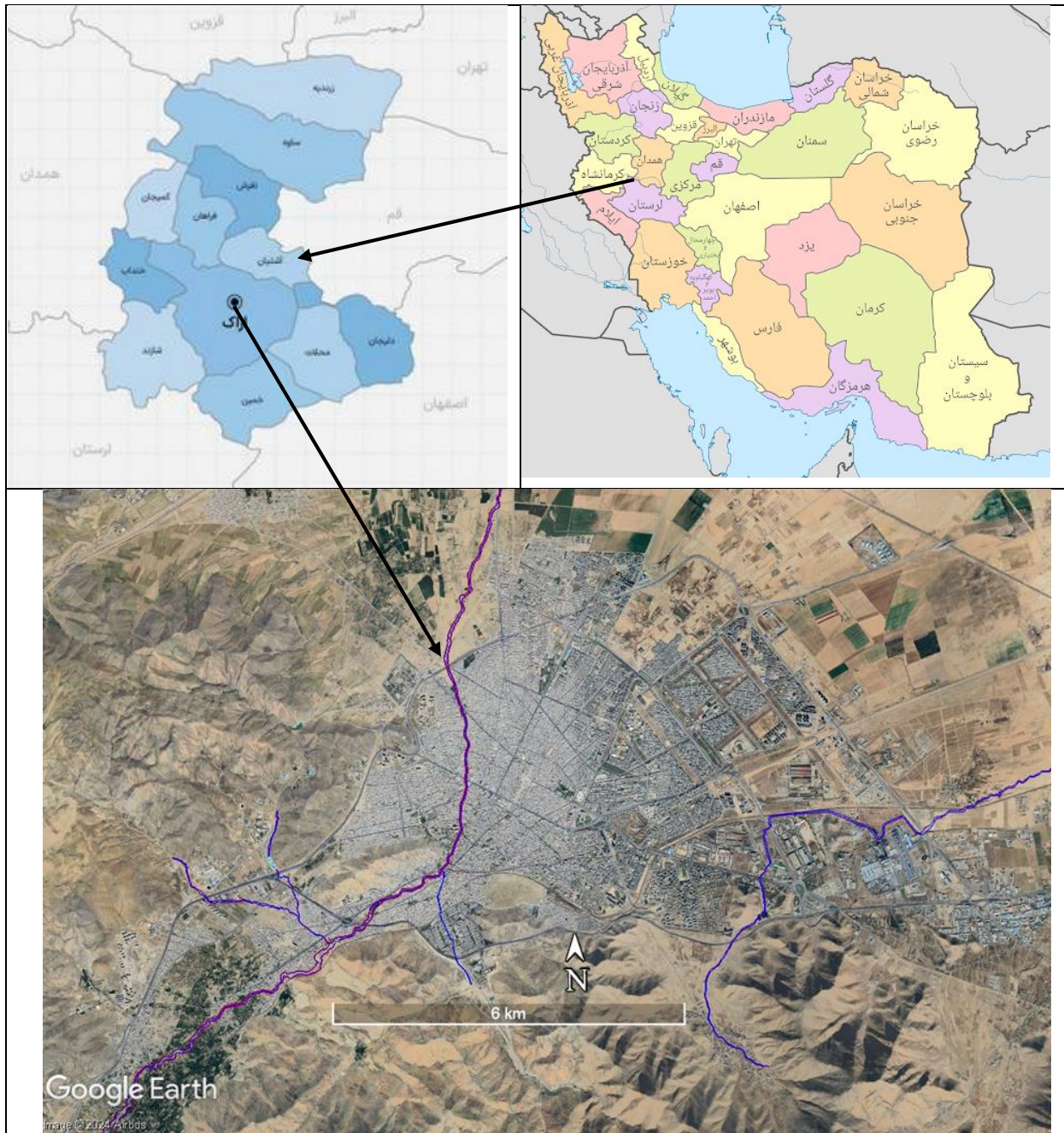
### معرفی منطقه مطالعاتی

شهر اراک مرکز استان مرکزی بر روی نصف النهار ۱۶° تا ۱۹° و ۵۰° و بر روی مدار ۳۲° تا ۳۳° قرار گرفته است (شکل ۱). این شهر حدود ۴۱۳۰ کیلومتر مربع مساحت دارد. اراک دارای ۵ منطقه شهرداری است و در سال ۱۳۹۵ دارای ۵۲۰۹۹۴ نفر جمعیت بوده است. شهر اراک از نظر ژئومورفولوژی و زمین شناسی در دره‌ای واقع شده که سه طرف آن را کوه احاطه کرده است و یک طرف دیگر نیز به کویر میقان منتهی می‌شود (Esmaeil poor et al., 2020). شهر اراک پس از تحولات دهه ۴۰ و انتخاب آن به عنوان یکی از قطب‌های صنعتی کشور، رشد و گسترش وسیعی یافت. به طوری که در فاصله سال‌های ۷۵-۱۳۴۵ جمعیت آن ۵/۳ برابر شد. این شهر به عنوان مرکز استان مرکزی به واسطه عواملی از قبیل مهاجرت‌های روستا- شهری و یا هجوم جمعیت از دیگر شهرها از قاعده افزایش جمعیت مستثنی نبوده است. وجود چندین صنایع سنگین، نیمه

<sup>1</sup>. Low Impact Development



سنگین و سبک در پیرامون این شهر، جاذبه آن را در جهت جمعیت‌پذیری چندین برابر نموده است (Abedini et al., 2015). بنابراین لزوم توجه به حفاظت از زیست بوم پایدار این شهر از جمله مدیریت ریسک سیلاب ضرورتی انکارناپذیر است.



شکل ۱. موقعیت محدوده مطالعاتی شهر اراک

### روش تحقیق

مطابق با مدل مفهومی پژوهش در شکل ۲، ابتدا با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی سوابق موضوع در داخل و خارج کشور و همچنین نظرات ۳۳ نفر از کارشناسان اجرایی و دانشگاهی بخش آب از کلانشهر اراک، ریسک‌های مرتبط با منشأ سیلاب شناسایی شدند. ریسک‌های مرتبط با منشأ سیلاب شامل سه معیار و هفت زیرمعیار هستند که شامل توپوگرافی (شیب و ارتفاع)، تراکم (ساختمان، جمعیت و معابر) و هیدرولوژی (فاصله از شبکه رودخانه یا آبراهه و شماره منحنی) می‌باشد. همچنین مجموعه‌ای از راهکارهای مدیریت ریسک سیلاب شهری بر اساس استراتژی‌های اجتناب، کاهش، پذیرش و انتقال تعیین شدند که عبارتند از:

- ۱- افزایش قطر لوله فاضلاب برای کاهش سیلاب ناشی از اضافه بار فاضلاب (اجتناب/کاهش)
- ۲- افزایش فرکانس تمیز کردن مسیر فاضلاب (اجتناب/کاهش)
- ۳- آبخیزداری شهری (اجتناب/کاهش)
- ۴- ساماندهی دیواره و بستر رودخانه (اجتناب/کاهش)
- ۵- لایروبی مسیل رودخانه (اجتناب/کاهش)
- ۶- رفع تصرف و آزادسازی مسیر عبور سیلاب در رودخانه (اجتناب/کاهش)
- ۷- بهینه‌سازی ابعاد دهنه پل‌ها (اجتناب/کاهش)
- ۸- نصب تجهیزات سامانه هشدار سیل (پذیرش)
- ۹- بکارگیری سیستم‌های استحصال رواناب (اجتناب/کاهش)
- ۱۰- منطقه‌بندی پتانسیل سیل خیزی سطح شهر (انتقال)
- ۱۱- آگاه‌سازی و افزایش دانش عمومی شهروندان (پذیرش)
- ۱۲- بکارگیری دانش و تجربیات (انتقال)
- ۱۳- بیمه سیل (پذیرش)

پس از شناسایی ریسک‌های مختلف، وزن‌دهی ریسک‌ها بر مدیریت سیلاب شهری بر اساس مدل AHP طبق نظر کارشناسان خبره از جامعه آماری انجام شد. در این مرحله پس از تکمیل پرسشنامه‌های مقایسه زوجی جداول ۱ تا ۳ توسط ۳۳ نفر از کارشناسان خبره، بانک داده‌ها تکمیل گردید و از نرم‌افزار Expert Choice برای اجرای مدل استفاده شد. سپس، با استفاده از تکنیک GIS، لایه‌های ریسک‌ها برای سه معیار توپوگرافی، تراکم و هیدرولوژی تهیه شد. مرجع تهیه لایه‌ها در این بخش، شرکت سهامی آب منطقه‌ای مرکزی، استانداری مرکزی و اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری بود. با اعمال وزن‌های مدل AHP به لایه‌ها، نقشه ریسک‌های مرتبط با منشأ سیلاب شهر اراک تهیه شد.

جدول ۱. پرسشنامه مقایسه زوجی زیرمعیارهای توپوگرافی

ردیف	معیار الف	معیار ب	اهمیت یکسان	معیار مهمتر	کمی مهمتر	مهمتر	خیلی مهمتر	برتری کامل
۱	شیب	ارتفاع	۱	الف	ب	۳	۷	۹

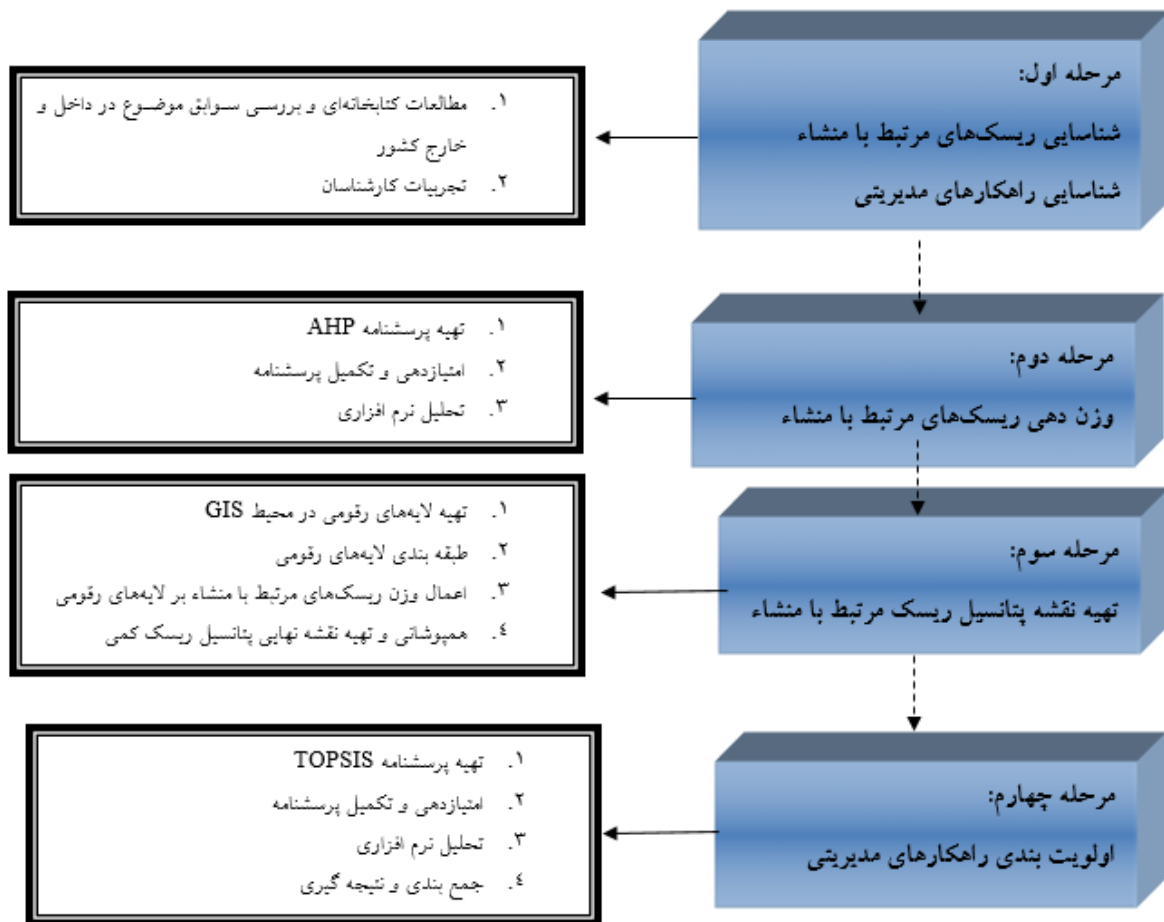
جدول ۲. پرسشنامه مقایسه زوجی زیرمعیارهای تراکم

ردیف	معیار الف	معیار ب	اهمیت یکسان	معیار مهمتر	کمی مهمتر	مهمتر	خیلی مهمتر	برتری کامل
۱	ساختمان	جمعیت	۱	الف	ب	۳	۷	۹
۲	ساختمان	معاير	۱	الف	ب	۳	۷	۹
۳	جمعیت	معاير	۱	الف	ب	۳	۷	۹

جدول ۳. پرسشنامه مقایسه زوجی زیرمعیارهای هیدرولوژی

ردیف	معیار الف	معیار ب	اهمیت یکسان	معیار مهمتر	کمی مهمتر	مهمتر	خیلی مهمتر	برتری کامل
۱	فاصله از شبکه رودخانه و آبراهه	شماره منحنی	۱	الف	ب	۳	۷	۹

در مرحله بعد، ۱۳ استراتژی اجتناب، کاهش، پذیرش و انتقال در مدیریت سیلاب شهر اراک بر اساس پرسشنامه مدل TOPSIS تنظیم شدند. سپس پرسشنامه جدول ۴ در بین جامعه آماری توزیع گردید تا اهمیت هر یک از استراتژی‌ها نسبت به ریسک‌های مختلف مشخص شوند. در نهایت بر اساس نظرات جمع‌آوری شده، بانک داده‌ها تهیه شد و مدل‌سازی TOPSIS به اجرا درآمد. در واقع خروجی مدل TOPSIS منجر به اولویت‌بندی راهکارها خواهد شد تا مشخص شود کدام استراتژی (اجتناب، کاهش، پذیرش و انتقال) مناسب مدیریت سیلاب شهری اراک است.



شکل ۲. شمای مفهومی پژوهش حاضر

جدول ۴. پرسشنامه ارزشگذاری راهکاری مدیریتی ریسک سیلاب شهری بر اساس مدل TOPSIS

راهکار	معیار		
	توپوگرافی	تراکم	هیدرولوژی
بزرگ کردن لوله فاضلاب	۱ تا ۱۰	۱ تا ۱۰	۱ تا ۱۰
افزایش فرکانس تمیز کردن مسیر فاضلاب	۱ تا ۱۰	۱ تا ۱۰	۱ تا ۱۰
آبخیزداری شهری	۱ تا ۱۰	۱ تا ۱۰	۱ تا ۱۰
ساماندهی دیواره و بستر رودخانه	۱ تا ۱۰	۱ تا ۱۰	۱ تا ۱۰
لایروبی مسیل رودخانه	۱ تا ۱۰	۱ تا ۱۰	۱ تا ۱۰
رفع تصرف و آزادسازی	۱ تا ۱۰	۱ تا ۱۰	۱ تا ۱۰
بهینه‌سازی ابعاد دهنه پل ها	۱ تا ۱۰	۱ تا ۱۰	۱ تا ۱۰
نصب تجهیزات سامانه هشدار سیل	۱ تا ۱۰	۱ تا ۱۰	۱ تا ۱۰
سیستم‌های استحصال رواناب	۱ تا ۱۰	۱ تا ۱۰	۱ تا ۱۰
منطقه‌بندی پتانسیل سیل خیزی سطح شهر	۱ تا ۱۰	۱ تا ۱۰	۱ تا ۱۰
آگاه‌سازی و افزایش دانش عمومی	۱ تا ۱۰	۱ تا ۱۰	۱ تا ۱۰
بکارگیری دانش و تجربیات	۱ تا ۱۰	۱ تا ۱۰	۱ تا ۱۰
بیمه سیل	۱ تا ۱۰	۱ تا ۱۰	۱ تا ۱۰
نوع معیار	منفی	مثبت	مثبت
وزن معیار	؟	؟	؟



## نتایج

در مورد زیرمعیارهای توپوگرافی، تراکم و هیدرولوژی، با ورود امتیاز خبرگان و بر اساس مقایسه زوجی، مجموعه ای از عوامل وزنی بدست آمد که نتایج در جدول ۵ آمده است. نتایج نشان داد در معیار توپوگرافی عامل شیب با وزن ۰/۶۵، در معیار تراکم عامل جمعیت با وزن ۰/۴۵۲ و در معیار هیدرولوژی عامل فاصله از شبکه رودخانه و آبراهه با وزن ۰/۷۰ اثر بیشتری نسبت به زیرمعیارها دارند. همچنین در بین سه ریسک مرتبط با منشأ، معیار تراکم (ساختمان، جمعیت و معابر) با وزن ۰/۴۵۱ وزن بیشتری نسبت به معیارهای هیدرولوژی و توپوگرافی داشت. محاسبه نرخ ناسازگاری در همه مدل‌ها نیز نشان داد بنابراین مقایسات سازگار هستند و می‌توان رتبه‌بندی را به روش AHP تأیید کرد. در پژوهش Rasi Nezami و همکاران (2020) نیز مشاهده شد استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری می‌تواند در تشکیل مدل‌های مفهومی با رویکردی جدید عمل نماید.

پس از اینکه هفت زیرمعیار و چهار معیار اصلی ریسک مرتبط با منشأ سیلاب شهری اراک وزن‌دهی شدند، اقدام به تهیه لایه‌های مکانی زیرمعیارها (شیب، ارتفاع، ساختمان، جمعیت، معابر، فاصله از شبکه رودخانه و آبراهه و شماره منحنی) شد. شکل ۳ نقشه کلاس‌بندی لایه‌های مکانی زیرمعیارها را نشان می‌دهد. بیشتر سطح شهر اراک به خصوص در بخش شمالی و شرقی از شیب کمتر از ۵ درصد و ارتفاع کمتری نسبت به سایر مناطق برخوردار است که در کلاس ریسک خیلی زیاد قرار دارد. بیشتر سطح شهر اراک در بخش‌های میانی بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ نفر در هکتار تراکم جمعیت دارد که در کلاس ریسک متوسط قرار دارد. همچنین تراکم ساختمانی در این بخش بالاست که بیانگر ریسک خیلی زیاد است. همچنین در بخش‌هایی از شمال شهر، بیشتر از ۲۵۰ نفر در هکتار تراکم جمعیت دیده می‌شود که بیانگر ریسک خیلی زیاد است. بیشتر سطح شهر اراک از تراکم شبکه معابر و میادین بالا برخوردار است که در کلاس ریسک خیلی زیاد قرار دارد. می‌شود شبکه رودخانه‌ای با کلاس ریسک خیلی زیاد از مرکز شهر عبور می‌کند.

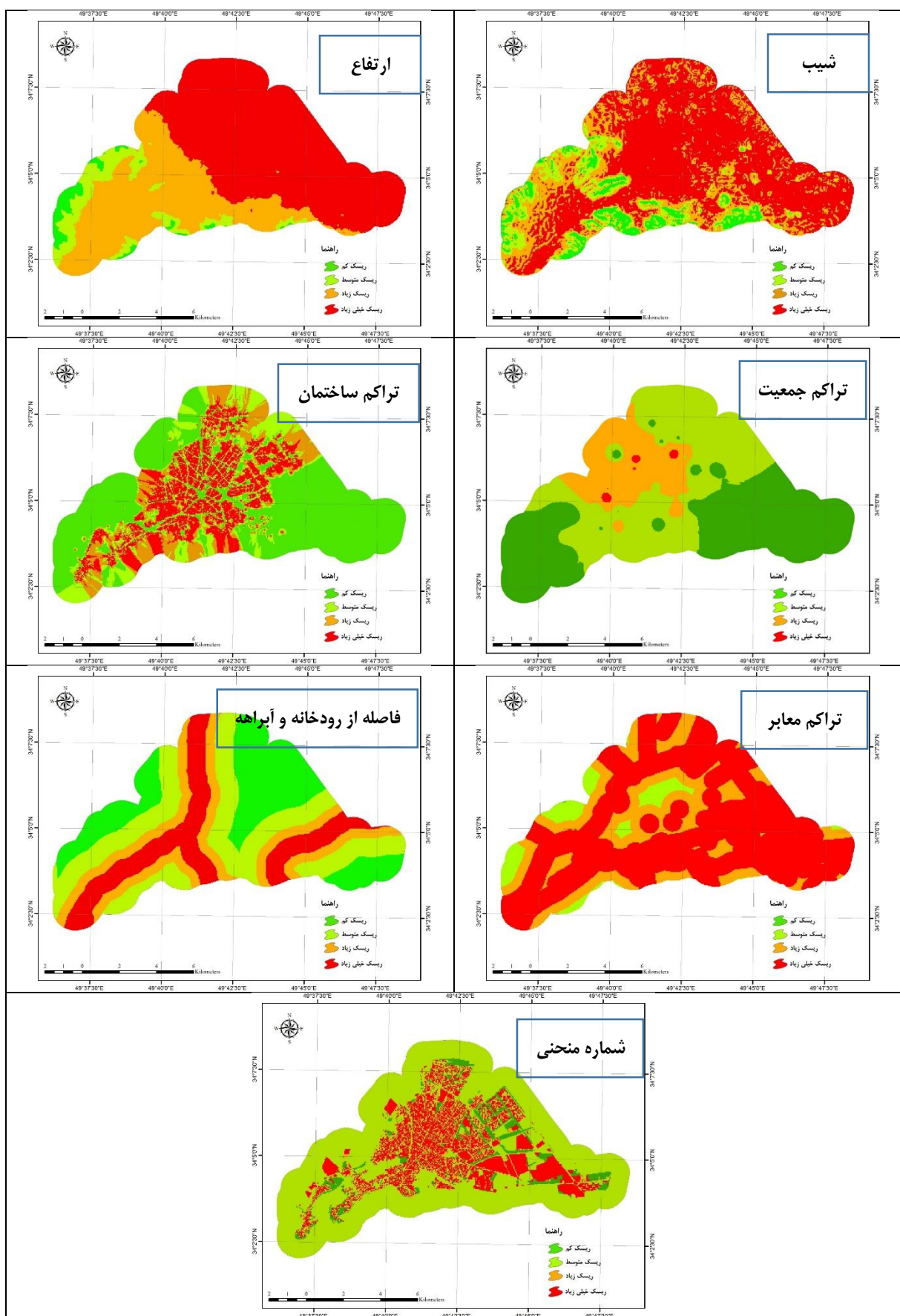
با اعمال وزن‌های معیارها و زیرمعیارها به لایه‌های مذکور و اعمال همپوشانی، در نهایت نقشه پتانسیل ریسک سیلاب شهری اراک حاصل شد. شکل ۴ پراکنش مکانی و جدول ۶ مشخصات و مساحت کلاس‌های ریسک را بیان می‌کنند. نتایج نشان داد، حدود ۷۷۷ هکتار از مساحت شهر که ۶/۶۳ درصد را شامل می‌شود و عمدتاً مرکز شهر و پیرامون رودخانه کرهرود را در بر می‌گیرد، دارای پتانسیل ریسک بالای سیلاب است. در این مناطق که پتانسیل ریسک سیلاب شهر اراک بالاتر است، عمدتاً شیب کمتر، فاصله تا رودخانه و مسیل‌ها کمتر و تراکم جمعیت بالاتر می‌باشد. در پژوهش Faraji Sabokbar و Rezaie Narimisa (2017) نیز مشاهده شد بخش‌های با آسیب‌پذیری بالا در مناطق با تراکم جمعیتی و کالبدی شهری تهران قرار دارند.

جدول ۵. محاسبه وزن زیرمعیارهای توپوگرافی، تراکم و هیدرولوژی به روش AHP

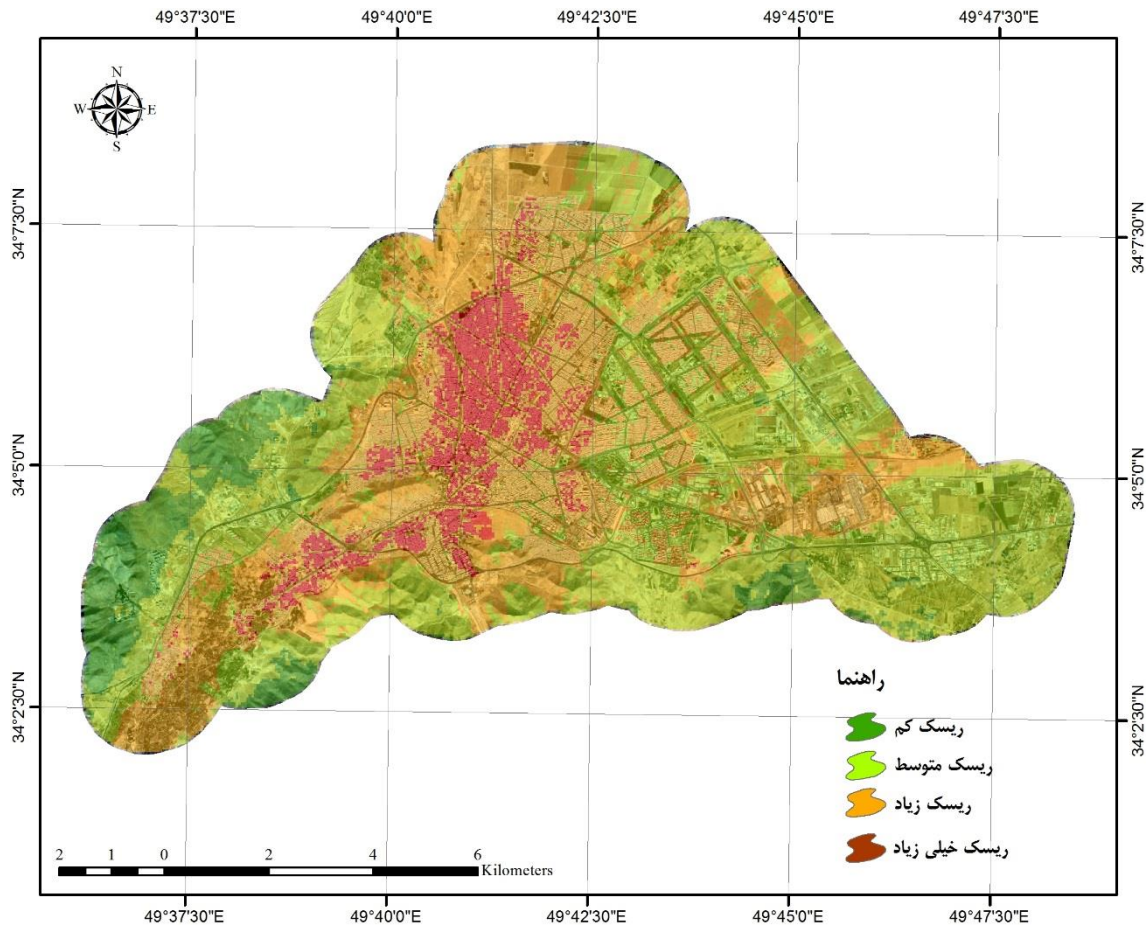
معیار	زیرمعیار	وزن	نرخ ناسازگاری
توپوگرافی	ارتفاع	۰/۳۵	۰/۰۳
	شیب	۰/۶۵	
تراکم	ساختمان	۰/۳۶۵	۰/۰۹
	جمعیت	۰/۴۵۲	
	معابر	۰/۱۸۳	
هیدرولوژی	فاصله از شبکه رودخانه و آبراهه	۰/۷۰	۰/۰۸
	شماره منحنی	۰/۳۰	

جدول ۶. مشخصات کلاس‌بندی ریسک سیلاب شهر اراک

کلاس ریسک	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
خیلی زیاد (۴)	۷۷۷	۶/۶۳
زیاد (۳)	۴۶۹۱/۷۵	۴۰/۰۴
متوسط (۲)	۵۳۳۵/۵۰	۴۵/۵۳
کم (۱)	۹۱۳/۲۵	۷/۷۹



شکل ۳. کلاس‌بندی لایه‌های مکانی زیرمعیارهای موثر در ریسک سیل



شکل ۴. نقشه کلاس بندی ریسک سیلاب شهر اراک

پس از اینکه وزن معیارهای ریسک‌های مختلف با استفاده از مدل AHP مشخص شدند، اجرای مدل TOPSIS به منظور اولویت بندی راهکارهای مدیریتی انجام شد. در این بخش نیز با استفاده از داده‌های پرسشنامه مدل TOPSIS، قالب کار طبق جدول ۴ تعیین شد. طبق این جدول که ماتریس تصمیم‌گیری بر اساس مدل TOPSIS را نشان می‌دهد، میانگین هندسی نظرات کارشناسان خبره مشخص شد. نوع معیار به صورت مثبت یا منفی است که رابطه مستقیم هر معیار را با پتانسیل ریسک سیل بیان می‌کند. به طوری که توپوگرافی از نوع منفی است و اثر غیر مستقیم دارد. یعنی با کاهش شیب و ارتفاع، با پتانسیل ریسک سیلاب شهری اراک افزایش می‌یابد؛ اما معیارهای تراکم و هیدرولوژی، از نوع مثبت هستند و با افزایش عدد آنها، پتانسیل ریسک سیلاب شهری اراک افزایش خواهد یافت. بنابراین شاخصی که دارای مطلوبیت مثبت است، شاخص سود و شاخصی که دارای مطلوبیت منفی است، شاخص هزینه می‌باشد. همچنین وزن معیارهای ریسک‌های مختلف که با استفاده از مدل AHP محاسبه شدند نیز بخشی از قالب کار می‌باشد. جدول ۷ راه‌حل بهینه را برای معیارهای مثبت و منفی نشان می‌دهد. دو گزینه مجازی ایجاد شده در واقع بدترین و بهترین راه‌حل هستند. مشاهده می‌شود که معیار هیدرولوژی با امتیاز ۰/۰۷۱۶ بهترین راه‌حل و معیار توپوگرافی با امتیاز ۰/۰۴۴۲ به عنوان بدترین راه‌حل می‌باشد که در مدیریت ریسک‌های مرتبط با منشاء سیلاب شهری اراک نقش دارند.

جدول ۷. راه‌حل بهینه برای معیارهای مثبت و منفی در مدل TOPSIS

راه‌حل بهینه	توپوگرافی	تراکم	هیدرولوژی
+	۰/۰۹۷	۰/۰۵۷۳	۰/۰۷۱۶
-	۰/۰۴۴۲	۰/۰۱۷۹	۰/۰۲۵۱

جدول ۸ ضریب نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی و همچنین رتبه‌بندی گزینه‌ها را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که ساماندهی دیواره و بستر رودخانه با ضریب نزدیکی ۰/۸۸۷۲ به عنوان گزینه برتر شناخته شده است و پس از آن رفع تصرف و آزادسازی با ضریب نزدیکی ۰/۷۹۴۵ قرار دارد. در اولویت‌های بعدی نیز، لایروبی مسیل رودخانه، بهینه‌سازی ابعاد دهنه پل‌ها، آگاه‌سازی و افزایش دانش عمومی قرار دارند. مطابق با پژوهش Gholami و همکاران (2019) ریسک‌های بهره‌برداری و نگهداری بیشترین درجه مدیریت سیل را دارند که اقداماتی نظیر ساماندهی دیواره و بستر رودخانه، رفع تصرف و آزادسازی و لایروبی مسیل رودخانه جزء اقدامات نگهدارنده می‌شوند.

جدول ۸. محاسبه نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی همچنین رتبه‌بندی گزینه‌ها

نتیجه	ضریب نزدیکی
ساماندهی دیواره و بستر رودخانه	۰/۸۸۷۲
رفع تصرف و آزادسازی	۰/۷۹۴۵
لایروبی مسیل رودخانه	۰/۶۶۸
بهینه‌سازی ابعاد دهنه پل‌ها	۰/۶۵۴۱
آگاه‌سازی و افزایش دانش عمومی	۰/۵۸۲۳
آبخیزداری شهری	۰/۵۷۵۶
سیستم‌های استحصال رواناب	۰/۵۲۱۷
نصب تجهیزات سامانه هشدار سیل	۰/۵۲۱۷
بزرگ کردن لوله فاضلاب	۰/۵۲۰۷
بیمه سیل	۰/۵۲۰۳
افزایش فرکانس تمیز کردن مسیر فاضلاب	۰/۴۶۶۷
بکارگیری دانش و تجربیات	۰/۴۲۳۹
منطقه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی سطح شهر	۰/۳۵۶۴

## بحث

در یک جمع‌بندی کلی از نتایج و مباحث صورت گرفته از این پژوهش باید بیان کرد که مدیریت ریسک سیلاب شهری اراک، نیازمند مشارکت همه بخش‌های جامعه است. در حوضه‌های آبخیز بالادست و اراضی شیب‌دار مشرف به شهر، اقدامات آبخیزداری و مدیریت کاربری زمین ضروری است. نکته مهم اینکه، تغییر در کاربری اراضی شهری باعث افزایش حجم رواناب و در نتیجه افزایش تولید سیل می‌شود. بنابراین با توجه به اینکه کلانشهر اراک به دلیل ظرفیت‌های بالا به خصوص در بخش صنعت و سرمایه‌گذاری، مهاجرپذیر است و کاربری‌های کشاورزی آن بیشتر از سایر کاربری‌ها پتانسیل تبدیل شدن به محدوده شهری را دارند، موضوع افزایش پتانسیل سیل‌خیزی نیز قابل توجه خواهد بود. در این خصوص بکارگیری اقدامات LID می‌تواند موثر باشد.

طبق نتایج، هرچند گزینه بکارگیری سیستم‌های استحصال آب باران و آبخیزداری شهری در اولویت‌های میانی قرار گرفت، اما با توجه به اینکه کلانشهر اراک از نظر اقلیم و به خصوص بارش در منطقه‌ای شکننده قرار دارد، بکارگیری سیستم‌های استحصال آب باران در منطقه شهری می‌تواند علاوه بر تأمین بخشی از آب مصرفی شهر به خصوص برای مصارف غیرشرب، در مدیریت منابع آب نیز موثر باشد. در مناطق درون شهر مخصوصاً با تراکم بالای جمعیت و ساختمان‌های فرسوده در امتداد رودخانه کرهرود، لزوم ساماندهی با ابعاد مناسب رودخانه، لایروبی و آزادسازی مسیر جریان ضروری به نظر می‌رسد. علاوه بر این، اقدامات کنترلی درون شهری شامل آبخیزداری شهری و برنامه‌های LID با هدف مدیریت رواناب شهری و تأمین منبع مکمل آب غیر شرب، همراه با مقاوم‌سازی بافت‌های فرسوده، با مشارکت همه بخش‌های جامعه شهری (شهروندان و مسئولین) یک ضرورت است.

## منابع

- اسمعیل پور، فاطمه، سرائی، محمدحسین، اسمعیل پور، نجما (۱۳۹۹). تحلیل کمی الگوی رشد کالبدی- فضایی شهر اراک. *جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای*، ۱۰ (۳۵)، ۶۵-۸۴.
- بارانی، غلامعباس، خادم حمزه، ملیحه (۱۳۹۶). بهینه‌سازی سیستم‌های انحراف سیلاب با استفاده از روش ریسک-هزینه. *سومین کنفرانس ملی بهینه‌سازی در علوم و مهندسی*، ۱۱ ص.
- بازاری، ساره، حق شناس، الهام، نصیریان، علی (۱۳۹۵). روش‌های سازه ای و غیرسازه ای کنترل سیلاب شهری. *چهارمین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری*، تهران، ۱۰ ص.
- تجری، حمیدرضا، حسنی، امین، دهقان، حسین، لشکرلوکی، محسن (۱۳۹۶). راهکارهای غیرسازه‌ای مدیریت ریسک سیلاب در استان گلستان. *پنجمین کنفرانس جامع مدیریت و مهندسی سیلاب*، ۱۶ ص.
- رائی نظامی، سید سعید، دلیر، علی، شرقی، الناز (۱۳۹۹). مکانیابی نقاط برداشت مناسب آب زیرزمینی با استفاده از تلفیق DEMATEL، GIS و فرآیند تحلیل شبکه ANP (مطالعه موردی: حوضه آبریز دشت اردبیل). *تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۶ (۱)، ۴۴۷-۴۵۲.
- عابدینی، موسی، میرزاخانی، بهاره، عسکری، آتنا (۱۳۹۴). پهنه بندی ژئومورفولوژیکی تناسب زمین در شهرستان اراک با استفاده از مدل منطق فازی (با رویکرد توسعه آبی شهر اراک). *فصلنامه علمی برنامه ریزی منطقه ای*، ۵ (۱۸)، ۵۹-۷۲.
- غلامی چنارستان علیا، محمد، پاکنژادی، عبدالحسین، خلقی فرد، مهرداد (۱۳۹۸). مدیریت ریسک و مهندسی ارزش در پروژه مهار سیلاب رودخانه بشار یاسوج. *سومین کنفرانس بین المللی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی سازه و مدیریت ساخت*، ۱۲ ص.
- فرجی سبکبار، حسنعلی، رضایی نریمسیا، محمد (۱۳۹۵). تبیین و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری منطقه شش شهر تهران در هنگام و پس از وقوع سیل. *نشریه مدیریت شهری*، ۹ (۲۹)، ۳۵۱-۳۶۸.
- فلاحی زرنندی، اصغر، طاهریون، مسعود (۱۳۹۲). بررسی کاربرد بهینه راهکارهای مدیریتی در بهبود کمیت و کیفیت رواناب شهری. *کنفرانس ملی مدیریت سیلاب*. تهران. ایران. ۱۲ ص.
- نشریه شماره ۶۵۹ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی (۱۳۸۷). *مدیریت ریسک در پروژه ها. انتشارات معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور*. ۳۱۶ ص.
- وروانی، جواد، وروانی، هادی، مردیان، مهدی (۱۳۹۱). کاربرد سیستم‌های استحصال رواناب سیلابی در آبخیز شهری اراک. *مجله علمی پژوهشی آب و فاضلاب*، ۳، ۸۵-۹۴.

## References

- Abedini, A., Mirzakhani, B. & Asgari, A. (2015). Geomorphological zoning of Arak City by using fuzzy logic model (the approach to the future development of Arak). *Journal of Regional Planning*, 5(18), 59-72. (in Persian)
- Atanga, R. A. (2020). The role of local community leaders in flood disaster risk management strategy making in Accra. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 43:101358. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101358>
- Barani, GH.A. & Khadem Hamzeh, M. (2017). Optimization of flood diversion systems using risk-cost method. *The third national conference on optimization in science and engineering*, 11 p. (in Persian)
- Bazari, S., Haghshenas, A. & Nasirian, A. (2016). Structural and non-structural methods of urban flood control. *The fourth national conference on applied research in civil engineering, architecture and urban management*, 12 p. (in Persian)

- Esmail poor, F., Saraei, M. H. & Esmail poor, N. (2020). Quantitative Analysis of the Physical-Spatial Growth Pattern of Arak. *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 10(35), 65-84. (In Persian) <https://doi.org/10.22111/gaij.2020.5453>
- Falahi Zarandi, A. & Taherion, M. (2013). Investigating the optimal application of management solutions in improving the quantity and quality of urban runoff. *National Flood Management Conference*. Tehran. Iran, 12 p. (in Persian)
- Faraji Sabokbar, H. A. & Rezaie Narimisa, M. (2017). The role of communications in the district 6 of Tehran and vulnerability mapping vulnerability in the face of natural disasters. *Urban Management Studies*, 9(29), 39-54. (in Persian)
- Gholami Chenarestan Olia, M., Paknejadi, A., & Kholghi Fard, M. (2019). Risk management and value engineering in Yasouj Bashar river flood control project. *The third international conference on applied research in structural engineering and construction management*, 12 p. (in Persian)
- Pathan, A. I., Girish Agnihotri, P., Said, S. & Patel, D. (2022). AHP and TOPSIS based flood risk assessment-a case study of the Navsari City, Gujarat, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(7), p509. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10111-x>
- Publication No. 659 of Vice President of Strategic Planning and Monitoring. (2008). Risk Management in Projects. *Publications of the President's strategic planning and supervision assistant*. 316 p. (in Persian)
- Rahman, M., Ningsheng, C., Mahmud, G.I., Islam, M.M., Pourghasemi, H.R., Ahmad, H., Habumugisha, J.M., Washakh, R.M.A., Alam, M., Liu, E. & Han, Z. (2021). Flooding and its relationship with land cover change, population growth, and road density. *Geoscience Frontiers*, 12(6), p.101224. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101224>
- Rasi Nezami, S. S., Dalir, A., & Sharghi, E. (2020). Groundwater Extraction locating by GIS, DEMATEL and Analytical Network Process (ANP) (Case study: Ardabil Plain Basin). *Iran-Water Resources Research*, 16(1), 452-447. (in Persian)
- Sadiq AA., Tyler J. & Noonan, D.S. (2019). A review of community flood risk management studies in the United States. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 9:101327. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101327>
- Salata, S., Ronchi, S., Giaimo, C., Arcidiacono, A. & Pantaloni, G.G. (2021). Performance-based planning to reduce flooding vulnerability insights from the case of Turin (North-West Italy). *Sustainability*, 13(10), p.5697. <https://doi.org/10.3390/su13105697>
- Suresh, A., Pekkat, S. & Subbiah, S. (2023). Quantifying the efficacy of Low Impact Developments (LIDs) for flood reduction in micro-urban watersheds incorporating climate change. *Sustainable Cities and Society*, p.104601. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104601>
- Tajari, H.R., Hasani, A., Dehghan, H. & Lashkarboluki, M. (2016). Non-structural flood risk management solutions in Golestan province. *The fifth comprehensive conference on flood management and engineering*, 16 p. (in Persian)
- Varvani, J., Varvani, H. & Mardian, M. (2012). Investigation of application of storm runoff harvesting system in Arak urbanized watershed. *Journal of Water and Wastewater*, 23(3), 85-94. (in Persian)