

ارزیابی آسیب‌پذیری شهری در برابر خطر سیلاب با استفاده از روش بهترین-بدترین مبتنی بر GIS

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۱

سید محمد حسینی: عضو هیئت علمی دانشگاه تهران، دانشکده‌گان فارابی، دانشکده مدیریت و حسابداری، تهران، ایران.

علی قنبری‌نسب*: استادیار مجتمع دانشگاهی پدافند غیرعامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران.

امید عسگری: کارشناسی ارشد رشته سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشگاه تهران، تهران، ایران.

ابراهیم هاشمی فسایی: کارشناسی ارشد رشته پدافند غیرعامل گرایش طراحی، مجتمع دانشگاهی پدافند غیرعامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران.

چکیده

با ادامه روند رشد جمعیت شهری و افزایش تغییرات آب‌وهوایی پیش‌بینی می‌شود در سال‌های آتی افراد بیشتری در برابر حوادث ناشی از تغییر اقلیم از جمله سیل قرار بگیرند. سیل از مصیبت‌آمیزترین مخاطرات طبیعی است که می‌تواند به زیرساخت و اکوسیستم طبیعی آسیب برساند و زندگی میلیون‌ها نفر در سراسر جهان را تحت تأثیر قرار دهد. در این پژوهش برای ارزیابی آسیب‌پذیری منطقه یک شیراز در برابر خطر سیل روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به کار گرفته شده است. معیارهای مورد استفاده در این تحقیق شامل کاربری اراضی، تراکم جمعیت، بافت فرسوده، شیب، شبکه آبراهه و فاصله از پل است. همچنین برای ترکیب نقشه‌های معیار و تولید وزن اولیه آن‌ها روش بهترین-بدترین (WLC) تعیین شده است. بر اساس اطلاع نگارندگان تاکنون هیچ مطالعه‌ای به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری شهری در برابر خطر سیلاب از روش WLC استفاده نکرده است. در نهایت به کمک ضرب وزن نسبی هر یک معیارها در مقادیر آن‌ها مقدار نهایی هر گزینه محاسبه شد. بنابراین گزینه‌هایی که بیشترین مقدار را داشته باشند، به‌عنوان مکان‌هایی با آسیب‌پذیری کمتر در برابر خطر سیل در نظر گرفته می‌شوند. وزن‌دهی و رتبه‌بندی معیارها نشان می‌دهد که عامل تراکم جمعیت و شبکه آبراهه با ۰.۴۵۳ و ۰.۰۴۱ به ترتیب بیشترین و کمترین وزن معیار را در تهیه نقشه آسیب‌پذیری دارند. نتایج روش بهترین-بدترین با نرخ سازگاری ۰.۰۷، نشان می‌دهد مقایسه‌های معیارها از سازگاری و ثبات بیشتری برخوردار است. به‌طور کلی، نتایج نشان می‌دهد در قسمت‌های شمالی و شمال شرقی محدوده مورد مطالعه به دلیل تراکم بالای جمعیت و تراکم بافت مسکونی سطوح نفوذپذیری خاک کم شده و حجم روان‌آب افزایش یافته است. بنابراین در این محدوده‌ها پتانسیل آسیب‌پذیری در برابر خطر سیلاب نسبت به سایر نواحی بیشتر است.

کلمات کلیدی: ارزیابی آسیب‌پذیری شهری، روش بهترین-بدترین، سیستم اطلاعات جغرافیایی، منطقه یک شیراز.

Assessment of urban vulnerability to flood risk by using GIS-based best-worst method

Seyed Mohammad Hosseini¹, Ali Ghanbari Nasabb^{2*}, Omid asgari³, Ebrahim Hashemi fasaei⁴

Abstract:

As urban population growth continues and climate change increases, it is predicted that more people will be exposed to climate change events, including floods, in the coming years. Floods are one of the most catastrophic natural disasters that can damage natural infrastructure and ecosystems and affect the lives of millions of people around the world. In this study, to assess the vulnerability of districts 1 in Shiraz to flood risk, a multi-criteria decision-making method based on Geographic Information System (GIS) was used. The criteria used in this study include land use, population density, worn-out texture, slope, waterway network and distance from the bridge. Also, the best-worst (WLC) method has been determined to combine the standard maps and produce their initial weight. According to the author, so far no study has used the WLC method to assess urban vulnerability to flood risk. The weight obtained for the criteria shows that the population density factor and the waterway network with 0.453 and 0.041 have the highest and lowest standard weights in preparing a vulnerability map, respectively. The results of the best-worst method with a compatibility rate of 0.07 show that the criteria comparisons are more compatible and stable. In general, the results show that in the northern and northeastern parts of the study area, due to high population density and density of residential tissue, soil permeability levels have decreased and runoff volume has increased. Therefore, in these areas, the potential for flood risk is higher than in other areas.

Key words: Urban Vulnerability Assessment, Best-Worst method, GIS, districts 1 in Shiraz

1 Assistant professor at University of Tehran, College of management and Accounting Tehran, Iran

2 Assistant professor, Department of Passive Defense, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran

3 M.Sc. in Remote Sensing and Geographic Information System, University of Tehran, Tehran, Iran

4 Master of Passive Defense, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran

شماره ۲۲

پاییز و زمستان
۱۴۰۱

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



ارزیابی آسیب‌پذیری شهری در برابر خطر سیلاب
با استفاده از روش.../علی قنبری‌نسب

نظر می‌رسد تا این بحران به‌عنوان یکی از دغدغه‌های مهم در برنامه‌ریزی بافت‌های شهری مورد توجه قرار گیرد [۱۰].

به‌طور کلی، پژوهش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب می‌توانند پیش از وقوع سیلاب‌ها در ارتباط با شناسایی نواحی آسیب‌پذیر اطلاعات مؤثری را برای نهادهای دخیل در مدیریت بحران فراهم آورند. به همین منظور مطالعات متعددی برای ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر خطر سیلاب صورت گرفته شده است. برای مثال دسالگن و مالو در مطالعه‌ای به ارزیابی مناطق آسیب‌پذیر در برابر خطر سیل پرداخته‌اند. در این مطالعه معیارهای شیب زمین، ارتفاع، کاربری اراضی، تراکم زهکشی و نوع خاک با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد بررسی قرار گرفتند [۴].

یاشون و همکاران در مطالعه‌ای با استفاده از سیستم اطاعات جغرافیایی و روش تحلیلی سلسله‌مراتبی به تخمین و تهیه نقشه‌های ریسک و آسیب‌پذیری سیلاب بر در منطقه کنیا پرداخته‌اند. در نهایت میزان حساسیت قسمت‌های مختلف در منطقه مورد مطالعه نقشه‌سازی شده است [۱۱].

ملک‌محمدی و همکاران به‌منظور تحلیل و پهنه‌بندی سطح آسیب‌پذیری مناطق شهری در خطر سیلاب از متغیرهای بافت فرسوده، تراکم جمعیت، کاربری اراضی و فاصله از پل به‌منزله عناصر فیزیکی در معرض خطر و متغیرهای شیب و شبکه آبراهه به‌منزله متغیرهای تشدیدکننده آسیب‌پذیری به‌کار گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد که عامل تراکم جمعیت و تراکم شبکه آبراهه با ۰.۳۸۲۵ و ۰.۴۲۸ به‌ترتیب بیشترین و کمترین وزن‌های معیار را در تهیه نقشه آسیب‌پذیری دارند [۷].

در پژوهشی با رویکردی یکپارچه آسیب‌پذیری، تاب‌آوری و ریسک فضایی شهر ساری در مقیاس بلوک شهری در برابر سیلاب را مورد بررسی قرار داده است. در این مطالعه برای نیل به هدف نخست شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری و تاب‌آوری تعیین و محاسبه شد؛ سپس با استفاده از مدل‌سازی سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره توزیع فضایی آن‌ها به‌دست آمده است. نتایج نشان داد که بلوک‌های شهری در جنوب شهر ساری بیشترین ریسک‌پذیری نسبت به سیلاب را دارند [۱۲].

تغییرات اقلیمی و افزایش شهرنشینی جوامع را با چالش‌های بزرگی در مدیریت برنامه‌ریزی شهری برای آینده پایدار روبه‌رو کرده است [۱]. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که تغییرات آب‌وهوایی موجب افزایش تغییر چرخه هیدرولوژی می‌شود و احتمال وقوع حوادث شدید آب‌وهوایی مانند سیل را افزایش می‌دهد [۲]. همچنین شهرنشینی با افزایش سطوح غیرقابل نفوذ و تغییر مسیر جریان، موجب افزایش سیل شده است [۳]. آسیب‌پذیری ناشی از سیل متغیر و پیچیده است. سیل با افزایش جریان آب به میزانی بیش از ظرفیت کانال رودخانه‌ها اتفاق می‌افتد [۴]. سیل یکی از مصیبت‌آمیزترین مخاطرات طبیعی است که می‌تواند به زیرساخت و اکوسیستم طبیعی آسیب برساند و زندگی میلیون‌ها نفر در سراسر جهان را تحت تأثیر قرار دهد [۵، ۶]. این مخاطره بیش از هر پدیده هیدرواقلیمی دیگر خسارات و تخریب به بار می‌آورد [۷]. با توجه به افزایش جمعیت در مناطق مستعد سیلاب تغییرات آب‌وهوایی و افزایش سطح آب دریاها پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ تعداد افراد آسیب‌پذیر در خطر سیل به ۲ میلیارد نفر خواهد رسید [۸].

با رشد سریع شهرنشینی، ایجاد و توسعه زیرساخت‌ها، سیلاب در نواحی شهری بیشتر و شدیدتر شده است. تغییرات کاربری اراضی، گسترش ساخت‌وسازهای غیراصولی، سیستم فاضلاب قدیمی و توسعه سطوح نفوذپذیری کم یا غیرقابل نفوذ باعث کاهش نفوذ آب حاصل از بارش و افزایش روان‌آب در سطح شهر می‌شوند [۷].

اهمیت سیلاب‌های شهری به‌دلیل آثار زیان‌باری که بر روی بافت شهری، سلامت انسانی و محیط زیست می‌تواند داشته باشد، قابل تحمل و بررسی است [۹]. در کشور ما به‌طور سنتی سیلاب‌های رودخانه‌ای در سیلاب دشت‌ها بسیار مورد توجه قرار گرفته است؛ در حالی که سیل‌گرفتنی در مناطق شهری به‌دلیل بعضی محدودیت‌ها و نبود داده‌های دقیق کمتر توجه شده است. بنابراین بافت‌های شهری یکی از آسیب‌پذیرترین نقاطی است که در هنگام سیلاب در معرض خطر قرار می‌گیرد. بروز سیل در بافت‌های شهری پیامدهای گسترده‌ای در پی دارد که می‌توان به تلفات و ضایعات انسانی، آب‌گرفتگی منازل و اماکن مسکونی و صنعتی، تخریب تأسیسات زیربنایی نظیر جاده‌ها، پل‌ها، خطوط انتقال برق و شبکه‌های آب و گاز و..... اشاره کرد. پس ضروری به

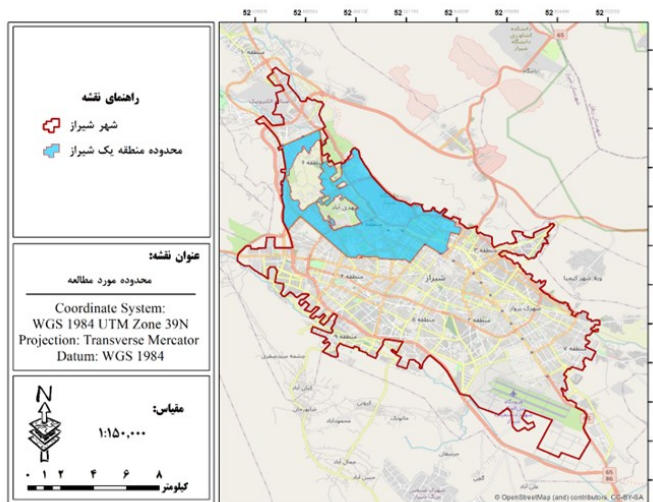
محدوده مورد مطالعه

منطقه یک شیراز از جنوب با منطقه ۴، از شرق با مناطق ۸، ۲، ۳ و از شمال غربی با منطقه ۶ همجوار است. مرزهای منطقه از جنوب به خیابان هنگ و بلوار پاسداران، چهارراه گاز و همت جنوبی از غرب به مرزهای جبل دراک تا فلکه احسان و محور معالی‌آباد، از شرق به خیابان حر، خیابان سعدی، بخشی از خیابان زند و خیابان انقلاب تا باسکول نادر و از شمال به بلوار جمهوری، میدان گاز، بلوار ارم و بلوار شهیدچمران محدود می‌شود. مساحت کنونی منطقه ۴۲۳۵ هکتار است که این مساحت طبق آمار سال ۱۳۹۶ جمعیت ۱۶۱ هزار و ۷۴۱ نفری را در خود جای داده است. از این تعداد ۷۸ و ۱۴۷ نفر مرد و ۸۳ و ۵۹۴ نفر زن است. تعداد خانوار ساکن در منطقه هم ۵۰ و ۳۴۷ نفر است [۱۶].

در مطالعه‌ای به‌منظور آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر سیل از روش فرآیند سلسله مراتبی-فازی برای وزن‌دهی به معیارهای شیب، خاک، فاصله از رود، زمین‌شناسی، ارتفاع، کاربری اراضی و تراکم جمعیت استفاده شده است [۱۳]. رحمانی و یارمحمدی در مطالعه‌ای برای ارزیابی آسیب‌پذیری شهری در برابر خطر سیل، بافت شهر بجنورد از نظر ۹ زیرمعیار در ۳ دسته‌بندی معیارهای کالبدی، جغرافیایی و جمعیتی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. در این مطالعه به‌منظور شناسایی پهنه‌های در معرض آسیب و خطر سیل از روش‌های فرآیند تحلیل شبکه و عملگر جمع جبری منطق فازی استفاده شده است. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که بافت درونی شهر بجنورد در مقایسه با سایر نواحی از آسیب‌پذیری بیشتری در برابر خطر سیل دارد [۱۰].

در مطالعه دیگری بوبا و همکاران با کمک فنون سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی به بررسی میزان آسیب‌پذیری سیلاب پرداخته‌اند [۱۴]. چانگ و همکاران با استفاده از رویکرد اجتماعی-اکولوژیکی به ارزیابی آسیب‌پذیری سیل در محدوده شهری پرداخته‌اند [۸]. در مطالعه دیگری سهانا و سجاد به‌منظور تخمین و تهیه نقشه آسیب‌پذیری در برابر طغیان سیل از فنون سنجش از دور و GIS بهره‌برده‌اند [۱۵].

مدیریت آسیب‌پذیری ناشی از سیل یکی از اصلی‌ترین دغدغه‌های مدیران و برنامه‌ریزان شهری است که با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش‌های تحلیلی می‌توان به مدیریتی جامع دست یافت. علاوه بر این، با توجه به افزایش احتمال سیلاب در مناطق شهری، ارزیابی و مدل‌سازی اثرهای سیلاب در این مناطق ضروری به نظر می‌رسد. برای این منظور این پژوهش با هدف ارزیابی و شناسایی پهنه‌های آسیب‌پذیری منطقه یک شیراز در برابر خطر سیل انجام شده است. برای رسیدن به این هدف در این مطالعه برای تحلیل و پهنه‌بندی سطح آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب روش تلفیقی بهترین-بدترین و ابزارهای تجزیه و تحلیل GIS به کار گرفته شده است. بر اساس اطلاع نگارنده تاکنون هیچ مطالعه‌ای به‌منظور ارزیابی آسیب‌پذیری شهری در برابر خطر سیلاب از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره بهترین-بدترین استفاده نکرده است.



تصویر ۱: محدوده مورد مطالعه

روش بهترین-بدترین یکی از جدیدترین فنون تصمیم‌گیری چندمعیاره است که برای نخستین بار توسط رضایی به منظور تعیین وزن عوامل و معیارهای تصمیم‌گیری از طریق مقایسه زوجی مانند روش‌های AHP و ANP ارائه شده است [۱۷]. در این روش بهترین و بدترین معیار توسط تصمیم‌گیرنده مشخص می‌شود و مقایسات زوجی بین هر یک از این ۲ معیار (بهترین و بدترین) و دیگر معیارها صورت می‌گیرد [۱۸]. پس از تعیین معیارهای بهترین و بدترین ارجحیت بهترین معیار از سایر معیارها و ارجحیت هر معیار از بدترین معیار با اعداد صحیح ۱ تا ۹ مطابق جدول ۱ سنجیده می‌شود [۱۹].

جدول ۱: اعداد متناظر با انواع ترجیحات در مقایسات زوجی

مقدار عددی	ترجیحات
۱	ترجیح یکسان
۳	کمی مرجع
۵	ترجیح قوی
۷	ترجیح خیلی قوی
۹	کاملاً مرجع
۳، ۴، ۶، ۸	ترجیحات بینابین

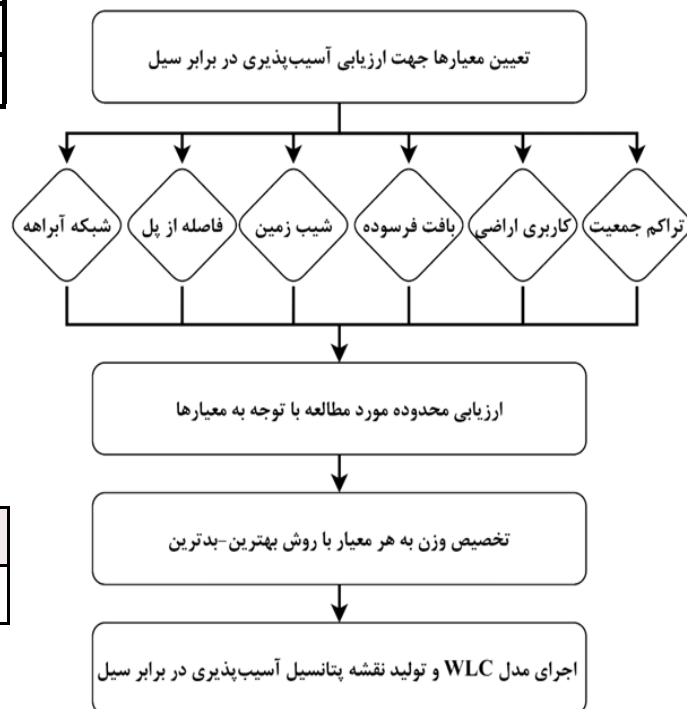
به عنوان مثال، در جدول ۲ معیار C_3 بهترین معیار انتخاب شده و تعیین ارجحیت آن نسبت به دیگر معیارها بر اساس طیف ۱ تا ۹ تعیین شده است.

جدول ۲: ارجحیت بهترین معیار نسبت به سایر معیارها

معیارها	C_1	C_2	C_3
C_3	۸	۲	۱

در این مطالعه برای ارزیابی آسیب‌پذیری منطقه یک شیراز در برابر خطر سیل، روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر GIS به کار گرفته شد. به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از سیل، معیارهای تراکم جمعیت، کاربری اراضی، بافت فرسوده، شیب زمین، شبکه آبراهه و فاصله از پل‌های شهری تعیین شد. تخصیص وزن اولیه به معیارها با استفاده از روش بهترین-بدترین صورت گرفته است.

در واقع، در این پژوهش ابتدا معیارهای مؤثر در آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب تعیین شد، سپس با استفاده از روش بهترین-بدترین و نظرات کارشناسان اقدام به ایجاد روابط بین متغیرها و اولویت‌بندی تأثیر هر متغیر در آسیب‌پذیری صورت گرفت. در نهایت با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار در محیط ArcGIS، نقشه‌های معیار و وزن‌ها ادغام شده و نقشه سطح آسیب‌پذیری محدوده مورد مطالعه در خطر سیلاب تولید شد. تصویر (۲) ساختار کلی پژوهش را نشان می‌دهد.



تصویر ۲: ساختار کلی پژوهش

همچنین در جدول ۳ معیار C_1 به عنوان بدترین معیار در نظر گرفته شده و ارجحیت سایر معیارها نسبت به آن سنجیده می شود.

جدول ۳: ارجحیت سایر معیارها نسبت به بدترین معیار

معیارها	C_1
C_1	۱
C_2	۵
C_3	۸

نرخ سازگاری در بازه صفر تا یک قرار می گیرد و هر چه به صفر نزدیک تر باشد، نشان دهنده آن است که مقایسات از سازگاری و ثبات بیشتری برخوردارند و هر چه به یک نزدیک تر باشد، مقایسات از سازگاری و ثبات کمتری برخوردارند [۲۲].

روش ترکیب خطی وزنی (WLC)

پس از محاسبه وزن معیارها از روش ترکیب خطی وزنی برای تعیین مقادیر گزینه های انتخاب شده استفاده می شود. روش WLC رایج ترین تکنیک تحلیل تصمیم گیری چند معیاره است [۲۳]. این روش بر مبنای مفهوم میانگین وزنی استوار و شامل ۲ جزء است: وزن معیار و مقادیر معیار. تحلیلگر یا تصمیم گیرنده مستقیماً بر مبنای اهمیت نسبی هر یک از معیارهای مورد بررسی وزن هایی به آن ها اختصاص می دهد. سپس از طریق ضرب وزن نسبی هر یک از معیارها در مقادیر آن ها مقدار نهایی هر گزینه محاسبه می شود [۲۴].

در نهایت اوزان بهینه وزن معیارها و مقدار ξ به دست می آیند. وزن بهینه برای معیارها وزنی است که برای هر زوج w_j / w_w و w_j / w_b روابط (۱ و ۲) برقرار باشد که در آن w_j وزن معیار j م است. این مسئله مطابق رابطه ۳ برنامه نویسی می شود [۲۰].

$$\text{رابطه ۱: } w_j / w_w = a_{jw} w_b / w_j = a_{Bj}$$

$$\text{رابطه ۴: } WLC = \sum_{j=1}^n C_j W_j$$

در این رابطه C_{ij} مقادیر معیار و فاکتور w_j وزن اختصاص داده شده به معیار j م است.

$$\min \xi;$$

s.t.

$$\left| \frac{w_b}{w_j} - a_{Bj} \right| \leq \xi;$$

رابطه ۲:

$$\left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jw} \right| \leq \xi;$$

$$\sum_j w_j = 1;$$

$$w_j \geq 0;$$

در رابطه ۲ ξ متغیری است که از آن برای محاسبه نرخ سازگاری استفاده می شود. نرخ سازگاری از طریق معادله زیر به دست می آید [۲۱]:

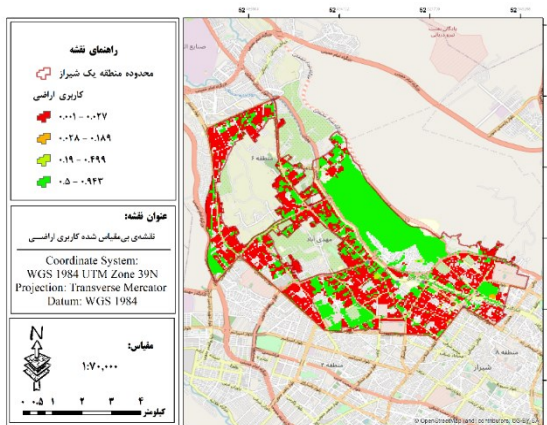
$$\text{رابطه ۳: } \text{شاخص سازگاری} / \xi^* = \text{نرخ سازگاری}$$

نقشه‌های معیار

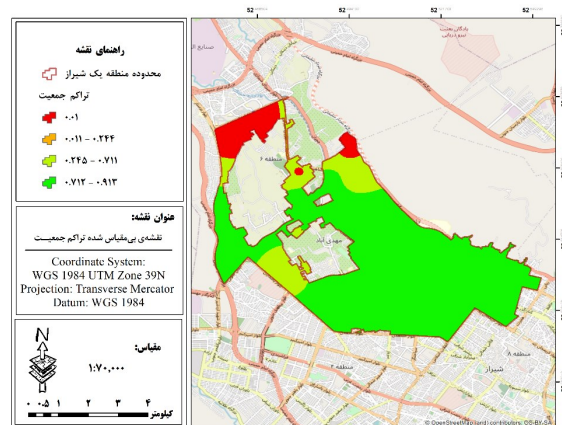
نقشه‌های معیار به‌کاررفته در پژوهش حاضر در تصویر ۳ ارائه شده است. تصویر ۳الف بیانگر نقشه تراکم جمعیتی است که در آن ابتدا با استفاده از فاصله اقلیدسی فاصله از مراکز جمعیتی محاسبه شده و در نهایت به کمک توابع منطق فازی محدوده‌های با تراکم جمعیتی زیاد و کم به ترتیب از طیف رنگی قرمز و تا سبز نمایش داده شده است. در تصویر ۳ب نقشه بی‌مقیاس شده کاربری اراضی نشان داده شده است. برای تهیه این نقشه ابتدا لایه وکتوری کاربری اراضی به رستر تبدیل شده؛ سپس با استفاده از ابزار طبقه‌بندی عوارض موجود در محدوده مورد نظر بر اساس میزان آسیب‌پذیری در برابر خطر سیل به ۷ کلاس دسته‌بندی شده است. به کلاس مربوط به کاربری مسکونی به دلیل اینکه از آسیب‌پذیری جانی و مالی بیشتری در قیاس با سایر کاربری‌ها برخوردار است، ارزش کمتری نسبت داده شده است. پس از آن کاربری‌های تجاری، تأسیسات و تجهیزات شهری، صنعتی، نظامی، فضای سبز و اراضی بایر به ترتیب از ارزش آسیب‌پذیری کمتری در برابر خطر سیل برخوردار هستند. در نهایت بر اساس ارزش عددی نسبت‌داده‌شده به هر کاربری و با استفاده از توابع فازی محدوده‌های با آسیب‌پذیری زیاد تا کم به ترتیب از طیف رنگی قرمز تا سبز مشخص شده است.

نقشه تراکم بافت فرسوده در تصویر ۳ب مشاهده می‌شود. متغیر بافت فرسوده بر اساس شاخص‌های مصوب شورای عالی شهرسازی و معماری باید دارای ۳ شرط ناپایداری، نفوذناپذیری و ریزدانی باشد تا به‌عنوان بافت فرسوده در نظر گرفته شود. با توجه به تصویر ۳ب نواحی مرکزی محدوده مورد مطالعه از بافت فرسوده بیشتری برخوردار هستند. تصویر ۳ت مربوط به نقشه طبقات شیب است که محدوده‌های قرمز رنگ بیانگر آسیب‌پذیر بودن در برابر سیلاب و افزایش آب‌گرفتگی در این مناطق است. جریان سریع روان‌آب در شیب‌های بالا و کاهش سرعت روان‌آب در شیب‌های پایین باعث افزایش احتمال آب‌گرفتگی می‌شود. به طوری که آب از نواحی شیب‌دار به مناطق کم‌شیب سرازیر شده و به بروز سیلاب در این نواحی منجر می‌شود. برای تهیه نقشه طبقات شیب زمین از مدل رقومی ارتفاع (DEM) استفاده شده است. در تصویر ۳ث نقشه فاصله از شبکه آبراهه قابل رؤیت است. ساخت‌وساز بی‌رویه در اطراف رودخانه‌ها و مسیل‌های شهری می‌تواند موجب افزایش خطرات آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب شود. بنابراین هر چه فاصله از مسیل رودخانه‌ها دورتر باشد، احتمال خطر سیل کمتر می‌شود. تصویر ۳ج مربوط به میزان فاصله از پل‌های موجود در محدوده مورد مطالعه است که با رنگ‌های قرمز تا سبز مشخص شده است. در هنگام بارش‌های شدید و جاری شدن سیلاب‌ها و روان‌آب‌های شهری دهانه پل‌ها دچار آب‌گرفتگی شده و آسیب‌پذیری ناشی از سیل را تشدید می‌کند.

ب

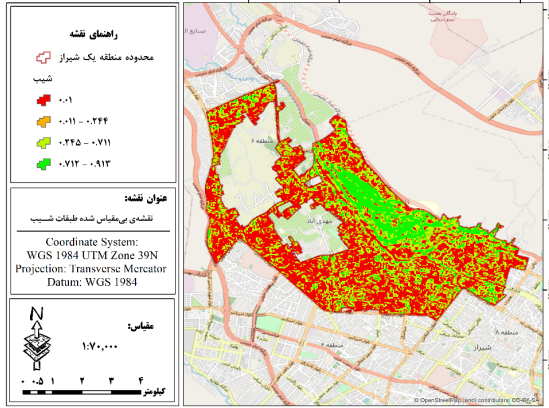


الف

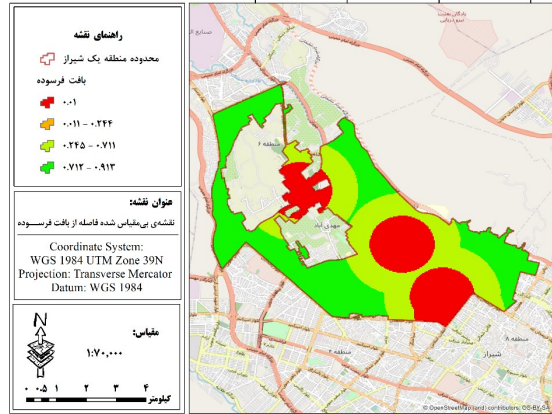


تصویر ۳: نقشه‌های معیار مورد استفاده در این تحقیق

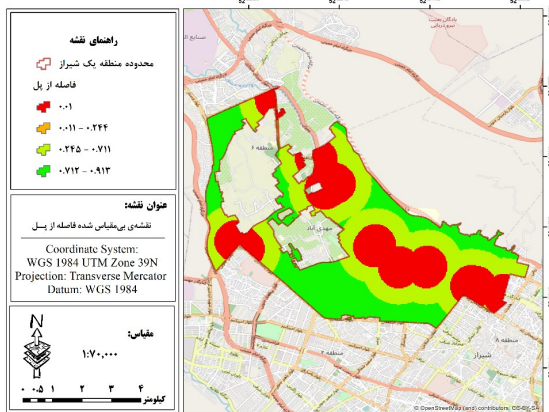
ت



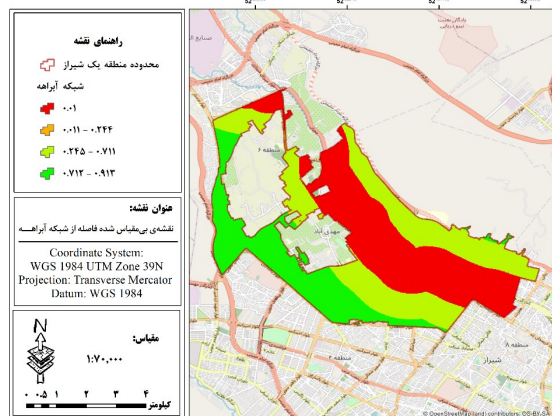
پ



ج



ث



تصویر ۴: نقشه‌های معیار مورد استفاده در این تحقیق

۷

شماره ۲۲
پاییز و زمستان
۱۴۰۱

دوفصلنامه علمی و پژوهشی



ارزیابی آسیب‌پذیری شهری در برابر خطر سیلاب
با استفاده از روش... اعلی قبری نسب

جدول ۴: وزن معیارها

وزن نسبی	معیارها
۰.۴۵۳	تراکم جمعیت
۰.۱۳۲	کاربری اراضی
۰.۱۷۶	بافت فرسوده
۰.۰۸۸	شیب
۰.۰۴۱	شبکه آبراهه
۰.۱۰۶	فاصله از پل
۰.۰۷۶	نرخ سازگاری

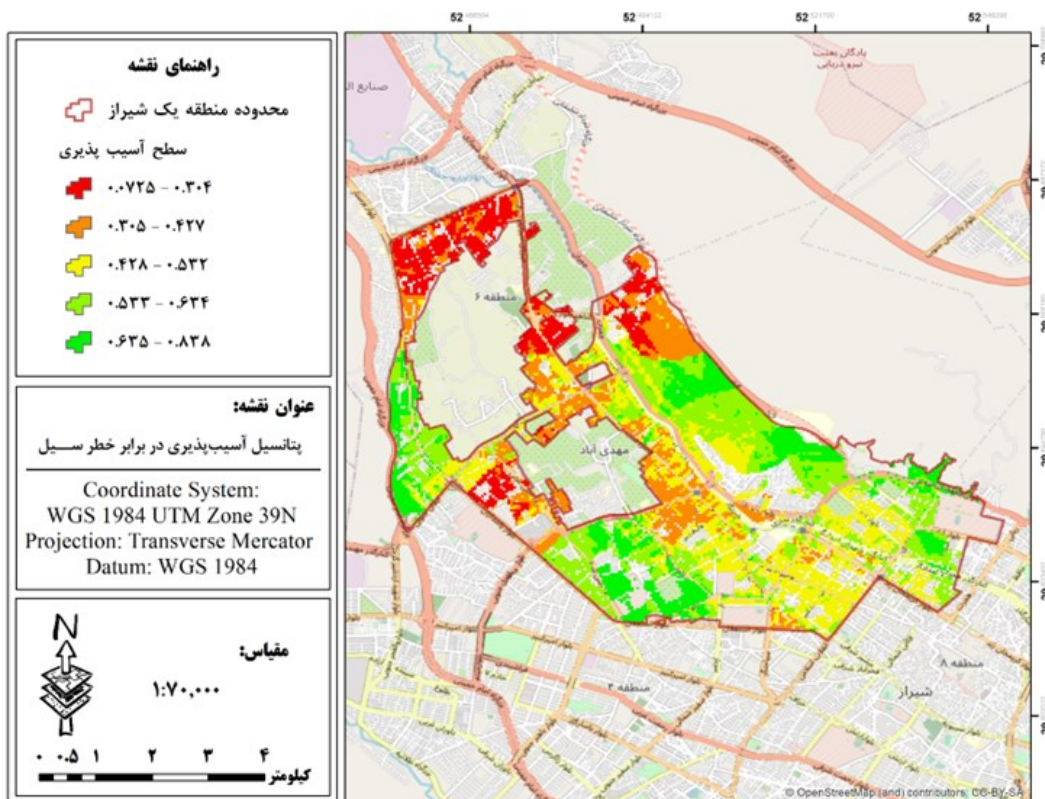
ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از سیل

در پژوهش حاضر برای ارزیابی میزان آسیب‌پذیری شهر در برابر خطر سیل، معیارهای تراکم جمعیت، کاربری اراضی، بافت فرسوده، شیب، شبکه آبراهه و پل‌های شهری مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. پس از مشخص شدن معیارها برای تعیین وزن کلی و اولویت‌بندی هر یک از معیارهای مؤثر در آسیب‌پذیری بر اساس روش بهترین-بدترین پرسش‌نامه‌ای طراحی و در اختیار ۱۵ نفر از اساتید و کارشناسان قرار گرفت. وزن نسبی و نرخ سازگاری معیارهای استفاده‌شده در جدول ۴ نشان داده شده است.

نفوذناپذیر خاک از آسیب‌پذیری بیشتری در برابر سیلاب برخوردار هستند. در مقابل، نواحی جنوبی و شرقی شهر به دلیل تراکم پایین جمعیت، بافت ساختمانی و وجود اراضی بایر و فضاهای سبز حجم روان‌آب شهری پایین بوده است. بنابراین این محدوده‌ها آسیب‌پذیری کمتری در مقابل سیلاب شهری و روان‌آب‌های سطحی دارند.

بر اساس وزن‌های به‌دست‌آمده می‌توان نتیجه گرفت که معیارهای تراکم جمعیت با وزن ۰.۴۵۳ و شبکه آبراهه با وزن ۰.۰۴۱ به‌ترتیب بیشترین و کمترین تأثیرگذاری را در آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب شهری دارا هستند.

در این پژوهش برای ترکیب نقشه‌های معیار وزن‌های تخصیص‌یافته با استفاده از مدل WLC به‌صورت ضرب در آن لایه اعمال شده است. تصویر ۴ سطح آسیب‌پذیری منطقه یک شهر شیراز را در بازه صفر تا یک نشان می‌دهد. ارزش صفر پهنه‌های با بیشترین و ارزش یک پهنه‌های با کمترین آسیب‌پذیری در برابر سیلاب‌های شهری هستند. با توجه به تصویر ۴ نواحی غربی و شمال غربی شهر شیراز به‌دلیل وجود تراکم شدید جمعیت، بافت متراکم ساختمانی و سطوح



تصویر ۴: نقشه پتانسیل خطر سیلاب منطقه یک شیراز

به کاهش سطوح نفوذپذیری خاک و افزایش حجم روان‌آب شهری شده است. بنابراین این نواحی آسیب‌پذیری بیشتری در مقابل سیلاب و روان‌آب شهری دارند.

منابع

1. Bertilsson, L., & Wiklund, K. (2015). Urban Flood Resilience-A case study on how to integrate flood resilience in urban planning. TVVR-15/5005.
2. Bates, B., Kundzewicz, Z. W., Wu, S., & Palutikof, J. (2008). Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat: Geneva, Switzerland. The American Midland Naturalist, 168(1).
3. Chen, Y., Zhou, H., Zhang, H., Du, G., & Zhou, J. (2015). Urban flood risk warning under rapid urbanization. Environmental research, 139, 3-10.
4. Desalegn, H., & Mulu, A. (2021). Flood vulnerability assessment using GIS at Fetam watershed, upper Abbay basin, Ethiopia. *Heliyon*, 7(1), e05865.
5. Osei, B. K., Ahenkorah, I., Ewusi, A., & Fiadonu, E. B. (2021). Assessment of flood prone zones in the Tarkwa mining area of Ghana using a GIS-based approach. *Environmental Challenges*, 3, 100028.
6. Thapa, S., Shrestha, A., Lamichhane, S., Adhikari, R., & Gautam, D. (2020). Catchment-scale flood hazard mapping and flood vulnerability analysis of residential buildings: The case of Khando River in eastern Nepal. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 30, 100704.

۷. ملک‌محمدی بهرام؛ درفشی خه‌بات، و عادل‌ساردو فاطمه، (۱۳۹۸). ارائه الگویی در تحلیل و پهنه‌بندی سطح آسیب‌پذیری مناطق شهری در خطر سیلاب مطالعه موردی: مناطق ۱۰ و ۲۲ شهر تهران. فصل‌نامه علمی پژوهشی مدیریت بحران، ۹ (۱): ۱۶-۵.

این پژوهش به بررسی آسیب‌پذیری منطقه یک شیراز در برابر سیل با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) پرداخته است. معیارهای مؤثر در آسیب‌پذیری ناشی از سیل شامل کاربری اراضی، تراکم جمعیت، بافت فرسوده، شیب، شبکه آبراهه و فاصله از پل هستند که وزن اولیه آن‌ها با استفاده از روش بهترین-بدترین تعیین شد. به‌منظور شناسایی معیارهای بهترین-بدترین و تعیین وزن هر یک از معیارها، پرسش‌نامه‌ای طراحی و در اختیار کارشناسان قرار گرفت. پس از تعیین معیارهای بهترین-بدترین ارجحیت بهترین معیار از سایر معیارها و ارجحیت هر معیار از بدترین معیار تعیین می‌شود. وزن معیارهای به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که عامل تراکم جمعیت با وزن ۰.۴۵۳ و عامل تراکم شبکه آبراهه با وزن ۰.۰۴۱ به‌ترتیب بیشترین و کمترین اثرگذاری را در تعیین آسیب‌پذیری ناشی از سیل دارند.

در این پژوهش به‌منظور ترکیب نقشه‌های معیار و وزن هر یک از آن‌ها از روش WLC استفاده شد. بدین منظور ابتدا داده‌های مکانی معیارها با استفاده از ابزارهای GIS آماده شد. سپس به کمک ضرب وزن نسبی هر یک معیارها در مقادیر آن‌ها مقدار نهایی هر گزینه محاسبه شد. بنابراین گزینه‌هایی که بیشترین مقدار را داشته باشند، به‌عنوان مکان‌هایی با آسیب‌پذیری کمتر در برابر خطر سیل در نظر گرفته می‌شوند.

نتایج روش بهترین-بدترین با نرخ سازگاری ۰.۰۷ نشان می‌دهد مقایسات معیارها از سازگاری و ثبات بیشتری برخوردار است. به‌طور کلی یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که نواحی جنوبی و شرقی محدوده مورد مطالعه به‌دلیل تراکم پایین جمعیت، توان آب‌گذاری بالا (مسیل رودخانه)، وجود اراضی بایر و فضای سبز آسیب‌پذیری پایینی در مواجهه با سیلاب‌های شهری و روان‌آب سطحی دارند. در مقابل، تراکم شدید جمعیت و بافت متراکم ساختمانی در نواحی غربی و شمال غربی منجر

17. Omrani, H., Valipour, M., & Emrouznejad, A. (2021). A novel Best Worst Method Robust Data Envelopment Analysis: Incorporating Decision Makers' preferences in an uncertain environment. *Operation Research Perspectives*.
18. Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49-57.
19. Vanolya, N. M., Jelokhani-Niaraki, M., & Toomanian, A. (2019). Validation of spatial multicriteria decision analysis results using public participation GIS. *Applied Geography*, 112, 102061.
۲۰. محمدی کمال؛ آل شیخ علی اصغر، و طالعی محمد، (۱۳۹۸). مکان‌یابی مراکز بیمارستانی با تلفیق روش‌های بهترین-بدترین، دنپ، ویکور و کوپراس، مطالعه موردی: منطقه یک شهر تهران. مهندسی فناوری اطلاعات مکانی: ص ۳۴-۱۷.
۲۱. جلوخانی نیارکی محمدرضا؛ وانعلیا نرجس، محمودی و فیروجایی محمد، کریمی. (۱۳۹۸). کاربردهای GIS در بهبود و توسعه کسب‌وکار شهری. پژوهش‌های جغرافیایی انسانی: ص ۷۸۱-۷۶۵.
22. Liang, F., Brunelli, M., & Rezaei, J. (2020). Consistency issues in the best worst method: Measurements and thresholds. *Omega*, 96, 102175.
23. Ghosh, P., & Lepcha, K. (2019). Weighted linear combination method versus grid based overlay operation method—A study for potential soil erosion susceptibility analysis of Malda district (West Bengal) in India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 22(1), 95-115.
24. Paraskevis, N., Roumpos, C., Stathopoulos, N., & Adam, A. (2019). Spatial analysis and evaluation of a coal deposit by coupling AHP & GIS techniques. *International Journal of Mining Science and Technology*, 29 (6), 943-953.
8. Chang, H., Pallathadka, A., Sauer, J., Grimm, N. B., Zimmerman, R., Cheng, C., . . . McPhearson, T. (2021). Assessment of urban flood vulnerability using the social-ecological-technological systems framework in six US cities. *Sustainable Cities and Society*, 68, 102786.
9. Nasiri, H., Yusof, M., Ali, T., & Hussein, M. (2019). District flood vulnerability index: Urban decision-making tool. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(5), 2249-2258.
۱۰. رحمانی عباس، و یارمحمدی سیما (۱۳۹۶). ارزیابی آسیب‌پذیری بافت‌های شهری در برابر خطر سیل.
11. Ouma, Y., Tateishi, R., Ouma, Y., & Tateishi, R. (2014). Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: methodological overview and case study assessment. *Water* 6..1545–1515 : (6)
۱۲. عبدی کمیل؛ کامیابی سعید، و زندمقدم محمدرضا. (۱۳۹۸). ارزیابی یک پارچه آسیب‌پذیری، تاب‌آوری و ریسک‌پذیری فضایی در برابر سیلاب در شهرساری. پژوهش جغرافیای طبیعی: ۴۴۵-۴۳۱.
۱۳. علویجه الهام، اسماعیلی؛ کریمی سعید، و سادات علوی‌پور، فاطمه (۱۳۹۹). ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر سیل با منطق فازی (مطالعه موردی: منطقه ۲۲ تهران). فصل‌نامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۲(۳): ۳۴۹-۳۶۱.
14. Buba, F. N., Ojinnaka, O. C., Ndukwu, R. I., Agbaje, G. I., & Orofin, Z. O. (2021). Assessment of flood vulnerability in some communities in Lokoja, Kogi State, Nigeria, using Participatory Geographic Information Systems. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 55, 102111.
15. Sahana, M., & Sajjad, H. (2019). Vulnerability to storm surge flood using remote sensing and GIS techniques: A study on Sundarban Biosphere Reserve, India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 13, 106-120.
۱۶. سالنامه آماری شهر شیراز. (۱۳۹۶). معاونت برنامه‌ریزی و توسعه سرمایه انسانی، شهرداری شیراز.