

ارزیابی یک پارچه آسیب‌پذیری، تاب‌آوری و ریسک‌پذیری فضایی در برابر سیلاب در شهر ساری

کمیل عبدی - دانشجوی دکتری گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران
سعید کامیابی* - دانشیار گروه جغرافیا، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران
محمدرضا زند مقدم - استادیار گروه جغرافیا، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۲۱

چکیده

تغییرات آب و هوایی با تأثیرگذاری در چرخه هیدرولوژیکی و افزایش شهرنشینی با افزایش سطوح نفوذناپذیر احتمال وقوع حوادث سیل را افزایش داده‌اند. در این تحقیق با رویکردی یک‌پارچه، آسیب‌پذیری، تاب‌آوری، و ریسک‌پذیری فضایی شهر ساری در مقیاس بلوک‌های شهری در برابر سیلاب ارزیابی شده است. در این تحقیق برای نیل به هدف نخست شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری و تاب‌آوری تعیین و محاسبه شد. سپس، با استفاده از مدل‌سازی سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) توزیع فضایی آن‌ها به دست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد که بیش از ۶۰۰ هکتار از مناطق شهر ساری پتانسیل آسیب‌پذیری بالا و بسیار بالا را دارد. در مقابل، بیش از ۸۰۰ هکتار از مساحت شهر ساری دارای تاب‌آوری بالا و بسیار بالاست. با این حال، با ادغام نقشه‌های آسیب‌پذیری و تاب‌آوری، مشخص شد که حدود ۶۰۰ هکتار از وسعت شهر ساری دارای ریسک‌پذیری بالا و بسیار بالا در برابر سیل است. همچنین، نتایج نشان داد که بلوک‌های شهری در جنوب شهر ساری بیشترین ریسک‌پذیری نسبت به سیلاب را دارند.

واژگان کلیدی: آسیب‌پذیری، تاب‌آوری، ریسک‌پذیری، ساری، سیلاب.

مقدمه

تغییرات اقلیمی و افزایش شهرنشینی جوامع را با چالش‌های بزرگی در مدیریت برنامه‌ریزی شهری برای آینده‌ای پایدار روبه‌رو کرده است (برتیلسون و ویکلون، ۲۰۱۵). مطالعات اخیر نشان می‌دهد که تغییرات آب و هوایی به احتمال زیاد موجب افزایش تغییر چرخه هیدرولوژیکی می‌شود و احتمال وقوع حوادث شدید آب و هوایی مانند خشک‌سالی و سیل را افزایش می‌دهد (بتس و همکاران، ۲۰۰۸). همچنین، شهرنشینی، با افزایش سطوح غیرقابل نفوذ و تغییر مسیرهای جریان، موجب افزایش سیل در دهه‌های اخیر شده است (چن و همکاران، ۲۰۱۵). یک سیل به خودی خود پدیده‌ای طبیعی است که معمولاً با پیامدهای مثبت مرتبط است. اما هنگامی که سیل در محیط شهری اتفاق بیفتد، پیامدهای ویران‌کننده‌ای برای ساکنان از نظر تخریب املاک در پی دارد و همچنین تهدیدی است برای سلامت انسان (بکر، ۲۰۱۴). برای کاهش و جلوگیری از آسیب‌های سیل، مدیریت آب شهری و مدیریت ریسک سیل عوامل کلیدی‌اند. کار آن‌ها شناسایی و اطلاع‌رسانی نگرانی‌هایی است مربوط به سیلاب با در نظر گرفتن متغیرهای اقتصادی و اجتماعی - اقتصادی و زیست‌محیطی که تحت تأثیر سیلاب‌اند. امروزه، ادبیات جدید درباره مدیریت سیلاب اغلب مفهوم تاب‌آوری^۱

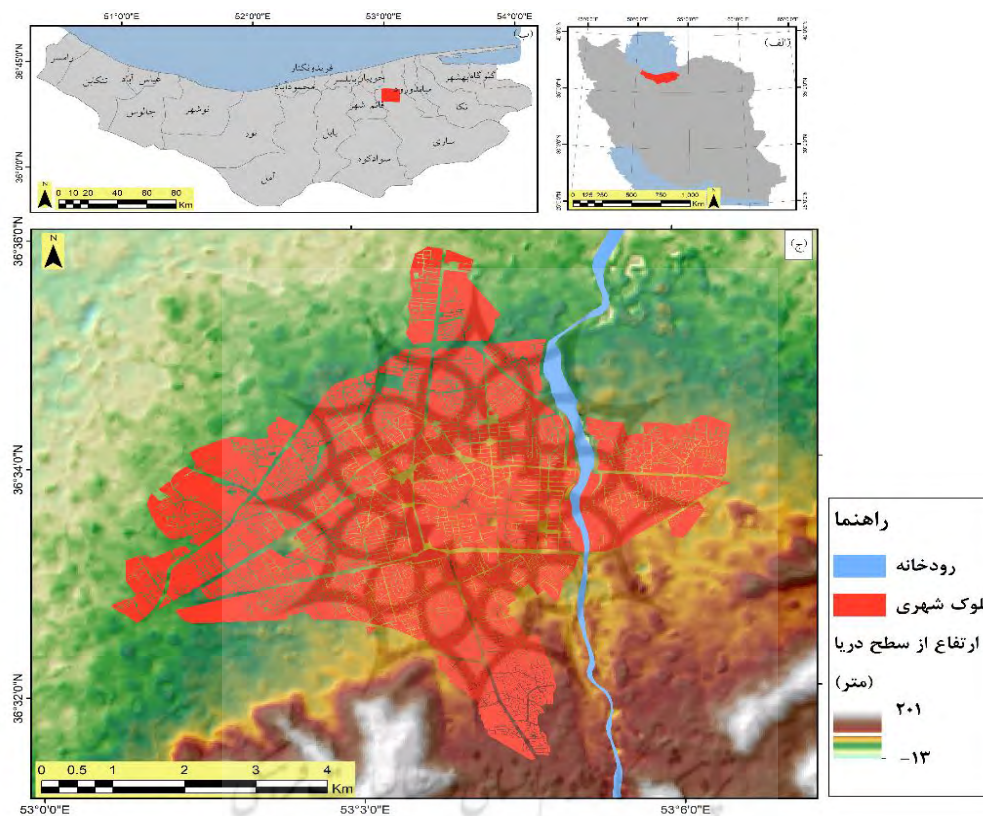
را مورد بحث قرار می‌دهد (سایرز و همکاران، ۲۰۱۳؛ ماتیاس و پلینگ، ۲۰۱۵؛ ران و ندوویک-بودیک، ۲۰۱۶؛ ادلبوس و همکاران، ۲۰۱۷). تاب‌آوری یا انعطاف‌پذیری توانایی یک سیستم یا جامعه در معرض خطر برای مقاومت، جذب، سازگاری به‌موقع و کارآمد با اثرهای یک خطر، از جمله از طریق حفظ و ترمیم ساختارها و توابع اساسی ضروری آن است (موریسون و همکاران، ۲۰۱۸). در مقابل آسیب‌پذیری^۱ در برابر بلایای طبیعی، تاب‌آوری به جنبه‌های مثبت و نقاط قوت جوامع اشاره دارد. آسیب‌پذیری به چگونگی آسیب‌دیدن افراد و املاک و سایر عناصر در مقابل سیل اشاره دارد (بوادو و همکاران، ۲۰۱۶). میزان حساسیت عناصر بستگی به آمادگی در برابر سیل و توانایی برای مقابله با این رویداد دارد. آسیب‌پذیری عناصر شهری به ویژگی‌های سازه‌های ساختمانی، خدمات، تجهیزات و اتصالات، قابلیت تحرک تجهیزات، و مواد موجود بستگی دارد (چو و چانگ، ۲۰۱۷).

روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری و تاب‌آوری ناشی از سیلاب مبتنی بر مدل‌سازی سیستم اطلاعات جغرافیایی^۲ (GIS) و تصمیم‌گیری چندمعیاره^۳ (MCDM) به‌طور فزاینده‌ای مورد استفاده بوده است (بیرگانی و همکاران، ۲۰۱۸؛ لی و همکاران، ۲۰۱۳؛ رادمهر و عراقی‌نژاد، ۲۰۱۵؛ سونارهاروم و همکاران، ۲۰۱۵؛ سو و همکاران، ۲۰۱۸). قهرودی و همکاران (۱۳۹۶) آسیب‌پذیری تأسیسات آب و فاضلاب منطقه یک آبفای تهران را ارزیابی کردند. آن‌ها از روش AHP-FUZZY برای وزن‌دهی شاخص‌ها و مدل TOPSIS برای اولویت‌بندی آن‌ها استفاده کردند. نتایج مطالعات نشان داد شاخص‌های تراکم مراکز خطر (ایستگاه گاز و خطوط انتقال نیرو)، بافت فرسوده، شیب، تراکم نسبی جمعیت، شرایط تأسیسات (از لحاظ قطر و عمق کار گذاشتن)، و وجود مسیل‌های شمال تهران (درکه، دربند، ولنجک، مقصودییک، جمشیدیه، دارآباد، و لارک) که مانع دفن تأسیسات در عمق زیاد به‌منظور محافظت و امنیت بیشتر است. در افزایش آسیب‌پذیری دخیل‌اند. گانوا و همکاران (۲۰۱۷) در مقاله‌ای به‌منظور ارزیابی توزیع پتانسیل خطر سیل در مقیاس منطقه‌ای از رویکرد یک‌پارچه GIS و تجزیه و تحلیل چندمتغیره^۴ (MCA) استفاده کردند. و همچنین از دو روش فرایند سلسله‌مراتب تحلیلی^۵ (AHP) و رتبه‌بندی^۶ (RM) استفاده شد. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن بود که روش RM نتایج بهتری نسبت به روش AHP نشان می‌دهد. لی و همکاران (۲۰۱۷) روشی را برای ارزیابی آسیب‌پذیری سیل براساس ویژگی‌های محیطی و اجتماعی شهری بررسی کردند. روش ارزیابی آن‌ها شامل تعیین معیارها و وزن با استفاده از روش‌های دلفی و آنتروپی، کسب اطلاعات و ساخت پایگاه داده، اندازه‌گیری آسیب‌پذیری، و تصمیم‌گیری اولویت‌ها بود. یافته‌ها نشان داد که تأثیر افزایش بارش (به‌دلیل تغییرات آب و هوایی) بر خطر سیلاب کمتر از افزایش عوامل آسیب‌پذیری ناشی از توسعه اجتماعی و اقتصادی است. با توجه به تغییرات بارش و افزایش سطوح نفوذناپذیر در شمال ایران، احتمال وقوع سیل در این مناطق افزایش یافته است (موسوی و همکاران، ۱۳۹۳؛ اسماعیل‌پور و همکاران، ۱۳۹۴؛ رضایی، ۱۳۹۷). با توجه به افزایش احتمال سیلاب در این مناطق، ارزیابی و مدل‌سازی اثرهای سیلاب در مناطق شهری ضروری به‌نظر می‌رسد. بنابراین، این تحقیق با هدف ارزیابی یک‌پارچه آسیب‌پذیری، تاب‌آوری، و ریسک‌پذیری شهر ساری در برابر وقوع سیلاب احتمالی انجام شده است.

1. Vulnerability
2. Geographic information system
3. Multi-criteria decision making
4. Multicriteria analysis
5. Analytic hierarchy process
6. Ranking method

منطقه مورد مطالعه

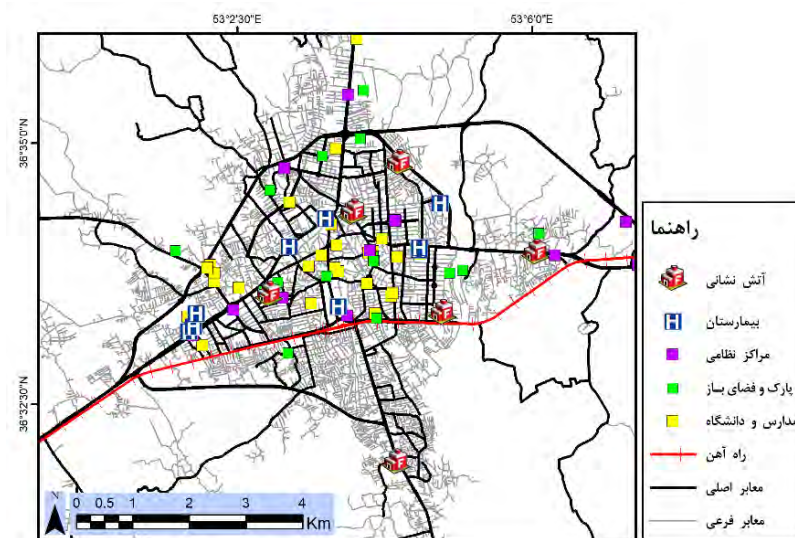
منطقه مورد مطالعه محدوده شهر ساری است که در بخش جلگه‌ای شهرستان ساری، مرکز استان مازندران، واقع شده است. جمعیت این شهر طبق سرشماری ۱۳۹۵، ۳۴۷۴۰۲ نفر بوده است که نسبت به جمعیت سال ۱۳۹۰- که ۲۹۶۴۱۷ نفر بود (مرکز آمار ایران)- رشد جمعیتی بالایی را تجربه کرده است. این رشد جمعیت نگرانی‌هایی درباره نیازهای جمعیت و گسترش متعاقب شهر و مشکلات آتی ناشی از آن مانند سیل (موسوی و همکاران، ۱۳۹۳) به‌وجود آورده است. بنابراین، ارزیابی آسیب‌پذیری و تاب‌آوری این شهر در برابر سیلاب ضروری به‌نظر می‌رسد.



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

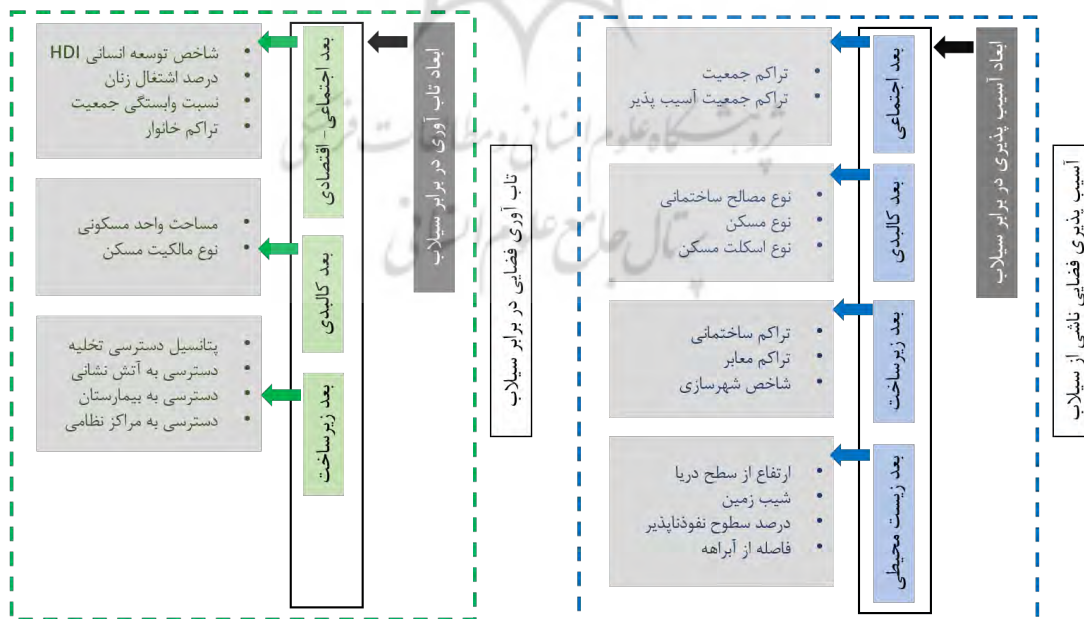
مواد و روش‌ها

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل بلوک‌های آماری شهر ساری همراه اطلاعات سرشماری در بلوک‌های آماری یا شهری سال ۱۳۹۵ است که از مرکز آمار ایران تهیه شده و شامل اطلاعات جمعیتی، اقتصادی، و خصوصیات واحدهای مسکونی در سطح بلوک‌های شهری است. مدل رقومی ارتفاع (DEM) در تفکیک مکانی سی‌متری از سازمان زمین‌شناسی آمریکا تهیه شده است. شکل ۱ بلوک‌های شهری و DEM شهر ساری را نشان می‌دهد. همچنین، داده‌های معابر شهر ساری و سایر داده‌های نقطه‌ای مراکز مورد نیاز در هنگام بلایای طبیعی از شهرداری این شهر تهیه شده است (شکل ۲).



شکل ۲. نقشه معابر شهر ساری و مراکز مهم در ارزیابی تاب‌آوری شهر ساری

تعیین و تولید شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری و تاب‌آوری در برابر سیل محققان خارجی (کوکس و همکاران، ۲۰۱۵؛ کینبرگر، ۲۰۱۲؛ مرز و همکاران، ۲۰۱۰) و محققان داخلی مانند (جوادی و همکاران، ۱۳۹۳؛ اسماعیلی علویچه و همکاران، ۱۳۹۶) شاخص‌های متعددی به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری و تاب‌آوری سیلاب ارائه از آن‌ها استفاده کرده‌اند. از میان شاخص‌های متعدد، آن دسته از شاخص‌هایی که دارای ویژگی فضایی بودند انتخاب شدند و از آن‌ها استفاده شد. شکل ۳ شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری فضایی ناشی از سیل و تاب‌آوری فضایی در برابر سیل را نشان می‌دهد.



شکل ۳. شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از سیل و تاب‌آوری در برابر سیل (منبع: نگارندگان)

تراکم جمعیت به تراکم کل جمعیت در بلوک‌های شهری اشاره دارد. تراکم جمعیت آسیب‌پذیر شامل تراکم جمعیت بالای ۶۵ سال، جمعیت پایین‌تر از ۱۵ سال، و جمعیت معلولان است. تراکم بالاتر جمعیت افراد بیشتری را در تماس با آب سیل قرار می‌دهد. دلیل اهمیت سن این است که از یک طرف خانواده‌هایی با کودکان خردسال‌تر مشکلات بیشتری در رابطه با تخلیه دارند. از سوی دیگر، خانوارهای سال‌خورده ممکن است محدودیت‌های تحرک داشته باشند که مانع توانایی آن‌ها در تخلیه در موقع سیل می‌شود و ممکن است بار مراقبت را به دیگران افزایش دهد (کوکس و همکاران، ۲۰۱۵). شاخص‌های نوع مصالح ساختمانی، نوع مسکن (آپارتمانی، ویلایی و غیره)، و نوع اسکلت بنا- با توجه به تراکم آن‌ها- در بلوک‌های شهری محاسبه شد. با توجه به تفاوت در نوع بنیاد و ساخت دیوار داخلی، سازه‌های قدیمی‌تر اغلب بیشتر آسیب‌پذیرند و مقاومت کمتری در برابر سیل در مقایسه با سازه‌های جدید دارند (فدسکی و گولیم، ۲۰۰۷). تراکم ساختمانی بالا در شهر به معنای خسارت‌های بیشتر به هنگام وقوع بحران و حادثه است و این، علاوه بر از بین رفتن شمار بیشتری از مردم در اثر فروریختن، به سبب بسته‌شدن راه‌ها و معابر و کاهش امکان گریز از موقعیت‌های خطرناک و دسترسی به مناطق امن و نیز مشکل شدن نجات مجروحان در اثر مسدود شدن راه‌های ارتباطی است. تراکم بالای معابر در هنگام سیل ممکن است موجب شدیدتر شدن سیلاب شود؛ به این معنی که در زمان سیلاب معابر محل عبور سیلاب می‌شوند. شاخص شهرسازی به نحوه معماری شهری و چیدمان فضا اشاره دارد. دو عامل مهم شاخص شهرسازی عبارت است از: تراکم ساختمانی و شبکه ارتباطی. هر کجا تراکم ساختمانی زیاد باشد و تراکم راه‌های ارتباطی کم باشد آن منطقه حساسیت بیشتری به فاجعه خواهد داشت. شاخص‌های ارتفاع، شیب، و فاصله از آبراه با استفاده از لایه DEM و در محیط ArcGIS به دست آمد. در شهر ساری، به دلیل اینکه تغییرات ارتفاعی بسیار کم است، نقش شاخص ارتفاع در آسیب‌پذیری پُررنگ‌تر است و مناطق مرتفع‌تر آسیب‌پذیری کمتری نسبت به مناطقی با ارتفاع کمتر دارند. افزایش سطوح نفوذناپذیر موجب کاهش نفوذ آب در زمین و افزایش سیلاب می‌شود.

مهم‌ترین شاخص در بُعد تاب‌آوری در برابر سیلاب شاخص توسعه انسانی^۱ است. شاخص توسعه انسانی شاخص ترکیبی خلاصه‌شده‌ای است که میزان دست‌یابی جامعه را به سه جنبه اساسی توسعه انسانی شامل طول عمر، دسترسی به دانش و اطلاعات مورد نیاز (پیشرفت آموزشی)، و میزان سطح رفاه و بهره‌مندی از سطح زندگی مناسب اندازه‌گیری می‌کند. شاخص توسعه انسانی با استفاده از روش‌های آماری و ترکیب پارامترهای مطرح‌شده به روش زیر محاسبه می‌شود:

$$HDI = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3} \quad (1)$$

در اینجا I_1 طول عمر است که براساس امید به زندگی در بدو تولد محاسبه می‌شود و به تعداد سال‌های متوسطی که یک انسان امید به زنده ماندن از زمان تولدش را دارد اشاره می‌کند. I_2 نشان‌دهنده پیشرفت آموزشی است. این شاخص از ترکیب دو شاخص محاسبه می‌شود: نرخ باسوادی بزرگسالان (E_1) و نرخ ترکیبی ثبت نام ناخالص در همه مقاطع تحصیلی (E_2). I_3 میزان سطح رفاه و بهره‌مندی از سطح زندگی مناسب است، که با شاخص درآمد سرانه واقعی تعدیل‌شده براساس برابری قدرت خرید اندازه‌گیری می‌شود. جزئیات مربوط به محاسبه این شاخص در مقاله امیری (۱۳۹۰) موجود است. میزان اشتغال بالاتر و اشتغال زنان مقدار تاب‌آوری در برابر سیل را افزایش می‌دهد. نسبت وابستگی

1. HDI

جمعیت یکی از شاخص‌های مهم در هنگام سوانح طبیعی است؛ زیرا این جمعیت نسبت به سایر افراد جامعه توانایی کمتری جهت حفاظت از خود در برابر سوانح طبیعی دارند. برای به‌دست‌آوردن این شاخص از رابطه ۲ استفاده می‌شود:

$$(۲) \quad ۱۰۰ \times (\text{جمعیت } ۶۴-۱۵) / (\text{جمعیت } ۶۵ \text{ ساله و بیشتر} + \text{جمعیت } ۱۴-۰ \text{ ساله}) = \text{درصد وابستگی جمعیت}$$

اصولاً هر چه تراکم خانوار در شهر کمتر و این تراکم به‌طور متعادل در سطح شهر توزیع شده باشد، تاب‌آوری شهر در برابر حوادث طبیعی و انسانی بیشتر خواهد بود.

شاخص نوع مالکیت مسکن به پنج گروه تقسیم می‌شود: ملکی عرصه و اعیان؛ ملکی اعیان؛ اجاره‌ای؛ در برابر خدمت؛ و مجانی. در هنگام بروز حادثه نوع مالکیت مسکن بسیار اثرگذار است. به‌نظر می‌رسد گروه‌های مسکونی ملکی عرصه و اعیان و ملکی اعیان نسبت به سایر گروه‌های مسکونی در هنگام سوانح طبیعی تاب‌آوری بیشتری دارند. ساختمان‌هایی با مساحت‌های بیشتر در شهر به‌دلیل وجود فضاهای بیشتر امنیت زیادی در زمان حادثه و فضای بازتر برای بازسازی بعد از حادثه در نتیجه تاب‌آوری بیشتر دارند. پتانسیل دسترسی/ تخلیه به امکانات برای تخلیه جمعیت و فضاهای باز و سربسته برای پناهگاه‌های موقت اشاره دارد. برای این شاخص از دسترسی به جاده‌های اصلی و فضاهای باز مانند پارک‌ها و فضاهای سربسته مانند مدارس استفاده شد. به‌طور کلی، نزدیکی به بیمارستان‌ها، مراکز انتظامی و آتش‌نشانی در هنگام وقوع فاجعه، و همکاری متقابل آن‌ها تا حد زیادی کارایی هر یک از آن‌ها را افزایش می‌دهد. به‌ویژه به دنبال حوادثی نظیر سیل نزدیکی این مراکز به محل‌های حادثه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

روش AHP برای وزن‌دهی شاخص‌ها

پس از مشخص شدن معیارها و زیرمعیارها، با استفاده از پرسش‌نامه AHP و براساس نظر کارشناس شاخص‌های مورد نظر به‌صورت معیارها و زیرمعیارها به‌صورت زوجی مقایسه و ارزش‌دهی می‌شوند. در این تحقیق از سی کارشناس در حوزه‌های کاربردی و تحقیقاتی مرتبط با سیل شهری مانند آبخیزداری، مدیریت بحران، جغرافیای شهری، شهرسازی، آب منطقه‌ای، بنیاد مسکن، و شهرداری به‌منظور وزن‌دهی معیارها و زیرمعیارها استفاده شد. پس از کامل شدن پرسش‌نامه‌ها توسط کارشناسان، برای محاسبه ضریب اهمیت هر شاخص، میانگین هندسی ارزش‌های نسبت‌داده شده به هر معیار (جمع ردیف) با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$(۳) \quad G.M = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n X_i}$$

در اینجا، n تعداد شاخص‌ها و X_i شاخص i ام است.

ضریب اهمیت یا وزن هر شاخص با نرمال‌سازی میانگین هندسی به‌دست‌آمده برای هر شاخص با استفاده از رابطه ۴ محاسبه می‌شود:

$$(۴) \quad W_i = \frac{G.M_i}{\sum G.M_i}$$

برای بررسی ناسازگاری در قضاوت‌ها (نظر کارشناس)، ضریب ناسازگاری (I.R) با تقسیم شاخص ناسازگاری (I.I) بر شاخص تصادفی بودن (R.I) محاسبه می‌شود. چنانچه این ضریب کوچک‌تر یا مساوی ۰,۱ باشد، سازگاری در قضاوت‌ها پذیرفتنی است. در غیر این صورت، باید در قضاوت‌ها تجدیدنظر شود. شاخص ناسازگاری از رابطه ۵ محاسبه‌شدنی است:

$$I.I = \frac{\lambda \max - n}{n - 1} \quad (5)$$

در اینجا n تعداد گزینه‌ها و (λ_{\max}) مقدار ویژه ماکزیمم است. در روش میانگین هندسی، که روشی تقریبی است، به جای محاسبه مقدار ویژه ماکزیمم (λ_{\max}) ، از L به صورت رابطه ۶ استفاده می‌شود:

$$L = \frac{1}{n} \left[\frac{\sum_{i=1}^n (AW_i)}{w_i} \right] \quad (6)$$

در اینجا AW_i برداری است که از ضرب ماتریس مقایسه زوجی معیارها (ماتریس A) در بردار W_i (بردار وزن یا ضریب اهمیت معیارها) به دست می‌آید (اویان، ۲۰۱۳).

روش فازی برای همپوشانی شاخص‌ها

برای هر نقشه معیار می‌توان کلاس‌ها و واحدهای مکانی با درجه‌ای از عضویت بین صفر تا یک تعریف کرد که به آن فازی‌سازی معیارها می‌گویند. در این تحقیق از روش خطی برای فازی‌سازی شاخص‌ها استفاده شد. سپس، نقشه‌های معیار به کمک عملگرهای فازی گاما با هم ترکیب شدند. این عملگر حالت کلی عملگر ضربی و جمعی فازی است و هنگامی به کار می‌رود که تأثیرات کاهش و افزایشی در تعامل معیارها وجود داشته باشد. همپوشانی گاما از رابطه ۷ محاسبه می‌شود:

$$\mu_{\text{Combination}} = \left[1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i) \right]^y \times \left[\prod_{i=1}^n \mu_i \right]^{1-y} \quad (7)$$

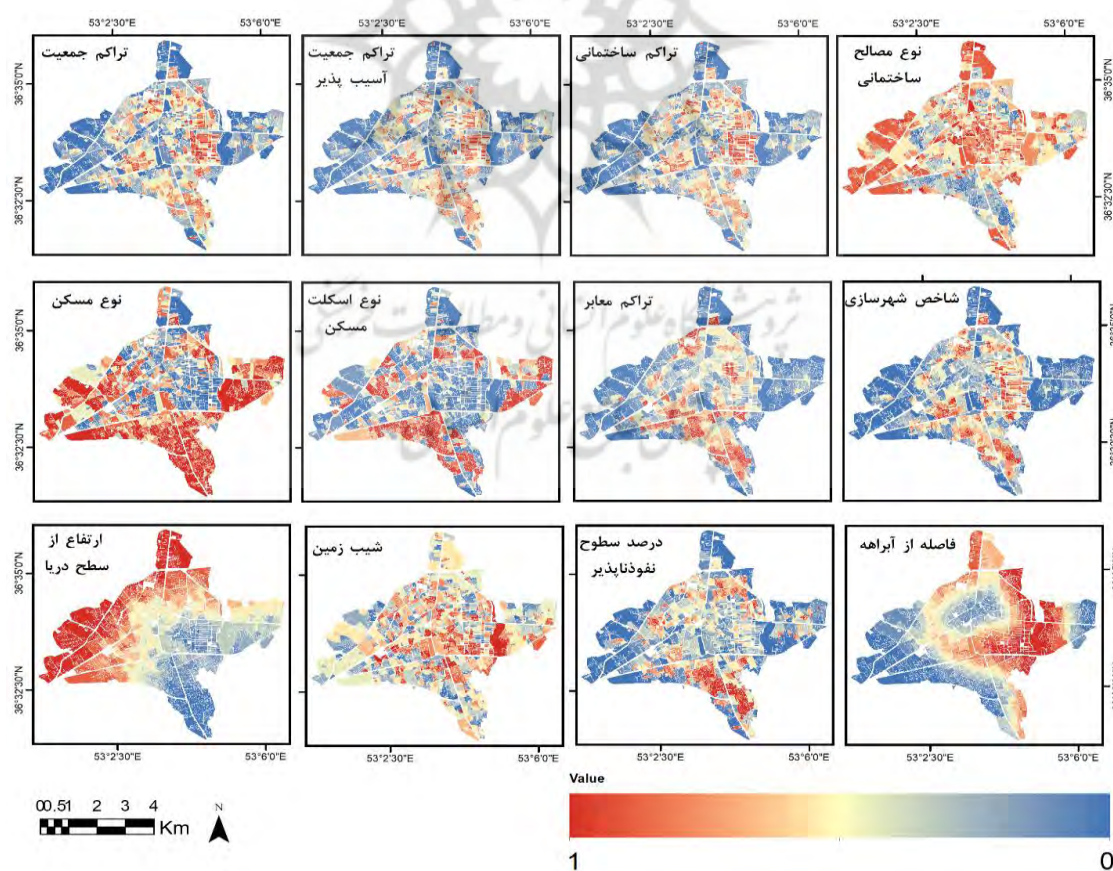
یافته‌های پژوهش

وزن شاخص‌های آسیب‌پذیری و تاب‌آوری در ابعاد مختلف با استفاده از نظر کارشناسان و روش AHP ذکر شده در روش‌شناسی به دست آمد و در جدول ۱ نمایش داده شد. با توجه به نتایج در آسیب‌پذیری فضایی ناشی از سیلاب بُعد زیست‌محیطی از وزن بیشتری برخوردار است و در تاب‌آوری در برابر سیلاب بُعد اجتماعی-اقتصادی ارزش بیشتری را به خود اختصاص داده است.

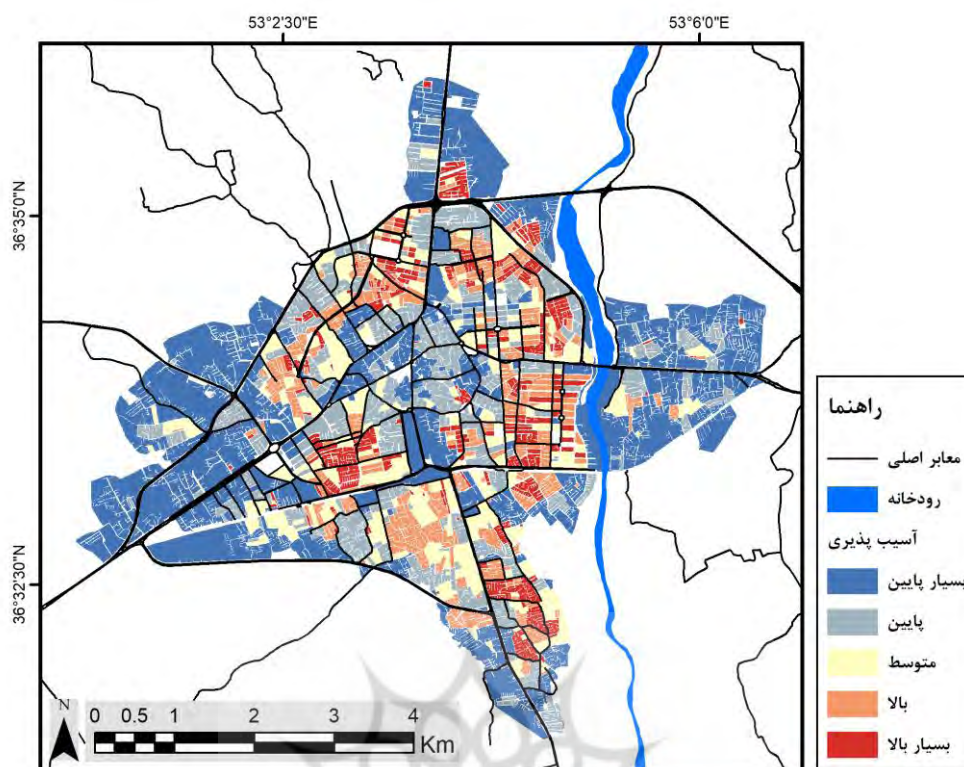
پس از وزن‌دهی، مقادیر شاخص‌های مختلف در ابعاد مختلف با استفاده از روش فازی‌سازی خطی بین یک و صفر قرار گرفت. شکل ۴ شاخص‌های آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب را نمایش می‌دهد. ارزش یک به معنای بیشترین و صفر به معنای کمترین آسیب‌پذیری یک شاخص به سیلاب است. پس از فازی‌سازی شاخص‌های آسیب‌پذیری فضایی ناشی از سیلاب و اعمال وزن‌های آن‌ها، با استفاده از روش همپوشانی فازی گاما ۰٫۹ این شاخص‌ها به منظور تولید نقشه نهایی آسیب‌پذیری با هم ادغام شدند. در نهایت، با استفاده از روش انحراف معیار- میانگین نتایج به پنج طبقه تقسیم شد: آسیب‌پذیری بسیار بالا، بالا، متوسط، پایین، و بسیار پایین. شکل ۵ نقشه نهایی آسیب‌پذیری فضایی شهر ساری را نمایش می‌دهد. با توجه به شکل ۵، بخش‌های مرکزی و حاشیه‌ای شهر ساری پتانسیل آسیب‌پذیری پایین‌تری نسبت به بقیه مناطق شهر ساری دارند.

جدول ۱. وزن ابعاد و شاخص‌های آسیب‌پذیری فضایی سیلاب و تاب‌آوری در برابر سیلاب

				فضایی ناشی از سیلاب		شاخص‌های آسیب‌پذیری
وزن	زیرمعیار	وزن	ابعاد	وزن	شاخص‌ها	وزن
۰٫۱۶۴	شاخص توسعه انسانی HDI		بعد اجتماعی -	۰٫۱۰۱	تراکم جمعیت	۰٫۲۶۴
۰٫۱۴۳	درصد اشتغال زنان	۰٫۴۳	اقتصادی	۰٫۱۰۹	تراکم جمعیت آسیب‌پذیر	
۰٫۰۶۵	نسبت وابستگی جمعیت			۰٫۰۶۷	نوع مصالح ساختمانی	
۰٫۰۸۳	تراکم خانوار			۰٫۰۶۲	نوع مسکن	۰٫۲۱۲
۰٫۱۱۴	مساحت واحد مسکونی	۰٫۲۱	بعد کالبدی	۰٫۰۳۶	نوع اسکلت مسکن	
۰٫۰۷۱	نوع مالکیت مسکن			۰٫۰۵۱	تراکم ساختمانی	
۰٫۱۰۶	پتانسیل دسترسی تخلیه			۰٫۰۶۲	تراکم معابر	۰٫۲۳۱
۰٫۰۸۵	دسترسی به آتش‌نشانی	۰٫۳۶	بعد زیرساخت	۰٫۰۷۴	شاخص شهرسازی	
۰٫۰۸۶	دسترسی به بیمارستان			۰٫۱۱۲	ارتفاع از سطح دریا	
۰٫۰۸۳	دسترسی به مراکز نظامی			۰٫۱۰۸	شیب زمین	۰٫۲۹۳
				۰٫۰۹۶	درصد سطوح نفوذناپذیر	
				۰٫۱۲۲	فاصله از آبراهه	



شکل ۴. شاخص‌های آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب



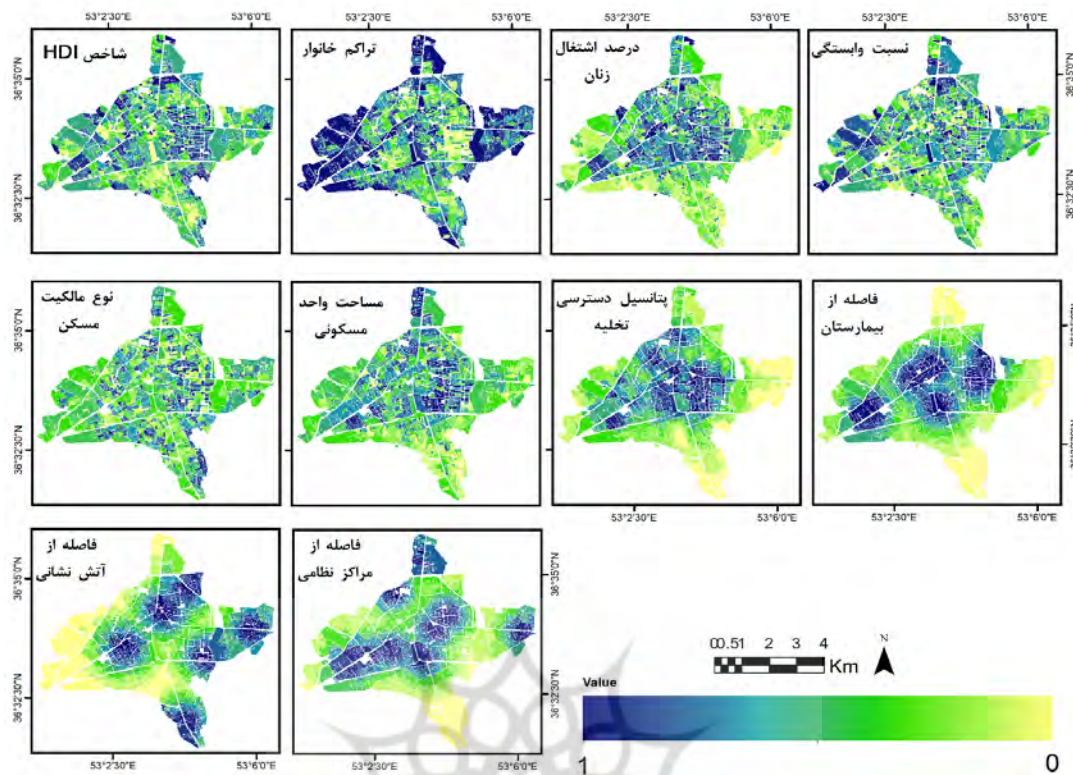
شکل ۵. نقشه نهایی آسیب پذیری فضایی شهر ساری

جدول ۲ مساحت طبقات آسیب پذیری به هکتار را نمایش می دهد. با توجه به نتایج جدول ۲، بیشتر مساحت بلوک های شهر ساری از آسیب پذیری متوسط و پایینی برخوردارند.

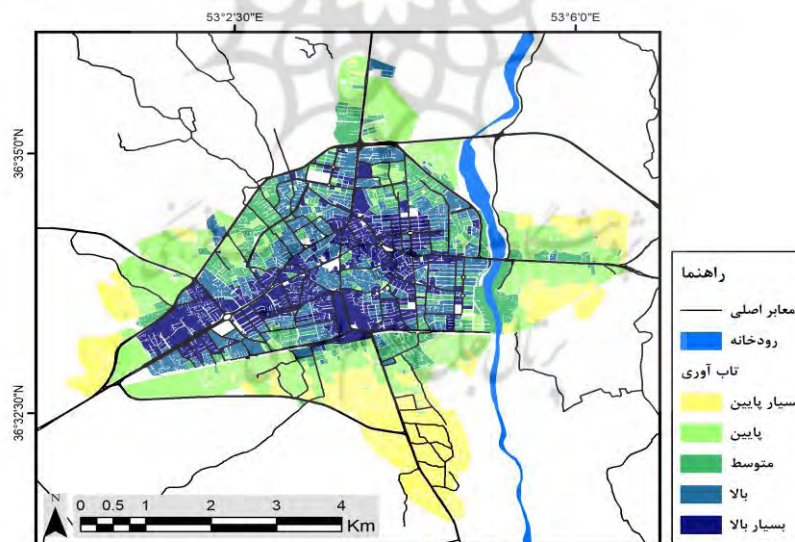
جدول ۲. مساحت طبقات آسیب پذیری ناشی از سیلاب احتمالی در شهر ساری

آسیب پذیری بسیار بالا	آسیب پذیری بالا	آسیب پذیری متوسط	آسیب پذیری پایین	آسیب پذیری بسیار پایین	طبقات آسیب پذیری
۱۷۱	۴۵۹	۵۶۱	۵۹۲	۴۲۳	مساحت (هکتار)

شاخص های تاب آوری فضایی در برابر سیلاب نیز با توجه به روش شناسی تحقیق محاسبه شد و سپس با استفاده از فازی سازی خطی بین یک و صفر ارزش دهی شد. شکل ۶ شاخص های تاب آوری در برابر سیلاب را نمایش می دهد. ارزش یک به معنای بیشترین و صفر به معنای کمترین تاب آوری یک شاخص در برابر سیلاب است. شاخص های تاب آوری نیز با استفاده از روش هم پوشانی فازی گاما ۰/۹ این شاخص ها به منظور تولید نقشه نهایی تاب آوری فضایی با هم ادغام شدند. نتایج تاب آوری هم به پنج طبقه با استفاده از روش انحراف معیار- میانگین تقسیم شد. شکل ۷ نقشه نهایی تاب آوری فضایی شهر ساری را نمایش می دهد. با توجه به شکل ۷، بخش های مرکزی شهر از تاب آوری بالاتری نسبت به بخش های حاشیه ای شهر برخوردارند و بخش جنوبی شهر دارای تاب آوری بسیار پایینی است. جدول ۳ مساحت طبقات تاب آوری در برابر سیلاب در شهر ساری را نمایش می دهد. با توجه به نتایج جدول ۳، طبقات تاب آوری متوسط و بسیار پایین از مساحت بیشتری نسبت به سایر طبقات برخوردارند.



شکل ۶. شاخص‌های تاب‌آوری در برابر سیلاب

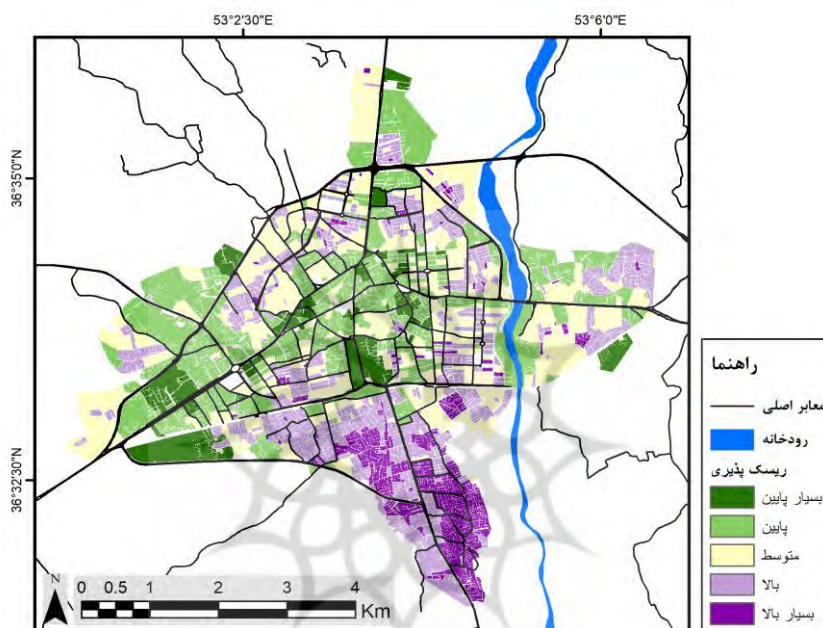


شکل ۷. نقشه نهایی تاب‌آوری فضایی شهر ساری

جدول ۳. مساحت طبقات تاب‌آوری در برابر سیلاب احتمالی در شهر ساری

تاب‌آوری بسیار بالا	تاب‌آوری بالا	تاب‌آوری متوسط	تاب‌آوری پایین	تاب‌آوری بسیار پایین	طبقات تاب‌آوری
۴۱۸	۴۳۱	۴۸۱	۴۳۶	۴۴۱	مساحت (هکتار)

در بسیاری از رویکردهای سنتی ارزیابی ریسک‌پذیری سیلاب، ریسک‌پذیری معادل آسیب‌پذیری در نظر گرفته شده است. این در حالی است که امروزه ریسک‌پذیری با توجه به آسیب‌پذیری و تاب‌آوری اندازه‌گیری می‌شود. بنابراین، در این تحقیق، با توجه به نقشه‌های آسیب‌پذیری و تاب‌آوری، ریسک‌پذیری شهر ساری محاسبه شد؛ به این معنی که مناطق با پتانسیل آسیب‌پذیری بالا و تاب‌آوری پایین دارای بالاترین ریسک‌پذیری‌اند و برعکس. نتایج ریسک‌پذیری هم به پنج طبقه تقسیم شد. شکل ۸ ریسک‌پذیری فضایی شهر ساری در برابر سیلاب را نمایش می‌دهد. با توجه به شکل ۸، بخش‌های جنوبی این شهر دارای بیشترین ریسک‌پذیری در برابر سیلاب‌اند. جدول ۴ مساحت طبقات ریسک‌پذیری در برابر سیلاب احتمالی در شهر ساری را نمایش می‌دهد. با توجه به نتایج، طبقات ریسک‌پذیری پایین و متوسط بیشترین مساحت را دارند.



شکل ۸. ریسک‌پذیری فضایی شهر ساری در برابر سیلاب

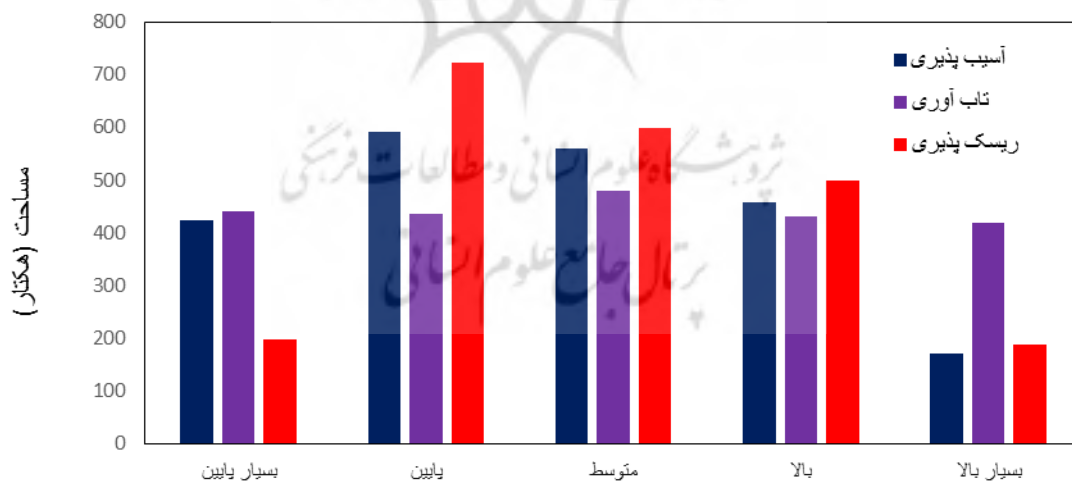
جدول ۴. مساحت طبقات ریسک‌پذیری در برابر سیلاب احتمالی در شهر ساری

ریسک‌پذیری بسیار پایین	ریسک‌پذیری بالا	ریسک‌پذیری متوسط	ریسک‌پذیری پایین	ریسک‌پذیری بسیار پایین	طبقات ریسک‌پذیری
۱۸۷	۴۹۹	۵۹۸	۷۲۳	۱۹۹	مساحت (هکتار)

نتیجه‌گیری

در این تحقیق سعی شد تا با رویکردی یک‌پارچه آسیب‌پذیری، تاب‌آوری، و ریسک‌پذیری فضایی شهر ساری در برابر سیلاب ارزیابی شود. بلوک‌های شهری شهر ساری به‌عنوان مبنایی برای اندازه‌گیری‌ها انتخاب شد تا محاسبات لازم برای دستیابی به هدف بر روی آن‌ها انجام گیرد. بنابراین، در این تحقیق سیلاب شبیه‌سازی نشده بود و فقط آسیب‌پذیری و تاب‌آوری سازه‌های شهری در بلوک‌های شهری ارزیابی شد. خروجی نهایی تولید نقشه‌های آسیب‌پذیری، تاب‌آوری، و ریسک‌پذیری فضایی در سطح بلوک‌های شهر ساری بود. شکل ۹ نمودار ستونی مساحت طبقات آسیب‌پذیری، تاب‌آوری، و ریسک‌پذیری شهر ساری را نمایش می‌دهد. با توجه به نمودار بیش از ۶۰۰ هکتار از مناطق

شهر ساری آسیب‌پذیری بالا و بسیار بالا دارد. در این میان بیش از ۸۰۰ هکتار از مساحت شهر ساری دارای تاب‌آوری بالا و بسیار بالاست. با توجه به این نتایج، ریسک‌پذیری بالا و بسیار بالا در شهر ساری حدود ۶۰۰ هکتار است. در مقایسه با تحقیقات دیگر، تاکنون مقاله‌ای مبنی بر ارزیابی آسیب‌پذیری و تاب‌آوری فضایی در برابر سیلاب در شهر ساری انجام نشده است. در تحقیقی، محمودزاده و باکویی (۱۳۹۷) با استفاده از تحلیل فازی و استفاده از نه معیار شامل فاصله از رودخانه، ضریب رواناب، ضریب CN، تراکم جمعیت، تراکم مسکونی، شیب، کاربری اراضی، قدمت ابنیه، و فضای باز شهر ساری را از لحاظ خطر سیلاب پهنه‌بندی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که خطر سیل در مرکز و جنوب شهر بیشترین مقدار را دارد. نقشه پهنه‌بندی سیلاب آن‌ها نشان داد که ۲۴ درصد از محدوده شهر ساری در محدوده خطر بسیار زیاد و ۳۷ درصد از شهر در پهنه‌بندی خطر سیل بسیار کم قرار گرفته است. باین‌حال، اصول اساسی ریسک‌پذیری در برابر سیلاب نیازمند ارزیابی آسیب‌پذیری، تاب‌آوری، و سپس ریسک‌پذیری است. در مقایسه با تحقیقات در شهرهای دیگر، صرافی و همکاران (۱۳۹۱) آسیب‌پذیری شهر تهران را در برابر سیلاب ارزیابی کردند و از شاخص‌های تراکم جمعیت، بافت فرسوده، فاصله از پل‌ها، کاربری زمین، شیب و شبکه آبراهه استفاده کردند. در تحقیق آن‌ها ویژگی‌های ساختمانی و شهرسازی در یک شاخص به‌عنوان بافت فرسوده در نظر گرفته شده و به جزئیات توجه نشده است. همچنین، با توجه به ویژگی‌های ارتفاعی تهران، یعنی کاهش ارتفاع از شمال به جنوب با روند تقریباً یکسان، شاخص ارتفاع از سطح دریا در نظر گرفته نشده است. در شهر ساری به‌دلیل اینکه تغییرات ارتفاعی بسیار کم است، نقش شاخص ارتفاع در آسیب‌پذیری پررنگ‌تر است و مناطق مرتفع‌تر آسیب‌پذیری کمتری نسبت به مناطق با ارتفاع کمتر دارند. ابراهیمی‌پور و زیاری (۱۳۹۷) تاب‌آوری کالبدی سازه‌های اطراف رودخانه چشمه کلیه را ارزیابی کردند. در این تحقیق، آن‌ها بُعد کالبدی و زیرساخت را به‌منظور ارزیابی تاب‌آوری به‌کار بردند و جنبه‌های اجتماعی-اقتصادی در نظر گرفته نشده است. به‌دلیل اینکه بخشی از تاب‌آوری شامل بازسازی مناطق آسیب‌دیده است، جنبه‌های اجتماعی-اقتصادی باید در ارزیابی‌های تاب‌آوری مد نظر قرار گیرد.



شکل ۹. نمودار ستونی مساحت طبقات آسیب‌پذیری، تاب‌آوری، و ریسک‌پذیری شهر ساری

وقوع بلایای طبیعی امروزه پدیده‌ای تکرارپذیر است که در برخی موارد با آسیب‌های شدید مادی-معنوی همراه است؛ به همین دلیل، اندیشمندان، متخصصان دانشگاهی، و برنامه‌ریزان تلاش می‌کنند با مبنا قراردادن رویکردها و الگوهای مختلف با تدوین برنامه‌ریزی‌های مناسبی در راستای کاهش خسارات بلایای طبیعی گام بردارند.

منابع

- ابراهیمی پور، م. و زیاری، ک. (۱۳۹۷). پهنه بندی زمین های شهری در برابر خطر ناشی از سیلاب با رویکرد تاب آوری کالبدی (مطالعه موردی: رودخانه چشمه کيله)، فصل نامه نگرش های نو در جغرافیای انسانی، ش ۱.
- اسماعیل پور، ز؛ قادری، ک. و سیاری، ن. (۱۳۹۴). شبیه سازی رواناب شهری با استفاده از مدل (SWMM) مطالعه موردی: شهرستان بابل، محدوده کمربندی غربی، سیزدهمین همایش سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- اسماعیلی علویچه، ا؛ کریمی، س. و علوی پور، ف. (۱۳۹۶). ارزیابی آسیب پذیری مناطق شهری در برابر سیل با منطق فازی (مطالعه موردی: منطقه ۲۲ تهران)، فصل نامه علوم و تکنولوژی محیط زیست.
- امیری، ن. (۱۳۹۰). روش محاسبه شاخص توسعه انسانی، مجله اقتصادی - ماهنامه بررسی مسائل و سیاست های اقتصادی، ش ۱۲.
- جوادی، م؛ باقری، م؛ وفاخواه، م. و غلامی، ش. (۱۳۹۳). تأثیر پخش سیلاب بر خصوصیات فیزیکی خاک (مطالعه موردی: پخش سیلاب دلجان، استان مرکزی)، پژوهش نامه مدیریت حوضه آبخیز، ش ۹.
- رضایی، پ. (۱۳۹۷). تعیین پهنه سیل گیر با استفاده از GIS و مدل هیدرولیکی (HEC-RAS) (مطالعه موردی: رودخانه گوهررود در محدوده شهر رشت)، فصل نامه جغرافیا و مخاطرات محیطی، ش ۱.
- صرافی، م؛ ثروتی، م؛ پورموسوی، م؛ درفشی، خ. و قهرودی تالی، م. (۱۳۹۱). ارزیابی آسیب پذیری ناشی از سیلاب در شهر تهران، فصل نامه علمی - پژوهشی امداد و نجات، ش ۳.
- قهرودی، م؛ سلطانی، ش؛ درفشی، خ. و نوروزی، ر. (۱۳۹۶). آسیب پذیری تأسیسات آب و فاضلاب شمال تهران در مقابل رواناب (منطقه یک آبفا)، مدیریت مخاطرات محیطی، ش ۱.
- محمودزاده، ح. و باکویی، م. (۱۳۹۷). پهنه بندی سیلاب با استفاده از تحلیل فازی (مطالعه موردی: شهر ساری)، فصل نامه مخاطرات محیط طبیعی، ش ۱۸.
- موسوی، س؛ احمدی، ح. و قدوسی، ج. (۱۳۹۳). بررسی اثرات توسعه شهری بر رفتار هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: شهر ساری)، بیست و یکمین همایش ملی ژئوماتیک.
- Amiri, N. (2012). Method of calculation of human development index, Economic Magazine - Monthly Review of Economic Issues and Policies, No. 12.
- Bates, B. C.; Kundzewicz, Z. W.; Wu, S. and Palutikof, J. P. (2008). Climate change and water. Technical paper of the intergovernmental panel on climate change, IPCC secretariat, Geneva, Climate Change Policy with a Renewed Environmental Ethic, 21: 85-101.
- Becker, P. (2014). Sustainability science: Managing risk and resilience for sustainable development, Newnes.
- Bertilsson, L. and Wiklund, K. (2015). Urban Flood Resilience-A case study on how to integrate flood resilience in urban planning. TVVR-15/5005.
- Birgani, Y. T. and Yazdandoost, F. (2018). An Integrated Framework to Evaluate Resilient-Sustainable Urban Drainage Management Plans Using a Combined-adaptive MCDM Technique, Water Resources Management, 32(8): 2817-2835.
- Boudou, M.; Danière, B. and Lang, M. (2016). Assessing changes on urban flood vulnerability through mapping land use from historical information, Hydrology and Earth System Sciences, 12: 161-173.

- Chen, Y.; Zhou, H.; Zhang, H.; Du, G. and Zhou, J. (2015). Urban flood risk warning under rapid urbanization, *Environmental research*, 139: 3-10.
- Cho, S. Y. and Chang, H. (2017). Recent research approaches to urban flood vulnerability, 2006–2016, *Natural Hazards*, 88(1): 633-649.
- Ebrahimi Pur, M. and Ziari, K. (2018). Zoning of Urban Lands at Risk Due to Floods by Physical Resilience Approach (Case Study: Cheshmeh Kile River), *Journal of New Attitudes in Human Geography*, Issue 1.
- Edelenbos, J.; Van Buuren, A.; Roth, D. and Winnubst, M. (2017). Stakeholder initiatives in flood risk management: exploring the role and impact of bottom-up initiatives in three 'Room for the River' projects in the Netherlands, *Journal of environmental planning and management*, 60(1): 47-66.
- Esmail Pur, Z.; Ghaderi, K. and Sayari, N. (2015). Urban Runoff Simulation Using Model (SWMM) Case Study: Babol City, Western Belt Area. 13th National Conference on Irrigation and Evaporation Reduction, Kerman, Shahid Bahonar University of Kerman.
- Esmaili Alavijuye, A.; Karimi, S. and Alavi Pur, F. (2017). Flood Vulnerability Assessment of Urban Areas with Fuzzy Logic (Case Study: Tehran District 22), *Environmental Science and Technology Quarterly*.
- Fedeski, M. and Gwilliam, J. (2007). Urban sustainability in the presence of flood and geological hazards: The development of a GIS-based vulnerability and risk assessment methodology, *Landscape and urban planning*, 83(1): 50-61.
- Gaňová, L.; Zeleňáková, M.; Purcz, P.; Diaconu, D. C.; Orfánus, T. and Kuzevičová, Ž. (2017). Identification of urban flood vulnerability in eastern Slovakia by mapping the potential natural sources of flooding-implications for territorial planning, *Urbanism Architecture Constructions*, 8(4): 365-376.
- Ghahruudi, M.; Soltani, Sh.; Derafshi, Kh. and Noruzi, R. (2016). Vulnerability of North Tehran Water and Wastewater Facilities to Runoff (Area One), *Environmental Risk Management*, No. 1.
- Ghahruudi, M.; Soltani, Sh.; Derafshi, Kh. and Noruzi, R. (2018). Vulnerability of sewage and water facilities in north of Tehran against runoff (One Abfa Area), *Managing environmental hazards*, 4(1).
- Javadi, M.; Bagheri, M.; Vafakhah, M. Gholami, Sh. (2014). Influence of flood propagation on soil physical properties (Case study: Delijan flood propagation, Markazi province), *Watershed Management Research Paper*, No. 9.
- Kienberger, S. (2012). Spatial modelling of social and economic vulnerability to floods at the district level in Búzi, Mozambique, *Natural Hazards*, 64(3): 2001-2019.
- Koks, E. E.; Jongman, B.; Husby, T. G. and Botzen, W. J. (2015). Combining hazard, exposure and social vulnerability to provide lessons for flood risk management, *Environmental science & policy*, 47: 42-52.
- Lee, G.; Choi, J. and Jun, K. S. (2017). MCDM approach for identifying urban flood vulnerability under social environment and climate change, *Journal of Coastal Research*, 79(sp1): 209-213.
- Lee, G.; Jun, K. S. and Chung, E. S. (2013). Integrated multi-criteria flood vulnerability approach using fuzzy TOPSIS and Delphi technique, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(5): 1293-1312.
- Mahmudzade, H. and Bakui, M. (2018). Flood Zoning Using Fuzzy Analysis (Case Study: Sari City), *Journal of Environmental Hazards*, No. 18.

- Matyas, D. and Pelling, M. (2015). Positioning resilience for 2015: the role of resistance, incremental adjustment and transformation in disaster risk management policy, *Disasters*, 39(s1): s1-s18.
- Merz, B.; Kreibich, H.; Schwarze, R. and Thielen, A. (2010). Review article " Assessment of economic flood damage", *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10(8): 1697-1724.
- Morrison, A.; Westbrook, C. J. and Noble, B. F. (2018). A review of the flood risk management governance and resilience literature, *Journal of Flood Risk Management*, 11(3): 291-304.
- Musavi, S.; Ahmadi, H. and Ghodusi, J. (2014). Investigation of the effects of urban development on hydrological behavior (Sari case study), 21st National Geomatics Conference.
- Radmehr, A. and Araghinejad, S. (2015). Flood vulnerability analysis by fuzzy spatial multi criteria decision making, *Water resources management*, 29(12): 4427-4445.
- Ran, J. and Nedovic-Budic, Z. (2016). Integrating spatial planning and flood risk management: A new conceptual framework for the spatially integrated policy infrastructure, *Computers, Environment and Urban Systems*, 57: 68-79.
- Sayers, P.; Yuanyuan, L.; Galloway, G.; Penning-Rowsell, E.; Fuxin, S.; Kang, W.; ... and Le Quesne, T. (2013). *Flood risk management: A strategic approach*.
- Rezai, P. (2018). Determination of flood catchment area using GIS and hydraulic model (HEC-RAS) (Case study: Goharood River in Rasht city), *Journal of Geography and Environmental Hazards*, No. 1.
- Sarafi, M.; Servati, M.; Pur Musavi, M.; Derafshi, Kh. and Ghahrudi Tali, M. (2012). Flood Vulnerability Assessment in Tehran, *Rescue Research Quarterly*, No. 3.
- Su, H. T.; Cheung, S. H. and Lo, E. Y. M. (2018). Multi-objective optimal design for flood risk management with resilience objectives, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 32(4): 1147-1162.
- Sunarharum, T. M.; Sloan, M. and Susilawati, C. (2015). Re-framing infrastructure investment decision-making processes: a preliminary scoping study for urban flood risk management in Jakarta, Indonesia. In *The Proceedings of the 9th International Conference of the International Institute for Infrastructure Renewal and Reconstruction* (8-10 July 2013) (pp. 292-299), Queensland University of Technology.
- Uyan, M. (2013). GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapinar region, Konya/Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28: 11-17.