نشریه علمی پدافند غیرعامل

سال دوازدهم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، (پیاپی ۴۷): صص ۶۰-۴۷

علمی- پژوهشی

رتبه‌بندی میزان تاب‌آوری مراکز مهم آسیب‌پذیر از سیلاب با استفاده از روش ترکیبی AHP-TOPSIS (مطالعه موردی شهر همدان)

بیتا روحی[۱]، مهناز میرزا ابراهیم طهرانی[۲*]، علیرضا استعلاجی[۳]، محمدرضا فرزاد بهتاش[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۲۳

چکیده

برای کاهش اثرات جانی و مالی فجایع طبیعی به بررسی تاب‌آوری مناطق شهری پرداخته می‌شود. یکی از اصول تاب‌آورسازی شهرها، ارتقا تاب‌آوری زیرساخت در حوادث و سوانح طبیعی است. در این راستا یکی از گام‌های اساسی، تاب‌آوری مراکز کلیدی شهرهاست. از این‌رو در این پژوهش با استفاده از روش ترکیبی AHP و تاپسیس به اندازه‌گیری تاب‌آوری ساختمان‌های آسیب‌پذیر از سیلاب پرداخته می‌شود. مقاله حاضر با استفاده از روش توصیفی تحلیلی، پس از جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز ابتدا به معیارها و زیر معیارهای تأثیرگذار در رتبه‌بندی تاب‌آوری ساختمان‌ها در برابر سیل، دست پیدا کرده و سپس وزن نهایی هر یک از مراکز مهم آسیب‌پذیر شهر محاسبه گردید و با روش تاپسیس نیز گزینه‌ها رتبه‌بندی شدند. نتایج رتبه‌بندی مراکز مهم آسیب‌پذیر شهر همدان در برابر سیلاب نشان می‌دهد، دانشگاه صنعتی با وزن ۱,۰۰۰، دانشگاه پیام نور ۰,۵۲۰، هتل امیران ۰,۲۹۷، دانشگاه معماری و هنر ۰,۲۷۳ و مرکز انتقال خون ۰,۱۵۳ به ترتیب ساختمان‌های کلیدی آسیب‌پذیر از سیلاب شهر همدان می‌باشند. مرکز انتقال خون دارای کمترین میزان تاب‌آوری و دانشگاه صنعتی دارای بیشترین میزان تاب‌آوری است.

کلیدواژه‌ها: تاب‌آوری، شاخص‌های تاب‌آوری، سیل، تاپسیس، روش AHP

۱- دانشجوی دکتری مدیریت محیط زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال
۲- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال- نویسنده مسئول: (tehrani.mah@gmail.com)
۳- استاد دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی (ره) شهرری
۴- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

۱- مقدمه

مخاطرات طبیعی می‌تواند در محدوده سکونت انسان اتفاق افتد و زندگی او را تهدید کند و حتی ممکن است آثار جبران‌ناپذیر جانی و مالی به دنبال داشته باشد [۱]، این بلایای طبیعی قدمتی بیش از تاریخ زیست بشر دارد و از آغاز آفرینش تاکنون زمین با آثار فجایع طبیعی از جمله سیل، زلزله، طوفان و غیره مواجه بوده است. امروزه برای کاهش اثرات جانی و مالی این فجایع طبیعی از دانشی به نام مدیریت بحران می‌توان در مدیریت و برنامه‌ریزی شهری بهره جست [۲]. آسیب‌پذیری مراکز کلیدی و ثقل شهری در حوادث و سوانح طبیعی سبب ناکارآمدی آن‌ها و تشدید نارضایتی عمومی و عدم خدمت‌رسانی در حوادث می‌گردد. سیلاب‌های شهری بر اثر تغییرات اقلیمی، رشد شهرنشینی و محدودیت در زهکشی زیرساخت‌های شهری تشدید شده‌اند و طی دهه‌های گذشته اثرات منفی زیادی برجای گذاشته‌اند. لذا بررسی آسیب‌پذیری و یا تاب‌آوری آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به‌منظور تاب‌آورسازی مراکز کلیدی لازم است مراکز مذکور شناسایی شده و آسیب‌پذیری آن‌ها در مخاطرات و تهدیدهای مختلف بررسی گردند. [۳]. پارامترها، متغیرها، معیارها، یا شاخص‌های انتخاب‌شده برای شهرها به اثرات خاصی بستگی دارند که برای هر عامل معماری، بخشی، یا اجتماعی هر منطقه مورد انتظار هستند [۴]. هر مجموعه‌ای از شاخص‌ها مستلزم سازمان‌دهی به همراه فلوچارتی خواهند بود که مشخص می‌کند کدام شاخص‌ها در کدام مرحله از چرخه برآورد/توسعه باید اجرا شوند. تمام شاخص‌ها باید به نوبت مورد استفاده قرار گیرند، چراکه احتمال می‌رود به برآورد کارشناسانه برای مقایسه نتایج شبیه‌سازی/مدل با داده‌های مکان جغرافیایی نیاز باشد تا خطر وقوع سوانح را بتوان تعیین نمود.

از آنجا که بررسی وضعیت آسیب‌پذیری و تاب‌آوری ساختمان‌های شهری به‌ویژه ساختمان‌های کلیدی در مواجهه با سوانح طبیعی از مطالعات ضروری محسوب می‌گردد محققان در تحقیقات خود به آن پرداخته‌اند. برای مثال پورموسوی و همکاران به‌منظور برنامه‌ریزی کاهش آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری در مقابل زلزله، ارزیابی پهنه‌های آسیب‌پذیر شهری را ضروری دانست [۵]. وی با مدل FuzzyAHP و نرم‌افزار GIS به طراحی سناریوهای زلزله در شدت‌های مختلف به‌منظور برآورد آسیب‌پذیری ساختمان‌های منطقه ۳ شهرداری تهران در برابر زلزله پرداخت. نهایتاً نتایج نشان داد بالاترین میزان آسیب‌پذیری بر اساس تعداد ساختمان‌ها به ترتیب در نواحی ۲، ۳، ۵، ۴، ۱ و ۶ منطقه وجود دارد. در مقاله‌ای با عنوان "رویکرد نوین ارزیابی ساختمان‌ها در برابر سیلاب در انگلستان" یک روش جدید که ماهیت آسیب‌پذیری را مطالعه می‌کند ارائه شد و در آن علاوه بر ارزیابی آسیب‌پذیری به ارزیابی اقتصادی و ارزش‌گذاری و حسابداری ساختمان‌های تاریخی پرداخته شد و منحنی‌های شکنندگی برای ساختمان‌های تاریخی در معرض سیلاب نشان داده شد [۶].

در تحقیقی دیگر ضرابی و همکاران کاربری‌های حساس شهر یاسوج (مراکز بهداشتی ـ درمانی، مراکز آموزشی، مراکز نظامی، مراکز تجاری، ایستگاه‌های آتش‌نشانی و امداد و نجات) را مورد بررسی قرار دادند. برای تجزیه و تحلیل اطلاعات از مدل‌های تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، آنتروپی، تاپسیس (TOPSIS) و S-HP استفاده نمودند [۷]. در مطالعه‌ای دیگر الویت‌بندی شاخص‌ها و معیارهای خدمات اکوسیستم با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره آنتروپی و تاپسیس در حوزه آبخیز دارابکلا انجام شد [۸]. در مقاله‌ای با استفاده از روش شبکه سلول پایه متریک به ارزیابی تاب‌آوری حوضه شهری در مقابل سیل اقدام شد. برای شبیه‌سازی سیلاب از مدل CADDIES استفاده شد. بر اساس نتایج حوضه‌های آسیب‌پذیر مشخص شد و اقدام به توسعه راهبردهایی جهت بالابردن تاب‌آوری شهر در مقابل سیلاب شد [۹].

بازنگری پیشینه تحقیقات، کدها و استانداردها، دستورالعمل‌های طراحی و طرح‌های ارزیابی نشان می‌دهند که تعداد شاخص‌های عملیاتی موجود اندک است. در عمل، شاخص‌های مختلفی برای تعیین ویژگی‌های ارزشی تاب‌آوری مطرح شده است. آن‌ها اساساً به دو دسته تقسیم می‌شوند: (۱) پشتکار، مقاومت و استحکام را می‌توان با شاخص‌های مبتنی بر نتیجه ارزیابی کرد که اثربخشی عمل و خط‌مشی را اندازه‌گیری می‌کنند. (۲) سازگاری، پاسخگویی و قابلیت بازیابی را می‌توان با شاخص‌های مبتنی بر فرایند ارزیابی کرد که بر پیشرفت در اجرا نظارت دارند. اما ویژگی‌هایی نظیر افزونگی، تنوع، اتصال و اثرات آبشاری به ندرت مورد توجه‌اند، در این تحقیق ابعاد اصلی سیستم‌ها و ساختمان‌های تاب‌آور که توسط شرکت‌کنندگان در کارگاه رامسس (RAMSES) شناسایی شده، به‌عنوان شاخص‌ها و معیارهای تاب‌آوری استفاده شده است [۱۰] .تاب‌آوری، توانایی x برای پیش‌بینی، جذب، سازش و بازیابی سریع از y تعریف می‌شود. این قابلیت‌های متعدد با مراحل زمانی مختلف متناظر می‌باشند: یک سیستم در طی یک رویداد تنش‌زا مقاومت کرده و

جذب می‌کند و بعد از این رویداد تنش‌زا، بازیابی می‌شود. همه این سه قابلیت، بستگی به توانایی‌های سازش‌پذیری برای پیش‌بینی، پیش‌گیری و آماده‌سازی سیستم که قبل از رویداد رخ می‌دهد بستگی دارد. در تصمیم‌گیری چند شاخصه استفاده از روش‌های ترکیبی بسیار پرکاربرد و حائز اهمیت است و امروزه در بیشتر مقالات و پایان‌نامه‌ها استفاده می‌شود. در واقع استفاده از روش‌ها به‌صورت ترکیبی به علت محدودیت‌هایی است که برای روش‌های تکی به وجود می‌آید. به‌عنوان مثال فرض کنید در یک مساله تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM[1]) ۷ معیار و ۵ گزینه داریم. اگر بخواهیم تنها با روش AHP این مساله را حل کنیم نیازمند یک ماتریس ۷*۷ و ۷ ماتریس ۵*۵ هستیم؛ به عبارتی دیگر اگر این مساله با AHP تنها حل شود ۹۱ مقایسه زوجی خواهیم داشت؛ و این باعث پیچیده شدن مساله، افزایش حجم محاسبات و بی میلی خبرگان در پاسخ به پرسشنامه می‌شود. حال برای حل این مشکل از روش ترکیبی استفاده می‌شود. با دخیل کردن روش تاپسیس (TOPSIS) کار به این‌صورت می‌شود که با روش AHP وزن معیارها محاسبه می‌شود و با روش تاپسیس نیز گزینه‌ها رتبه‌بندی می‌شود. در این حالت تعداد مقایسات زوجی به ۵۶ می‌رسد که بسیار منطقی به نظر می‌رسد که از روش ترکیبی AHP-TOPSIS استفاده شود. هدف از این تحقیق تعیین شاخص‌های تاب‌آوری و نیز رتبه‌بندی این شاخص‌ها توسط روش AHP-TOPSIS است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- بیان مسأله تحقیق

با توجه به اینکه شهرها در درون و مرزهای خود همواره با خطراتی مواجه هستند کلید اصلی در تاب‌آوری شهری این است که سیستم شهری توانایی حفاظت و یا بازگشت به حالت ایده‌آل را در سریع‌ترین زمان ممکن داشته. بر همین اساس تاب‌آوری ساختمان‌های شهری یکی از ضروریات تاب‌آوری شهری است. پدافند غیرعامل راهبردی برای تاب‌آوری در مواجهه با الگوهای آسیب‌پذیری است. در عصر حاضر همسو شدن پیچیدگی‌های حیات شهری در ابعاد مختلف، مخاطرات طبیعی و بحران‌های فنّاورانه از یک سو و بحران‌های اجتماعی، امنیتی از سوی دیگر سبب کاهش تاب‌آوری شهری گردیده است. بر این اساس عدم تاب‌آوری ساختمان‌های مهم تهدید جدی محسوب شده. با توجه به اینکه محدوده شهر همدان در دامنه‌های کوهستان الوند قرار دارد، رواناب‌های این محدوده توسط چندین رودخانه کوچک و بزرگ تخلیه می‌شوند و در مسیر خود از داخل شهر همدان عبور می‌کنند. از آنجا که این رودخانه‌ها از میان بافت متراکم شهری عبور می‌کنند و ساماندهی و افزایش ابعاد و ظرفیت آن با مشکلات احتمالی زیادی همراه خواهد بود و در صورت وقوع سیل پهنه‌های گسترده‌ای از شهر دچار سیل خواهد شد، بر همین اساس شناسایی میزان تاب‌آوری ساختمان‌هایی که در پهنه‌های با خطر بالا قرار دارند از اهمیت زیادی برخوردار است.

۲-۲- روش تحقیق

در این تحقیق، جهت دست‌یابی به تاب‌آوری ساختمان‌های واجد اهمیت در برابر سیل، تجزیه و تحلیل داده‌ها، در هفت مرحله تحقیق انجام می‌شود که شامل موارد ذیل می‌باشد:

۱. شناسایی دارایی‌های واجد اهمیت
۲. مدل‌سازی جریان رودخانه‌ها با استفاده از نرم‌افزار HecRAS
۳. انطباق دارایی‌ها و نتایج مدل‌سازی صورت گرفته از رودخانه‌ها در دوره بازگشت‌های متفاوت
۴. تعیین مؤلفه‌های تاب‌آوری ساختمان
۵. رتبه‌بندی شاخص‌های تاب‌آوری ساختمان‌های کلیدی با استفاده از روش ترکیبی AHP-TOPSIS

- شناسایی دارایی‌های واجد اهمیت

مرحله شناخت و اولویت‌بندی دارایی‌ها شهر یکی از گام‌های اساسی در این پژوهش می‌باشد. چراکه تجزیه‌وتحلیل در گام‌های بعدی تا حدود زیادی بستگی به‌دقت شناخت و اولویت‌بندی دارایی‌ها شهر همدان در این مرحله دارد. بر این اساس، هدف اصلی این بخش، شناسایی دارایی‌هایی است که در صورت خسارت و از بین رفتن، تهدید مهمی برای تأمین اطلاعات و ارتباطات، خدمات و منابع شهر همدان ایجاد می‌کنند. در شناسایی و طبقه‌بندی دارایی‌های شهر همدان از روش تلفیقی یعنی استفاده از نظر مدیران حوزه‌های مختلف مرتبط با امور شهری و منابع علمی معتبر و تجارب موجود استفاده شده است.

- مدل‌سازی جریان رودخانه‌ها با استفاده از نرم‌افزار HecRAS

در این تحقیق دارایی‌های تحت تأثیر تهدید سیلاب بررسی و مطالعه می‌شوند لذا در این بخش به مطالعه‌ی رودخانه‌ها و مدل‌سازی جریان آن‌ها پرداخته خواهد شد. از آنجا که هدف

[1] Multiple-criteria decision analysis

بررسی‌های هیدرولوژیکی، تعیین سیلاب طراحی هر یک از رودخانه‌ها است، برای ایجاد یکپارچگی و انسجام در سیلاب‌های به‌دست آمده، مدل‌سازی یکپارچه کل حوزه‌های آبریز رودخانه‌ها اعم از برون‌شهری و درون‌شهری مورد توجه قرار گرفته است. جهت تعیین پارامترهای هیدرولیکی در طول رودخانه و در مقاطع مختلف، استفاده و انتخاب یکی از نرم‌افزارهای معتبر که معادلات جریان‌های متغیر دائمی یا غیردائمی را حل می‌کنند، اجتناب‌ناپذیر است. حجم بسیار بالای عملیات و اهمیت اطلاعات، دقت در انتخاب را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. در این مطالعات نرم‌افزار Hec-RAS برای مدل‌سازی هیدرولیکی رودخانه‌ها استفاده شده است.

- انطباق دارایی‌ها و مدل‌سازی هیدرولیکی رودخانه‌ها

برای انطباق دارایی‌ها و مدل‌سازی هیدرولیک رودخانه‌ها در GIS از توابع همپوشانی استفاده می‌کند و توابع نقشه‌هایی تولید می‌کند که می‌تواند به سؤالات مورد نظر پاسخ دهد. بر اساس اینکه چه نوع داده‌ای مورد استفاده قرار گیرد و همپوشانی چه هدفی را دنبال می‌کند، انواع روش‌های روی‌هم قرارگیری یا همپوشانی وجود دارد در این تحقیق از همپوشانی برداری (Feature overlay) استفاده شده است. بنابراین در این نوع همپوشانی عوارض جدیدی تولیدشده که ضمن دارا بودن ماهیت عوارض قبلی، ویژگی‌های جدیدی را نیز شامل است.

- تعیین مؤلفه‌های تاب‌آوری ساختمان

شاخص تاب‌آوری، دیگر روش ارزیابی است که توسط آزمایشگاه ملی آرگون برای مقایسه سطح تاب‌آوری زیرساخت‌های مهم و اولویت‌بندی منابع محدود برای بهبود تاب‌آوری توسعه یافته است. این شاخص‌ها به ارزیابی‌های ذهنی متخصصان از سه صفت کلیدی تاب‌آوری "استحکام، تدبیر و بازیابی" منوط است.

استحکام: توانایی حفظ عملیات بحرانی و عملکرد در مواجهه با بحران

تدبیر و کاردانی: توانایی آماده‌سازی، پاسخ و مدیریت یک بحران یا آشفتگی

بازیابی: توانایی بازگشت یا بازسازی عملیات طبیعی به‌طور هر چه سریع و مؤثر [۲۲]

در بخش تحلیل یافته‌های پژوهش ابتدا گویه و ابعاد (پرسشنامه محقق ساخته) بررسی شده‌اند. سپس اثرات تاب‌آوری ساختمان در سیلاب بر هر یک از ابعاد با استفاده از کای اسکوئر سنجش شد، در ادامه عوامل اثرگذار تاب‌آوری ساختمان در سیلاب با استفاده از تحلیل عاملی شناسایی شد و میزان اثرگذاری تاب‌آوری ساختمان در سیلاب بر هر یک از عوامل استخراج شده سنجش شد.

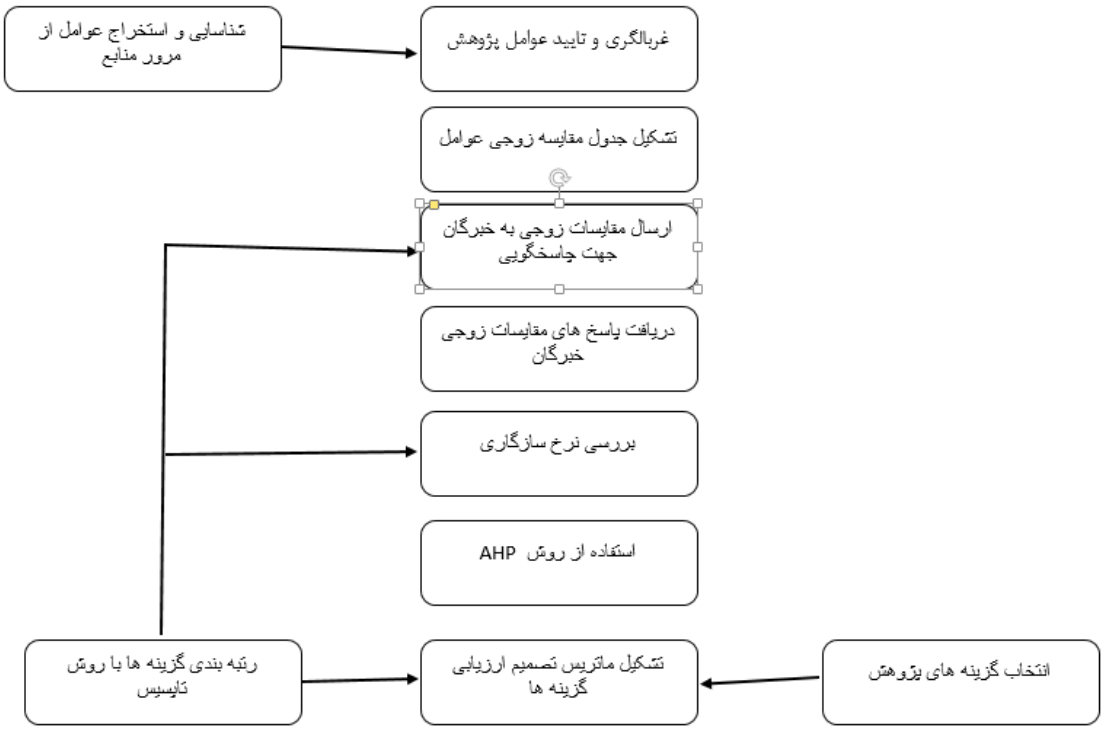
- رتبه‌بندی شاخص‌های تاب‌آوری ساختمان‌های کلیدی با استفاده از روش ترکیبی AHP-TOPSIS

در این تحقیق برای رتبه‌بندی تاب‌آوری ساختمان‌ها در برابر سیل، از روش (AHP) استفاده‌شده است. ازآنجاکه رتبه‌بندی تاب‌آوری ساختمان‌ها نیازمند شناسایی و تجزیه‌وتحلیل معیارها و شاخص‌های متعددی است، بنابراین در این پژوهش ابتدا معیارها و زیرمعیارهای تأثیرگذار در رتبه‌بندی تاب‌آوری ساختمان‌ها در برابر سیل، مشخص‌شده و به دلیل تفاوت در میزان تأثیرگذاری شاخص‌ها، با استفاده از روش (AHP)، مقایسه زوجی این مؤلفه‌ها توسط ۵۰ نفر از کارشناسان باتجربه در زمینه مسائل تاب‌آوری و پدافند غیرعامل انجام گردیده و وزن نهایی هر یک از آن‌ها محاسبه شده است.

۲-۳- معیارها و زیرمعیارهای تأثیرگذار در رتبه‌بندی تاب‌آوری

معیارها و زیر معیارهای سطح‌بندی و ارزیابی دارایی‌ها پس از تنظیم پرسشنامه، توزیع و گردآوری نتایج آن با استفاده از وارد نمودن میانگین حسابی نظرات جامعه نمونه با روش AHP در نرم‌افزار Expert Choice وزن‌دهی و سپس مراکز کلیدی شهر مشخص شده است و با نتایج مطالعه هیدرولوژی درون‌شهری و برون‌شهری و هیدرولیک شبکه و مدل‌سازی رودخانه‌ها در دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS در بستر GISانطباق داده شده است.

الگوریتم کلی روش تاپسیس بر اساس شکل زیر است.



شکل (۱): الگوریتم کلی روش تاپسیس

روش AHP و تاپسیس به نحوی مکمل یکدیگر هستند. اگر بخواهیم تفاوت این دو روش را بیان کنیم ابتدا باید به ویژگی‌های این دو روش بپردازیم. هر دو این روش‌ها جزء روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و زیرشاخصه تصمیم‌گیری چندشاخصه (MADM) هستند. روش AHP در یک مساله تصمیم‌گیری هم می‌تواند معیارها را وزن‌دهی کند و هم می‌تواند گزینه‌های پژوهش را رتبه‌بندی نماید. از طرفی ماتریس تصمیم تاپسیس می‌تواند اعداد واقعی نیز اختیار کند مثلاً اگر یکی از معیارها هزینه باشد می‌توان عدد واقعی هزینه گزینه‌ها را وارد نمود. در صورتی که در ماتریس‌های AHP عدد واقعی مورد استفاده قرار نمی‌گیرد و تنها باید بر اساس طیف‌های کلامی پاسخ داد. یک مورد بسیار مهم که باید در ماتریس تصمیم روش تاپسیس اعمال کرد معیارهای مثبت و منفی است. یعنی کدام معیارها جنبه سود و کدام معیارها جنبه هزینه دارند. برای دانستن این موضوع، اگر افزایش معیار باعث بهبود در سیستم شود آن معیار جنبه مثبت و یا سود دارد و اگر کاهش معیار باعث بهبود در سیستم شود این معیار جنبه هزینه یا منفی دارد [۱۳].

این‌روش بر این مفهوم بنا شده است که هر عامل انتخابی باید کمترین فاصله را با عامل ایده‌آل مثبت (مهم‌ترین) و بیشترین فاصله را با عامل ایده‌آل منفی (کم‌اهمیت‌ترین عامل) داشته باشد.

مهم‌ترین مزیت‌های این‌روش به‌صورت خلاصه عبارت‌اند از: معیارهای کمی و کیفی در ارزیابی به‌صورت هم‌زمان دخالت دارند.

۱) تعداد قابل‌توجهی معیار در نظر گرفته می‌شود.

۲) این‌روش به سادگی و با سرعت مناسب اعمال می‌گردد.

۳) مطلوبیت شاخص‌های مورد نظر در حل مساله به‌طور افزایشی (یا کاهشی) می‌باشد.

۴) اطلاعات ورودی را می‌توان تغییر داد و نحوه پاسخگویی سیستم را بر اساس این تغییر ارزیابی نمود.

۵) اولویت‌بندی در این‌روش با منطق شباهت به جواب ایده‌آل انجام می‌شود، بر این اساس که گزینه‌های انتخابی کوتاه‌ترین فاصله را از جواب ایده‌آل و دورترین فاصله را از بدترین جواب داشته باشند.

۶) اگر بعضی از معیارها از انواع هزینه‌ای باشند و هدف کاهش آن‌ها و برخی دیگر از نوع سود بوده و هدف افزایش آن‌ها باشد، روش تاپسیس به آسانی جواب ایده‌آل که ترکیبی از بهترین مقادیر قابل دست‌یابی همه معیارها می‌باشد را می‌یابد.

۷) روش تاپسیس فاصله بهترین جواب و بدترین جواب را با در نظر گرفتن نزدیکی مبنی بر جواب بهینه، به‌طور هم‌زمان در نظر می‌گیرد.

۸) خروجی می‌تواند اولویت‌ها را به‌صورت کمی بیان کند که در واقع این کمیات، وزن نهایی گزینه‌ها در اولویت‌بندی می‌باشد و از این اوزان می‌توان در حل برنامه‌ریزی خطی یا عدد صحیح به‌عنوان ضرایب تابع هدف استفاده کرد.

در این تحقیق برای رتبه‌بندی تاب‌آوری ساختمان‌ها در برابر سیل، از روش (AHP) استفاده‌شده است. ازآنجا که رتبه‌بندی تاب‌آوری ساختمان‌ها نیازمند شناسایی و تجزیه‌وتحلیل معیارها و شاخص‌های متعددی است، بنابراین در این پژوهش ابتدا معیارها و زیرمعیارهای تأثیرگذار در رتبه‌بندی تاب‌آوری ساختمان‌ها در برابر سیل، مشخص‌شده و به دلیل تفاوت در میزان تأثیرگذاری شاخص‌ها، با استفاده از روش (AHP)، مقایسه زوجی این مؤلفه‌ها توسط ۵۰ نفر از کارشناسان باتجربه در زمینه مسائل تاب‌آوری و پدافند غیرعامل انجام گردیده و وزن نهایی هر یک از آن‌ها محاسبه‌شده است. کارشناسان و محققان، مراحل و گام‌هایی برای اجرای AHP ذکر کرده‌اند که ماهیت و نحوه‌ی اجرای آن‌ها تفاوتی باهم ندارد. در زیر به نمونه‌هایی از آن اشاره می‌شود:

به‌کارگیری این مدل مستلزم چهار گام عمده زیر است:

گام اول: مدل‌سازی.

در این گام، مسئله و هدف از تصمیم‌گیری به‌صورت سلسله‌مراتبی از عناصر تصمیم که باهم در ارتباط هستند، درمی‌آید. عناصر تصمیم شامل شاخص‌های تصمیم‌گیری و گزینه‌های تصمیم است.

گام دوم: قضاوت ترجیحی.

مقایسه بین گزینه‌های مختلف تصمیم، بر اساس هر شاخص صورت گرفته و در مورد اهمیت شاخص تصمیم، با انجام مقایسه زوجی.

گام سوم: محاسبات وزن‌های نسبی.

وزن و اهمیت عناصر تصمیم نسبت به هم از طریق مجموعه‌ای از محاسبات عددی تعیین می‌شود.

گام چهارم: ادغام وزن‌های نسبی. این گام به‌منظور رتبه‌بندی گزینه‌های تصمیم صورت می‌پذیرد [۱۴].

به عبارتی دیگر ترسیم و اجرای فرآیند سلسله‌مراتبی طی شش مرحله اصلی معرفی می‌شود: تشکیل درخت سلسله‌مراتبی، تعیین معیارها، زیرمعیارها و جایگزین‌ها، گردآوری داده‌ها، عملیات محاسبه داده‌ها، تحلیل حساسیت و نرخ ناسازگاری [۱۳].

مقایسه وزن‌دهی به عناصر در یک ماتریس K*K ثبت می‌شود. مقایسه زوجی به‌صورت ارزش‌گذاری عنصر سطر نسبت به عنصر ستون صورت می‌گیرد و برای ارزش‌گذاری نیز معمولاً از یک مقیاس فاصله‌ای از یک تا نه استفاده می‌شود. هر چه مقدار ارزش داده شده، بیشتر باشد نشان‌دهنده اهمیت و ارجحیت بیشتر عنصر سطری به عنصر ستونی است. به‌طوری‌که ارزش نُه بیانگر کاملاً مرجح یا کاملاً مهم‌تر و ارزش یک بیانگر با ارجحیت و اهمیت یکسان است. لازم به ذکر است که ماتریس مقایسه زوجی یک ماتریس معکوس است بدین معنی که اگر ارزش مقایسه‌ای عنصر سطری a نسبت به عنصر ستونی b، معادل نُه باشد ارزش مقایسه‌ای عنصر سطری b نسبت به عنصر ستونی a برابر ۱/۹ خواهد بود [۱۰]. این قضاوت‌ها توسط ستی به مقادیر کمّی بین یک تا نُه تبدیل‌شده‌اند که در جدول (۱) مشخص گردیده‌اند [۱۵].

جدول (۱): مقادیر ترجیحات برای مقایسات زوجی [۱۵] [۱۸]

ترجیحات (قضاوت شفاهی)		مقدار عددی
کاملاً مرجح یا کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر	Extremely Prefered	۹
ترجیح یا اهمیت با مطلوبیت خیلی قوی	VeryStrongly Prefered	۷
ترجیح یا اهمیت با مطلوبیت قوی	Strongly Prefered	۵
کمی مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر	Moderately Prefered	۳
ترجیح یا اهمیت با مطلوبیت یکسان	Equally Prefered	۱
ترجیحات بین فواصل فوق		۸ و ۶ و ۴ و ۲

۲-۴- محدوده مورد مطالعه

استان همدان مساحتی حدود ۱۹۵۴۶ کیلومتر مربع دارد و یکی از نواحی کوهستانی در منطقه غربی کشور محسوب می‌شود. این استان در مختصات جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. شهرستان همدان به‌عنوان پرجمعیت‌ترین شهرستان این استان در بلندای ۱۸۷۰ متری از سطح دریا قرار دارد. داده‌ها و اطلاعات به‌دست آمده از ایستگاه سینوپتیک شهر همدان نشان می‌دهد که بیشترین میانگین دمای سالانه در این ایستگاه، ۲۱/۸ درجه و در سال ۱۳۹۴ و کمترین آن ۳/۳ درجه در سال ۱۳۹۲ رخ داده است. از سوی دیگر بیشترین میانگین حداکثر سالیانه دما با ۴۰ درجه سانتی‌گراد در سال ۱۳۹۵ و کمترین میانگین حداقل دما با ۳۲/۸- درجه سانتی‌گراد در سال ۱۳۹۵ به وقوع پیوسته است. در میانگین ۱۰ ساله بارش این استان، فصل پاییز با ۸۸/۵۵ میلی‌متر رتبه اول، بهار و زمستان هرکدام به ترتیب با ۸۴/۴۳ و ۶۸/۰۶ رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند. در این میان فصل تابستان با متوسط ۷/۴۴ میلی‌متر خشک‌ترین فصل سال محسوب می‌شود. به‌جز تابستان، تمامی فصول همدان با باران دست و پنجه نرم می‌کند. در این زمینه سازمان مدیریت بحران همدان باید هوشیار بوده و با هماهنگی با سایر ارگان‌های شهری تمهیداتی از جمله: معرفی سامانه‌های هشداردهنده سیل، ساخت سازه‌ها با ارتفاع بالاتر از سطح سیل، افزایش هزینه‌های مقابله در برابر سیل، حفاظت از تالاب‌ها و معرفی گیاهان و درختان در مهار سیل، بازگرداندن رودخانه‌ها به حالت طبیعی خود و لایروبی بستر رودخانه‌ها و ... اتخاذ نماید.

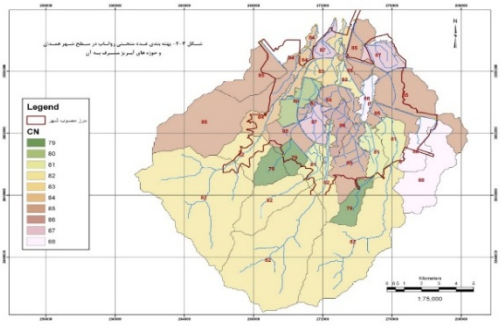
بیشترین طبقات مختلف شیب همدان بین صفر تا دو درجه می‌باشد که شیب قابل قبولی از منظر پدافند غیرعامل است. هرچند باید در نقاطی که شیب آن صفر است احتمال جمع شدن آب باران و عدم هدایت آب به سمت جوی‌ها شده که سبب آبگرفتگی معابر شده و در این نقاط باید تمهداتی جهت شیب ملایم ایجاد گردد. موقعیت نسبی همدان را می‌توان با ارتفاعات الوند توجیه کرد. بدین‌صورت که این شهر در جبهه‌های شرقی کوه های مرتفع الوند استقرار یافته به نحوی که غرب و جنوب غربی و جنوب این شهر تاریخی را کوه‌های همیشه جاوید الوند محاصره کرده و همانند نگین شهر را در برگرفته است [۱۱]. موقعیت جغرافیایی استان همدان و شهرستان همدان در شکل (۲) نشان داده شده است.

لایه‌های دارایی‌های شهر همدان و رودخانه‌های شهر در بستر GIS انطباق داده شده و نقشه خروجی آن شکل (۳) می‌باشد.

برای تعیین مقدار عدد منحنی رواناب CN در سطح شهر همدان، نقشه‌های حوزه بندی سطح شهر و نقشه‌های کاربری اراضی شهر همدان با استفاده از فنون GIS با هم تلفیق و میزان سطوح هر کاربری در هر حوزه، محاسبه گردید (شکل ۴). سپس به کمک جدول استاندارد مقادیر CN، به هر یک از کاربری‌ها یک CN اختصاص داده شد و CN متوسط وزنی در هر حوزه محاسبه گردید. برای انتخاب CN هر کاربری، گروه هیدرولوژیک خاک بر اساس مندرجات گزارش هیدرولوژی حوزه‌های برون‌شهری برابر B در نظر گرفته می‌شود.

شکل (۲): موقعیت جغرافیایی شهرستان همدان [۱۲]

شکل (۳): نقشه لایه‌های دارایی‌های شهر همدان و رودخانه‌های شهر



نقشه (۴): پهنه‌بندی عدد منحنی رواناب (**CN**) در سطح شهر همدان و حوزه‌های آبریز مشرف به آن

۲-۵- میانگین بردار ناسازگاری

با توجه به اینکه ماتریس مقایسه زوجی معلوم است و بردار اولویت محاسبه‌شده است، مجهول این رابطه، بردار بیشترین مقادیر ویژه است که در این مرحله محاسبه می‌شود. از طرفی $\max\lambda$ نهایی با میانگین‌گیری از مقادیر بردار زیر محاسبه می‌شود.

$$\boldsymbol{\lambda}\ \max=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}\frac{aw}{w} \qquad (۱)$$

$\max\lambda$: میانگین بردار ناسازگاری

a: میانگین هندسی ماتریس ij (یک سطح افقی)

wij: وزن یا اولویت جایگزین ij(یک سطح افقی)

N: تعداد جایگزین‌های مورد مقایسه

$\max\lambda$ همواره بزرگ‌تر یا مساوی n است و اگر ماتریس از حالت سازگاری کمی فاصله بگیرد $\max\lambda$ از n فاصله خواهد گرفت. این تفاضل $\max\lambda$ و n می‌تواند معیار خوبی برای اندازه‌گیری ناسازگاری ماتریس باشباشد [].

$$\mathrm{I.I}=\frac{\sum\lambda\max-\mathrm{n}}{\mathrm{n}-1} \qquad (۲)$$

در رابطه‌ی بالا، $\lambda\max$ عنصر بردار ویژه و n تعداد معیارهاست. عنصر بردار ویژه از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید:

رابطه (۳) وزن معیار/ سطر ماتریس ارزش‌گذاری × ستون وزن‌ها = $\max\lambda$

مقادیر شاخص ناسازگاری را برای ماتریس‌هایی که اعداد آن‌ها کاملاً تصادفی اختیار شده باشند، محاسبه کرده‌اند و آن را شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی نام نهاده‌اند که با توجه به جدول (۲) به‌دست می‌آید.

جدول (۲): شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی [۱۵]

تعداد معیار	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
I.I.R	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۵

۲-۶- محاسبه نرخ ناسازگاری

نرخ ناسازگاری ساز و کاری است که به‌وسیله آن اعتبار پاسخ پرسش‌شوندگان به ماتریس‌های مقایسه‌ای مورد سنجش قرار می‌گیرد. این ساز و کار معین می‌کند که پاسخ پرسش‌شوندگان به مقایسه زیرمعیارها با جایگزین‌ها چه اندازه اعتبار منطقی دارد. محاسبه نرخ ناسازگاری طی شش مرحله انجام خواهد گرفت. این مراحل شامل بردار مجموعه وزنی، بردار ناسازگاری، میانگین بردار ناسازگاری، شاخص ناسازگاری، شاخص ناسازگاری تصادفی و نرخ ناسازگاری می‌باشد. برای کوتاه کردن مسیر، عملیات محاسبه مربوط به بردار مجموعه وزنی، بردار ناسازگاری و میانگین بردار ناسازگاری با یک عملیات انجام می‌شود [۱۳].

برای هر ماتریس، حاصل تقسیم شاخص ناسازگاری بر شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی هم بُعدش معیار مناسبی برای قضاوت در مورد ناسازگاری می‌باشد که آن را نرخ ناسازگاری می‌نامیم [۱۵].

$$\mathrm{IR}=\frac{\mathrm{I.I}}{\mathrm{I.I.R}} \qquad (۳)$$

میزان قابل‌قبول ناسازگاری یک ماتریس یا سیستم، بستگی به تصمیم‌گیرنده دارد، اما ساعتی، عدد ۰/۱ را به‌عنوان حد قابل‌قبول ارائه می‌نماید و معتقد است چنانچه میزان ناسازگاری بیشتر از ۰/۱ باشد، بهتر است در قضاوت‌ها تجدیدنظر گردد [۱۵].

بعد از تعیین اهمیت وزن معیارها جهت تعیین رتبه‌بندی تاب‌آوری ساختمان‌ها در برابر سیل ضروری است که از یکی از مدل‌های رتبه‌بندی استفاده شود که در این تحقیق نیز از مدل Topsis استفاده شده است.

مدل تاپسیس، توسط وانگ و یون در سال ۱۹۸۱، پیشنهاد شد [۱۶]. این مدل، یکی از بهترین مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است و از آن، استفاده‌ی زیادی می‌شود، در این‌روش نیز مانند سایر روش‌های MADM، **m** گزینه به‌وسیله **n** شاخص مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. اساس این‌روش، بر این مفهوم استوار است که گزینه انتخابی، باید کمترین فاصله را با راه‌حل آیده‌آل مثبت (بهترین حالت ممکن) و بیشترین فاصله را با راه‌حل ایده‌ال منفی (بدترین حالت ممکن) داشته باشد. فرض بر این است که مطلوبیت هر شاخص، به‌طور یکنواخت افزایشی یا کاهشی است. حل مسئله با این‌روش مستلزم طی شش گام زیر است [۱۷].

کمی کردن و بی مقیاس‌سازی ماتریس تصمیم (**N**): برای مقیاس‌سازی، از بی مقیاس‌سازی نورم استفاده می‌شود.

$$n_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=0}^{n} X_{ij}}} \quad (۴)$$

به‌دست آوردن ماتریس بی مقیاس موزون (V): ماتریس بی مقیاس (**N**) را در ماتریس قطری وزن‌ها ($\boldsymbol{W_{m\times n}}$) ضرب می‌کنیم.

$$V = W \times N_{m\times n} \quad (۵)$$

تعیین راه‌حل ایده‌آل مثبت و راه‌حل ایده‌آل منفی: راه‌حل ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی، به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

{بردار بهترین هر شاخص ماتریس **V** }=راه‌حل ایده‌آل مثبت (+^**V_j**)

{بردار بدترین هر شاخص ماتریس **V** }=راه‌حل ایده‌آل منفی (-^**V_j**)

بهترین مقدار برای شاخص‌های مثبت، بزرگ‌ترین مقادیر و برای شاخص‌های منفی، کوچک‌ترین مقادیر است و بدترین برای شاخص‌های مثبت، کوچک‌ترین مقادیر و برای شاخص‌های منفی بزرگ‌ترین مقادیر است.

به‌دست آوردن میزان فاصله هر گزینه تا ایده‌آل مثبت و منفی: فاصله اقلیدسی هر گزینه تا ایده‌آل مثبت (+^**d_j**) و فاصله هر گزینه تا ایده‌آل منفی (-^**d_j**).

بر اساس روابط (۶ و ۷) زیر حساب می‌شود:

$$\mathbf{d_j^+} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}\left(V_{ij} - V_j^+\right)^2} \qquad \mathbf{i=1,2,\ldots,n} \quad (۶)$$

$$\mathbf{d_j^+} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}\left(V_{ij} - V_j^-\right)^2} \qquad \mathbf{i=1,2,\ldots,n} \quad (۷)$$

تاپسیس که در گروه جبرانی روش‌های تصمیم‌گیری قرار دارد، بر این مفهوم که گزینه انتخابی باید کمترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل منفی داشته باشد، استوار است. وجود روند یکنواخت افزایشی و کاهشی در شاخص‌های مثبت و منفی از جمله ویژگی‌های تاپسیس در تعیین نقاط ایده‌آل مثبت و منفی است.

سپس به تعیین نزدیکی نسبی (CL) یک گزینه به راه‌حل ایده‌آل به کمک رابطه (۸) پرداخته می‌شود:

$$CL = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (۸)$$

۳- یافته‌ها و بحث

در این تحقیق مراکز کلیدی شهر مرکز انتقال خون، دانشگاه صنعتی، دانشگاه معماری و هنر، دانشگاه پیام نور و هتل امیران است.

ناسازگاری با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice11 به‌دست آمد که برابر با ۰/۰۶ شد و ازاین‌رو سطح قابل‌قبولی را در مقایسه‌های زوجی معیارها نشان می‌دهد.

همان‌طور که در جدول (۳) نشان داده شده است شاخص‌های افزونگی تعادل با اثرات بالقوه آبشاری با مقدار ۰/۰۷۷ و ظرفیت عملکرد با وزن ۰/۰۵۶ و شاخص جایگزینی سیستم هایا عوامل سیستم ها با وزن ۰/۰۵۴ دارای بیشترین وزن هستند و شاخص‌های یادگیری از تجربیات و شکست‌های گذشته و استفاده از اطلاعات و تجربه برای ایجاد سازگاری تازه و مقاومت در برابر سطحی از تنش با وزن ۰/۰۰۳ دارای کمترین وزن در تعیین تاب‌آوری ساختمان‌ها در برابر سیل هستند.

جدول (۳): وزن‌دهی شاخص‌ها

ردیف‌ها	مؤلفه‌های تاب‌آوری	زیر مؤلفه‌های تاب‌آوری	وزن‌ها
۱	سازگاری – انعطاف‌پذیری	تغییر ضمن حفظ یا بهبود کارایی	۰/۰۴۹
		تکامل	۰/۰۴۵
		اتخاذ سریع راهبردهای جایگزین	۰/۰۵
		پاسخ به موقع به شرایط متغیر	۰/۰۲۷
		طراحی باز و ساختارهای انعطاف‌پذیر	۰/۰۴۹
۲	اتصال – بازخورد – ایمنی-شکست	جذب شوک	۰/۰۰۷
		جذب اثرات تجمعی چالش‌های با شروع آهسته	۰/۰۱۲
		اجتناب از شکست فاجعه‌بار در صورت فراتر رفتن از آستانه	۰/۰۰۷
		شکست تدریجی به‌جای ناگهانی	۰/۰۱۳

ردیف‌ها	مؤلفه‌های تاب‌آوری	زیر مؤلفه‌های تاب‌آوری	وزن‌ها
		شکست بدون اثرات آبشاری (اثردمینو)	۰/۰۲۴
		تجزیه و تحلیل به‌صورت جفت سیستم فناوری - انسان	۰/۰۰۵
		شناسایی اثرات قفل کننده و تناقض‌های احتمالی با کاهش	۰/۰۱۴
		شناسایی هم‌افزایی با دیگر خط‌مشی‌های شهر، برآورد ارزش افزوده	۰/۰۱۵
۳	وابستگی به اکوسیستم‌های محلی	کنترل سیلاب	۰/۰۱۲
		طراحی و مدیریت زیست – اقلیمی	۰/۰۰۶
۴	تنوع	تنوع فضایی – دارایی‌های کلیدی و وظایفی که به‌صورت فیزیکی توزیع شده و تمام آن در هر زمانی تحت تأثیر رویداد مشخصی قرار نمی‌گیرد	۰/۰۱۴۶
		تنوع عملکردی-روشهای چندگانه برخورد با یک نیاز بخصوص	۰/۰۲۱
		تنوع تعادل با اثرات بالقوه آبشاری	۰/۰۱۳
۵	یادگیری-حافظه – پیش‌بینی	یادگیری از تجربیات و شکست‌های گذشته	۰/۰۰۳
		استفاده از اطلاعات و تجربه برای ایجاد سازگاری تازه	۰/۰۰۳
		اجتناب از تکرار اشتباهات گذشته	۰/۰۰۵
		جمع‌آوری، ذخیره و به اشتراک گذاشتن تجربه	۰/۰۰۹
		ساخت و ساز بر اساس ارزش بلند مدت و پیشینه شهر	۰/۰۰۷
		ادغام تاب‌آوری در سناریوهای توسعه بلند مدت	۰/۰۲
۶	عملکرد	ظرفیت عملکرد	۰/۰۵۶
		کیفیت سیستم به یک روش مناسب و کارآمد	۰/۰۱۳
		خودکفایی- کاهش وابستگی خارجی	۰/۰۱۹
		نسبت به سایر ساختمان‌ها عملکرد بهتری دارد	۰/۰۳۹
۷	سرعت پاسخگویی	در برگرفتن تلفات، شامل مرگ و میر و بیماری	۰/۰۰۷
		سازمان‌دهی مجدد	۰/۰۱۵
		حفظ عملکرد و برقراری دوباره آن	۰/۰۳۲
		بازگردان ساختار	۰/۰۱۷
		برقراری نظم عمومی	۰/۰۱۳
		جلوگیری از اختلال در آینده	۰/۰۰۵
۸	افزونگی- قطعه‌بندی	جایگزینی سیستم هایا عوامل سیستم ها	۰/۰۵۴
		بافر از شوک‌های خارجی یا تغییر در تقاضاها	۰/۰۱۳
		جایگزین کردن اجزا با قطعات مدولار	۰/۰۲۶
		افزونگی تعادل با اثرات بالقوه آبشاری	۰/۰۷۷
۹	تدبیر	شناسایی و پیش‌بینی مشکلات	۰/۰۱۳
		اولویت قرار دادن	۰/۰۱۱
		بسیج منابع تجسم، برنامه‌ریزی، همکاری و عمل	۰/۰۱۴
		ارزیابی مجدد	۰/۰۰۶
		یکپارچه کردن تاب‌آوری در فرآیندهای کاری و اداره	۰/۰۵۲
		همکاری گرفتن از شهروندان	۰/۰۳
۱۰	استحکام	مقاومت در برابر سطحی از تنش	۰/۰۰۳
		بدون تخریب و از دست رفتن عملکرد	۰/۰۱۵
		ظرفیت‌هایی که حاشیه‌های کافی را تضمین می‌کنند	۰/۰۰۶

پس از تعیین اهمیت وزن معیارها برای تعیین رتبه‌بندی تاب‌آوری ساختمان‌ها در برابر سیل از مدل Topsis استفاده شده است.

بنا به جدول ایده‌آل مثبت و منفی (جدول ۴)، بیشترین مقدار ایده‌آل مثبت مربوط به شاخص افزونگی تعادل با اثرات بالقوه آبشاری است که مقدار آن برابر ۰,۲۵۷ است و کمترین مقدار ایده‌آل منفی هم مربوط به شاخص مقاومت در برابر سطحی از تنش است که مقدار آن برابر ۰,۰۰۲ است.

جدول (۴): ایده‌آل مثبت و منفی

شناسایی اثرات قفل کننده و تناقض‌های احتمالی با کاهش	تجزیه و تحلیل به‌صورت جفت سیستم فناوری – انسان	شکست بدون اثرات آبشاری (اثر دمینو)	شکست تدریجی به‌جای ناگهانی	اجتناب از شکست فاجعه‌بار در صورت فراتر رفتن از آستانه	جذب اثرات تجمعی چالش‌های با شروع آهسته	جذب شوک	طراحی باز و ساختارهای انعطاف‌پذیر	پاسخ به موقع به شرایط متغیر	اتخاذ سریع راهبردهای جایگزین	تکامل	تغییر ضمن حفظ یا بهبود کارایی	
۰/۰۳۶۹	۰/۰۰۹۰	۰/۰۸۰۹	۰/۰۴۳۵	۰/۰۲۳۶	۰/۰۴۰۱	۰/۰۲۳۴	۰/۱۲۶۹	۰/۰۶۹۹	۰/۲۰۳۴	۰/۱۱۶۵	۰/۱۶۳۸	A+
۰/۰۱۲۳	۰/۰۰۴۵	۰/۰۲۰۲	۰/۰۱۰۹	۰/۰۰۵۹	۰/۰۱۰۰	۰/۰۰۵۹	۰/۰۴۲۳	۰/۰۲۳۳	۰/۰۴۰۷	۰/۰۳۸۸	۰/۰۴۱۰	A-
ادغام تاب‌آوری در سناریوهای توسعه بلند مدت	ساخت و ساز بر اساس ارزش بلند مدت و پیشینه شهر	جمع‌آوری، ذخیره و به اشتراک گذاشتن تجربه	اجتناب از تکرار اشتباهات گذشته	استفاده از اطلاعات و تجربه برای ایجاد سازگاری تازه	یادگیری از تجربیات و شکست‌های گذشته	تنوع تعادل با اثرات بالقوه آبشاری	تنوع عملکردی-روشهای چندگانه برخورد با یک نیاز بخصوص تنوع فضایی – دارایی‌های کلیدی و وظایفی که به‌صورت فیزیکی توزیع شده و تمام آن در هر زمانی تحت تأثیر رویداد مشخصی قرار نمی‌گیرد	طراحی و مدیریت زیست - اقلیمی	کنترل سیلاب	شناسایی هم‌افزایی با دیگر خط‌مشی‌های شهر، برآورد ارزش افزوده	
۰/۰۵۲۸	۰/۰۰۶۵	۰/۰۰۸۳	۰/۰۱۳۲	۰/۰۰۷۹	۰/۰۰۷۹	۰/۰۴۲۹	۰/۰۶۹۱	۰/۰۴۸۸	۰/۰۱۰۸	۰/۰۳۱۷	۰/۰۲۷۰	A+
۰/۰۱۷۶	۰/۰۰۶۵	۰/۰۰۸۳	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۲۶	۰/۰۱۰۷	۰/۰۱۷۳	۰/۰۱۲۲	۰/۰۰۵۴	۰/۰۱۰۶	۰/۰۱۳۵	A-
باور از شوک‌های خارجی یا تغییر در تقاضاها	جایگزینی سیستم‌ها با عوامل سیستم‌ها	جلوگیری از اختلال در آینده	برقراری نظم عمومی	بازگردان ساختار	حفظ عملکرد و برقراری دوباره آن	سازمان‌دهی مجدد	در برگرفتن تلفات، شامل مرگ و میر و بیماری	نسبت به سایر ساختمان‌ها عملکرد بهتری دارد	خودکفایی - کاهش وابستگی خارجی	کیفیت سیستم	ظرفیت عملکرد	
۰/۰۴۲۴	۰/۱۷۷۶	۰/۰۱۶۷	۰/۰۴۳۱	۰/۰۵۶۸	۰/۱۰۴۵	۰/۰۵۰۲	۰/۰۲۷۹	۰/۱۳۱۴	۰/۰۶۲۰	۰/۰۴۲۴	۰/۱۸۶۵	A+
۰/۰۱۰۶	۰/۰۴۲۴	۰/۰۰۴۲	۰/۰۱۰۸	۰/۰۱۴۲	۰/۰۲۶۱	۰/۰۱۲۵	۰/۰۰۵۶	۰/۰۳۲۸	۰/۰۱۵۵	۰/۰۱۰۶	۰/۰۴۶۶	A-

	ظرفیت‌هایی که حاشیه‌های کافی را تضمین می‌کنند	بدون تخریب و از دست رفتن عملکرد	مقاومت در برابر سطحی از تنش	همکاری گرفتن از شهروندان	یکپارچه کردن تاب‌آوری در فرآیندهای کاری و اداره	ارزیابی مجدد	بسیج منابع، تجسم، برنامه‌ریزی، همکاری و عمل	اولویت قرار دادن	شناسایی و پیش‌بینی مشکلات	افزونگی تعادل با اثرات بالقوه آبشاری	جایگزین کردن اجزا با قطعات مدولار	
A+	۰/۰۱۵۴	۰/۰۴۹۷	۰/۰۱۲۲	۰/۰۲۷۷	۰/۰۹۳۷	۰/۰۱۰۸	۰/۰۲۵۲	۰/۰۲۹۰	۰/۰۳۴۳	۰/۰۲۵۷۵	۰/۰۸۵۵	
A-	۰/۰۰۵۱	۰/۰۱۲۴	**۰/۰۰۲۴**	۰/۰۲۷۷	۰/۰۴۶۹	۰/۰۰۵۴	۰/۰۱۲۶	۰/۰۰۹۷	۰/۰۱۱۴	۰/۰۶۴۴	۰/۰۲۱۴	

در جدول (۵) فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی ساختمان‌ها نشان داده شده است.

جدول (۵): فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی ساختمان‌ها

فاصله از ایده‌آل منفی -d	فاصله از ایده‌آل مثبت +d	گزینه
۰/۰۰۰	۰/۴۲۴	**انتقال خون**
۰/۲۳۹	۰/۰۰۰	**دانشگاه صنعتی**
۰/۱۲۲	۰/۳۲۴	**دانشگاه معماری و هنر**
۰/۱۶۰	۰/۱۴۷	**دانشگاه پیام نور**
۰/۱۱۰	۰/۲۶۲	**هتل امیران**

همان‌طور که جدول (۵) نشان داده است دانشگاه صنعتی دارای کمترین فاصله از ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله از ایده‌آل منفی است.

تعیین نزدیکی نسبی (CL) یک گزینه به راه‌حل ایده‌آل:

جدول (۶): رتبه‌بندی نهایی تاب‌آوری ساختمان‌ها

رتبه ساختمان‌ها	مقدار نهایی رتبه‌بندی	گزینه
۵	۰/۱۵۳	**انتقال خون**
۱	۱/۰۰۰	**دانشگاه صنعتی**
۴	۰/۲۷۳	**دانشگاه معماری و هنر**
۲	۰/۵۲۰	**دانشگاه پیام نور**
۳	۰/۲۹۷	**هتل امیران**

همان‌طور که در جدول رتبه‌بندی نشان داده شده است ساختمان دانشگاه صنعتی با مقدار CL یک به‌عنوان تاب‌آورترین ساختمان شناسایی شده و ساختمان دانشگاه پیام نور در رتبه دوم، ساختمان هتل امیران در رتبه سوم، دانشگاه معماری و هنر در رتبه چهارم و ساختمان انتقال خون با مقدار CL برابر ۰/۱۵۳ در رتبه پنجم تاب‌آوری قرار دارد و دارای کمترین میزان تاب‌آوری در بین ۵ ساختمان مورد مطالعه است.

۴- نتیجه‌گیری

یکی از اصول تاب‌آورسازی شهرها، ارتقا تاب‌آوری زیرساخت در حوادث و سوانح طبیعی است. در این راستا یکی از گام‌های اساسی، تاب‌آوری مراکز کلیدی شهرهاست. از این‌رو در این پژوهش با استفاده از روش ترکیبی AHP و تاپسیس به اندازه‌گیری تاب‌آوری ساختمان‌های آسیب‌پذیر از سیلاب پرداخته

می‌شود. ازآنجاکه اندازه‌گیری تاب‌آوری ساختمان‌ها نیازمند شناسایی و تجزیه‌وتحلیل معیارها و شاخص‌های متعددی است، بنابراین در این پژوهش ابتدا معیارها و زیرمعیارهای تأثیرگذار در رتبه‌بندی تاب‌آوری ساختمان‌ها در برابر سیل، مشخص‌شده و به دلیل تفاوت در میزان تأثیرگذاری شاخص‌ها، با استفاده از روش (AHP)، مقایسه زوجی این مؤلفه‌ها توسط کارشناسان باتجربه در زمینه مسائل تاب‌آوری و پدافند غیرعامل انجام گردیده و وزن نهایی هر یک از آن‌ها محاسبه گردیده است. نتایج نشان داد شاخص‌های افزونگی تعادل با اثرات بالقوه آبشاری با مقدار ۰,۰۷۷ و ظرفیت عملکرد با وزن ۰/۰۵۶ و شاخص جایگزینی سیستم‌ها یا عوامل سیستم‌ها با وزن ۰/۰۵۴ دارای بیشترین وزن هستند و شاخص‌های یادگیری از تجربیات و شکست‌های گذشته و استفاده از اطلاعات و تجربه برای ایجاد سازگاری تازه و مقاومت در برابر سطحی از تنش با وزن ۰/۰۰۳ دارای کمترین وزن در تعیین تاب‌آوری ساختمان‌ها در برابر سیل هستند. سپس با روش تاپسیس نیز گزینه‌ها رتبه‌بندی شدند. بر اساس این پژوهش شاخص‌های تاب‌آوری ساختمان‌های کلیدی آسیب‌پذیر از سیلاب شهر همدان رتبه‌بندی شدند. دانشگاه صنعتی دارای کمترین فاصله از ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله از ایده‌آل منفی است. در نهایت رتبه‌بندی مراکز کلیدی شهر همدان در برابر سیلاب به ترتیب به‌صورت زیر است: دانشگاه صنعتی، دانشگاه پیام نور، هتل امیران، دانشگاه معماری و هنر و مرکز انتقال خون. مرکز انتقال خون دارای کمترین میزان تاب‌آوری و دانشگاه صنعتی دارای بیشترین میزان تاب‌آوری است.

در مطالعات تکمیلی و تأییدی این پژوهش می‌توان برای تاب‌آورسازی ساختمان‌های احصا شده، اثرات تاب‌آوری ساختمان در سیلاب بر هر یک از ابعاد با استفاده از کای اسکوئر سنجش شده و عوامل اثرگذار تاب‌آوری ساختمان در سیلاب با استفاده از تحلیل عاملی شناسایی شده و میزان اثرگذاری تاب‌آوری ساختمان در سیلاب بر هر یک از عوامل استخراج و سنجش شود.

۵- دسترسی به داده‌ها

۱- داده‌های استفاده شده (یا تولید شده) در این تحقیق در متن مقاله ارائه شده است. ولیکن داده‌ها حسب درخواست، از طرف نویسنده مسئول از طریق ایمیل قابل تکمیل و ارسال می‌باشد.

۶- مراجع

[1] J. Vrba, and A. Zoporozec, “Guidebook on mapping groundwater vulnerability”, International Contribution for Hydrogeology, vol. 16. 1994.

[2] F. Paul, A. Kääb and W. Haeberli, “Recent glacier changes in the Alps observed by satellite:Consequences for future monitoring strategies”, Global and Planetary Change, vol. 56, pp. 111-122, 2007.

[3] T. L. Saaty, “Decision making with the analytic hierarchy process”, International journal of services sciences, vol. 1, no. 1, pp. 83-98. 2008.

[4] K. Smith, “Environmental hazards: assessing risk and reducing disaster”, Routledge, 2013.

[5] S. Pourmousavi, A. Shamaee, and M. Ahadnejad, “Vulnerability assessment of city buildings with Fuzzy AHP and GIS model Case study: District 3 of Tehran Municipality”, Geography and development, vol. 12, no. 34, pp. 121-138, 2014.

[6] V. Stephenson, and D. A. D'ayala, “new approach to flood vulnerability assessment for historic buildings in England”, Natural Hazards and Earth System Sciences, vol. 14, no. 5, pp. 1035-1048, 2014.

[7] M. Pirikia, A. Fallah, and H. Amirnejad, “The Identification and prioritization of criteria and indicators for Assessment of Multiple Ecosystem Services using of multi-criteria decision making techniques Entropy and TOPSIS in Darabkola Watershed”, Natural ecosystems of Iran, vol. 9, no. 3, pp. 79-100, 2018.

[8] Y. Wang, F. Meng, H. Liu, C. Zhang, and G. Fu, “Assessing catchment scale flood resilience of urban areas using a grid cell based metric”, Water research, vol. 163, p.114852, 2019.

[9] A. Faisal, J. N. Albrecht, and W. J.. Coetzee, “Renegotiating organisational crisis management in urban tourism: strategic imperatives of niche construction”, International Journal of Tourism Cities. 2020.

[10] R. Abd, H. Zati et al. “Application Of Topsis Analysis method in financial performance evaluation: a case study of construction sector in Malaysia. Advances in Business Research International Journal, vol. 6, no. 1, pp. 1-9, 2020.

۱۱. بسطامی، اسماعیل، جوادزاده، محمدعلی، تحلیل مرکزیت شبکه-های اجتماعی در فضای سایبری با رویکرد مقابله با تهدیدات نرم، فصلنامه پدافند غیرعامل، شماره ۲۳، صص. ۶۹-۷۸، ۱۳۹۴.

۱۲. قدسی‌پور، حسن، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)، مرکز نشر، ۱۳۷۹.

۱۳. احمدی، ح.، محمدخان، ش.، فیض نیا، س.، قدوسی، ج.، ساخت مدل منطقه‌ای خطر حرکت‌های توده‌ای با استفاده از ویژگی‌های کیفی و تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها (AHP) مطالعه موردی حوزه آبخیز طالقان، منابع طبیعی ایران، سال ۵۸، شماره ۱، صص ۱۴-۳، ۱۳۸۴.

۱۴. محمدیان، ف.، شاهنوشی فروشانی، ن.، قربانی، م.، عاقل، ح.، انتخاب الگوی کشت بالقوه محصولات زراعی بر اساس روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) (مطالعه موردی: دشت تربت جام)، دانش کشاورزی و تولید پایدار (دانش کشاورزی)، صص. ۱۸۷-۱۶۹، ۱۳۸۸.

۱۵. کرم، ا.، محمدی، ا.، ارزیابی و پهنه بندی تناسب زمین برای توسعه فیزیکی شهر کرج و اراضی پیرامونی برپایه فاکتورهای طبیعی و روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، جغرافیای طبیعی سال ۱۴، صص ۷۴-۵۴، ۱۳۸۸.

۱۶. شادمانی، م.، معروفی، ص.، محمدی، ک.، سبزی پرور، ع.، مدل‌سازی منطقه‌ای دبی سیلابی در استان همدان با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، علوم کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۱۸، شماره ۴، صص ۴۲-۲۱، ۱۳۹۰.

۱۷. ضرابی، اصغر، محمدی، جمال، حسینی‌خواه، حسین، راهکار مدیریت بحران کاربری‌ها با تأکید بر کاربری‌های حساس شهری (مکان پژوهش: شهر یاسوج)، برنامه‌ریزی فضایی، سال ۶، شماره ۳، ۱۳۹۵.

۱۸. مهرگان، محمدرضا، پژوهش عملیاتی پیشرفته نشر کتاب دانشگاهی، ۱۳۹۲.

۱۹. شهرداری همدان، گزارش‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی طرح آب‌های سطحی شهر همدان، ۱۴۰۰.

The Resilience Ranking of Important Centers Vulnerable to Flood using the AHP-TOPSIS Combined Method (A Case Study of Hamadan)

B. Roohi, M. Mirza Ebrahim Tehrani*, A. R. Estelaji, M. R. Farzad Behtash

Abstract

To reduce the effects of natural disasters, the resilience of urban areas is examined. One of the principles of resilience in cities is the improvement of the infrastructure resilience in natural disasters. In this regard, one of the basic steps is the resilience of key city centers and facilities. Therefore, in this study using the combined method of AHP and TOPSIS, the resilience of flood-vulnerable buildings is measured. After collecting the required data and information, the authors first obtained the effective criteria and sub-criteria in ranking the resilience of buildings against floods. Then, the final weight of each of the important vulnerable centers of the city was calculated and the options were ranked by the TOPSIS method. The results show that the key centers vulnerable to floods in descending order, are the University of Technology, the Payame Noor University, the Amiran Hotel, the University of Architecture and Art and the Blood Transfusion Center with the weights of 1.000, 0.520, 0.297, 0.273 and 0.153 respectively. The Blood Transfusion Center has the least and the University of Technology has the highest resilience.

Key Words: *Resilience; Resilience Indicators; Flood; TOPSIS; AHP Technique*

* Assistant Professor Islamic Azad University, North Tehran Branch, (tehrani.mah@gmail.com)- Writer-in-Charge