مدیریت مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق)/ دورهٔ ۸، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۴۰۰/ ص ۲۲۸-۲۰۷
DOI: 10.22059/jhsci.2021.329891.672

تاب‌آوری ساختمان‌های مهم شهر همدان در برابر سیلاب با استفاده از مدل‌سازی معادلات ساختاری لیزرل

بیتا روحی
دانشجوی دکتری مدیریت محیط زیست علوم و فنون دریایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال
مهناز میرزا ابراهیم طهرانی*
استادیار مدیریت محیط زیست علوم و فنون دریایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال
علیرضا استعلاجی
استاد جغرافیا، علوم انسانی دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی (ره) شهرری
محمدرضا فرزاد بهتاش
استادیار شهرسازی دانشکدهٔ فنی مهندسی و علوم و فنون دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

(تاریخ دریافت ۱۴۰۰/۶/۱۰ – تاریخ پذیرش ۱۴۰۰/۷/۱۴)

چکیده

در این تحقیق، برای دستیابی به مدل تاب‌آوری ساختمان‌های واجد اهمیت در برابر سیل، ابتدا دارایی‌های شهر با استفاده از معیارها و زیرمعیارهای سطح‌بندی شناسایی شده و در بستر GIS مکان‌نمایی شدند. سپس با کمک نرم‌افزار HecRAS جریان رودخانه‌ها، مدل‌سازی شد و بازه‌های فاقد ظرفیت گذردهی سیلاب تعیین و در بستر GIS مشخص شد و با انطباق هر دو لایهٔ مراکز ثقل آسیب‌پذیر، مؤلفه‌های تاب‌آوری ساختمان احصا شد. با استفاده از مدل تحلیل عاملی ساختاری و نرم‌افزار مدل‌سازی لیزرل مشخص شد که مؤلفه‌های سازگاری– انعطاف، اتصال بازخورد ایمن شکست، وابستگی به اکوسیستم‌های محیطی، تنوع، یادگیری- حافظه- پیش‌بینی، عملکرد، سرعت پاسخگویی، افزونگی قطعه‌بندی، تدبیر، و استحکام، متغیرهای اثرگذار بر تاب‌آوری ساختمان در سیلاب هستند. پس از مدل‌یابی تاب‌آوری ساختمان‌ها، با استفاده از روش TOPSIS, AHP و تعیین ایده‌آل مثبت و راه‌حل ایده‌آل منفی، تاب‌آوری ساختمان‌ها نمره‌دهی شد و مشخص شد که بیشترین مقدار ایده‌آل مثبت مربوط به شاخص افزونگی تعادل با اثرهای 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 ۰/۰۲ است.

واژه‌های کلیدی: تاب‌آوری ساختمان، سیلاب، مراکز کلیدی شهر، نرم‌افزار مدل‌سازی لیزرل، همدان.

* نویسندهٔ مسئول
Email:tehrani.mah@gmail.com

مقدمه

در حال حاضر مخاطرات محیطی از مسائل مهم پیش روی جوامع شهری است [۲۰]. مخاطرات محیطی نیازمند شناسایی، مدیریت و کنترل هستند [۲۲]. سیلاب از زیانبارترین مخاطرات طبیعی محسوب می‌شود که هرساله خسارات جانی و مالی زیادی را موجب می‌شود [۵]. سیلاب‌های شهری بر اثر تغییرات اقلیمی، رشد شهرنشینی و محدودیت در زهکشی زیرساخت‌های شهری تشدید شده‌اند [۳]؛ از این‌رو بررسی آسیب‌پذیری یا تاب‌آوری آنها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تاب‌آورسازی مراکز مهم، مستلزم شناسایی و بررسی آسیب‌پذیری آنها در مخاطرات و تهدیدهای مختلف است [۲۱]. برای شناسایی این مخاطرات، درک تاب‌آوری در برابر سیلاب شهری بسیار ضروری است. زهکشی حوضهٔ شهری باید در برابر سیل مقاومت کند و توان بازیابی داشته باشد [۴]. در نتیجه، تقاضا برای تاب‌آوری بیشتر در بسیاری از موارد، با موفقیت همراه نبوده و بنابراین تا حد زیادی دشواری پیشبرد تاب‌آوری سیستم‌های پیچیده و سازش‌پذیر نظیر شهرها، نادیده گرفته شده است. توسعه و کاربرد رویکردهایی برای افزایش تاب‌آوری حائز اهمیت است، چراکه فرایندها نشان‌دهندهٔ پیچیدگی بسیار زیاد سیستم‌های شهری‌اند [۱۰]. بر همین اساس، شهر تا وقتی که فاقد توانایی‌های لازم برای کاهش آسیب‌پذیری در مقابل مخاطرات باشد و به تغییرات پاسخ خلاقانه ندهد، نمی‌تواند پایدار باشد بر همین اساس، تاب‌آوری ساختمان‌های شهری از ضروریات تاب‌آوری شهری است [۱۴]. در این زمینه تحقیقات انجام‌گرفته در موضوع تاب‌آوری شهری در مخاطرات از جمله سیل بررسی شد که در ادامه به برخی از مهم‌ترین آنها اشاره می‌شود.

وانگ و همکاران (۲۰۱۹) در مقاله‌ای با استفاده از روش شبکهٔ سلول پایهٔ متریک، تاب‌آوری حوزهٔ شهری (حوزهٔ شهری دالیان چین شامل ۳۱ زیرحوزه) در مقابله با سیل را ارزیابی کردند و برای شبیه‌سازی سیلاب از مدل CADDIES بهره گرفتند [۵]. باراخاس و همکاران (۲۰۱۹) با تحقیق در زمینهٔ تاب‌آوری ساختمان‌های شهری و دانش تولید جمعی در مواجهه با خطرهای اقلیمی سیل در منطقهٔ متروپلین مکزیک، به بررسی تاب‌آوری ساختمان‌ها در مادرشهر مکزیکوسیتی در برابر سیلاب‌های چند دههٔ اخیر پرداختند. یافته‌ها نشان‌دهندهٔ این است که تاب‌آوری ساختمان‌ها فرایندی پیچیده و دنباله‌دار است که به شرایط اجتماعی، اقتصادی و نهادی نیز بستگی دارد [۱۱]. هزاره و باخرزی (۱۳۹۷) با انجام دادن تحقیقی در زمینهٔ تهدید طبیعت پایه سیلاب در خط یک قطار شهری مشهد اظهار داشتند که برای مقابله با هر تهدیدی ابتدا باید ابعاد و شدت خسارات محتمل آن را شناسایی کرد و با بررسی مناسب

بخش‌هایی از دارایی‌های باارزش در معرض خطر شدت خطرآفرینی هر تهدید را تشخیص داد [۹].

حاجی‌بیگلو و واحدبردی (۱۳۹۶) بیان داشتند که مدیریت ریسک سیلاب رویکردی جامع است که شامل شاخص‌های متعدد ارزیابی در حوضهٔ آبخیز رودخانه‌ها و روشی مؤثر و پایدار ولی پیچیده است. ارزیابی ریسک سیلاب به‌منظور بررسی شدت آسیب‌پذیری و مواجهه با خطر، اطلاعات ارزشمندی را برای مدیریت ریسک سیلاب فراهم می‌کند [۲].

صفاری و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی دربارهٔ آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر خطر سیل، با استفاده از منطق فازی، شدت آسیب‌پذیری ساختمان‌ها و واحدهای مسکونی در برابر هر یک از معیارها را ارزیابی کرده و با جمع کردن همهٔ معیارها درصد نهایی آسیب‌پذیری را محاسبه کردند [۶].

بهرامی و همکاران (۱۳۹۸) در مقاله‌ای با بررسی چهار پروژهٔ موفق جهان، اصول و راهکارهای تاب‌آوری در برابر سیلاب رودخانه‌ای را استخراج کردند و برنامه‌ها و راه حل‌هایی برای رود کن ارائه دادند. زمان، آزمودن، آستانه، یادگیری و تنوع به‌عنوان اصول تاب‌آوری و صفه‌سازی در کران‌رود و تالاب به‌عنوان راهکار برای مواجهه با مسئلهٔ رود کن از این چهار پروژه استخراج شد [۱].

با بررسی و جست‌وجو در پایگاه داده‌های مختلف مشخص شد که تحقیقات گسترده‌ای به‌صورت مجزا در زمینهٔ تاب‌آوری شهری و مفاهیم و ابعاد آن، سنجش و ارزیابی ابعاد تاب‌آوری در شهرها و مخاطرات طبیعی مختلف، پهنه‌بندی سیلاب‌های شهری و ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در مخاطرات طبیعی و آسیب‌پذیری ساختمان‌ها از منظر پدافند غیرعامل صورت پذیرفته است؛ ولی در این تحقیق مخاطرات طبیعی سیلاب، به‌عنوان تهدیدی برای ساختمان-های مهم، حساس و حیاتی بررسی می‌شود. هدف این تحقیق کاربردی، معرفی راهکار تاب‌آوری ساختمان‌هایی است که در صورت خسارت دیدن و از بین رفتن، تهدید مهمی برای تأمین اطلاعات و ارتباطات، خدمات و منابع شهر همدان ایجاد می‌کنند.

روش تحقیق

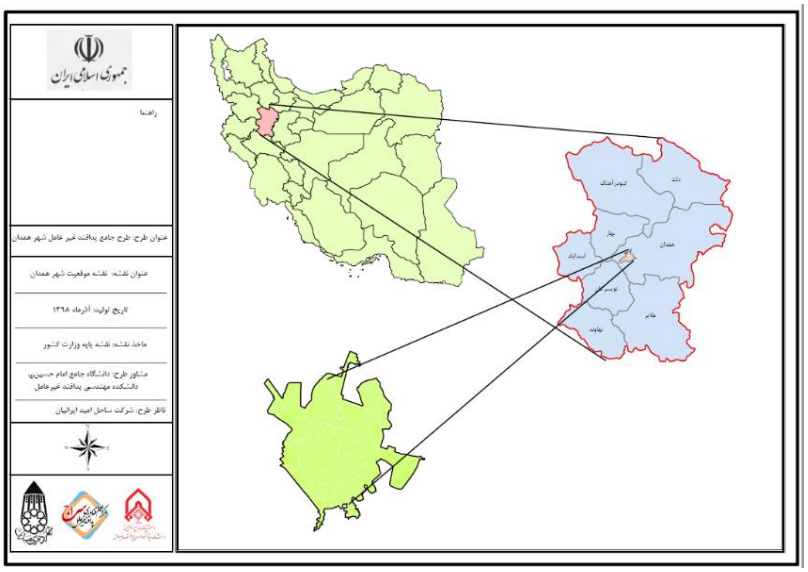
در این تحقیق، برای دستیابی به مدل تاب‌آوری ساختمان‌های واجد اهمیت در برابر سیل، تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، در چند مرحله انجام گرفت:

۱. شناسایی دارایی‌های واجد اهمیت از منظر پدافند غیرعامل؛
۲. مدل‌سازی جریان رودخانه‌ها با استفاده از نرم‌افزار HecRAS؛

۳. انطباق دارایی‌ها و نتایج مدل‌سازی صورت گرفته از رودخانه‌ها در دوره‌های بازگشت متفاوت؛
۴. احصای دارایی‌های تحت تأثیر سیلاب؛
۵. تعیین و مدل‌سازی مؤلفه‌های تاب‌آوری ساختمان با استفاده از مدل‌سازی معادلات ساختاری نرم‌افزار لیزرل؛
۶. احصا و رتبه‌بندی مؤلفه‌های مستخرج از مدل با استفاده از روش ترکیبی AHP-TOPSIS؛
۷. رتبه‌بندی ساختمان‌های مهم متأثر از سیلاب با استفاده از روش ترکیبی AHP-TOPSIS.

داده‌ها و بحث

محدودهٔ تحقیقات شامل طرح توسعهٔ شهر همدان در طرح تفصیلی است. البته تحقیقات پایه، ناگزیر در وسعتی فراتر انجام گرفته است. برای نمونه، پژوهش‌های هواشناسی و هیدرولوژی در وسعتی در حدود ۱۰۰ کیلومتر مربع برای بررسی و تعیین سیلاب رودخانه‌ها و مسیل‌های ورودی به شهر همدان انجام گرفته است.



شکل ۱. محدودهٔ پژوهش

- **شناسایی دارایی‌های واجد اهمیت**

در شناسایی و طبقه‌بندی دارایی‌های شهر همدان از روش تلفیقی یعنی استفاده از نظر مدیران حوزه های مختلف مرتبط با امور شهری و منابع علمی معتبر و تجارب موجود استفاده شده است. برمبنای روش تلفیقی دارایی‌های شهر همدان به چهار گروه اصلی زیر تقسیم می‌شود:

۱. دارایی‌های فیزیکی یا کالبدی شامل سه زیرمجموعهٔ سرمایه‌ها، تأسیسات و سازه؛
۲. دارایی نیروی انسانی که مهم‌ترین و حیاتی‌ترین دارایی یک مجموعه است؛
۳. دارایی تبادل اطلاعات یا سایبر، شامل مجموعه‌ای از شبکه‌ها (رایانه، نرم‌افزار، اینترنت، ماهواره‌ها، بانک‌های اطلاعاتی) که به‌منظور انتقال اطلاعات و داده‌ها طراحی شده‌اند؛
۴. دارایی‌های معنوی که عبارت است از نمادهای ماندگار، عزت ملی و استقلال که برای هر کشور ارزش تلقی می‌شود (جلالی، ۱۳۹۱).

- **مدل‌سازی جریان رودخانه‌ها با استفاده از نرم‌افزار HecRAS**

در این تحقیق دارایی‌های تحت تأثیر تهدید سیلاب بررسی می‌شوند؛ از این‌رو در این بخش به مطالعهٔ رودخانه‌ها و مدل‌سازی جریان آنها پرداخته خواهد شد. ازآنجا که هدف بررسی‌های هیدرولوژیکی، تعیین سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف هر یک از رودخانه‌هاست، برای ایجاد یکپارچگی و انسجام در سیلاب‌های به‌دست‌آمده، مدل‌سازی یکپارچهٔ کل حوضه‌های آبریز رودخانه‌ها اعم از برون‌شهری و درون‌شهری در نظر گرفته شده است. برای تعیین پارامترهای هیدرولیکی در طول رودخانه و در مقاطع مختلف، انتخاب و استفاده از یکی از نرم‌افزارهای معتبر که معادلات جریان‌های متغیر دائمی یا غیردائمی را حل می‌کنند، اجتناب‌ناپذیر است. حجم بسیار زیاد عملیات و اهمیت اطلاعات، دقت در انتخاب را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد.

نرم‌افزار Hec-2 در حوالی سال ۱۹۹۰ برای مدل‌سازی جریان‌های پایدار به‌صورت تک‌بعدی با قابلیت مدل‌سازی سازه‌های متقاطع مانند پل، کالورت و ... معرفی شد و آخرین نسخهٔ آن Hec-Ras با قابلیت بسیار گسترده هم‌اکنون در دسترس است. در آخرین نسخه، قابلیت حل جریان‌های ناپایدار (غیردائمی)، محاسبات جریان مختلط، توزیع شبه‌دوبعدی سرعت در مقاطع، خروجی به محیط GIS برای ارائهٔ سیلابدشت و بسیاری از موارد دیگر وجود دارد که آن را به نرم‌افزاری حرفه‌ای و معتبر تبدیل کرده است [۹].

با توجه به ویژگی‌های یادشده، در این تحقیقات از 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 می‌شود و توابع، نقشه‌هایی را تولید می‌کند که به سؤالات مورد نظر پاسخ می‌دهند. براساس اینکه از چه نوع داده‌ای استفاده می‌شود و همپوشانی چه هدفی را دنبال می‌کند، روش‌های همپوشانی مختلفی وجود دارد. در این تحقیق از همپوشانی برداری[1] استفاده شده است. بنابراین در این نوع همپوشانی عوارض جدیدی تولید شده که ضمن دارا بودن ماهیت عوارض قبلی، ویژگی‌های جدیدی را نیز شامل می‌شود.

- **تعیین مؤلفه‌های تاب‌آوری ساختمان**

شاخص تاب‌آوری، دیگر روش ارزیابی است که توسط آزمایشگاه ملی آرگون برای مقایسهٔ تاب‌آوری زیرساخت‌های مهم و اولویت‌بندی منابع محدود با هدف بهبود تاب‌آوری ایجاد شده است. این شاخص‌ها به ارزیابی‌های ذهنی متخصصان از سه صفت مهم تاب‌آوری یعنی «استحکام، تدبیر و بازیابی» وابسته است.

استحکام: توانایی حفظ عملیات در قبال مخاطرات و عملکرد در مواجهه با مخاطره؛

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

بازیابی: توانایی بازگشت یا بازسازی عملیات طبیعی به‌طور سریع و مؤثر [۱۷].

در جدول ۱، گویه‌های اصلی سیستم‌های تاب‌آور که توسط شرکت‌کنندگان در کارگاه رامسس[2] شناسایی شده، آورده شده که در این تحقیق نیز مبنای پرسشنامه‌ها قرار گرفته و معیارهای رتبه‌بندی تاب‌آوری ساختمان‌ها و مدل تاب‌آوری آنها نیز از آن استخراج شده است.

در بخش تحلیل، ابتدا گویه‌ها و ابعاد تاب‌آوری بررسی شده و با استفاده از کای اسکوئر و تحلیل عاملی اعتبارسنجی شدند و اثرگذاری آنها بر تاب‌آوری ساختمان در سیلاب مشخص شد.

استفاده از نرم‌افزار مدل‌سازی لیزرل با هدف معرفی مدل تاب‌آوری ساختمان‌ها

لیزرل نرم افزاری است که به‌منظور برآورد و آزمون مدل های معادلات ساختاری طراحی شده است. این نرم‌افزار با استفاده از همبستگی و کوواریانس اندازه‌گیری‌شده، می‌تواند مقادیر بارهای عاملی، واریانس ها و خطاهای متغیرهای مکنون را برآورد یا استنباط کند. از این نرم‌افزار می توان برای تحلیل عاملی اکتشافی، تحلیل عاملی مرتبه دوم، تحلیل عاملی تأییدی و نیز تحلیل مسیر (مدل‌یابی علت و معلولی با متغیرهای مکنون) استفاده کرد.

1. Feature overlay
2. Ramses

تحلیل ساختاری کوواریانس کـه بـه آن روابـط خطـی سـاختاری نیـز مـی‌گوینـد، یکـی از روش‌های تحلیل مدل معادلات ساختاری است.

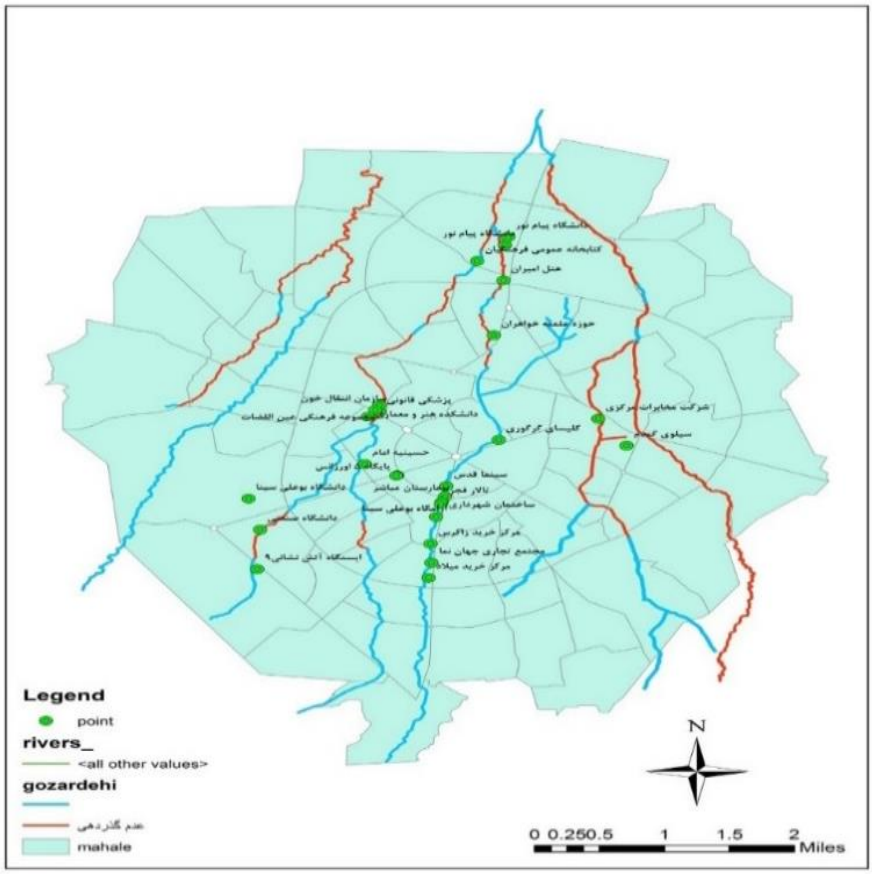
- **رتبه‌بندی شاخص‌های تاب‌آوری ساختمان‌های مهم بـا اسـتفاده از روش ترکیبـی AHP-TOPSIS**

در این تحقیق برای رتبه‌بندی تاب‌آوری ساختمان‌ها در برابر سیل، از روش AHP استفاده شـد. ازآنجا که رتبـه‌بنـدی تـاب‌آوری سـاختمان‌هـا نیازمنـد شناسـایی و تجزیـه‌وتحلیـل معیارهـا و شاخص‌های متعددی است، در این پژوهش ابتدا معیارها و زیرمعیارهای تأثیرگذار در رتبه‌بنـدی تاب‌آوری ساختمان‌ها در برابر سـیل تعیـین و اعتبارسـنجی شـد و بـه‌دلیـل تفـاوت در شـدت تأثیرگذاری شاخص‌ها، با استفاده از تکنیک (AHP)، مقایسهٔ زوجی این مؤلفه‌هـا توسـط پنجـاه کارشناس باتجربه در زمینهٔ مسائل تاب‌آوری و پدافند غیرعامل انجـام گرفـت و وزن نهـایی هـر یک از آنها محاسبه شد.

بررسی نیمرخ‌های طولی نشان می‌دهد که در بخش‌هایی از ایـن رودخانـه‌هـا، شـرایط کنـونی مناسب نیست و سیلاب در دوره‌هـای بازگشـت مختلـف از کانـال بیـرون مـی‌ریـزد و بـه‌تبـع آن آب‌گرفتگی معابر حادث می‌شـود. کمبـود ظرفیـت مقـاطع و همچنـین ابعـاد نامناسـب پـل‌هـا و کالورت‌ها، از علل ناتوانی رودخانه‌های شهر همدان در انتقال ایمن سیلاب به خارج از شهر است.

شکل ۲. مدل‌سازی جریان رودخانه‌ها

لایه‌های دارایی‌های شهر همدان و رودخانه‌های شهر در بستر GIS انطباق داده شده و پنج ساختمان دانشگاه صنعتی، دانشکدهٔ هنر و معماری، دانشگاه پیام نور، ساختمان انتقال خون و هتل امیران به‌عنوان مراکز آسیب‌پذیر همدان مشخص شد که نقشهٔ خروجی آن شکل ۳ است.



شکل ۳. نقشهٔ انطباق لایه‌های دارایی‌های رودخانه‌های شهر همدان

در بخش تحلیل یافته‌های پژوهش، ابتدا گویه‌ها و ابعاد بررسی شدند (جدول ۱) و سپس تأثیر هر یک از ابعاد و گویه‌ها، بر تاب‌آوری ساختمان در سیلاب با استفاده از کای اسکوئر سنجیده شد. در ادامه عوامل اثرگذار و حد اثرگذاری ابعاد با استفاده از تحلیل عاملی استخراج‌شده سنجیده شد.

جدول ۱. ابعاد و گویه‌های پرسشنامه

ردیف	ابعاد	ابعاد
سازگاری – انعطاف‌پذیری QM	تغییر ضمن حفظ یا بهبود کارایی	پاسخ به‌موقع به شرایط متغیر
	تکامل و تغییرات سریع	طراحی باز و ساختارهای انعطاف‌پذیر
	اتخاذ سریع راهبردهای جایگزین	
اتصال بازخورد ایمنی شکست‌پذیری EL	جذب شوک	شکست بدون اثرهای آبشاری (اثر دومینو)
	جذب اثرهای تجمعی چالش‌های با شروع آهسته	تجزیه‌وتحلیل به‌صورت جفت سیستم فناوری–انسان
	اجتناب از شکست فاجعه‌بار در صورت فراتر رفتن از آستانه	شناسایی اثرهای قفل‌کننده و تناقض‌های احتمالی با کاهش
	شکست تدریجی به‌جای ناگهانی	شناسایی هم‌افزایی با دیگر خط‌مشی‌های شهر، برآورد ارزش افزوده
وابستگی به اکوسیستم‌های محیطی GI	کنترل سیلاب	طراحی و مدیریت زیست‌اقلیمی
تنوع JD	تنوع فضایی	تنوع عملکردی- روش‌های چندگانهٔ برخورد با نیازی خاص
	دارایی‌های مهم و وظایفی که به‌صورت فیزیکی توزیع شده و تمام آن در هر زمانی تحت تأثیر رویداد مشخصی قرار نمی‌گیرد	تنوع تعادل با اثرهای بالقوهٔ آبشاری
یادگیری- حافظه- پیش‌بینی GM	یادگیری از تجارب و شکست‌های گذشته	جمع‌آوری، ذخیره و به اشتراک گذاشتن تجربه
	استفاده از اطلاعات و تجربه برای ایجاد سازگاری تازه	ساخت‌وساز براساس ارزش بلندمدت و پیشینهٔ شهر
	اجتناب از تکرار اشتباه‌های گذشته	ادغام تاب‌آوری در سناریوهای توسعهٔ بلندمدت
عملکرد GT	ظرفیت عملکرد	خودکفایی- کاهش وابستگی خارجی
	کیفیت سیستم	نسبت به ساختمان‌های دیگر عملکرد بهتری دارد
سرعت پاسخگویی HF	در برگرفتن تلفات شامل مرگ‌ومیر و بیماری	بازگرداندن ساختار
	سازماندهی مجدد	برقراری نظم عمومی
	حفظ عملکرد و برقراری دوبارهٔ آن	جلوگیری از اختلال در آینده
افزونگی قطعه‌بندی DS	جایگزینی سیستم‌ها یا عوامل سیستم‌ها	جایگزین کردن اجزا با قطعات مدولار
	بافر از شوک‌های خارجی یا تغییر در تقاضاها	افزونگی تعادل با اثرهای بالقوه آبشاری
تدبیر OR	شناسایی و پیش‌بینی مشکلات	ارزیابی مجدد
	در اولویت قرار دادن	یکپارچه کردن تاب‌آوری در فرایندهای کاری و اداره
	بسیج منابع، تجسم، برنامه‌ریزی، همکاری و عمل	همکاری گرفتن از شهروندان
استحکام IP	مقاومت در برابر سطحی از تنش	ظرفیت‌هایی که حاشیه‌های کافی را تضمین می‌کنند
	بدون تخریب و از دست رفتن عملکرد	

جدول ۲. نگرش سازگاری – انعطاف

گویه	توزیع فراوانی – درصد					میانگین	مقدار کای‌اسکوئر	سطح معنی‌داری (Sig)
	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد			
تغییر ضمن حفظ یا بهبود کارایی	۳/۳	۸/۵	۹/۸	۳۵	۴۳/۴	۴/۰۷	۲۳۵/۹۹۵	۰/۰۰۰
تکامل و تغییرات سریع	۷/۴	۱۰/۹	۱۹/۱	۱۶/۹	۴۵/۶	۳/۸۳	۱۶۶/۲۶۸	۰/۰۰۰
اتخاذ سریع استراتژی‌های جایگزین	۳	۴/۶	۳/۸	۳۶/۹	۵۱/۹	۴/۳۰	۳۷۹/۲۴۶	۰/۰۰۰
پاسخ به‌موقع به شرایط متغیر	۹/۳	۴/۶	۸/۵	۱۴/۸	۶۳/۸	۴/۱۷	۴۲۹/۳۸۳	۰/۰۰۰
طراحی باز و ساختارهای انعطاف‌پذیر	۳/۶	۳/۸	۱۰/۹	۱۸	۶۳/۷	۴/۳۴	۴۶۲/۰۰۵	۰/۰۰۰

جدول ۳. نگرش اتصال، بازخورد، ایمنی، شکست

گویه	توزیع فراوانی– درصد					میانگین	مقدار کای‌اسکوئر	سطح معنی‌داری (Sig)
	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد			
جذب شوک	۹/۳	۴/۴	۶/۶	۱۵/۳	۶۴/۵	۴/۲۱	۴۶۴/۸۷۴	۰/۰۰
جذب اثرهای تجمعی چالش‌های با شروع آهسته)	۱۳/۴	۲۷	۱۲/۶	۲۴/۶	۲۲/۵	۳/۱۶	۳۲/۱۱۵	۰/۰۰۰
اجتناب از شکست فاجعه‌بار در صورت فراتر رفتن از آستانه	۷/۹	۹/۳	۳	۱۳/۴	۶۶/۴	۴/۲۱	۵۰۲/۴۱۵	۰/۰۰۰
شکست تدریجی به‌جای شکست ناگهانی	۳	۱/۴	۶/۳	۱۷/۸	۷۱/۶	۴/۵۴	۶۳۸/۶۹۹	۰/۰۰۰
شکست بدون اثرهای آبشاری (اثر دومینو)	۲۰/۲	۱۳/۷	۲۶/۸	۱۹/۱	۲۰/۲	۳/۰۵	۱۵/۹۱۳	۰/۰۰۰
تجزیه‌وتحلیل به‌صورت جفت سیستم فناوری– انسان	۱۴/۸	۱۳/۱	۲۷/۹	۳۲/۵	۱۱/۷	۳/۱۳	۶۶/۱۵۸	۰/۰۰۰
شناسایی اثرهای قفل‌کننده و تناقض‌های احتمالی با کاهش	۲۹	۱۰/۷	۱۸/۳	۲۰/۸	۲۱/۳	۲/۹۵	۳۱/۶۲۳	۰/۰۰۰
شناسایی هم‌افزایی با دیگر خط مشی‌های شهر، برآورد ارزش افزوده	۹/۸	۹/۶	۱۹/۴	۲۷/۹	۳۳/۳	۳/۶۵	۸۲/۷۷۰	۰/۰۰۰

جدول ۴. نگرش وابستگی به اکوسیستم‌های محیطی

گویه	توزیع فراوانی- درصد					میانگین	مقدار کای اسکوئر	سطح معنی‌داری (Sig)
	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد			
کنترل سیلاب	۱۵/۸	۱۸	۱۲/۳	۳۵	۱۸/۹	۳/۲۳	۵۵/۹۹۵	۰/۰۰۰
طراحی و مدیریت زیست‌اقلیمی	۱۸/۹	۲/۷	۵/۷	۲۳/۸	۴۸/۹	۳/۸۱	۲۴۷/۵۵۲	۰/۰۰۰

جدول ۵. نگرش تنوع

گویه	توزیع فراوانی – درصد					میانگین	مقدار کای اسکوئر	سطح معنی‌داری (Sig)
	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد			
تنوع فضایی	۱۰/۹	۹	۱۴/۵	۴۲/۱	۲۳/۵	۳/۵۸	۱۳۴/۱۳۷	۰/۰۰۰
دارایی‌های مهم و وظایفی که به‌صورت فیزیکی توزیع شده‌اند و همهٔ آنها در هر زمانی تحت تأثیر رویداد مشخصی قرار نمی‌گیرند	۸/۵	۹/۶	۱۷/۲	۲۷/۳	۳۷/۴	۳/۶۷	۱۱۱/۱۰۴	۰/۰۰۰
تنوع عملکردی-روش‌های چندگانهٔ برخورد با نیازی خاص	۲۱/۹	۱۰/۹	۱۷/۵	۲۴/۳	۲۵/۴	۳/۲۰	۲۵/۶۱۲	۰/۰۰۰
تنوع تعادل با اثرهای بالقوهٔ آبشاری	۶/۸	۱/۶	۴/۹	۲۹	۵۷/۷	۴/۲۹	۴۰۹/۱۶۴	۰/۰۰۰

جدول ۶. نگرش یادگیری- حافظه- پیش‌بینی

گویه	توزیع فراوانی – درصد					میانگین	مقدار کای اسکوئر	سطح معنی‌داری (Sig)
	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد			
یادگیری از تجارب و شکست‌های گذشته	۵/۲	۱۵/۶	۴۹/۲	۱۴/۵	۱۵/۶	۳/۲۰	۲۰۸/۶۹۹	۰/۰۰۰
استفاده از اطلاعات و تجربه برای ایجاد سازگاری تازه	۷/۱	۱۶/۹	۲۷/۹	۲۳/۲	۲۴/۹	۳/۴۲	۴۹/۷۱۰	۰/۰۰۰
اجتناب از تکرار اشتباهات گذشته	۵/۵	۱۰/۹	۱۰/۴	۱۵/۸	۵۷/۴	۴/۰۹	۳۲۹/۴۶۴	۰/۰۰۰
جمع‌آوری، ذخیره و به اشتراک گذاشتن تجربه	۹/۶	۱۹/۱	۱۴/۸	۱۵/۶	۴۱	۳/۵۹	۱۰۹/۲۷۳	۰/۰۰۰
ساخت‌وساز براساس ارزش بلندمدت و پیشینهٔ شهر	۱/۴	۴/۴	۷/۷	۱۵	۷۱/۶	۴/۵۱	۶۲۷/۶۳۴	۰/۰۰۰
ادغام تاب‌آوری در سناریوهای توسعهٔ بلندمدت	۳/۸	۹/۸	۱۳/۷	۱۷/۵	۵۵/۲	۴/۱۰	۳۰۱/۹۲۳	۰/۰۰۰

جدول ۷. نگرش عملکرد

گویه	توزیع فراوانی – درصد					میانگین	مقدار کای اسکوئر	سطح معنی‌داری (Sig)
	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد			
ظرفیت عملکرد	۷/۷	۱۷/۲	۱۰/۷	۳۲/۸	۳۱/۷	۳/۶۴	۱۰۰/۲۵۷	۰/۰۰۰
کیفیت سیستم	۶/۸	۱۷/۲	۱۲/۸	۳۵/۵	۲۷/۶	۳/۶۰	۹۷/۱۶۹	۰/۰۰۰
خودکفایی- کاهش وابستگی خارجی	۷/۴	۱۹/۱	۱۰/۹	۳۵/۵	۲۷	۳/۵۶	۹۷/۵۲۵	۰/۰۰۰
نسبت به ساختمان‌های دیگر عملکرد بهتری دارد	۳	۵/۷	۷/۱	۳۷/۴	۴۶/۷	۴/۱۹	۳۰۶/۷۸۷	۰/۰۰۰

جدول ۸. نگرش سرعت پاسخگو

گویه	توزیع فراوانی – درصد					میانگین	مقدار کای اسکوئر	سطح معنی‌داری (Sig)
	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد			
در برگرفتن تلفات، شامل مرگ‌ومیر و بیماری	۷/۴	۱۰/۹	۲۱/۹	۱۳/۷	۴۶/۲	۳/۸۰	۵۷۹/۱۷۷	۰/۰۰۰
سازماندهی مجدد	۱	۴/۶	۳/۸	۳۶/۹	۵۱/۶	۴/۳۰	۳۷۹/۲۴۶	۰/۰۰۰
حفظ عملکرد و برقراری دوبارهٔ آن	۷/۱	۶/۶	۱۹/۱	۱۳/۴	۵۳/۸	۴/۰۰	۲۸۱/۰۲۲	۰/۰۰۰
بازگردان ساختار	۳/۶	۳/۸	۱۰/۹	۱۸	۶۳/۷	۴/۳۴	۴۶۲/۰۰۵	۰/۰۰۰
برقراری نظم عمومی	۹/۳	۴/۴	۶/۶	۱۵/۳	۶۴/۵	۴/۲۱	۴۶۴/۸۷۴	۰/۰۰۰
جلوگیری از اختلال در آینده	۶	۷/۷	۱۰/۱	۱۳/۹	۶۲/۳	۴/۱۹	۴۱۵/۷۲۱	۰/۰۰۰

جدول ۹. نگرش افزونگی قطعه‌بندی

گویه	توزیع فراوانی – درصد					میانگین	مقدار کای اسکوئر	سطح معنی‌داری (Sig)
	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد			
جایگزینی سیستم‌ها یا عوامل سیستم‌ها	۷/۹	۹/۳	۳	۴/۱۳	۶۶/۴	۴/۲۱	۵۰۲/۴۱۵	۰/۰۰۰
بافر از شوک‌های خارجی یا تغییر در تقاضاها	۳	۱/۱	۶/۳	۱۷/۸	۷۱/۶	۴/۵۴	۶۳۸/۶۹۹	۰/۰۰۰
جایگزین کردن اجزا با قطعات مدولار	۷/۷	۱۸/۶	۳۶/۳	۲۲/۷	۱۴/۸	۳/۱۸	۸۳/۴۸۱	۰/۰۰۰
افزونگی تعادل با اثرهای بالقوهٔ آبشاری	۷/۹	۱۹/۱	۳۱/۴	۲۵/۷	۱۵/۸	۳/۲۲	۵۹/۷۶۵	۰/۰۰۰

جدول ۱۰. نگرش تدبیر

گویه	توزیع فراوانی – درصد					میانگین	مقدار کای اسکوئر	سطح معنی‌داری (Sig)
	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد			
شناسایی و پیش‌بینی مشکلات	۵/۷	۱۹/۷	۲۳/۸	۴۰/۲	۱۰/۷	۳/۳۰	۱۳۰/۲۳۰	۰/۰۰۰
در اولویت قرار دادن	۴/۱	۲۸/۴	۱۹/۷	۳۷/۷	۱۰/۱	۲۱/۳	۱۳۴/۵۱۹	۰/۰۰۰
بسیج منابع، تجسم، برنامه‌ریزی، همکاری و عمل	۱/۴	۴/۴	۷/۷	۱۵	۷۱/۶	۴/۵۱	۶۲۷/۶۳۴	۰/۰۰۰
ارزیابی مجدد	۳/۸	۹/۸	۱۳/۷	۱۷/۵	۵۵/۲	۴/۱۰	۳۰۱/۹۲۳	۰/۰۰۰
یکپارچه کردن تاب‌آوری در فرایندهای کاری و اداره	۸/۵	۹/۶	۱۷/۲	۲۷/۳	۳۷/۴	۳/۷۶	۱۱۱/۱۰۴	۰/۰۰۰
همکاری گرفتن از شهروندان	۲۱/۹	۱۰/۹	۱۷/۵	۲۴/۹	۲۵/۴	۳/۲۰	۲۵/۶۱۲	۰/۰۰۰

جدول ۱۱. نگرش استحکام

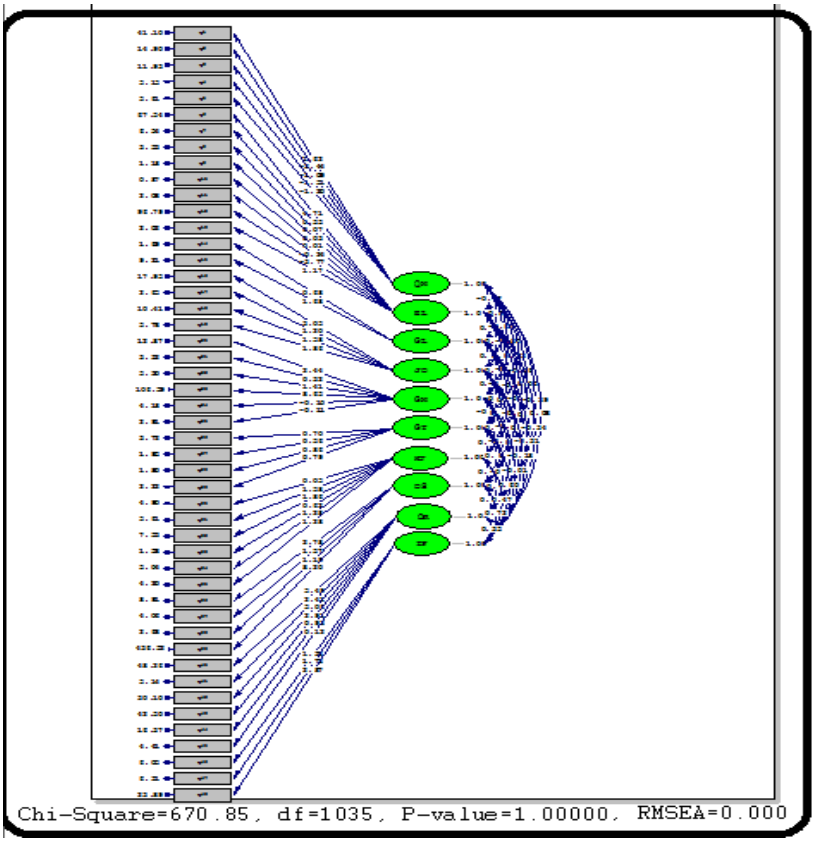
گویه	توزیع فراوانی – درصد					میانگین	مقدار کای اسکوئر	سطح معنی‌داری (Sig)
	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد			
مقاومت در برابر سطحی از تنش	۳	۴/۶	۳/۸	۳۶/۹	۵۱/۹	۴/۳۰	۳۷۹/۲۴۶	۰/۰۰۰
بدون تخریب و از دست رفتن عملکرد	۹/۳	۴/۶	۸/۵	۱۴/۸	۶۲/۸	۴/۱۷	۴۲۹/۳۸۳	۰/۰۰۰
ظرفیت‌هایی که حاشیه‌های کافی را تضمین می‌کنند	۶	۷/۷	۱۰/۱	۱۳/۹	۶۲/۳	۴/۱۹	۴۱۵/۷۲۱	۰/۰۰۰

بعد از تعیین تاب‌آوری ساختمان در سیلاب، با استفاده از بررسی هر یک از گویه‌ها، در این بخش وضعیت هریک از گویه‌های تعریف‌شده با استفاده از آزمون $\mathbf{x^2}$ تک‌متغیره به‌دلیل نرمال نبودن داده‌ها تحلیل شد.

همان‌طور که جدول‌ها نشان می‌دهند، با توجه به مقدار x^2 تک‌متغیره و سطح معنی‌داری که کوچک‌تر از ۰/۰۵ است، در همهٔ گویه‌های بررسی‌شده تفاوت معنی‌داری بین فراوانی‌های مشاهده‌شده و فراوانی مورد انتظار از لحاظ آماری وجود دارد.

ازآنجا که بیشترین فراوانی‌ها برای همهٔ گویه‌ها در طبقات متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته‌اند، می‌توان گفت هر یک از گویه‌های سازگاری، انعطاف، اتصال بازخورد ایمنی شکست، وابستگی به اکوسیستم‌های محیطی، تنوع، یادگیری- حافظه- پیش‌بینی، عملکرد، سرعت پاسخگویی، افزونگی قطعه‌بندی، تدبیر و استحکام بر تاب‌آوری ساختمان در سیلاب اثرگذار است.

مدل ساختاری اولیه برای شاخص تاب‌آوری ساختمان در سیلاب در شکل ۴ آمده است. قدرت رابطهٔ بین متغیرهای پنهان و متغیرهای قابل مشاهده، به‌وسیلهٔ بار عاملی نشان داده می‌شود که بار عاملی کمتر از ۰/۳ رابطهٔ ضعیف، بار عاملی بین ۰/۳ تا ۰/۶ رابطهٔ قابل قبول و بار عاملی بزرگ‌تر از ۰/۶ نیز خیلی مطلوب است. تاب‌آوری ساختمان در سیلاب دارای ده زیرمعیار (سازگاری– انعطاف، اتصال بازخورد ایمن شکست، وابستگی به اکوسیستم های محیطی، تنوع، یادگیری- حافظه- پیش‌بینی، عملکرد، سرعت پاسخگویی، افزونگی قطعه‌بندی، تدبیر، استحکام) تشکیل می‌دهد که بار عاملی این ده متغیر بر تاب‌آوری ساختمان در سیلاب به‌ترتیب ۱/۸۹، ۱/۵۶، ۰/۵۴، ۰/۹۵، ۰/۸۷، ۰/۹۱، ۰/۲۹، ۰/۴۳ و ۰/۶۷ است که در شکل ۴ ملاحظه می‌شود. همگی مقدار ضرایب قابل قبول است و تأیید می‌شود.



شکل ۴. خروجی ضرایب مدل تحلیلی عاملی مرتبهٔ دوم تاب‌آوری ساختمان در سیلاب

خروجی ضرایب تی در مؤلفهٔ تاب‌آوری ساختمان در سیلاب با توجه به شکل ۴، ۷/۲۳، ۶/۷۳، ۴/۵۵، ۱۱/۷۳، ۴/۱۶، ۳/۲۸، ۳/۷۸، ۵/۹۷، ۶/۳۲ و ۹/۶۵ است. همهٔ ضرایب بیشتر از ۲/۵۹ در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ است (ضرایب تی بین ۱/۹۶ تا ۲/۵۸ در سطح ۰/۰۵ و ضرایب تی بیشتر از ۲/۸۵ در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ است). شاخص‌های کلی مدل آزمون‌شدهٔ تاب‌آوری ساختمان در سیلاب در جدول ۱۲ آمده است. معیارهای شاخص نیکویی برازش و شاخص تعدیل‌شدهٔ برازش، نشان‌دهندهٔ این نکته است که مدل از برازش متوسطی برخوردار است. همچنین نتایج شکل ۴ نشان دهندهٔ مناسب بودن بارهای عاملی نشانگرهای (سؤال‌های) مربوط به هر مؤلفه در سطح به‌نسبت مناسب بوده و بار عاملی هر مؤلفه به‌عنوان نشانگر تاب‌آوری ساختمان در سیلاب در پیش‌بینی این متغیر وجود دارد.

جدول ۱۲. شاخص‌های برازش کلی مدل آزمون‌شدهٔ تاب‌آوری ساختمان در سیلاب

مشخصه	برآورد	ملاک
نسبت مجذور کای دو به درجهٔ آزادی	۰/۰۰۲	/df>3x^2
جذر برآورد واریانس خطای تقریب (RMSEA)	۰/۰۰۹	0<RMSEA <0/08
شاخص نیکویی برازش (GFI)	۰/۷۹	0.9<GFI <1
شاخص تعدیل‌شدهٔ نیکویی برازش (AGFI)	۰/۷۵	0.9<AGFI <1
شاخص برازندگی تطبیقی (CFI)	۰/۸۷	0.9<CFI <1
شاخص نرم‌شدگی برازندگی (NFI)	۰/۶۳	0.9<NFI <1

همان‌طور که در جدول ۱۲ ملاحظه می‌شود شاخص نیکویی برازش در مدل تاب‌آوری ساختمان در سیلاب ۰/۷۹ محاسبه شده است که براساس برآورد انجام‌گرفته برای شاخص نیکویی برازش مدل، هرچه مقادیر به‌دست‌آمده به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، مورد قبول است و برازش مدل خوب است. برای تعدیل وزن از شاخص نیکویی برازش تعدیل‌شده استفاده شد. میزان شاخص نیکویی برازش مدل را رابطهٔ حجم نمونه و درجات آزادی مدل تعدیل می‌کند که این شاخص هم مانند شاخص نیکویی برازش بین صفر و ۱ در نوسان است. هر کدام از سازه‌ها در سطح به‌نسبت مناسبی ارزیابی شده است؛ به‌طوری که شاخص ریشهٔ میانگین توان دوم خطای تقریب برای همهٔ زیرمؤلفه‌های مدل تاب‌آوری ساختمان در سیلاب از ۰/۰۷ است شاخص برازندگی تطبیقی ۰/۸۷، شاخص نرم‌شدگی برازندگی نیز ۰/۶۳ است که هرچه به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد مورد قبول و برازش مدل به‌نسبت خوب است

جدول ۱۳. ماتریس همبستگی پیرسون بین متغیرهای پژوهش

متغیر	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
سازگاری – انعطاف	۱	–	–	–	–	–	–	–	–	–
اتصال بازخورد ایمن شکست	۰/۸۶۱**	۱	–	–	–	–	–	–	–	–
وابستگی به اکوسیستم‌های محیطی	۰/۶۲۴**	۰/۷۳۱**	۱	–	–	–	–	–	–	–
تنوع	۰/۶۲۳**	۰/۷۰۳**	۰/۷۱۹**	۱	–	–	–	–	–	–
یادگیری- حافظه- پیش‌بینی	۰/۵۰۲**	۰/۴۷۱**	۰/۲۵۱**	۰/۳۷۸**	۱	–	–	–	–	–
عملکرد	۰/۶۴۸**	۰/۶۱۷**	۰/۴۲۳**	۰/۴۶۰**	۰/۶۰۴**	۱	–	–	–	–
سرعت پاسخگویی	۰/۲۴۵**	۰/۲۳۶**	۰/۱۵۳**	۰/۱۰۰	۰/۲۱۳**	۰/۲۴۲**	۱	–	–	–
افزونگی قطعه‌بندی	۰/۱۰۳	۰/۱۲۲*	۰/۱۱۴**	۰/۰۸۹	۰/۰۶۵	۰/۱۰۰	۰/۶۱۱	۱	–	–
تدبیر	۰/۳۲۳**	۰/۱۹۸**	۰/۱۸۷**	۰/۱۰۱	۰/۲۳۱**	۰/۳۴۲**	۰/۲۳۱**	۰/۲۴۵**	۱	–
استحکام	۰/۲۰۱**	۰/۳۱۲**	۰/۱۶۷**	۰/۲۳۲**	۰/۱۸۷**	۰/۱۹۷**	۰/۳۱۱**	۰/۳۴۱**	۰/۲۳۷**	۱

طبق جدول شماره ۱۳ ، ضرایب همبستگی معنادار اگر در فاصلهٔ ۰/۳ باشد، شدت رابطه ضعیف است، اگر در فاصلهٔ ۰/۶ باشد، شدت رابطهٔ متوسط است و اگر در فاصلهٔ ۰/۶ تا ۱ باشد، شدت رابطه قوی است. شایان ذکر است که جهت رابطه را علامت ضریب همبستگی تعیین می‌کند، به‌نحوی که اگر ضریب همبستگی بین دو متغیر مثبت باشد، رابطهٔ بین دو متغیر مستقیم و مثبت، و اگر منفی باشد، رابطهٔ بین دو متغیر منفی و معکوس است. در این بخش، یافته‌های تحقیق براساس سؤالات تحقیق تجزیه‌وتحلیل می‌شوند و هدف آن نتیجه‌گیری پیرامون ویژگی‌های جامعه‌ای است که نمونهٔ تحت مطالعه از آن استخراج شده است. بر این مبنا برای تجزیه‌وتحلیل سؤال‌ها و فرضیه‌های پژوهش از تحلیل عاملی تأییدی و مدل‌سازی معادلات ساختاری استفاده شده است.

نتیجه‌گیری

مؤلفه‌های سازگاری– انعطاف، اتصال، بازخورد، ایمنی، شکست، وابستگی به اکوسیستم‌های محیطی، تنوع، یادگیری- حافظه- پیش‌بینی، عملکرد، سرعت پاسخگویی، افزونگی قطعه‌بندی، تدبیر و استحکام) متغیری اثرگذار بر تاب‌آوری ساختمان در سیلاب است.

$$H_0: B_i = 0 \qquad H_0: B_i \neq 0$$

Ho: مؤلفه‌های سازگاری– انعطاف، اتصال بازخورد ایمن شکست، وابستگی به اکوسیستم‌های محیطی، تنوع، یادگیری- حافظه- پیش‌بینی، عملکرد، سرعت پاسخگویی، افزونگی قطعه‌بندی، تدبیر، استحکام، متغیری اثرگذار بر تاب‌آوری ساختمان در سیلاب نیست.

H1: مؤلفه‌های سازگاری– انعطاف، اتصال بازخورد ایمن شکست، وابستگی به اکوسیستم‌های محیطی، تنوع، یادگیری- حافظه- پیش‌بینی، عملکرد، سرعت پاسخگویی، افزونگی قطعه‌بندی، تدبیر، استحکام، متغیری اثرگذار بر تاب‌آوری ساختمان در سیلاب است. در آزمون فرضیهٔ مورد نظر با استفاده از مدل معادلات ساختاری، خروجی نرم‌افزار نشان‌دهندهٔ مناسب بودن مدل ساختاری برازش‌یافته برای آزمون فرضیه‌های پژوهش است.

جدول ۱۴. نتایج تحلیل مدل‌سازی معادلات ساختاری فرضیه‌های پژوهش

ضریب استاندارد	T - Value	متغیر پیش‌بین	متغیر ملاک	نتیجهٔ آزمون
۰/۹۵	۷/۲۳	سازگاری– انعطاف	تاب‌آوری ساختمان در سیلاب	H1
۰/۹۷	۶/۷۳	اتصال، بازخورد، ایمنی، شکست	تاب‌آوری ساختمان در سیلاب	H1
۰/۸۳	۴/۵۵	وابستگی به اکوسیستم‌های محیطی	تاب‌آوری ساختمان در سیلاب	H1
۰/۷۴	۱۱/۷۳	تنوع	تاب‌آوری ساختمان در سیلاب	H1
۰/۷۷	۴/۱۶	یادگیری- حافظه- پیش‌بینی	تاب‌آوری ساختمان در سیلاب	H1
۰/۵۳	۳/۲۸	عملکرد	تاب‌آوری ساختمان در سیلاب	H1
۰/۲۴	۳/۷۸	سرعت پاسخگویی	تاب‌آوری ساختمان در سیلاب	H1
۰/۱۴	۵/۹۷	افزونگی قطعه‌بندی	تاب‌آوری ساختمان در سیلاب	H1
۰/۶۵	۶/۳۲	تدبیر	تاب‌آوری ساختمان در سیلاب	H1
۰/۹۵	۹/۶۵	استحکام	تاب‌آوری ساختمان در سیلاب	H1

در این تحقیق نرخ ناسازگاری با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice11 برابر با ۰/۰۶ به‌دست آمد که سطح قابل قبولی را در مقایسه‌های زوجی معیارها نشان می‌دهد که در جدول ۱۴ نشان داده شده است شاخص‌های افزونگی تعادل با اثرهای بالقوهٔ 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. شاخص‌های یادگیری از تجارب 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 است. بدین ترتیب برای ارتقای تاب‌آوری آنها باید افزایش افزونگی تعادل ساختمان و همچنین افزایش ظرفیت عملکرد در اولویت برنامه‌های تاب‌آوری ساختمان قرار گیرد.

جدول ۱۵. 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 به‌موقع به شرایط متغیر	۰/۰۲۷
		طراحی باز و ساختارهای انعطاف‌پذیر	۰/۰۴۹
۲	اتصال – بازخورد – ایمنی-شکست	جذب شوک	۰/۰۰۷
		جذب اثرهای 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
		شکست بدون اثرهای آبشاری (اثر دومینو)	۰/۰۲۴
		تجزیه‌وتحلیل به‌صورت جفت سیستم فناوری- انسان	۰/۰۰۵
		شناسایی اثرهای قفل‌کننده و تناقض‌های احتمالی با کاهش	۰/۰۱۴
		شناسایی هم‌افزایی با دیگر خط مشی‌های شهر، برآورد ارزش افزوده	۰/۰۱۵
۳	وابستگی به اکوسیستم‌های محلی	کنترل سیلاب	۰/۰۱۲
		طراحی و مدیریت زیست‌اقلیمی	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 اثرهای بالقوه آبشاری	۰/۰۱۳
۵	یادگیری- حافظه – پیش‌بینی	یادگیری از تجارب 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
		ساخت‌وساز بر اساس ارزش بلندمدت و پیشینه شهر	۰/۰۰۷
		ادغام تاب‌آوری در سناریوهای توسعهٔ بلندمدت	۰/۰۲
۶	عملکرد	ظرفیت عملکرد	۰/۰۵۶
		کیفیت سیستم به 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 مرگ‌ومیر و بیماری	۰/۰۰۷
		سازماندهی مجدد	۰/۰۱۵
		حفظ عملکرد و برقراری دوبارهٔ آن	۰/۰۳۲
		بازگرداندن ساختار	۰/۰۱۷
		برقراری نظم عمومی	۰/۰۱۳
		جلوگیری از اختلال در آینده	۰/۰۰۵

ادامه جدول ۱۵. وزن‌دهی شاخص‌ها

ردیف‌ها	مؤلفه‌های تاب‌آوری	زیر مؤلفه‌های تاب‌آوری	وزن‌ها
۸	افزونگی- قطعه‌بندی	جایگزینی سیستم‌ها یا عوامل سیستم‌ها	۰/۰۵۴
		بافر از شوک‌های خارجی یا تغییر در تقاضاها	۰/۰۱۳
		جایگزین کردن اجزا با قطعات مدولار	۰/۰۲۶
		افزونگی تعادل با اثرهای 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 فرایندهای 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

تقدیر و تشکر

این مقاله با حمایت گروه مدیریت محیط زیست دانشکدهٔ علوم و فنون دریایی دانشگاه آزاد اسلامی تهیه شده که بدین وسیله سپاسگزاری می‌شود.

منابع

[۱]. بهرامی، شهرام؛ و ایمنی، سپیده (۱۳۹۸). «ارزیابی چند مدل تجربی در برآورد رواناب سالیانه؛ مطالعهٔ موردی: حوضهٔ حصارک در شمال غرب تهران»، *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، دورهٔ ۳۰، شمارهٔ ۲، ص ۷۴-۵۵.

[۲]. حاجی‌بیگلو، محبوبه؛ و شیخ، واحد (۱۳۹۷). «تحلیل مدیریت ریسک سیلاب براساس مفاهیم خطر، مواجهه و آسیب پذیری با ارائهٔ چارچوب‌ها و مدل‌ها»، نشریهٔ آب و توسعهٔ پایدار، دورهٔ ۵، شمارهٔ ۱، ص ۸۲-۷۳.

[۳]. حسام، رسول؛ ضرابی، اصغر؛ و تقوایی، مسعود (۱۳۹۸). «پتانسیل‌سنجی خطر سیلاب شهری با رویکرد توسعهٔ شهری ایمن (مطالعهٔ موردی: شهر گنبد کاووس)»، *مدیریت مخاطرات محیطی*، دورهٔ ۶، شمارهٔ ۱، ص ۳۲-۱۷.

[۴]. رستمی فتح‌آبادی، محمد؛ جعفربیگلو، منصور؛ و مقیمی، ابراهیم (۱۳۹۹). «تحلیل فضایی مناطق سیل‌زده و سیل‌خیز شهر نورآباد لرستان و مخاطرات آن»، *مدیریت مخاطرات محیطی*، دورهٔ ۷، شمارهٔ ۳، ص ۳۲۹-۳۱۳.

[۵]. سادات حمصی، ملیحه؛ یاراحمدی، داریوش؛ اونق، مجید؛ و شمسی‌پور، علی‌اکبر (۱۳۹۸). «کاهش پهنهٔ خطر سیل در حوضهٔ دشت کاشان از طریق اجرای سناریوی آمایش خطرمدار»، *مدیریت مخاطرات محیطی*، دورهٔ ۶، شمارهٔ ۳، ص ۲۸۵-۲۷۱.

[۶]. صفاری، امیر؛ ساسانپور، فرزانه؛ و موسیوند، علی (۱۳۹۰). «ارزیابی آسیب پذیری مناطق شهری در برابر خطر سیل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و منطق فازی؛ مطالعهٔ موردی: منطقهٔ ۳ تهران، *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (علوم جغرافیایی)*، دورهٔ ۱۷، شمارهٔ ۲۰، ص ۱۵۰-۱۲۹.

[۷]. کاظمی، آفاق؛ رضائی مقدم، محمدحسین؛ نیکجو، محمدرضا؛ حجازی، میراسدالله؛ و خضری، سعید (۱۳۹۵). «پهنه‌بندی و مدیریت مخاطرات سیلاب در رودخانهٔ سیمینه‌رود با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC – RAS»، *مدیریت مخاطرات محیطی*، دورهٔ ۳، شمارهٔ ۴، ص ۳۹۳-۳۷۹.

[۸]. کدخداحسینی، مصطفی؛ شامحمدی، شایان؛ میرعباسی نجف‌آبادی، رسول؛ و نوذری، حامد (۲۰۱۸). «ارزیابی عملکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان در بازسازی داده‌های ماهانه و فصلی بارش در ایستگاه‌های باران‌سنجی (مطالعهٔ موردی: استان همدان»، *پژوهش آب ایران*، دورهٔ ۱۱، شمارهٔ ۳، ص ۵۰-۴۷.

[۹]. هزاره؛ وحید؛ و باخرزی قزالحصار، سیدمحمد (۲۰۱۸). «تحلیل تهدید طبیعت پایهٔ سیلاب در خط یک قطار شهری مشهد»، *جغرافیا و روابط انسانی*، دورهٔ ۱، شمارهٔ ۳، ص ۵۲۲-۵۳۸.

[10]. Adger, W. Neil; Safra de Campos, Ricardo; Tasneem Siddiqui; & Szaboova, Lucy (2020). "Commentary: Inequality, precarity and sustainable ecosystems as elements of urban resilience", *Urban Studies*, 57(7), pp: 1588-1595.

[11]. Aguilar-Barajas, Ismael; P.Sisto; Nicholas; I.Ramirez; Aldo (2019). "Building urban resilience and knowledge co-production in the face of weather hazards: flash floods in the Monterrey Metropolitan Area (Mexico)", *Environmental Science & Policy*, 99, 37-47.

[12]. Asiedu, Joel Bernard. (2020). "Reviewing The argument on floods in urban areas: a look at the causes, *Theoretical and Empirical Researches in Urban Management*, 15(1), pp: 24-41.

[13]. Bertilsson, Louise., Wiklund, Karin., de Moura Tebaldi, Isadora., Rezende, Osvaldo Moura., Veról, Aline Pires., Miguez, Marcelo Gomes (2019). "Urban flood resilience–A multi-criteria index to integrate flood resilience into urban planning". Journal of Hydrology, 573, 970-982.

[14]. Cobbinah, Patrick Brandfu (2021). "Urban resilience in climate change hotspot", *Land use policy*, 100, 104948.

[15]. Kotzee, Ilse; & Reyers, Belinda (2016). "Piloting a social-ecological index for measuring flood resilience: A composite index approach", *Ecological Indicators*, 60, pp: 45-53

[16]. Meerow, Sara; Newell, Joshua P.; & Stults, Melissa (2016). "Defining urban resilience: A review", *Landscape and urban planning*, 147, pp: 38-49.

[17]. Moloney, Susie; & Doyon, Andreanne (2021). "The Resilient Melbourne experiment: Analyzing the conditions for transformative urban resilience implementation", *Cities*, 110, 103017.

[18]. Otto-Zimmermann, Konrad & Balbo; Alice (2012). "The Global Adaptation Community Expands Its Scope", *Resilient Cities* 2, pp: 3-8, Springer, Dordrecht

[19]. Pant, Raghav; Thacker, Scott; Hall, Jim Walio; & Alderson, Barr (2018). "Critical infrastructure impact assessment due to flood exposure", *Journal of Flood Risk Management*, 11(1)0, pp: 22-33.

[20]. Pandeya, Bhopal; Uprety; Madhab; Paul, Jonathan D.; Sharma, Rishi Ram.; Dugar, Sumit.; & Buytaert, Wouter (2020). "Mitigating flood risk using low-cost sensors and citizen science: A proof-of-concept study from western Nepal", *Journal of Flood Risk Management*, 34 (3), pp: 311-324.

[21]. Sen, Mrinal Kanti; Dutta, Subhrajit; & Kabir, Golam (2021). "Development of flood resilience framework for housing infrastructure system: Integration of best-worst method with evidence theory", *Journal of Cleaner Production*, 290, 125197.

[22]. Song, Shuang; Wang, Shuai; Fu, Bojie; Dong, Yuxiang; Liu, Yanxu; Chen, Haibin.; & Wang, Yaping. (2020). "Improving representation of collective

memory in socio-hydrological models and new insights into flood risk management", *Journal of Flood Risk Management*, 34 (3), pp: 324-335

[23]. Yang, Yuying; Guo, Haixiang.; Wang, Deyun.; Ke, Xiaoling; Li, Shiche; & Huang, Sirui. (2021). "Flood vulnerability and resilience assessment in China based on super-efficiency DEA and SBM-DEA methods", *Journal of Hydrology*, 600, 126470.