

Developing a Strategic Framework for Physical Resilience Against Earthquake Risk (Case Study: District 12, Tehran)

Farnaz Ghazi

Department of Urban Planning, Research Sciences Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Email: farnaz.gh.mhd@gmail.com

Hossein Zabihi

Department of Urban Planning, Research Sciences Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran (corresponding author).

Email: h.zabihi@srbiau.ac.ir

Hamid Majedi

Department of Urban Planning, Research Sciences Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Email: majedi_h@yahoo.com

Abstract

The primary objective of the current study is to develop a strategic framework for assessing the capacity of physical resilience. To achieve this, a combination of qualitative and quantitative methods was employed. In the qualitative phase, indicators were identified through a thorough literature review, while in the quantitative phase, these indicators were categorized based on their significance using structural interpretation equations. The relative weight of each index was then determined through network analysis. The research findings classify thirteen key indicators into three priority groups. Notably, indicators such as "the ratio of the nearest neighbor," "the degree of straightness of the pedestrian path," "the ratio of the dominant strength of the skeleton of the buildings in each block," and "the ratio of the average area of the block to the length of the block" belong to the first priority group. The index "soil type ratio (at a depth of 30-40 cm) to the volume envelope size of the block" falls into the second priority group, while the remaining indicators are in the third priority group. The study focused on two neighborhoods, Bazar and Harandi in the district 12 of Tehran, and the results indicate that both neighborhoods have very low resilience levels (85.93% for Bazar and 79.36% for Harandi) in the face of a Mercalli 6 earthquake. Finally, the study proposes policies based on indicators with the highest relative weight, aiming to provide city decision-makers with valuable insights for crisis management preparedness.

Keywords: Physical resilience, interpretive structural equations, MIC-MAC analysis, network analysis model, risk management.



تدوین چهارچوب راهبردی تاب‌آوری کالبدی در برابر خطر زلزله؛ نمونه موردی: منطقه ۱۲ تهران

فرناز غازی

گروه شهرسازی، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

Email: farnaz.gh.mhd@gmail.com

حسین ذبیحی

گروه شهرسازی، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (نویسنده مسئول).

Email: h.zabihi@srbiau.ac.ir

حمید ماجدی

گروه شهرسازی، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

Email: Email: majedi_h@yahoo.com

چکیده

پژوهش حاضر در نظر دارد به ارائه چهارچوب راهبردی، جهت ارزیابی ظرفیت تاب‌آوری کالبدی بپردازد. به همین منظور از ترکیب روش کیفی و کمی برای پیشبرد اهداف پژوهش استفاده شده است، به طوری که در بخش کیفی، به شناسایی شاخص‌ها با بهره‌گیری از مرور ادبیات پرداخته شده است و در بخش کمی نیز دسته‌بندی شاخص‌ها بر اساس اهمیت آن‌ها با استفاده از معادلات تفسیری ساختاری انجام شد و سپس، وزن نسبی هر یک از شاخص‌ها از طریق فرایند تحلیل شبکه تعیین شد. یافته‌های پژوهش، سیزده شاخص کلیدی را در سه گروه به ترتیب اولویت دسته‌بندی می‌نماید؛ به طوری که شاخص‌های «نسبت نزدیک‌ترین همسایه (C1)»، «میزان مستقیم بودن مسیر پیاده (C3)»، «نسبت استحکام غالب اسکلت ساختمان‌های موجود در هر بلوک (C4)»، «نسبت میانگین مساحت بلوک به طول بلوک (C5)» در گروه اولویت اول، شاخص «نسبت نوع خاک (در عمق ۳۰-۴۰ سانتی‌متری) به اندازه پاکت حجمی بلوک (C12)» در گروه اولویت دوم و بقیه شاخص‌ها در گروه اولویت سوم قرار می‌گیرند. بر اساس چهارچوب به دست آمده، دو محله بازار و هرنندی در منطقه دوازده شهر تهران مورد بررسی قرار گرفت. نتایج کلی نشان می‌دهد که ۸۵/۹۳ درصد بافت محله بازار و ۷۹/۳۶ درصد محله هرنندی، با در نظر گرفتن زلزله ۶ مرکالی، در شرایط با تاب‌آوری بسیار کم قرار دارند. نهایتاً، سیاست‌های پیشنهادی براساس شاخص‌هایی با بیشترین وزن نسبی ارائه شد که می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان شهری بینشی شفاف‌تر در جهت آمادگی در مدیریت بحران ارائه دهد.

کلیدواژه‌ها: تاب‌آوری کالبدی، معادلات ساختاری تفسیری، تحلیل میک مک، مدل تحلیل شبکه، زلزله.



مقدمه و بیان مسئله

در سال ۲۰۰۹، برای اولین بار در تاریخ بشر، تعداد ساکنان شهرها از جمعیت روستایی بیشتر شد (UN-HABITAT, 2009). اگر یک قرن پیش، جهان کمتر از دو میلیارد نفر جمعیت داشت که تنها ۲۰ درصد از آن‌ها در شهرها زندگی می‌کردند (Affairs, 1969)، در سال ۲۰۱۵، ۵۴/۵ درصد از جمعیت جهان - حدود چهار میلیارد نفر - در سکونتگاه‌های شهری زندگی می‌کردند (UN-Habitat, 2016). همچنین انتظار می‌رود که تا سال ۲۰۵۰، ۶۶ درصد از جمعیت پیش‌بینی‌شده جهان در شهر سکونت نمایند که ۸۷ درصد از این شهرنشینان جدید در کشورهای در حال توسعه امروزی زندگی می‌کنند (UN-Habitat, 2012). شهرنشینان جدید در شهرهایی زندگی خواهند کرد که هنوز وجود ندارند (Diversity, 2012)؛ از همین‌رو این تغییرات منجر به افزایش توسعه ساختار کالبدی شهری و ساخت‌وسازهای جدید در شهرها می‌شود. با وجود اینکه که تغییر، مشخصه شهرهای زنده در همه اعصار بوده است، اما سرعتی که در حال حاضر با آن اتفاق می‌افتد از نظر وسعت و شتاب بی‌سابقه است (NATIONS, 2015). موارد ذکر شده فشاری باور نکردنی بر اکوسیستم جهانی وارد می‌کند و در فراوانی و شدت بلایای طبیعی و پیامدهای آن به‌طور نامتناسبی بر کشورهای در حال توسعه و شهروندان آسیب‌پذیر تأثیر می‌گذارد. در همین خصوص با توجه به این‌که زمین‌لرزه‌ها از شایع‌ترین و فاجعه‌بارترین مخاطرات طبیعی هستند. و هرساله بیش از ۱/۴ میلیون زمین‌لرزه روی زمین رخ می‌دهد که منجر به خسارات جانی و اقتصادی قابل توجهی می‌شود. آسیب‌پذیری در برابر خطرات زمین‌لرزه، به‌ویژه در شهرهایی در کشورهای در حال توسعه که نرخ رشد سریع جمعیتی را تجربه می‌کنند اما در برنامه‌ریزی و آماده‌سازی مناسب برای خطرات طبیعی، مانند زلزله، ناتوان هستند، مسئله بزرگی است (Freddi, 2021). درحالی‌که هدف موارد فوق ارائه توضیح کاملی از مسائل پیچیده پیرامون شهرنشینی نیست، بیانگر تغییرات عمیقی است که شهرهای ما دستخوش آن هستند و انتظار می‌رود در آینده با آن مواجه شوند به همین منظور، اگر قرار است شهرسازی بخشی از راه حل باید ابزارها و نظریه‌های موجود در آن مورد بازنگری قرار گیرد. بنابر این تحقیق حاضر در نظر دارد پس از شناسایی مؤلفه‌های تاب‌آوری کالبدی و کمی‌سازی آن‌ها به ارائه چهارچوبی راهبردی جهت ارزیابی ظرفیت تاب‌آوری کالبدی بپردازد. این مطالعه با تدوین سؤالاتی از قبیل «چگونه می‌توان مؤلفه‌های تاب‌آوری کالبدی شهر در برابر

خطر زلزله را تبیین کرد؟» و «ابزارهای تحلیلی برای ارزیابی تاب‌آوری کالبدی شهر در برابر زلزله کدام‌ها هستند؟» در نظر دارد به شناسایی مؤلفه‌های کالبدی تاب‌آوری و ارائه ابزارهای ارزیابی بپردازد و در نهایت بر اساس یافته‌ها و تحلیل انجام شده راهبردهایی ارائه می‌شود که می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان شهری بینشی شفاف‌تر در جهت بهبود شرایط فعلی توصیه نماید.

۱. پیشینه پژوهش

با اذعان به اینکه محققین مختلفی سعی در پیدا نمودن زمینه مشترک بین تفکر تاب‌آوری و شهرسازی نموده‌اند (Ahern, 2013; Allan, 2013; J.Garcia, 2017; Marcus, 2014; Pickett, 2013)، اما، اغلب در ادبیات شهرسازی، واژه تاب‌آوری در حد کلمات باقی‌مانده است و هنوز بسیار ناپخته است (Stumpp, 2013). در حال حاضر، این موضوع به ندرت عمیقاً مورد بحث قرار گرفته است (Allan, 2013; Hassler, 2014) و هنوز تا رسیدن به وضعیت با ثبات و عملیاتی فاصله زیادی دارد؛ این امر را می‌توان به دو دلیل اصلی مرتبط کرد؛ اول، تاب‌آوری شهری عمدتاً بر مدیریت ریسک و بلایا و اکوسیستم‌های شهری متمرکز است. بنابر این کاربرد دانش طراحی شهری که بیشتر بر فرم شهری متکی است نادیده گرفته می‌شود (J.Garcia, 2017) و تاب‌آوری شهرها همچنان عمدتاً از منظر اکولوژیکی - محیطی مورد بررسی قرار می‌گیرند (Marcus, 2014). دوم، علی‌رغم این واقعیت که نظریه تاب‌آوری «امیدبخش‌ترین عرصه فرا رشته‌ای در محیط ساخته شده» در نظر گرفته می‌شود (Hassler, 2014)، بیشتر ارجاعات به ساختار فضایی شهرها به زیرساخت‌های فنی سیستم‌ها، شبکه انرژی یا مسیرهای حرکتی محدود می‌شوند؛ لذا عمدتاً در مقیاس شهری یا منطقه‌ای، هیچ اشاره‌ای به مؤلفه‌های مورفولوژیکی اساسی محیط مصنوع، مانند قطعه‌ها، ساختمان‌ها، خیابان‌ها، بلوک‌ها و فضاهای عمومی ندارند. بنابر این اگر قرار است تفکر تاب‌آوری با دیدگاه شهرسازی مورد بررسی قرار بگیرد، باید دانش نظری تلفیقی، روش‌های تحقیق و ابزارهای ارزیابی از حوزه شهرسازی با تاب‌آوری شهری مرتبط گردد. در حال حاضر، معنای طراحی شهرهای تاب‌آور به‌عنوان قلمرو ناشناخته باقی است؛ از همین رو باید تاب‌آوری از منظر شهرسازی تبیین شود، به این معنا که پرسش همیشگی «شکل فضایی شهر پایدار چیست؟» به «چگونه می‌توان شکل شهر را برای ایجاد ظرفیت تاب‌آوری سازمان‌دهی کرد؟» تغییر پیدا کند و پاسخ این پرسش مستلزم ایجاد یک «چهارچوب قابل اجرا برای گنجاندن تاب‌آوری در طراحی و ساخت محیط

مصنوع» است (Ahern, 2013; Anderies, 2013)؛ دوم، یک مشکل کلی‌تر وجود دارد با این مضمون که بررسی وضعیت تحقق تاب‌آوری شهری در موضوع نحوه ارزیابی آن نهفته است. در واقع، مفهوم تاب‌آوری نمی‌تواند به راحتی اجرا و اندازه‌گیری شود (Forgaci, 2014). بنابر این، وجود ابزارهای قابل اعتماد برای انجام ارزیابی تاب‌آوری و تعریف آن به‌عنوان مفهومی فراتر از تئوری و تصویر ذهنی متخصصان، ارزیابان و جهت نظارت بر پروژه‌های شهری بسیار مهم است (Sharifi, 2019)؛ چرا که امکان شناسایی نقاط ضعفی را که باید برطرف شوند و حوزه‌هایی که باید در فعالیت‌های تاب‌آوری اولویت‌بندی شوند را می‌دهد و به نوبه خود، می‌تواند تصمیم‌گیری مبتنی بر شواهد را به سمت تاب‌آوری بهتر در برابر بلایا تسهیل نماید (Sellberg, 2015; Yang, 2019) (کازمیان و همکاران، ۱۴۰۰).

در همین خصوص، به‌منظور ارائه چهارچوب ارزیابی در حوزه تاب‌آوری کالبدی به بررسی ادبیات برون‌مرزی، در قالب یک رشته جست‌وجوی بولی با کلیدواژه‌های «تاب‌آوری کالبدی» یا «تاب‌آوری مورفولوژی» و «زلزله»، پرداخته شد؛ به گونه‌ای که این کلمات در عنوان، چکیده و کلمه کلیدی آن‌ها سفارشی شد در پایگاه داده آنلاین SCOPUS در سپتامبر ۲۰۲۲ انجام شد و بعداً در فوریه ۲۰۲۳ در پایگاه SCOPUS و در فوریه ۲۰۲۴ در پایگاه SCISPACE به‌روزرسانی شد. سپس در پایگاه هوش مصنوعی SCISPACE، مجدداً بازنگری شد. همچنین، در خصوص مطالعات داخل مرزی، جست‌وجو در بازه زمانی ۱۴۰۱/۰۸/۲۰ تا ۱۴۰۱/۱۰/۰۲ با استفاده از کلمات کلیدی ذکر شده در پایگاه‌های SID.IR و پرتال جامع علوم انسانی انجام شد و مطالعات مرتبط استخراج و رساله‌های مربوطه نیز جمع‌آوری شد. در نهایت مجموعاً ۲۰ مورد ادبیات برون‌مرزی و ۲۱ مورد ادبیات درون‌مرزی به دست آمد و پس از بازخوانی تمامی ۴۱ مستند به دست آمده ۷۵ شاخص کالبدی در بحث تاب‌آوری شناسایی شد.

۲. روش پژوهش

تحقیق حاضر به لحاظ روش ترکیبی از روش کمی و کیفی و به لحاظ هدف، کاربردی است. در گام اول برای غربالگری ۷۵ شاخص به دست آمده از مرور ادبیات به طراحی پرسش‌نامه ۵ طیفی فازی در یک مرحله جهت ارائه به ۱۵ نفر به‌عنوان خبرگان (افراد با تحصیلات مرتبط و حداقل ۱۰ سال تجربه کاری) که به روش نمونه‌گیری غیراحتمالی و با روش گلوله برفی انتخاب شده‌اند پرداخته می‌شود. به

جهت گردآوری دیدگاه خبرگان یک ماتریس 15×75 تشکیل می‌شود؛ به طوری که در ستون‌های ماتریس شاخص‌ها و در سطرهای ماتریس امتیاز هر کدام از کارشناسان قرار می‌گیرد. در نهایت به منظور تجمیع دیدگاه‌ها از روش میانگین فازی استفاده می‌شود، بدین معنی که امتیازی که هر کارشناس به هر شاخص اختصاص داده ابتدا بر اساس جدول زیر به اعداد فازی تبدیل می‌شود و سپس با هم جمع می‌شوند و بر تعداد شاخص‌ها تقسیم می‌شود برای مثال امتیاز شاخص اول، بر اساس جدول ۲ برابر است با:

جدول ۱: اعداد فازی مثلثی طیف لیکرت ۵ درجه‌ای (حبیبی و همکاران، ۱۳۹۳: ۳۲)

مقیاس عدد فازی	امتیاز فازی	متغیر زبانی
(0, 0, 0.25)	1	کاملاً مخالف
(0, 0.25, 0.5)	2	مخالف
(0.25, 0.5, 0.75)	3	نسبتاً موافق
(0.5, 0.75, 1)	4	موافق
(0.75, 1, 1)	5	کاملاً موافق

$$AVE_{C1} = 1/15 (0.75, 1, 1) + (0.25, 0.5, 0.75) + (0.5, 0.75, 1) + (0.25, 0.5, 0.75) + (0.25, 0.5, 0.75) + (0.25, 0.5, 0.75) (0.25, 0.5, 0.75) (0.25, 0.5, 0.75) (0.25, 0.5, 0.75) (0.25, 0.5, 0.75) (0.25, 0.5, 0.75) (0.25, 0.5, 0.75) (0.25, 0.5, 0.75) (0.25, 0.5, 0.75) (0.25, 0.5, 0.75) + (0.75, 1, 1) = (0.25, 0.5, 0.75)$$

به همین ترتیب تا شاخص شماره ۷۵ محاسبات ادامه می‌یابد و پس از محاسبه میانگین فازی دیدگاه خبرگان، اعداد حاصل با استفاده از فرمول مینکوفسکی فازی‌زدایی می‌شود، برای محاسبه این اعداد، اعداد فازی مثلثی مانند $F=(l,m,u)$ در فرمول مینکوفسکی قرار می‌گیرد.

$$X = m + \frac{u-l}{4} \text{ فرمول مینکوفسکی}$$

پس از دی فازی شدن اعداد فازی مربوط به هر شاخص، با تعریف آستانه تحمل 0.7 به پیشنهاد خبرگان، شاخص‌هایی که اعداد قطعی آن‌ها از عدد آستانه کمتر باشد حذف می‌شوند. با توجه به این که بعضی از شاخص‌ها دارای معانی یکسان اما با اصطلاح‌های متفاوت در مطالعات پیشین بیان شده بودند، پس از یکسان‌سازی شاخص‌های هم معنی تعداد ۱۵ شاخص به‌عنوان شاخص‌های تاب‌آوری کالبدی مستخرج از ادبیات پژوهش و مورد توافق خبرگان در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۲: شاخص‌های مستخرج و مورد توافق تاب‌آوری کالبدی در برابر خطر زلزله پس از اعمال حد آستانه

منبع	نام شاخص
احدنژاد، ۱۳۹۵؛ اصلانی، ۱۳۹۷؛ امجد، ۱۳۹۸؛ پوراحمد، ۱۳۹۷؛ طبیبیان، ۱۳۹۷؛ عبدالله، ۱۳۹۹ (Parizi, 2022; Shukla, 2023)	تراکم ساختمان
اصلانی، ۱۳۹۷؛ باقرنژاد، ۱۴۰۰؛ پوراحمد، ۱۳۹۷؛ عبدالله، ۱۳۹۹؛ دلشاد و همکاران، ۱۴۰۰ (Farhadi, 2022; Jamali, 2021; Parizi, 2022; Sujata Kodag, 2022)	دسترسی به امکانات شهری (تعداد ایستگاه‌های آتش‌نشانی، دسترسی به حمل‌ونقل عمومی، دسترسی به مراکز درمانی، تعداد مراکز آموزشی، تعداد مراکز خرید، دسترسی به مراکز خدمات اضطراری، تعداد ایستگاه‌های پلیس در هر کیلومتر مربع، تخلیه و اسکان اضطراری)
(Jamali, 2021; Parizi, 2022; Shukla, 2023; Sujata Kodag, 2022) اصلانی، ۱۳۹۷؛ دلشاد و همکاران، ۱۴۰۰	کاربری زمین، تعداد کاربری‌های مسکونی، تنوع کاربری زمین (مقدار انواع کاربری)، تناسب کاربری اراضی
(Jamali, 2021; Parizi, 2022; Shukla, 2023; Sujata Kodag, 2022) اصلانی، ۱۳۹۷؛ دلشاد و همکاران، ۱۴۰۰	کاربری زمین، تعداد کاربری‌های مسکونی، تنوع کاربری زمین (مقدار انواع کاربری)، تناسب کاربری اراضی
(Farhadi, 2022; Jamali, 2021; Sujata Kodag, 2022) ابدالی، ۱۳۹۸؛ احدنژاد، ۱۳۹۵؛ طبیبیان، ۱۳۹۷؛ عشقی چهاربرج، ۱۳۹۶	قدمت ساختمان‌ها، عمر بنا به سال، سن بنا (تعداد سال‌های ساخته شده پس از ساخت)، قدمت آثار تاریخی
(Farhadi, 2022; Jamali, 2021; Sujata Kodag, 2022) ابدالی، ۱۳۹۸؛ احدنژاد، ۱۳۹۵؛ طبیبیان، ۱۳۹۷؛ عشقی چهاربرج، ۱۳۹۶	قدمت ساختمان‌ها، عمر بنا به سال، سن بنا (تعداد سال‌های ساخته شده پس از ساخت)، قدمت آثار تاریخی
(Farhadi, 2022) ابدالی، ۱۳۹۸؛ احدنژاد، ۱۳۹۵؛ طبیبیان، ۱۳۹۷؛ عشقی چهاربرج، ۱۳۹۶	دانه‌بندی قطعات به متر، نرخ ریزدانگی، نفوذناپذیری
اصلانی، ۱۳۹۷؛ عشقی چهاربرج، ۱۳۹۶	سازندهای زمین‌شناسی، امکان وقوع روانگرایی، امکان وقوع فرونشست، امکان

وقوع زمین لغزش، وضعیت لرزه خیزی	
کیفیت بنا، کیفیت ساختمان‌ها و ابنیه جداره معبر، کیفیت جداره مصنوع فضای باز موجود	(Farhadi, 2022; Parizi, 2022) ابدالی، ۱۳۹۸؛ احدنژاد، ۱۳۹۵؛ اصلانی، ۱۳۹۷؛ امجد، ۱۳۹۸؛ طبیبیان، ۱۳۹۷؛ عشقی چهاربرج، ۱۳۹۶؛ دلشاد و همکاران ۱۴۰۰
نظام بلوک‌بندی، اندازه قطعات، دانه‌بندی پارسل‌ها (نسبت تعداد قطعات به کل مساحت زمین)، دانه‌بندی به متر	(Parizi, 2022) احدنژاد، ۱۳۹۵؛ اصلانی، ۱۳۹۷
سلسله‌مراتب دسترسی، نفوذپذیری بلوک‌ها، وجود دسترسی‌های متنوع و متعدد باکیفیت مناسب به نقاط مختلف شهر، دسترسی به معابر با عرض مناسب، دسترسی به شبکه معابر اصلی، ضریب نفوذ مسیر حیاتی، دسترسی به معابر درجه ۱، دسترسی به معابر درجه ۲، سلسله‌مراتب فضایی در بافت تاریخی	(Farhadi, 2022) اصلانی، ۱۳۹۷؛ امجد، ۱۳۹۸؛ پوراحمد، ۱۳۹۷؛ طبیبیان، ۱۳۹۷؛ دلشاد و همکاران، ۱۴۰۰
تعداد طبقات	ابدالی، ۱۳۹۸؛ احدنژاد، ۱۳۹۵؛ طبیبیان، ۱۳۹۷؛ عشقی چهاربرج، ۱۳۹۶
خصوصیات زمین بستر، فاصله از گسل به متر	احدنژاد، ۱۳۹۵؛ امجد، ۱۳۹۸؛ عبدالله، ۱۳۹۹؛ عشقی چهاربرج، ۱۳۹۶؛ دلشاد و همکاران ۱۴۰۰
نوع سازه، مصالح سازه، جنس مصالح کف معبر، کیفیت مصالح ساختمانی و ابنیه، استفاده از خشت و گل در ساختار بنا	احدنژاد، ۱۳۹۵؛ اصلانی، ۱۳۹۷؛ امجد، ۱۳۹۸؛ پوراحمد، ۱۳۹۷؛ طبیبیان، ۱۳۹۷؛ عبدالله، ۱۳۹۹؛ عشقی چهاربرج، ۱۳۹۶؛ دلشاد و همکاران ۱۴۰۰
فاصله از پمپ بنزین، فاصله از تأسیسات خطرناک، وضعیت مکان استفاده‌های خطرناک مانند پمپ بنزین‌ها دوری از محدوده‌های خطرزای انسانی	(Jamali, 2021; Parizi, 2022; Shukla, 2023; Sujata Kodag, 2022) اصلانی، ۱۳۹۷؛ پوراحمد، ۱۳۹۷؛ دلشاد و همکاران، ۱۴۰۰

در ادامه محقق بر اساس شاخص‌های ارائه شده در جدول فوق‌الذکر، اقدام به تعریف شاخص‌های نو با عنوان شاخص‌های تعاملی تاب‌آوری کالبدی در سه دسته می‌نماید. به نحوی که شاخص‌ها در ارتباط با یکدیگر تعریف می‌شوند و جنبه جدیدی از ارزیابی تاب‌آوری کالبدی را به شرح زیر ارائه می‌دهند.

جدول ۳: ارائه شاخص‌های نو پژوهش بر اساس شاخص‌های موارد توافق محققین

دسته‌بندی معیارها	نماد شاخص‌ها	زیر شاخص‌ها
ویژگی‌های هندسی شبکه	C ₁	نسبت نزدیک‌ترین همسایه (به‌جای تراکم بلوک‌ها)
	C ₂	نسبت اتصال درونی خیابان (مجموع تعداد بین‌بست‌های شمارش شده و مجموع تعداد تقاطع‌های سه راه و چهار راه شمارش شده) به منطقه مؤثر پیاده‌روی
	C ₃	میزان مستقیم بودن مسیر پیاده
	C ₄	نسبت استحکام غالب اسکلت ساختمان‌های موجود در هر بلوک
	C ₅	نسبت میانگین مساحت بلوک به طول بلوک
ویژگی‌های هندسی جداره	C ₆	نسبت توده به فضا (پوشش سایت) (مساحت کلی ساخته شده / مساحت کلی محله)
	C ₇	نسبت کاربری‌های خدمات اضطراری به کاربری‌های مسکونی
	C ₈	نرخ اختلاط کاربری
	C ₉	نسبت نرخ بافت فرسوده به مساحت کل توده
	C ₁₀	فشرده‌گی نسبت ارتفاع هر بلوک به عرض گذر
ویژگی‌های سازند زمین	C ₁₁	نسبت فاصله از گسل به متوسط طبقات بارگذاری شده در هر بلوک
	C ₁₂	نسبت نوع خاک (در عمق ۳۰-۴۰ سانتی‌متری) به اندازه پاکت حجمی بلوک
	C ₁₃	نسبت میزان فرورفتگی در بازه ۱۰ ساله به تعداد ساختمان با تراکم ۱۸۰ درصد و بالاتر در هکتار

در گام سوم با بهره‌گیری از مدل ساختاری تفسیری، به‌عنوان روشی اکتشافی برای شناسایی روابط شاخص‌ها و گروه‌بندی آن‌ها بر اساس اولویت آن‌ها مبتنی بر پارادایم تفسیرگرایانه که اولین بار توسط «وارفیلد»^۱ در سال ۱۹۷۴ ارائه شد (Warfield, 1974) به سطح‌بندی و تعیین رابطه متقابل بین شاخص‌ها پرداخته می‌شود. به‌منظور گردآوری داده‌ها از پرسشنامه مدل‌سازی ساختاری تفسیری استفاده و از هریک از خبرگان خواسته شده تا در مورد رابطه‌های موجود بین زوج شاخص‌ها نظر خود را به شرح زیر بیان دارند.

- ❖ وقتی عنصر i روی عنصر z اثر دارد، اما عنصر z روی عنصر i اثری ندارد (ارتباط یک طرفه از سمت i)، از عدد یک استفاده شود؛
- ❖ وقتی عنصر i روی عنصر z تأثیری ندارد، اما عنصر z روی عنصر i تأثیر دارد (ارتباط یک طرفه از سمت z یعنی همان ارتباط معکوس) از عدد منفی یک استفاده شود؛
- ❖ زمانی که هر دو عنصر بر یکدیگر تأثیر بگذارند (ارتباط دو طرفه) از عدد دو استفاده شود؛
- ❖ زمانی که هر دو عنصر بر یکدیگر تأثیری نداشته باشند (هیچ ارتباطی بین عناصر نباشد) از عدد منفی دو استفاده شود.

برای شناسایی افراد واجد شرایط و جامعه مشارکت‌کنندگان در روش مدل‌سازی ساختاری-تفسیری از همان پنل خبرگانی که قبلاً تشکیل داده شده بود استفاده می‌شود. جامعه مشارکت‌کنندگان مدل‌سازی ساختاری-تفسیری را خبرگان و کارشناسان حوزه مورد مطالعه تشکیل می‌دهند. بنابر این تعداد افراد نمونه اهمیت چندانی ندارد بلکه ملاک خبرگی و توانمندی افراد در پاسخ به پرسش‌های پژوهشگر است. با این حال، حجم نمونه در روش مدل‌سازی ساختاری-تفسیری ۱۵ نفر در نظر گرفته شد. استفاده از تعداد بالاتر متخصصین باعث ایجاد انحراف در تحلیل ساختاری-تفسیری به دلیل الزام به استفاده از شاخص مد می‌گردد. مراحل پیاده‌سازی معادله ساختاری-تفسیری به شرح مراحل زیر است:

۲-۱. مرحله ۱: ماتریس خود تعامل ساختاری

گام اول ایجاد یک ماتریس خود تعامل ساختاری 13×13 است. ابعاد این ماتریس تعداد شاخص‌های درگیر در مسئله است و شاخص‌ها به ترتیب در سطرها و ستون‌ها ذکر شده است. سپس روابط دو به دو شاخص‌ها توسط متخصصین در ماتریس جای‌گذاری می‌شود. در صورتی که نظر اکثریت خبرگان، یعنی آرای $(N/2+1)$ مبتنی بر وجود رابطه‌ای خاص بین دو شاخص باشد، رابطه در نظر گرفته خواهد شد. در غیر این صورت هیچ رابطه‌ای بین دو بخش ایجاد نمی‌شود. در نهایت به منظور جمع‌بندی نظرات اعضا از مد (فراوانی) استفاده می‌شود.

۲-۲. مرحله ۲: ماتریس دریافتی اولیه

پس از ایجاد ماتریس خود تعامل ساختاری، با استفاده از قانون جایگزینی به ماتریس

صفر-یک تبدیل می‌شود. برای استخراج ماتریس دریافتی در هر سطر ماتریس خود تعاملی به‌جای اعداد ۱ و ۲- از عدد صفر و به‌جای اعداد ۱- و ۲ از عدد یک استفاده می‌شود.

۳-۲. مرحله ۳: ماتریس دریافتی نهایی

پس از آنکه ماتریس به یک ماتریس صفر و یک تبدیل شد باید ماتریس نهایی یا ثانویه طراحی شود. در یک ماتریس دریافتی نهایی برای اطمینان، باید روابط ثانویه (رابطه تعدی) کنترل شود. به این معنا که اگر A منجر به B شود و B منجر به C شود در این صورت باید A منجر به C شود. بنابر این اگر بر اساس روابط ثانویه باید اثرات مستقیم لحاظ شده باشد؛ اما در عمل این اتفاق نیفتاده باشد باید جدول تصحیح شود و رابطه ثانویه نیز نشان داده شود. به همین منظور اعداد تصحیحی به‌صورت ۱* داده می‌شود. سپس یک ستون به نام میزان نفوذ به ماتریس اضافه شده و اعداد هر سطر جداگانه با هم جمع می‌شود. در انتها نیز یک سطر به نام میزان وابستگی ایجاد می‌شود و مجموع اعداد هر ستون به آن اضافه می‌شود.

جدول شماره ۴: ماتریس دریافتی ثانویه پس از اعمال رابطه تعدی

میزان نفوذ	\hat{C}_{13}	\hat{C}_{12}	\hat{C}_{11}	\hat{C}_{10}	\hat{C}_9	\hat{C}_8	\hat{C}_7	\hat{C}_6	\hat{C}_5	\hat{C}_4	\hat{C}_3	\hat{C}_2	\hat{C}_1	شاخص
	j													
۱۳	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	\hat{C}_1
۸	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	\hat{C}_2
۶	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	\hat{C}_3
۱۳	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	\hat{C}_4
۷	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	\hat{C}_5
۵	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	\hat{C}_6
۱۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	\hat{C}_7
۹	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	\hat{C}_8
۱۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	\hat{C}_9
۹	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	\hat{C}_{10}
۱۳	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	\hat{C}_{11}
۱۳	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	\hat{C}_{12}
۱۰	-	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	\hat{C}_{13}
	۹	۱۳	۱۲	۱۲	۱۱	۱۱	۱۳	۱۱	۱۳	۵	۶	۹	۱۲	میزان وابستگی

۴-۲. مرحله ۴: گروه‌بندی شاخص‌ها

گروه‌بندی شاخص به معنای موقعیت یک شاخص در معادلات ساختاری است. هرچه قدرت نفوذ یک شاخص نسبت به سایرین بیشتر باشد، سطح آن در مدل معادلات پایین‌تر است و هر چه قدرت وابستگی یک شاخص نسبت به سایرین بیشتر باشد،

سطح آن بالاتر است. برای اینکه بتوان عناصر را سطح‌بندی نمود، مجموعه‌های زیر باید تعریف شوند:

- ❖ مجموعه دریافتی: خود آن متغیر، به انضمام سایر متغیرهایی که در به وجود آمدن آن نقش داشته‌اند به عبارتی هر متغیری که در همان سطر ارزش عددی یکسانی با خود متغیر داشته باشد؛
- ❖ مجموعه مقدماتی: مجموعه مقدماتی برای هر متغیر شامل نام خود آن متغیر، به انضمام سایر متغیرهایی که در ایجاد آن‌ها نقش داشته‌اند. به عبارتی هر متغیری که در همان ستون ارزش عددی یکسانی با خود متغیر داشته باشد؛
- ❖ مجموعه اشتراک: از متغیرهای مشترک در دو مجموعه بالا به دست می‌آید.

در نهایت یک جدول از سه مجموعه برای همه شاخص‌ها به شرح زیر تشکیل شده و شاخصی که مجموعه دریافتی و اشتراک آن مساوی باشد به‌عنوان مؤلفه سطح بالا شناخته می‌شود و از جدول خارج می‌شود. در هر دور باید تمام شاخص‌های سطح بالا از تکرار خارج شود.

جدول ۵: جدول سطح‌بندی ماتریس‌ها (تکرار اول)

سطح	مجموعه اشتراک‌ها	مجموعه مقدماتی (هر ستون ارزش یکسانی دارد) / اثرپذیری	مجموعه دریافتی (هر سطر ارزش یکسانی دارد) / اثرگذاری	مؤلفه
یک	۰,۷,۶,۵,۳,۲ ۰,۱۱,۰,۴,۱۰,۸ ۱۳,۱۲	۰,۴,۱,۰,۸,۰,۷,۶,۵,۳,۲ ۱۳,۱۲,۱۱	۰,۴,۱,۰,۸,۰,۷,۶,۵,۳,۲ ۱۳,۱۲,۱۱	\hat{C}_1
	۴,۷,۸,۱۱,۱۲	۷,۸,۱۱,۱۲,۱۳,۹,۴,۱	۵,۳,۱۳,۱۲,۱۱,۷,۴ ۱۰,۶,۸	\hat{C}_2
یک	۱,۲,۷,۸,۱۱,۵ ۶,۱۰	۱,۲,۷,۸,۱۱,۵,۶,۱۰	۰,۱۳,۱۲,۱۱,۸,۰,۷,۴,۲ ۱۰,۹,۵,۶	\hat{C}_3
یک	۲,۳,۵,۶,۷,۸, ۹,۱۰,۱۱,۱۳	۲,۳,۵,۶,۷,۸,۹,۱۰,۱۱,۱۳	۰,۹,۸,۷,۶,۵,۴,۲,۱ ۱۰,۳,۱۳,۱۲,۱۱	\hat{C}_4
یک	۳,۲,۱۰,۱,۸ ۴,۱۱,۱۲,۱۳, ۶,۷,۹	۰,۴,۳,۲,۱ ۸,۱۱,۱۲,۱۳,۹,۱۰,۷,۹	۰,۱۲,۱۱,۸,۴,۳,۲,۱ ۱۰,۹,۷,۶,۱۳	\hat{C}_5
	۱,۲,۳,۴,۵,۷, ۹,۱۱,۱۲,۱۳	۱,۲,۳,۴,۵,۷,۹,۱۱,۱۲,۱۳ ۸,۱۰	۱۱,۹,۷,۵,۴,۳,۲,۱ ۱۳,۱۲	\hat{C}_6
	۱,۲,۳	۱,۴,۵,۱۰,۱۱,۱۲,۱۳,۳,۹	۱۱,۹,۶,۳,۲,۵,۴,۱	\hat{C}_7

مؤلفه	مجموعه دریافتی (هر سطر ارزش یکسانی دارد) / اثرگذاری	مجموعه مقدماتی (هر ستون ارزش یکسانی دارد) / اثرپذیری	مجموعه اشتراک‌ها	سطح
	۱۳، ۱۲	۲، ۶، ۸	۴، ۵، ۱۱، ۱۲، ۱ ۳، ۳، ۹، ۲، ۶، ۸	
\hat{C}_8	۲، ۵، ۱۱، ۹، ۷، ۶، ۴، ۱ ۱۳، ۱۲، ۳	۱، ۲، ۴، ۶، ۷، ۸، ۱۱، ۵، ۱۰	۱، ۲، ۴، ۵، ۶، ۷، ۱۱	
\hat{C}_9	۵، ۱۱، ۷، ۴، ۹، ۸، ۶، ۱ ۱۳، ۱۲، ۳، ۲	۶، ۸، ۱، ۲، ۴، ۷، ۱۱، ۵، ۱۰، ۳	۶، ۸، ۱، ۲، ۴، ۷، ۷، ۱۱، ۵، ۳	
\hat{C}_{10}	۹، ۸، ۷، ۶، ۵، ۴، ۳، ۲، ۱ ۱۳، ۱۲، ۱۱	۱، ۲، ۳، ۵، ۶، ۷، ۸، ۴، ۱۱، ۱۰، ۹	۱، ۲، ۳، ۵، ۶، ۷، ۸، ۴، ۱۱، ۹	
\hat{C}_{11}	۹، ۸، ۷، ۶، ۵، ۴، ۳، ۲، ۱ ۱۳، ۱۲، ۴، ۱۱	۱، ۲، ۳، ۵، ۶، ۸، ۹، ۴، ۱۰، ۱۳	۱، ۲، ۳، ۵، ۶، ۸، ۹، ۴، ۱۳، ۴	
\hat{C}_{12}	۱۲، ۹، ۷، ۶، ۵، ۴، ۳، ۲، ۱ ۱۱، ۸، ۳، ۱۳	۱، ۲، ۳، ۵، ۶، ۹، ۱۱، ۱۳، ۸	۱، ۲، ۳، ۵، ۶، ۹، ۱۱، ۱۳، ۸	
\hat{C}_{13}	۴، ۹، ۱۱، ۷، ۶، ۵، ۳، ۲، ۱ ۱۰، ۱۲	۱، ۲، ۳، ۵، ۶، ۹، ۱۱، ۱۰، ۸	۱، ۲، ۵، ۶، ۹، ۱۱ ۱۰،	

جدول ۶: جدول سطح‌بندی ماتریس‌ها (تکرار دوم، مؤلفه‌های سطح یک خارج شده است)

مؤلفه	مجموعه دریافتی (هر سطر ارزش یکسانی دارد) / اثرگذاری	مجموعه مقدماتی (هر ستون ارزش یکسانی دارد) / اثرپذیری	مجموعه اشتراک‌ها	سطح
\hat{C}_1	۱۱، ۱۰، ۸، ۷، ۶، ۲ ۱۳، ۱۲	۸، ۷، ۱۳، ۱۲، ۱۱، ۹	۷، ۸، ۱۱، ۱۲، ۱۳	
\hat{C}_2	۶، ۸، ۱۳، ۱۲، ۱۱، ۷ ۱۰	۷، ۸، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۹، ۱	۷، ۸، ۱۱، ۱۲	
\hat{C}_6	۱۳، ۱۲، ۱۱، ۹، ۷، ۲، ۱	۱، ۲، ۷، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۸، ۱۰	۱، ۲، ۷، ۹، ۱۱ ۱۲، ۱۳	
\hat{C}_7	۱۲، ۱۱، ۹، ۶، ۲، ۱ ۱۳	۱، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۹، ۲، ۶، ۸	۱، ۲، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۳، ۹، ۲، ۶، ۸	
\hat{C}_8	۱۲، ۲، ۱۱، ۹، ۷، ۱، ۶ ۱۳	۱، ۲، ۶، ۷، ۸، ۱۱، ۱۰	۱، ۲، ۶، ۷، ۱۱	
\hat{C}_9	۲، ۱۱، ۷، ۹، ۸، ۶، ۱	۶، ۸، ۱، ۲، ۷، ۱۱، ۱۰	۶، ۸، ۱، ۲، ۷، ۱۰	

	۷،۱۱		۱۳،۱۲	
	۱،۲،۶،۷،۸، ۱۱،۹	۱،۲،۶،۷،۸،۱۱،۱۰،۹	۱۱، ۹، ۸، ۷، ۶، ۲، ۱ ۱۳، ۱۲	\hat{C}_{10}
	۱،۲،۶،۸،۹، ۴،۱۳	۱،۲،۶،۸،۹،۱۰،۱۳	۱۱، ۹، ۸، ۷، ۶، ۲، ۱ ۱۳، ۱۲	\hat{C}_{11}
دوم	۱،۲،۶،۹،۱۱ ،۱۳،۸	۱،۲،۶،۹،۱۱،۱۳،۸	۱۳، ۱۲، ۹، ۷، ۶، ۲، ۱ ۱۱، ۸	\hat{C}_{12}
	۱،۲،۶،۹،۱۱ ۱۰،	۱،۲،۶،۹،۱۱،۱۰،۸	۱۲، ۹، ۱۱، ۷، ۶، ۲، ۱ ۱۰	\hat{C}_{13}

جدول ۷: جدول سطح‌بندی ماتریس‌ها (تکرار سوم، مؤلفه‌های سطح دو خارج شده است)

سطح	مجموعه اشتراک‌ها	مجموعه مقدماتی (هر ستون ارزش یکسانی دارد) / اثرپذیری	مجموعه دریافتی (هر سطر ارزش یکسانی دارد) / اثرگذاری	مؤلفه
سوم	۷،۸،۱۱	۷،۸،۱۱،۱۳،۹، ۱	۱۰، ۶، ۸، ۱۳، ۱۱، ۷	\hat{C}_2
	۱،۲،۷،۹،۱ ۱،۱۳	۱،۲،۷،۹،۱۱،۱۳،۸،۱۰	۱۳، ۱۱، ۹، ۷، ۲، ۱	\hat{C}_6
	۱،۲،۱۱،۱۳ ،۳،۹،۲،۶،۸	۱،۱۰،۱۱،۱۳،۹،۲،۶،۸	۱۳، ۱۱، ۹، ۶، ۲، ۱	\hat{C}_7
	۱،۲،۶،۷،۱ ۱	۱،۲،۶،۷،۸،۱۱،۱۰	۱۳، ۲، ۱۱، ۹، ۷، ۱، ۶	\hat{C}_8
	۶،۸،۱،۲،۷، ۷، ۱۱	۶،۸،۱،۲،۷،۱۱،۱۰	۲، ۱۱، ۷، ۹، ۸، ۶، ۱ ۱۳	\hat{C}_9
	۱،۲،۶،۷،۸، ۱۱، ۹	۱،۲،۶،۷،۸،۱۱،۱۰، ۹	۱۱، ۹، ۸، ۷، ۶، ۲، ۱ ۱۳	\hat{C}_{10}
	۱،۲،۶،۸،۹، ۴، ۱۳	۱،۲،۶،۸،۹،۱۰، ۱۳	۱۱، ۹، ۸، ۷، ۶، ۲، ۱ ۱۳	\hat{C}_{11}
	۱،۲،۶،۹،۱ ۱۰، ۱	۱،۲،۶،۹،۱۱،۱۰، ۸	۱۰، ۹، ۱۱، ۷، ۶، ۲، ۱	\hat{C}_{13}

۵-۲. مرحله ۵: ارزیابی مدل و ترسیم مدل ساختاری تفسیری روابط

برای ارزیابی سطح‌بندی و روابط آن‌ها، از پانل خبرگان متشکل از ۱۵ خبره استفاده شد و از آن‌ها خواسته شد تا روابط به دست آمده را در مقیاس تأثیر یک تا پنج به

ترتیب از حداقل تا بالاترین رتبه‌بندی کنند. پس از آنکه خبرگان پرسش‌نامه‌ها را تکمیل کردند برای اینکه بتوان دیدگاه آن‌ها را جمع‌کرد نمی‌توان از میانگین نظرات استفاده کرد چون ماتریس نهایی باید ۰ و ۱ باشد. بنابر این بهترین راه استفاده از فروانی و مُد است. میانگین امتیاز برای روابط هر شاخص در نظر گرفته می‌شود. با توجه به ماتریس دستیابی نهایی و نتایج ارزیابی مدل نهایی به شرح زیر رسم شد و برجسته‌ترین روابط به تصویر کشیده شدند به طوری که روابط مستقیم (آن عناصری که در سطر و ستون ارزش یکسانی داشتند) را با خط ساده و روابط ثانویه (عددهای ستاره‌دار را با خط بریده بریده) رسم شده است.

جدول ۸: جدول سطح‌بندی شاخص‌ها بر اساس یافته‌های معادلات ساختاری

سطح یک	C1	C3	C4	C5				
سطح دوم			C12					
سطح سوم	C2	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C13

۲-۶. وزن‌دهی متغیرها با استفاده از روش تحلیل شبکه

فرایند تحلیل شبکه یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره است که برای تعیین وزن معیارها انتخاب گزینه بهینه بر اساس مقایسه‌های زوجی است. در این روش روابط درونی میان عناصر تصمیم‌گیری نیز در نظر گرفته می‌شود. این روش شباهت زیادی به روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی دارد. پس از آنکه «توماس ساعتی» روش AHP را در سال ۱۹۷۵ معرفی کرد، بسیار سریع این روش با اقبال مجموع آکادمیک مواجه شد. از آنجا که در روش AHP روابط درونی عناصر در نظر گرفته نمی‌شد روش تحلیل شبکه‌ای به‌وسیله ساعتی و تاکی زاوا در سال ۱۹۸۶ پیشنهاد شد. روش ANP تصمیم‌روش AHP است. هدف هر دو روش تعیین وزن عناصر تصمیم است و از هر دو روش از مقایسه زوجی استفاده می‌شود. در مواردی که سطوح پایینی روی سطوح بالایی اثرگذارند و یا عناصری که در یک سطح قرار دارند مستقل از هم نیستند، دیگر نمی‌توان از روش AHP استفاده کرد. روش ANP روابط پیچیده میان سطوح مختلف تصمیم را به‌صورت شبکه‌ای نشان می‌دهد و تعاملات و بازخوردهای میان معیارها و آلترناتیوها را در نظر می‌گیرد. اوزان ناشی از روابط علی میان عناصر در کنار اوزان درونی هر خوشه تشکیل یک سوپرماتریس اولیه را می‌دهد (Longo,

2009). این سوپرماتریس به روش خطی موزون شده و در نهایت اوزان نهایی عناصر با استفاده از شکل حدی سوپرماتریس موزن به دست خواهد آمد. برای انجام محاسبات این روش از نرم‌افزار Super Decision استفاده می‌شود. این مرحله در نظر دارد وزن هرکدام از متغیرها را با استفاده از نرم‌افزار سوپر دسیژن به دست آورد. لذا در ابتدا با استفاده از روابط مستقیم و ثانویه به دست آمده از مرحله قبل، که روابط داخلی و خارجی را نشان می‌دهد به دست آوردن وزن‌های مربوطه در این ۵ مرحله انجام پذیرفت: ۱. تبدیل موضوع به یک ساختار شبکه‌ای؛ ۲. تشکیل سوپر ماتریس ناموزون؛ ۳. تشکیل سوپر ماتریس موزون؛ ۴. تشکیل سوپر ماتریس حد و ۵. اولویت‌بندی گزینه‌ها است. نتایج حاصل از بررسی‌ها و وزن‌های به دست آمده برای هر معیار و زیرمعیارهای مربوط به آن‌ها را نشان می‌دهد (ضرایب ناسازگاری CR در این بررسی ۰/۰۴ بوده است که نشانگر سازگاری قابل قبول است).

جدول ۱۰: تعیین وزن متغیرها با روش ANP و استفاده از نرم‌افزار سوپر دسیژن

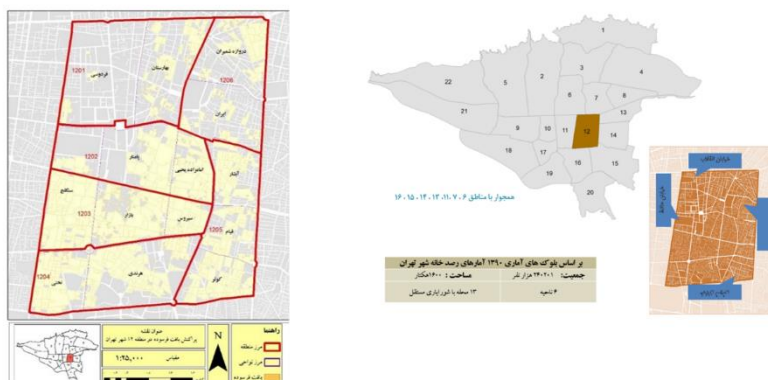
شاخص‌ها	وزن شاخص	رابطه با تاب‌آوری	نماد	دسته‌بندی معیارها
نسبت نزدیک‌ترین همسایه (به‌جای تراکم بلوک‌ها)	۰/۰۵	معکوس	C ₁	ویژگی‌های هندسی شبکه
نسبت اتصال درونی خیابان (مجموع تعداد بن‌بست‌های شمارش شده و مجموع تعداد تقاطع‌های سه راه و چهار راه شمارش شده) به منطقه مؤثر پیاده‌روی	۰/۰۴	مستقیم	C ₂	
میزان مستقیم بودن مسیر پیاده	۰/۱۲	مستقیم	C ₃	
نسبت استحکام غالب اسکلت ساختمان‌های موجود در هر بلوک	۰/۱۳	مستقیم	C ₄	
نسبت میانگین مساحت بلوک به طول بلوک	۰/۱۲	معکوس	C ₅	
نسبت توده به فضا (پوشش سایت) مساحت کلی ساخته شده / مساحت کلی محله	۰/۰۶	معکوس	C ₆	ویژگی‌های هندسی جداره
نسبت کاربری‌های خدمات اضطراری به کاربری‌های مسکونی	۰/۰۵	مستقیم	C ₇	
نرخ اختلاط کاربری	۰/۰۴	مستقیم	C ₈	

نسبت نرخ بافت فرسوده به مساحت کل توده	۰/۰۷	معکوس	C ₉	ویژگی‌های سازند زمین
فشرده‌گی نسبت ارتفاع هر بلوک به عرض گذر	۰/۰۶	معکوس	C ₁₀	
نسبت فاصله از گسل به متوسط طبقات بارگذاری شده در هر بلوک	۰/۰۷	معکوس	C ₁₁	
نسبت نوع خاک (در عمق ۳۰-۴۰ سانتی‌متری) به اندازه پاکت حجمی بلوک	۰/۱۱	مستقیم	C ₁₂	
نسبت میزان فرونشست در بازه ۱۰ ساله به تعداد ساختمان با تراکم ۱۸۰ درصد و بالاتر در هکتار	۰/۰۸	معکوس	C ₁₃	

۳. محدوده مورد مطالعه

تهران هم مثل هر شهر دیگری تاریخ و حوادثی را از سر گذرانده و سرنوشتی سرتاسر راز دارد. هر بار که به بررسی گوشه‌ای کالبد آن رجوع کنیم فصل پنهان مانده از این راز بر ملامت می‌شود.

منطقه ۱۲ تهران، هسته مرکزی تهران قدیم و نقطه تولد آن است، بر اساس آمار سال ۱۳۹۰ رصدخانه شهر تهران، منطقه ۱۲ شهر تهران دارای مساحت ۱۶۰۰ هکتار و جمعیت ۲۴۰۲۰۱ نفر است، همچنین از ۶ ناحیه و ۱۳ محله با شورا یاری مستقل تشکیل شده است. این منطقه با مناطق ۶ و ۷ از سمت شمال، مناطق ۱۳ و ۱۴ از سمت شرق، مناطق ۱۵ و ۱۶ از سمت جنوب و منطقه ۱۱ از سمت غرب هم‌جوار شده است و با خیابان‌های انقلاب از شمال، ۱۷ شهریور از شرق، شوش از جنوب و حافظ از غرب احاطه شده است. این منطقه شامل بیشترین نسبت خانه‌های قدیمی و فرسوده در میان مناطق تهران است. به‌طوری‌که بر اساس آمار سال ۱۳۹۹، بیش از ۱۲ درصد ساختمان‌های این منطقه فرسوده هستند.



تصویر ۲: موقعیت نواحی و بافت‌های فرسوده در منطقه ۱۲

تصویر ۱: موقعیت منطقه ۱۲ از لحاظ همجواری با دیگر مناطق

۴. یافته‌های پژوهش

یافته‌های حاصل از معادلات تفسیری ساختاری تمامی شاخص‌ها را در سه گروه اولویت دسته‌بندی می‌نماید که شاخص‌های $\hat{C}1, \hat{C}3, \hat{C}4$ و $\hat{C}5$ در گروه یک، شاخص $\hat{C}12$ در گروه دو و بقیه شاخص‌ها در گروه سه اهمیت قرار دارند. همچنین نتایج تجزیه و تحلیل انجام شده نشان می‌دهد که در گروه اول شاخص «نسبت استحکام غالب اسکلت ساختمان‌های موجود در هر بلوک ($\hat{C}4$)»، در گروه دوم شاخص «نسبت نوع خاک (در عمق ۳۰-۴۰ سانتی‌متری) به اندازه پاکت حجمی بلوک ($\hat{C}12$)» و در گروه سوم «نسبت میزان فرونشست در بازه ۱۰ ساله به تعداد ساختمان با تراکم ۱۸۰ درصد و بالاتر در هکتار ($\hat{C}13$)» بر اساس وزن نسبی‌شان تأثیرگذارترین شاخص‌ها در تاب‌آوری کالبدی در برابر زلزله ۶ مرکالی می‌باشند.

جدول ۱: شاخص‌هایی با بیشترین وزن نسبی در هر گروه اولویت (تأثیرگذارترین شاخص‌ها)

گروه یک	$\hat{C}1(۰,۰۵)$	$\hat{C}3(۰,۱۲)$	$\hat{C}4(۰,۱۳)$	$\hat{C}5(۰,۱۲)$				
گروه دوم	$\hat{C}12(۰,۱۱)$							
گروه سوم	$\hat{C}2(۰,۰۴)$	$\hat{C}6(۰,۰۶)$	$\hat{C}7(۰,۰۵)$	$\hat{C}8(۰,۰۴)$	$\hat{C}9(۰,۰۷)$	$\hat{C}10(۰,۰۶)$	$\hat{C}11(۰,۰۷)$	$\hat{C}13(۰,۰۸)$

همچنین مقدار کمی ۱۳ شاخص شناسایی شده در محله‌های انتخابی در محیط نرم‌افزار GIS برای هر محله در ۱۳ لایه ترسیم و محاسبه می‌شود. در نهایت نتیجه

تلفیق لایه‌ها در محله بازار نشان می‌دهد که کمترین میزان تاب‌آوری مربوط به جنوب این محله که مجاور خیابان مولوی است، هرچه از سمت جنوب این محله به سمت شمال آن حرکت کنیم میزان تاب‌آوری افزایش می‌یابد، به طوری که بلوک‌های ساختمانی مجاور خیابان ۱۵ خرداد از تاب‌آوری بیشتر برخوردارند. همچنین ضلع غربی پهنه شمالی این محله که مجاور خیابان خیام است از تاب‌آوری بیشتری نسبت به ضلع شرقی خود که مجاور خیابان مصطفی خمینی است برخوردار است. با این حال، طبق نقشه به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت در محله هرندی غیر از فضاهای باز که با رنگ سبز نشان داده شده است و بیشترین تاب‌آوری را دارد بقیه بلوک‌های آن تاب‌آوری بالایی ندارند. همچنین نقشه تاب‌آوری این محله بیانگر این است که ضلع شمال شرقی این محله از تاب‌آوری بیشتری نسبت به ضلع جنوب شرقی آن برخوردار است. در مجموع رنگ بلوک‌ها نمایانگر این است که تاب‌آوری محله هرندی بسیار بیش‌تر از تاب‌آوری محله بازار است.

جدول ۱۱: طبقه بندی ۵ کلاسه میزان تاب‌آوری در محلات انتخابی

تاب‌آوری محله هرندی				
تاب‌آوری خیلی کم	تاب‌آوری کم	تاب‌آوری متوسط	تاب‌آوری زیاد	تاب‌آوری خیلی زیاد
٪ ۷۹/۳۶	٪ ۴/۰۸	٪ ۴/۴۱	٪ ۶/۴۱	٪ ۵/۳۸
تاب‌آوری محله بازار				
٪ ۸۵/۹۳	٪ ۳/۰۴	٪ ۳/۲۹	٪ ۳/۶۱	٪ ۴/۲۳

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهاد

امروزه علی‌رغم توجه زیادی که به واژه تاب‌آوری و کاربرد آن در حوزه‌های مختلف می‌شود هنوز درک نظری و عملی محدودی از این مفهوم در تعریف، ارزیابی و اندازه‌گیری شاخص‌های کالبدی آن وجود دارد. در این خصوص می‌توان به سلسله پژوهش‌هایی که توسط (Sharifi, 2019)، انجام شده است و مؤلفه‌های کلی و انتزاعی که برای تاب‌آوری کالبدی برشمرده است اشاره نمود. همچنین (Felicetti, 2018) در رساله دکتری خود با مثابه دانستن شهرها به عنوان سیستم و اشاره به نظریه چرخه تطبیقی و پانارشی در اکوسیستم‌ها و همچنین چرخه بورگاژ و توسعه سرزمینی در

سیستم‌های شهری به ارائه چرخه ترکیبی تطبیقی- بورگاژ و آزمایش چرخه پانارشی در سیستم شهری و مؤثر دانستن بازه زمانی و سبقه تاریخی پرداخته است که مجدد ابزار کمی را در اختیار مخاطب جهت ارزیابی ظرفیت تاب‌آوری کالبدی قرار نداده است. در همین راستا، این پژوهش تلاش نمود، تا ضمن ارائه چهارچوب کالبدی از تاب‌آوری، از مفهوم‌سازی کیفی به شاخص‌های کمی گذر نماید. به همین منظور با بهره‌گیری از مدل ترکیبی (ISM-ANP) به گروه‌بندی شاخص‌ها، بررسی روابط بین شاخص‌ها و تعیین اهمیت نسبی آن‌ها با همکاری صاحب‌نظران پردازد و ابزار کمی را جهت ارزیابی ظرفیت تاب‌آوری کالبدی در اختیار تصمیم‌سازان شهری قرار دهد در نهایت نیز سیاست‌های اجرایی و پیشنهاد سیاست‌گذاری (ارائه طرح جامع تاب‌آوری کالبدی) مطرح شد تا در موقع بحران، زمان تصمیم‌گیری‌های مدیریتی کاهش یابد و گسیل و بسیج منابع به‌صورت دقیق‌تری صورت پذیرد.

۵-۱. پیشنهادها

- ❖ نسبت استحکام غالب اسکلت ساختمان‌های موجود در هر بلوک (C4) با توجه به اینکه توصیه و ارائه راهکار در خصوص شاخص اسکلت ساختمان، مربوط به دانش‌آموختگان رشته عمران و معماری است، در این راستا مزید امتنان است که دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای نسبی که توسط سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران تدوین شده است با جدیت بیشتری اجرا شود. این دستورالعمل در سه نسخه برای ساختمان‌هایی با اسکلت فولادی، بتنی مسلح و ساختمان‌های بنایی غیرمسلح و نیم اسکلت تهیه شده است که مراحل بهسازی لرزه‌ای، هزینه عملیات، توصیه‌های فنی و اجرایی و نمونه‌ای از نقشه‌هایی با بهسازی لرزه‌ای نسبی را برای هر سه نوع اسکلت‌بندی ذکر شده به تفکیک بیان می‌کند. با این حال پیشنهاد می‌شود که ساز و کار اجرایی برای ارائه طرح‌های بهسازی نسبی و نظارت بر اجرای صحیح آن‌ها توسط شهرداری برای ساختمان‌های مسکونی نیز تعیین و ابلاغ شود. چرا که دستورالعمل مذکور صرفاً برای کاربری‌های تجاری و خدماتی بزرگ مقیاس ارائه شده است.
- ❖ نسبت نوع خاک (در عمق ۳۰-۴۰ سانتی‌متری) به اندازه پاکت حجمی بلوک (C12)، پیشنهاد می‌گردد ارائه مطالعات ژئوتکنیکی در فرایند صدور پروانه ساختمانی با جدیت بیشتری برای تمامی پلاک‌ها با هر مساحتی در هر زونی دنبال شود و همچنین صدور پروانه ساختمانی برای پلاک‌هایی با مساحت

- بیشتر از ۱۰۰۰ متر مربع و تراکم بالای ۱۸۰ درصد در مناطق با سابقه فرونشست، منوط به ارائه مطالعات جامع ژئوتکنیکی و تقویت سازه باشد.
- ❖ نسبت میزان فرونشست در بازه ۱۰ ساله به تعداد ساختمان با تراکم ۱۸۰ درصد و بالاتر در هکتار (C13)، پیشنهاد می‌گردد زون‌بندی مناطق مختلف شهر از لحاظ فرونشستی صورت گیرد و برای هر زون بسته به درجه خطر فرونشست میزان دقیق محدودیت یا ممنوعیت ساخت در قالب ضوابط ساخت‌وساز خاص آن زون توسط ارگان مربوطه تدوین گردد.
 - ❖ عمده سیاست‌گذاری‌های شهری در دو دسته سیاست‌گذاری بالا به پایین و سیاست‌گذاری پایین به بالا انجام می‌پذیرد، با این حال نویسندگان این نوشتار در نظر دارند با توجه به اینکه شهر موجودی زنده است و نمی‌توان تغییرات روزانه آن را تا زمان ارائه برنامه‌های سیاست‌گذاری در دسته‌های مذکور کند نمود، لذا پیشنهاد می‌گردد که هم‌زمان با انجام سیاست‌های اجرایی فرایند بررسی طرح‌های سیاست‌گذاری بین ارگان‌های ذی‌مدخل در امر تاب‌آوری کالبدی از جمله شهرداری، سازمان نظام مهندسی، وزارت راه و شهرسازی و سایر ارگان‌های دولتی و خصوصی به‌مرور تا حصول اجماع و در نهایت تصویب طرح جامع تاب‌آوری کالبدی صورت پذیرد؛ به‌گونه‌ای که با توجه به اولویت‌های به دست آمده در بخش سیاست‌های اجرایی این پژوهش که قبلاً ذکر شد، وظیفه، ارگان مسئول، ارگان پشتیبان، ارگان همکار و در صورت لزوم مهلت انجام وظیفه تعریف گردد.
 - ❖ با توجه به یافته‌های این تحقیق، پیشنهاد می‌شود محققین علاقه‌مند به ارتقای تاب‌آوری کالبدی، مطالعات خود را در سطح تک بنا و با استفاده از تمرکز بر مصالح نوین و شیوه‌های جدید ساخت با بهره‌گیری از تجارب کشورهای مختلف خصوصاً ژاپن متمرکز نمایند.

فهرست منابع

- ابدالی، یعقوب؛ رجایی، سیدعباس (۱۳۹۸). تعیین مؤلفه‌های تاب‌آوری کالبدی در بافت مسکونی شهر بجنورد با استفاده از خودهمبستگی فضایی موران. فصلنامه علمی و پژوهشی پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، ۱۰(۳۹)، ۱۱-۱۶.
- احدنژاد، محسن؛ سرین دیزج، محمد مهدی (۱۳۹۵). ارزیابی میزان تاب‌آوری کالبدی شهری در برابر مخاطره زلزله مورد مطالعه: شهر زنجان. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۳(۱)، ۱۱۴-۱۰۳.
- اصلانی، فرشته؛ امینی حسینی، کامبد؛ فلاحی، علیرضا (۱۳۹۷). چهارچوب تاب‌آوری کالبدی و اجتماعی محله در برابر زلزله (مطالعه موردی: محله کشاورز واقع در منطقه ۶ تهران). مدیریت مخاطرات محیطی، ۵(۴).
- امجد، محمد؛ سلطانی، ایرج (۱۳۹۸). راهبردهایی به منظور کاهش آسیب‌پذیری بافت‌های تاریخی در برابر زلزله مطالعه موردی: بافت تاریخی شهر یزد. مدیریت بحران، ۸(۲)، ۱۷-۳۲.
- باقرنژاد، الناز؛ زبردست، اسفندیار؛ عزیزی، محمد مهدی (۱۴۰۰). تبیین تأثیر فرم شهری بر تاب‌آوری در برابر سوانح، محدوده مورد مطالعه: کلانشهر تهران. هنرهای زیبا: معماری و شهرسازی، ۲۶(۴).
- پوراحمد، احمد؛ زبیری، کرامت‌الله؛ صادقی، علیرضا (۱۳۹۷). تحلیل فضایی مؤلفه‌های تاب‌آوری کالبدی بافت‌های فرسوده شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: منطقه ۱۰ شهرداری تهران). برنامه‌ریزی فضایی، ۸(۱).
- پاشازاده، یوسف؛ جعفری، میثم؛ ویشلقلی، مهدیه (۱۴۰۱). مدل‌سازی ساختاری تفسیری راهبردهای کارآفرینی سیاسی. فصلنامه علمی راهبرد، ۳۱(۴).
- ابراهیم زاده، یوسف؛ کاشفی دوست، دیمن؛ حسینی، سید احمد (۱۳۹۸). ارزیابی تاب‌آوری کالبدی شهردر برابر زلزله (نمونه موردی: شهر پیرانشهر). مخاطرات محیط طبیعی، ۸(۲۰).
- طبیبیان، منوچهر؛ مظفری، نگین (۱۳۹۷). ارزیابی آسیب‌پذیری بافت‌های مسکونی در برابر زلزله و راهکارهای کاهش آسیب‌پذیری (مطالعه موردی: منطقه شش شهرداری تهران). فصلنامه مطالعات شهری، ۷(۲۷).
- عبدالله، بهار؛ ذبیحی، حسین؛ زرآبادی، زهرا سادات (۱۳۹۹). ارزیابی میزان تاب‌آوری کالبدی در نواحی شهری با بهره‌گیری از روش الکترون (نمونه موردی: منطقه ۵، شهر تهران). فصلنامه جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، ۱۰(۳۸).

- عشقی چهاربرج، علی؛ غفاری، عطا (۱۳۹۶). *ارزیابی تاب‌آوری کالبدی شهر در برابر زلزله‌های احتمالی؛ نمونه موردی: منطقه یک شهرداری تهران*. برنامه‌ریزی توسعه کالبدی، ۴(۴)، ۱۱-۲۶.
- کاظمیان، غلامرضا؛ اصلی پور، حسین؛ تقی‌پور اختری، آرش (۱۴۰۰). *از منظر حکمروایی؛ تبیین چالش‌های مدیریت ساخت‌وساز شهری تهران در مسیر تحقق توسعه پایدار*. فصلنامه علمی راهبرد، ۳۰(۴)، ۶۵۳-۶۸۹.
- دلشاد، مهدیه؛ طیبیان، منوچهر؛ حبیبی، سیدمحسن (۱۴۰۰). *تحلیل فضایی مؤلفه‌های تاب‌آوری کالبدی بافت مرکزی شهر رشت در برابر زلزله با استفاده از مدل Fuzzy-AHP و GIS*. فصلنامه علمی و پژوهشی نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی، ۱۳(۴).

References

- Affairs, U. D. o. E. a. S. (1969). Growth of the world's urban and rural population, 1920-2000. UNITED NATIONS
- Ahern, J. (2013). Urban landscape sustainability and resilience: the promise and challenges of integrating ecology with urban planning and design. *Landscape Ecology*, 28(6), 1203-1212. <https://doi.org/10.1007/s10980-012-9799-z>
- Allan, P., Bryant, Martin, Wirsching, Camila, Garcia, Daniela, Rodriguez, Maria Teresa. (2013). The Influence of Urban Morphology on the Resilience of Cities Following an Earthquake. *Urban Design*, 18(2), 242-262. <https://doi.org/10.1080/13574809.2013.772881>
- Anderies, J. M. (2013). Embedding built environments in social-ecological systems: resilience-based design principles. *Building Research & Information*, 42(2), 130-142. <https://doi.org/10.1080/09613218.2013.857455>
- Diversity, S. o. t. C. o. B. (2012). Secretariat of the Convention on Biological Diversity.
- Farhadi, E. P., A.; Ziari, K.; Faraji Sabokbar, H.; Tondelli, S. (2022). Indicators Affecting the Urban Resilience with a Scenario Approach in Tehran Metropolis. *Sustainability*, 14. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su141912756>
- Feliciotti, A. (2018). Resilience and Urban Design: A Systems Approach to The Study of Resilience in Urban Form - Learning from The Case of Gorbals University of Strathclyde].
- Forgaci, C., Van Timmeren, A. (2014). Urban form and fitness: Towards a space-morphological approach to general urban resilience
- Freddi, F., Galasso, C., Cremen, G., Dall'Asta, A., Di Sarno, L., Giaralis, A., Gutiérrez-Urzuá, F., Málaga-Chuquitaype, C., Mitoulis, S. A., Petrone, C., Sextos, A., Sousa, L., Tarbali, K., Tubaldi, E., Wardman, J., & Woo, G. (2021). Innovations in earthquake risk reduction for resilience: recent advances and challenges. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 60, 49. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102267>
- Ghazi, F., Charehjo, F., & Mirmoghtadaee, M. (2019). Spatial Evaluation of Energy Performance at Neighborhood Scale Case Study: Sanandaj City. *Space Ontology International Journal*, 8(2), 77-88. <https://doi.org/20.1001.1.23456450.2019.8.2.6.3>
- Hassler, U., Kohler, Niklaus. (2014). Resilience in the built environment. *Building Research & Information*, 42(2), 119-129. <https://doi.org/10.1080/09613218.2014.873593>
- J.Garcia, E. V., Brenda (2017). *Unravelling Sustainability and Resilience in the Built Environment*. Routledge. <https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9781315629087>
- Jamali, A. a. R., Maryam and Nikoomaram, Hanieh and Farsad, Forough and Aghamohammadi, Hossein. (2021). Urban Resilience Assessment Using Hybrid MCDM Model Based on DEMATEL-ANP Method (DANP) <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4353743>
- Kamranzad, F., Memarian, Hossein, Zare, Mehdi. (2020). Earthquake Risk Assessment for Tehran, Iran. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(7), 430. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ijgi9070430>

- Longo, G., Padoano, E., & Rosato, P. (2009). Considerations on the application of Ahp/Anp methodologies to decisions concerning a railway infrastructure International Symposium on the Analytic Hierarchy Process,
- Marcus, L., & Colding, J.. (2014). Toward an integrated theory of spatial morphology and resilient urban systems. *Ecology and Society*, 19(55). <https://doi.org/10.5751/ES-06939-190455>
- NATIONS, U. (2015). Transforming Our World, the 2030 Agenda for Sustainable Development (General Assembly Resolution Issue. U. NATIONS.
- OECD. (2015). The Metropolitan Century. <https://doi.org/https://doi.org/10.1787/9789264228733-en>
- Parizi, S. M. T., M.; Sharifi, A. (2022). A GIS-Based Multi-Criteria Analysis Framework to Evaluate Urban Physical Resilience against Earthquakes. *Sustainability*, 14. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su14095034>
- Pickett, S. T. A., Cadenasso, M.L., McGrath, Brian (2013). *Resilience in Ecology and Urban Design*. Springer.
- Sellberg, M. M., Wilkinson, C., & Peterson, G. D. (2015). Resilience assessment: a useful approach to navigate urban sustainability challenges. *Ecology and Society*, 20(1), 43. <https://doi.org/https://doi.org/10.5751/ES-07258-200143>
- Sharifi, A. (2019). Resilient urban forms: A review of literature on streets and street networks. *Building and Environment*, 147, 171-187. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.040>
- Shukla, N., Das, A. & Mazumder, T. (2023). Assessment of urban form resilience: a review of literature in the context of the Global South. *Environment, Development and Sustainability* <https://doi.org/https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2418968/v1>
- Stumpp, E.-M. (2013). New in town? On resilience and “Resilient Cities”. *Cities*, 32, 164-166. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cities.2013.01.003>
- Sujata Kodag, S. K. M., Guru Balamurugan, Somnath Bera., (2022). Earthquake and flood resilience through spatial Planning in the complex urban system. *Progress in Disaster Science*, 14. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.pdisas.2022.100219>
- Twigg, J. (2015). Disaster Risk Reduction. Humanitarian Policy Group Overseas Development Institute.
- UN-HABITAT. (2009). *Planning Sustainable Cities: Global Report on Human Settlements* (London Earthscan: United Nations Human Settlements Programme, Issue. UN-Habitat.
- UN-Habitat. (2012). *Prosperity of Cities (State of the World's Cities 2012/2013, Issue. UN-Habitat.*
- UN-Habitat. (2016). *World Cities Report 2016 (Urbanization and Development - Emerging Futures, Issue. UN-Habitat.*
- UNDRR. (2019). *An overview of the last 20 years: Human cost of disasters.*
- Warfield, J. N. (1974). *Structuring complex systems (Vol. 107)*. Battelle Memorial Institute.
- Yang, Y. N., S.T.; Zhou, S.; Xu, F.J.; Li, H. (2019). A Physics-based Framework for Analyzing the Resilience of Interdependent Civil Infrastructure Systems: A Climatic Extreme Event Case in Hong Kong.