تدوین شاخص تاب‌آوری شهری در مقابل زلزله

مصطفی بهزادفر[۱]، بابک امیدوار[۲]، محمدباقر قالیباف[۳]، رضا قاسمی[۴]

۱. استاد گروه شهرسازی، دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران

۲. دانشیار گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکدهٔ محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳. دانشیار گروه جغرافیایی سیاسی، دانشکدهٔ جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۴. نویسندهٔ مسئول: پژوهشگر، دکترای شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران

Email:rghasemi@ut.ac.ir

دریافت: ۹۷/۲/۱۶ پذیرش: ۹۷/۵/۲۷

چکیده

مقدمه: مطالعهٔ تاب‌آوری شهرها در مقابل زلزله از الزامات برنامه‌ریزی کاهش خسارات جانی و مالی زلزله در شهرهاست. تاب‌آوری تعاریف گوناگونی دارد و مدل جامع به منظور محاسبه کمّی آن وجود ندارد. ازاین‌رو یکی از اهداف این مقاله ارائه شاخصی کمّی برای تاب‌آوری است.

روش: ابتدا با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و اخذ نظر خبرگان، ابعاد و شاخص‌های مؤثر در تاب‌آوری شهرها در مقابل زلزله استخراج شد. سپس با استفاده از نظر خبرگان و روش مقایسهٔ زوجی، وزن هر یک از ابعاد و شاخص‌ها معین گردید و در پایان شاخص تاب‌آوری معرفی شد.

یافته‌ها: در این مقاله ضمن معرفی اجمالی تعاریف بلایا و تاب‌آوری، ابعاد و شاخص‌های به‌دست آمده از مطالعات پیشین و نظرات خبرگان معرفی گردید. این ابعاد و شاخص‌ها معرف عوامل تأثیرگذار بر تاب‌آوری شهری در برابر زلزله هستند. بر این اساس، بُعد کالبد که معرف ساختار شهر است، بیشترین سهم و پس از آن بُعد امنیت، مهم‌ترین عامل در تاب‌آوری شهر است. در رابطه با شاخص‌ها نیز شاخص «نسبت ارتفاع ساختمان به عرض معبر» بیشترین تأثیر را از نظر کارشناسان بر تاب‌آوری شهری در مقابل زلزله داشته است. به نسبت دیگر شاخص‌ها، تعداد طبقات ساختمانی تأثیر اندکی دارد، زیرا درصورت ساخت با استفاده از سازهٔ مناسب، وجود فضای کافی در معبر و دسترسی مناسب به معابر، تعداد طبقات ساختمانی اهمیت چندانی در بروز آسیب‌پذیری ندارد.

بحث و نتیجه‌گیری: شاخص معرفی‌شده برای شهرهای مختلف و همچنین استراتژی‌های مختلف مقاوم‌سازی و افزایش تاب‌آوری قابل محاسبه است و این امکان را فراهم می‌کنند تا استراتژی بهینه از نظر افزایش تاب‌آوری انتخاب شود. همچنین برنامه‌ریزان و تصمیم‌سازان این امکان را دارند تا اثر بخش‌های گوناگون را در تاب‌آوری شهر یا منطقهٔ مورد مطالعه مشاهده کنند.

کلمات کلیدی: تاب‌آوری، زلزله، شاخص، ابعاد

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

از ابتدای خلقت تاکنون، بلایا در زندگی انسان تأثیرات منفی بر جای گذاشته‌اند و افراد و جوامع برای مقابلهٔ با آنها تلاش می‌کنند تا قرار گرفتن در معرض پیامدهای این بلایا را کاهش داده و مقیاس‌هایی را برای بررسی تأثیرات اولیه ایجاد کنند و حتی به نیازهای پس از بروز بلایا و بازگشت به شرایط اولیه پاسخ دهند. بلایای طبیعی همواره به عنوان پدیده‌ای تکرارشونده در طول حیات بشر وجود داشته و در آینده نیز وجود خواهند داشت، وقوع حوادثی نظیر سیل، زلزله، طوفان، در اغلب موارد تأثیرات مخربی بر سکونتگاه‌های انسانی گذارده و تلفات سنگینی بر آنان وارد ساخته است. می‌توان گفت علیرغم پیشرفت‌های دانش بشری در بسیاری از زمینه‌ها بلایای طبیعی کماکان به عنوان پدیده‌ای مهارشدنی تلقی می‌شود. [۱]

هرمن (۱۹۷۲) بلایای طبیعی را اینگونه تعریف کرده است که بحران با سه بُعد تهدید جدّی، زمان کوتاه برای تصمیم‌گیری و عنصر غافل‌گیری مشخص می‌شود. [۲]

دارلینگ (۱۹۹۴) بحران در فعالیت تجاری بین‌المللی را مشخص می‌کند و می‌گوید که بحران به متغیرهایی از این دست بستگی دارد: ماهیت حادثه، اهمیت مسئله برای دولت‌های خارجی و دولت امریکا، تأثیر در شرکت‌ها و صنایع دیگر، چند نفر و با چه سرعت افراد داخل و خارج شرکت به کمک یا اطلاعات نیاز دارند، چه کسانی و چند نفر به تفسیر واقعه نیاز دارند، این افراد تا چه حد قابل دسترسی هستند، چقدر تعامل با رسانه مورد نیاز است، رسانه بر چه چیزی را تأکید می‌کند، چه کسانی و چند نفر به مراقبت فوری نیاز دارند، چقدر سازمان باید کنترل خود را تضمین کند و نشان دهد که قادر به پاسخ‌دهی به شرایط است، سازمان‌ها با چه سرعتی باید به شرایط پاسخ دهند و اینکه یک بحران ممکن است با احساس وحشت، خطر، دلهره یا شوک تعریف شود. [۳]

ویلداوسکی (۱۹۹۱) در تعریفی بیان داشت که بحران‌ها را می‌توان نتیجهٔ محتمل اما پیش‌بینی‌نشدهٔ ناکامی‌های مدیریتی توصیف کرد که با مسیر آینده مجموعه‌ای از وقایع در حال حرکت همگام با اعمال انسانی یا عدم تسریع رویداد، نگران کننده است. [۴]

مانسینی و بونانو (۲۰۰۹) در مورد بحران می‌گویند که آن یک مشکل پیش‌بینی‌نشده است که به‌صورت جدّی در عملکرد سازمان، بخش یا کشور اختلال ایجاد می‌کند. اصطلاح کلی که برای چنین مشکلاتی به کار می‌رود. [۵]

کلمه تاب‌آوری از لغت لاتین resilio به معنای دوباره به جای اول برگشتن (jump to back) استخراج شده است، تعاریف مرتبط با تاب‌آوری بسیار متنوع بوده و در علوم مختلف تعابیر متفاوتی از تاب‌آوری وجود دارد.

تعریف UNISDR یکی از تعاریف مورد پذیرش تاب‌آوری در مطالعهٔ سوانح طبیعی است. این تعریف بیان می‌دارد که ظرفیت یک سیستم، جامعه یا اجتماع در معرض خطر برای سازگارشدن، مقاومت کردن یا تغییر برای رسیدن به سطح قابل قبولی از عملیات و ساختار و ادامهٔ آن است. این موضوع به نحوی تعیین می‌شود که سیستم اجتماعی

Archive of SID
www.SID.ir

قادر به سازمان‌دهی خود برای افزایش این ظرفیت، آموختن از بلایای گذشته، حفاظت آتی بهتر و بهبود ارزیابی‌های کاهش امکان خطر دارد. [۶]

در این مقاله با توجه به لزوم کمّی‌سازی تاب‌آوری و ایجاد معیاری برای مقایسهٔ استراتژی‌های مقاوم‌سازی و افزایش تاب‌آوری شهرها، ابتدا ابعاد و شاخص‌های تاب‌آوری با استفاده از مطالعات صورت گرفته در این زمینه و نظر خبرگان استخراج و سپس شاخص کلی تاب‌آوری تعریف شد.

روش تحقیق

به منظور به‌دست آوردن ابعاد و شاخص‌های تاب‌آوری شهر در مقابل زلزله، ابتدا مطالعات پیشین صورت گرفته در این زمینه طبقه‌بندی و شاخص‌های موجود استخراج شد، سپس با تدوین پرسشنامه ابعاد و شاخص‌های نهایی به‌دست آمد. برای مشخص‌کردن اثر هریک از ابعاد و شاخص‌های آنها از مقایسهٔ زوجی استفاده شد که بدین‌منظور پرسشنامهٔ مدون در اختیار متخصصان قرار گرفت. در فرایند وزن‌دهی شاخص‌ها عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوطهٔ خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه و وزن آنها محاسبه می‌شود که آن را وزن نسبی می‌نامیم، سپس با تلفیق وزن‌های نسبی، وزن نهایی هر گزینه مشخص می‌شود.

شاخص مورداستفاده و پیشنهادی این تحقیق شاخص تاب‌آوری نامیده می‌شود. این شاخص دربرگیرندهٔ ابعاد مختلف مؤثر در تاب‌آوری سیستم موردمطالعه (در اینجا تاب‌آوری شهری در مقابل زلزله) است که میزان تأثیرگذاری هر یک با استفاده از نظر خبرگان سنجیده می‌شود. رابطه ۱ نشان دهنده نحوه محاسبه این شاخص می‌باشد. در این رابطه $\boldsymbol{D_m}$ وزن بُعد اصلی m، $\boldsymbol{I_i}$ وزن شاخص i ام مربوط به بُعد m و $\boldsymbol{R_i}$ مشخص کننده مقدار تاب‌آوری بخش مربوط به شاخص است.

$$\mathrm{RI} = D_1 \sum_{i=1}^{n_1} I_i R_i + D_2 \sum_{i=1}^{n_2} I_i R_i + \cdots + D_m \sum_{i=1}^{n_m} I_i R_i \quad (۱)$$

در این روش مقدار اثر گذاری هر بخش بر تاب‌آوری مشخص می‌شود لذا می‌توان پیشرفت یا کاستی هر بخش در مقاوم‌سازی و افزایش تاب‌آوری را اندازه گیری کرد. نکته قابل ذکر در رابطه با این شاخص این است که، این شاخص به منظور مقایسه حالات مختلف و استراتژی‌های افزایش تاب‌آوری توسعه داده شده است. ضریب R_i که بیانگر میزان تاب‌آوری یا اثربخشی هر بُعد در تاب‌آوری می‌باشد، با استفاده از مطالعات پیشین صورت گرفته در همان بخش و نظر خبرگان قابل محاسبه است. با استفاده از این ضریب مسأله تاب‌آوری به بخش‌های کوچک‌تری تقسیم می‌شود و برآورد تاب‌آوری شهری که دربرگیرنده ابعاد و مؤلفه‌های گوناگون در تخصص‌های مختلف است، آسان‌تر و دقیق‌تر صورت می‌گیرد. یکی از روش‌های مؤثر در این رابطه استفاده از مدل شاخص تاب‌آوری سوانح است که در بالا به طور کامل شرح داده شد. به عنوان مثال شکل شمارهٔ ۱ را در نظر بگیرید. فرض می‌شود که تمامی ابعاد تأثیرگذار در تاب‌آوری مواردی هستند که در این نمودار به آن‌ها اشاره شده است. دراین‌صورت به دلیل نبود شاخص مدنظر مقدار I_iها برابر یک می‌باشد و مقادیر D_mها با استفاده از نظر خبرگان به‌دست آمده است. برای مقادیر R_i با توجه به هر یک از بُعدها باید محاسبه

Archive of SID

www.SID.ir

انجام گیرد. برای مثال در بُعد سازه‌ای، R نشان‌دهندهٔ میزان تاب‌آوری سازه‌ها در مقابل زلزله است که می‌توان آن را با استفاده از آسیب‌پذیری سازه‌ها در مقابل زلزله محاسبه کرد. لازم به ذکر است که محاسبهٔ مقادیر R خارج از اهداف این مقاله است.

جدول شمارهٔ ۱: وزن ابعاد اصلی

بُعد	وزن
اجتماعی	۰/۰۴۰
اقتصادی	۰/۰۶۸
فنّی	۰/۰۷۶
کالبدی	۰/۳۶۲
امنیتی	۰/۳۱۸
نهادی	۰/۳۱۶

شاخص تاب‌آوری

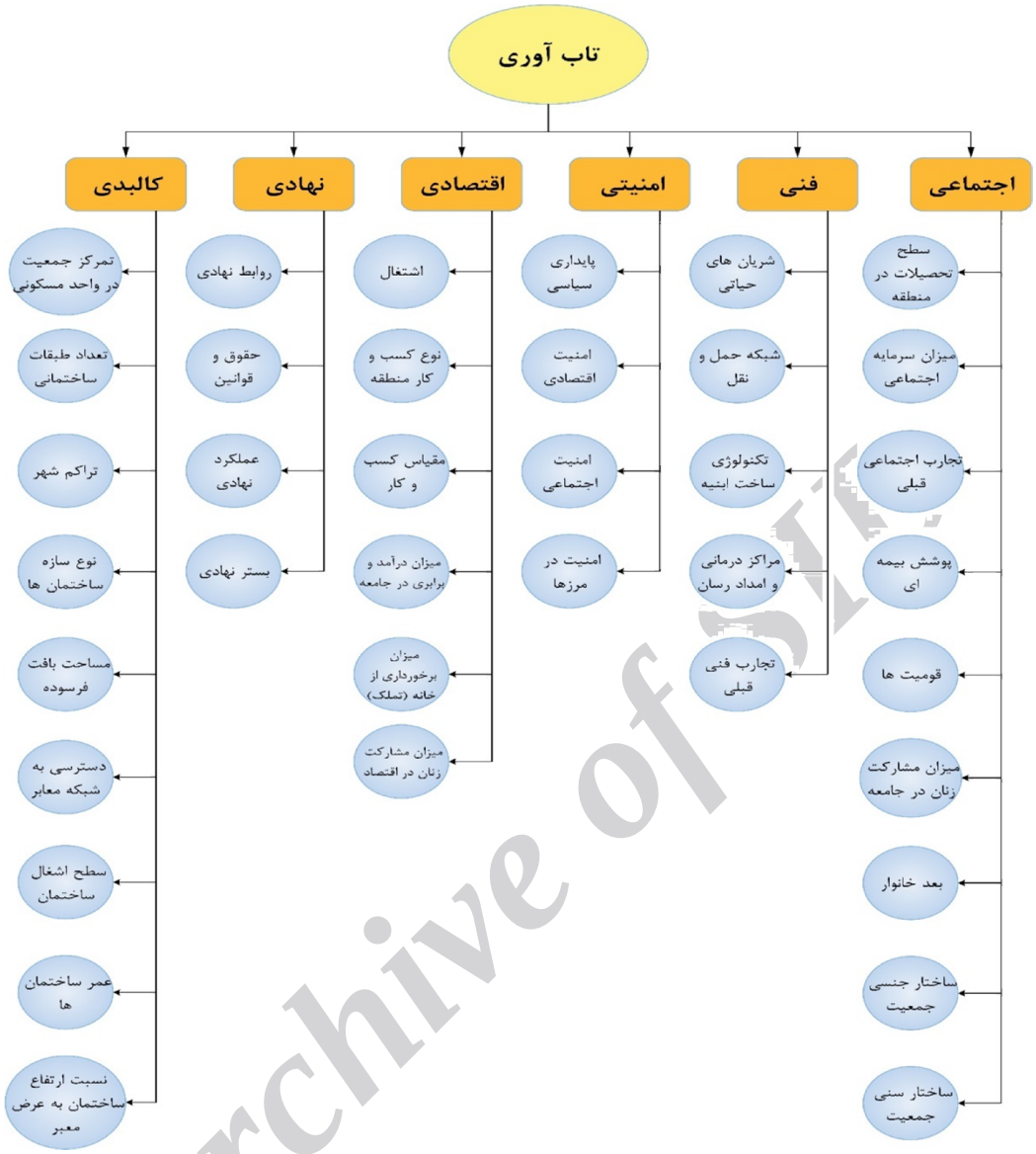
به منظور محاسبهٔ شاخص تاب‌آوری (R_I) ابعاد و شاخص‌های آن با استفاده از مطالعهٔ کتابخانه‌ای و تنظیم پرسشنامه استخراج شدند. ابعاد اصلی تاب‌آوری شامل ابعاد اجتماعی، فنّی، امنیتی، اقتصادی، نهادی و کالبدی می‌باشد که هر کدام شاخص‌هایی دارد.

شکل شمارهٔ ۲ نشان‌دهندهٔ ابعاد و شاخص‌های تاب‌آوری است که در مرحلهٔ بعد، با استفاده از نظر خبرگان و مقایسهٔ زوجی میزان تأثیر هر یک از این ابعاد و شاخص‌ها در تاب‌آوری شهری در برابر زلزله به‌دست آمد. جدول شمارهٔ ۱ وزن ابعاد اصلی و جدول شمارهٔ ۲ وزن شاخص‌های مربوط به هر بُعد را نشان می‌دهد.

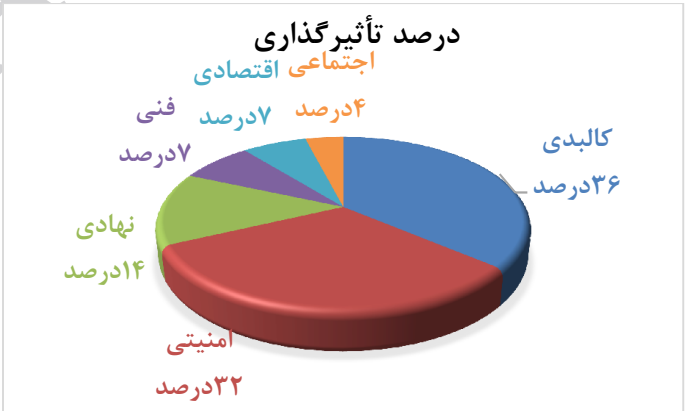
در تعریف شاخص تاب‌آوری پیشنهادی، میزان تاب‌آوری هر یک از بخش‌ها یا تأثیر آن‌ها در تاب‌آوری هر بُعد بر مبنای نظر خبرگان و وضعیت آنها سنجیده می‌شود. به منظور نشان‌دادن کاربرد شاخص تاب‌آوری دو حالت به عنوان مثال را فرض می‌شوند. در منطقهٔ A برآورد شده است که زیرساخت حمل و نقل به میزان ۴۵ درصد در برابر زلزله تاب‌آور است و تأثیر وجود بیمه ۳۵ درصد است. با صرف هزینه x تاب‌آوری زیرساخت حمل و نقل به ۵۵ درصد و تأثیر وجود بیمه ۸۰ درصد و با صرف هزینه y تاب‌آوری زیرساخت حمل و نقل به ۸۰ درصد و تأثیر وجود بیمه ۴۵ درصد رسیده است. براین اساس با محاسبه شاخص تاب‌آوری پیشنهاد شده، حالت x به میزان ۱۳ درصد و حالت y به میزان ۳۰ درصد تاب‌آوری کلی شهر را افزایش می‌دهند. لذا با در نظر گرفتن هزینه اجرای استراتژی‌ها و میزان بهبود تاب‌آوری می‌توان استراتژی بهینه را برای افزایش تاب‌آوری شهری به‌دست آورد.

شکل شمارهٔ ۱: ابعاد تاب‌آوری [۷]

Archive of SID
www.SID.ir



شکل شمارهٔ ۲: ابعاد و شاخص‌های تاب‌آوری شهری در مقابل زلزله

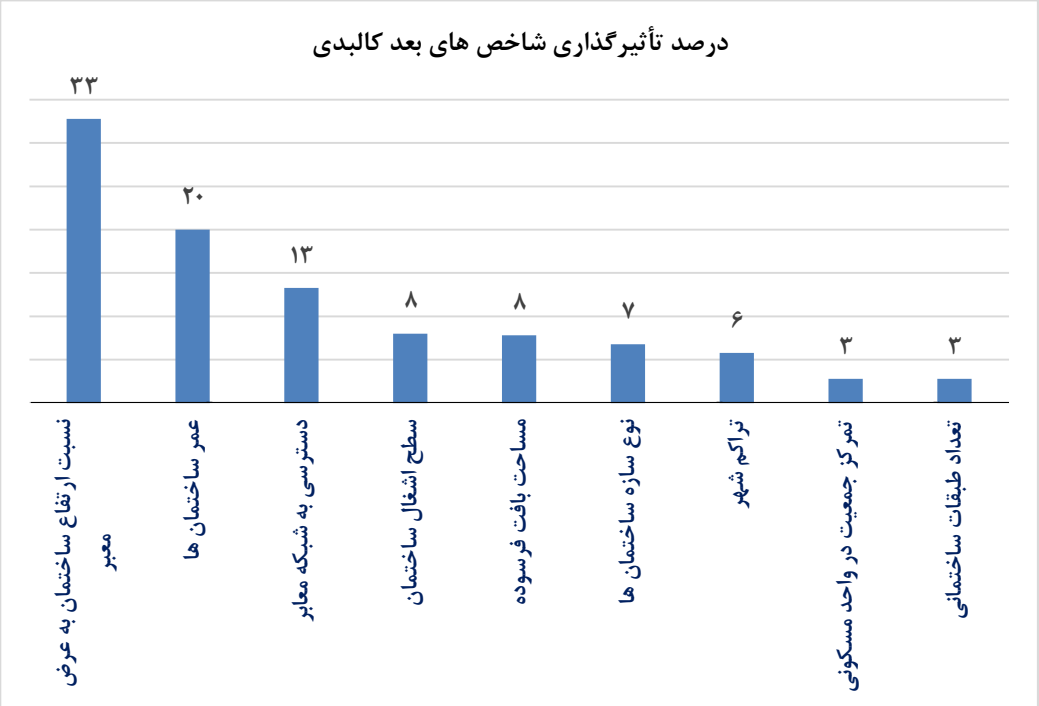


شکل شمارهٔ ۳: درصد تأثیرگذاری ابعاد در تاب‌آوری شهری

Archive of SID
www.SID.ir

جدول شمارهٔ ۲: وزن شاخص‌ها

بُعد اجتماعی		بُعد کالبدی		بُعد اقتصادی		بُعد فنّی		بُعد امنیتی		بُعد نهادی	
شاخص	وزن	شاخص	وزن	شاخص	وزن	شاخص	وزن	شاخص	وزن	شاخص	وزن
سطح تحصیلات در منطقه	۰/۰۳۲	تمرکز جمعیت در واحد مسکونی	۰/۰۲۸	اشتغال	۰/۳۱	شریان‌های حیاتی	۰/۰۴۳	پایداری سیاسی	۰/۰۹۶	روابط نهادی	۰/۰۵۵
میزان سرمایه اجتماعی	۰/۰۳۹	تعداد طبقات ساختمانی	۰/۰۲۸	نوع کسب و کار منطقه	۰/۰۸۲	شبکه حمل و نقل	۰/۱۰۷	امنیت اقتصادی	۰/۰۸۵	حقوق و قوانین	۰/۱۵۹
تجارب اجتماعی قبلی	۰/۰۲۷	تراکم شهر	۰/۰۵۸	مقیاس کسب و کار	۰/۰۹۹	تکنولوژی ساخت ابنیه	۰/۱۹۲	امنیت اجتماعی	۰/۳۶۴	عملکرد نهادی	۰/۳۲۱
پوشش بیمه ای	۰/۰۴۹	نوع سازه ساختمان‌ها	۰/۰۶۸	میزان درآمد و برابری در جامعه	۰/۱۶۳	مراکز درمانی و امداد رسانی	۰/۱۸۶	امنیت در مرزها	۰/۴۵۵	بستر نهادی	۰/۴۶۶
قومیت	۰/۱۰۷	مساحت بافت فرسوده	۰/۷۸	تملک	۰/۲۸۳	تجارب فنّی قبلی	۰/۴۷۲	–	–	–	–
میزان مشارکت زنان در جامعه	۰/۱۵۷	دسترسی به شبکه معابر	۰/۱۳۳	میزان مشارکت زنان در اقتصاد	۰/۳۴۱	–	–	–	–	–	–
بُعد خانوار	۰/۱۰۹	سطح اشغال ساختمان	۰/۰۸۰	–	–	–	–	–	–	–	–
ساختار جنسیتی جمعیت	۰/۲۵۳	عمر ساختمان‌ها	۰/۲۰۰	–	–	–	–	–	–	–	–
ساختار سنی جمعیت	۰/۲۲۷	نسبت ارتفاع ساختمان به عرض معبر	۰/۳۲۸	–	–	–	–	–	–	–	–



شکل شمارهٔ ۴: درصد تأثیرگذاری شاخص‌های بُعد کالبد در تاب‌آوری

www.SID.ir

بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله ضمن معرفی اجمالی تعاریف بلایا و تاب‌آوری، ابعاد و شاخص‌های به‌دست آمده از مطالعات پیشین و نظرات خبرگان معرفی گردیدند. این ابعاد و شاخص‌ها معرف عوامل تأثیرگذار بر تاب‌آوری شهری در برابر زلزله هستند. سپس شاخص تاب‌آوری با استفاده از وزن‌دهی به ابعاد و شاخص‌های آن‌ها به‌دست آمد. بر این اساس بُعد کالبد که معرف ساختار شهر می‌باشد، بیشترین سهم در تاب‌آوری شهر در مقابل زلزله را دارد. پس از آن بُعد امنیت مهم ترین عامل در تاب‌آوری شهر است. شکل شمارهٔ ۳ درصد تأثیرگذاری هر یک از ابعاد را نشان می‌دهد. در رابطه با شاخص‌ها، در بُعد کالبدی شاخص «نسبت ارتفاع ساختمان به عرض معبر» بیشترین تأثیر را از نظر کارشناسان بر تاب‌آوری شهری در مقابل زلزله داشته است. شکل شمارهٔ۴ مقدار تأثیرگذاری هر یک از شاخص‌های بُعد کالبد را نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود، تعداد طبقات ساختمانی تأثیر اندکی به نسبت دیگر شاخص‌ها دارد. زیرا درصورت ساخت با استفاده از سازه مناسب، وجود فضای کافی در معبر و دسترسی مناسب به معابر تعداد طبقات ساختمانی اهمیت چندانی در بروز آسیب‌پذیری ندارد.

شاخص تاب‌آوری ارائه شده ابزاری توانمند به منظور تصمیم‌گیری و بهینه‌سازی برنامه‌های مربوط به افزایش تاب‌آوری شهری می‌باشد. روش بیان شده در این تحقیق به عنوان ابزاری برای تصمیم‌گیری و انتخاب استراتژی‌های مقاوم‌سازی در مدیریت بحران کاربرد دارد. به عنوان مثال با استفاده از این شاخص و برآورد تغییرات در بخش‌های گوناگون می‌توان استراتژی‌های بهبود تاب‌آوری را با یکدیگر مقایسه کرد و راهکاری اقتصادی را برگزید.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله بدین وسیله بر خود لازم می‌دانند تا از تمام کسانی‌که به نحوی در انجام این مقاله یاری رساندند، قدردانی و تشکر کنند.

References

1. Hejrati A. Assessing effective strategies for crisis management (natural disasters) in the urban development plan (case study: Tehran city). MA Thesis, Faculty of Arts, Tarbiat Moddares University. 2005 [In Persian]
2. Hermann, C. F. Some issues in the study of international crisis. International Crises: Insights from Behavioral Research, the Free Press, New York; 1972, 3-17.
3. Darling, J. R. Crisis management in international business: keys to effective decision making. Leadership & Organization Development Journal; 1994, 15(8), 3-8.
4. Wildavsky, A. Searching for Safety. Transaction, New Brunswick, NJ, 1991
5. Mancini, A. D., & Bonanno, G. A. Predictors and parameters of resilience to loss: toward an individual differences model. Journal of Personality; 2009, 77(6), 1805–1832.
6. UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Risk Reduction) Hyogo Framework for 2005–2015: Building the resilience of nations and communities to disasters. http://www.unisdr.org/wcdr/intergover/official-doc/L-docs/ Hyogo framework for-action-english.pdf. Accessed on 22 June 2005.
7. Cutter, S. L., Barnes, L., Berry, M., Burton, C., Evans, E., Tate, E., & Webb, J.. A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. Global environmental change, 2008; 18(4), 598-606.

Archive of SID

www.SID.ir

Compilation of urban resilience index against earthquake

Mostafa Behzadfar, Professor of Urban Planning, School of Architecture and Environmental Design, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran
Babak Omidvar, Associate Professor of Environmental Engineering, Faculty of Environment, Tehran University, Tehran, Iran
Mohammad Bagher Qalibaf Associate professor of political geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran
Corresponding author: **Reza Ghasemi,** Researcher, PhD in Urbanism, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran
Email:rghasemi@ut.ac.ir

Received: May 6, 2018 **Received:** August 18, 2018

Abstract
Background: The study of cities resilience against earthquakes is one of the requirements for planning to reduce damages, fatalities, and financial losses due to earthquakes. Resilience has many definitions and there is no a comprehensive model for calculating; Therefore, this paper aims to provide a quantitative indicator for resilience.
Method: First, effective indicators and dimensions in resilience of cities against earthquake were extracted by using library studies and obtaining experts opinions. Then, the weight of each dimension and indicator was determined based on expert judgment and paired comparison method and finally, the resilience index was introduced.
Findings: In this paper, while introducing a summary of disaster definitions and resilience, the dimensions and indices obtained from previous studies and expert opinions were introduced. These dimensions and indicators represent the factors influencing urban resilience against earthquakes. Accordingly, the urban fabric dimension, which represents the city structure, plays a major role in the resilience of the city against earthquakes, after which the security dimension is the most important factor in resilience of the city. Regarding the indexes, in the physical dimension, the "building height / passage width ratio" index has the most impact on the resilience of the earthquake against the earthquake in experts' opinions. The number of building floors has little impact and does not matter much about vulnerability in case of using proper structure, sufficient space, and easy access to the passages.
Conclusion: The results show that the introduced index for different cities, as well as various strategies for retrofitting and increasing resilience can be calculated and make it possible to choose an optimal strategy for increasing resilience. It is also possible for planners and decision makers to observe the effects of different sections on the resilience of the city or region under study.

Keywords: resilience, earthquake, index, dimensions

Archive of SID
www.SID.ir