

## بررسی خطرپذیری لرزه‌ای برخی از شهرهای مهم ایران با استفاده از شاخص خطرپذیری

کیارش ناصراسدی (نویسنده مسؤل)، استادیار، گروه مهندسی عمران دانشگاه زنجان و عضو انجمن مهندسی زلزله ایران،

E-mail: nasserasadi@znu.ac.ir

حامد بهاری نعمت‌آباد، فارغ‌التحصیل مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان

**چکیده:** بررسی خطرپذیری لرزه‌ای شهرها به منظور شناسایی نقاط ضعف هر شهر یکی از مهم‌ترین اقدامات لازم برای تخصیص بهینه منابع به منظور کاهش میزان خطرپذیری و تلفات انسانی ناشی از زلزله است. شاخص خطرپذیری لرزه‌ای، یک شاخص ترکیبی است که به وسیله آن می‌توان مقایسه نسبی عمومی از میزان خطرپذیری لرزه‌ای شهرهای مختلف انجام داد. به منظور نمایش کارایی روش، در تحقیق حاضر میزان خطرپذیری لرزه‌ای ۱۲ شهر مختلف ایران به وسیله شاخص خطرپذیری لرزه‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که در بین شهرهای انتخابی، تهران و اصفهان به ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین شاخص خطرپذیری می‌باشند. این نتیجه نزدیک به ارزیابی کلی از خطرپذیری شهرها و نشان‌دهنده مناسب بودن روش مورد استفاده است. شهرهای متوسط و بزرگ دیگر دارای شاخص یکسانی در خطرپذیری لرزه‌ای می‌باشند. با توجه به شاخص‌های مورد بررسی، ملاحظه می‌شود که عدم توجه به آمادگی برای بحران و ایجاد ساختار مناسب و متناسب برای مقابله با بحران در شهرهای کوچک و متوسط باعث افزایش نسبی شاخص خطرپذیری این شهرها شده است. بر این اساس، لزوم توجه بیشتر به شهرهای کوچک و متوسط در مدیریت خطرپذیری احساس می‌شود.

**کلیدواژه‌ها:** شاخص خطرپذیری لرزه‌ای، آمادگی برای بحران، برآورد خطرپذیری، اولویت‌بندی برای کاهش خطرپذیری

### ۱- مقدمه

می‌کنند؛ بنابراین شناسایی، بررسی و ارزیابی تمامی این اجزا و بیان خطرپذیری کلی به منظور اولویت‌بندی برای توزیع منابع بسیار مهم است.

برآورد خطرپذیری می‌تواند به روش‌های کیفی و کمی انجام گیرد. روش‌های کیفی عموماً سریع و با هزینه کم‌تر انجام شده و برای طبقه‌بندی و دسته‌بندی خطرپذیری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حالی که روش‌های کمی، روش‌های دقیق، با صرف زمان زیاد و دارای هزینه است. در بسیاری از مطالعات، ابتدا از روش‌های کیفی استفاده شده تا محدوده

برآورد خطرپذیری در سطوح متفاوت انجام شده و به دو روش کلی کیفی و کمی انجام می‌شود. خطرپذیری می‌تواند در حد یک ساختمان، یک منطقه، یک شهر و یا یک کشور انجام گیرد. با توجه به مسائل موجود در هر سطح، روش‌های متفاوت و با دقت مربوط به خود ارائه شده است. به‌طور کلی با افزایش وسعت برآورد خطرپذیری، دقت روش کمتر شده و عوامل بیشتری در میزان خطرپذیری دخیل می‌شوند. شهرها دارای اجزای مختلفی هستند که مجموع این اجزا میزان خطرپذیری را هنگام وقوع زلزله مشخص

حوزه می‌توانند دید بهتری نسبت به میزان خطرپذیری لرزه‌ای شهر مورد نظرشان داشته باشند و در جهت کاهش آن حرکت کنند.

۲- عوامل مختلف دخیل در شاخص خطرپذیری لرزه‌ای شامل محدوده وسیعی بوده و میزان بزرگی زمین‌لرزه تا تعداد سازه‌ها و وضعیت فعلی اقتصادی شهر را در بر می‌گیرد. استفاده از این شاخص آگاهی عمومی در خصوص محدوده وسیع عوامل مؤثر بر خطرپذیری لرزه‌ای شهرها را افزایش می‌دهد.

۳- داده‌های ورودی این روش برخلاف سایر روش‌ها ساده و قابل اندازه‌گیری عددی بوده و به راحتی پیاده‌سازی می‌شود.

روش‌های کیفی برآورد خطرپذیری با توجه به مزیت‌های نسبی که برای مدیریت خطرپذیری در سطح کلان داشته و می‌تواند در خصوص اختصاص منابع و اولویت‌های مدیریتی مورد استفاده قرار بگیرد، مورد توجه بسیاری از محققین است. در این خصوص، شاخص‌های متفاوتی ارائه شده که دیودسون و شاه [۱] از جمله آنها می‌باشند. این شاخص، میزان خطرپذیری را از جنبه‌های مختلف بررسی کرده و در نهایت شاخص نهایی را با در نظر گرفتن اثر عوامل متفاوت برآورد نموده است. این روش به منظور مقایسه خطرپذیری عمومی شهرها طراحی شده و ورودی اطلاعات آن بسیار ساده و کلی می‌باشد. از آنجایی که عوامل تأثیرگذار بین‌المللی در این شاخص لحاظ شده، روش حاضر قابلیت استفاده و مقایسه خطرپذیری شهرها در کشورهای مختلف با یکدیگر را دارا می‌باشد. کاردونا در سال ۲۰۰۱ [۲] با ترکیب مؤلفه‌های فیزیکی خسارات محتمل، مسائل اقتصادی-اجتماعی و میزان تاب‌آوری و مقاومت شهرها در برابر آثار زلزله، روشی برای ارزیابی جامع خطرپذیری شهری ارائه نمود که در آن از روش‌های ریاضی کاربردی مانند شبکه عصبی و منطق فازی، میزان شاخص خطرپذیری را برآورد می‌نماید. کارنو و همکاران، در سال ۲۰۰۶ میلادی روش کاردونا را با اضافه نمودن خطرهای متفاوت به آن تکمیل نمود [۲]. این روش‌ها، دقیق‌تر از روش دیودسون

خطرپذیری‌ها تعیین و برای مطالعه دقیق‌تر، تعدادی از موارد مورد بررسی انتخاب شده و برآورد کمی در خصوص آنها انجام می‌شود. برآورد خطرپذیری شهرها به سه روش کلی قابل انجام می‌باشد: (۱) شاخص خطرپذیری لرزه‌ای (Earthquake Disaster Risk Index (EDRI)، (۲) مدل‌های برآورد خسارت (Loss Estimation Models) و (۳) مطالعه سناریوی خرابی (Earthquake Damage Scenarios) [۱]. روش شاخص خطرپذیری کیفی بوده و دیگر روش‌ها کمی می‌باشد.

روش شاخص خطرپذیری لرزه‌ای، بر اساس اطلاعات محدود، میزان شاخصی برای خطرپذیری ارائه می‌دهد. این شاخص، مقدار واقعی خسارات و یا خطرپذیری نیست؛ بلکه به عنوان نشانه و شاخص، میزان خطرپذیری نسبی را بین چند حالت مختلف ارائه می‌دهد. مدل‌های برآورد خسارت، روش کمی می‌باشد که بر اساس آن میزان خسارات اقتصادی و اجتماعی ناشی از زلزله را در مقیاس مختلف برآورد می‌کنند. نتایج این مدل‌ها به صورت منحنی احتمالی خسارت یا کشته و مجروحین و توزیع آنها ارائه و برای مقاصد متفاوتی از جمله مدیریت خطرپذیری و تأمین خسارات استفاده می‌شود. از آنجایی که در این روش میزان خسارات به صورت احتمالی برآورد می‌شود، برقراری ارتباط بین نتایج این روش با دیگر تبعات ناشی از زلزله مانند تبعات اجتماعی، زیست‌محیطی، ایمنی، امنیتی و دیگر موارد امری بسیار مشکل می‌باشد. به همین منظور، برای بررسی این قبیل موارد، از روش مطالعه سناریوی خرابی استفاده می‌شود. هدف از بررسی خسارات در سناریوی ناشی از زلزله که معمولاً یکی از بدترین حالات احتمالی ممکن انتخاب می‌شود، تعیین بدترین شرایط محتمل در یک منطقه و ایجاد آمادگی و برنامه‌ریزی برای مدیریت آن می‌باشد.

روش شاخص خطرپذیری در مقایسه با روش‌های دیگر اطلاعات کمتری لازم دارد. همچنین هزینه کمتری در بر می‌گیرد و سه مزیت عمده نسبت به دیگر روش‌ها دارد:

۱- مقایسه مستقیم خطرپذیری لرزه‌ای: این روش، ابزار مناسبی برای تخصیص بهینه منابع درون شهری می‌باشد. با استفاده از نتایج مطالعه مذکور مخاطب و تصمیم‌گیران این

بر خطرپذیری لرزه‌ای شهرها در نظر گرفته شده‌اند که با هم از طریق رابطه خطی با ضرایب وزنی ثابت و مطابق با رابطه (۱) ترکیب می‌شوند که عبارتند از: (۱) خطر زلزله، (۲) در معرض آسیب بودن، (۳) آسیب‌پذیری، (۴) شرایط محیطی و (۵) ظرفیت پاسخ سریع و امکان بازیابی. این عوامل، هر کدام به عوامل دیگری وابسته می‌باشند که کلیات آن در شکل (۱) ارائه شده است.

$$EDRI = W_H H + W_E E + W_V V + W_C C + W_R R \quad (1)$$

عوامل ارائه شده در رابطه (۱)، در جدول (۱) تعریف شده است. در این رابطه، مقدار ضرایب وزنی که از طریق نظرخواهی از متخصصین و توسط روش دلفی به‌دست‌آمده در جدول (۱) آمده که هر کدام از عوامل مذکور در رابطه فوق، از طریق ترکیب خطی عوامل مختلف با ضریب وزنی مشخص تعیین و در ادامه معرفی می‌شوند.



شکل (۱): عوامل مهم در شاخص خطرپذیری زلزله [۱].

جدول (۱): عوامل اصلی شاخص خطرپذیری و وزن‌های آنها [۱].

نام عامل	عامل	وزن‌ها	مقادیر وزن‌ها
H	خطر	$W_H$	۰/۲۵
E	در معرض آسیب بودن	$W_E$	۰/۲۵
V	آسیب‌پذیری	$W_V$	۰/۲۵
C	تأثیر بر محیط خارجی	$W_C$	۰/۱۲۵
R	واکنش‌های اضطراری و قابلیت ترمیم	$W_R$	۰/۱۲۵

است که امکان برآورد شاخص خطرپذیری برای مناطق مختلف داخل یک شهر را فراهم می‌نماید. روش حاضر با توجه به حجم اطلاعات و پیچیدگی، برای بررسی دقیق‌تر شهری و مناطق مختلف آن مناسب می‌باشد. در ایران، مطالعات خوبی در خصوص توسعه شاخص‌های برآورد خطرپذیری انجام شده است. احدنژاد [۳] بر اساس شاخص‌های کلی شهری مانند تراکم، قدمت ساختمان‌ها و دیگر عوامل و بر اساس مدل GIS شاخص خطرپذیری برای شهرها ارائه نموده است که نیازمند در اختیار داشتن توزیع شاخص‌های خطرپذیری و ترکیب آن در محیط GIS می‌باشد. در خصوص شناسایی عوامل مهم در خطرپذیری شهری و استفاده از آنها در تعیین شاخص خطرپذیری می‌توان به مطالعات امینی‌حسینی و همکاران [۴]، قائم‌مقامیان و همکاران [۵] اشاره کرد. حاجی‌بابایی و همکاران در سال ۱۳۹۳ [۶]، مدلی برای برآورد خطر در مناطق شهری بر مبنای آسیب‌پذیری فیزیکی، صدمات جانی و اختلالات- اجتماعی- اقتصادی ارائه نموده‌اند. این روش نیز، میزان شاخص خطرپذیری را برای مناطق مختلف شهری و بر اساس شاخص‌های مختلف تعیین می‌کند.

در این مطالعه، به‌منظور نمایش کارایی روش‌های برآورد خطرپذیری در اولویت‌بندی مدیریت خطرپذیری، شاخص خطرپذیری ۱۲ شهر مهم ایران شامل برخی کلان‌شهرها و شهرهای متوسط با استفاده از شاخص خطرپذیری لرزه‌ای معرفی شده توسط دیودسون و شاه [۱]، برآورد شده است. از آنجایی که بررسی نسبی خطرپذیری شهرها به‌منظور اولویت‌بندی مد نظر بوده، روش دیودسون و شاه [۱] که نیاز به سطح اطلاعات حداقل داشته و شاخص خطرپذیری را برای کل شهر ارائه می‌دهد به‌عنوان روش ارزیابی انتخاب شده است. در ادامه، ابتدا روش معرفی شده توسط دیودسون و شاه معرفی شده و سپس ارزیابی شهرهای انتخاب شده بر اساس آن انجام می‌شود.

## ۲- معرفی روش شاخص خطرپذیری لرزه‌ای

در این روش پنج شاخص اصلی به‌عنوان عوامل تأثیرگذار

### ۳- شاخص‌ها و معیار کمی تعیین آن‌ها

#### ۳-۱-۱- عامل خطر

منظور از عامل خطر، یک پدیده ژئوفیزیکی است که به‌عنوان آغازگر یک فاجعه زمین‌لرزه‌ای محسوب می‌شود. این عامل شامل ترکیب دو شاخص کلی «ارتعاش زمین» و «خطرات ثانویه» (آتش‌سوزی، روانگرایی، رانش زمین و سونامی) است. عامل خطر زلزله  $H$  از ترکیب هفت شاخص به‌صورت رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$H = \sum_{i=1}^7 (XH_i \times WH_i) \quad (2)$$

که تعریف آن‌ها و مقادیر ضرایب وزن مربوطه در جدول (۲) ارائه شده است. در ادامه نیز ضرایب توضیح داده می‌شود.

جدول (۲): شاخص‌های مرتبط با خطر زلزله [۱].

عامل مؤثر	شاخص	شاخص	وزن‌ها	مقادیر وزن‌ها
ارتعاش زمین	$XH_1$	$MMI$ با دوره بازگشت ۵۰ سال <sup>ع</sup>	$WH_1$	۰/۲۹۸
	$XH_2$	$MMI$ با دوره بازگشت ۵۰۰ سال <sup>ع</sup>	$WH_2$	۰/۲۹۸
	$XH_3$	درصد مناطق شهری با خاک نرم	$WH_3$	۰/۱۰۴
خطرات ثانویه	$XH_4$	درصدی از مناطق شهری با احتمال روانگرایی بالا	$WH_4$	۰/۱۰۰
	$XH_5$	درصد ساختمان‌های چوبی	$WH_5$	۰/۰۵۰
	$XH_6$	تراکم جمعیت (جمعیت در کیلومتر مربع)	$WH_6$	۰/۰۵۰
	$XH_7$	شاخص پتانسیل وقوع سونامی	$WH_7$	۰/۱۰۰

#### ۳-۱-۱-۱- خطر زمین‌لرزه

خطر زمین‌لرزه به سه عامل اصلی مرتبط می‌باشد: (۱) لرزه‌خیزی که به دوره بازگشتی زلزله و ماکزیمم مقدار بزرگی قابل وقوع زلزله در گسل مورد نظر بستگی دارد، (۲) اثر کاهندگی که به شرایط منطقه بستگی دارد و (۳) اثر تشدید خاک محل که به نوع خاک محل استقرار تأسیسات وابسته است. به‌منظور در نظر گرفتن لرزه‌خیزی و کاهندگی منطقه، از دو مقدار در منحنی خطر زلزله استفاده می‌شود که بر اساس شدت مرکالی اصلاحی رسم شده است ( $MMI$ ):

(Modified Mercalli Intensity). اولین نقطه برای در نظر گرفتن زلزله‌های با فراوانی زیاد و بزرگی کم (دوره بازگشت ۵۰ ساله) و دومین نقطه برای لحاظ نمودن زلزله‌های با فراوانی کم و شدت زیاد (دوره بازگشت ۵۰۰ سال) انتخاب می‌شوند. چون بزرگی زلزله با دیگر عوامل به‌صورت لگاریتمی رابطه دارد، بنابراین مقادیر  $XH_1$  و  $XH_2$  به‌عنوان شاخص تعیین بزرگی و قدرت زلزله انتخاب شده و به‌صورت تابع توانی شدت در نظر گرفته شده‌اند:

$$XH_1 = e^{(MMI \text{ با دوره بازگشت } 50 \text{ سال})}$$

$$XH_2 = e^{(MMI \text{ با دوره بازگشت } 500 \text{ سال})}$$

زمانی که منحنی خطر زلزله برحسب شدت در دسترس نباشد، با توجه به رابطه مستقیم بین شدت و شتاب، می‌توان از شتاب به‌جای شدت استفاده کرد.

شاخص  $XH_3$  درصد مناطق شهری را نشان می‌دهد که بر روی خاک نرم قرار دارند. از آنجایی که شرایط خاک در تشدید حرکت زمین‌لرزه احتمالی مؤثر می‌باشد، این شاخص در برآورد خطر در نظر گرفته شده است. «خاک نرم» که زمین‌لرزه را با شدت بیشتری تشدید می‌کند به خاک نوع  $III$  و  $IV$  در طبقه‌بندی خاک‌ها در آیین‌نامه طراحی لرزه ایران اطلاق می‌شود [۷].

#### ۳-۱-۲- روانگرایی

شاخص روانگرایی ( $XH_4$ ) درصدی از مناطق شهری است که استعداد روانگرایی بالایی داشته باشد. «استعداد روانگرایی بالا» به نهشته‌های حاکی اشاره دارد که در روش استاندارد شده برآورد خطر روانگرایی، به‌عنوان استعداد بالا یا خیلی بالا طبقه‌بندی شده‌اند [۸].

#### ۳-۱-۳- آتش‌سوزی بعد از زلزله

دو شاخص «درصد ساختمان‌های چوبی» و «تراکم جمعیت» ( $XH_5$  و  $XH_6$ ) بیانگر خطر آتش‌سوزی می‌باشد. شاخص اول  $XH_5$ ، به درصد خانه‌هایی اشاره دارد که مصالح اولیه ساخت آنها از چوب است و بیان‌کننده میزان

می‌باشند که با ضریب وزنی با همدیگر ترکیب می‌شوند و در رابطه (۴) ارائه شده است. پارامترهای این رابطه در جدول (۳) ارائه شده است. در این ضرایب،  $XE_1$  تا  $XE_4$  مربوط به در معرض آسیب بودن زیرساخت‌های فیزیکی،  $XE_5$  در معرض آسیب بودن جمعیت و  $XE_6$  مورد در معرض آسیب بودن اقتصاد را بیان می‌کند که تعریف هر کدام از آنها در ادامه ارائه شده است.

$$E = \sum_{i=1}^6 (XE_i \times WE_i) \quad (4)$$

جدول (۳): شاخص‌های در معرض آسیب بودن [۱]

نام شاخص	شاخص	وزن‌ها	مقادیر وزن‌ها
$XE_1$	جمعیت	$WE_1$	۰/۱۴۰
$XE_2$	سرانه تولید ناخالص داخلی، با احتساب دلار ثابت سال ۲۰۱۱	$WE_2$	۰/۰۶۰
$XE_3$	تعداد واحدهای مسکونی	$WE_3$	۰/۱۴۰
$XE_4$	مساحت زمین‌های شهری (کیلومتر مربع)	$WE_4$	۰/۰۶۰
$XE_5$	جمعیت	$WE_5$	۰/۴۰۰
$XE_6$	سرانه تولید ناخالص داخلی	$WE_6$	۰/۲۰۰

### ۳-۲-۱- در معرض آسیب بودن زیرساخت‌های فیزیکی

برای ارزیابی ساده و نسبی در معرض آسیب بودن زیرساخت‌های فیزیکی یک شهر در مقیاس بزرگ، پراکندگی و کیفیت این تأسیسات به جمعیت و سطح پیشرفت تکنولوژیکی و صنعتی و درآمد ارتباط داده شده است. به این منظور، چهار اندیس برای بیان این شاخص ارائه شده است: «جمعیت» ( $XE_1$ )، «سرانه تولید ناخالص ملی» ( $XE_2$ )، «تعداد واحدهای مسکونی» ( $XE_3$ ) و «مساحت زمین‌های شهری» ( $XE_4$ ). گنجاندن دو مورد اول به دلیل این فرض است که «جمعیت» نشان‌دهنده میزان گستردگی زیرساخت‌های شهری و «سرانه تولید ناخالص داخلی» میزان توسعه‌یافتگی و ارزش آن می‌باشد.  $XE_3$  به صورت اندازه‌گیری مستقیم به منظور در برگرفتن قابلیت اضافه شدن جمعیت بوده،  $XE_4$  به منظور در نظر گرفتن

مواد قابل اشتعال در شهر می‌باشد. در شاخص دوم  $XH_6$ ، با فرض تناسب تراکم جمعیت و تراکم زیرساخت‌ها، میزان قابلیت گسترش آسیب‌های ناشی از آتش‌سوزی تعیین می‌گردد. این شاخص به صورت میانگین وزنی تراکم محله‌های شهری (یا شهرک‌ها) یک کلان‌شهر که بیان‌کننده دقیق‌تری از تراکم یک شهر می‌باشد، تعریف می‌شود.

$$XH_6 = (\sum_i d_i p_i) / \sum_i p_i \quad (3)$$

که در آن،  $d_i$  تراکم محله  $i$  ام؛  $p_i$  جمعیت محله  $i$  ام و مجموع آن تمام محله‌ها را در بر می‌گیرد.

### ۳-۱-۴- سونامی

«شاخص پتانسیل وقوع سونامی»، ( $XH_7$ ) به صورت یک شاخص سه‌حالتی برای سنجیدن احتمال بروز خسارات سونامی تعریف می‌شود [۹] که یکی از مقادیر زیر را می‌تواند داشته باشد:

(۱) صفر: اگر هیچ‌گونه سابقه قبلی سونامی در شهر مورد نظر وجود نداشته باشد،

(۲) یک: در صورتی که از لحاظ فیزیکی امکان وقوع سونامی وجود داشته باشد ولی در گذشته کمتر از ۲۰ بار در شهر مورد نظر رخ داده باشد، و

(۳) دو: در صورتی که از لحاظ فیزیکی امکان وقوع سونامی وجود داشته باشد و نیز در گذشته شهر بیشتر از ۲۰ بار سونامی رخ داده باشد.

### ۳-۲-۲- عامل در معرض آسیب بودن

این شاخص شامل اندازه شهر و هر چیزی که در برابر خطر زلزله آسیب‌پذیر است، می‌شود. در معرض بودن شامل کمیت و توزیع جمعیت و تأسیسات فیزیکی می‌شود. این شاخص مؤلفه مهمی از خطرپذیری به شمار می‌رود؛ زیرا مهم نیست که شدت خطر چه قدر باشد، در صورتی که جمعیت و تأسیساتی در معرض این خطر نباشند، چیزی برای تخریب و صدمه دیدن نخواهد بود و بنابراین احتمال زبانی نیز وجود نخواهد داشت. شش شاخص بیانگر شاخص در معرض آسیب بودن

حجم جاده‌ها و سایر شریان‌های حیاتی شهری می‌باشد.

### ۳-۲-۲- شاخص در معرض آسیب بودن جمعیت

در معرض آسیب بودن جمعیت، راحت‌ترین شاخص در شاخص خطرپذیری می‌باشد. ( $XE_5$ ) میزان جمعیت است که به سهولت و با استفاده از اطلاعات سرشماری‌ها قابل تعیین خواهد بود.

### ۳-۲-۳- شاخص در معرض آسیب بودن اقتصاد

در معرض آسیب بودن اقتصاد به‌صورت حجم جریان اقتصادی کالاها، خدمات و پول مبادله شده در شهر تعریف می‌شود [۱۰]؛ بنابراین شاخص «سرانه تولید ناخالص داخلی»، در مقیاس دلار به ارزش سال ۲۰۱۱ ( $XE_6$ ) معیاری برای تعیین حجم جریان اقتصادی است. در شهرهای متفاوت یک کشور، در صورت وجود داده، می‌توان از تولید ناخالص منطقه‌ای استفاده کرد.

### ۳-۳- عامل آسیب‌پذیری

عامل آسیب‌پذیری به دو بخش آسیب‌پذیری «زیرساخت-های فیزیکی» که شامل پنج شاخص  $XV_1$  تا  $XV_5$  و آسیب‌پذیری «جمعیت» به‌وسیله شاخص  $XV_6$  بیان می‌گردد که ترکیب آن‌ها در رابطه (۵) و تعریف هر یک و مقادیر ضرایب وزن مربوطه در جدول (۴) ارائه شده است:

$$E = \sum_{i=1}^6 XV_i \times WV_i \quad (5)$$

جدول (۴): شاخص‌های آسیب‌پذیری [۱].

نام شاخص	شاخص	وزن‌ها	مقادیر وزن‌ها
$XV_1$	شاخص آیین‌نامه لرزه‌ای	$WV_1$	۰/۱۹۰
$XV_2$	شاخص ثروت شهر	$WV_2$	۰/۲۸۵
$XV_3$	شاخص قدمت شهر	$WV_3$	۰/۱۹۰
$XV_4$	تراکم جمعیت (جمعیت در هر کیلومتر مربع)	$WV_4$	۰/۱۹۰
$XV_5$	شاخص سرعت توسعه شهر	$WV_5$	۰/۰۹۵
$XV_6$	درصد جمعیت تا ۴ سال یا ۶۵ سال به بالا	$WV_6$	۰/۰۵۰

### ۳-۳-۱- شاخص آسیب‌پذیری زیرساخت‌های فیزیکی

در این شاخص‌ها، «شاخص آیین‌نامه لرزه‌ای» ( $XV_1$ )، میزان آگاهی از مسئله احتمال خطر زلزله در زمان ساخت زیرساخت‌ها بوده و برحسب درصد وزنی از زمان ساخت بخش‌های مختلف شهری و بر اساس رابطه (۶) می‌باشد.

$$X_{V1} = e \times \left[ \sum_k (S_k) \times (P_k) \right] \quad (6)$$

در این عبارت،  $e$  نرخ صحت اجرا،  $S_k$  نرخ کمال آیین‌نامه در بازه زمانی مورد نظر  $k$ ،  $P_k$  درصدی از جمعیت کنونی است که در بازه زمانی  $k$  به شهر اضافه شده‌اند. «شاخص ثروت شهر» ( $XV_2$ ) میزان در دسترس بودن منابع موجود در شهر برای ایجاد، تکمیل و به اجرا در آوردن آیین‌نامه‌های عمومی و لرزه‌ای ساختمان را نشان می‌دهد. این شاخص در حقیقت میزان کیفیت کلی طراحی و ساخت‌وساز یک شهر را بیان می‌کند. «شاخص ثروت شهر» برابر میانگین سرانه سرمایه‌گذاری ناخالص داخلی (Gross Domestic Income (GDI)) در یک سال بر اساس دلار با ارزش سال ۲۰۱۱ می‌باشد.

«شاخص قدمت شهر» ( $XV_2$ ) تأثیرات قدمت شهر را بر آسیب‌پذیری زیرساخت‌های فیزیکی نشان می‌دهد که به‌صورت میانگین وزنی سن جمعیت تعریف می‌شود:

$$X_{V3} = \sum_i (P_i) \times (a_i) \quad (7)$$

که در آن  $P_i$  درصد جمعیت کنونی است که در سال  $i$ ام افزوده شده است و  $a_i$  نیز سن جمعیتی است که در سال  $i$ ام افزوده شده‌اند. این مقادیر برای تمام سال‌هایی که جمعیت شهر نصف جمعیت کنونی آن بوده است تا سال مورد بررسی در نظر گرفته می‌شود.

شهرها برای این‌که بتوانند رشد جمعیت را به‌گونه‌ای مناسب در خود جای دهند لازم است تا زیرساخت‌ها بیش‌ازحد متراکم نشوند. این امر نیاز به فضای وسیعی دارند. «تراکم جمعیت» ( $XV_4$ ) شاخصی است از فضای کافی برای توسعه شهری که این شاخص دقیقاً مشابه با  $XH_6$  می‌باشد.

در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، رشد جمعیت به‌سرعت رخ می‌دهد. این سرعت به حدی است که توسعه

### ۳-۴-۱- شاخص تأثیر اقتصادی بر محیط خارجی

«شاخص تأثیر اقتصادی بر محیط خارج» ( $XC_1$ ) طبق رابطه (۹) محاسبه می‌شود [۱۱]:

$$X_{C1} = (TFT) \times (Pop_{country}) \times \left( \frac{Pop_{city}}{Pop_{country}} \right) \times \left( \frac{Pop_{city}}{Pop_{largest\ city}} \right) \quad (9)$$

که در آن TFT (Total Foreign Trade) مجموع تجارت خارجی بین کشوری که شهر مورد نظر در آن قرار دارد و سایر کشورهاست.  $Pop_{city}$ ،  $Pop_{country}$  و  $Pop_{largest\ city}$  به ترتیب جمعیت شهر مورد نظر، جمعیت کشوری که شهر مورد نظر در آن قرار دارد و جمعیت بزرگ‌ترین شهر آن کشور می‌باشند. TFT برابر مجموع مطلق مقادیر بستانکاری و بدهکاری یک کشور، بدهکاری و بستانکاری حساب دارایی و سرمایه، حساب مالی دارایی‌ها و بدهی‌ها در واحد میلیون دلار آمریکا می‌باشد. در خصوص برآورد شهرهای یک کشور، این شاخص به نسبت جمعیت شهر مورد بررسی به جمعیت بزرگ‌ترین شهر تبدیل می‌شود.

### ۳-۴-۲- شاخص تأثیر سیاسی بر محیط خارجی

«شاخص کشوری تأثیر سیاسی بر محیط خارجی» ( $XC_2$ ) نشان‌دهنده قدرت سیاسی شهر مورد نظر در کشور می‌باشد. با فرض این که مقدار این قدرت تابعی از جمعیت شهر است، مطابق رابطه (۱۰) برآورد می‌شود.

$$X_{C2} = \left( \frac{Pop_{political\ region}}{Pop_{country}} \right) \quad (10)$$

که در آن  $Pop_{political\ region}$  جمعیت بزرگ‌ترین منطقه‌ای است که شهر مورد نظر مرکزیت سیاسی آن را بر عهده دارد و  $Pop_{country}$  جمعیت کشوری که شهر مورد نظر در آن قرار دارد.

برای تشخیص فرق قدرت سیاسی پایتخت‌ها، شاخص جهانی «تأثیر سیاسی بر محیط خارجی» ( $XC_3$ ) وارد محاسبات شده است که بیانگر قدرت سیاسی نسبی شهرها در صحنه جهانی می‌باشد. با فرض این که پایتخت کشورهای

زیرساخت‌های ایمن و با کیفیت که قادر به خدمت‌رسانی متوازن به جمعیت باشند، امکان‌پذیر نبوده و عاملی برای توسعه شهرها با آسیب‌پذیری بیشتر می‌شود. «شاخص سرعت توسعه شهر» ( $XV_3$ ) بیانگر این موضوع است و در آن مشخص می‌شود که آیا یک شهر در هنگام توسعه فرصت کافی برای ساخت‌وساز زیرساخت‌ها به صورت با کیفیت را داشته است یا خیر. این شاخص به صورت تعداد سال‌هایی که طول کشیده تا جمعیت شهر دو برابر شود تعریف می‌شود.

### ۳-۳-۲- شاخص آسیب‌پذیری جمعیت

شاخص «درصد جمعیت تا ۴ سال یا بالای ۶۵ سال» ( $XV_6$ ) مقیاس مناسبی برای اندازه‌گیری آسیب‌پذیری فیزیکی جمعیت می‌باشد. این عامل تعداد شهروندان خیلی پیر و یا خیلی کم سن و سال را نشان می‌دهد. این گروه، آسیب‌پذیر بوده و امکان کمتری برای فرار از یک ساختمان در حال ریزش، بهبود از یک جراحی و یا نجات از جو مصیبت‌زده بعد از بحران را از دیگر گروه‌های سنی دارند.

### ۳-۴-۳- شاخص تأثیر بر محیط خارجی

سه عامل بیانگر شاخص تأثیر بر محیط خارجی است که بر اساس رابطه (۸) ترکیب می‌شوند. تعریف پارامترهای رابطه و مقادیر ضرایب وزن مربوطه در جدول (۵) و نحوه برآورد آن‌ها در ادامه ارائه شده است.

$$C = \sum_{i=1}^3 X_{C_i} \times W_{C_i} \quad (8)$$

جدول (۵): شاخص تأثیر بر محیط خارجی [۱].

نام شاخص	شاخص	وزن‌ها	مقادیر وزن‌ها
$XC_1$	شاخص تأثیر اقتصادی بر محیط خارجی	$WC_1$	۰/۸۰۰
$XC_2$	شاخص کشوری تأثیر سیاسی بر محیط خارجی	$WC_2$	۰/۱۰۰
$XC_3$	شاخص جهانی تأثیر بر محیط خارجی	$WC_3$	۰/۱۰۰

می‌باشد. این شاخص می‌تواند از سه مقدار برخوردار باشد: (۱) اگر برنامه‌ریزی مدیریت بحران در شهر هم ناکافی و هم غیرفعال باشد، برابر ۱ خواهد بود، (۲) اگر برنامه‌ریزی مدیریت بحران در شهر یا ناکافی یا غیرفعال باشد، برابر ۲ خواهد بود و (۳) اگر برنامه‌ریزی مدیریت بحران در شهر کافی و فعال باشد، برابر ۳ خواهد بود [۱۳].

### ۳-۵-۲- شاخص منابع در دسترس بعد از زلزله

شاخص سرانه تولید ناخالص داخلی با احتساب ارزش دلار سال ۲۰۱۱ ( $XR_2$ ) و میانگین سالیانه رشد واقعی سرانه تولید ناخالص داخلی در طی ۱۰ سال گذشته ( $XR_3$ ) بیانگر منابع مالی موجود و در دسترس برای واکنش‌های اضطراری بعد از زلزله و ترمیم و بازیابی می‌باشد. محاسبه  $XR_2$  همانند محاسبه  $XE_2$  و  $XE_6$  می‌باشد. برای محاسبه میانگین سالیانه رشد واقعی سرانه تولید ناخالص داخلی در طی ده سال گذشته ( $XR_3$ ) باید میزان تغییر سالانه در سرانه  $GDP$  را برای ۱۰ سال گذشته را به دست آورده و میانگین آنها را محاسبه نمود [۱۴].

شاخص تعداد خانه‌های خالی ( $XR_4$ ) و تعداد بیمارستان‌ها به ازای هر ۱۰۰/۰۰۰ نفر جمعیت ( $XR_5$ ) را می‌توان از سرشماری‌های آماری تعیین کرد. اطلاعات مربوط به پزشکان ( $XR_6$ ) به ازای هر ۱۰۰/۰۰۰ نفر جمعیت به همراه اطلاعات بیمارستان‌ها گزارش می‌شود.

### ۳-۵-۳- شاخص قابلیت انتقال، تحرک و دسترسی بعد از زلزله

«شاخص نهایت بدی آب‌وهوا» ( $XR_7$ ) پتانسیل وقوع شرایط آب و هوایی خیلی بد بعد از وقوع زلزله (به‌عنوان مثال هوای گرم یا سرد) می‌باشد که باعث ایجاد کندی در عملیات امداد و نجات شده و باعث افزایش مشکلات آسیب‌دیدگان و بی‌خانمان‌ها می‌شود. این شاخص با استفاده از اندازه‌گیری مستقیم احتمال وقوع شرایط آب و هوایی بد به‌صورت میانگین تعداد روزهایی از سال که در آن‌ها دما از ۳۲ درجه سانتی‌گراد بالاتر یا از صفر درجه

ثروتمندتر نسبت به کشورهای فقیرتر قدرت سیاسی بیشتری دارد،  $XC_3$  به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$XC_3 = (\text{per capita GDP}) \times (\text{Pop}_{\text{political region}}) \quad (11)$$

که در آن  $\text{per capita GDP}$  «سرانه تولید ناخالص داخلی» با ارزش دلار ثابت سال ۲۰۱۱ می‌باشد [۱۲].

### ۳-۵-۴- عامل واکنش‌های اضطراری و قابلیت بازیابی

برای سنجیدن کیفیت واکنش‌های اضطراری و قابلیت بازیابی یک شهر از رابطه (۱۲) استفاده شده که دارای ۹ شاخص و تعریف هر کدام و مقادیر ضرایب وزن مربوطه در جدول (۶) ارائه شده است.

$$R = \sum_{i=1}^9 XR_i \times WR_i \quad (12)$$

جدول (۶): شاخص تأثیر بر محیط خارجی [۱]

نام شاخص	شاخص	وزن‌ها	مقادیر وزن‌ها
$XR_1$	شاخص برنامه‌ریزی	$WR_1$	۰/۳۳۳
$XR_2$	سرانه تولید ناخالص داخلی، با احتساب دلار ثابت سال ۲۰۱۱	$WR_2$	۰/۱۳۳
$XR_3$	میانگین سالیانه رشد واقعی سرانه تولید ناخالص داخلی در طی ۱۰ سال گذشته	$WR_3$	۰/۰۳۳
$XR_4$	نرخ خانه‌های خالی	$WR_4$	۰/۰۸۳
$XR_5$	تعداد بیمارستان‌ها به ازای هر ۱۰۰/۰۰۰ نفر جمعیت	$WR_5$	۰/۰۴۲
$XR_6$	تعداد پزشکان به ازای هر ۱۰۰/۰۰۰ نفر جمعیت	$WR_6$	۰/۰۴۲
$XR_7$	شاخص نهایت بدی آب‌وهوا	$WR_7$	۰/۱۱۱
$XR_8$	تراکم جمعیت (جمعیت در هر کیلومتر مربع)	$WR_8$	۰/۱۱۱
$XR_9$	شاخص پیکره‌بندی شهر	$WR_9$	۰/۱۱۱

### ۳-۵-۱- شاخص برنامه‌ریزی

«شاخص برنامه‌ریزی» ( $XR_1$ ) نشان‌دهنده وجود برنامه‌ریزی برای واکنش‌های اضطراری و قابلیت ترمیم



سانتی‌گراد پایین‌تر می‌رود، می‌باشد.

مسئله خطرپذیری حادثه زلزله در مناطق شهری و گسترش دانش کنونی درباره آن می‌باشد، لازم است تا نتایج تعیین شاخص خطرپذیری به‌گونه‌ای قابل‌فهم برای کاربران بالقوه آن ارائه شود. برای بیشتر کاربران، ارائه درصد خطرپذیری قابل‌فهم‌تر از مقیاس‌های عددی دیگر می‌باشد. به همین دلیل شاخص‌های اصلی و خود شاخص خطرپذیری دوباره با استفاده از معادله (۱۵) مقیاس می‌شوند.

$$F_{RS} = \left[ 99 \times \frac{(F_S - \min)}{(\max - \min)} \right] + 1 \quad (15)$$

که در آن  $F_S$  هر یک از شاخص‌های محاسبه‌شده در بخش‌های قبل،  $F_{RS}$  شاخص مقیاس شده مجدد و  $\min$  و  $\max$  به ترتیب برابر صفر و ۷ می‌باشند.

### ۳-۶- مقیاس کردن داده‌ها

از آنجایی که شاخص‌های مختلف مورد استفاده در این روش از مقیاس‌های متفاوتی برخوردار می‌باشند، لازم است تا تمامی آنها دارای یک واحد مشخص گردند. برای این منظور، با توجه به لزوم وجود یک مقیاس مناسب بین داده‌ها مقادیر هر شاخص به فضای توزیع استاندارد منتقل شده و فاصله آن از مقدار حداقل ممکن که میانگین منهای سه برابر انحراف استاندارد است، محاسبه می‌شود. بر این اساس، برای شاخص‌هایی که به‌صورت مستقیم با خطرپذیری رابطه دارند از رابطه (۱۳) و شاخص‌هایی که رابطه معکوس دارند از رابطه (۱۴) استفاده می‌شود.

$$X'_{ij} = \frac{x_{ij} - (\bar{x}_i - 3s_i)}{s_i} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{s_i} + 3 \quad (13)$$

$$X'_{ij} = \frac{-x_{ij} + (\bar{x}_i - 3s_i)}{s_i} \quad (14)$$

که در آن  $x_{ij}$  و  $X'_{ij}$  مقادیر مقیاس شده و نشده شاخص  $i$  و شهر  $j$  می‌باشند؛  $\bar{x}_i$  و  $s_i$  نیز به ترتیب میانگین و انحراف معیار نمونه شهرها برای شاخص  $i$  می‌باشند. در این حالت، اعداد مثبت در محدوده بین صفر تا ۷ می‌باشد.

از آنجاکه یکی از کاربردهای بالقوه از شاخص خطرپذیری، بالا بردن آگاهی در میان تصمیم‌گیران و افراد جامعه درباره

### ۴- پیاده‌سازی روش برای دوازده شهر در ایران

در این مطالعه، به‌منظور بررسی خطرپذیری لرزه‌ای برخی از شهرهای ایران، ۱۲ شهر که در مناطق خطرپذیری خیلی زیاد، زیاد و متوسط قرار دارند انتخاب شده و شاخص خطرپذیری آنها برآورد شده است. این شهرها عبارتند از: تهران، تبریز، اصفهان، مشهد، شیراز، کرمانشاه، قزوین، زنجان، کرمان، زاهدان، بوشهر و رشت. اطلاعات مورد استفاده بر مبنای اطلاعات سال ۱۳۹۰ (۲۰۱۱) در نظر گرفته شده‌اند. بر اساس روش مورد اشاره داده‌های خام جمع‌آوری شده و در جدول (۷) ارائه شده‌اند.

اطلاعات ارائه شده در این جدول با استفاده از منحنی خطر زلزله که به روش احتمالاتی برای نقاط مختلف ایران برآورد شده است [۱۵]، اطلاعات موجود در مرکز آمار ایران [۱۶]، نقشه‌های زمین‌شناسی [۱۷]، اطلاعات آماری سازمان هواشناسی کشور [۱۸]، اطلاعات آماری وزارت بهداشت [۱۹-۲۰]، اطلاعات بانک مرکزی و بانک جهانی [۲۱] و آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای و دیگر منابع استفاده شده است. برخی از اطلاعات مانند «سرانه تولید ناخالص داخلی» و «میانگین سالیانه رشد» که اطلاعات آن برای شهرهای مختلف قابل برآورد نبود، به‌صورت متوسط کشوری در نظر گرفته شده است.

جدول (۷): مقادیر عددی استفاده شده برای برآورد شاخص خطرپذیری هر شهر.

اندیس	نام پارامتر	شاخص	زنجان	تهران	تبریز	اصفهان	مشهد
خطر	XH <sub>1</sub>	exp(MMI w/50-year return period)	۱۱۸۸	۱۴۶۵	۱۶۰۳	۷۲۸	۱۳۲۶
	XH <sub>2</sub>	exp(MMI w/50-year return period)	۳۱۳۳	۴۰۲۳	۴۴۴۷	۱۴۴۵	۳۱۰۳
	XH <sub>3</sub>	درصد مناطق شهری با خاک نرم	۰٪	۰/۱۶٪	۰٪	۰/۴۸٪	۰٪
	XH <sub>4</sub>	درصد مناطق شهری با پتانسیل روانگرایی بالا	۳٪	۴٪	۱٪	۸٪	۲٪
	XH <sub>5</sub>	درصد خانه‌های چوبی	۸/۶۰	۰/۱۲٪	۲٪	۱/۳۰٪	۰/۵۰٪
	XH <sub>6</sub>	تراکم جمعیت (کیلومتر مربع/جمعیت)	۷۷۷۶	۱۱۲۹۵	۸۱۳۲/۶	۸۴۱۷/۷	۹۲۴۰/۹
	XH <sub>7</sub>	شاخص پتانسیل وقوع سونامی	۰	۰	۰	۰	۰
در معرض آسیب گذاشتن	XE <sub>1</sub>	جمعیت (۱۰۰۰)	۳۸۹	۸۲۴۵	۱۵۴۶	۱۹۷۸	۲۷۷۲
	XE <sub>2</sub>	سرانه تولید ناخالص داخلی با احتساب دلار ثابت ۲۰۱۱ براساس ppt	۱۳۳۱۱	۱۳۳۱۱	۱۳۳۱۱	۱۳۳۱۱	۱۳۳۱۱
	XE <sub>3</sub>	تعداد واحدهای مسکونی (۱۰۰۰)	۱۲۸/۵۸	۲۶۱۲/۷	۴۹۵/۱۲	۶۴۳/۷۳	۸۶۵/۵۳
	XE <sub>4</sub>	مساحت ناحیه شهری (کیلومتر مربع)	۵۰	۷۵۰	۱۹۰	۲۳۵	۳۰۰
	XE <sub>5</sub>	جمعیت (۱۰۰۰)	۳۸۹	۸۲۴۵	۱۵۴۶	۱۹۷۸	۲۷۷۲
	XE <sub>6</sub>	سرانه تولید ناخالص داخلی با احتساب دلار ثابت ۲۰۱۱ براساس ppt	۱۳۳۱۱	۱۳۳۱۱	۱۳۳۱۱	۱۳۳۱۱	۱۳۳۱۱
آسیب‌پذیری	XV <sub>1</sub>	شاخص آیین‌نامه لرزه‌ای	۲۲/۹۶	۱۷/۶۱	۲۱/۰۷	۲۷/۳۷	۲۵/۳۴
	XV <sub>2</sub>	شاخص ثروت شهر	۲۳۶۹	۴۲۳۲	۳۸۰۸	۳۹۰۰	۳۵۵۴
	XV <sub>3</sub>	شاخص سن شهر	۸/۰۸	۱۳/۸۹	۹/۲۶	۶/۲۳	۷/۴۶
	XV <sub>4</sub>	تراکم جمعیت (کیلومتر مربع/جمعیت)	۷۷۷۶	۱۱۲۹۵	۸۱۳۲/۶	۸۴۱۷/۷	۹۲۴۰/۹
	XV <sub>5</sub>	شاخص سرعت پیشرفت شهر	۲۸	۳۹	۳۱	۲۶	۲۷
	XV <sub>6</sub>	درصد افراد با سن کم‌تر از ۴ سال یا بزرگتر از ۶۵ سال	۱۳/۳۴٪	۱۳/۱۴٪	۱۴/۰۲٪	۱۲/۸۸٪	۱۳/۵۳٪
تأثیر بر محیط خارجی	XC <sub>1</sub>	شاخص تأثیر اقتصادی بر محیط خارجی	۱/۷۳E+۰۹	۷/۷۵E+۱۱	۲/۷۲E+۱۰	۴/۴۶E+۱۰	۸/۷۶E+۱۰
	XC <sub>2</sub>	شاخص کشوری تأثیر سیاسی بر محیط خارجی	۰/۰۱۳۵	۱	۰/۰۴۹۶	۰/۰۶۴۹	۰/۰۷۹۸
	XC <sub>3</sub>	شاخص جهانی تأثیر سیاسی بر محیط خارجی	۱۰۱۵۷۳۴	۱۲۱۸۳۳۹۱	۳۷۲۴۶۲۰	۴۸۷۹۳۱۲	۵۹۹۴۴۰۲
واکنش‌های اضطراری و قابلیت ترمیم	XR <sub>1</sub>	شاخص برنامه‌ریزی	۱	۳	۱	۱	۳
	XR <sub>2</sub>	سرانه تولید ناخالص داخلی با احتساب دلار ثابت ۲۰۱۱ براساس ppt	۱۳۳۱۱	۱۳۳۱۱	۱۳۳۱۱	۱۳۳۱۱	۱۳۳۱۱
	XR <sub>3</sub>	میانگین سالیانه رشد واقعی سرانه تولید ناخالص داخلی در طی ۱۰ سال گذشته	۵/۲۹٪	۵/۲۹٪	۵/۲۹٪	۵/۲۹٪	۵/۲۹٪
	XR <sub>4</sub>	نرخ خانه‌های خالی	۵/۴۰٪	۱۲/۵۴٪	۱۰/۱۰٪	۱۱/۵۰٪	۱۵٪
	XR <sub>5</sub>	تعداد بیمارستان‌ها به ازای هر ۱۰۰/۰۰۰ نفر	۱/۲۸	۱/۸۴	۱/۷۵	۱/۹۲	۱/۳۳
	XR <sub>6</sub>	تعداد پزشکان به ازای هر ۱۰۰/۰۰۰ نفر	۷۹/۷	۵۵/۸	۸۹/۶	۶۷/۲	۴۶/۷۱
	XR <sub>7</sub>	شاخص نهایت بدی آب و هوا	۱۹۲/۹	۱۷۲/۶	۱۷۸/۳	۲۰/۱/۴	۱۹۵/۴
	XR <sub>8</sub>	تراکم جمعیت (کیلومتر مربع/جمعیت)	۷۷۷۶	۱۱۲۹۵	۸۱۳۲/۶	۸۴۱۷/۷	۹۲۴۰/۹
	XR <sub>9</sub>	شاخص پیکره‌بندی شهر	۰	۰	۰	۱	۰

ادامه جدول (۷).

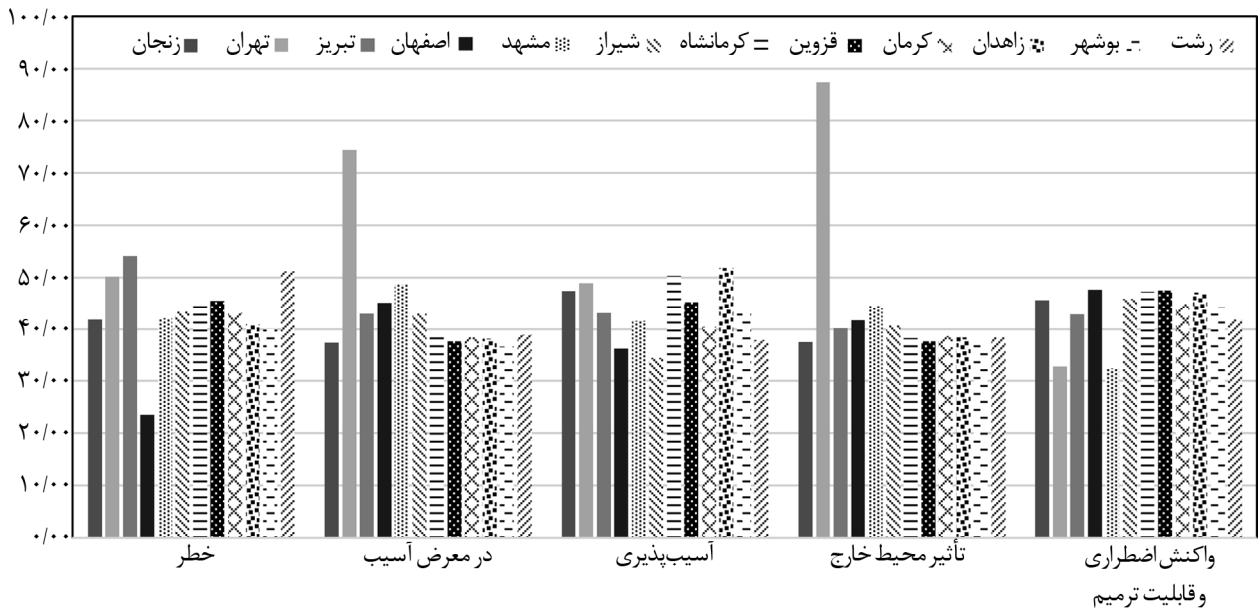
انديس	نام پارامتر	شیراز	کرمانشاه	قزوین	کرمان	زاهدان	بوشهر	رشت
خطر	XH <sub>1</sub>	۱۴۲۲	۱۴۲۲	۱۳۱۳	۱۳۰۰	۱۲۷۴	۹۹۲	۱۳۲۶
	XH <sub>2</sub>	۳۱۰۳	۳۲۶۱	۳۵۸۰	۳۴۳۹	۳۱۰۲	۱۹۲۰	۳۲۴۲
	XH <sub>3</sub>	۰٪	۰٪	۰٪	۰٪	۰٪	۵۷٪	۰٪
	XH <sub>4</sub>	۴٪	۱٪	۱٪	۰	۰	۳۰٪	۴۰٪
	XH <sub>5</sub>	۰/۵۷٪	۲/۵۰٪	۲/۶۰٪	۰/۳۰٪	۲/۳۷٪	۱/۱۰٪	۰/۵۰٪
	XH <sub>6</sub>	۶۸۸۶/۴	۹۵۲۲/۷	۱۱۶۰۸	۷۳۱۰/۳	۷۶۶۸/۲	۳۱۵۷/۴	۱۱۶۳۳/۵
	XH <sub>7</sub>	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱
در معرض آسیب گذاشتن	XE <sub>1</sub>	۱۵۴۹	۸۵۷	۴۶۴	۶۲۱	۵۷۵	۲۲۱	۶۹۸
	XE <sub>2</sub>	۱۳۳۱۱	۱۳۳۱۱	۱۳۳۱۱	۱۳۳۱۱	۱۳۳۱۱	۱۳۳۱۱	۱۳۳۱۱
	XE <sub>3</sub>	۴۵۳/۹۸	۲۶۷/۴۵	۱۶۴	۱۸۴/۷۹	۱۳۵/۴۱	۶۶/۳۵	۲۸۰/۳۷
	XE <sub>4</sub>	۲۲۵	۹۰	۴۰	۸۵	۷۵	۷۰	۶۰
	XE <sub>5</sub>	۱۵۴۹	۸۵۷	۴۶۴	۶۲۱	۵۷۵	۲۲۱	۶۹۸
	XE <sub>6</sub>	۱۳۳۱۱	۱۳۳۱۱	۱۳۳۱۱	۱۳۳۱۱	۱۳۳۱۱	۱۳۳۱۱	۱۳۳۱۱
آسیب پذیری	XV <sub>1</sub>	۲۶/۳۹	۲۰/۰۲	۲۶	۲۸/۴۵	۲۱/۸۲	۲۶/۷۳	۳۱/۲۷
	XV <sub>2</sub>	۴۲۰۰	۲۷۰۸	۳۱۳۱	۲۵۴۰	۲۱۱۶	۱۶۹۲	۳۳۸۵
	XV <sub>3</sub>	۸/۰۲	۱۰/۰۳	۷/۹۳	۴/۷۴	۸/۵۴	۹/۳۷	۳/۸۵
	XV <sub>4</sub>	۶۸۸۶/۴	۹۵۲۲/۷	۱۱۶۰۸	۷۳۱۰/۳	۷۶۶۸/۲	۳۱۵۷/۴	۱۱۶۳۳/۵
	XV <sub>5</sub>	۲۸	۳۱	۲۸	۲۲	۲۶	۲۸	۲۱
	XV <sub>6</sub>	۱۲/۰۶٪	۱۲/۳۶٪	۱۲/۲۹٪	۱۲/۹۰٪	۱۵/۷۳٪	۱۱/۸۰٪	۱۱/۶۷٪
تأثیر بر محیط خارجی	XC <sub>1</sub>	۲/۷۳E+۱۰	۸/۳۷E+۰۹	۲/۴۵E+۰۹	۴/۳۹E+۰۹	۳/۷۷E+۰۹	۵/۵۶E+۰۸	۵/۵۵E+۰۹
	XC <sub>2</sub>	۰/۰۶۱۲	۰/۰۲۵۹	۰/۰۱۵۹	۰/۰۳۹۱	۰/۰۳۳۷	۰/۰۱۳۷	۰/۰۳۳
	XC <sub>3</sub>	۴۵۹۶۶۵۸	۱۹۴۵۲۲۷	۱۲۰۱۵۶۵	۲۹۳۸۹۸۸	۲۵۳۴۳۲۷	۱۰۳۲۹۴۹	۲۴۸۰۸۷۴
واکنش‌های اضطراری و قابلیت ترمیم	XR <sub>1</sub>	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
	XR <sub>2</sub>	۱۳۳۱۱	۱۳۳۱۱	۱۳۳۱۱	۱۳۳۱۱	۱۳۳۱۱	۱۳۳۱۱	۱۳۳۱۱
	XR <sub>3</sub>	۵/۲۹٪	۵/۲۹٪	۵/۲۹٪	۵/۲۹٪	۵/۲۹٪	۵/۲۹٪	۵/۲۹٪
	XR <sub>4</sub>	۹/۵۰٪	۶/۹۰٪	۵/۹۰٪	۶٪	۴٪	۳/۸۰٪	۸٪
	XR <sub>5</sub>	۲/۹	۲/۱	۲/۳۷	۱/۹۳	۱/۵۶	۳/۱۷	۲/۰۱
	XR <sub>6</sub>	۷۱	۵۶/۷	۷۱/۳۳	۱۰۹	۶۷/۷	۱۰۲/۳	۸۲/۳۷
	XR <sub>7</sub>	۱۹۵/۹	۲۱۹/۹	۲۰۲/۴	۲۲۵/۱	۲۱۷/۳	۲۰۱/۵	۸۶/۶
	XR <sub>8</sub>	۶۸۸۶/۴	۹۵۲۲/۷	۱۱۶۰۸	۷۳۱۰/۳	۷۶۶۸/۲	۳۱۵۷/۴	۱۱۶۳۳/۵
	XR <sub>9</sub>	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۰

(EDRI) برآورد گردیده است. این مقادیر برای شهرهای مختلف در جدول (۸) نشان داده شده و در نهایت برای مقایسه بهتر نتایج، شاخص‌های اصلی خطرپذیری به صورت درصد در شکل (۲) و شاخص خطرپذیری کل محاسبه شده بر اساس رابطه (۱۵) نیز در شکل (۳) ارائه شده است.

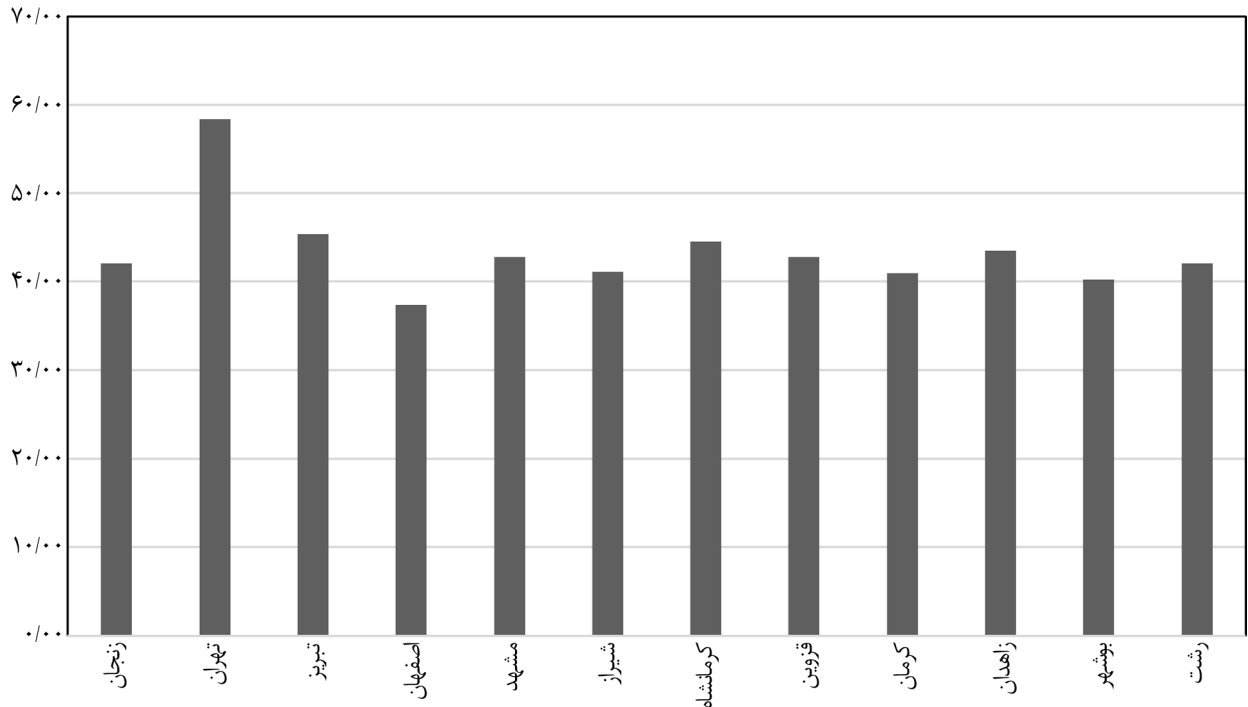
بر اساس اطلاعات ارائه شده، ابتدا مقادیر به صورت مقادیر مقیاس شده تبدیل و بر اساس آن شاخص‌های اصلی شامل خطر، در معرض آسیب بودن، آسیب‌پذیری، تأثیر بر محیط خارجی و واکنش‌های اضطراری و قابلیت ترمیم برای شهرها محاسبه و در نهایت میزان شاخص خطرپذیری کل

جدول (۸): مقادیر مقیاس شده مقادیر عددی استفاده شده و برآورد شاخص‌های کلی خطرپذیری و شاخص خطرپذیری EDRI

اندیس	نام پارامتر	زنجان	تهران	تبریز	اصفهان	مشهد	شیراز	کرمانشاه	قزوین	کرمان	زاهدان	بوشهر	رشت
خطر	XH <sub>1</sub>	۲/۶	۳/۸۰۶	۴/۴۰۶	۰/۵۹۸	۳/۲۰۱	۳/۶۱۸	۳/۶۱۸	۳/۱۴۴	۳/۰۸۷	۲/۹۷۴	۱/۷۴۷	۳/۲۰۱
	XH <sub>2</sub>	۲/۹۷۹	۴/۰۸۲	۴/۶۰۸	۰/۸۸۷	۲/۹۴۲	۲/۹۴۲	۳/۱۳۸	۳/۵۳۳	۳/۳۵۸	۲/۹۴۱	۱/۴۷۶	۳/۱۱۴
	XH <sub>3</sub>	۲/۶۴	۲/۷۳۷	۲/۶۴	۲/۹۳۲	۲/۶۴	۲/۶۴	۲/۶۴	۲/۶۴	۳/۰۶۶	۲/۶۴	۶/۱۴۴	۲/۶۴
	XH <sub>4</sub>	۲/۶۳	۲/۷۰۶	۲/۴۷۷	۳/۰۱۳	۲/۵۵۳	۲/۷۰۶	۲/۴۷۷	۲/۴۷۷	۲/۴	۲/۴	۴/۶۹۸	۵/۴۶۳
	XH <sub>5</sub>	۵/۹۲۷	۲/۲۴۳	۳/۰۵۹	۲/۷۵۵	۲/۴۰۸	۲/۴۰۸	۲/۴۳۸	۳/۳۲	۲/۳۲۱	۳/۱۷۷	۲/۶۶۸	۲/۴۰۸
	XH <sub>6</sub>	۲/۶۷۴	۴/۱۴۷	۲/۸۲۴	۲/۹۴۳	۳/۲۸۸	۲/۳۰۲	۳/۴۰۵	۴/۲۷۸	۲/۴۷۹	۲/۶۲۹	۰/۷۴۱	۴/۲۸۹
	XH <sub>7</sub>	۲/۵۷۲	۲/۵۷۲	۲/۵۷۲	۲/۵۷۲	۲/۵۷۲	۲/۵۷۲	۲/۵۷۲	۲/۵۷۲	۲/۵۷۲	۲/۵۷۲	۵/۱۴۱	۵/۱۴۱
	XH	۲/۸۹	۳/۴۸۵	۳/۷۶۲	۱/۵۹۴	۲/۹۰۵	۲/۹۹۷	۳/۱۲۹	۳/۱۵۲	۲/۹۸	۲/۸۲۷	۲/۷۶	۳/۵۵۴
در معرض آسیب‌گذاشتن	XE <sub>1</sub>	۳/۴۲۵	۵/۹۸۱	۲/۹۴۹	۳/۱۴۴	۳/۵۰۴	۲/۹۵	۲/۶۳۷	۲/۴۵۹	۲/۵۳	۲/۵۰۹	۲/۳۴۹	۲/۵۶۵
	XE <sub>2</sub>	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳
	XE <sub>3</sub>	۲/۴۳۴	۵/۹۸۴	۲/۹۵۸	۳/۱۷	۳/۴۸۷	۲/۸۹۹	۲/۶۳۲	۲/۴۸۴	۲/۵۱۴	۲/۴۴۴	۲/۳۴۵	۲/۶۵۱
	XE <sub>4</sub>	۲/۳۴۳	۵/۸۶	۳/۰۴۶	۳/۲۷۲	۳/۵۹۹	۳/۲۲۲	۲/۵۴۴	۲/۲۹۲	۲/۵۱۸	۲/۴۶۸	۲/۴۴۳	۲/۳۹۳
	XE <sub>5</sub>	۳/۴۲۵	۵/۹۸۱	۲/۹۴۹	۳/۱۴۴	۳/۵۰۴	۲/۹۵	۲/۶۳۷	۲/۴۵۹	۲/۵۳	۲/۵۰۹	۲/۳۴۹	۲/۵۶۵
	XE <sub>6</sub>	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳
	XE	۲/۵۷۱	۵/۱۹۹	۲/۹۶۹	۳/۱۱۸	۳/۳۷۶	۲/۹۷۲	۲/۷۲۵	۲/۵۹۳	۲/۶۴۹	۲/۶۲۵	۲/۵۲۳	۲/۶۸
	XV <sub>1</sub>	۳/۴۱۴	۴/۷۷۵	۳/۸۹۴	۲/۲۹۲	۲/۸۰۸	۲/۵۴۱	۴/۱۶۲	۲/۶۴	۲/۰۱۷	۳/۷۰۴	۲/۴۵۴	۱/۲۹۹
آسیب‌پذیری	XV <sub>2</sub>	۳/۹۰۸	۱/۷۰۴	۲/۲۰۵	۲/۰۹۶	۲/۵۰۶	۱/۷۴۱	۳/۵۰۷	۳/۰۰۶	۳/۷۰۵	۴/۲۰۷	۴/۷۰۹	۲/۷۰۶
	XV <sub>3</sub>	۲/۹۸۶	۵/۲۳۱	۳/۴۴۲	۲/۲۷۱	۲/۷۴۶	۲/۹۶۳	۳/۷۳۹	۲/۹۲۸	۱/۶۹۵	۳/۱۶۴	۳/۴۸۴	۱/۳۵۲
	XV <sub>4</sub>	۲/۶۷۴	۴/۱۴۷	۲/۸۲۴	۲/۹۴۳	۳/۲۸۸	۲/۳۰۲	۳/۴۰۵	۴/۲۷۸	۲/۴۷۹	۲/۶۲۹	۰/۷۴۱	۴/۲۸۹
	XV <sub>5</sub>	۲/۹۸۲	۰/۵۹۱	۲/۳۳	۳/۴۱۷	۳/۱۹۹	۲/۹۸۲	۲/۳۳	۲/۹۸۲	۴/۲۸۶	۳/۴۱۷	۲/۹۸۲	۴/۵۰۳
	XV <sub>6</sub>	۳/۳۲۳	۳/۱۴۵	۳/۹۲۷	۲/۹۱۴	۳/۴۹۲	۲/۱۸۶	۲/۴۵۲	۲/۳۹	۲/۹۳۲	۵/۴۴۶	۱/۹۵۵	۱/۸۳۹
	XV	۳/۲۸۷	۳/۳۸۸	۲/۹۷۷	۲/۴۹۴	۲/۸۷۳	۲/۳۷۲	۳/۴۹۲	۳/۱۳	۲/۷۸۶	۳/۶	۲/۹۹۲	۲/۶۰۹
	XC <sub>1</sub>	۲/۶۳۳	۶/۱۵۴	۲/۷۴۹	۲/۸۲۸	۳/۰۲۴	۲/۷۴۹	۲/۶۶۳	۲/۶۳۶	۲/۶۴۵	۲/۶۴۲	۲/۶۲۷	۲/۶۵
	XC <sub>2</sub>	۲/۶۲	۶/۱۶۶	۲/۷۵	۲/۸۰۵	۲/۸۵۸	۲/۷۹۲	۲/۶۶۵	۲/۶۲۹	۲/۷۱۲	۲/۶۹۳	۲/۶۲۱	۲/۶۹
تأثیر بر محیط خارجی	XC <sub>3</sub>	۲/۱۳۴	۵/۷۲۳	۳/۰۰۴	۳/۳۷۶	۳/۷۳۴	۳/۲۸۵	۲/۴۳۳	۲/۱۹۴	۲/۷۵۲	۲/۶۲۲	۲/۱۳۹	۲/۶۰۵
	XC	۲/۵۸۲	۶/۱۱۲	۲/۷۷۴	۲/۸۸	۳/۰۷۸	۲/۸۰۷	۲/۶۴	۲/۵۹۱	۲/۶۶۲	۲/۶۴۵	۲/۵۷۸	۲/۶۵
	XR <sub>1</sub>	۳/۴۲۸	۰/۸۵۹	۳/۴۲۸	۳/۴۲۸	۰/۸۵۹	۳/۴۲۸	۳/۴۲۸	۳/۴۲۸	۳/۴۲۸	۳/۴۲۸	۳/۴۲۸	۳/۴۲۸
	XR <sub>2</sub>	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳
واکنش‌های اضطراری و قابلیت ترمیم	XR <sub>3</sub>	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳
	XR <sub>4</sub>	۳/۷۹۶	۱/۷۸	۲/۴۶۹	۳/۰۷۴	۱/۰۸۶	۲/۶۳۹	۳/۲۷۳	۳/۶۵۵	۳/۶۲۷	۴/۱۹۲	۴/۲۴۸	۳/۰۶۲
	XR <sub>5</sub>	۴/۲۸۵	۳/۳۰۴	۳/۴۶۱	۳/۱۶۴	۴/۱۹۷	۱/۴۴۷	۲/۸۴۸	۲/۳۷۵	۳/۱۴۶	۳/۷۹۴	۰/۹۷۴	۳/۰۰۶
	XR <sub>6</sub>	۲/۷۴۶	۴/۰۲۵	۲/۲۱۶	۳/۴۱۵	۴/۵۱۲	۳/۲۱۲	۳/۹۷۷	۳/۱۹۴	۱/۱۷۷	۳/۳۸۸	۱/۵۳۶	۲/۶۰۳
	XR <sub>7</sub>	۳/۰۵۹	۲/۴۹۹	۲/۶۵۶	۳/۲۹۳	۳/۱۲۷	۳/۱۴۱	۳/۸۰۳	۳/۳۲	۳/۹۴۶	۳/۷۳۱	۳/۲۹۶	۰/۱۲۹
	XR <sub>8</sub>	۲/۶۷۴	۴/۱۴۷	۲/۸۲۴	۲/۹۴۳	۳/۲۸۸	۲/۳۰۲	۳/۴۰۵	۴/۲۷۸	۲/۴۷۹	۲/۶۲۹	۰/۷۴۱	۴/۲۸۹
	XR <sub>9</sub>	۲/۴۴۷	۲/۴۴۷	۲/۴۴۷	۴/۶۵۸	۲/۴۴۷	۲/۴۴۷	۲/۴۴۷	۲/۴۴۷	۲/۴۴۷	۲/۴۴۷	۴/۶۵۸	۲/۴۴۷
	XR	۳/۱۵۸	۲/۲۴۹	۲/۹۶۳	۳/۲۹۷	۲/۲۲۴	۳/۱۷۵	۲/۲۷۸	۲/۲۹۲	۳/۱۰۷	۳/۲۶۷	۳/۰۶۳	۲/۸۹۱
	EDRI	۲/۹۰۴	۴/۰۶۳	۳/۱۴۴	۲/۵۷۴	۲/۹۵۱	۲/۸۳۳	۳/۰۷۶	۲/۹۵۴	۲/۸۲۵	۳/۰۰۲	۲/۷۷۴	۲/۹۰۳



شکل (۲): شاخص‌های اصلی برآورد شاخص خطرپذیری شهرها.



شکل (۳): شاخص‌های خطرپذیری شهرهای مورد بررسی.

## ۵- بحث و بررسی نتایج

تهران و رشت بالا بوده که دلیل آن واقع شدن در مناطق خطرپذیری خیلی زیاد و یا خطر وقوع روانگرایی است. از نظر شاخص در معرض آسیب بودن به غیر از تهران با شاخص ۷۵ بقیه در محدوده ۳۶ تا ۵۴ می‌باشند. شهرهای تهران، مشهد، اصفهان و تبریز دارای بیش‌ترین شاخص هستند. از این بابت، شهرهای بوشهر، زنجان، رشت و زاهدان

همان‌طوری که در شکل (۲) ملاحظه می‌شود، شاخص‌های اصلی خطرپذیری در شهرهای مختلف متفاوت می‌باشد. در خصوص شاخص خطر زلزله بیش‌تر شهرها به غیر از اصفهان (با شاخص ۲۳) دارای شاخص حدود ۴۰ تا ۵۴ می‌باشند. شاخص خطر زلزله شهرهایی مانند تبریز و

مقابله با بحران و پیاده‌سازی برنامه‌های مقاوم‌سازی و کاهش خطرپذیری می‌باشد. دلیل این امر می‌تواند عدم اختصاص بودجه مناسب برای این شهرها از یک طرف و عدم وجود متخصصین مناسب در این شهرها از طرف دیگر باشد. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود که ضمن توجه به شهرهای مهم کشور، لزوم فراموش نشدن شهرهای متوسط در این مطالعه آشکار می‌شود.

## ۶- جمع‌بندی و پیشنهاد انجام مطالعات آینده

در این مقاله به منظور نمایش کارایی استفاده از شاخص خطرپذیری در تعیین خطرپذیری شهری و استفاده احتمالی از آن در مدیریت خطرپذیری، ابتدا یکی از روش‌های ساده برآورد شاخص توضیح داده شده است. سپس شاخص خطرپذیری ۱۲ شهر بزرگ و متوسط ایران شامل تهران، تبریز، اصفهان، مشهد، شیراز، کرمانشاه، قزوین، زنجان، کرمان، زاهدان، بوشهر و رشت که در مناطق لرزه‌ای مختلف کشور قرار دارند، برآورد شده است. با توجه به شاخص برآورد شده، ملاحظه می‌شود که در شهرهای مورد بررسی، به غیر از تهران و اصفهان، شاخص خطرپذیری بقیه شهرها به هم نزدیک می‌باشند. نزدیک بودن شاخص خطرپذیری شهرهای متوسط مانند زنجان، بوشهر و قزوین با کلان‌شهرهایی مانند تبریز، مشهد، کرمان و شیراز با توجه به اختلاف زیاد از نظر جمعیت و ثروت می‌توان نتیجه‌گیری کرد که خطرپذیری در شهرهای متوسط به دلیل آسیب‌پذیری بیشتر و یا عدم آمادگی برای بحران و عدم وجود ساختار مناسب و متناسب برای کاهش آسیب‌پذیری و مقابله با بحران، زیاد می‌باشد. این امر لزوم توجه بیشتر به شهرهای متوسط در امر ایجاد زیرساخت‌های مناسب فنی و بودجه‌ای برای بهسازی، پیشگیری و آمادگی در مقابل سوانح را یادآور می‌شود.

در این مقاله، از روش دیویدسون و شاه [۱] برای برآورد شاخص خطرپذیری چند شهر استفاده شده است. این روش در سال ۱۹۹۷ برای تعیین شاخص خطرپذیری در شهرها و مقایسه آنها معرفی شده است. از آنجایی که این روش برای

دارای کم‌ترین میزان می‌باشند. ملاحظه می‌شود که شاخص در معرض بودن تهران حدود دو برابر دیگر شهرها می‌باشد که این امر تمرکز دارایی‌ها در تهران را نشان می‌دهد.

از نظر شاخص آسیب‌پذیری، تمامی شهرها در حدود ۳۴ تا ۵۱ می‌باشند. شهرهایی مانند زاهدان، کرمانشاه، تهران و زنجان دارای بیش‌ترین میزان آسیب‌پذیری و شهرهایی مانند شیراز، اصفهان و رشت دارای کم‌ترین شاخص آسیب‌پذیری می‌باشند. از نظر شاخص تأثیر بر محیط خارجی تهران با شاخص ۸۷ بیش‌ترین تأثیر را داشته و شاخص بقیه شهرها تقریباً یکسان بوده و در حدود ۳۷ تا ۴۴ می‌باشد. در این محدوده، شهر مشهد و اصفهان، بیش‌ترین و زنجان و قزوین کم‌ترین تأثیر را دارند.

در خصوص شاخص واکنش‌های اضطراری و قابلیت ترمیم برای شهرهای مختلف، با توجه به برنامه‌های مدیریت خطرپذیری اجرا شده و یا در حال اجرا در شهرهای تهران و مشهد، شاخص کم‌تری داشته و بقیه شهرها تقریباً وضعیت یکسانی دارند.

در کل، شاخص خطرپذیری نشان می‌دهد که تمامی شهرهای بررسی شده وضعیت مشابهی داشته و شهر تهران با عدد ۵۸ نسبت به بقیه بیش‌ترین خطرپذیری را داشته و اصفهان با شاخص ۳۷ کم‌ترین خطرپذیری را دارا می‌باشد. بالا بودن شاخص خطرپذیری تهران با توجه به بالا بودن تمامی شاخص‌ها، به غیر از آمادگی و کم بودن شاخص شهر اصفهان به دلیل خطر نسبی کمتر، قابل پیش‌بینی می‌باشد که این امر نشان از مناسب بودن خروجی‌های روش می‌باشد. یکسان بودن شاخص خطرپذیری شهری مانند زنجان و قزوین با کلان‌شهرهایی مانند مشهد، شیراز و کرمان که جزو شهرهای مهم و در مناطق با خطرپذیری زیاد می‌باشند نشان‌دهنده بالاتر بودن خطرپذیری نسبی شهرهای متوسط نسبت به انتظار عمومی از آنها است. این امر به علت بالا بودن شاخص واکنش‌های اضطراری و قابلیت ترمیم این شهرها و آسیب‌پذیری بیشتر آنها می‌باشد. دلیل عمده این امر، عدم توجه به شهرهای کوچک در زمینه آمادگی برای بحران و ایجاد ساختار مناسب و متناسب برای

*Journal of Seismology and Earthquake Engineering (JSEE)*, **10**(4), 175-187.

5. Ghayamghamian, M.R., Mansouri, B., Amini Hosseini, K., Tasnimi, A.A., and Govahi, N. (2011). Development of fragility and fatality functions as well as site amplification factor in Tehran. Tehran Disaster Mitigation and Management Organization.

۶. حاجی‌بابایی، مقداد، قائم‌مقامیان، محمدرضا و امینی حسینی، کامبد (۱۳۹۳) مدلی جدید برای ارزیابی ریسک زلزله در مناطق شهری (مطالعه موردی: شهر تهران). شانزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران.

۷. استاندارد ۲۸۰۰. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، وزارت راه و شهرسازی.

8. Bolton Seed, H. and Idriss, I.M. (1983) *Ground Motions and Soil Liquefaction during Earthquakes (Engineering Monographs on Earthquake Criteria, Structural Design, and Strong Motion Records)*. Ed. Mihran S. Agbabian, EERI.

9. National Geophysical Data Center. Solid Earth Geophysics Division. Tsunami Data and Information. Boulder, Colorado <http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu.shtml>.

10. Jones, Barclay G. (1994) 'Development of a methodology for making indirect estimates of the built physical environment'. In: *Research Accomplishments, 1986-1994*, 107-120. Buffalo, NY: National Center for Earthquake Engineering Research.

11. Albala-Bertrand, J.M. (1993) *The Political Economy of Large Natural Disasters: With Special Reference to Developing Countries*. Oxford: Clarendon Press.

12. International Monetary Fund (2011) *Balance of Payments Yearbook*. Washington, D.C.: IMF.

13. California Emergency Planning and Response Committee (1990) *Earthquake Emergency Preparedness and Response: A Report to the California Seismic Safety Commission*. Sacramento, California: The Commission, No.

شهرهای مختلف در کشورهای مختلف می‌باشد، روشی کلی بوده و از دقت خوبی برای تعیین خطرپذیری شهرهای داخل یک کشور برخوردار نیست. از طرف دیگر، با توجه به محدودیت وجود داده‌های اقتصادی و اجتماعی باعث شده که در برآورد این شاخص‌ها در شهرهای مختلف قدری عدم قطعیت وجود داشته باشد. روش‌های دیگر موجود نیز از پیچیدگی زیادی برخوردار بوده و تعیین آنها نیاز به در اختیار داشتن اطلاعات دقیق و زیادی می‌باشد. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود که روش برآورد شاخص خطرپذیری در مقیاس شهر با توجه به در اختیار داشتن اطلاعات بومی کشور توسعه داده شود. تا آن زمان همان‌طوری که در نتایج ارائه شده در این مقاله نشان می‌دهد، روش مورد استفاده می‌تواند تا حد زیادی طبقه‌بندی خطرپذیری را در شهرها انجام دهد. ولی در استفاده از نتایج باید دقت کافی به عمل آمده و فرضیات روش مورد استفاده مد نظر قرار بگیرد.

در پایان با توجه به قابلیت مناسب شاخص خطرپذیری، در برآورد میزان خطرپذیری نسبی شهرها، پیشنهاد می‌شود برآورد این شاخص به صورت دوره‌ای برای شهرهای مختلف انجام شود و بر اساس آن شاخص پیشرفت هر شهر در امر کاهش خطرپذیری لرزه‌ای در طول زمان پایش گردد.

## مراجع

- Davidson, R.A. and Shah, C.H. (1997) *An Urban Earthquake Disaster Risk Index*. U.S., Stanford University.
- Carreno, M., Cardona, O.M., and Barbat, H. (2007) Urban seismic risk evaluation: a holistic approach. *Natural Hazards*, **40**(1), 137-172.
- Ahadnejad-Reveshty, M. (2009) Modeling of urban vulnerability in earthquake against, A case study: Zanjan. Supervisor, M. Gharaklou, PhD thesis in geography and urban planning, faculty of geography, Tehran University, Iran.
- Amini Hosseini, K., Jafari, M.K., Hosseini, M., and Hosseinioon, S. (2009) Recognition of vulnerable urban fabrics in earthquake zones: a case study of the Tehran metropolitan area.

SSC 90-08.

14. FEMA (1997) HAZUS97: *Earthquake Loss Estimation Methodology*. Technical Manual.

۱۵. آشتیانی، محسن و ناصراسدی، کیارش (۱۳۸۹) بازنگری شاخص بیمه زلزله در ایران. پژوهشکده بیمه.

۱۶. مرکز آمار ایران (۱۳۵۰-۱۳۹۰) داده‌های سرشماری ۱۳۵۵، ۱۳۶۵، ۱۳۷۵، ۱۳۸۰، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ تهران. مرکز آمار.

17. United States Geological Survey (USGS). *Earthquake Hazard Program*. Vs30 maps. <http://earthquake.usgs.gov/hazards/apps/vs30/preredefined.php>.

۱۸. سازمان هواشناسی کشور (۱۳۹۲) آمار دمای ایستگاه‌ها. ماکزیمم دمای روزانه ایستگاه‌ها. <http://irimo.ir>.

۱۹. وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی (۱۳۹۲) مشخصات بیمارستان‌های کل کشور. <http://avab.behdasht.gov.ir/hospital>

۲۰. وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی (۱۳۹۲) سامانه اطلاعات عملکرد پزشکان. <http://avab.behdasht.gov.ir/doctors>

۱۹. بانک مرکزی ایران، گزیده آمار اقتصادی (۱۳۹۲) تهران، بخش تراز پرداخت‌ها، بخش مالی و پولی، [http://www.cbi.ir/simplelist/LatestEconomicData\\_fa.aspx](http://www.cbi.ir/simplelist/LatestEconomicData_fa.aspx)