

کاربرد مدل شاخص محور (PTVA) در ارزیابی آسیب پذیری مخاطرات مرکب (حریق در پی زلزله) در منطقه شهری^۱

امیر محمودزاده^۳

لیلا عشرتی^۲

مسعود تقوایی^۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۰۲/۱۵

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۰۸/۱۷

چکیده

مناطق شهری بسیاری به وسیله مخاطرات مرکب مورد تهدید قرار می‌گیرند که منجر به ایجاد آسیب‌های جدی به انسان‌ها، ساختمان‌ها و زیر ساخت‌ها می‌گردد. این مسأله متأثر از تحولات مرتبط مانند شهرنشینی، ساخت و سازها در مناطق با آسیب‌پذیری بالا می‌باشد. مهمترین هدف در این مطالعه، توسعه رویکردی شاخص محور می‌باشد که بستری را برای ارزیابی آسیب‌پذیری در خصوص مخاطرات مرکب (حریق در پی زلزله) فراهم می‌نماید. مدل شاخص محور ارائه شده، بر اساس انتخاب مشخصات رتبه‌هایی می‌باشد که شاخص‌های آسیب‌پذیری کالبدی و انسانی را در محدوده مورد مطالعه مطرح می‌نماید. کاربرد مدل PTVA^۵، در محدوده ای از شهر شیراز می‌باشد. تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع‌آوری شده بر اساس نوع و هدف مطالعه با توجه به روش‌های آماری و مبتنی بر مشخصات ارزیابی ریسک کمی با استفاده از نرم افزارهای HAZUS & GIS و تجزیه و تحلیل آسیب‌پذیری معیار محور (RVI^۶) می‌باشد، یافته‌ها در برآورد سطوح آسیب‌پذیری کالبدی و انسانی (تلفات) نهایی حاکی از این می‌باشد که ۶۹ ساختمان با مساحتی برابر ۷۵۲۳،۶۴ متر مربع از محدوده مورد مطالعه دارای سطح ریسک گسترده و کامل می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: مدل شاخص محور PTVA، ارزیابی آسیب‌پذیری، حریق در پی زلزله، HAZUS، شهر شیراز

۱- مقاله برگرفته از رساله دکترا با عنوان ارائه مدلی نوین در ارزیابی ریسک مخاطرات مرکب (زلزله و حریق) مورد مطالعاتی مناطق ۱ و ۶ شهرداری شیراز می‌باشد.

۲- دکترای جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه اصفهان، پژوهشگاه مهندسی بحران‌های طبیعی شاخص پژوه (نویسنده مسئول) Leila.eshrati@gmail.com

۳- استادیار مهندسی عمران، دانشگاه اصفهان، پژوهشگاه مهندسی بحران‌های طبیعی شاخص پژوه

۴- استاد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه اصفهان، پژوهشگاه مهندسی بحران‌های طبیعی شاخص پژوه

5 - Papathoma Tsunami Vulnerability Assessment

6 - Relative Vulnerability Index (RVI)

۱- مقدمه

به عنوان نمونه‌ای قابل تعمیم به وضعیت کل شهر شیراز با توجه به نرخ رشد بالای جمعیتی، در بر داشتن محله‌ها با هر دو نوع بافت جدید و قدیمی با وجود سازه‌های نامناسب و عدم رعایت ابتدایی‌ترین نکات ایمنی در ساخت وسازه‌های شهری، وجود ۲۸ گسل مؤثر بر محدوده مورد مطالعه، گسترش بی‌رویه شبکه‌های گازرسانی، بی‌توجهی به احتمال وقوع زلزله و آتش‌سوزی در برنامه توسعه و نحوه استقرار مراکز جمعیتی، انتخاب شده است (مطالعات شهرداری شیراز، ۱۳۹۲، ۱۵۱). بنابراین با توجه به اهمیت مسأله در ابعاد مختلف مکانی و به منظور کاهش آسیب‌پذیری در برابر مخاطرات مرکب زلزله و حریق، توجه و به کارگیری مدلی جدید، ضرورتی اساسی می‌باشد. در این پژوهش بدلیل ویژگی خاص منطقه مورد مطالعه و به علت نگرانی در مورد احتمال تلفات ناشی از آتش‌سوزی، تلفات ناشی از وقوع آتش‌سوزی تحت عنوان مخاطره ثانویه محاسبه گردیده است.

مدل PTVA برای اولین بار برای استفاده از رکوردهای تاریخی تسونامی، موج‌های پس از آن و ارزیابی آسیب‌ها، توصیه گردیده است (پاپوثوما، ۲۰۰۳: ۷۴۷-۷۳۳). پس از آن، این مدل توسط ایالات متحده آمریکا در ارزیابی آسیب‌پذیری شاخص محور بکارگرفته شد (پاپوثوما، ۲۰۱۱: ۷۱۰-۶۴۵). اولین تلاش در کاربرد مدل PTVA برای انواع مختلف مخاطرات غیر از تسونامی، در سال ۲۰۰۷ در ارزیابی بالاترین احتمال آسیب‌های فیزیکی انجام پذیرفته است. پس از آن در سال ۲۰۱۱ در مطالعه‌ای ارزیابی آسیب‌پذیری توسط مدل PTVA بر اساس روانگرایی پس از زلزله در قسمتی از کوه‌های آلپ بکارگرفته شد (کپس، ۲۰۱۱: ۵۴). مهمترین هدف در این مطالعه، با مطرح نمودن این پرسش که «آیا مدل شاخص محور PTVA توانایی ارزیابی پیامدهای حاصل از آسیب‌پذیری کالبدی و انسانی را در محدوده مورد مطالعه دارا می‌باشد؟»، توسعه رویکردی شاخص محور است که بستری را برای ارزیابی آسیب‌پذیری با استفاده از نرم‌افزار GIS در مخاطرات مرکب (حریق در پی زلزله) فراهم آورد.

موضوع مخاطرات مرکب بسیار مرتبط با زمینه سیاست بین‌الملل و یکی از اولین منابع در دستور کار سازمان ملل متحد ۲۱ می‌باشد. در این سند، با تمرکز بر ادغام نگرانی‌های محیط زیست و توسعه به مطالعات جامع «مخاطرات مرکب» در جهت توسعه پایدار اسکان انسانی پرداخته می‌شود (یوان ای پی، ۱۹۹۲: ۹۷-۱۰۴). در حوزه توسعه پایدار موضوعی که دوباره در بیانیه ژوهانسبرگ^۱ ظاهر شده است «یکپارچگی، مخاطرات مرکب، رویکرد فراگیر به منظور مقابله با آسیب‌پذیری، به عنوان یک عنصر اساسی برای دست‌یابی به جهانی امن تر می‌باشد» (آفرت، ۲۰۰۶: ۱۲۸ و هویت و بارتون، ۱۹۷۱: ۵: و اتحادیه اروپا، ۲۰۱۱: ۶۵).

مطالب بالا نشان می‌دهد که موضوع مخاطرات مرکب در درجه اول و از ابتدا در زمینه وسیع کاهش آسیب‌پذیری مورد استفاده قرار گرفت و این موضوع، به شدت با هدف عملی کاهش خطر مشخص می‌شود. پس از آن به ارتباط میان در معرض تهدید مخاطرات طبیعی قرار گرفتن، عمل برای کاهش خطر و نیاز به در نظر گرفتن خطر مواجهه با مخاطرات مرکب اشاره شده است. پس زمینه این مطالب برای جهانی امن‌تر، فرضیه و مفهومی در خصوص افزایش رویارویی بین انسان و محیط زیست طبیعی با نتیجه عواقب شدید برای زندگی بشر، رفاه و بهره‌وری اقتصادی می‌باشد (باردو، ۲۰۰۹: ۱۰۴-۹۷ و فاجس، ۲۰۰۹: ۷۸). رویدادهایی مانند زلزله و حریق، در ژاپن (۱۹۹۵) و همچنین در سال ۱۹۹۰ در اوکلاهامند هیل ایالات متحده آمریکا، که باعث آسیب و زیان‌های شدید شده است (اسکورن، ۲۰۰۵: ۳۴۵-۱۴۵). پیشینه تاریخی حوادث رخ داده بیانگر این واقعیت است که شهر شیراز همواره به دلیل داشتن ساختارهای مکانی ویژه، بحران‌های طبیعی زیادی را متحمل شده است. همچنین، شرایط توسعه شهری باعث کارایی و اثر بخشی کم نظام برنامه‌ریزی شهری در ابعاد سخت افزاری و نرم افزاری شده است، در این راستا مناطق ۱ و ۶ شهرداری شیراز

آسیب‌پذیری کالبدی و انسانی آتش‌سوزی پس از زلزله در منطقه ۲۰ شهر تهران پرداخته است. اما آنچه این پژوهش را متفاوت ساخته است، (۱) ارائه مدلی نوین در ارزیابی آسیب‌پذیری انسانی زلزله و حریق با توجه به ارائه الگویی معیار محور می‌باشد، از دیگر نقاط قوت این مطالعه برنامه‌نویسی و شبیه‌سازی نرم افزار ارزیابی خسارات HAZUS در محیط نرم‌افزار سیستم اطلاعات مکانی (GIS) می‌باشد.

۲-۱- تعریف شاخص‌های آسیب‌پذیری و طبقه‌بندی اطلاعات

رویکرد ارزیابی ریسک در تعاریف (UNISDR) به صورت ترکیبی از خطر و آسیب‌پذیری تعریف می‌گردد (یو ان/یس‌دیر، ۲۰۰۹: ۱۱). ارزیابی آسیب‌پذیری به شرايطی اطلاق می‌شود که به واسطه عوامل فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی تعیین و قابلیت تأثیرپذیری جوامع را در برابر صدمات ناشی از وقوع خطرات بالا برده و به آسیب‌پذیری فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی تقسیم می‌گردد. برآورد میزان آسیب‌پذیری (تابعی از در معرض خطر قرار گرفتن^۲ و مستعد بودن در برابر خطر^۳ است) (بیرکمن، ۲۰۰۷: ۳۱).

ارزیابی آسیب‌پذیری شاخص محور برای تعیین خطرات احتمالی مخاطرات استفاده می‌شود، که معادل با روش‌های شاخص‌گذاری، روش‌های نمره دهی، درجه‌بندی عددی است. در این روش‌ها، خطرات براساس یک سیستم نمره‌دهی رتبه‌بندی می‌شوند (گرانگر، ۱۹۹۹: ۲۴۵ و اسپرلینگ، ۲۰۰۷: ۳۹ و بابک، ۲۰۱۰: ۱۹۲).

ارزیابی آسیب‌پذیری مخاطرات زلزله و حریق در پی آن، در پهنه مورد مطالعه بر اساس شناسایی شاخص‌های آسیب‌پذیری کالبدی و انسانی است. این شاخص‌ها باید در دسترس و معقول باشند و همچنین شامل آن دسته از ویژگی‌هایی باشند که در درجه اول در آسیب‌پذیری یک ساختار، مؤثر هستند. (جدول شماره ۱).

مدل شاخص محور ارائه شده بر اساس انتخاب مشخصات رتبه‌هایی می‌باشد که شاخص‌های آسیب‌پذیری کالبدی و انسانی را در محدوده مورد مطالعه مطرح می‌نماید. در نهایت می‌توان به این نکته اذعان داشت که مدل شاخص محور PTVA به عنوان اساسی برای مدل ارائه شده در این مطالعه، انتخاب شده که در ضمن با ملزومات ارزیابی آسیب‌پذیری مخاطرات مرکب (حریق در پی زلزله) در محدوده مورد مطالعه، مطابقت داده شده است.

۲- پیشینه و مبانی نظری تحقیق

تحقیقات درباره‌ی آتش‌سوزی پس از زلزله و مدل‌سازی این پدیده دامنه گسترده‌ای دارد. فعالیت‌های تحقیقاتی انجام شده بر روی اشتعال‌های پس از زلزله که به مدل‌سازی این پدیده منجر شده، عمدتاً براساس داده‌های آماری آتش‌سوزی پس از زلزله‌های آمریکا و ژاپن بوده است (تیت و دیگران، ۲۰۱۰: ۶۹۷-۶۶۳ و فاجس، ۲۰۰۹: ۷۸). اسپنس و کابرن^۱ در سال ۲۰۰۶ در مطالعه‌ای، مدل تخمین آسیب انسانی و مفاهیمی اساسی مرتبط با سقوط ساختمان ارائه نموده‌اند (تیت و دیگران، ۲۰۱۰: ۶۹۷). مدل اشتعال پس از زلزله دیگری نیز توسط سازمان آتش‌نشانی توکیو در سال ۱۹۹۷ ارائه گردید که در آن پارامترهایی نظیر جنس ساختمان‌ها، کاربری‌ها و زمان زلزله را در ارزیابی آسیب‌پذیری کالبدی و انسانی مد نظر قرار داده است. در این مدل به جای یک منحنی تعداد اشتعال‌ها در واحد مساحت به عنوان تابعی از پیشینه شتاب زمین چندین منحنی برای ساختمان‌ها با سازه و کاربری‌های مختلف برای زمان‌های مختلفی در سال و روز ارائه شده است (اسکورن، ۲۰۰۵: ۱۴۵).

اسکندری و همکارانش، (۱۳۹۱) با ارزیابی راه کارهای مؤثر کاهش حریق و انفجار پس از زلزله در خطوط لوله مدفون سوخت شهر کرمانشاه، احتمال انفجار پس از زلزله را از طریق روش شبیه‌سازی مونته کارلو مورد بررسی قرار داده‌اند. صادقیان (۱۳۹۲) به تحلیل خطر و برآورد

2- Exposure

3- Capacity

1- Spens & Kabern

جدول ۱: شاخص‌های ارزیابی آسیب پذیری کالبدی و انسانی (تلفات) در محدوده مورد مطالعه

شاخص آسیب پذیری کالبدی	شاخص آسیب پذیری کالبدی	شاخص تلفات انسانی
ناشی از زلزله	ناشی از حریق در پی زلزله	ناشی از حریق در پی زلزله
اسکلت ساختمان	سطح آسیب ساختاری	سطح آسیب ساختاری
کاربری اراضی	ویژگی‌های کالبدی	زمان سناریو
وضعیت ساختمان	تعداد حریق (میلیون فیت مربع)	جمعیت (نفر در کیلومتر مربع)
تعداد طبقات	ویژگی‌های باد	*
قدمت ساختمان	*	*
فاصله میان ساختمان‌ها	*	*

منبع: نگارندگان

خصوص ارزیابی آسیب پذیری کالبدی مطرح می‌باشد که در پهنه مورد مطالعه بین ۶ تا ۱۲ متر متغیر می‌باشد.

۲-۳-۲- شاخص‌های آسیب‌پذیری کالبدی ناشی از حریق در پی زلزله

۲-۳-۱- سطح آسیب ساختاری: احتمال رسیدن و یا رد شدن سازه به یک سطح آسیب خاص، با توجه به طیف جابجایی، انحراف معیار و میانه که توسط تابع زیر تعریف می‌شود: (فیما، ۲۰۰۳: ۵۱۲-۱۷۹)

$$P[ds/sd]=\varphi \left[\frac{1}{\beta ds} \ln \left(\frac{sd}{s d ds} \right) \right] \quad (1)$$

Sd, ds: میانگین طیف جابه جایی که در آن سازه به آستانه سطح خسارت می‌رسد، ds

βds : لگ نرمال از انحراف استاندارد از طیف جابه جایی برای سطح خسارت، ds.

Φ : تابع توزیع تجمعی نرمال استاندارد است.

۲-۳-۲- ویژگی‌های کالبدی: این شاخص در بررسی آسیب‌پذیری ناشی از مخاطره حریق در پی زلزله، خود به زیر شاخص‌های (رتبه) کاربری اراضی، اسکلت ساختمان، ارتفاع ساختمان، فواصل میان ساختمان‌ها، کیفیت ساختمان و قدمت ساختمان تقسیم‌بندی می‌گردد که در بند گذشته (۲-۲) توضیح داد شد.

۲-۳-۳- تعداد حریق (میلیون در فیت): بهترین نتیجه معادله چند

۲-۲- شاخص‌های آسیب‌پذیری کالبدی ناشی از زلزله

۲-۲-۱- اسکلت ساختمان: جهت بررسی اسکلت ساختمان‌ها، سازه به صورت فاقد بنا، اسکلت فلزی، اسکلت بتنی، آجر و آهن، خشت و چوب و بلوک سیمانی تقسیم بندی شده است. ۲-۲-۲- کاربری اراضی: این بخش به دو گروه ساختمان‌های عمومی^۱ (کاربری‌های مسکونی، تجاری، صنعتی، کشاورزی، مذهبی، دولتی، و آموزشی) و امکانات ضروری^۲ (بیمارستان‌ها، ایستگاه‌های پلیس، ایستگاه‌های آتش‌نشانی) تقسیم می‌گردد.

۲-۲-۳- وضعیت ساختمان: در این مطالعه بناها با کیفیت در حال ساخت، نوساز (خوب) بناهای قابل نگهداری (متوسط) تعمیری (بد) تخریبی، مخروبه و بدون کیفیت (خیلی بد) تلقی می‌گردند.

۲-۲-۴- تعداد طبقات: به سه دسته ۱ تا ۳ طبقه (Low-Rise)، ۴ تا ۷ طبقه (Mid-Rise) و بالای ۸ طبقه (High-Rise) تقسیم بندی شده است.

۲-۲-۵- قدمت ساختمان: وضعیت عمر ساختمان‌ها به دسته‌های شش‌گانه؛ قطعات فاقد کاربری، کمتر از ۵ سال، ۵ تا ۱۰ سال، ۱۰ تا ۲۰ سال، ۲۰ تا ۳۰ سال و بیش از ۳۰ سال تقسیم شده و به تفکیک مورد بررسی قرار گرفته است.

۲-۲-۶- فاصله میان ساختمان‌ها: به عنوان شاخصی در

1- General Building Stock

2- Essential facilities

(۲-۳) توضیح داد شد.

۲-۴-۲- تعریف زمان سناریو: این مطالعه برآورد تلفات در سه زمان را فراهم می‌نماید: زلزله در ۰۲:۰۰ (سناریو شب)، زلزله در ۱۴:۰۰ (سناریو زمان روز) و زلزله در ۱۷:۰۰ (سناریو زمان اوج رفت و آمد)، در این سناریوها، تولید بیشترین تلفات جمعیت درخانه، در محل کار / مدرسه و در ساعات شلوغی انتظار می‌رود.

۲-۴-۳- جمعیت (نفر در کیلومتر مربع): تراکم جمعیت ۳۰۰۰ نفر و کمتر در کیلومتر مربع در تجزیه و تحلیل استفاده می‌گردد. دلیل این است که جمعیت پراکنده، با نقشه حریق پس از زلزله کمتر مواجه خواهند بود و گسترش آتش به طور معمول صفر است. دلیل دیگر این است که تنها در تراکم واحد متوسط و یا تراکم جمعیت بیشتر دارای تراکم کافی مسکن و زیرساخت می‌باشند و در نتیجه نرخ قابل توجهی از احتراق را در پی خواهند داشت.

۳- مواد و روش‌ها

برای انجام تحقیق، محدوده‌ای از شهر شیراز انتخاب شده است، مشخصات ارزیابی ریسک کمی برای محاسبه خسارات مستقیم کالبدی و همچنین تلفات انسانی استفاده شده است. از آنجایی که این مطالعه بدنال بکارگیری نتایج و یافته‌ها در راستای بررسی میزان آسیب پذیری مناطق ۱ و ۶ شهرداری شیراز، به منظور کاهش خطر پذیری در پهنه مورد مطالعه می‌باشد، از دسته تحقیقات کاربردی و اجرایی محسوب می‌گردد.

تهیه و گردآوری اطلاعات مورد نیاز از قبیل اطلاعات ممیزی (مصالح ساختمانی، قدمت ساختمان، کیفیت ابنیه، کاربری ارضی، تراکم جمعیت و تعداد طبقات ساختمانی و...)، خاک و زمین شناسی؛ با مراجعه به نهادهای دولتی و سازمان‌های مرتبط نظیر شهرداری و سایر ادارات مربوطه و در نهایت نتایج مورد نظر از آن‌ها استخراج می‌شود.

جمله‌ای مربوط به حریق در هر یک میلیون فیت مربع از کل مساحت زمین، با PGA می‌باشد (فرمول شماره ۲) (فیما، ۱۹۹۳). (۲۰۰۳: ۵۱۲)

(۲)

$$\text{Ign./TFA} = 0.581895 (\text{PGA})^2 - 0.029444 (\text{PGA}) \quad R^2 = 0.084$$

که در آن Ign/TFA متوسط تعداد حریق در هر یک میلیون فیت مربع ساخت و ساز از کل مساحت زمین در محدوده مورد نظر است. R2 ضریب همبستگی می‌باشد. معادله تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد توزیع لگاریتم از باقیمانده داده رگرسیون ممکن است، تقریبی به عنوان یک توزیع نرمال با میانگین صفر و انحراف ۰/۱۲ باشد. در نتیجه رخداد سناریو زلزله گسل سبزیپوشان با PGA برابر با ۰/۵، توسط فرمول Ign/TFA متوسط تعداد ۰/۱۳ حریق در هر یک میلیون فیت مربع ساخت و ساز از کل مساحت زمین برآورد گردیده است، که به تناسب آن برابر با ۲۵ نقطه آتش‌سوزی در مقابل مساحت برابر با ۱۹۷۱۱۲۸۶۰/۸۹ میلیون فیت مربع در پهنه مورد مطالعه می‌باشد.

۲-۳-۴- ویژگی‌های باد: این شاخص در بررسی آسیب پذیری ناشی از مخاطره حریق در پی زلزله، خود به زیر شاخص‌های سرعت باد و جهت باد تقسیم‌بندی می‌گردد. سرعت پیش روی آتش‌سوزی در مسیر باد بالاترین نسبت می‌باشد و در جهت باد جانبی، آهسته‌تر، و کمترین میزان سرعت پیش روی آتش‌سوزی در جهت خلاف جهت باد می‌باشد. سرعت پیش‌روی آتش با هر مربع سرعت باد افزایش می‌یابد، سرعت متوسط باد در منطقه مورد مطالعه بر اساس مشخصات ایستگاه هواشناسی شیراز طی ۱۲ ماه سال ۱۳۹۳ برابر با ۱۳ متر بر ثانیه می‌باشد و حداکثر سرعت وزش باد برابر با ۲۰ متر بر ثانیه می‌باشد.

۲-۴- شاخص‌های آسیب پذیری انسانی (تلفات)

ناشی از (حریق در پی زلزله)

۲-۴-۱- سطح آسیب ساختاری: که در بند شاخص‌ها در ارزیابی آسیب‌پذیری کالبدی ناشی از حریق در پی زلزله



نگاره ۱: مراحل توسعه مدل شاخص محور PTVA در این مطالعه

$$RV I = \sum_1^m w_m \cdot I_{msn} \quad (3)$$

با وزن های $(\sum_1^m w_m = 1)$ برای $w_1 - w_m$ شاخص های متفاوت $(I_1 - I_m)$ مؤثر در آسیب پذیری (I_{s1})

با ارزش های بین 0 و 1 $(-I_{msn})$ نمودار ارائه شده در نگاره ۲ نشان می دهد که شاخص ها، برای ارزیابی آسیب پذیری می توانند مقایسه و اولویت بندی گردند. در این مطالعه نمرات با توجه به نوع خطر اختصاص داده می شوند و وزن های مورد نظر براساس هدف خاص کاربر و ویژگی های مخاطرات حریق در پی زلزله انتخاب می گردند. مزیت های کاربرد این مدل، ۱) ارزیابی آسیب پذیری با روش کمی و نسبی، در واقع آسیب پذیری کالبدی و انسانی در مدل ترکیبی از شدت و همپوشانی مخاطرات می باشد ۲) داده های با کیفیت بالا که مورد نیاز برای عملکرد مدل می باشند، ۳) انعطاف پذیری مدل که امکان مطابقت با مخاطرات مختلف را به خوبی دارا بوده و نیاز خاص کاربر، می باشد. در نهایت می توان به این نکته اذعان داشت از دلایل انتخاب مدل شاخص محور PTVA، مطابقت ملزومات ارزیابی آسیب پذیری مخاطرات مرکب (حریق در پی زلزله) در محدوده مورد مطالعه می باشد.

۴- معرفی محدوده مورد مطالعه

بر اساس اطلاعات ارائه شده در سالنامه آماری شهر شیراز، جمعیت شهر شیراز در سال ۱۳۹۳ برابر با ۱۵۲۵۰۴۵ نفر گزارش شده است. مناطق یک و شش شهرداری شیراز، بخش عمده ای از شمال، مرکز و شمال غرب را در بر می گیرد. مناطق ۱ و ۶ با جمعیت ۳۹۷۹۰۵ نفر، ۲۶ درصد از جمعیت کل شهر شیراز را دارا می باشند. که تراکم جمعیت

۱-۳- مدل شاخص محور PTVA

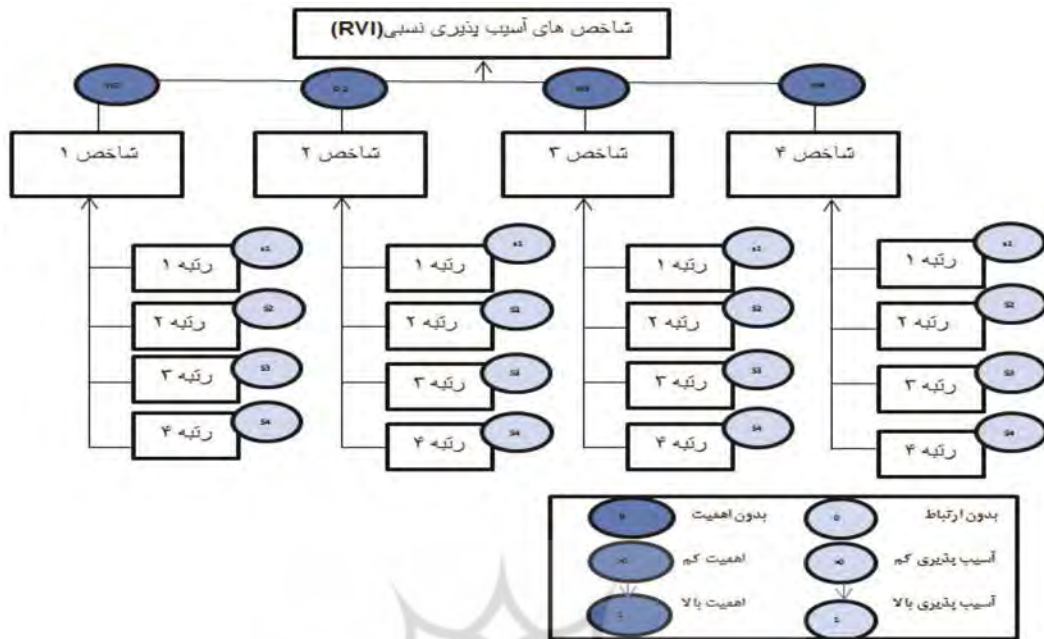
کاربرد این مدل در مطالعه حاضر متشکل از چهار مرحله می باشد (نگاره شماره ۱)

۱) بررسی تاریخچه مخاطرات زلزله و حریق در جامعه هدف،
 ۲) تعریف شاخص های آسیب پذیری و طبقه بندی اطلاعات،
 ۳) بیان روابط میان شاخص ها، وزن دهی به شاخص ها و
 ۴) در نهایت ارزیابی آسیب پذیری کالبدی و انسانی ناشی از مخاطرات مرکب (حریق در پی زلزله).

در مدل شاخص محور PTVA، شناسایی شاخص ها باید شامل آن دسته از ویژگی هایی باشد که در درجه اول در آسیب پذیری یک ساختار، مؤثر هستند. در حالی که برخی شاخص های مؤثر بر آسیب پذیری برای چندین مخاطره، ممکن است به کار گرفته شوند و در واقع خاص یک مخاطره نباشند و تنها مربوط به یک فرایند آسیب پذیری باشند. علاوه بر این، میزان اهمیت یک شاخص ویژه برای ارزیابی آسیب پذیری مخاطرات خاص با توجه به فرایندها متفاوت می باشد. این مسأله نه تنها تنوع شاخص های بالقوه را نشان می دهد بلکه همچنین ضرورت وزن دادن به شاخص ها برای هر خطر منفرد با توجه به سطح اهمیت آن برای ارزیابی آسیب پذیری مخاطرات خاص را نشان می دهد. برای هر شاخص، امتیازات باید تعریف گردند که رتبه، ویژگی خاص را نشان می دهد. بر اساس نمرات و وزن آسیب پذیری نسبی، شاخص (RVI) محاسبه شده است. که در آن آسیب پذیری یک ساختار (نگاره شماره ۲) اندازه گیری می گردد (کپس، ۲۰۱۰: ۵۴).

RVI با توجه به فرمول شماره ۳ محاسبه می گردد:

(کپس، ۲۰۱۰: ۵۴)



نگاره ۲: شاخص های آسیب پذیری نسبی^۱ (کپس، ۲۰۱۰: ۵۴)

در منطقه ۱ شهرداری شیراز ۷۸ نفر در هکتار و در منطقه ۶ شهرداری شیراز ۵۷ نفر در هکتار می باشد (نگاره شماره ۳)

۴-۱- بررسی تاریخچه مخاطرات زلزله و حریق در جامعه هدف

بررسی تاریخچه مخاطرات زلزله و حریق که در جامعه ای به وقوع پیوسته، یکی از مهمترین و اولین گامهایی است که به منظور تجزیه و تحلیل آسیب پذیری برداشته می شود. در این مرحله، با بررسی سوابق و مستندات موجود در رابطه با بحرانها و بلایایی که در گذشته روی داده است، می توان تا حدی از خطراتی که پیش روی محدوده مورد مطالعه وجود دارد، آگاهی یافت. لذا تجزیه و تحلیل تاریخچه مخاطرات را می توان در دو بخش زیر انجام داد:

۴-۲- بررسی مدارک و مستندات موجود در خصوص سابقه لرزه خیزی گستره مورد مطالعه

در بررسی مناطق مورد مطالعه، گستره ای به شعاع حدود ۱۰۰ کیلومتر توسط نقشه های زمین شناسی شرکت نفت به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ و نقشه های ماهواره ای LANDSAT7 مورد مطالعه قرار گرفته است. زمین لرزه های گزارش شده در قرن شانزدهم و هفدهم میلادی در شمار زمین لرزه های



نگاره ۳: موقعیت مناطق ۱ و ۶ شهرداری شیراز نسبت به کل شهر و گسل سبزووشان (ترسیم: نگارندگان)

1- Relative Vulnerability Index (RVI)

۵- بحث ویرانگر به حساب نمی‌آید و موجب خسارات نسبتاً کمی

۱-۵- بیان روابط میان شاخص‌ها، وزن‌دهی به شاخص‌ها
 بیان روابط میان شاخص‌ها، وزن‌دهی به شاخص‌ها و رتبه‌ها بر اساس نمرات و وزن آسیب‌پذیری نسبی (RVI) می‌باشد (نگاره‌های شماره ۴، ۵ و ۶).

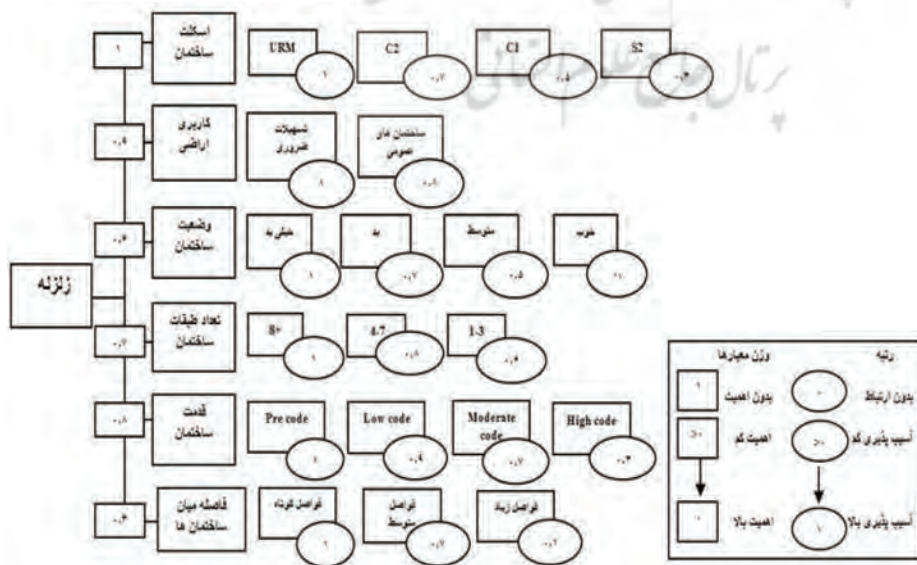
در نگاره ۴ شاخص‌های آسیب‌پذیری کالبدی در خصوص تخمین خسارات ناشی از مخاطره زلزله با وزن‌های متفاوت از لحاظ درجه اهمیت (با ارزش‌های بین ۰ و ۱) ارائه شده است. در این میان شاخص اسکلت ساختمان با ارزش ۱، بالاترین وزن اهمیت در تخمین خسارات فیزیکی ناشی از زلزله را در محدوده مورد مطالعه دارا می‌باشد. همچنین، فاصله میان ساختمان‌ها با ارزش ۰/۴ کمترین وزن را در این زمینه دارا می‌باشد. هر یک از شاخص‌های ارائه شده در نمودار دارای رتبه‌های متفاوت با ارزش‌های بین ۰ و ۱ می‌باشند. که این ارزش‌ها میزان آسیب‌پذیری رتبه‌های زیر مجموعه در شاخص‌های آسیب‌پذیری کالبدی را دارا می‌باشند. به عنوان مثال در شاخص قدمت ساختمان، رتبه‌های (pre code and low code, moderate code, high) موجود می‌باشد که رتبه pre code با ارزش ۱ دارای بالاترین آسیب‌پذیری در ساختمان و به ترتیب رتبه‌های low code, moderate code, high code دارای ارزش‌های کمتر در

شده است. در قرن نوزدهم میلادی زمین‌لرزه‌ای شدید و مهم در مناطق مورد بررسی روی داده است. زمین‌لرزه‌های ۱۸۲۴ و ۱۸۶۲ م ویرانگر و ۴ زمین‌لرزه‌ی دیگر ۱۸۱۳، ۱۸۲۴، ۱۸۵۳ و ۱۸۶۲ به شدت زیانبار بوده‌اند. سایر زمین‌لرزه‌های روی داده در قرن نوزدهم میلادی در محدوده مورد مطالعه را بایستی تکان‌های جزئی قلمداد نمود. اکثر زمین‌لرزه‌هایی که پس از سده ۱۹ (بین سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۳) در گستره طرح روی داده‌اند دارای بزرگای کم ولی پراکندگی زیاد می‌باشند (وزارت نیرو، ۱۳۸۴).

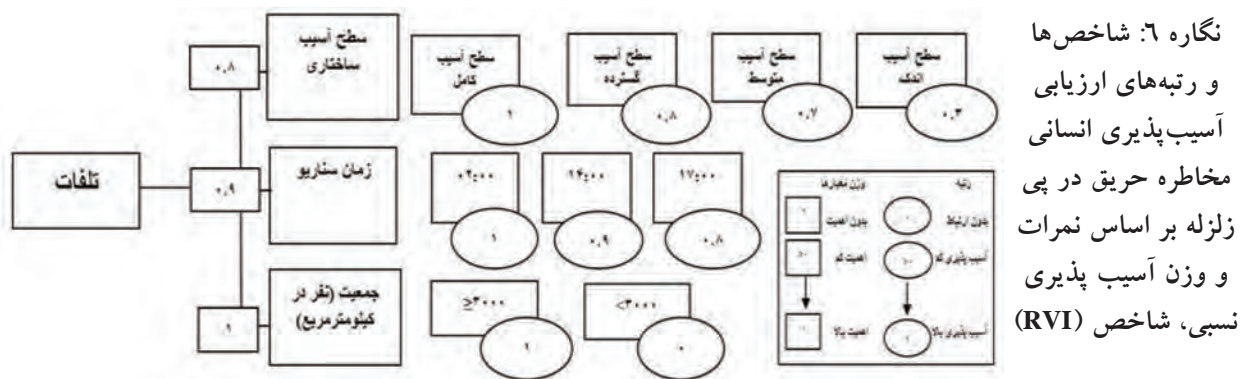
۳-۴- بررسی مدارک و مستندات موجود در خصوص سابقه حریق در پی زلزله گستره مورد مطالعه

در صورتی که مدارکی موجود نباشد می‌توان از خاطرات و تجارب افرادی که در آن مکان زندگی کرده و در زمان رخداد بلایا در محل حضور داشته‌اند اطلاعاتی را کسب کرد.

در هیچ یک از مدارک و مستندات مربوط به شهر شیراز به سانحه ثانویه آتش‌سوزی پس از زلزله پرداخته نشده است. لذا، ضروری است که مطالعات جامع‌تری در رابطه با این سانحه و تجربیات گذشته در ایران صورت گیرد.



نگاره ۴: شاخص‌ها و رتبه‌های ارزیابی آسیب‌پذیری مخاطره زلزله بر اساس RVI



نهایت تعداد ۶۹ ساختمان با مساحتی برابر با ۴۷۵۲۳/۶۴ متر مربع از محدوده مورد مطالعه دارای سطح ریسک گسترده و کامل می‌باشند. (نگاره ۷)



نگاره ۷: نقشه نهایی آسیب‌پذیری کالبدی و انسانی (تلفات) ناشی از حریق در پی زلزله

خسارات مستقیم کالبدی و اجتماعی (تلفات) ناشی از مخاطرات زلزله و حریق در پی آن می‌باشد. در واقع مناطق آسیب‌پذیر در مدل PTVA ترکیبی از شدت و همپوشانی مخاطرات است. مناطق با آسیب‌پذیری متفاوت بر اساس محاسبات شاخص آسیب‌پذیری نسبی (RVI) در مدل شاخص محور PTVA اینگونه تعریف می‌شوند:

- مناطق با آسیب‌پذیری گسترده و کامل، در این سطح مخاطره، مؤثر و اقتصادی در اقدامات پیشگیرانه و حفاظتی نیستند. بنابراین ساخت و سازهای آینده در این مناطق ممنوع می‌باشد.
- مناطق با آسیب‌پذیری متوسط که با سطح متوسط خطر مواجهه هستند، اقدامات پیشگیرانه و حفاظتی در مورد آنها مؤثر می‌باشد و برای ساخت و سازهای آینده در این مناطق احتیاج به کدبندی ساختمان‌ها مطابق با سطح و نوع مخاطره وجود دارد.
- مناطق با سطح آسیب‌پذیری اندک، نشان دهنده مناطقی هستند که با ریسک قابل توجهی مواجهه نمی‌باشند. بنابراین ساخت و سازهای آینده در این مناطق با رعایت موازین شهرسازی بلامانع است.

یافته‌ها در برآورد سطوح آسیب‌پذیری نهایی در کل در پهنه مورد مطالعه حاکی از این می‌باشد که بیشترین درصد ساختمان‌ها با تعداد ۳۳۰۵ و مساحتی برابر با ۲۲۵۵۵۳۵/۷۲ مترمربع دارای سطح ریسک اندک می‌باشند، تعداد ۱۹۰۱ ساختمان با مساحتی برابر با ۱۲۷۷۰۵۳/۹۱ مترمربع از محدوده مورد مطالعه دارای سطح ریسک متوسط، و در

(RVI) می‌باشد. این بدین معنا است که شاخص‌های بالقوه مخاطرت مرکب فراتر از یک محاسبه جمع ساده از شاخص‌های مخاطرات منفرد می‌باشد.

۷-پیشنهادات

در این بخش به ارائه راهکارهایی که می‌تواند برای محدوده مورد مطالعه در راستای کاهش آسیب‌پذیری ارائه گردد، اشاره می‌شود. امید است که مورد استفاده مسئولین و مدیران اجرایی شهرداری شهر شیراز واقع گردد.

۱) بهسازی و افزایش مقاومت کاربری‌ها با سطح آسیب‌پذیری کم و متوسط در سطح مناطق مورد مطالعه، ۲) تهیه و اجرای آیین‌نامه‌های ایمنی شهر برای کلیه کاربری‌های شهری، ۳) بازنگری در طرح‌های توسعه شهری با رویکرد ایمنی شهر، ۴) افزایش فضاهای دومانظوره باز و سبز (باغ‌ها، پارک‌ها و بوستان‌ها و...) جهت کاهش خطرپذیری و آسیب‌پذیری کالبدی و انسانی در محدوده مورد مطالعه، که در این حال قابلیت استفاده از این فضاها در مواقع بحران‌ها جهت فضاهایی برای اسکان موقت ایجاد گردد، ۵) مکان‌یابی مجدد برای کاربری‌ها با سطح آسیب‌پذیری گسترده و کامل در محدوده مورد مطالعه به منظور کاهش خطرپذیری و آسیب‌پذیری، ۶) مطالعه توزیع بهینه‌ی جمعیت، تراکم ساختمانی و تأسیسات حساس شهری برای کاهش آسیب‌پذیری کالبدی و تلفات انسانی، ۷) توجه به رابطه متناسب بین تراکم ساختمانی، تراکم جمعیتی و تراکم کاربری‌ها درون مناطق مورد مطالعه و جلوگیری از تراکم بالای ساختمان و جمعیتی از طریق عدم صدور پروانه‌های مسکونی و افزایش فضاهای باز و دومانظوره شهری، ۸) حذف گره‌های ترافیکی نظیر تقاطع‌ها و پیچ‌ها به منظور افزایش راه‌های امداد و نجات به خصوص در پهنه‌ها با سطح آسیب‌پذیری متوسط و بالا و به عنوان آخرین پیشنهاد ۹) مکان‌گزینی مناسب ایستگاه‌های آتش‌نشانی، مراکز امداد و نجات و فوریت‌های پزشکی در سطح محدوده مورد مطالعه، مطرح می‌گردد.

به نظر می‌رسد نرخ رشد بالای جمعیتی، دربرداشتن محله‌ها با بافت قدیمی با وجود سازه‌های نامناسب و عدم رعایت ابتدایی‌ترین نکات ایمنی در ساخت و سازه‌های شهری، وجود ۲۸ گسل مؤثر بر محدوده مورد مطالعه، گسترش بی‌رویه شبکه‌های گازرسانی، بی‌توجهی به احتمال وقوع زلزله و آتش‌سوزی در برنامه توسعه و نحوه استقرار مراکز جمعیتی از جمله دلایل آسیب‌پذیری مناطق مورد مطالعه باشد.

۶- نتیجه‌گیری

ارزیابی آسیب‌های مورد انتظار توسط مخاطرات مرکب از ملزومات ارزیابی ریسک می‌باشد. ارزیابی آسیب‌پذیری مخاطرات حریق در پی زلزله، امکان شناسایی پهنه‌های در معرض ریسک و همچنین مطالعات تکمیلی و با جزئیات بیشتر را در این خصوص در محدوده مورد مطالعه فراهم می‌آورد.

در این مطالعه نقشه آسیب‌پذیری کالبدی و انسانی (تلفات) مخاطرات حریق در پی زلزله، با توسعه مدل PTV A و نرم افزار HAZUS در محدوده‌ای از شهر شیراز، ارائه می‌گردد. نتایج نشان دهنده این موضوع می‌باشد که در کل در پهنه مورد مطالعه بیشترین درصد ساختمان‌ها (۶۲/۴۷٪) دارای سطح آسیب‌پذیری اندک، (۳۶/۲۵٪) از ساختمان‌ها در محدوده مورد مطالعه دارای سطح ریسک متوسط، و در نهایت (۱/۲۸٪) ساختمان‌ها با مساحتی برابر با ۴۷۵۲۳/۶۴ متر مربع دارای سطح ریسک گسترده و کامل می‌باشند. اما آنچه این پژوهش را متفاوت ساخته است، استفاده از مدل PTV A در ارائه سطوح آسیب‌پذیری نهایی حاصل از وقوع مخاطرات حریق در پی زلزله می‌باشد.

از مزیت‌های کاربرد این مدل انتخاب، تعریف و طبقه‌بندی جدید شاخص‌هایی است که مطرح‌کننده شاخص‌های آسیب‌پذیری کالبدی و انسانی (تلفات) هستند و همچنین نمایش روابط و وزن‌دهی به شاخص‌ها با روش کمی و نسبی در الگوی شاخص نسبی آسیب‌پذیری

Proceedings of the International Conference, Florence.

CERG Editions, Strasbourg, 351{356

12- Olfert, A., Greiving, S. & Batista, M. (2006). Regional multi-risk review, hazard

weighting and spatial planning response to risk - results from European case studies.

URL http://arkisto.gtk.fi/sp/SP42/9_regio.pdf. Access 10 March 2010.

13- Papathoma, M. & Dominey-Howes, D. (2003). Tsunami vulnerability assessment and its implications for coastal hazard analysis and disaster management planning, Gulf of Corinth, Greece. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 3: 733{747.

14- Papathoma-Kohle, M., Kappes, M., Keiler, M. & Glade, T. (2011). Physical vulnerability assessment for Alpine hazards - state of the art and future needs. *Natural Hazards* 58: 645{680.

15- Scawthorn, C., Eidinger, J. M., and Schiff, A. J. (2005). "Fire Following Earthquake." Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering Monograph No. 26, American Society of Civil Engineers, Reston, P 145-345.

16- Sperling, M., Berger, E., Mair, V., Bussadori, V. & Weber, F. (2007). Richtlinien zur Erstellung der Gefahrenzonenpläne (GZP) und zur Klassifizierung des spezifischen Risikos (KSR). Tech. rep., Autonome Provinz Bozen.

17- Tate, E., Cutter, S. & Berry, M. (2010). Integrated multihazard mapping. *Environment and Planning B: Planning and Design* 37:P 646-663.

18- UN-ISDR (2009a). Global assessment report on disaster risk reduction. Tech. rep., United Nations - International Strategy for Disaster Reduction. URL <http://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/report/index.php?id=9413>. Access 1, September 2009.

19- UNEP (1992). Agenda 21. Tech. rep., United Nations Environment Programme. URL http://www.un.org/esa/dsd/agenda21/res_agenda21_07.shtml. Access 03 September 2009.

منابع و مأخذ

۱- مطالعات شهرداری شیراز (۱۳۸۳)، مرحله اول بازنگری طرح تفصیلی مناطق شیراز منطقه یک و شش شهرداری شیراز، انتشارات معاونت شهرسازی و معماری، مهندسان مشاور فرهنگ، جلد دوم، ویرایش نخست، شیراز.

۲- وزارت نیرو، (۱۳۸۴)، شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس، مطالعات مرحله اول لرزه‌خیزی و لرزه زمین ساخت، جلد اول، ویرایش نخست، تیر ماه.

3-Barredo, J. (2009). Normalised food losses in Europe: 1970-2006. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 9: 97{104.

4-BBK(2010).Method Fur Die Risk Analyse in Bevölkerungsschutz. Tech. rep., Bundesamt fur Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe. URL [BS,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/Methoden_Risikoanalyse-BS.pdf](http://www.bs.bund.de/TemplateId=raw,property=publicationFile.pdf/Methoden_Risikoanalyse-BS.pdf). Access 25 June 7-2011.

5- Birkmann, J. (2007). Risk and vulnerability indicators at different scales: applicability, usefulness and policy implications. *Environmental Hazards* 7(1): 20 { 31.

6- European Commission (2011). Risk assessment and mapping guidelines for disaster management. Commission working paper, European Union.

7- Fuchs, S. (2009a). Mountain hazards, vulnerability, and risk - a contribution to applied research on human-environment interaction. Habilitation, University of Innsbruck.

8- Hewitt, K. & Burton, I. (1971). Hazardousness of a Place: A Regional Ecology of Damaging Events. Toronto.

9- Granger, K., Jones, T., Laiba, M. & Scott, G. (1999). Community risk in Cairns: a multi-hazards risk assessment. Tech. rep., Australian Geological Survey Organisation (AGSO). URL <http://www.ga.gov.au/hazards/reports/cairns/>. Access.

10- Kappes, M. (2011). MultiRISK: a Platform for Multi-Hazard Risk Analyses and Visualization Users' Manual. Tech. rep., University of Vienna.

11- Kappes, M., Keiler, M. & Glade, T. (2010). From single- to multi-hazard risk analyses: a concept addressing emerging challenges. In Malet, J.-P., Glade, T. & Casagli, N. (Eds.), *Mountain Risks: Bringing Science to Society*.