کاربرد مدل شاخص محور (PTVA) در ارزیابی آسیب پذیری مخاطرات مرکب (حریق در پی زلزله) در منطقه شهری[1]

لیلا عشرتی[2] امیر محمودزاده[3]
مسعود تقوایی[4]

تاریخ دریافت مقاله: ۹٤/۰۸/۱۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۰۲/۱۵

****

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 رتبه هایی می‌باشد که شاخص‌های آسیب‌پذیری کالبدی و انسانی را در محدوده مورد مطالعه مطرح می‌نماید. کاربرد مدل PTVA[5]، در محدوده ای از شهر شیراز می‌باشد. تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع آوری 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[6]) می‌باشد، یافته‌ها در برآورد سطوح آسیب‌پذیری کالبدی و انسانی(تلفات) نهایی حاکی از این می‌باشد که ٦۹ ساختمان با مساحتی برابر ٤۷۵۲۳,٦٤متر مربع از محدوده مورد مطالعه دارای سطح ریسک گسترده و کامل می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: مدل شاخص محور PTVA، ارزیابی آسیب پذیری، 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 و٦ 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

٤- 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

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 *(یو ان ای پی،۱۹۹۲ :۹۷-۱۰٤)*. در حوزه توسعه پایدار موضوعی که دوباره در بیانیه ژوهانسبرگ[1] ظاهر شده است «یکپارچگی، مخاطرات مرکب، رویکرد فراگیر به منظور مقابله با آسیب پذیری، به عنوان یک عنصر اساسی برای دست یابی به جهانی امن تر می‌باشد» *(آلفرت،۲۰۰٦: ۱۲۸و هویت و بارتون ۱۹۷۱ :۵ و اتحادیه اروپا،۲۰۱۱:٦۵)*.

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 :۱۰٤-۹۷ و فاچس ،۲۰۰۹ :۷۸)*. رویدادهایی مانند زلزله و حریق، در ژاپن (۱۹۹۵) و همچنین در سال ۱۹۹۰در اوکلاهاند هیل ایالات متحده امریکا، که باعث آسیب و زیان‌های شدید شده است *(اسکورن،۲۰۰۵:۳٤۵-۱٤۵)*. 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 ٦ شهرداری شیراز 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 وسازهای 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، ۱۵۸)*. 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،۲۰۰۳:۷٤۷-۷۳۳)*. پس از آن، این مدل توسط ایالات متحده آمریکا در ارزیابی آسیب‌پذیری شاخص محور بکارگرفته شد *(پاپوثوما،۲۰۱۱:٦۸۰-٦٤۵)*. 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 *(کیپس،۲۰۱۱:۵٤)*. مهمترین هدف در این مطالعه، با مطرح نمودن این پرسش که «آیا مدل شاخص محور PTVA توانایی ارزیابی پیامدهای حاصل از آسیب پذیری 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.

1- Johannesburg Plan

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 اذاعان 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 مدل سازی این پدیده منجر شده، عمدتاً براساس داده‌های آماری آتش سوزی پس از زلزله‌های آمریکا و ژاپن بوده است *(تیت و دیگران،۲۰۱۰: ۶۹۷-۶۶۳ و فاچس ،۲۰۰۹: ۷۸)*.اسپنس و کابرن[1] 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 آتش نشانی توکیو در سال ۱۹۹۷ ارائه گردید که در آن پارامترهائی 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 بیشینه 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 درخطوط لوله مدفون سوخت شهر کرمانشاه، احتمال انفجار پس از زلزله را از طریق روش شبیه سازی مونته کارلو مورد بررسی قرار داده‌اند. صادقیان (۱۳۹۲) به تحلیل خطر و برآورد 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 آسیب پذیری 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 ایسدیر،۲۰۰۹: ۱۱)*. ارزیابی آسیب‌پذیری به شرایطی 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 آسیب پذیری (تابعی از در معرض خطر قرار گرفتن[2] و مستعد بودن در برابر خطر[3] 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: ۲۴۵و 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).

1- Spens & Kabern

2- Exposure

3- Capacity

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

شاخص آسیب پذیری کالبدی ناشی از زلزله	شاخص آسیب پذیری کالبدی ناشی از حریق در پی زلزله	شاخص تلفات انسانی 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 کیلومترمربع)
تعداد طبقات	ویژگی‌های باد	*
قدمت ساختمان	*	*
فاصله میان ساختمان ها	*	*

منبع:نگارندگان

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[1] (کاربری‌های مسکونی، تجاری، صنعتی، کشاورزی، مذهبی، دولتی، وآموزشی) و امکانات ضروری[2] (بیمارستان ها، 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.

۲-۲-٤- تعداد طبقات: به سه دسته ۱تا ۳ طبقه (Low-Rise)، ٤ 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.

۲-۲-٦- فاصله میان ساختمان‌ها: به عنوان شاخصی در خصوص ارزیابی آسیب پذیری کالبدی مطرح می‌باشد که در پهنه مورد مطالعه بین ٦ تا ۱۲ متر متغیر می‌باشد.

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

۲-۳-۱- سطح آسیب ساختاری: احتمال رسیدن و یا ردشدن سازه به یک سطح آسیب خاص، با توجه به طیف جابجایی، انحراف معیار و میانه که توسط تابع زیر تعریف می‌شود: *(فیما،۲۰۰۳:۵۱۲-۷۹)*

$$P[ds/sd]=\varphi \quad [\frac{1}{\beta ds} \ln (\frac{sd}{S d,ds})] \qquad (1)$$

Sd,ds: میانگین طیف جابه جایی که درآن 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

1- General Building Stock
2- Essential facilities

جمله‌ای مربوط به حریق در هر یک میلیون فیت مربع از کل مساحت زمین، با PGA می‌باشد (فرمول شماره ۲) *(فیما،:-۷۹ ۵۱۲:۲۰۰۳)*.

(۲)

$$Ign./TFA = 0.581895\ (PGA)2 - 0.029444\ (PGA) \qquad R2 = 0.084$$

که در آن Ign/TFA متوسط تعداد حریق درهر 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 سبزپوشان 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.

۲-۳-٤- ویژگی‌های باد: این شاخص در بررسی آسیب‌پذیری 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 برثانیه می‌باشد و حداکثر سرعت وزش باد برابر با ۲۰ متر بر ثانیه می‌باشد.

۲-٤-شاخص‌های آسیب پذیری انسانی (تلفات) ناشی از (حریق در پی زلزله)

۲-٤-۱- سطح آسیب ساختاری: که در بند شاخص‌ها در ارزیابی آسیب‌پذیری کالبدی ناشی از حریق در پی زلزله (۲-۳)توضیح داد شد.

۲-٤-۲- تعریف زمان سناریو[1]: این مطالعه برآورد تلفات درسه زمان را فراهم می‌نماید: زلزله در ۰۲:۰۰ (سناریو شب)، زلزله در ۱٤:۰۰ (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.

۲-٤-۳- جمعیت (نفر در کیلومترمربع): 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 باحد 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 بدنبال بکارگیری نتایج و یافته‌ها در راستای بررسی میزان آسیب پذیری مناطق ۱ و ٦ شهرداری شیراز ،به منظور کاهش خطر پذیری در پهنه مورد مطالعه می‌باشد، از دسته تحقیقات کاربردی و اجرایی محسوب می گردد.

تهیه وگردآوری 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.

1- Scenario time definition

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

۳-۱- مدل شاخص محور PTVA

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

۱) بررسی تاریخچه مخاطرات زلزله و حریق در جامعه هدف،

۲)تعریف شاخص‌های آسیب پذیری و طبقه‌بندی اطلاعات،

۳) بیان روابط میان شاخص‌ها، وزن دهی به شاخص‌ها و

٤) در نهایت ارزیابی آسیب‌پذیری کالبدی و انسانی ناشی از مخاطرات مرکب (حریق در پی زلزله).

در مدل شاخص محور PTVA، شناسایی شاخص‌ها باید شامل آن دسته از ویژگی‌هایی باشدکه در درجه اول در آسیب‌پذیری یک ساختار، مؤثر هستند. در حالی که برخی شاخص‌های مؤثر بر آسیب‌پذیری برای چندین مخاطره، ممکن است به کار گرفته شوند و در واقع خاص یک مخاطره نباشند وتنها مربوط به یک فرایند آسیب‌پذیری باشند. علاوه بر این، میزان اهمیت یک شاخص ویژه برای ارزیابی آسیب‌پذیری مخاطرات خاص با توجه به فرایندها متفاوت می‌باشد. این مسأله نه تنها تنوع شاخص‌های بالقوه را نشان می‌دهد بلکه همچنین ضرورت وزن دادن به شاخص‌ها برای هر خطر منفرد با توجه به سطح اهمیت آن برای ارزیابی آسیب‌پذیری مخاطرات خاص را نشان می‌دهد. برای هر شاخص، امتیازات باید تعریف گردند که رتبه، ویژگی خاص را نشان می‌دهد. بر اساس نمرات و وزن آسیب پذیری نسبی، شاخص (RVI) محاسبه شده است. که در آن آسیب پذیری یک ساختار (نگاره شماره ۲)اندازه‌گیری می‌گردد *(کپس،۲۰۱۰:٥٤)*.

RVI با توجه به فرمول شماره ۳ محاسبه می‌گردد: *(کپس،۲۰۱۰:٥٤)*

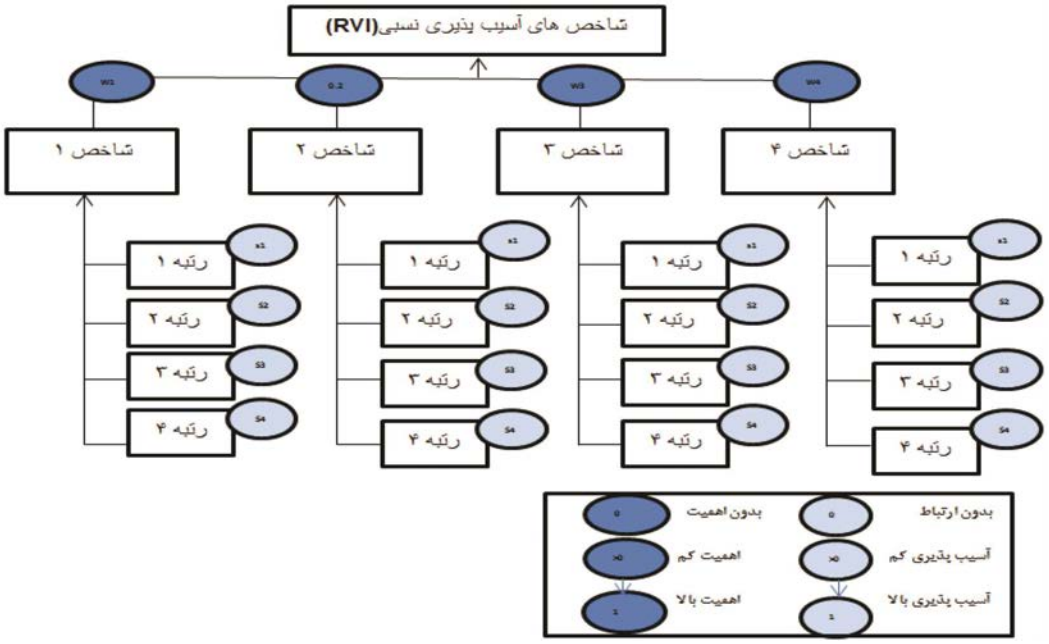
$$RVI = \sum_{1}^{m} wm \cdot Imsn \qquad (۳)$$

با وزن‌های $w1 - wm(\sum_{1}^{m} wm = 1)$ برای شاخص‌های متفاوت (I1 - Im) مؤثر در آسیب‌پذیری (I1s1 – Imsn) با ارزش‌های بین 0 و 1

نمودار ارائه شده در نگاره ۲ نشان می‌دهد که شاخص‌ها، برای ارزیابی آسیب‌پذیری می‌توانند مقایسه و اولویت‌بندی گردند.در این مطالعه نمرات با توجه به نوع خطر اختصاص داده می‌شوند و وزن‌های مورد نظر براساس هدف خاص کاربر و ویژگی‌های مخاطرات حریق در پی زلزله انتخاب می‌گردند. مزیت‌های 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 می‌باشد ۲) داده‌های با کیفیت بالا که مورد نیاز برای عملکرد مدل می‌باشند، ۳) انعطاف‌پذیری مدل که امکان مطابقت با مخاطرات مختلف را به خوبی دارا بوده و نیاز خاص کاربر، می‌باشد. در نهایت می‌توان به این نکته اذعان داشت از دلایل انتخاب مدل شاخص محور PTVA، مطابقت ملزومات ارزیابی آسیب‌پذیری مخاطرات مرکب (حریق در پی زلزله) در محدوده مورد مطالعه می‌باشد.

٤- معرفی محدوده مورد مطالعه

بر اساس اطلاعات ارائه شده در سالنامه آماری شهر شیراز، جمعیت شهر شیراز در سال ۱۳۹۳ برابر با ۱۵۲۵۰٤٥نفر گزارش شده است. مناطق یک و شش شهرداری شیراز، بخش عمده‌ای از شمال، مرکز و شمال غرب را در بر می‌گیرد. مناطق ۱ و ٦ با جمعیت ۳۹۷۹۰۵ نفر، ۲٦ درصد از جمعیت کل شهر شیراز را دارا می‌باشند. که تراکم جمعیت



نگاره ۲: شاخص‌های آسیب‌پذیری نسبی[1] *(کیپس،۲۰۱۰:۵٤)*

در منطقه ۱ شهرداری شیراز ۷۸ نفر در هکتار و در منطقه ٦ شهرداری شیراز ۵۷ نفر در هکتار می‌باشد (نگاره شماره ۳)

نگاره ۳: موقعیت مناطق ۱ و ٦ شهرداری شیرازنسبت به کلّ شهر و گسل سبزپوشان *(ترسیم:نگارندگان)*

٤-۱- 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 آسیب‌پذیری برداشته می‌شود. در این مرحله، با بررسی سوابق و مستندات موجود در رابطه با بحران‌ها و بلایایی که در گذشته روی داده است، می‌توان تا حدی از خطراتی که پیش روی محدوده مورد مطالعه وجود دارد، آگاهی یافت. لذا تجزیه و تحلیل تاریخچه مخاطرات را می‌توان در دو بخش زیر انجام داد:

٤-۲- بررسی مدارک و مستندات موجود در خصوص سابقه لرزه‌خیزی گستره مورد مطالعه

در بررسی مناطق مورد مطالعه ،گستره ای به شعاع حدود ۱۰۰ کیلومتر توسط نقشه‌های زمین‌شناسی شرکت نفت به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ و نقشه‌های ماهواره‌ای LANDSAT7 مورد مطالعه قرار گرفته است. زمین‌لرزه‌های گزارش شده در قرن شانزدهم و هفدهم میلادی در شمار زمین‌لرزه‌های

1- Relative Vulnerability Index (RVI)

ویرانگر به حساب نمی‌آید و موجب خسارات نسبتاً کمی شده است. در قرن نوزدهم میلادی زمین‌لرزه‌ای شدید و مهم در مناطق مورد بررسی روی داده است. زمین‌لرزه‌های ۱۸۲٤ و۱۸٦۲ م ویرانگر و ٤ زمین‌لرزه‌ی دیگر ۱۸۱۳، ۱۸۲٤، ۱۸۵۳، و ۱۸٦۲ 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، ۱۳۸٤)*.

٤-۳- 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.

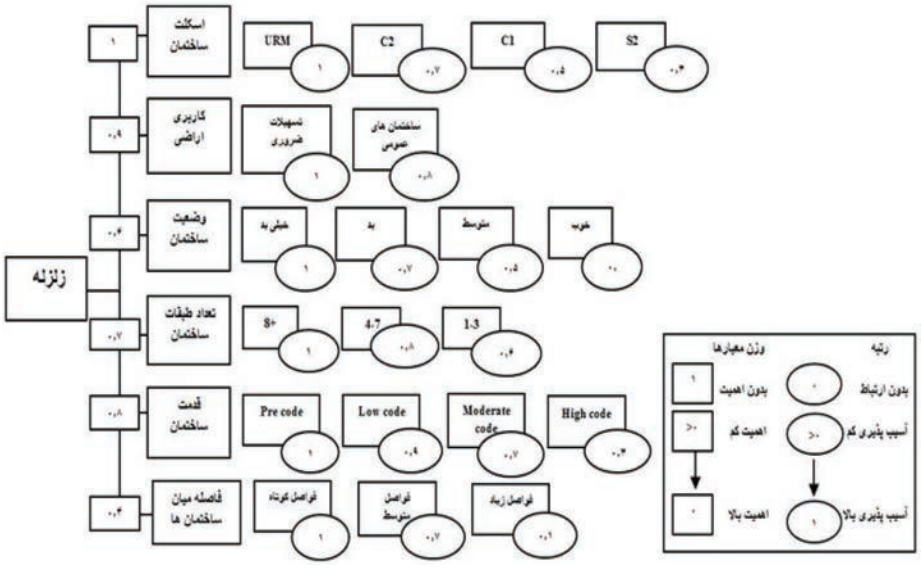
در هیچ یک از مدارک و مستندات مربوط به شهر شیراز به سانحه ثانویه آتش‌سوزی پس از زلزله پرداخته نشده است. لذا، ضروری است که مطالعات جامع‌تری در رابطه با این سانحه و تجربیات گذشته در ایران صورت گیرد.

۵-بحث

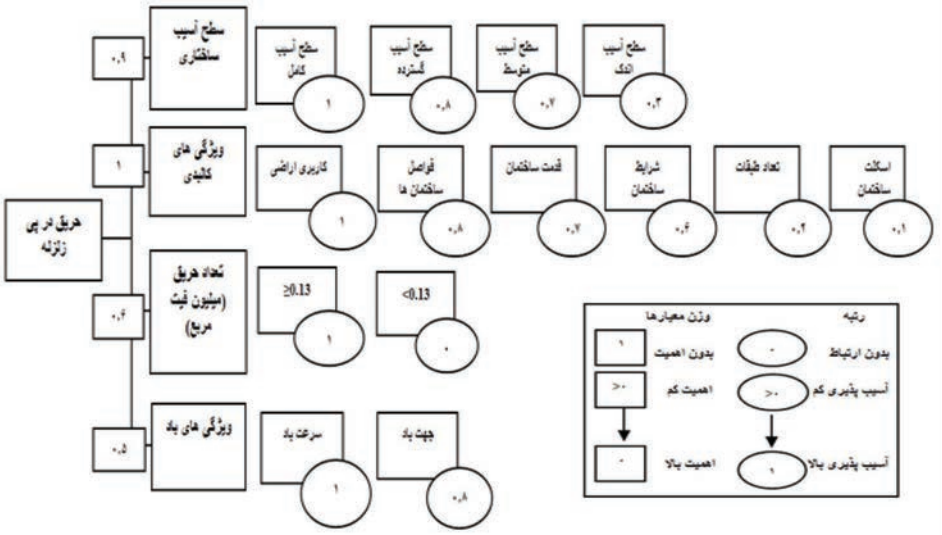
۵-۱- بیان روابط میان شاخص‌ها، وزن‌دهی به شاخص‌ها

بیان روابط میان شاخص‌ها، وزن‌دهی به شاخص‌ها و رتبه‌ها بر اساس نمرات و وزن آسیب‌پذیری نسبی (RVI) می‌باشد (نگاره‌های شماره ٤، ۵و ٦).

در نگاره ٤ شاخص‌های آسیب پذیری 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 ۰/٤ 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 آسیب پذیری کالبدی را دارا می‌باشد. به عنوان مثال در شاخص قدمت ساختمان ،رتبه‌های (pre code and low code, moderate code, high code) 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



نگاره ٤: شاخص‌ها و رتبه‌های ارزیابی آسیب‌پذیری مخاطره زلزله بر اساس RVI



نگاره ۵: شاخص‌ها و رتبه‌های ارزیابی آسیب‌پذیری مخاطره حریق در پی زلزله بر اساس نمرات و وزن آسیب‌پذیری نسبی (RVI)

میزان آسیب‌پذیری ساختمان می‌باشند.

شاخص‌ها و رتبه‌های مورد نیاز به منظور برآورد خسارت مستقیم کالبدی با در نظر گرفتن عواقب ناشی از مخاطرات متداخل زلزله و حریق شامل موارد زیر می‌باشد: (نگاره ٤)

در نگاره ۵ شاخص‌های آسیب‌پذیری کالبدی در خصوص تخمین خسارات ناشی از مخاطره حریق در پی زلزله با وزن‌های متفاوت از لحاظ درجه اهمیت (با ارزش‌های بین ۰ و ۱) ارائه شده است. در این میان شاخص ویژگی‌های کالبدی ساختمان با ارزش۱، بالاترین وزن اهمیت در تخمین خسارات فیزیکی ناشی از حریق در پی زلزله را در محدوده مورد مطالعه دارا می‌باشد. در این شاخص بالاترین ارزش در میزان آسیب‌پذیری کالبدی ساختمان اذعان رتبه کاربری اراضی و پایین‌ترین ارزش مربوط به نوع اسکلت ساختمان می‌باشد که کمترین تأثیرگذاری را بر روی آسیب‌پذیری ساختمان در مقابل حریق در پی زلزله خواهد داشت.همچنین شاخص ویژگی‌های باد با ارزش ۰/۵ کمترین وزن را در تخمین خسارات دارا می‌باشد. رتبه جهت باد با ارزش ۰/۸ میزان آسیب‌پذیری کمتری را در ساختمان‌ها در پی خواهد داشت. در حالی که رتبه سرعت باد با ارزش ۱ میزان آسیب‌پذیری بالاتری در برابر جهت باد در پی خواهد داشت.

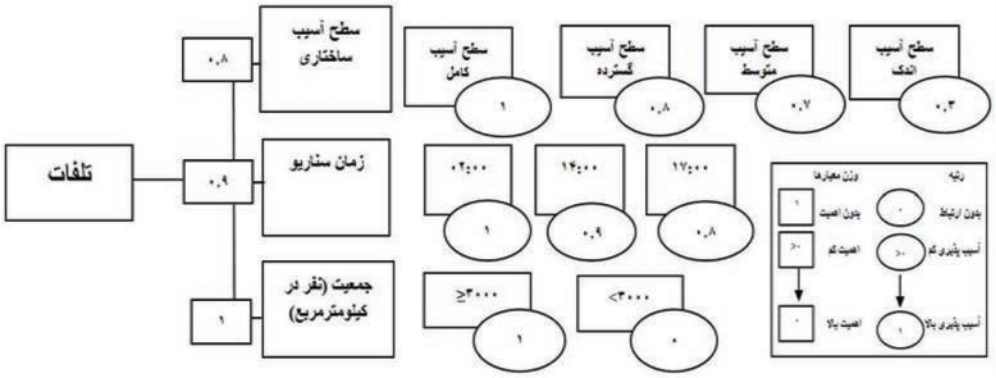
شاخص سطح آسیب ساختاری به عنوان یکی از شاخص‌ها در ارزیابی آسیب‌پذیری مخاطرات زلزله و حریق پس از آن با ارزش ۰/۹ مطرح گردیده است که با توجه به مطالعات آسیب‌پذیری نسبی، شاخص (RVI) آسیب ساختاری با سطح کامل دارای بالاترین رتبه (۱) می‌باشد.

شاخص‌ها و رتبه‌های مورد نیاز به منظور برآورد خسارت مستقیم انسانی (تلفات) با در نظر گرفتن عواقب ناشی از مخاطرات حریق در پی زلزله شامل موارد زیر می‌باشد:

در نگاره ٦ شاخص پراکندگی جمعیت (نفر در کیلومتر مربع) با ارزش ۱، بالاترین وزن اهمیت در تخمین تلفات ناشی از زلزله و حریق در محدوده مورد مطالعه دارا می‌باشد. همچنین، زمان سناریو زلزله در ۰۲:۰۰ (سناریو شب)، ١٤:٠٠ (سناریو زمان روز) و زلزله در ۱۷:۰۰ (سناریو زمان اوج رفت و آمد) دارای ارزش ۰/۹ در تخمین تلفات مخاطرات مرکب مذکور می‌باشد. احتمال خسارات به ساختمان‌ها با ارزش ۰/۸ توسط تخمین خسارات مستقیم فیزیکی به ساختمان‌های عمومی و تسهیلات حساس در چهار رتبه سطح اندک، متوسط، گسترده و کامل آسیب، قابل محاسبه است.

۵-۲- ارزیابی آسیب‌پذیری

در این مطالعه امکان بررسی آسیب‌پذیری نهایی، با استفاده از نرم‌افزار HAZUS با تلفیق لایه‌های حاصل از



نگاره ٦: شاخص‌ها و رتبه‌های ارزیابی آسیب‌پذیری انسانی مخاطره حریق در پی زلزله بر اساس نمرات و وزن آسیب پذیری نسبی، شاخص (RVI)

خسارات مستقیم کالبدی و اجتماعی (تلفات) ناشی از مخاطرات زلزله و حریق در پی آن می‌باشد. در واقع مناطق آسیب پذیر در مدل PTVA ترکیبی از شدت و همپوشانی مخاطرات است. مناطق با آسیب‌پذیری متفاوت براساس 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 نهایت تعداد ٦۹ ساختمان با مساحتی برابر با ٤٧٥٢٣/٦٤ 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

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 سازهای شهری، وجود ۲۸ گسل مؤثر بر محدوده مورد مطالعه، گسترش بی رویه شبکه‌های گازرسانی، بی‌توجهی به احتمال وقوع زلزله و آتش سوزی در برنامه توسعه و نحوه استقرار مراکز جمعیتی از جمله دلایل آسیب پذیری مناطق مورد مطالعه باشد.

٦- نتیجه‌گیری

ارزیابی آسیب‌های مورد انتظار توسط مخاطرات مرکب از ملزومات ارزیابی ریسک می‌باشد. ارزیابی آسیب پذیری 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 PTVA 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 (٦٢/٤٧%) دارای سطح آسیب‌پذیری اندک، (٣٦/٢٥%) از ساختمان‌ها در محدوده مورد مطالعه دارای سطح ریسک متوسط، و در نهایت (١/٢٨%) ساختمان‌ها با مساحتی برابر با ٤٧٥٢٣/٦٤ متر مربع دارای سطح ریسک گسترده و کامل می‌باشند. اما آنچه این پژوهش را متفاوت ساخته است، استفاده از مدل PTVA 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 مطرح کننده شاخص‌های آسیب پذیری کالبدی و انسانی (تلفات) هستند و همچنین نمایش روابط و وزن‌دهی به شاخص‌ها با روش کمی و نسبی در الگوی شاخص نسبی آسیب‌پذیری (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 آسیب پذیری کم و متوسط در سطح مناطق مورد مطالعه، ۲) تهیه و اجرای آیین نامه‌های ایمنی شهر برای کلیه کاربری‌های شهری ،۳)بازنگری در طرح‌های توسعه شهری با رویکرد ایمنی شهر، ٤) افزایش فضاهای دومنظوره 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، ٥) مکان یابی مجدد برای کاربری‌ها با سطح آسیب‌پذیری گسترده و کامل در محدوده مورد مطالعه به منظور کاهش خطرپذیری و آسیب‌پذیری، ٦) مطالعه توزیع بهینه‌ی جمعیت، تراکم ساختمانی و تأسیسات حساس شهری برای کاهش آسیب پذیری 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 دومنظوره شهری، ۸) حذف گره‌های ترافیکی نظیر تقاطع‌ها و پیچ‌ها به منظور افزایش راه‌های امداد و نجات به خصوص در پهنه‌ها با سطح آسیب پذیری متوسط و بالا و به عنوان آخرین پیشنهاد ۹) مکان‌گزینی مناسب ایستگاه‌های آتش نشانی، مراکز امداد و نجات و فوریت‌های پزشکی در سطح محدوده مورد مطالعه، مطرح می‌گردد.

منابع و مآخذ

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

۲–وزارت نیرو، (۱۳۸٤)، شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس، مطالعات مرحله اول لرزه‌خیزی و لرزه زمین ساخت، جلد اول، ویرایش نخست ،تیر ماه.

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

4-BBK(2010).Method Fur Die Risk Analyse in Bevolkerungsschutz. Tech. rep., Bundesamt fur Bevolkerungsschutz und Katastrophenhilfe. URL BS,te mplateId=raw,property=publicationFile.pdf/Methode_ Risikoanalyse-BS.pdf. Access 25 June7-2011.

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

6- European Commission (2011). Risk assessment and mapping guidelines for disastermanagement. Commission staworking 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. Proceedings of theInternational 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 Gefahrenzonenplane (GZP) und zur Klassi_zierung des spezischen 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 September2009.