تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۸/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۴/۲۰

ارزیابی کمی و پهنه بندی ریسک مخاطرات مرکب (حریق در پی زلزله)بر اساس روش(ETA)
مورد :مناطق ۱ و٦ شهرداری شیراز

لیلا عشرتی*
دانشجوی دکترا جغرافیا و برنامه ریزی شهری،دانشگاه اصفهان،پژوهشگاه مهندسی بحران‌های طبیعی شاخص پژوه
امیر محمودزاده
استادیار مهندسی عمران،دانشگاه اصفهان،پژوهشگاه مهندسی بحران‌های طبیعی شاخص پژوه
مسعود تقوایی
استاد جغرافیا و برنامه ریزی شهری،دانشگاه اصفهان،پژوهشگاه مهندسی بحران‌های طبیعی شاخص پژوه

چکیده:
مخاطرات مرکب به عنوان تهدیدات جدی برای زندگی انسان محسوب می‌شوند و می‌توانند آسیب‌های جدی را ایجاد نمایند. ارزیابی آسیب‌های مورد انتظار توسط مخاطرات مرکب از ملزومات ارزیابی ریسک می‌باشد. ارزیابی ریسک مخاطرات مرکب امکان شناسایی پهنه‌های در معرض ریسک و همچنین مطالعات تکمیلی و با جزئیات بیشتر را در این خصوص فراهم می‌آورد. در این مطالعه با هدف ارزیابی ریسک مخاطرات مرکب، روش تحلیل کمی درخت واقعه در ارزیابی آسیب پذیری کالبدی و انسانی و نقشه ریسک نهایی (حریق در پی زلزله) مناطق ۱ و ۶ شهرداری شیراز، ارائه می‌گردد. تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع‌آوری شده با توجه به روش تحقیق تلفیقی از روش‌های توصیفی، تحلیلی، علی و پیمایشی می‌باشد. مشخصات ارزیابی ریسک کمی براساس پایگاه اطلاعاتی و با بهره‌گیری از روش ارزیابی درخت واقعه، نرم‌افزار HAZUS می‌باشد. تاثیرات دومینویی در بررسی آسیب پذیری مخاطرات مرکب بر اساس روش تجزیه و تحلیل درخت واقعه می‌باشد. دو نوع مخاطره تحت عنوان مخاطره طبیعی (زلزله) و مخاطره تکنولوژیک (حریق) بررسی خواهد شد. در این راستا توسط نرم‌افزار HAZUS با ارائه نقشه‌های آسیب پذیری برای سناریوهای مختلف مخاطره منفرد (مخاطره محرک) و مخاطرات مرکب (مخاطرات محرک و ثانویه) و بدنبال آن نقشه ریسک کلی مخاطرات مرکب به عنوان خروجی نهایی، ارائه خواهد شد. تخمین آسیب پذیری مستقیم کالبدی در ساختمان‌های عمومی، تسهیلات حساس و آسیب پذیری مستقیم انسانی تحت عنوان تلفات انسانی مورد نظر می‌باشد که نتایج نشان‌دهنده این موضوع می‌باشد که در کل در پهنه مورد مطالعه بیشترین درصد ساختمان‌ها (۷۴٪) دارای سطح ریسک اندک، "سطوح ریسک کمتر از ۱۰۰۰۰" می‌باشند، (۲۳.۹٪) از ساختمان‌ها در محدوده مورد مطالعه دارای سطح ریسک متوسط، "سطوح ریسک بین ۱۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰۰" و در نهایت (۱.۹٪) ساختمان‌ها با مساحتی برابر با ۶۳۹۶۶۰.۴۷ متر مربع دارای سطح ریسک بالا "سطوح ریسک بالاتر از ۱۰۰۰۰۰۰" می‌باشند.

کلمات کلیدی: ارزیابی کمی، ریسک، مخاطرات مرکب، روش تحلیل درخت واقعه، مناطق ۱ و ۶ شهرداری شیراز

نویسنده مسئول: لیلا عشرتی، دانشجوی دکترا جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه اصفهان، پژوهشگاه مهندسی بحران‌های طبیعی شاخص پژوه،
Leila.eshrati@gmail.com

۱-مقدمه و بیان مساله:

در جهان امروز، طیف وسیعی از مخاطرات طبیعی و همچنین تهدیدات انسان ساخت، در نتیجه پیچیدگی و همپیوندی جهانی شدن و نیروهای سیاسی و طبیعی، افزایش پیدا نموده‌اند. (ارقامی و دیگران، 1385: ص ۲۴) همچنین نیاز به کاهش دادن مخاطرات، اطمینان در رابطه با کنترل ریسک مخاطرات در جهت تهیه برنامه‌ها و پیگیری طرح‌های بازدارنده از بروز آسیب‌پذیری‌ها، بیشتر روز افزون گشته است. (بختیاری، ۱۳۸۶: ص ۴)

در دهه های اخیر،با رشد سریع جمعیت و توسعه اقتصادی در مناطق مستعد خطر شهر شیراز، آسیب پذیری تا حد زیادی افزایش یافته است و از طرفی بدلیل پیچیدگی و غیر خطی بودن سکونتگاههای شهری در مناطق ۱ و ۶ شهرداری شیراز (به واسطه استفاده از عناصر و فعالیت‌های گوناگون)، تخمین و برآورد ریسک نیاز به رهیافتی جامع نگر دارد. دیدگاه جامع نگر به مثابه ابزاری در کاهش آسیب‌پذیری مناطق مورد مطالعه و تهیه برنامه‌ها و سیاست‌های تقلیل خسارات عمل می‌کند.

در ادامه مسائل موثر در انتخاب مناطق مورد مطالعه ارائه می‌گردد: وجود ۲۸ گسل مؤثر بر محدوده مورد مطالعه، نرخ رشد بالای جمعیتی، تمرکز روزافزون جمعیت در محله‌های پرتراکم، وجود سازه‌های نامناسب، عدم رعایت ابتدایی‌ترین نکات ایمنی در ساخت وسازهای شهری، رشد سریع حاشیه‌های بدون دفاع شهری، گسترش بی‌رویه شبکه‌های گازرسانی، بی توجهی به احتمال وقوع زلزله و آتش‌سوزی در برنامه توسعه و نحوه استقرار مرکزهای جمعیتی، وجود اراضی طبیعی شامل باغات قصرالدشت که تلطیف هوای شیراز را بدنبال دارد. (مطالعات شهرداری شیراز،۱۳۹۲، ص ۱۵۸) همچنین خطر زلزله را می‌توان پتانسیلی برای اثرات ناسازگار، آسیب به جمعیت و چیزهایی که برای انسان ارزش دارند، محسوب نمود. بنابراین زمین لرزه ترکیبی از اتفاقات احتمالی و اثرات دومینویی آن که در این پژوهش آسیب‌پذیری کالبدی و جانی در ساختمان‌های عمومی و تسهیلات حساس و همچنین آتش سوزی‌ها به عنوان یکی از پیامدهای ثانویه زلزله در نظر گرفته می‌شود، که آثار تخریب بحران را چند برابر می‌نمایدو لزوم توجه به ایمن سازی را مشخص می‌سازد.

انتخاب موضوع مورد مطالعه در این پژوهش با توجه به این مساله می‌باشد که، در نظر گرفتن روابط خطر یک مسئله مهم برای تجزیه و تحلیل مخاطرات مرکب می‌باشد که غفلت از این جنبه، ممکن است منجر به وقوع کاملا غیر منتظره و پیش بینی نشده اثرات با توجه به وضعیت خطر واقعی گردد.

در مواردی مخاطرات ثانویه که در پی تاثیر و تحریک مخاطرات اولیه ایجاد شده‌اند منجر به ایجاد آسیب‌های مستقیم و غیر مستقیم فاجعه بار می‌گردند. برای مثال حریق در پی زلزله سال ۱۹۲۳ شهرکانتو در ژاپن و همچنین در سال ۱۹۹۰در اوکلاهاند هیل ایالات متحده امریکا، حریق منجر به ایجاد خسارات شدیدی در پی زلزله شده است. در این راستا به ارائه خسارات ناشی از حریق در پی زلزله‌های شدید در سطح جهان پرداخته می‌شود (Rin and Xie , 2004:35)

در سال ۱۹۹۴ در جنوب کالیفرنیا، زلزله Northridge ۶۷، حریق را در پی داشته است که حدود سه میلیون نفررا تحت تاثیر قرار داده است. (Scawthorn et al. 1981: 125-132) در زلزله کوبه ژاپن در سال ۱۹۹۵ حدود ۱۵۰۰۰۰۰ نفر کشته داده و هزاران ساختمان سقوط نموده و حدود ۱۱۰ حریق ایجاد شده که ۶۰۰۰ نفر کشته داده است. (Scawthorn , 1987:74) در سال ۱۹۰۶ در سانفرانسیسکو حدود ۳۰۰۰ نفر کشته شده‌اند (Varnes ,1984:35) و حدود ۱۴۲۰۰۰ نفر در حریق در پی زلزله ۱۹۲۳ توکیو جان باخته‌اند (Davidson 2009: 351–360;Yue Li et al. , 2012:142). این موارد نشان می‌دهد، که رویکرد مخاطرات مرکب در کاهش خطرات و متن واکنش اضطراری از جنبه‌های فضایی ضروری می‌باشد. (امینی و مجتهدزاده، ۱۳۸۶:ص۳۶)

از آنجا که در حوزه پیشگیری، اتخاذ تدابیر و برنامه‌ریزی شهری مستلزم داشتن اطلاعات صحیح از مناطق و شناخت وضعیت موجود می‌باشد، لذا مطالعه حاضر با مطرح نمودن این

فرضیه که " به نظر می‌رسد روش(ETA) با در نظر گرفتن تاثیرات دومینویی مخاطرات مرکب و همپوشانی پهنه‌های خطر در نتیجه آسیب‌های ناشی از بروز مخاطرات زلزله و حریق در پی آن، بر اساس سناریوهای مختلف، امکان دستیابی به نقاط بحرانی در ارزیابی سطوح ریسک نهایی را فراهم آورد."در زمینه کاهش خطرپذیری و شناخت پهنه‌های در معرض ریسک در مناطق ۱ و ۶ شهرداری شیراز ضروری به نظر می‌رسد. این مهم بر اساس تهیه نقشه آسیب‌پذیری مخاطرات بر اساس نوع روابط میان آنها و در نهایت تهیه نقشه مخاطرات یکپارچه امکان پذیر می گردد.

سوال‌های تحقیق:

پیامدهای حاصل از ارزیابی کمی ریسک مخاطرات مرکب (حریق در پی زلزله)بر اساس روش(ETA) در محدوده مورد مطالعه چیست؟

پیشینه تحقیق و مبانی نظری:

الف- منابع خارج از کشور:

ساتاندا هری و دیگران[1] (۲۰۱۱) در مقاله ای با عنوان "برنامه ریزی یکپارچه مکانی و کاهش ریسک بلایا "در مرکز داده‌های زیربنایی مکانی از دانشگاه ملبورن با هدف توسعه نقشه‌های پایه ریسک یکپارچه و نقشه‌های آسیب پذیری به ارائه مدلی با ادغام نقشه‌های ریسک یکپارچه و برنامه ریزی فضایی پرداخته است.

لی آکاش و دیگران[2] (۲۰۱۲)در مجله انجمن مهندسان عمران آمریکا با ارائه مقاله‌ای با عنوان "مروری بر مدل‌های ارزیابی، طراحی و کاهش مخاطرات مرکب " به بررسی ادبیات و وضعیت فعلی عمل برای ارزیابی، طراحی و کاهش تاثیر مخاطرات متعدد در زیرساخت‌های ساختاری پرداخته است.

ورگا سایمون [3]در مرکز علم امنیت،تحقیقات پدافند و توسعه کانادا (DRDC CSS)(۲۰۱۲) مقاله‌ای با عنوان "کلی نگری، ارزیابی ریسک مخاطرات مرکب CROSS Government "با هدف توسعه یک مکانیزم برای ارزیابی، مقایسه و رتبه بندی از وقایع خطر مشتق شده از تمام خطرات (بدون در نظر گرفتن منبع، اعم از مخرب و یا غیر مخرب، به منظور حمایت از مدیریت اضطراری ارائه داده است.

ب-منابع داخل کشور

کریمی کیوی (۱۳۹۱) در پایان نامه دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران با عنوان "ارزیابی ریسک چند خطره شریان حیاتی گاز(مطالعه موردی محله ۱۳ آبان منطقه ۲۰ شهر تهران تحت تاثیر سوانح زلزله ،روانگرایی و آتش سوزی)"با هدف شناسایی نقاط آسیب پذیر خطوط لوله، ارزیابی ریسک خرابی شبه گاز در برابر خطرات چندگانه و ارائه راهکارهایی جهت افزایش قابلیت اطمینان شبه گاز صورت گرفته است.

صادقیان(۱۳۹۲)در پایان نامه با عنوان "ارزیابی ریسک آتش سوزی شبکه گاز در کاربری‌های مختلف شهری پس از زلزله با در نظر گرفتن اندازه کنش آن با شبکه برق (مطالعه موردی :منطقه ۲۰ شهر تهران)"با روش تحلیلی برای تخمین احتمال وقوع اشتعال‌های ناشی از شبکه توزیع برق و خطوط لوله گاز پس از زلزله به تحلیل خطر و برآورد آسیب پذیری زلزله به تحلیل خطر آتش سوزی پس از زلزله پرداخته است.

پیغاله و همکارانش(۱۳۸۷) مقاله‌ای تحت عنوان "ارائه مدل تحلیلی برای برآورد احتمالی اشتعال‌های داخل ساختمانی (مورد اشتعال پس از زلزله) " ارائه کرده‌اند. در مدل آنها احتمال یک اشتعال در هر ساختمان برای یک زلزله سناریو محاسبه شده است.

اسکندری و دیگران(۱۳۹۱) در مقاله‌ای تحت عنوان "بررسی و ارزیابی راه کارهای موثر کاهش حریق و انفجار پس از زلزله در خطوط لوله مدفون سوخت شهر کرمانشاه" با هدف معرفی شهر کرمانشاه از لحاظ وضعیت زلزله خیزی و گسلهای شهر و نمایش خطوط لوله مدفون سوخت درشهر به ارائه نقاط ضعف شهر کرمانشاه ازنظر احتمال وقوع اتش سوزی احتمالی پس از زلزله پرداخته است.

[1] Satanda Herry et al
[2] Acash Lee et al
[3] Verga Saimon et al

همانطور که ملاحظه گردید در منابع خارجی و داخلی مطالعات متعددی در رابطه با ارزیابی ریسک خسارت زلزله و حریق صورت گرفته است. اما آنچه این پژوهش را متفاوت ساخته است، ارزیابی ریسک مخاطرات مرکب زلزله و حریق بر اساس روش کمی (ETA) و توجه ویژه به روابط میان مخاطرات و همچنین در ارزیابی آسیب‌پذیری کالبدی و انسانی، الگویی معیار محور ارائه می‌گردد که در آن کلیه معیارهای مرتبط و طبقه‌بندی جدیدی براساس مقایسه مخاطرات مختلف و تاثیرات دومینویی ارائه می‌شود. بیان نتایج همپوشانی مخاطرات در ارزیابی آسیب‌پذیری مخاطرات مرکب در مراحل اولیه توسعه قرار دارند در این راستا در این مطالعه به ارائه سناریوهای مختلف آسیب پذیری کالبدی و انسانی برای مخاطرات منفرد و مرکب و در نهایت به ارائه نقشه نهایی ریسک محدوده مورد مطالعه به عنوان خروجی پرداخته می‌شود. و همچنین از دیگر نقاط قوت این مطالعه برنامه‌نویسی و شبیه‌سازی نرم‌افزار ارزیابی خسارات HAZUS در محیط نرم‌افزار سیستم اطلاعات مکانی (GIS) می‌باشد. یافته‌ها حاصل از مدل نوین قادر به ایجاد بیانیه ریسک در هر سطح مکانی هستند.

به طور خلاصه، اولین تعریف برای موضوع مخاطرات مرکب در زمینه کاهش خطر "کلیه خطرات مرتبط در یک منطقه خاص، که به موجب آن تعریف واضحی از موقعیت و چینش خاص آنها ارائه می‌گردد "می‌باشد. به عبارت دیگر مخاطرات مرکب می‌توانند اینگونه تعریف گردد: تعداد بسیاری از مخاطرات که احتیاج به مدیریت ریسک در منطقه خاص دارند. (Olfert et al. 2006: 45-51; Hewitt & Burton 1971:78 ; Tate et al. , 2010: 646-663; European Commission, 2011:121-127) احتمال رخداد و شدت هر یک از مخاطرات ممکن است متفاوت باشد، که این مساله در رویکرد مخطرات مرکب امری عقلانی محسوب می‌گردد (Greiving et al., 2006: 1-19).

روش ارزیابی درخت واقعه یک روش گرافیکی برای تحلیل ریسک می‌باشد. و همچنین به بررسی عواقب و پیامدهای ناشی از بروز یک رویداد آغازین بسته به عملکرد پادمان‌های سیستم برای مقابله با این رویداد نا خواسته می‌پردازد. نتایج حاصل از این روش، کمک شایانی به مدیریت منابع و تخصیص هزینه‌ها، می‌نماید و ابزار سودمندی برای استفاده در مدیریت ریسک می‌باشد. (Ernest J, 1992:78)

ارزیابی ریسک[1] در دارایی‌های حیاتی، رویکردی سیستماتیک بوده که از قابلیت ترکیب دانش‌ها و مهارت‌های چندگانه به منظور تحلیل آسیب‌پذیری جامع تأسیسات و دارایی‌ها برخوردار می‌باشد.(Marfai,M,2002:69)

مواد و روش‌ها:

برای انجام تحقیق، مناطق۱ و۶ شهرداری شیراز انتخاب گردید است، تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع آوری شده با توجه به روش تحقیق تلفیقی از روش‌های توصیفی، تحلیلی، علی و پیمایشی می‌باشد. مشخصات ارزیابی ریسک کمی براساس پایگاه اطلاعاتی و با بهره‌گیری از روش ارزیابی درخت واقعه، نرم افزارHAZUS صورت می‌پذیرد.

از آنجایی که این مطالعه بدنبال بکارگیری نتایج و یافته‌ها در راستای بررسی میزان آسیب‌پذیری مناطق ۱ و ۶ شهرداری شیراز، به منظور کاهش خطرپذیری در پهنه مورد مطالعه می‌باشد، از دسته تحقیقات کاربردی و اجرایی محسوب می‌گردد.

- روش‌ها بر اساس مدل مفهومی تحقیق:

در ادامه مراحل اجرایی مطالعه ارائه می‌گردد:

۱- مطالعه تحقیقات انجام شده در داخل و خاج از کشور و بررسی چگونگی انجام کار آنها و مدلها و روشهای که جهت انجام کار مورد استفاده قرار داده اند؛ اطلاعات لازم در این زمینه با توجه به اهداف مطرح شده، با مراجعه به کتاب‌ها، مقالات، پایان نامه‌ها، آمارنامه‌ها جمع آوری می‌گردد.

۲-تهیه وگردآوری اطلاعات مورد نیاز از قبیل اطلاعات ممیزی (مصالح ساختمانی، قدمت ساختمان، کیفیت ابنیه،

1 Risk Assessment

کاربری ارضی، تراکم جمعیت و تعداد طبقات ساختمانی و...)، خاک و زمین شناسی؛ با مراجعه به نهادهای دولتی و سازمان های مرتبط نظیر شهرداری و سایر ادارات مربوطه و در نهایت نتایج مورد نظر از آن استخراج می‌شود.

۳- تعیین احتمال رخداد زلزله. نتایج حاصل از برآورد پارامترهای لرزه خیزی در شعاع ۱۵۰ کیلومتری به روش کیجکو-سلوول-گراهام انجام شده است. (مطالعات شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس،۱۳۸۴: ص ۲۵۱) از روابط کاهیدگی کمپبل –بزرگ نیا و آمبرسیز و همکاران به روش قطعی برای برآورد بیشینه مقدار شتاب جنبش زمین استفاده شده است. نتایج حاصل از برآورد بیشینه مقدار شتاب جنبش زمین برای گسل سبزپوشان در دو سطح ۵۰٪ و ۸۴٪سطح خطای روابط کاهیدگی برای محدوده مورد مطالعه برآورد شده است.

۴- بررسی آسیب پذیری(خسارات)مستقیم کالبدی و اجتماعی (تلفات)، تخمین خسارات کالبدی و میزان تلفات انسانی ناشی از زلزله و حریق در پی آن برای ناحیه هدف با استفاده از مدل و نرم افزار HAZUS می‌باشد.

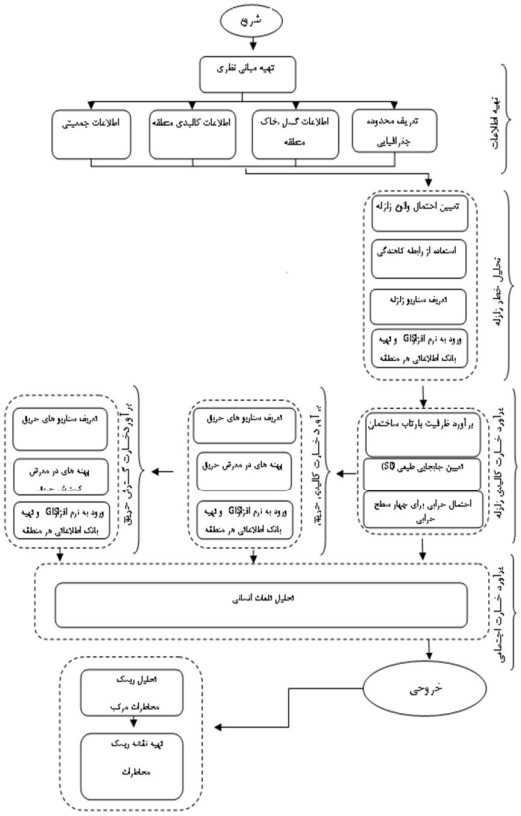
۵-استفاده از روش تحلیل درخت واقعه[1]: از روش تحلیل درخت واقعه در این تحقیق در توسعه سناریوها از بهترین تا بدترین وضعیت و همچنین ایجاد ارتباط منطقی میان مخاطرات مورد نظر استفاده می‌شود. همچنین روش مورد نظر مبنای قابل اعتمادی برای انجام محاسبات کمی ریسک می‌باشد.

۶-ارزیابی ریسک نهایی مخاطرات مرکب با تلفیق لایه‌های حاصل از ارزیابی خسارات مستقیم کالبدی و اجتماعی ناشی از مخاطرات زلزله و حریق در پی آن

۷-ارائه نتایج حاصل از ارزیابی ریسک نهایی به صورت نقشه ریسک تلفیقی مخاطرات مرکب برای پیش بینی و اقدامات مدیریت ریسک به منظور اجرای اقدامات کاهش خطر در چارچوب خطر. (نمودار ۱)

-معرفی محدوده مورد مطالعه

مناطق یک و شش شهرداری شیراز، بخش عمده‌ای از شمال، مرکز و شمال غرب را در بر می‌گیرد. مناطق ۱و ۶ با جمعیت ۳۹۷۹۰۵ نفر ،۲۶ درصد از جمعیت کل شهر شیراز را دارا می‌باشند. که تراکم جمعیت در منطقه ۱ شهرداری شیراز ۷۸ نفر در هکتار و در منطقه ۶ شهرداری شیراز ۵۷ نفر در هکتار می‌باشد. (جدول ۱ و نقشه ۱)(مرکز آمار و اطلاعات مکانی شهرداری شیراز، ۱۳۹۳: ص ۴۷)



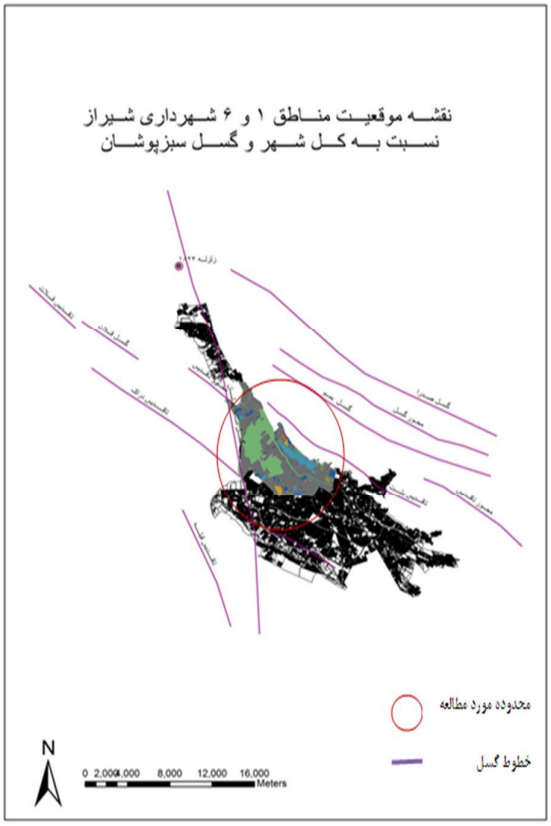
نمودار (۱): مدل مفهومی مطالعه(ترسیم:نگارندگان)

[1] Event Tree Analysis

جدول (۱):مشخصات کالبدی مناطق ۱ و۶ شهرداری شیراز

	تعداد کاربری های عمومی	مساحت کاربری ها عمومی(متر مربع)	تعداد کاربری های حساس	مساحت کاربری ها حساس(متر مربع)
منطقه ۱	۲۷۹۷۷	۱۸۱۵۷۷۸۶.۱	۵۹۰	۳۷۸۴۲۹۴.۴
منطقه ۶	۴۸۰۷	۲۹۱۷۲۰۵.۵	۳۷	۱۰۳۳۷۷.۱
کل	۳۲۷۸۴	۲۱۰۷۴۹۹۱.۶	۶۲۷	۳۸۸۷۶۷۱.۵

(منبع: مرکز آمار و اطلاعات مکانی شهرداری شیراز،:۱۳۹۳: ص ۴۷)



شکل (۱): موقعیت مناطق ۱ و ۶ شهرداری شیراز(ترسیم:نگارندگان)

۲- بحث

۲-۱-بررسی سناریو زلزله

در ادامه به بررسی گسل سبز پوشان در گستره مورد مطالعه پرداخته می‌شود.

معرفی گسل سبزپوشان: رخداد زمینلرزه‌های تاریخی پیرامون این گسل و حضور لایه‌های شکل‌پذیر که مانع رسیدن گسیختگی‌ها به سطح زمین می‌شوند، می‌تواند نشاندهنده فعال بودن گسل سبزپوشان باشد. به طور مثال می‌توان به رخداد زمینلرزه ۲۵ ژوئن ۱۸۲۴ شیراز با بزرگای Ms ۶/۷ در شمال غرب شهر شیراز با مختصات ۲۹/۸۰۰ (latitude) و ۵۲/۴۰۰ (longitude) به عنوان نزدیکترین زمینلرزه به ساختگاه مورد مطالعه اشاره کرد. از دیگر ویژگی‌های این گسل درازای ۷۵ کیلومتر با سازکار راستالغز راستگرد، شیب ۹۰ درجه و فاصله حدودا ۲ کیلومتر نسبت به محدوده مورد مطالعه می‌باشد. (نقشه ۱)

تعیین احتمال رخداد زلزله: نتایج حاصل از برآورد پارامترهای لرزه خیزی بیانگر وقوع زمینلرزه‌ای با بزرگای بین Ms ۶/۳ تا Ms ۶/۷ در دوره بازگشت ۵۰ تا ۱۰۰ سال برای این گستره می‌باشد.

برآورد بیشینه مقادیر شتاب جنبش نیرومند زمین(PGA): پارامتر بیشینه مقدار شتاب جنبش نیرومند زمین معرف بیشینه دامنه مطلق جنبش نیرومند زمین است، افزایش آن معادل با خطر لرزه‌ای بیشتر برای سازه‌ای و بوجود آمدن خرابی‌های بیشتر است. (زارع، ۱۳۸۸: ص ۷۸) برآورد بیشینه شتاب جنبش نیرومند زمین معادل با شتاب افقی ۰.۶g و شتاب قائم g ۰.۵ بر اساس الگوی درخت منطقی بین دو مدل زمینلرزه شناور و مدل گسل سبز پوشان می‌باشد. (مطالعات شرکت سهامی آب منطقه ای فارس،۱۳۸۴: ص ۳۰۲)

محاسبه قطعی سناریوی زلزله: برای محاسبه قطعی سناریو، محل زلزله، به عنوان مثال، کانون و بزرگی سناریوی زلزله را مشخص می‌نماید. این روش برای انتخاب یک سناریوی زلزله مناسب، از پایگاه داده زلزله‌های تاریخی استفاده می‌نماید، و یک رویداد مشخص بر اساس یک انتخاب دلخواه از گسل سبزپوشان به عنوان سناریوی زلزله تعیین می‌گردد. در این راستا سناریو زلزله تاریخی۲۵ ژوئن ۱۸۲۴

شیراز با بزرگای زلزله۶/۷ Ms و با بیشینه شتاب جنبش نیرومند زمین معادل با شتاب افقی ۰.۶g و شتاب قائم ۰.۵ g بر اساس سناریوی فرضی در کلیه نقاط، مورد مطالعه می‌باشد.

۲-۲-ارزیابی آسیب پذیری کالبدی

۲-۲-۱-برآورد خسارات کالبدی مخاطره محرک-زلزله

داده‌های ورودی:مجموعه و طبقه بندی

در این بخش چگونگی طبقه بندی اطلاعات ساختمان‌های عمومی[1](GBS) و امکانات ضروری(ساختمان‌های حساس)[2]، مشخصات مورد نیاز برای تخمین خسارات و آسیب‌ها و داده‌های مورد نیاز ارائه می گردد.

۱-موجودی ساختمان‌های عمومی شامل کاربری مسکونی، تجاری، صنعتی،کشاورزی، مذهبی،دولتی،وآموزشی می‌باشد.

۲- امکانات ضروری ارائه دهنده خدمات به جامعه می‌باشند و باید پس از وقوع مخاطرات کاربردی باشند. در این مطالعه امکانات ضروری بر حسب شرایط محلی شامل بیمارستان‌ها، کاربری‌های بهداشت، صنایع، ادارات دولتی و مراکز تصمیم گیری، کاربری‌های نظامی، انبارهای کالا و حمل و نقل و کاربری‌های تاسیسات و تجهیزات (ایستگاه‌های آتش نشانی، پمپ‌های بنزین و گاز)، می‌باشد.

ورودی مورد نیاز تحت عنوان شاخص‌های ساختاری موثر بر ظرفیت ساختاری و پاسخ در ساختمان‌های عمومی و تسهیلات ضروری به منظور برآورد خسارت ساختمان‌ها با استفاده از تابع طیف جابه جایی زمین شامل موارد زیر می‌باشد:

-اسکلت ساختمان S2(Steel Braced Frame), URM(Unreinforced Masonry Bearing Walls) and C2(Concrete Shear Walls) , C1(Concrete Moment Frame)

-ارتفاع ساختمان (ارتفاع کم(۱ تا ۳ طبقه)، ارتفاع متوسط(۴ تا ۷ طبقه)، ارتفاع بلند(۸ طبقه به بالا))

-قدمت ساختمان (pre code and low code, moderate code, high code)

در این مطالعه طبقه‌بندی سال ساخت ساختمان‌های عمومی و تسهیلات حساس بر اساس شرایط بومی منطقه مورد مطالعه تنظیم شده است. وضعیت قدمت بنا در سطح مناطق مورد مطالعه به دسته‌های ۴ گانه ؛کمتر از ۵ سال و ۵ تا ۱۰ سال (High code) ،۱۰ تا ۲۰ سال(Moderate code)، ۲۰ تا ۳۰ سال (Low code) و بیش از ۳۰ سال(Pre code) تقسیم شده است.

فرم توابع خسارت: روش برای برآورد خسارت زلزله

این بخش به توصیف روش برای تعیین احتمال آسیب خفیف، متوسط،گسترده و کامل به ساختمان‌ها پرداخته می‌شود.

توابع خسارت ساختمان مربوط به احتمال رسیدن و یا عبور از یک سطح آسیب ساختمان در ارتباط با پارامتر طیف پاسخ جابجایی [3] می‌باشد. توابع خسارت ساختمان با یک مقدار متوسط پارامتر تقاضا PESH تعریف می‌گردد، (به عنوان مثال، طیف جابجایی، شتاب طیفی، PGAویا PGD) که مربوط به آستانه سطح آسیب و تغییرات مرتبط با آن سطح آسیب می‌باشد

تعیین جابجایی طیفی (SD): با مشخص شدن کلاس سازه، با توجه به طبقه‌بندی مربوط به هر نوع سازه و ظرفیت بارتاب ساختمان، جابه جایی طیفی هر سازه تعیین می‌گردد. سطوح آسیب خاص، با توجه به طیف جابجایی، انحراف معیار و میانه (در این مطالعه کدینگ مربوط به مقادیر میانه و انحراف معیار که با توجه به زلزله‌های گذشته در ایالات متحده، برای هر نوع سازه، محاسبه شده است)می‌باشد،که توسط تابع زیر تعریف می‌شود (فرمول ۱).(FEMA, 2003:158)

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

S d, ds: *میانگین طیف جابه جایی که درآن سازه به آستانه سطح خسارت می‌رسد*، ds

β ds:لگ نرمال از انحراف استاندارد از طیف جابه جایی برای سطح خسارت، ds، و Φ:تابع توزیع تجمعی نرمال استاندارد است.

[1] General Building Stock
[2] Essential Facilities
[3] Response Spectrum Displacement

تعریف سطوح خسارات کالبدی بر اثر زلزله بر اساس مدل hazus:

سطوح خسارت ساختمان به چهار دسته کلی تقسیم می‌شوند که با توجه به نوع اسکلت سازه تشریح می‌گردند (FEMA, 2003:79).

به عنوان نمونه سطوح خسارت در سازه فلزی قاب خمشی (S2) به شرح ذیل تشریح می‌گردد:

سطح آسیب اندک ساختاری[1]:تغییر شکل‌های کوچک و جزئی در تعدادی از اتصالات فولاد، کشش و یا کمانش در اعضای بلند و باریک و یا ترک‌های کوچک در تعداد کمی از جوش‌ها می‌باشد.

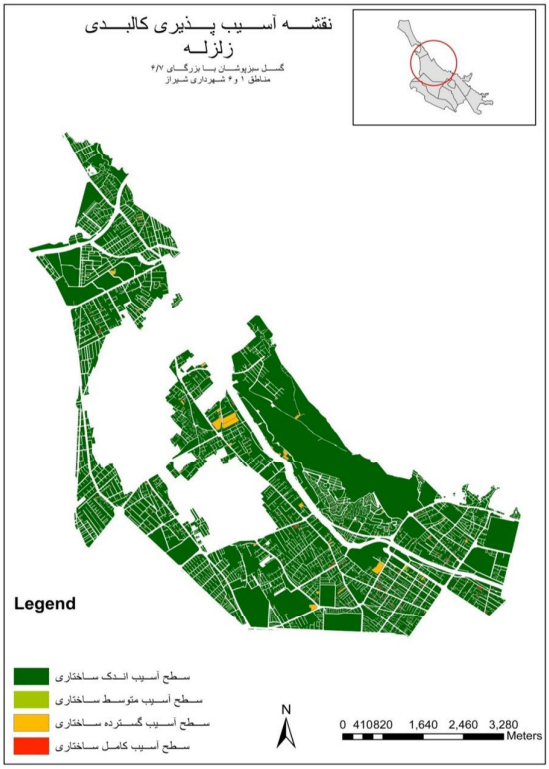
سطح آسیب متوسط ساختاری[2]: برخی از اعضای فولاد، کشش ویا کمانش قابل مشاهده به همراه خواهند داشت. در بعضی از اتصالات جوشی و پیچی ترک بزرگ و یا شکستگی که نشانه‌ای از رسیدن به ظرفیت نهایی می‌باشد، نمایش داده می‌شود.

سطح آسیب گسترده ساختاری[3]:بیشتر اعضای فولادی بیش از ظرفیت عملکرد خود(نقطه تسلیم)عبور کرده و در نتیجه تغییر مکان جانبی دائمی قابل توجهی در سازه ایجاد می‌گردد. فروپاشی نسبی بخشهایی از سازه به دلیل شکست عناصر و اتصالات بحرانی ممکن است.

سطح آسیب کامل ساختاری[4]: اکثر عناصر سازه که بخش مهمی از المان‌های سازه می‌باشند، در این حالت از حد نهایی ظرفیت خود عبور کرده که منجر به تغییر شکل جانبی دائمی خطرناک یا فروریزش سازه می‌گردد.

یافته‌ها در برآورد سطوح خسارات کالبدی بر اثر زلزله

در کل در پهنه مورد مطالعه بیشترین درصد ساختمان‌ها با تعداد ۳۲۳۸۶ و مساحتی برابر با ۲۴۰۷۸۲۱۸.۵۷ متر مربع دارای خسارت کالبدی اندک می‌باشند، تعداد ۳۰ساختمان با مساحتی برابر با ۵۷۳۳۱.۳متر مربع از محدوده مورد مطالعه دارای خسارت متوسط ساختاری، تعداد ۷۲۸ساختمان با مساحتی برابر با ۶۳۴۱۷۱.۶۲متر مربع از محدوده مورد مطالعه دارای خسارت گسترده ساختاری و در نهایت تعداد۲۶۹ ساختمان با مساحتی برابر با ۲۳۸۰۵۲.۴۰۴متر مربع از محدوده مورد مطالعه دارای خسارت گسترده کامل می‌باشند. (نقشه ۲)



شکل (۲):محاسبات خسارات کالبدی زلزله در مناطق ۱ و ۶ شهرداری شیراز(ترسیم:نگارندگان)

۲-۲-۲- برآورد خسارات کالبدی مخاطرات مرکب – حریق در پی زلزله

اصطلاح " حریق " به هر آتش منفردی که پس از وقوع زلزله شروع می‌شود (مشتعل) اشاره دارد،که در نهایت نیاز به پاسخ آتش نشانی برای سرکوب آن می‌باشد. حریق‌ها بر اساس "نرخ حریق"، که فرکانسی از نقطه نرمال شده حریق با یک معیار اندازه گیری از منبع بالقوه حریق می‌باشد، محاسبه می‌گردد. برای HAZUS، نرخ حریق، فرکانس از حریق در هر میلیون

[1] Slight Structural Damage
[2] Moderate Structural Damage
[3] Extensive Structural Damage
[4] Complete Structural Damage

فیت مربع از کل مساحت طبقات ساختمان درمنطقه [1]،در نظر گرفته می‌شود. نرخ‌های سیستم احتراق برای استفاده در HAZUS با توجه به آماری تجربی تجزیه و تحلیل تعیین می‌گردد، که در مراحل زیر تعریف گردیده است: مدل آتش کامل بعد از زلزله (FFE)[2] شامل سه فاز حریق[3]، گسترش[4] و سرکوب[5] می‌باشد: که در این پژوهش دو فاز اول مورد بررسی قرار می‌گیرد. با استفاده از پیش فرض‌ها و اطلاعات تجزیه و تحلیل در نهایت تخمینی برای اندازه مشکل حریق در پی زلزله، که می‌تواند برای برنامه ریزی و برآورد خواسته در آتش‌سوزی مناطق مورد مطالعه مورد استفاده قرار گیرد، ارائه می‌گردد.

فرم برآورد خسارت حریق در پی زلزله

با استفاده از روش FFE در این مطالعه حریق درپی سناریوی زلزله، (زمین‌لرزه بالقوه) برای منطقه مورد مطالعه تخمین می‌گردد. اولین قدم در ارزیابی ضرر و زیان بالقوه ناشی از آتش سوزی بعد از زلزله برآورد تعداد آتش‌سوزی که در واقع پس از زلزله رخ می‌دهد، می‌باشد.

ورودی مورد نیاز برای تجزیه و تحلیل:

ورودی مورد نیاز در ساختمان‌های عمومی و تسهیلات ضروری به منظور برآورد خسارت مستقیم کالبدی با در نظر گرفتن عواقب ناشی از مخاطرات متداخل زلزله و حریق در آسیب پذیری مخاطرات مرکب شامل موارد زیر می‌باشد:

(الف) مساحت کل طبقات ساختمان، برای تمام ساختمان‌ها، وبرای ترکیب‌های مختلف از انواع مدل‌های ساختمان؛

(ب) به طور مشابه، وزن متوسط از ترکیب‌های مختلف ساختمان‌های آسیب دیده در مساحت کل زمین محدوده مورد مطالعه و (ج) سایر موارد اجتماعی و اقتصادی، از جمله جمعیت، و تراکم کل مساحت.

در حالی که تعدادی از ترکیبات، مورد بررسی قرار گرفت، بهترین نتیجه معادله چند جمله‌ای مربوط به حریق در هر یک میلیون فیت مربع از کل مساحت زمین، با PGA می‌باشد (فرمول شماره ۲).(FEMA, 2003: 512)

$$Ign./TFA = 0.581895\ (PGA)2 - 0.029444\ (PGA) \quad R2 = 0.084 \qquad (۲)$$

که در آن Ign/TFA متوسط تعداد حریق درهر یک میلیون فیت مربع ساخت و ساز از کل مساحت زمین در محدوده مورد نظر می‌باشد. 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 معیار 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. (جدول و نقشه شماره ۴)

گسترش حریق

مرحله دوم در انجام تجزیه و تحلیل FFE برآورد گسترش آتش اولیه می‌باشد. توضیحات زیر از گسترش آتش در مناطق شهری بر اساس یک مدل توسعه یافته توسط هامادا (۱۹۷۵) می‌باشد. هامادا یک مدل برای گسترش آتش در شهر ژاپن را گسترش داده است. مدل او به شرح زیر است (فرمول ۳) (FEMA, 2003:164).

$$N_{TV} = \frac{1.5\delta}{a^2} * K_s * (K_d + K_u) \qquad (۳)$$

N_{TV} = تعداد ساختار به طور کامل سوخته، T = زمان، در دقیقه پس از احتراق اولیه، V = سرعت باد، در متر در ثانیه، δ = ابعاد ساختار، A = متوسط ابعاد ساختار طرح، در متر، D = متوسط جداسازی ساختمان، در متر، K_S = نیمی از عرض آتش پهلو به پهلو، در متر، K_D = طول آتش سوزی در جهت مسیر باد، از محل جرقه زنی اولیه، در متر و K_u = طول آتش سوزی در خلاف جهت باد (عقب)، از محل حریق اولیه، در متر، می‌باشد. یافته‌ها در برآورد سطوح خسارات کالبدی بر اثر مخاطرات مرکب (حریق در پی زلزله)

[1] Per Million Square Feet of Total Building Floor Area
[2] Fire Following Earthquake
[3] Ignition
[4] Spread
[5] Suppression

در فرمول تعداد کسترش حریق در هر منبع حریق محاسبه می‌گردد. محاسبات انجام شده براساس ساختمان‌های عمومی و تسهیلات حساس در سطح مناطق ۱ و ۶ می‌باشد. نتایج نشان می‌دهند که از مجموع ۳۲۷۵۰ تعداد ساختمان درمناطق ۱ و ۶، تعداد ۲۵ساختمان با مساحتی برابر با ۲۹۵۹۷.۱متر مربع از محدوده مورد مطالعه دچار حریق در پی زلزله می‌شوند. این ساختمان‌ها شامل ساختمان‌ها با کاربری‌های انبار، صنایع و تاسیسات و تجهیزات با خسارات ساختاری سطح کامل می‌باشند، تعداد ۶۰ساختمان با مساحتی برابر با ۱۶۷۴۴.۱متر مربع از محدوده مورد مطالعه دچار حریق در پی گسترش حریق اولیه می‌گردند. (فرمول ۳) و کنترل این آتش سوزی با توجه به کمبود آب و جاده‌های از سرویس خارج شده، مشکل می‌باشد. بقایای آوار به شدت ممانعت از دسترسی شده و خطر آتش سوزی را افزایش داده است. در این مطالعه در سناریو گسترش حریق در پی زلزله فرض بر عدم سرکوب حریق توسط نیروهای آتش نشانی می‌باشد. (نقشه ۳)

شکل (۳): محاسبات خسارات کالبدی (حریق در پی زلزله)در مناطق ۱ و ۶ شهرداری شیراز(ترسیم:نگارندگان)

۲-۳-ارزیابی آسیب پذیری اجتماعی / تلفات[1]

۲-۳-۱-برآورد تلفات مخاطرات مرکب- زلزله و حریق در پی آن

داده های ورودی:مجموعه و طبقه بندی

سه نوع داده برای محاسبه تلفات توسط روش HAZUS مورد استفاده می باشد:

- تعریف زمان سناریو[2]:

زلزله در ۰۲:۰۰ (سناریو شب)، زلزله در ۱۴:۰۰ (سناریو زمان روز)، 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.

-داده‌های توزیع جمعیت بر اساس متدولوژی Hazus

-سطح آسیب ساختاری (سطح اندک، متوسط،گسترده و کامل)

تلفات ناشی از زلزله و حریق در پی زلزله فرضی را می‌توان توسط یک مدل درخت واقعه حوادث توسعه داد. به عنوان مثال، شدت خاص تلفات، تعداد مورد انتظار کارکنان در یک ساختمان در طول یک زلزله، می‌تواند با یک درخت واقعه به صورت شبیه سازی ارائه گردد. با فرض این که تمام احتمالات شاخه‌ها شناخته شده و یا استنباط شده می‌باشند، احتمال کشته شدن افراد(Pkilled) به شرح زیر داده می‌شود.

تعداد مورد انتظار تلفات مرگ ساکنین (ENoccupants killed) یک نتیجه از تعداد ساکنان ساختمان در زمان وقوع زلزله (Noccupants) واحتمال کشته شدن ساکنین (Pkilled) می‌باشد (فرمول ۴). (FEMA, 2003:470)

ENoccupants killed = Noccupants*Pkilled (4)

یافته‌ها در برآورد تلفات مخاطرات مرکب- حریق در پی زلزله محاسبات انجام شده براساس سناریوهای رخداد مخاطرات مرکب درسه زمان ۰۲:۰۰ (سناریو شب)، ۱۴:۰۰ (سناریو زمان روز) و ۱۷:۰۰ (سناریو زمان اوج رفت و آمد) در سطح مناطق ۱ و ۶ می‌باشد. در کل در پهنه مورد مطالعه در پی رخداد

[1] Direct Social Losses - Casualties
[2] Scenario Time Definition

مخاطرات مرکب زلزله و حریق در سناریوی ۲ بامداد، تعداد ۳۲۲۵۵.۱۲ نفر زخمی و ۳۶۶۵۱.۳۹۱نفر کشته برآورد می‌گردد. که برابر با تعداد۶۸۹۰۶.۵ نفر مصدوم در سطح مناطق ۱ و ۶ شهرداری شیراز می‌باشد. و در سناریوی ۲ بعدالظهر، تعداد نفر ۲۴۴۶۴.۳۶۴زخمی و ۲۷۵۹۹.۵۱۵نفر کشته برآورد می‌گردد. که برابر با تعداد۵۲۰۶۳.۸۷۹ نفر مصدوم در پهنه مورد مطالعه می‌باشد. و همچنین در سناریوی ۵ بعدالظهر، تعداد نفر ۱۶۲۱۱.۴۷۲ زخمی و ۳۲۸۷۵.۳۹۳نفر کشته برآورد می‌گردد. که برابر با تعداد۴۹۰۸۶.۸۶۵ نفر مصدوم می‌باشد. نتایج حاصل از محاسبات در نمودار کمی درخت واقعه (۱) و جدول (۵) ارائه خواهد شد.

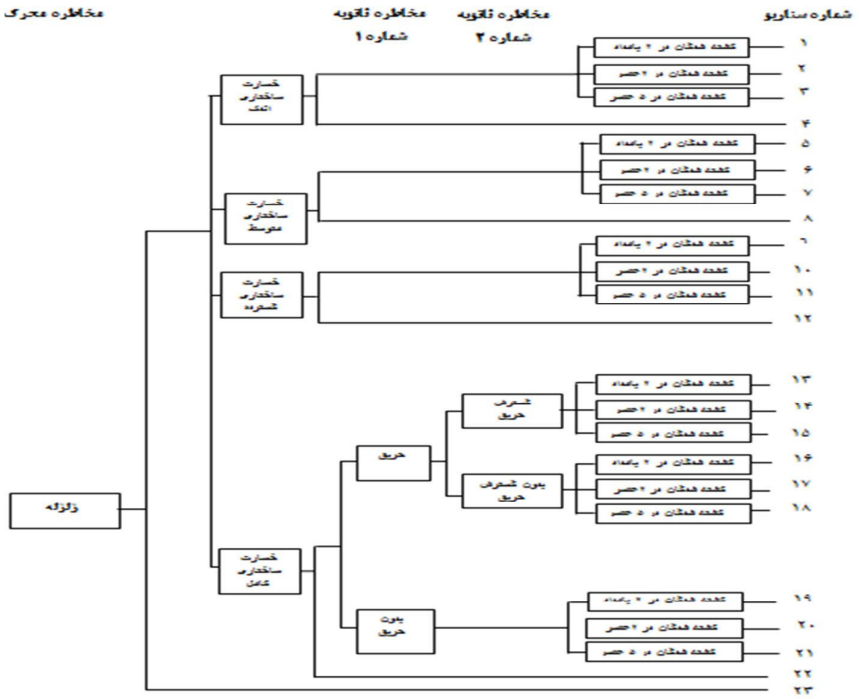
۲-٤- اثر روابط دومینویی خطر در آسیب‌پذیری کلی

تداخل و ارتباط مخاطرات، تنها تاثیرات تهدید مخاطرات را برنخواهد داشت، بلکه همچنین تاثیرگذاری بالایی بر آسیب پذیری خواهد داشت. اثر روابط خطر در آسیب پذیری کلی باید مورد ارزیابی قرار گیرد. روابط خطر، ترکیبی از تقارن مکانی و زمانی مخاطرات زلزله و حریق می‌باشد،که در آسیب پذیری تاثیر گذار است.

در این مطالعه تاثیر پی در پی با فاصله زمانی کم، مخاطرات زلزله و حریق در مناطق مورد مطالعه مورد نظر می‌باشد. بنابراین تاثیر همزمان مخاطرات زلزله و حریق در پهنه در خطر مورد مطالعه، نتایج برای کل آسیب‌پذیری می‌باشد،که ممکن است با مجموع آسیب‌پذیری‌های جداگانه مخاطرات منفرد متفاوت باشد.

۲-٤-۱-ارزیابی ریسک نهایی و تجسم فضایی

در این مطالعه امکان برآورد ریسک نهایی مخاطرات مرکب،با گنجاندن آن در روش ارزیابی درخت واقعه که پتانسیل نمایش تاثیرات توالی مخاطرات را نیز دارا می‌باشد، فراهم می‌گردد. درخت واقعه حاصل از وقوع زلزله به عنوان مخاطره محرک می‌باشد که پس از آن در پی تاثیر دومینویی خطر، که در گذشته توضیح داده شده است، حریق به عنوان مخاطره ثانویه شماره ۱و گسترش حریق به عنوان مخاطره ثانویه شماره ۲ در کاربری‌ها با سطح خسارات کامل ایجاد می‌گردد. (نمودار ۲)



نمودار (۲): روش تحلیل درخت واقعه در برآورد ریسک نهایی مخاطرات مرکب (زلزله و حریق در پی آن)(ترسیم : نگارندگان)

کمی سازی سناریوهای درخت واقعه مخاطرات مرکب زلزله و حریق به صورت گام‌های ذیل انجام می گیرد:

-نخست متوسط احتمال خسارت کالبدی هر سناریو با استفاده تابع خسارت ساختمان P[ds/sd] برای کلیه ساختمان‌ها در سطح محدوده مورد مطالعه تعیین می‌شود.

-در دومین گام، شدت تلفات انسانی (تعداد کشته‌شدگان) برای هر سناریو در سطح محدوده مورد مطالعه تعیین می گردد.

-سپس عدد ریسک متناظر با هر سناریو از طریق ترکیب کردن دو بعد احتمال سطح خسارت ساختمان و شدت تلفات انسانی سناریوها در سطح محدوده موردمطالعه تعیین می‌شود.(فرمول ۵)

(۵) (تعداد کشته شدگان)(متوسط احتمال خسارت کالبدی)= سطح ریسک

مرحله بعد از تعیین سطح ریسک(حاصلضرب تعداد کشته شدگان در متوسط احتمال خسارت کالبدی)سناریوها، بایستی حداقل سطح ریسک قابل قبول را مشخص شود. در پهنه مورد مطالعه سه منطقه با سطوح خطر متفاوت مشخص شده است:

-مناطقی به عنوان سطح ریسک اندک در نظر گرفته می‌شوند، که در معرض آسیب فیزیکی اندک در برابر زلزله می‌باشند. در واقع مناطق با ریسک اندک مواجه با سطح آسیب‌پذیری اندک مخاطره منفرد می‌باشند.

-مناطقی به عنوان سطح ریسک متوسط در نظر گرفته می‌شوند، که در معرض آسیب فیزیکی متوسط و گسترده در برابر زلزله می‌باشند. در واقع مناطق با ریسک متوسط مواجه با سطح آسیب پذیری بالا مخاطره منفرد می‌باشند.

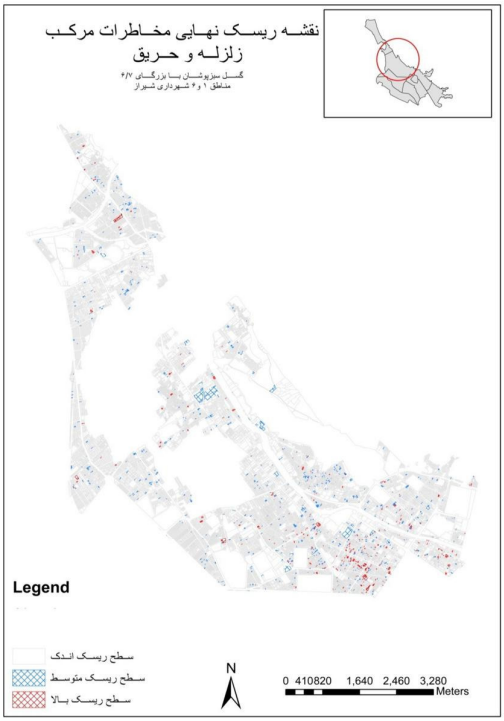
-مناطقی به عنوان سطح ریسک بالا در نظر گرفته می‌شوند که در معرض آسیب فیزیکی کامل در برابر زلزله و همچنین در اثر روابط دومینویی دچار حریق پس از زلزله نیز می گردند. در واقع مناطق با ریسک بالا مواجه با سطح آسیب‌پذیری بالا و همپوشانی مخاطرات مرکب می‌باشند.(نمودار ۱و نقشه و جدول ۲)

جدول (۲):سطح ریسک نهایی حاصل از سناریوهای مختلف در مناطق ۱ و ۶ شهرداری شیراز

شماره سناریو	توضیحات	متوسط احتمال خسارت کالبدی(٪)P[ds/sd]	تعداد گشته شدگان	سطح ریسک
۱	در اثر زلزله ،خسارت کالبدی با سطح اندک در ساختمان در ساعت ۲ بامداد	۵	۰	۰
۲	در اثر زلزله ،خسارت کالبدی با سطح اندک در ساختمان در ساعت ۲ بعدالظهر	۵	۰	۰
۳	در اثر زلزله ،خسارت کالبدی با سطح اندک در ساختمان در ساعت ۵ بعدالظهر	۵	۰	۰
٤	در اثر زلزله خسارت کالبدی با سطح اندک در ساختمان رخ نمی دهد.	۰	۰	۰
۵	در اثر زلزله ،خسارت کالبدی با سطح متوسط در ساختمان در ساعت ۲ بامداد	۲۳	۵۵۸	۱۲۸۳۴
٦	در اثر زلزله ،خسارت کالبدی با سطح متوسط در ساختمان در ساعت ۲ بعدالظهر	۲۳	۴۲۰.۲۵۲	۹۶۶۵.۷۹۶
۷	در اثر زلزله ،خسارت کالبدی با سطح متوسط در ساختمان در ساعت ۵ بعدالظهر	۲۳	۴۵۹.۶۴۲	۱۰۵۷۱.۷۶۶
۸	در اثر زلزله خسارت کالبدی با سطح متوسط در ساختمان رخ نمی دهد.	۰	۰	۰
۹	در اثر زلزله ،خسارت کالبدی با سطح گسترده در ساختمان در ساعت ۲ بامداد	۳۲	۲۷۹۰۴.۵۲۲	۸۹۲۹۴۴.۷۰۴
۱۰	در اثر زلزله ،خسارت کالبدی با سطح گسترده در ساختمان در ساعت ۲ بعدالظهر	۳۲	۲۱۰۱۲.۶۳۷	۶۷۲۴۰۴.۳۸۴
۱۱	در اثر زلزله ،خسارت کالبدی با سطح گسترده در ساختمان در ساعت ۵ بعدالظهر	۳۲	۲۵۰۸۲.۱۰۰	۸۰۲۶۲۷.۲
۱۲	در اثر زلزله خسارت کالبدی با سطح گسترده در ساختمان رخ نمی دهد.	۰	۰	۰
۱۳	در اثر زلزله ،گسترش حریق، در ساختمان با خسارت کالبدی سطح کامل در ساعت ۲ بامداد	۴۰	۳۶۶۵۱.۳۹۱	۱۴۶۶۰۵۵.۶۴
۱٤	در اثر زلزله ،گسترش حریق، در ساختمان با خسارت کالبدی سطح کامل در ساعت ۲ بعدالظهر	۴۰	۲۷۵۹۹.۵۱۵	۱۱۰۳۹۸۰.۶
۱۵	در اثر زلزله ،گسترش حریق، در ساختمان با خسارت کالبدی سطح کامل در ساعت ۵ بعدالظهر	۴۰	۳۲۸۷۵.۳۹۳	۱۳۱۵۰۱۵.۷۲
۱٦	در اثر زلزله ، حریق در ساختمان با خسارت کالبدی سطح کامل، در ساعت ۲ بامداد	۴۰	۳۶۴۹۳.۸۹۱	۱۴۵۹۷۵۵.۶۴
۱۷	در اثر زلزله ، حریق در ساختمان با خسارت کالبدی سطح کامل، در ساعت ۲ بعدالظهر	۴۰	۲۷۴۸۰.۷۱۵	۱۰۹۹۲۲۸.۶
۱۸	در اثر زلزله ، حریق در ساختمان با خسارت کالبدی سطح کامل، در ساعت ۵ بعدالظهر	۴۰	۳۲۷۹۶.۶۴۳	۱۳۱۱۸۶۵.۷۲
۱۹	در اثر زلزله ،خسارت کالبدی با سطح کامل در ساختمان در ساعت ۲ بامداد	۴۰	۳۶۴۷۶.۵	۱۴۵۹۰۶۰
۲۰	در اثر زلزله ،خسارت کالبدی با سطح کامل در ساختمان در ساعت ۲ بعدالظهر	۴۰	۲۷۴۶۷.۵	۱۰۹۸۷۰۰
۲۱	در اثر زلزله ،خسارت کالبدی با سطح کامل در ساختمان در ساعت ۵ بعدالظهر	۴۰	۳۲۷۸۷.۸	۱۳۱۱۵۱۲
۲۲	در اثر زلزله خسارت کالبدی با سطح کامل در ساختمان رخ نمی دهد.	۰	۰	۰
۲۳	عدم رخداد زلزله	۰	۰	۰

(منبع:نگارندگان)

نتایج محاسبات انجام شده در برآورد سطح ریسک نهایی که براساس تعداد کشته شدگان و متوسط احتمال خسارت کالبدی برای هر سناریو در سطح مناطق ۱ و ۶ می‌باشد، نشان می‌دهند که سطوح ریسک کمتر از ۱۰۰۰۰ که شامل سناریوها با شماره ۱،۲،۳،۴،۸،۱۲،۲۲،۲۳ می‌باشد در منطقه با سطح ریسک اندک واقع شده‌اند. سطوح ریسک بین ۱۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰۰ که شامل سناریوها با شماره ۵،۶،۷،۹،۱۰،۱۱ می‌باشد در منطقه با سطح ریسک متوسط واقع شده‌اند. و سطوح ریسک بالاتر از ۱۰۰۰۰۰۰ که شامل سناریوها با شماره ۲۱، ۲۰، ۱۹، ۱۸، ۱۷، ۱۶، ۱۵ ،۱۴، ۱۳ می‌باشد در منطقه با سطح ریسک بالا واقع شده‌اند. (جدول ۲و نمودار ۱و نقشه ۴)



شکل (۴):ریسک نهایی مخاطرات مرکب(زلزله و حریق در پی آن)

(ترسم:نگارندگان)

۳-نتیجه گیری

یکی از راهکارهای ارائه شده برای مقابله با تاثیر بلایای طبیعی و تکنولوژیکی، مدیریت شهری مبتنی بر ارزیابی ریسک به عنوان گامی اثر بخش در مراحل پیشگیری و آمادگی در شرایط بحرانی، با هدف بیشینه‌سازی نتایج مثبت و کمینه سازی خطرات و پیامدهای ناگوار آن می‌باشد. در این راستا همانطور که ذکر گردید، در این مطالعه ارزیابی آسیب پذیری کالبدی مستقیم در ساختمان‌های عموی و تسهیلات حساس، آسیب پذیری انسانی تحت عنوان تلفات انسانی و نقشه ریسک نهایی ناشی از مخاطرات زلزله و حریق پس از آن، توسط روش تحلیل کمی درخت واقعه و نرم‌افزار HAZUS ارائه می گردد، اما آنچه این پژوهش را متفاوت ساخته است، استفاده از روش ETA در نمایش روابط بین مخاطرات و ارائه سطوح ریسک نهایی حاصل از وقوع مخاطرات مرکب می‌باشد. نتایج بررسی‌ها به منظور حذف، کنترل، پیشگیری و کاهش ریسک‌های احتمالی، اولویت بندی و نحوه برنامه‌های پیشگیری و کاهش خطر پذیری در محدوده مورد مطالعه می‌باشد. نتایج به تفکیک مناطق در ذیل ارائه می گردد:

منطقه ۱:

از مجموع ۲۷۵۳۶ تعداد ساختمان عمومی منطقه ۱، بیشترین تعداد با ۷۶.۲ درصد از کل منطقه دارای سطح ریسک اندک می‌باشند و کمترین تعداد با ۲درصد از کل منطقه دارای سطح ریسک بالا می‌باشد. از مجموع ۶۰۲ ساختمان با کاربری تسهیلات حساس در منطقه ۱، تعداد ۴۴۵ ساختمان در منطقه با ریسک اندک،۱۱۰ ساختمان در منطقه با ریسک متوسط و تعداد ۴۷ سازه در منطقه با ریسک بالا واقع گردیده‌اند.

منطقه ۶:

از مجموع ۵۲۱۴ ساختمان عمومی مورد مطالعه در منطقه ۶، تعداد ۳۲۵۷ ساختمان در منطقه با ریسک اندک،۱۸۹۰ ساختمان در منطقه با ریسک متوسط و تعداد ۶۷ سازه در منطقه با ریسک بالا واقع گردیده‌اند. از مجموع ۶۱ ساختمان با کاربری تسهیلات حساس در منطقه ۱، تعداد ۴۸ ساختمان در منطقه با ریسک اندک، ۱۱ ساختمان در منطقه با ریسک متوسط و تعداد ۲ سازه در منطقه با ریسک بالا واقع گردیده‌اند. در کل در پهنه مورد مطالعه بیشترین درصد ساختمان‌ها با تعداد۲۴۷۳۳ و مساحتی برابر با ۱۸۵۲۲۰۷۲.۶۳متر مربع دارای سطح ریسک اندک می‌باشند، تعداد ۸۰۱۳ساختمان با مساحتی برابر با ۵۸۵۰۴۰۲.۸۳متر مربع از محدوده مورد مطالعه دارای

سطح ریسک متوسط، و در نهایت تعداد۶۶۷ ساختمان با مساحتی برابر با ۶۳۹۶۶۰.۴۷متر مربع از محدوده مورد مطالعه دارای سطح ریسک بالا می‌باشند.

پیشنهادات:

با توجه به نیاز مبرم به بکارگیری وجوه کاهش خطر، بدلیل پیچیدگی مخاطرات مرکب درمحدوده‌های مسکونی مناطق مورد مطالعه، پهنه‌ها با ریسک‌های متفاوت اینگونه تعریف می‌گردند: الف)مناطق با ریسک بالا، در این سطح مخاطره، اقدامات پیشگیرانه و حفاظتی، موثر و اقتصادی نمی‌باشند. بنابراین پیشنهاد می‌گردد، ۱)ساخت و سازهای آینده در این پهنه‌ها ممنوع گردد، ۲)مکان یابی مجدد کاربری‌ها حساس در پهنه مورد نظر به منظور کاهش خطر پذیری و آسیب پذیری و ۳) توجه به رابطه متناسب بین تراکم ساختمانی و تراکم جمعیتی از طریق عدم صدور پروانه‌های مسکونی و افزایش فضاهای باز و دومنظوره شهری.

ب)مناطق با ریسک متوسط که با سطح متوسط خطر مواجهه می‌باشند، واقدامات پیشگیرانه و حفاظتی در مورد آنها موثر می‌باشد. در ارتباط با کاربری‌های این پهنه، پیشنهاد می‌گردد: ۱) تهیه آیین نامه‌های ایمنی شهر مطابق با سطح و نوع مخاطرات برای کلیه کاربری‌های شهری در دستور کار مسئولین و مدیران اجرایی شهرداری قرار گیرد، ۲)بهسازی و افزایش مقاومت کاربری‌ها با سطح آسیب‌پذیری متوسط در سطح مناطق مورد مطالعه، ۳) افزایش فضاهای دومنظوره باز و سبز (باغ‌ها، پارک‌ها و بوستان‌ها و...) جهت کاهش خطرپذیری و آسیب پذیری کالبدی و انسانی، ۴) مطالعه توزیع بهینه‌ی جمعیت، تراکم ساختمانی و تاسیسات حساس شهری برای کاهش آسیب پذیری کالبدی و تلفات انسانی.

ج)مناطق با سطح ریسک اندک، نشان دهنده مناطقی می‌باشند، که با ریسک قابل توجهی مواجهه نمی‌باشند. بنابراین ساخت و سازهای آینده در این مناطق با رعایت موازین شهرسازی بلامانع می‌باشد.

منابع:

۱-ارقامی، ش. یوسفی، م. عبدالملکی، ا. صادقپیور،ع. (۱۳۸۵): آتش سوزی ناشی از شبکه گازرسانی شهری هنگام بروز زلزله، همایش سراسری راهکارهای ارتقاء مدیریت بحران در حوادث و سوانح غیرمترقبه، زنجان.

۲-امینی، ا .حبیب، ف .مجتهدزاده، .(1389): برنامه ریزی کاربری زمین و چگونگی تاثیر آن در کاهش آسیب پذیری شهر در برابر زلزله، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره یازدهم، شماره سه، پاییز ۸۹،تهران.

۳-بختیاری، س.(1386): بررسی حوادث حریق ناشی از زلزله در جهان و تهیه راهنمای حفاظت ساختمانها در برابر آتش با در نظر گرفتن خطرات و تخریبهای احتمالی ناشی از زلزله،انتشارات بنیاد مسکن انقلاب اسلامی (پژوهشکده سوانح طبیعی)، شماره دو، تهران.

۴-زارع، م. (1388): مبانی تحلیل خطر زمینلرزه، انتشارات پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، شماره دهم، تهران.

۵-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.

۶-مطالعات وزارت نیرو، (۱۳۸۴): مطالعات مرحله اول لرزه خیزی و لرزه زمین ساخت، انتشارات شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس، جلد اول، ویرایش نخست، شیراز.

7-Davidson, R. A. (2009): "Modeling Post Earthquake Fire Ignitions Using Generalized Linear (mixed) Models." J. Infrastructure. Syst., 15(4), 351–360.

8-European Commission (2011): Risk assessment and mapping guidelines for disaster management. Commission sat_ working paper, European Union, 121-127.

9-Ernest J. Henley and Hiromitsu Kumamoto(1992):, Probe ballistic Risk Assessment, IEEE Press (New York),87.

10-FEMA (2003): Multi-hazard loss estimation methodology: earthquake model. HAZUS-MH

MR3. Technical manual, FEMA,79-512. URL http://www.fema.gov/plan/prevent/hazus/.

11-Greiving, S., Fleischhauer, M. & Luckenkotter, J. (2006): A methodology for an integrated risk assessment of spatially relevant hazards. Journal of Environmental Planning and Management 49(1): 1-19.

12-Hewitt, K. & Burton, I. (1971): Hazardousness of a place: a regional ecology of damaging events. Toronto Press, Toronto and Bualo, 78.

13-Olfert, A., Greiving, S. & Batista, M. (2006): Regional multi-risk review, hazard weighting and spatial planning response to risk - results from European case studies. URLhttp://arkisto.gtk.fi/sp/SP42/9_regio.pdf. Access 10 March 2010, 45-51.

14-Tate, E., Cutter, S. & Berry, M. (2010): Integrated multi hazard mapping. Environment and Planning B: Planning and Design 37: 646-663.

15-Varnes, D. J. (1984): Landslide hazard donation: a review of principles and practice. United Nations Educational, Scientist and Cultural Organization, Paris, France,35.

16-Marfai,M., Njagih,J.,(2002): Vulnerability analysis and risk assessment for seismic and flood hazard in Turialba city, Costarica, International Institute forGeo-information Sciences and Earth Observation (ITC),69.

17- Rin, A., and Xie, X. (2004): “The Simulation of Post-earthquake Fire Prone Area Based on GIS.” J. Fire Sci.,
22(5), 421–439.

18-Scawthorn, C., Yamada, Y., and Iemura, H. (1981): "A model for urban post earthquake fire hazard." Disasters, 5(2), pp. 125-132.

19-Scawthorn, C. (1987): Fire following earthquake: estimates of the conflagration risk to insured property in greater Los Angeles and San Francisco, All-Industry Research Advisory Council, Oak Brook, Ill,74.

20-Yue Li, M.ASCE; Aakash Ahuja; and Jamie E. Padgett, M.ASCE3, (2012):American Society of Civil Engineers. Journal of performance of constructed facilities ©ASCE / January/February 2012,142).