

جغرافیا و توسعه شماره ۳۴ بهار ۱۳۹۳

وصول مقاله: ۱۳۹۱/۲/۲۳

تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۱۱/۱۷

صفحات: ۱۳۸-۱۲۱

ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهر با مدل Fuzzy AHP و GIS

مطالعه موردی: منطقه ۳ شهرداری تهران

دکتر سید موسی پورموسوی^۱، دکتر علی شماعی^۲، دکتر محسن احدنژاد^۳، علی عشقی چهاربرج^۴، سمیه خسروی^۵

چکیده

به منظور سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی کاهش آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری در مقابل زلزله و ارائه‌ی تصویری روشن از وقوع احتمالی زلزله و عواقب ناشی از آن ارزیابی پهنه‌های آسیب‌پذیر شهری ضروری است. براین اساس امروزه وضعیت و شرایط مختلف قبل از رخداد زلزله‌های احتمالی در شدت‌های مختلف شبیه‌سازی و بر مبنای آن نقشه‌های پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری تهیه و مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. پژوهش حاضر سعی دارد تا با مدل Fuzzy AHP و نرم‌افزار GIS به طراحی سناریوهای زلزله در شدت‌های مختلف به منظور برآورد آسیب‌پذیری ساختمان‌های منطقه ۳ شهرداری تهران در برابر زلزله ارائه نماید. این پژوهش کاربردی و با روش‌های توصیفی - تحلیلی و پیمایشی است. میزان آسیب‌های وارده به ساختمان‌های این منطقه شهری در پنج گروه شامل: پهنه‌های آسیب‌پذیر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و نابودی کامل تقسیم شده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در سناریوهای طراحی شده ۶ مرکالی به ترتیب ۵۳/۸۸، ۲۶/۷۷، ۱۹/۰۴، ۰/۰۴، ۰/۲۵ درصد و در ۷ مرکالی به ترتیب ۲۳/۲۸، ۲۱/۲۲، ۹/۳۱، ۲۶/۴۲، ۱۹/۷۵ درصد و در ۸ مرکالی به ترتیب ۰/۵۴، ۰/۳۳، ۵۹/۳۳، ۲۰/۲۲، ۹/۵۵، ۴۶/۹۷ درصد است. بالاترین میزان آسیب‌پذیری بر اساس تعداد ساختمان‌ها به ترتیب در نواحی ۲، ۳، ۵، ۴، ۱ و ۶ منطقه وجود دارد. مهمترین دلایل این وضعیت استفاده از مصالح بی‌دوام و کم مقاوم در ساخت و سازها، بالا بودن عمر ساختمان‌ها، مکان‌یابی ساخت و سازها بر روی زمین‌های ناپایدار، عدم رعایت استانداردهای ساخت و ساز از جمله آیین‌نامه ۲۸۰۰، تمرکز و تراکم زیاد جمعیت و برج‌سازی با مطالعات ضعیف می‌باشد. کلیدواژه‌ها: آسیب‌پذیری ساختمان‌ها، منطقه ۳ شهرداری تهران، زلزله، پهنه‌بندی آسیب‌پذیری.

mp.atricles@yahoo.com

shamai@khu.ac.ir

ahadnejad@znu.ac.ir

alieshgei@yahoo.com

khosravi_somaye@geo.ui.ac.ir

۱- استادیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه امام حسین (نویسنده مسؤول)

۲- دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه خوارزمی تهران

۳- دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه زنجان

۴- کارشناس ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه خوارزمی

۵- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان

مقدمه

امروزه حدود نیمی از جمعیت ۶ میلیاردی کره‌ی زمین در شهرها ساکن هستند و پیش‌بینی شده در ۳۰ سال آینده، ۴/۲ میلیارد نفر ساکن شهرها خواهند بود (USAID, 2006: 3). جدا از افزایش مخاطرات طبیعی طی دهه‌های گذشته، افزایش قربانیان به دلیل آسیب‌پذیری جوامع شهری افزایش یافته است (VAN Westen, 2006: 1). به طوری که در قرن بیستم بیش از ۱۱۰۰ زلزله‌ی مخرب در نقاط مختلف کره‌ی زمین روی داده که در اثر آن بیش از ۱۵۰۰۰۰۰ نفر جان خود را از دست داده‌اند (Lantada, 2008: 2). تخمین زده می‌شود که حدود ۹۵ درصد از کل قربانیان مخاطرات طبیعی در جهان از جوامع در حال توسعه‌ی جهان می‌باشند و تلفات ناشی از این‌گونه حوادث در این کشورها ۲۰ برابر بیشتر از حوادث مشابه در جوامع توسعه‌یافته است (Kreimer et al, 2003: 2). با توجه به قرارگیری کشور ایران در کمربند کوهزایی آلپ- هیمالیا (کمربند مستعد زلزله) ضرورت توجه اصلی به مسأله‌ی مدیریت بحران امری بدیهی است (آیسان و دیویس، ۱۳۸۲: ۹). بر اساس گزارش سازمان ملل، در سال ۲۰۰۳ میلادی، کشور ایران در بین کشورهای جهان رتبه‌ی نخست را در تعداد زلزله و تعداد افراد کشته شده در اثر این سانحه، داشته است (UNDP, 2004: 12). علت اصلی این امر آسیب‌پذیر بودن اکثر شهرهای ایران است. تا جایی که آمارها نشان می‌دهد ۹۰ درصد شهرهای کشور در برابر زلزله ۵/۵ ریشتری آسیب‌پذیر هستند (پورمحمدی و مصیب‌زاده، ۱۳۸۷: ۱۱۸).

بر این اساس سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی و دستورالعمل‌های مدون برای مقابله با کلیه‌ی حوادث غیرمترقبه از جمله زلزله می‌تواند عوارض و پیامدهای ناشی از آن را کاهش دهد. ارزیابی میزان آسیب‌پذیری شهر در برابر زلزله مستلزم برآورد خسارت‌های شرایط

حاضر شهر با پیش فرض وقوع زلزله با درجات مختلف و تعیین میزان خسارت احتمالی در نواحی مختلف از اهمیت و ضرورت قابل توجه‌ای برخوردار است. منطقه‌ی ۳ شهرداری تهران با قرارگیری در حاشیه‌ی گسل‌های مؤثر در آسیب‌پذیری شهر تهران از جمله گسل مشا- فشم معروف به گسل شمال تهران و گسل ری در جنوب تهران و گسل‌های کوچک تر در داخل دشت تهران و پیرامون آن از جمله، گسل محمودیه، گسل داوودیه، گسل تلو پایین، گسل شیان و کوثر واقع شده است. این گسل‌ها در بروز مخاطرات لرزه‌ای در این منطقه می‌تواند میزان آسیب‌پذیری را تشدید نماید. علاوه بر این وجود عوامل متعدد همچون ساخت و سازهای سال‌های اخیر به ویژه در ساختمان‌های بلندمرتبه، عدم رعایت قوانین و مقررات مقاوم‌سازی، تمرکز زیاد جمعیت در بافت‌های قدیمی منطقه، بلندمرتبه‌سازی‌های غیرمجاز و غیراصولی، استفاده از مصالح ناسازگار و نامقاوم، ناپایداری زمین، استفاده از اراضی نامناسب برای توسعه‌ی شهری به ویژه در شمال غربی منطقه، ساخت و سازهای انجام شده بر روی مسیر قنات‌ها، وجود معابری تنگ و باریک در بافت‌های قدیمی منطقه، و نداشتن برنامه‌های اصولی برای رویارویی با بحران‌های آتی باعث افزایش میزان آسیب‌پذیری منطقه ۳ شهرداری تهران در برابر خطر زلزله می‌شود. بر این اساس وجود خطر زلزله در منطقه‌ی مورد مطالعه لزوم پژوهش‌هایی جهت ارزیابی آسیب‌های ناشی از زلزله‌های در درجات مختلف و پراکندگی آن در سطح نواحی ضروری است. این پژوهش سه هدف اصلی را دنبال می‌کند: شناسایی وضعیت کالبدی منطقه ۳ شهرداری تهران در برابر آسیب‌پذیری احتمالی زلزله، شناسایی پهنه‌های آسیب‌پذیری شهر در برابر زلزله و ارائه‌ی الگوی مناسب سلسله مراتبی کاهش آسیب‌پذیری در نواحی مختلف و

احدنژاد در سال ۱۳۸۸ در رساله دکتری خود تحت عنوان آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله با به‌کارگیری مدل (RISK-UE) و روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی AHP به این نتیجه رسید که منطقه ۳ شهرداری زنجان آسیب‌پذیری‌ترین منطقه و منطقه ۲ شهرداری زنجان کم آسیب‌پذیری‌ترین منطقه‌ی شهر زنجان می‌باشند. گیوینازی^۱ (۲۰۰۶) در پژوهشی به طراحی سناریوهای مختلف زلزله پرداخته و با استفاده از مدل RISK_UK به ارزیابی آسیب‌پذیری منطقه‌ی لیگوریا^۲ در ایتالیا پرداخته است. راشد^۳ و همکاران (۲۰۰۷)، در پژوهش خود ابتدا به بررسی نقش سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور، در مدل‌سازی و پیش‌بینی آسیب‌پذیری پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیدند که سیستم اطلاعات جغرافیایی، با داشتن بانک اطلاعاتی جامع می‌تواند در مدل‌سازی آسیب‌پذیری نقش اصلی را ایفا کند (Rashed, 2003:6). راشد در رساله‌ی دکتری خود تحت عنوان "اطلاعات جغرافیایی برای اندازه‌گیری میزان آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله" و به این نتیجه رسیده است که در دسترس بودن نقشه‌های آسیب‌پذیری راهکار حیاتی برای مقابله با آسیب‌پذیری است (احدنژاد، ۱۳۸۸).

مواد و روش‌ها

روش پژوهش توصیفی-تحلیلی و پیمایشی است. جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات از طریق منابع کتابخانه‌ای و مطالعات میدانی انجام گرفته است. برای دستیابی به ادبیات تئوریک موضوع و تحلیل داده‌های گردآوری شده از منابع کتابخانه‌ای بهره گرفته شده است و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و اطلاعات و ارزیابی آنها از روش سلسله مراتبی AHP و منطق فازی و نرم‌افزار GIS استفاده شده است. در این پژوهش، همچنین از روش‌های کمی به عنوان یک روش جنبی کامل‌کننده

ارائه‌ی مدلی برای ارزیابی آسیب‌پذیری کالبدی منطقه در برابر زلزله می‌باشد. پژوهش حاضر دارای دو سؤال اصلی است. اول چگونه می‌توان میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌های منطقه‌ی ۳ شهرداری تهران را با شاخص‌های مطرح مورد ارزیابی قرار داد؟ دوم چگونه با مدل Fuzzy AHP می‌توان به ارزیابی آسیب‌پذیری پهنه‌های ساختمانی در برابر شدت‌های مختلف زلزله دست یافت؟

پیشینه پژوهش

آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن مطالعه‌ی جامعی در مورد ریز پهنه‌بندی لرزه‌ای تهران انجام دادند که بخشی از آن در رابطه با تحلیل آسیب‌پذیری است (گزارش جایکا، ۱۳۸۰: ۱-۲). بابک ستوده در سال ۱۳۸۰ در پژوهشی با عنوان "برنامه‌ریزی کاربری زمین و اصلاح معیار جهت ایمن‌سازی در برابر زلزله" محله باغ فردوس شهرداری منطقه یک تهران انجام گرفته که به نقش ساماندهی کاربری‌ها در کاهش آسیب‌پذیری تأکید شده است (ستوده، ۱۳۸۰). سیلاوی و همکاران (۱۳۸۴) تهیه‌ی نقشه‌ی آسیب‌پذیری لرزه‌ای با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر ریاضیات بازه‌ها و سیستم‌های اطلاعات مکانی را مورد مطالعه قرار دادند. آقاپاهر و همکاران (۱۳۸۵) به وزن‌دهی فاکتورهای مؤثر در آسیب‌پذیری لرزه‌ی شهر تهران پرداخته‌اند.

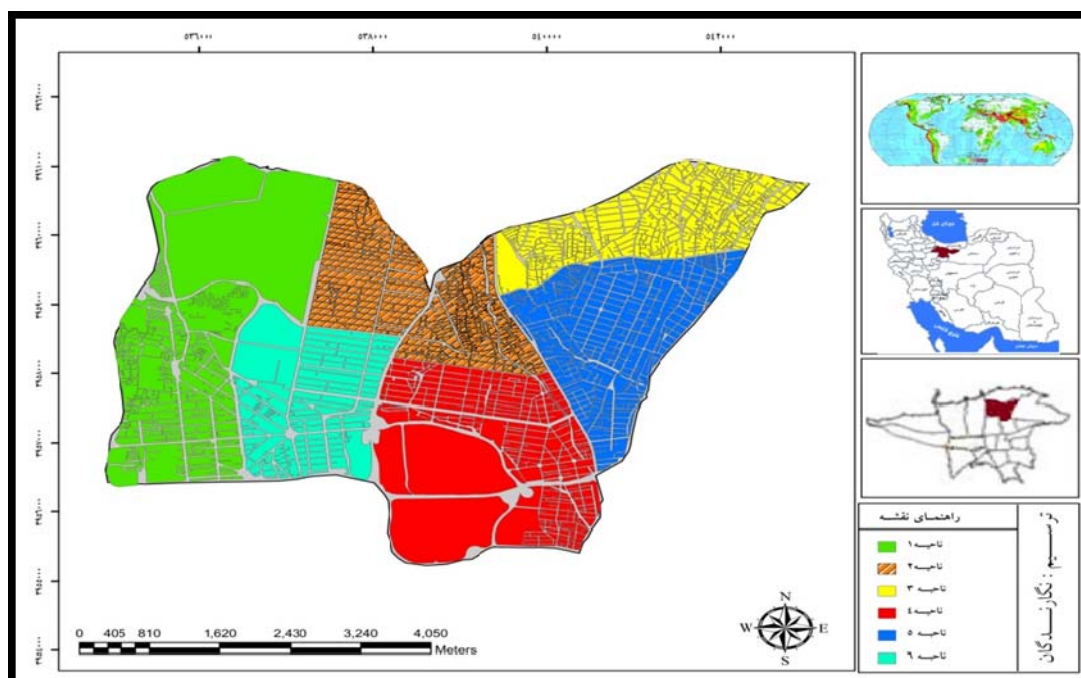
زنگی‌آبادی و همکاران (۱۳۸۷) شاخص‌های آسیب‌پذیری مسکن شهر اصفهان در برابر زلزله مورد تحلیل قرار دادند که مطالعه‌ی آنها نشان داد، میزان آسیب‌پذیری مسکن شهر اصفهان در برابر خطر زلزله بالا است. در ارزیابی آسیب‌پذیری سازه‌های شهری و سنجش آسیب‌پذیری آنها از زلزله با به‌کارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌توان به پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهری دست یافت (عزیزی و اکبری، ۱۳۷۸).

غرب با منطقه‌ی ۲ هم‌مرز می‌باشد. منطقه‌ی ۳ شهرداری تهران دارای ۶ ناحیه و ۱۱ محله با مساحتی حدود ۲۹۴۵ هکتار در بر گرفته است. این منطقه یکی از بزرگترین مناطق شهری تهران محسوب می‌شود. این منطقه از شمال به بزرگراه شهید چمران، بزرگراه شهید مدرس و بزرگراه آیت‌الله صدر و از شرق به خیابان پاسداران و بخشی از خیابان شریعتی و از جنوب به بزرگراه رسالت و بزرگراه همت و از غرب به بزرگراه شهید چمران محدود می‌شود (مهندسین مشاوران، ۱۳۸۵: ۱).

روش معیاری استفاده شده است. تا با به‌کارگیری روش‌های کمی و تحلیلی و با طراحی سناریوهای زلزله در شدت‌های مختلف میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری را مورد ارزیابی قرار داد.

محدوده‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی ۳ شهرداری تهران یکی از مناطق ۲۲ گانه شهرداری تهران است. این منطقه در شمال شرقی تهران واقع است. این منطقه از شمال با منطقه‌ی ۱، از شرق با منطقه‌ی ۴، از جنوب با منطقه‌ی ۶ و ۷ و از



شکل ۱: محدوده‌ی مورد مطالعه

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۷۵

فضایی شهر) و ویژگی‌های اجتماعی آن جوامع (ساختار اجتماعی شهر) تعریف نمود (احدئژاد، ۱۳۸۱: ۴۳). در حالت کمی، ارزیابی آسیب‌پذیری در جستجوی ایجاد یک مقیاس تجمعی است که از صفر (فاقد آسیب‌پذیری)

مبانی نظری

آسیب‌پذیری شهری را می‌توان میزانی از تفاوت‌های ظرفیتی جوامع شهری جهت مقابله با اثرات مخاطرات طبیعی براساس موقعیت آن‌ها در جهان مادی (ساختار

زوال محیط زیستی - فیزیکی و آثار و زیان‌های ناشی از آن توجه دارد (Stonich, 2000: 18).

دیدگاه ساخت اجتماعی؛ به وضعیتی ریشه‌دار در فرایندهای اجتماعی و اقتصادی تاریخی، فرهنگی که توانایی رسیدگی به بحران‌ها و مدیریت آن‌ها را تضمین می‌کند توجه دارد (Weichselgartner, 2001: 25). دیدگاه ترکیبی: رویکردهای تلفیقی، تحلیل محرک‌ها و سیستم را با همدیگر ترکیب نموده، از روابط بین آن دو برای فهمیدن آسیب‌پذیری استفاده می‌کند. در این کار این رویکردها عوامل تعیین‌کننده اجتماعی و زیستی - فیزیکی آسیب‌پذیری را با هم ترکیب می‌کنند، در صورتی که در رویکردهای اشاره شده در قبل، به سیستم و محرک به‌عنوان یک سابقه مشخص در تأیید این چشم‌انداز متقابل نگریسته می‌شود. از جمله روش‌هایی که در این رویکرد می‌توان با آن‌ها به تحلیل آسیب‌پذیری در محیط‌های شهری پرداخت مدل مکانی مخاطرات است. این مدل ابتدا در تحقیقات هویت و بورتون (۱۹۷۱) با عنوان بلایای مکانی به‌کار گرفته شد و آن‌ها تلاش داشتند تا به توصیف خطرات اکولوژی منطقه‌ای از جانب بلایای طبیعی بپردازند. با اقتباس از آن‌ها کاتر و همکارانش (۱۹۹۶، ۲۰۰۰) به معرفی چارچوبی برای عناصر مختلفی که بر روی الگوهای متفاوت آسیب‌پذیری بین شهرها و درون آن‌ها تأثیر می‌گذارد، اقدام نموده‌اند.

داده‌ها و بحث

پژوهش حاضر ۱۰ شاخص برای ارزیابی آسیب‌پذیری شهر در برابر زلزله را مورد استفاده قرار داده است. ۶ شاخص از عوامل درونی شامل: نوع مصالح ساختمانی، قدمت بنا، کیفیت ساخت بنا، مساحت همکف، تعداد طبقات و جنس خاک و ۴ شاخص از عوامل بیرونی شامل: سازگاری کاربری‌ها، مسیر فئات‌ها، نزدیکی به

تا یک (آسیب‌پذیری کامل) می‌باشد. این مقیاس تجمعی حاصل جمع میزان آسیب‌پذیری عناصر مختلف در مقایسه با حالت پایدار و دینامیک جنبه‌های مختلف محیط شهری می‌باشد. این عناصر را می‌توان به صورت زیر طبقه‌بندی کرد:

عناصر فیزیکی (شامل منازل، زیرساخت‌ها، امکانات، اکوسیستم و غیره)

عناصر اقتصادی (شامل کاربری اراضی، بیمه، سرمایه‌گذاری‌های اقتصادی و غیره)

عناصر اجتماعی (شامل وضعیت اقتصادی - اجتماعی، ثروت، اخلاق، طبقه، معلولیت‌ها، سن و غیره)

دیدگاه‌های تحلیل آسیب‌پذیری در نواحی شهری

در دهه‌های اخیر رویکردهای نظری گوناگونی در مورد آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری مطرح شده است. این رویکردها در سه گروه قابل تقسیم‌بندی است:

رویکرد زیستی - فیزیکی^۱، رویکرد ساخت اجتماعی^۲ و رویکرد ترکیبی^۳ از مهمترین آنهاست. هر یک از این رویکردها چارچوب نظری متفاوتی پیرامون کاهش آسیب‌پذیری سازه‌های شهری ارائه داده‌اند.

دیدگاه زیستی - فیزیکی؛ بر مخاطرات طبیعی و چگونگی استقرار واحدهای در معرض خطر و جوامع آن و عواقب ناشی از آن تأکید دارد (Ford, 2002: 18) و (Yamin, 2005: 31). همچنین بر حسب درجه و شدت لرزه‌ای و آسیب‌های احتمالی پهنه‌های متفاوتی را مشخص می‌سازد (Wisner, 2005: 24) همچنین به مخاطرات طبیعی و خسارت‌های کالبدی در فضاهای مجتمع‌های زیستی از لحاظ خسارات کالبدی و پراکنندگی آن توجه دارد (Boughton, 1998: 4). در نتیجه این رویکرد بیشتر بر روی مخاطرات طبیعی،

1-Biophysical Vulnerability
2-Social construction of Vulnerability Synthetic approach
3-Synthetic approach of Vulnerability

گسل و عرض معابر می‌باشد. هرکدام از عوامل درونی و بیرونی به زیر شاخص‌هایی تقسیم شدند. برخی از شاخص‌ها از اهمیت زیادی نسبت به دیگر شاخص‌ها برخوردارند و نقش تعیین‌کننده‌ای در آسیب‌پذیری دارند. با توجه به اینکه نقش و اهمیت هر یک از شاخص‌ها و مقایسه‌ی زوجی بین آن‌ها با استفاده از روش سلسله مراتبی AHP امکان‌پذیر است می‌توان از

این روش به عنوان روشی مناسب جهت مدل‌سازی و ارزیابی آسیب‌پذیری فیزیکی شهرها در برابر زلزله استفاده کرد. بر مبنای این روش هر یک از زیر شاخص‌ها در شاخص‌های اصلی بر اساس اهمیتی که دارند، در یکی از گروه‌های آسیب‌پذیری قرار می‌گیرد، سپس ماتریس مقایسه‌ی دوتایی شاخص‌های اصلی ترسیم گردید.

جدول ۱: امتیازدهی و کدبندی به زیر معیارها

عوامل و معیارهای اصلی	زیرمعیارها	آسیب‌پذیری خیلی کم ۱	آسیب‌پذیری کم ۳	آسیب‌پذیری متوسط ۵	آسیب‌پذیری زیاد ۷	آسیب‌پذیری خیلی زیاد ۹
نوع مصالح	خشت و گل و چوب				•	
	آجر و سیمان				•	
	آجر و آهن			•		
	بتنی		•			
قدمت بنا	اسکلت فلزی	•				
	قبل از سال ۱۳۵۰				•	
	۱۳۵۰ تا ۱۳۶۰			•		
	۱۳۶۰ تا ۱۳۷۰		•			
	۱۳۷۰ تا ۱۳۸۰					•
کیفیت بنا	۱۳۸۰ به بعد					•
	نوساز					•
	قابل نگهداری			•		
تعداد طبقات	تخریبی					•
	۱ طبقه					•
	۲ و ۳ طبقه		•			
	۴ و ۵ طبقه				•	
سازگاری کاربری‌های همجوار	۶ و بیشتر				•	
	کاملاً سازگار					•
	نسبتاً سازگار		•			
	بی تفاوت			•		
	نسبتاً سازگار				•	
مساحت همکف	کاملاً ناسازگار					•
	کمتر از ۱۰۰ متر مربع					•
	۱۰۰-۲۵۰ متر مربع				•	
	۲۵۰-۵۰۰ متر مربع		•			
	۵۰۰ متر و بیشتر					•

ادامه جدول ۱

عوامل و معیارهای اصلی	زیرمعیارها	آسیب‌پذیری خیلی کم ۱	آسیب‌پذیری کم ۳	آسیب‌پذیری متوسط ۵	آسیب‌پذیری زیاد ۷	آسیب‌پذیری خیلی زیاد ۹
مسیر قنات‌ها	فاصله کمتر از ۵ متر				•	
	فاصله ۵ تا ۱۰ متری				•	
	فاصله ۱۰ تا ۲۰ متری			•		
	فاصله بیش از ۲۰ متری		•			
فاصله از غسل	کمتر از ۵۰ متر				•	
	بین ۵۰ تا ۱۰۰ متری				•	
	بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ متری			•		
	بین ۳۰۰ تا ۵۰۰ متری		•			
سازندهای زمین‌شناسی	بیش از ۵۰۰ متر		•			
	آبرفت‌های مخروط‌افکنه‌ای D				•	
	آبرفتی ناهمگن S				•	
	آبرفتی همگن C			•		
عرض معابر دسترسی	سازند هزار دره A		•			
	کمتر از ۴					•
	۴-۸				•	
	۸-۱۲			•		
	۱۲-۲۰		•			
	۲۰ و بیشتر		•			

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

جدول ۲: ماتریس مقایسه دوتایی معیارهای اصلی

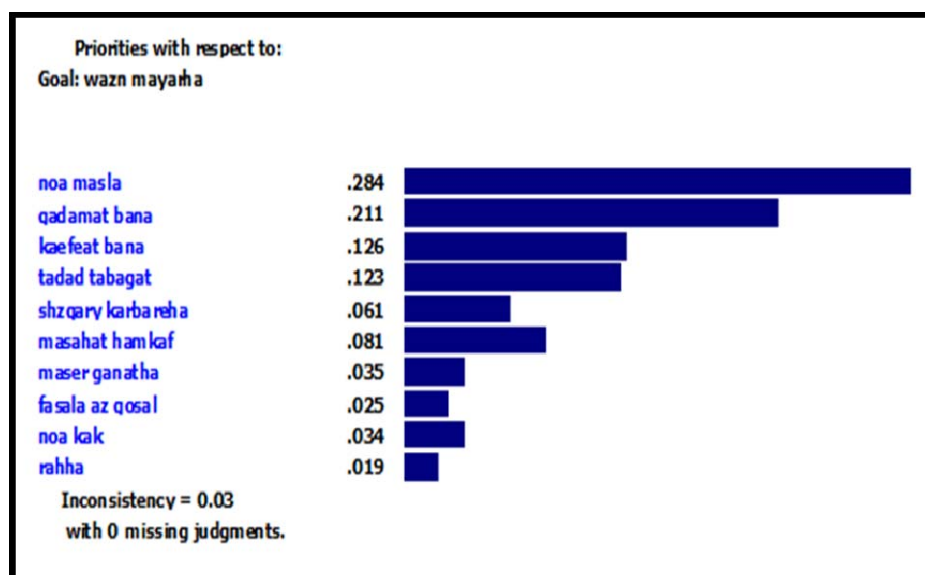
معیارها	نوع مصالح	قدمت بنا	کیفیت بنا	کاربری‌ها	سازگاری	مساحت همگن	قنات	فاصله از غسل	نوع خاک	عرض معابر
نوع مصالح	۱	۲	۳	۴	۴	۵	۶	۷	۶	۸
قدمت بنا	۰/۵	۱	۲	۳	۴	۴	۵	۶	۶	۷
کیفیت بنا	۰/۳۳	۰/۵	۱	۱	۳	۲	۴	۵	۴	۶
تعداد طبقات	۰/۲۵	۰/۳۳	۱	۱	۳	۲	۵	۵	۴	۶
سازگاری کاربری‌ها	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۲	۳	۳	۲	۴
مساحت همگن	۰/۲۰	۰/۲۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۱	۳	۴	۳	۵
قنات	۰/۱۶	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۲	۱	۳
فاصله از غسل	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۵	۱	۲	۲
نوع خاک	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۵	۰/۳۳	۱	۰/۵	۱	۲
عرض معابر	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۲۵	۰/۲۰	۰/۳۳	۰/۵	۰/۵	۱

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

محاسبه‌ی وزن‌های شاخص‌ها

برای محاسبه‌ی وزن شاخص‌ها و دخالت اهمیت ضریب آسیب‌پذیری برای هر یک از شاخص‌ها از نرم‌افزار Expert Choice 2000 استفاده شده است. حاصل این

تحلیل به دست آوردن ضریب شاخص‌های مؤثر و مورد استفاده در آسیب‌پذیری ناشی از زلزله در منطقه‌ی مورد مطالعه است. ضریب هر یک از شاخص‌ها در شکل ۲ آورده شده است.

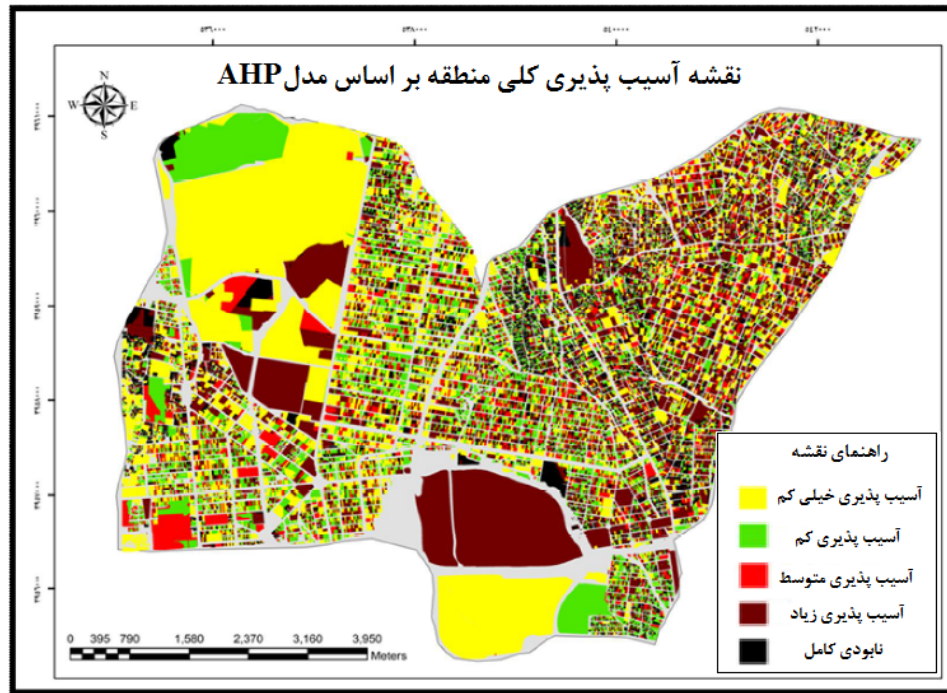


شکل ۲: ضریب هر یک از شاخص‌های مؤثر در آسیب‌پذیری ساختمان‌های منطقه

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

با دوامی استفاده شده باشد شدت آسیب‌پذیری در برابر زلزله کاهش می‌یابد. برای تهیه‌ی نقشه آسیب‌پذیری کلی پس از آنکه وزن‌های شاخصی با استفاده از روش AHP مورد محاسبه قرار گرفت، هر کدام از وزن‌ها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در لایه‌های مربوطه اعمال شد. در نهایت نقشه آسیب‌پذیری کلی استخراج گردید.

مقایسه دودویی شاخص‌ها حاکی از آن است، مصالح ساختمانی با توجه به اهمیت آن در برابر زلزله بیشترین امتیاز را به خود اختصاص داده است. تجربه زلزله‌های اخیر نشان داده است که نوع مصالح ساختمانی به کار رفته در سازه بیشتر از دیگر پارامترهای مؤثر در آسیب‌پذیری ناشی از زلزله دارای اهمیت می‌باشد. به طوری که هرچه در سازه از مصالح



شکل ۴: نقشه آسیب‌پذیری کلی منطقه ۳ شهرداری تهران با مدل AHP بر اساس نظرات کارشناسان
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۱۰۹

جدول ۳: توزیع آماری آسیب‌پذیری کلی منطقه ۳ شهرداری تهران با استفاده از مدل AHP بر اساس نظرات کارشناسان

آسیب‌پذیری کلی منطقه	ناحیه ۱		ناحیه ۲		ناحیه ۳		ناحیه ۴		ناحیه ۵		ناحیه ۶		مجموع منطقه ۳	
	تعداد	درصد در منطقه	تعداد	درصد در منطقه	تعداد	درصد در منطقه	تعداد	درصد در منطقه	تعداد	درصد در منطقه	تعداد	درصد در منطقه	تعداد	درصد در منطقه
آسیب‌پذیری خیلی کم	۱۲۲۱	۴/۲۲	۱۵۴۷	۵/۳۴	۱۵۲۰	۵/۲۵	۱۳۹۳	۴/۸۱	۱۵۰۰	۵/۱۸	۸۲۰	۲/۸۳	۸۰۰۱	۲۷/۶۵
آسیب‌پذیری کم	۱۱۲۸	۳/۸۹	۱۶۷۸	۵/۸۰	۱۵۶۸	۵/۴۱	۱۲۶۸	۴/۳۸	۱۵۵۲	۵/۳۶	۷۲۴	۲/۵۰	۷۹۱۸	۲۷/۳۶
آسیب‌پذیری متوسط	۱۲۶۴	۴/۳۶	۱۷۴۲	۶/۰۲	۱۷۸۳	۶/۱۶	۱۴۰۹	۴/۸۷	۱۶۵۶	۵/۷۲	۸۳۱	۲/۸۷	۸۶۸۵	۳۰/۰۲
آسیب‌پذیری زیاد	۳۸۱	۱/۳۱	۱۱۸۴	۴/۰۹	۱۰۳۶	۳/۵۸	۴۳۵	۱/۵۰	۱۰۹۶	۳/۷۸	۱۳۲	۰/۴۵	۴۲۶۴	۱۴/۷۳
آسیب‌پذیری بسیار سنگین	۶	۰/۰۲	۱۵	۵/۰۵	۱۴	۰/۰۴	۷	۰/۰۲	۱۴	۰/۰۴	۶	۰/۰۲	۶۲	۰/۲۱
مجموعه	۴۰۰۰	۱۳/۸۲	۶۱۷۵	۲۱/۳۳	۵۹۲۱	۲۰/۴۶	۴۵۱۲	۱۵/۵۹	۵۸۱۸	۲۰/۱۰	۲۵۱۳	۸/۶۸	۲۸۹۳۹	۱۰۰

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۴۰

بهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری منطقه

مختلف زلزله، نقشه آسیب‌پذیری را فازی‌سازی کرده و با سناریوهای مختلف زلزله مورد ارزیابی قرار گرفته است.

برای ارائه نقشه‌ی آسیب‌پذیری کلی منطقه‌ی مورد مطالعه در این پژوهش پس از اینکه وزن شاخص‌ها در مدل AHP محاسبه شد، برای ارزیابی آسیب‌پذیری منطقه‌ی ۳ شهرداری تهران با سناریوهای

فازی سازی نقشه‌ی آسیب پذیری منطقه

شاخص‌های ارزیابی با معیارهای مختلف اندازه‌گیری ارائه می‌شوند، برای اینکه بتوان آن‌ها را به یک مقیاس مشترک تبدیل نمود، نیاز به استانداردسازی دارند. علاوه بر نظریه فازی چندین روش از جمله تابع انتقال مقیاس خطی، تابع مقدار و احتمالات تجدیدنظر شونده می‌تواند برای استانداردسازی نتایج حاصل از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی مورد استفاده قرار داد (Rashed, 2003:7). در این پژوهش با توجه به ترکیب لایه‌ها با استفاده از وزن حاصل از AHP از تابع خطی زیر استفاده شده است:

$$f(x) = \sum w_i \mu(x_i)$$

نقشه‌ی فازی سازی شده از روش تحلیل فرایند سلسله مراتبی AHP صرفاً برای نشان دادن میزان آسیب‌پذیری کلی منطقه می‌باشد. از این رو برای ارزیابی دقیق آسیب‌پذیری لازم است به طراحی سناریوهای زلزله در شدت‌های مختلف پرداخت. برای ارزیابی دقیق‌تر میزان آسیب‌پذیری منطقه لازم است تا با استفاده از روش‌های موجود از جمله روش تخمین شاخص متوسط درجه آسیب (μ_D) به طراحی سناریوهای زلزله با شدت‌های مختلف پرداخت. با استفاده از این شاخص، سناریوهای زلزله برای

شدت‌های مختلف مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. به عبارتی ساده‌تر برای درجه‌بندی میزان آسیب ساختمان‌های شهری در شدت‌های مختلف زلزله‌های احتمالی، باید به ارزیابی ساختمان‌های موجود در منطقه با شدت‌های مختلف زلزله پرداخت، تا از این طریق بتوان آسیب وارده به هر یک از ساختمان‌های شهری را مورد ارزیابی قرار داد. به منظور ارزیابی از رابطه‌ی زیر استفاده می‌نماییم:

$$\mu_D = 2.5 \left[1 + \tanh \left(\frac{I + 6.25\sqrt{I} - 13.1}{2.3} \right) \right]$$

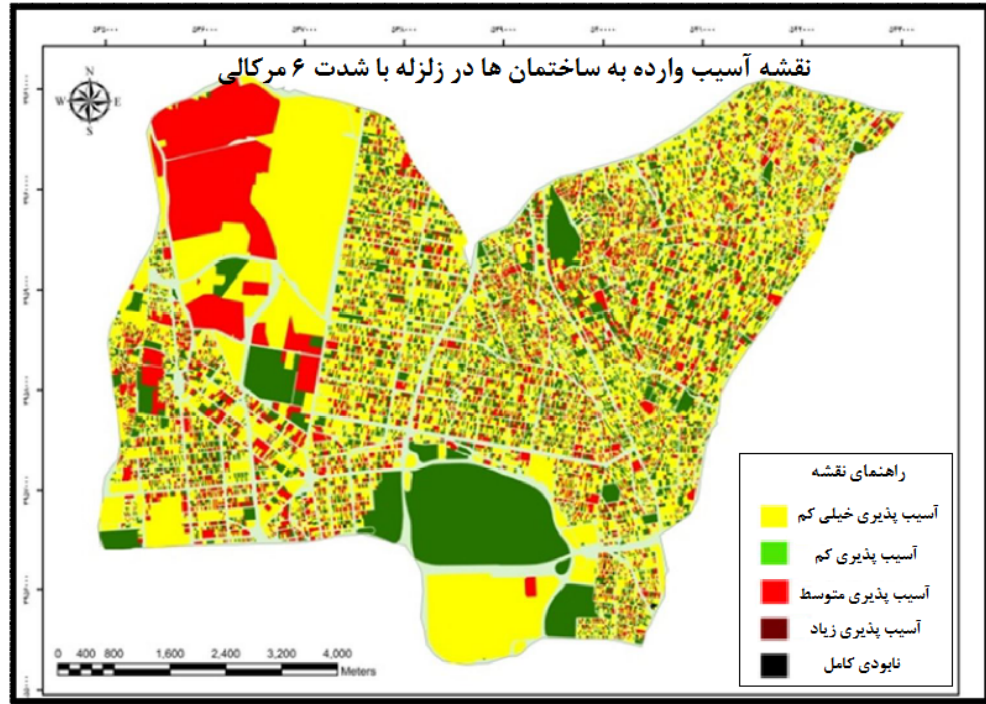
(Milutinovic and Trendafiloski, 2003: 65)

μ_D = نشانگر متوسط درجات آسیب

I = نشانگر شدت زلزله بر اساس واحد مرکالی اصلاح شده.

\sqrt{I} = مقدار آسیب‌پذیری حاصله از اعمال روش تحلیل سلسله مراتبی و چندشاخصه.

برای سنجش میزان آسیب‌پذیری با شدت‌های مختلف، ابتدا به طراحی سناریوی زلزله با شدت ۶ مرکالی پرداخته شده است.

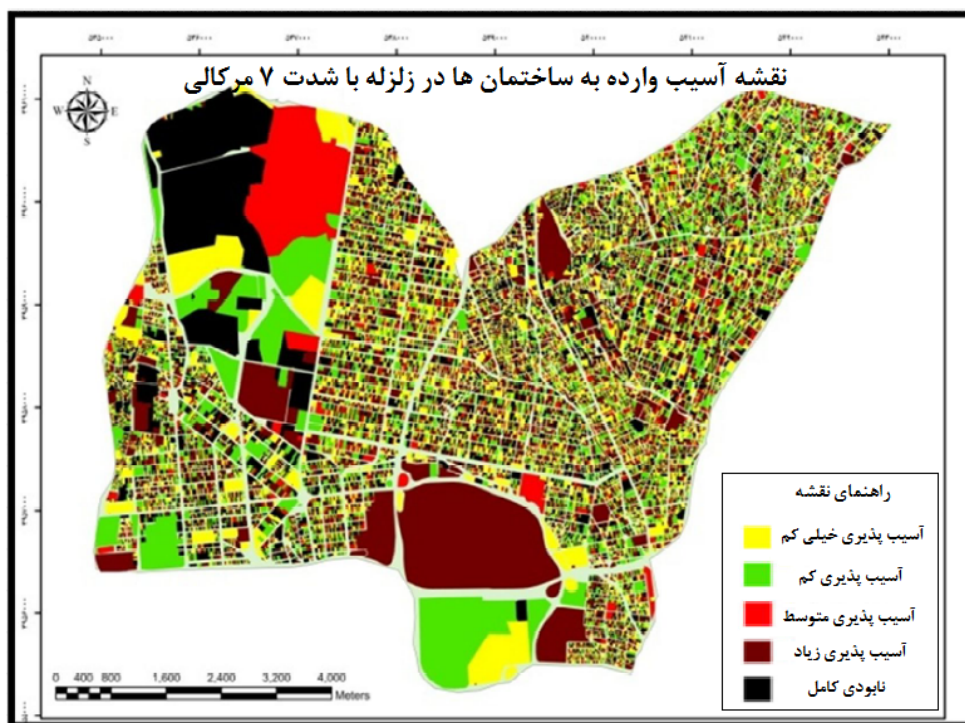


شکل ۴: نقشه‌ی آسیب وارده به ساختمان‌های منطقه ۳ شهرداری تهران در زلزله‌ی با ۶ مرکالی اصلاح شده بر اساس مدل Fuzzy AHP (برای نمایش بهتر آسیب وارده به ساختمان‌ها به جای استفاده از طیف کم رنگ تا پررنگ از رنگ‌های روشن استفاده شده است)
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۷۶

جدول ۴: توزیع آماری آسیب‌وارده به ساختمان‌های منطقه ۳ شهرداری تهران در زلزله‌ی با ۶ مرکالی اصلاح شده بر اساس مدل Fuzzy AHP

منطقه ۳		ناحیه ۶		ناحیه ۵		ناحیه ۴		ناحیه ۳		ناحیه ۲		ناحیه ۱		آسیب‌پذیری ۶ مرکالی اصلاح شده
درصد در منطقه	تعداد ساختمان	درصد در منطقه	تعداد ساختمان	درصد در منطقه	تعداد ساختمان	درصد در منطقه	تعداد ساختمان	درصد در منطقه	تعداد ساختمان	درصد در منطقه	تعداد ساختمان	درصد در منطقه	تعداد ساختمان	
۵۳/۸۸	۱۵۶۰۷	۵/۰۵	۱۴۶۵	۱۰/۸۲	۳۱۳۶	۸/۴۰	۲۴۳۶	۱۰/۹۰	۳۱۶۰	۱۱/۳۹	۳۳۰۲	۷/۲۷	۲۱۰۸	آسیب‌پذیری خیلی کم
۲۶/۷۷	۷۷۵۶	۱/۹۵	۵۶۶	۵/۳۵	۱۵۵۲	۴/۲۳	۱۲۲۷	۵/۷۳	۱۶۶۱	۵/۶۹	۱۶۵۰	۳/۷۹	۱۱۰۰	آسیب‌پذیری کم
۱۹/۰۴	۵۵۱۶	۱/۶۵	۴۷۸	۳/۹۲	۱۱۳۸	۲/۸۸	۸۳۶	۳/۷۳	۱۰۸۱	۴/۱۴	۱۲۰۲	۲/۶۹	۷۸۱	آسیب‌پذیری متوسط
۰/۰۴	۱۴	۰	-	۰/۰۱	۳	۰/۰۰۶	۲	۰/۰۱	۳	۰/۰۱	۵	۰/۰۰۳	۱	آسیب‌پذیری زیاد
۰/۲۵	۷۳	۰/۰۱	۴	۰/۰۵	۱۶	۰/۰۳	۱۱	۰/۰۵	۱۶	۰/۰۵	۱۶	۰/۰۳	۱۰	نابودی کامل
۱۰۰	۲۸۹۳۹	۸/۶۸	۲۵۱۳	۲۰/۱۰	۵۸۱۸	۱۵/۵۹	۴۵۱۲	۲۰/۴۶	۵۹۲۱	۲۱/۳۳	۶۱۷۵	۱۳/۸۲	۴۰۰۰	مجموعه

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۳۵



شکل ۵: نقشه‌ی آسیب‌پذیری ساختمان‌های منطقه ۳ شهرداری تهران در زلزله‌ی با ۷ مرکالی اصلاح شده بر اساس مدل Fuzzy AHP
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۷۰

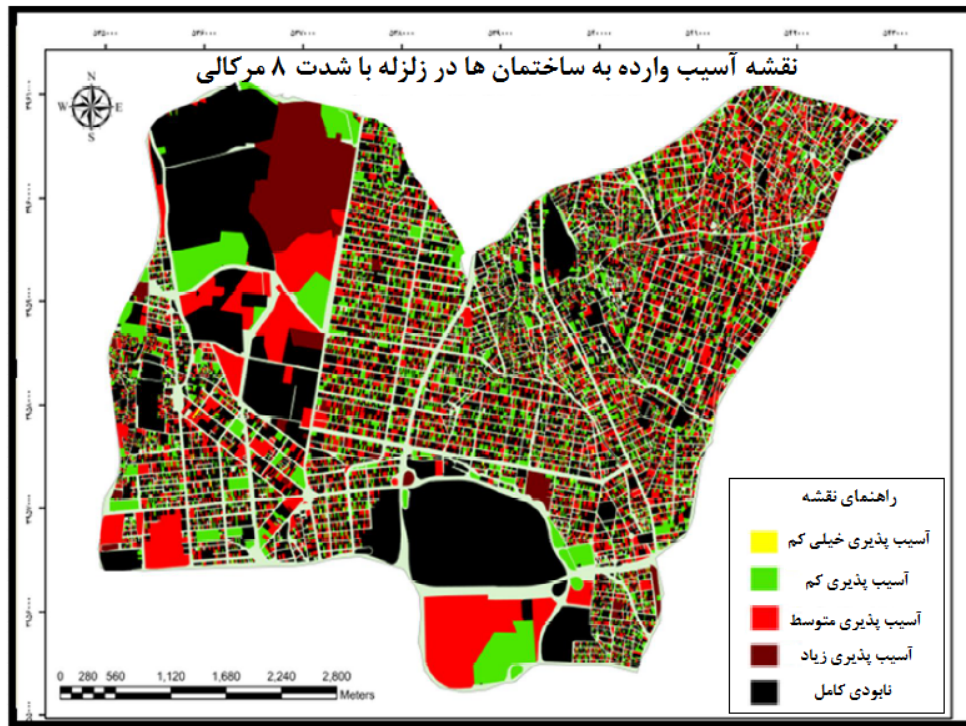
جدول ۵: توزیع آماری آسیب وارده به ساختمان‌های منطقه ۳ شهرداری تهران در زلزله‌ی با ۷ مرکالی اصلاح شده
 بر اساس مدل Fuzzy AHP

منطقه ۳	ناحیه ۶		ناحیه ۵		ناحیه ۴		ناحیه ۳		ناحیه ۲		ناحیه ۱		آسیب‌پذیری ۷ مرکالی اصلاح شده	
	تعداد منطقه	درصد در ساختمان	تعداد منطقه	درصد در ساختمان	تعداد منطقه	درصد در ساختمان	تعداد منطقه	درصد در ساختمان	تعداد منطقه	درصد در ساختمان	تعداد منطقه	درصد در ساختمان		
۲۳/۲۸	۶۷۳۷	۱/۸۵	۵۳۶	۴/۶۰	۱۳۳۴	۳/۶۷	۱۰۶۳	۴/۹۳	۱۴۲۸	۴/۹۰	۱۴۱۹	۳/۳۰	۹۵۷	آسیب‌پذیری خیلی کم
۲۱/۲۲	۶۱۴۳	۲/۱۸	۶۳۲	۴/۲۹	۱۲۴۳	۳/۳۹	۹۸۲	۴/۲۳	۱۲۲۵	۴/۲۲	۱۲۲۴	۲/۸۹	۸۳۷	آسیب‌پذیری کم
۹/۳۱	۲۶۹۵	-/۹۷	۲۸۳	۱/۸۷	۵۴۲	۱/۴۸	۴۳۱	۱/۹۲	۵۵۷	۱/۹۹	۵۷۷	۱/۰۵	۳۰۵	آسیب‌پذیری متوسط
۲۶/۴۲	۷۶۴۸	۱/۹۵	۵۶۶	۵/۲۶	۱۵۲۵	۴/۱۰	۱۱۸۷	۵/۵۶	۱۶۱۱	۵/۷۰	۱۶۵۰	۳/۸۳	۱۱۰۹	آسیب‌پذیری زیاد
۱۹/۷۵	۵۷۱۶	۱/۷۱	۴۹۶	۴/۰۵	۱۱۷۴	۲/۹۳	۸۴۹	۳/۸۰	۱۱۰۰	۴/۵۰	۱۳۰۵	۲/۷۳	۷۹۲	نابودی کامل
۱۰۰	۲۸۹۳۹	۸/۶۸	۲۵۱۳	۲۰/۱۰	۵۸۱۸	۱۵/۵۹	۴۵۱۲	۲۰/۴۶	۵۹۲۱	۲۱/۳۳	۶۱۷۵	۱۳/۸۲	۴۰۰۰	مجموعه

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۶۸

آسیب‌پذیری بالا رفته و برخی از ساختمان‌ها مقاومت خود را از دست داده و در دامنه‌ی آسیب بالاتر قرار گرفته‌اند.

توزیع آماری آسیب وارده به ساختمان‌های منطقه با زلزله ۷ مرکالی اصلاح شده، حاکی از آن است که با افزایش شدت زلزله از ۶ به ۷ مرکالی، میزان



شکل ۶: نقشه‌ی آسیب‌پذیری ساختمان‌های منطقه ۳ شهرداری تهران در زلزله‌ی با ۸ مرکالی اصلاح شده بر اساس مدل Fuzzy AHP
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

جدول ۶: توزیع آماری آسیب وارده به ساختمان‌های منطقه ۳ شهرداری تهران در زلزله‌ی با ۸ مرکالی اصلاح شده

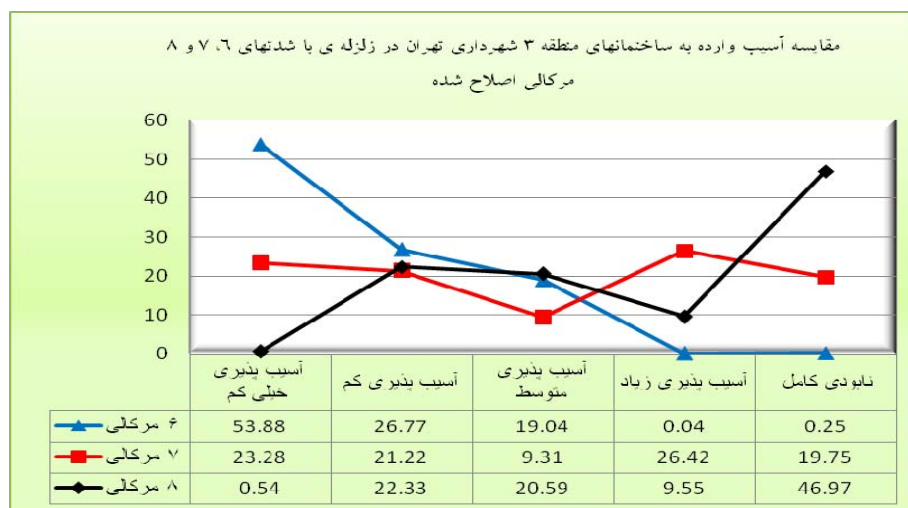
بر اساس مدل Fuzzy AHP

منطقه ۳		ناحیه ۶		ناحیه ۵		ناحیه ۴		ناحیه ۳		ناحیه ۲		ناحیه ۱		آسیب‌پذیری ۸ مرکالی اصلاح شده
درصد در منطقه	تعداد ساختمان	درصد در منطقه	تعداد ساختمان	درصد در منطقه	تعداد ساختمان	درصد در منطقه	تعداد ساختمان	درصد در منطقه	تعداد ساختمان	درصد در منطقه	تعداد ساختمان	درصد در منطقه	تعداد ساختمان	
۰/۵۴	۱۵۸	۰/۰۴	۱۲	۰/۱۱	۳۲	۰/۰۸	۲۶	۰/۱۰	۳۱	۰/۱۱	۳۳	۰/۰۷	۲۳	آسیب‌پذیری خیلی کم
۲۲/۳۳	۶۴۶۴	۱/۸۰	۵۲۳	۴/۴۹	۱۳۰۲	۳/۴۵	۱۰۰۱	۴/۵۵	۱۳۱۸	۴/۷۸	۱۳۸۶	۳/۲۲	۹۳۴	آسیب‌پذیری کم
۲۰/۵۹	۵۹۶۰	۱/۸۸	۵۴۶	۴/۰۸	۱۱۶۰	۳/۱۷	۹۱۸	۴/۰۶	۱۱۷۵	۴/۳۲	۱۲۲۴	۳/۲۳	۹۳۷	آسیب‌پذیری متوسط
۹/۸۸	۲۷۶۴	۰/۹۲	۲۶۹	۱/۸۱	۵۲۵	۱/۴۸	۴۳۱	۱/۹۲	۵۵۷	۱/۹۹	۵۷۷	۱/۳۹	۴۰۵	آسیب‌پذیری زیاد
۴۶/۹۷	۱۳۵۹۳	۴/۰۱	۱۱۶۲	۹/۶۷	۲۷۹۹	۷/۳۸	۲۱۳۶	۹/۸۱	۲۸۴۰	۱۰/۲۱	۲۹۵۵	۵/۸۷	۱۷۰۱	نابودی کامل
۱۰۰	۲۸۹۳۹	۸/۶۸	۲۵۱۳	۲۰/۱۰	۵۸۱۸	۱۵/۵۹	۴۵۱۲	۲۰/۴۶	۵۹۳۱	۲۱/۳۳	۶۱۷۵	۱۳/۸۲	۴۰۰۰	مجموعه

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۴۵

از ساختمان‌های منطقه آسیب می‌بیند و در کدام دامنه آسیب‌پذیری قرار می‌گیرند. شکل زیر مقایسه‌ی میزان آسیب وارده به ساختمان‌های منطقه ۳ شهرداری تهران را در سه شدت مختلف زلزله ۶، ۷ و ۸ مرکالی نشان می‌دهد.

ارزیابی آسیب وارده به ساختمان‌ها در شدت‌های مختلف زلزله زمانی واضح‌تر است، که بتوان تعداد ساختمان‌های آسیب دیده در سناریوهای طراحی شده با شدت‌های مختلف زلزله را بیان کنیم. به این معنا که در شدت‌های مختلف زلزله چه تعداد و چند درصد



شکل ۷: نمودار مقایسه‌ی آسیب وارده به ساختمان‌های منطقه ۳ شهرداری تهران در زلزله‌ی با شدت‌های ۶، ۷ و ۸ مرکالی اصلاح شده
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۷۷

نتایج جدول آسیب‌پذیری کلی منطقه بر اساس نظرات کارشناسان نشان می‌دهد که ۲۷/۶۵ درصد از ساختمان‌های شهری با آسیب‌پذیری خیلی کمتر روبه رو هستند، بیشترین تعداد این ساختمان‌ها در نواحی ۲، ۳ و ۵ شهرداری منطقه است که بیشتر نوع اسکلت فلزی دارند. ۲۷/۳۶ درصد ساختمان‌های منطقه در طبقه آسیب‌پذیری کم قرار گرفته‌اند. بیشترین فراوانی این گروه از ساختمان‌ها در نواحی ۲، ۳ و ۵ شهرداری منطقه قرار دارد. در گروه آسیب‌پذیری متوسط که ۳۰/۰۲ درصد ساختمان‌های منطقه را شامل می‌شود، بیشترین تعداد را در نواحی ۲، ۳ و ۵ شهرداری هستند. با توجه به مطالب بیان شده بیشترین سازه‌های مقاوم منطقه ۳ شهر تهران در برابر زلزله در نواحی ۲، ۳ و ۵ شهرداری منطقه قرار دارند. ۱۴/۷۳ درصد

نتیجه

در پژوهش حاضر ده مؤلفه‌ی مهم و مؤثر در آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری با توجه به خصوصیات منطقه‌ی مورد مطالعه، که شامل ۶ شاخص از عوامل درونی (نوع مصالح ساختمانی، قدمت بنا، کیفیت بنا، مساحت همکف، تعداد طبقات و جنس خاک) و ۴ شاخص از عوامل بیرونی (سازگاری کاربری‌ها، مسیر قنات‌ها، خطوط گسل و عرض معابر) در ترکیب با هم برای بیان میزان آسیب‌پذیری منطقه در برابر زلزله مورد توجه قرار گرفت. نتایج نقشه آسیب‌پذیری حاصل از وزن‌گذاری شاخص‌های و طراحی سناریوهای زلزله در شدت‌های ۶، ۷ و ۸ مرکالی اصلاح شده نشان داد:

درصد از ساختمان‌ها در سه دامنه‌ی آسیب‌پذیری خیلی کم، کم و متوسط به این دو دامنه صعود کرده‌اند.

توزیع آماری جدول ۶ نشان می‌دهد که با افزایش شدت زلزله از ۷ مرکالی به ۸ مرکالی، شدت تخریب بسیار بالا رفته، به طوری که فقط ۰/۵۴ درصد ساختمان‌های منطقه در دامنه‌ی آسیب‌پذیری ۰،۲ - ۰ قرار دارند. ۲۲/۳۳ درصد ساختمان‌های در طبقه آسیب‌پذیری کم هستند. ۲۰/۵۹ درصد ساختمان‌های منطقه در دامنه‌ی آسیب‌پذیری متوسط قرار گرفته‌اند. با توجه توزیع آماری ۴۳/۴۶ درصد ساختمان‌های منطقه در سه طبقه‌ی آسیب‌پذیری خیلی کم، کم و متوسط قرار دارند، این فراوانی در تعداد ساختمان‌ها به دلیل برخورداری از مصالح مقاوم در ساخت و ساز و رعایت استانداردهای رایج در کشور از جمله آیین‌نامه ۲۸۰۰ است. دو طبقه آسیب‌پذیری زیاد و نابودی کامل به ترتیب ۹/۵۵ و ۴۶/۹۷ درصد ساختمان‌های منطقه را به خود اختصاص داده‌اند. بیشترین تعداد این ساختمان‌ها در سه ناحیه‌ی ۲، ۳ و ۵ شهرداری منطقه قرار دارند. بیشترین آسیب‌پذیری منطقه در ناحیه‌ی ۲ شهرداری در قسمت محله زرگنده که دارای بافتی روستایی با معابری بسیار تنگ و ساختمان‌هایی با مصالح خشت و گل یا آجر و سیمان مشاهده می‌شود. نمودار شدت‌های مختلف زلزله حاکی از آن دارد، که در شدت ۶ مرکالی اصلاح شده، دامنه‌ی آسیب‌پذیری ۰/۲ - ۰/۱۰ بیشترین فراوانی را دارد، به طوری که هر چه دامنه آسیب‌پذیری بالاتر رفته نمودار میزان آسیب‌پذیری حالت نزولی به خود گرفته است. توزیع آماری میزان آسیب‌پذیری در زلزله ۶ مرکالی نشان می‌دهد، که از دامنه‌ی آسیب‌پذیری متوسط (۰/۴-۰/۶) به بعد میزان آسیب‌پذیری بسیار کاهش می‌یابد، این امر بیشتر به دلیل شدت پایین زلزله است. در شدت ۶ مرکالی اصلاح شده اکثراً

ساختمان‌های منطقه در رنج آسیب‌پذیری زیاد قرار دارند، بیشترین تعداد آن در ناحیه‌ی ۳ در محله رستم‌آباد، و در ناحیه‌ی ۵ شهرداری در محله چالهرز که بافتی سنتی دارد وجود دارند. ساختمان‌هایی که بسیار آسیب‌پذیر هستند ۰/۲۱ درصد ساختمان‌های منطقه را تشکیل داده‌اند، که اکثراً اسکلت خشت و گلی در دو محله ده ونک و زرگنده پراکنده شده‌اند.

آسیب‌پذیری منطقه‌ی مورد مطالعه در زلزله‌ی با شدت ۶ مرکالی اصلاح شده، حاکی از آن است که ۵۳/۸۸ درصد ساختمان‌های در زلزله با شدت ۶ مرکالی آسیب‌پذیری خیلی کمتری مواجه هستند. بیشترین تعداد این ساختمان‌ها در ناحیه ۲ شهرداری منطقه در قسمت شرقی محله زرگنده، در ناحیه ۳ شهرداری منطقه در قسمت شمال غربی محله اختیاریه و در ناحیه ۵ شهرداری منطقه در قسمت‌های شمال شرقی محله احتشامیه به ترتیب با ۱۱/۳۹، ۱۰/۹۰ و ۱۰/۸۲ درصد قرار دارند. ۲۶/۷۷ درصد ساختمان‌های منطقه در طبقه‌ی دوم با دامنه آسیب ۰،۴ - ۰،۲ قرار دارند. ۱۹/۰۴ درصد ساختمان‌های منطقه در دامنه آسیب‌پذیری ۰،۶ - ۰،۴ قرار دارند، که بیشترین تعداد آن در ناحیه ۲ منطقه در قسمت شمال و غرب محله امانی قرار دارد. دو طبقه آسیب‌پذیری زیاد و نابودی کامل که به ترتیب ۰،۰۴ و ۰،۲۵ درصد ساختمان‌های منطقه را به خود اختصاص داده‌اند، بیشتر از نوع مصالح خشت و گل و چوب هستند.

نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که ۲۳/۲۸ درصد ساختمان‌های منطقه در دامنه‌ی آسیب خیلی کم قرار دارند. که بیشترین تعداد آن در نواحی ۲، ۳ و ۵ شهرداری منطقه می‌باشد. ۲۱/۲۲ درصد ساختمان‌های منطقه در طبقه‌ی آسیب‌پذیری کم قرار دارند. آنچه در جدول بالا حائز اهمیت است، افزایشی است که در تعداد ساختمان‌ها در دامنه‌ی آسیب زیاد و نابودی کامل صورت گرفته است که نشان می‌دهد ۴۵/۸۸

آسیب متوسط، ۲۶/۴۲ درصد ساختمان‌ها آسیب زیاد و ۱۹/۷۵ درصد ساختمان‌ها در طبقه نابودی کامل قرار می‌گیرند.

۳- میزان آسیب وارده به ساختمان‌ها، در سناریوی ۸ مرکالی اصلاح شده نشان می‌دهد که ۰/۵۴ درصد ساختمان‌های آسیب خیلی کم، ۲۲/۳۳ درصد ساختمان‌ها آسیب کم، ۲۰/۵۹ درصد ساختمان‌ها آسیب متوسط، ۹/۵۵ درصد ساختمان‌ها آسیب زیاد و ۴۶/۹۷ درصد ساختمان‌ها با نابودی کامل روبه‌رو می‌شوند.

۴- بالاترین میزان آسیب وارده به ساختمان‌ها بر اساس تعداد ساختمان‌های آسیب‌دیده به ترتیب در نواحی شهرداری ۲، ۳، ۵، ۴، ۱ و ۶ می‌باشد.

پیشنهادها

بر اساس نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود:

۱- ایجاد بانک اطلاعاتی ساختمان‌ها، تأسیسات، پل‌ها، معابر، مراکز گاز، برق، آب، مخابرات و کلیه مراکز صنعتی، شیمیایی و غیر شیمیایی خطرناک منطقه مورد مطالعه و شهر تهران از سوی سازمان‌های متولی، تا بتوان با دسترسی به این اطلاعات میزان آسیب‌پذیری شهرهای مناطق مختلف کشور مورد ارزیابی قرار داد.

۲- تصویب سیاست‌های آموزشی، تبلیغاتی و اطلاع‌رسانی به مردم در میزان آسیب‌پذیری اماکن مسکونی و محیط زندگی آن‌ها در راستای ایجاد انگیزه برای بازسازی و مقاوم‌سازی این مناطق در جهت کاهش آسیب‌پذیری ناشی از مخاطرات محیطی.

۳- توسعه‌ی مدل‌های تحلیلی برای ارزیابی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله و تهیه‌ی نقشه‌های آسیب‌پذیری برای مناطق زلزله‌خیز کشور در جهت هدایت اقدامات ساماندهی و برنامه‌ریزی در زمینه‌ی کاهش آسیب‌پذیری این مناطق.

ساختمان‌هایی در دو طبقه‌ی آسیب‌پذیری زیاد و نابودی کامل قرار گرفته‌اند که معمولاً نوع مصالح مورد استفاده در ساخت و ساز آن‌ها از جنس خشت و گل یا گل و چوب بودند. افزایش شدت زلزله به ۷ مرکالی، موجب شده است میزان آسیب‌پذیری در دو دامنه آسیب‌پذیری زیاد و نابودی کامل به ترتیب ۲۶/۳۸ و ۱۹/۵۰ درصد افزایش یابد. نمودار شدت ۷ مرکالی نشان می‌دهد توزیع میزان آسیب در دامنه‌های مختلف آسیب‌پذیری بجز در دامنه‌ی آسیب‌پذیری متوسط، تقریباً به صورت نرمال توزیع شده است. نمودار آسیب‌پذیری در شدت ۸ مرکالی حاکی از افزایش صعودی نمودار میزان آسیب‌پذیری در دامنه‌ی تخریب کامل دارد. بر این اساس در صورت مواجهه با زلزله‌ی ۸ مرکالی، ۴۶/۹۷ درصد ساختمان‌های منطقه به صورت کامل تخریب خواهند شد. ۹/۲۲ درصد ساختمان‌ها آسیب بسیار سنگین خواهند دید. ۲۰/۵۹ درصد ساختمان‌ها با آسیب جدی روبه‌رو خواهند شد، ۲۲/۸۷ درصد ساختمان‌های منطقه دارای آسیب کم یا جزئی خواهند بود که بیشتر این گروه از ساختمان‌ها واحدهای تجاری و یا ساختمان‌هایی نوسازی که در اکثر موارد اسکلت فلزی دارند، و اصول مهندسی و استانداردهای رایج در آیین‌نامه ۲۸۰۰ در ساخت و ساز این سازه‌ها رعایت شده است. در نهایت:

۱- میزان آسیب وارده به ساختمان‌ها، در سناریوی ۶ مرکالی اصلاح شده نشان می‌دهد که ۵۳/۸۸ درصد ساختمان‌های آسیب خیلی کم، ۲۶/۷۷ درصد ساختمان‌ها آسیب کم، ۱۹/۰۴ درصد ساختمان‌ها آسیب متوسط، ۰/۰۴ درصد ساختمان‌ها آسیب زیاد و ۰/۲۵ درصد ساختمان‌ها با نابودی کامل مواجه می‌شوند.

۲- میزان آسیب وارده به ساختمان‌ها، در سناریوی ۷ مرکالی اصلاح شده نشان می‌دهد که ۲۳/۲۸ درصد ساختمان‌های آسیب خیلی کم، ۲۱/۲۲ درصد ساختمان‌ها آسیب کم، ۹/۳۱ درصد ساختمان‌ها

منابع

- عشقی چهاربرج، علی (۱۳۹۰). ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر با مدل Fuzzy AHP به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS، نمونه موردی: منطقه‌ی ۳ شهرداری تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. به راهنمایی علی شماعی، سیدموسی پورموسوی. دانشکده علوم جغرافیایی. تهران. دانشگاه خوارزمی.
- مهندسین مشاور شاران (۱۳۸۴). مطالعات الگوی توسعه منطقه ۳، مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران (نهاد مشترک مسؤول تهیه طرح‌های جامع و تفصیلی شهر تهران).
- Cutter, S. L., Mitchell, J. T. and Scott, M. S. (2000). "Revealing the Vulnerability of People and Places: A Case Study of Georgetown County, South Carolina." *Annals of the Association of American Geographers* 90(4).
- Cutter, S. and Emrich, C (2006). *Moral Hazard, Social Catastrophe: The Changing Face of Vulnerability Along the Hurricane Coasts*, *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 604.
- Boughton, G (1998). *The community: central to emergency risk management*, *Australian Journal of Emergency Management*.
- Ford J (2002). (Vulnerability: Concepts and issues; A literature Review of the Concept of Vulnerability, its Definition and Application in Studies Dealing With Human- Environment Interactions) part of PhD Scholarly Field Paper For course Geog*6100, University of Guelph.
- Giovinazzi, S., Lagomarsino, S., & Pampanin, S (2006). *Vulnerability Methods and Damage Scenario for Seismic Risk Analysis as Support to Retrofit Strategies: a European Perspective*, NZSEE Conference.
- Hewitt, K. and Burton, I (1971). *The hazardousness of place: a regional ecology of damaging events*. University of Toronto Press, Research Publication.
- Hewitt, K (1995). "Excluded perspectives in the social construction of disaster." *International Journal of Mass Emergencies and Disasters* 13(3).
- Kreimer, A.; Aronohd, A and Carlin, A (2003). *Building Safer cities, The Future of disaster risk management series, Vol. 3*, The Worldbank.
- احدنژاد، محسن (۱۳۸۸). مدل‌سازی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله مطالعه موردی شهر زنجان، رساله دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری. دانشگاه تهران.
- آژانس همکاری بین‌المللی ژاپن (جایکا) و مرکز مطالعات زلزله و زیست محیط تهران بزرگ (۱۳۸۰). مطالعه ریزه‌پهنه‌بندی لرزه‌ای تهران بزرگ، شهرداری تهران.
- آقاپاھر، رضا؛ محمودرضا دلور؛ نصرالله کمالیان (۱۳۸۵). وزن‌دهی فاکتورهای مؤثر در آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر تهران، نشریه دانشکده فنی. جلد ۴۰. شماره ۸. دانشگاه تهران.
- آيسان، یاسمین؛ یان دیویس (۱۳۸۲). معماری و برنامه‌ریزی بازسازی، ترجمه علیرضا فلاحی. ناشر مرکز چاپ و انتشارات دانشگاه شهید بهشتی. تهران.
- پورمحمدی، محمدرضا؛ علی مصیب‌زاده (۱۳۸۷). آسیب‌پذیری شهرهای ایران در برابر زلزله و نقش مشارکت محله‌ای در امدادسانی آن‌ها، مجله جغرافیا و توسعه. شماره ۱۲.
- زنگی‌آبادی، علی؛ جمال محمدی؛ همایون صفایی؛ صفر قائدرحمتی (۱۳۸۷). تحلیل شاخص‌های آسیب‌پذیری مساکن شهری در برابر خطر زلزله (نمونه موردی: مساکن شهر اصفهان)، جغرافیا و توسعه. شماره ۱۲.
- ستوده، بابک (۱۳۸۰). برنامه‌ریزی کاربری زمین و اصلاح معابر جهت ایمن‌سازی در برابر زلزله (نمونه موردی محله باغ فردوس شهرداری منطقه ۱ شهر تهران)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران.
- سیلاوی، طلوع (۱۳۸۴). ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر تهران با به‌کارگیری مدل‌های فازی شهودی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد GIS. دانشگاه تهران.
- عزیزی، محمد مهدی؛ رضا اکبری (۱۳۸۷). ملاحظات شهرسازی در سنجش آسیب‌پذیری شهرها از زلزله، نشریه هنرهای زیبا. شماره ۳۴.

- USAID (2006). Making cities work: USAID's urban strategy, an Initiative Launched by the Administrator and prepared by the Urbanization task force.
- Van Westen, C (2006). Geoinformation Science Earth Observation for municipal risk management; The SLARLM project, International Institute for Geoinformation Science and Earth Observation, ITC, P.O. Box 6, 7500 AA Ensched, The Netherlands.
- Weichselgartner, Juergen (2001). "Disaster mitigation: the concept of vulnerability revisited"; Disaster Prevention and Management, 10 (2).
- Wisner, B (2005). Tracking Vulnerability: History, Use, Potential and Limitations of a Concept, Invited Keynote Address, SIDA & Stockholm University, Research Conference, January 12-14.
- Yamin F., Rahman A., Huq S (2005). "Vulnerability, Adaptation and Climate Disasters: A Conceptual overview; IDS Institute of Development Studies Bulletin, Vol.36, No. 4, October 2005.
- Lantada, N., Pujades, L., & Barbat, A (2008). Vulnerability index and capacity spectrum based methods for urban seismic risk evaluation. A comparison, Nat Hazards 51.
- Milutinovic Zoran V, Trendafiloski Goran S (2003). an Advanced Approach to Earthquake Risk Scenarios with Applications to Different European Towns, Riskue- Evk4-ct 2000-00014.
- Rashed. T, Weeks. J, Couclelis. H ,Herold. M (2007). an integrative GIS and remote sensing model for place-based urban vulnerability analysis.
- Rashed T, WEEKS John (2003). Assessing vulnerability to Earthquake hazards thorough spatial Multi criteria analysis of urban arras, Geographical information Science, Voll 7.
- Stonich S.; The human dimensions of climate change: The political ecology of vulnerability, <http://www.isodarco.it/courses/candriai01/paper/candriai01stonich.html> ,2000.
- UNDP (2004). Reducing Disaster Risk, A Challenge for Development.