پژوهش‌های جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری، دورهٔ ۱، شمارهٔ ۱، زمستان ۱۳۹۲
ص ۱۱۵-۱۲۹

ارزیابی آسیب‌پذیری فیزیکی بافت‌های شهری در برابر زلزله در روش RADIUS (نمونهٔ موردی: منطقهٔ ۳ شهرداری شیراز)

پریسا مشک‌ساز* ـ دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
حسن ایزدی ـ استادیار بخش شهرسازی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
علی سلطانی ـ دانشیار بخش شهرسازی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
محمدرضا بذرگر ـ استادیار بخش شهرسازی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۶/۲۴ تأیید مقاله: ۱۳۹۳/۱/۱۹

چکیده

کشور ایران به علت موقعیت جغرافیایی خود (قرارگیری روی کمربند زلزلهٔ آلپ - هیمالیا) به‌طور مکرر با وقوع سوانح طبیعی، به‌ویژه زلزله مواجه بوده است. به دلیل شدت یافتن روند گسترش شهرها و تمرکز جمعیت و سرمایه در آنها، اهمیت خطر زلزله در کشور ما بیشتر شده است. شیراز - مهم‌ترین شهر جنوب کشور- به‌دلیل وجود چندین گسل فعال در اطراف و درون آن، ریسک بالایی در برابر خطر زلزله دارد. شناسایی میزان آسیب‌پذیری اجزا و عناصر شهری با استفاده از مدل‌ها و روش‌های موجود اولین گام در این زمینه است. با توجه به اهمیت موضوع ارزیابی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله در مباحث مربوط به برنامه‌ریزی شهری، در این مقاله سعی شده است با به‌کارگیری روش RADIUS با استفاده از شاخص‌هایی چون جنس خاک منطقه، فاصله از گسل و... برآورد مناسبی از آسیب‌پذیری منطقهٔ ۳ شهرداری شیراز در برابر زلزله ارائه شود. بعد از تحلیل‌های انجام گرفته، مشخص گردید که ناحیهٔ ذکرشده با در نظر گرفتن این عوامل آسیب‌پذیری زیادی در برابر زلزله دارد. به‌طوری که در صورت وقوع زلزله‌ای با بزرگی ۷/۴ ریشتر بیش از یک‌سوم بناهای منطقه تخریب خواهد شد و حدود ۳۷۰۰ نفر کشته و ۳۰۵۰۸ زخمی بر جا خواهد ماند. این مطالعه نشان می‌دهد بافت ارگانیک، شبکهٔ ارتباطی نامنظم و نبود تجهیزات شهری مناسب، آسیب‌پذیری شهرها را در برابر زلزله افزایش می‌دهد. به این ترتیب، از نتایج این ارزیابی می‌توان در پیش‌بینی برنامه‌های مدیریتی و شهری برای کاهش آسیب‌ها و تلفات استفاده کرد.

کلیدواژه‌ها: آسیب‌پذیری، زلزله، روش RADIUS، منطقهٔ ۳ شهرداری شیراز.

نویسندهٔ مسئول: ۰۹۱۷۷۱۳۸۱۰۱ و ۰۷۱۱۸۳۹۰۷۶۰
* E- mail: pr.moshksar.25@gmail.com

۱. طرح مسئله

امروزه نزدیک به ۲۰ درصد جمعیت جهان در مناطق زلزله‌خیز فعال زندگی می‌کنند و در طول ۵۰ سال آتی، نیمی از شهرنشینان در ۵۰ شهر از بزرگ‌ترین شهرهای جهان در ۲۰۰ کیلومتری گسل‌هایی که زلزله‌هایی با بزرگی ۷ ریشتر و بیشتر تولید می‌کنند، ساکن خواهند شد. ۹۰ درصد افراد در معرض خطر، در کشورهای درحال‌توسعه زندگی می‌کنند (Altan et al., 2004: 83).

همان‌گونه که مطرح شد، تلفات ناشی از زلزله‌های اخیر در نواحی شهری زیاد بوده و هشتاد درصد از تلفات جانی ناشی از این زلزله‌ها در ۶ کشور چین، ایران، پرو، شوروی سابق، گواتمالا و ترکیه بوده است. رشد سریع شهرهای جهان چنین بحران‌هایی را دردناک‌تر و فراوان می‌کند (احدنژاد روشتی و جلیل پور، ۱۳۹۰: ۱).

ازآنجاکه حدود ۷۰ درصد سرزمین ایران در معرض خطر زلزله قرار دارد، زمین‌لرزه یکی از اصلی‌ترین خطرها به‌شمار می‌رود. از ابتدای قرن بیستم تا قرن حاضر ۲۰ زلزله به بزرگی ۷ ریشتر در سطح ایران به وقوع پیوسته است؛ یعنی به‌طور متوسط هر ۵ سال یک زلزلهٔ بسیار مخرب رخ داده است (ایری، ۱۳۷۸: ۱). زلزله، عاملی طبیعی است که آثار بلندمدت اجتماعی و اقتصادی بر محیط پیرامون خود می‌گذارد (علوی و مسعود، ۱۳۸۹: ۳). ماهیت پیچیده و متغیر این آثار را می‌توان به ماهیت متغیر توزیع خطر (به‌ویژه شدت لرزش)، تعداد جمعیت در معرض خطر، آسیب‌پذیری محیط مصنوع و میزان مقاومت جوامع نسبت داد (Wald et al., 2011: 125). این مطالب نشان‌دهندهٔ این است که طی هشتاد سال اخیر بخش عمده‌ای از کشورمان متحمل خسارات سنگین شده است. بیشتر خسارات فیزیکی و اقتصادی چنین حوادثی نتیجهٔ نبود برنامه‌ریزی و ضعف در استانداردهای ساختمانی و زیرساخت‌ها است (Linares- Rivas, 2012:1). البته زلزله به عنوان یک پدیدهٔ طبیعی به خودی خود نتایج نامطلوبی در پی ندارد و آنچه از این پدیده فاجعه می‌سازد، نبود آمادگی برای مقابله با آن و پیشگیری از عواقب زیان‌باری است که به بار می‌آورد. بنابراین، ضروری‌ترین اقدامات به‌کارگیری اصول مدیریت بحران است. این فرایند با تکیه بر اصول مدیریت، برنامه‌ریزی، سازمان‌دهی، رهبری، نظارت و هماهنگی مهم‌ترین بحث در استراتژی کاهش آثار زلزله است. بنابراین جا دارد برنامه‌ریزان شهری کشور ما قبل از احداث هر سکونتگاهی، این مهم را مد نظر داشته باشند تا از خسارات جانی و مالی جلوگیری شود. با وجود ناشناخته بودن زمان وقوع زلزله، با شناخت نحوهٔ عمل و رفتار زلزله در مناطق شهری و به‌کارگیری راهبردهای مناسب در زمینهٔ برنامه‌های منطقه‌ای، برنامه‌ریزی و طراحی شهری، می‌توان خطر زلزله را در مناطق شهری به کم‌ترین میزان کاهش داد (امینی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱). بدین منظور باید ابزارهایی با توجه به زلزله‌خیزی منطقه، شرایط خاک و ویژگی‌های ساختاری ساختمان‌ها برای شناسایی آسیب‌پذیری مناطق شهری با توجه به آثار زلزله‌های بزرگ تهیه گردد (Estrada et al., 2012: 1695)؛ زیرا تغییر شرایط اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیست انسان‌ها می‌تواند آثار آیندهٔ زلزله‌ها بر جمعیت را تغییر دهد (Daniell & Love, 2010: 2).

شهر شیراز به عنوان بزرگ‌ترین شهر منطقهٔ جنوب غربی کشور که بر سر راه‌های ترانزیتی کشور واقع شده است، به عنوان مهم‌ترین مرکز سیاسی، اداری و جمعیتی استان فارس، همواره از رشد بالای جمعیتی و اثر مهاجرت شایان توجه برخوردار بوده است. با توجه به تعداد بسیار زیاد گسل‌ها (گسل زرقان، سلطان، بیدزرد، قلات، بزین) در سطح استان فارس

و سوابق تاریخی فعالیت این گسل‌ها می‌توان به این نکته پی برد که امکان وقـوع زلزلـه‌ای عظـیم در شـیراز وجـود دارد. آمارها نشان‌دهندهٔ حداقل ۱۶ زلزلهٔ بزرگ در محدودهٔ شیراز بین سال‌های ۱۲۹۱ تا ۱۸۹۴ میلادی است که بزرگـی آنهـا بین ۵/۹ تا ۷/۱ بوده است. در سوابق تاریخی شیراز زلزله‌های بزرگی مانند زلزلـهٔ ۱۵۰۶ مـیلادی شـیراز، ۱۶۲۳ مـیلادی مرودشت و شیراز، ۱۷۸۴، ۱۸۱۲، ۱۸۵۳، ۱۸۶۲ و ۱۸۹۴ میلادی مرودشت شیراز ثبت شده است. بررسی‌هـا گویـای ایـن مطلب‌اند که از سال ۱۹۲۵میلادی به بعد، تقریباً هر ۲۰ سال یک بار زلزلـه‌ای بـا بزرگـی ۵/۵ – ۵/۷ در منطقـه رخ داده است. طی ۹۰۰ سال اخیر بخش بزرگی از شهر شیراز حدود ۵ بار آسیب دیده است (مهندسان مـشاور مـآب، ۱۳۸۲: ۲۵). بنابراین تعیین نقاط آسیب‌پذیر منطقهٔ ۳ شهرداری شیراز و میزان تخریب کالبدی ناشی از وقوع زلزلـه‌ای بـا بزرگـی ۷/۴ ریشتر و تعیین میزان تلفات انسانی ناشی از وقوع زلزله از اهداف این تحقیق است.

۲. مفاهیم، دیدگاه‌ها و مبانی نظری

۲. ۱. مدیریت بحران و آسیب‌پذیری زلزله در شهرها

به فاجعه یا رویداد ناگوار یا مصیبتی که در هر منطقه‌ای اتفاق می‌افتد، منشأ انسانی یا طبیعی دارد یا بـر اثـر تـصادف یـا غفلت به‌وجود می‌آید و موجب تلفات جانی یا خسارت و تنزل محیط می‌شود، بحـران مـی‌گوینـد[1] (NDMAGI, 2007: 18). مدیریت بحران مبتنی بر چرخه‌ای است که از آن با عنوان چرخهٔ مدیریت بحران نام می‌برند که خـود چهـار مرحلـه (کاهش آثار، آمادگی، مقابله و بازگشت به حالت عادی و بازسازی) دارد و مطابق آن کاهش آسیب‌پذیری بخشی از مرحلهٔ کاهش آثار و مرحلهٔ آمادگی است (Cova, 1999: 847).

به‌طور کلی، آسیب‌پذیری به شرایطی اطلاق می‌شود که به واسطهٔ عوامل فیزیکی، اجتمـاعی، اقتـصادی و زیـست – محیطی تعیین و قابلیت تأثیرپذیری جوامع را در برابر صدمات ناشی از وقوع خطرات بالا مـی‌بـرد (NDMAGI, 2007: 18). درجهٔ آسیب‌پذیری با عواملی مانند وضعیت اجتماعی – اقتصادی، ثروت، قومیت، جنسیت، سن و توانایی افراد تعریف می‌شود. آسیب‌پذیری یکی از پارامترهای اصلی در مطالعات برآورد خسارت است. بـرآورد خـسارت ابـزاری کارآمـد بـرای گسترش برنامهٔ آمادگی و کاهش خطـر زلزلـه اسـت. ایـن مطالعـه بایـد پـیش از وقـوع زلزلـه انجـام گیـرد. در مبحـث آسیب‌پذیری، بیشترین توجه مربوط به بخش ساختمان است (Altan et al., 2004: 83-85). بنابراین، یکی از مهم‌ترین اقدامات برای کاهش آسیب‌پذیری در برابر زلزله مقاوم‌سازی ساختمان‌ها است.

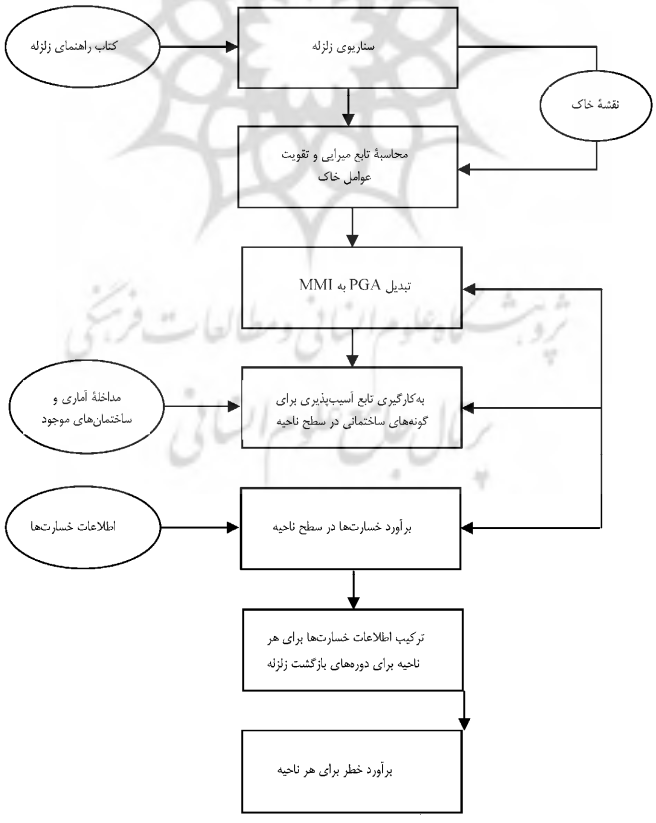
مبانی نظری در مقاوم‌سازی شهرها در مقابل زلزله بسیار کم است. در طرح‌های توسعه و عمران شهری چند رویکـرد متفاوت برای مقاوم‌سازی شهری اتخاذ شده است: دستهٔ اول، بیشترین اهمیت را به کنترل اندازهٔ شهرها به لحـاظ تـراکم ساختمانی، جمعیتی و مکان‌یابی فعالیت‌های مخاطره‌آمیز می‌دهد. دستهٔ دوم، طراحی مقاوم سازه‌ها و عناصر فیزیکی شهر را مهم‌ترین موضوع می‌داند. دستهٔ سوم به بحث دربارهٔ توزیع مناسب حرکت جمعیت شهری در شبکه‌هـا و عـدم تمرکـز فعالیت‌ها در یک مرکز و توزیع آن در مراکز مختلف برای کاهش ضرایب آسیب‌پذیری می‌پردازد. دستهٔ چهارم، به دنبـال

1. National Disaster Management Authority Government of India

بررسی عوامل و مشخصات بافت شهری، مانند الگو و اندازهٔ قطعه‌بندی اراضی پر و خالی درون هر قطعه و هم‌جواری ساختمان‌ها و راه‌ها، مشخصات فیزیکی راه‌ها چون عرض راه و درجهٔ محصور بودن آن، که از عوامل آسیب‌پذیری بافت شهری است، و بهینه‌سازی عوامل ذکر شده است (ستوده، ۱۳۸۰: ۱۰-۱۱). بنابراین، این تحقیق بیشتر از رویکرد نخست استفاده کرده است.

۲.۲. مدل به‌کاررفته

در دههٔ کاهش بلایای طبیعی (۱۹۹۷) سازمان بین‌المللی مخاطرات زمین در آمریکا پروژهٔ RADIUS را برای تخمین میزان خسارات ناشی از زلزله طراحی کرد. هدف اولیهٔ این روش فراهم کردن ابزاری ساده برای ارزیابی خطر زلزله، به منظور کاهش آن در مناطق شهری و به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه است. این روش خطر را در سطح ناحیه محاسبه می‌کند. بیشتر تکنیک‌ها و روش‌های مدیریت بحران در کشورهای صنعتی گسترش یافته‌اند. به همین دلیل نمی‌توانند مستقیماً در کشورهای درحال‌توسعه بهره‌برداری شوند (Gulati, 2006: 21). این رویکرد با اصلاحات انجام گرفته، به‌صورت یک نرم‌افزار تخمین خسارت و تهیه و تدوین سناریوی زلزله به کار رفت. این مدل در برنامه‌های اطلاع‌رسانی و آگاه‌سازی همهٔ ذی‌نفعان در شهر کاربرد دارد.



شکل ۱. چارچوب روش RADIUS

منبع: Westen et al., 2004: 10

یکی از اهداف عمدهٔ این پروژه توسعهٔ ابزار تجربی برای مدیریت ریسک شهر بود. روش RADIUS در فرایند تخریب ساختمان‌ها، تعیین سناریوی زلزله، محاسبهٔ میرایی با استفاده از تابع، محاسبهٔ تقویت‌کنندگی ناشی از شرایط محلی خاک با استفاده از نقشهٔ خاک، تبدیل PGA به شدت مرکالی اصلاح‌شده، به‌کارگیری تابع آسیب‌پذیری برای انواع ساختمان، به‌کارگیری تابع آسیب‌پذیری برای انواع زیرساخت‌ها، به‌کارگیری تابع آسیب‌پذیری برای تلفات را مد نظر قرار می‌دهد (امینی و همکاران، ۱۳۹۰: ۲۹). در شکل ۱ چارچوب روش RADIUS مشخص شده است.

یکی از مهم‌ترین مزیت‌های مدل RADIUS این است که تمام روابط و توابع استفاده‌شده در برنامه به‌صورت مشخص نشان داده شده و در دسترس است و در صورت نیاز، تغییر و بومی‌سازی آنها بر اساس توابع موجود درکشور امکان‌پذیر است (امینی و همکاران، ۱۳۹۰: ۲۹). از دیگر مزایای این روش می‌توان به بهینه‌سازی زمان و منابع لازم برای برآورد خسارات، تهیهٔ برنامه‌های واقع‌بینانه، بررسی خسارت‌های عوامل اصلی (نه همهٔ عوامل) منحصر به خطر زلزله در شهر، فراهم کردن بهترین امکان استفاده از اطلاعات موجود و بهره‌گیری از تخصص دانشمندان محلی و آشنا با منطقه، استفاده از نمایندگانی از بخش‌های مختلف جامعه در سراسر پروژه و افزایش سرعت شروع مرحلهٔ اجرای برنامه‌های مدیریت بحران است(Villacis & Cardona, 1999: 6). این مزایا موجب شدند در این مطالعه برای تخمین میزان خسارت‌ها از این روش استفاده گردد.

۳. پیشینهٔ تحقیق

دربارهٔ ارزیابی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله، پژوهش‌های چندی در سطح جهانی و داخلی صورت پذیرفته است که در اینجا به بعضی از آنها اشاره شده است (جدول ۲).

جدول ۲. پیشینهٔ تحقیق

تحقیقات داخلی			تحقیقات خارجی		
محقق (سال و روش تحقیق)	متغیرهای تحقیق	یافته‌ها	محقق (سال و روش تحقیق)	متغیرهای تحقیق	یافته‌ها
زنگی‌آبادی و تبریزی (۱۳۸۵) (GIS و SPSS)	مصالح ساختمانی، مقاومت ساختمانی، میزان توسعه‌یافتگی ساختمان‌ها	تعیین آسیب‌پذیرترین منطقهٔ تهران (منطقهٔ ۱۲) و ایمن‌ترین آن (منطقهٔ ۲۲)	شی و همکاران (۲۰۰۴)	شرایط اقتصادی، مساحت ساخته‌شده، زیرساخت‌ها، استانداردهای زندگی	-معرفی مناطق زلزله‌خیز -مشخص کردن مناطق آسیب‌پذیر چین
عزیزی و اکبری (۱۳۸۷) (روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و GIS)	فاصله از گسل، جنس خاک، شیب زمین، نوع سازه، عمر ساختمان، هم‌جواری با کاربری‌های آسیب‌رسان، دسترسی به معبر، دسترسی به فضاهای باز، مساحت قطعات، تراکم جمعیت	-افزایش متغیرهایی چون شیب زمین، تراکم جمعیت ،تراکم ساختمانی، عمر ساختمان‌ها و فاصله از فضای باز باعث افزایش میزان آسیب‌پذیری می‌شود. -کاهش آسیب‌پذیری با افزایش فاصله از متغیرهایی نظیر فاصله از گسل، مساحت قطعات و سازگاری کاربری‌ها	جیزوال و همکاران (۲۰۱۰) (رویکرد تجربی)	شاخص توسعهٔ انسانی (شرایط اجتماعی و اقتصادی)، شرایط آب‌وهوایی، بزرگی زلزله، مکان و زمان آن	-مقایسهٔ تخمین تلفات کشورهای مختلف بر اساس زلزله‌های اخیر -معرفی این رویکرد به عنوان رویکردی ارزشمند برای محاسبهٔ سریع میزان تلفات

ادامه جدول ۲. پیشینهٔ تحقیق

تحقیقات داخلی			تحقیقات خارجی		
محقق (سال و روش تحقیق)	متغیرهای تحقیق	یافته‌ها	محقق (سال و روش تحقیق)	متغیرهای تحقیق	یافته‌ها
گلی و عسگری (۱۳۸۷) (تحلیل مکانی، استفاده از توابع تحلیل فضایی و مدل‌های عددی شبیه‌سازی زلزله)	گسل‌های فعال در تهران و اطراف آن، شرایط اجتماعی شهر تهران، ویژگی‌های شبکهٔ بانکی شهر تهران، شعبه‌های بانک‌های مختلف، تعداد نیروی انسانی شاغل و منابع جذب‌شده و در اختیار بانک‌ها	-تهدید بیش از ۸۰ درصد منابع مالی و انسانی در صورت وقوع زلزله‌ای با بزرگی ۸ ریشتر -ارائهٔ پیشنهاد در قالب دو محور بناها و تأسیسات شهری و شبکهٔ بانکی شهر تهران	استرادا (۲۰۱۲) (GIS)	شرایط خاک، خصوصیات ساختمان‌ها (کاربری، نوع مصالح، ارتفاع، کیفیت)، خصوصیات شبکهٔ آب	-شناسایی آثار احتمالی زمین‌لرزه‌ها در مناطق شهری در پرو -ارائهٔ مدل ریاضی پاسخ‌های لرزه‌ای انواع ساختمان‌های رایج در منطقهٔ پرو
حسینی و همکاران (۱۳۸۹) (تصمیم‌گیری چندمعیاره، تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، GIS)	معیارهای محیطی آسیب‌رسان(گسل، روانگرایی، شیب، فرونشست و زمین‌لغزش)، معیارهای فروریزش عوامل مصنوع (عمر بنا، مصالح، خطر ریزش پل‌ها و مجاورت کاربری)، معیارهای دسترسی آسیب‌رسان (نسبت عرض به ارتفاع جدارهٔ معابر)، معیارهای آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها (فرسودگی شبکهٔ گاز، آب و مجاورت با شبکهٔ فوق توزیع برق)	-تهیهٔ نقشهٔ مسیرهای گریز و امدادرسانی در شهر مشهد -بالا بودن احتمال انسداد محورهای نیمه‌غربی و جنوب غربی شهر مشهد -فرسودگی تأسیسات و محورهای اصلی و قرارگیری خطوط انتقال اصلی علت آسیب‌پذیری مرکز شهر مشهد	پنگ(۲۰۱۲) (MCDM)	شهرنشینی (وسعت زمین‌های ساخته‌شده، وسعت زمین‌های کشاورزی و تعداد خانوارهای مسکونی در پایان سال)، جمعیت (تراکم جمعیت)، معیار اقتصادی (صنایع اولیه، ثانویه و...)،زیرساخت‌ها (طول خطوط راه‌آهن و راه‌های عمومی در دست اجرا، ارتباطات از راه دور و برق)	-یکپارچه‌سازی نتایج روش‌های گوناگونMCDM -تعیین TOPSIS به عنوان قابل‌اعتمادترین روش MCDM -ارزیابی آسیب‌پذیری ۳۱ منطقهٔ چینی با این روش -تاکید بر آمادگی در برابر زلزله -وجود ارتباط بین تراکم جمعیت و توسعهٔ سریع اقتصادی با افزایش آسیب‌پذیری
فرجزاده‌اصل و همکاران (۱۳۹۰) (TOPSIS Fuzzy و GIS)	نوع خاک، مصالح ساختمانی، قدمت ساختمان، تعداد طبقات،کیفیت ابنیه، تراکم جمعیت، سازگاری کاربری‌ها، وضعیت قرارگیری ساختمان در بلوک	- آسیب‌پذیری منطقهٔ ۹ شهرداری تهران در برابر زلزله - کارایی مدلTOPSIS Fuzzy در ارزیابی آسیب‌پذیری منطقهٔ تحت مطالعه	زبردست (۲۰۱۳) (F'ANP)	محرومیت مسکن، بیکاری، جمعیت وابسته، توسعه‌نیافتگی، نداشتن درآمد، زنان و مهاجران، محرومیت زیرساختی و سلامتی	-پهنه‌بندی آسیب‌پذیری اجتماعی کل کشور ایران -تعیین شرق، جنوب شرقی و بخش‌هایی از غرب کشور به عنوان آسیب‌پذیرترین بخش‌ها -تأکید بر بازنگری استراتژی‌های مدیریت خطر زلزله براساس مؤلفه‌های آسیب‌پذیری فیزیکی

منبع: نگارندگان.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

در زمینهٔ مدل استفاده شده، تا کنون مطالعات کمی صورت گرفته که در ادامه به برخی از آنان اشاره می‌شود.

ویلاسیس (۲۰۰۰) دستاوردهای روش RADIUS برای کاهش آثار زلزله در مناطق شهری و افزایش آگاهی جوامع در این زمینه و نقش آن در بخش‌های مختلف جامعه در فرایند مدیریت ریسک را بیان کرد. وی در نظر دارد با استفاده از روش RADIUS، اقدامات بلندمدت در زمینهٔ مدیریت ریسک در ۹ شهر[1] منتخب را مطرح کند و معتقد است ادامهٔ این روند آگاهی از آسیب‌پذیری جوامع بر عهدهٔ مسئولان شهر است.

میتانی و سوخی (۲۰۰۴) بر این باورند که اولین قدم برای ایمنی شهرها در برابر خطرات طبیعی چون زلزله شناسایی قابلیت آسیب‌پذیری آن منطقه است. ازآنجاکه غالب روش‌های تخمین خسارت به داده‌های پیچیده و وسیع و افراد حرفه‌ای نیاز دارد، در این تحقیق نحوهٔ استفاده از روش RADIUS در محیط GIS به عنوان ابزاری آسان برای برنامه‌ریزان شهری برای مدیریت آتی بحران زلزله مشخص شده است.

با توجه به اهمیت شهر تهران، امینی و همکارانش (۱۳۹۰) منطقهٔ یک شهرداری تهران را به عنوان منطقهٔ تحت مطالعه انتخاب کردند. روش تحقیق و تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع‌آوری شده با توجه به روش‌های مبتنی بر پایگاه اطلاعاتی و با بهره‌گیری از برنامهٔ رادیوس صورت پذیرفته است. سه سناریو، با توجه به سه گسل شمال تهران، مشا و ری، برای تخمین خسارات ناشی از زلزلهٔ احتمالی در منطقهٔ تحت مطالعه در نظر گرفته شده است. نتایج حاکی از آن است که بر اساس سناریوی گسل مشا، ۹۸۷۳ ساختمان تخریب می‌شود و ۲۳۷۱ نفر کشته خواهند شد. مطابق سناریوی گسل شمال تهران نیز ۱۷۸۶۷ ساختمان تخریب می‌شوند و ۷۴۸۲ نفر کشته خواهند شد. همچنین بر اساس سناریوی گسل ری، ۳۹۹۸ ساختمان تخریب می‌شود و ۳۴۷ نفر کشته خواهند شد. نواحی۴، ۲، ۷ و ۸ بیشترین میزان آسیب‌پذیری را بر اساس سناریوهای تحت نظر خواهند داشت. در سناریوی گسل شمال تهران، بیشترین خسارات و در سناریوی گسل ری، کمترین خسارات به منطقه وارد می‌شود.

گیاه‌چین و مهرجو (۱۳۹۰) در پژوهش خود در پی آن بودند که با هدف پیشگیری و تاب‌آوری در مقابل زلزله به ارزیابی کاربری زمین بپردازند و استراتژی برنامه‌ریزی کاربری زمین حساس به خطرهای زلزله را به عنوان رویکرد بلندمدت کاهش آسیب‌پذیری لرزه‌ای و تاب‌آوری در کلان‌شهرها و نمونهٔ موردی (ناحیهٔ ۴ در منطقهٔ ۲۰ شهرداری تهران) نشان دهند. بنابراین، با بررسی، ارزیابی و تحلیل کیفی کاربری‌ها در محدودهٔ تحت مطالعه و با استفاده از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، بر اساس اصول و معیارهای برنامه‌ریزی پیشنهاداتی به عنوان رویکرد منسجم شهرهای زلزله‌خیز انجام می‌گردد. روش RADIUS هم در ارزیابی مخاطرات لرزه‌ای و هم در ارزیابی آسیب‌های آن استفاده شده است.

۴. روش تحقیق

در این تحقیق به دلیل کاربردی بودن و برای تعیین نقاط ضعف و قوت ساختار شهر در هنگام زلزله از روش تحقیق از

1. Addis Ababa (Ethiopia), Antofagasta (Chile), Bandung (Indonesia), Guayaquil, (Ecuador), Izmir (Turkey), Skopje (TFYR Macedonia), Tashkent (Uzbekistan), Tijuana (Mexico), Zigong (China)

نوع تحلیلی و توصیفی استفاده شده است. ابتدا با جست‌وجوی مقالات و کتاب‌ها و منابع موجود، کار کتابخانه‌ای و توصیفی شروع گردید. در ادامه، با بازدید از منطقهٔ ۳ شهرداری شیراز و بررسی زمین‌شناسی و موقعیت زمین‌ساختی منطقهٔ تحت مطالعه، روش پیمایشی و تحلیلی انجام گرفت. برداشت‌های میدانی شامل جمع‌آوری اطلاعات مربوط به پارامترهای ساختمانی چون وضع موجود کاربری‌ها، چگونگی توزیع آنها و نوع سازهٔ بنا بود. سپس خطر زلزله ارزیابی شد.

اولین گام در هر گونه ارزیابی خطر زلزله، شناسایی ویژگی‌های منابع زلزله است. تعیین پارامترهای زلزلهٔ محتمل مانند مکان گسل، هندسهٔ آن جهت‌گیری و حداکثر بزرگی زلزله ضروری است (وانگ و همکاران، ۲۰۰۰: ۲). لذا برای برآورد شدت لرزه‌ای (شدت حرکت زمین) و خسارت وارده به ساختمان‌ها، داده‌های تراکم جمعیتی، نوع ساختمان‌ها و توزیع آنها، اندازه و حد و مرز منطقهٔ تحت مطالعه و نوع خاک در روش RADIUS به عنوان اطلاعات پایه وارد می‌شود.

در کل، فرایند تخمین خسارات ناشی از زلزله در نرم‌افزار RADIUS را در مراحل زیر می‌توان اجرا کرد:

-شبکه‌بندی منطقه: برای انجام تخمین خسارت، منطقهٔ تحت بررسی باید شبکه‌بندی شود. برای اجرای شبکه‌بندی از شبکه‌های بین ۵۰۰ مترمربع تا ۲ کیلومترمربع استفاده می‌کنند. هر چه اندازهٔ شبکه‌ها کوچک‌تر باشد، میزان اطلاعات بیشتری نیز به تعداد شبکه‌ها باید وارد سیستم شود. در این مطالعه اندازهٔ شبکه‌ها ۱ کیلومترمربع در نظر گرفته شده است (شکل ۲).

شکل ۲. شبکه‌بندی در روش RADIUS

منبع: خروجی روش RADIUS

۱.۴. تعیین وضعیت خاک منطقه

روش RADIUS طبقه‌بندی ساده‌ای برای جنس خاک پیشنهاد می‌کند. در این طبقه‌بندی جنس خاک به چهار دستهٔ سنگ سخت، سنگ نرم، خاک متوسط و خاک نرم که فاکتورهای تشدید شدت لرزه نیز مطابق با آنها توسط نرم‌افزار اعمال می‌شود، تقسیم شده است.

– طبقه‌بندی ساختمان‌ها

در روش RADIUS، طبقه‌بندی ساختمان‌ها با توجه به نوع مصالح به‌کاررفته در ساخت‌وساز، کاربری و تعداد طبقات انجام می‌گیرد.

– تدوین سناریو

پیش‌بینی رویدادهای احتمالی و آثار آنها، تهیهٔ سناریو نامیده می‌شود. در این تحقیق پارامترهـای ورودی بـه سیـستم برای زلزلهٔ سناریو عبارت از: موقعیت، عمق، بزرگی و زمان وقوع زلزله است. کاربر باید زمان زلزله را نیـز مـشخص کنـد، زیرا تلفات بسته به اینکه زلزله در شب یا روز اتفاق بیفتد، کاملاً متفاوت است. در این برنامه جمعیت روز و شب با توجه به طبقه‌بندی ساختمان‌ها برآورد می‌شود.

از آنجا که فروریختن ساختمان‌ها، اصلی‌ترین دلیل تلفات در زمان رخـداد زلزلـه اسـت، محاسـبهٔ تلفـات بـر اسـاس ساختمان‌های خسارت‌دیده انجام می‌گیرد (مهرجو و گیاه‌چین، ۱۳۹۰: ۵).از سوی دیگـر، بـرای ارزیـابی مـدیریت زمـین شهری، در این پژوهش ۴ معیار در نظر گرفته شده که در ادامه ذکر می‌شود و برای هر یک در محیط نرم‌افزار GIS پایگاه داده‌ها تشکیل می‌شود (جدول۳).

جدول ۳. متغیرهای استفاده شده در تحقیق

تفکیک قطعات زمین	تراکم ساختمانی	بررسی میزان سازگاری زمین با کاربری آن	فاصله از گسل
–افزایش آسیب‌پذیری در قطعه‌بندی‌های کوچک‌تر، به علت خردشدگی فضای باز و کاسته شدن فضای مفید و امن برای گریز، پناه‌گیری و انجام عملیات امداد و نجات موقت و کاهش آن با افزایش اندازهٔ قطعات –قطعات کمتر از ۲۰۰ مترمربع بیشترین و قطعات بالای ۵۰۰ مترمربع کمترین میزان آسیب‌پذیری (احمدی و شیخ‌کاظم، ۱۳۸۵: ۱۰). در این مطالعه نیز از همین دسته‌بندی برای بررسی آسیب‌پذیری استفاده شده است.	-بیشتر شدن احتمال تخریب و آسیب‌پذیری با افزایش این شاخص مهم (شیعه و همکاران، ۱۳۸۹: ۵). –اهمیت محاسبهٔ تراکم به عنوان ابزار برنامه‌ریزی و طراحی شهری به دلیل تأثیر این شاخص در جهت انعکاس بسیاری از مشخصات طرح‌های شهرسازی. به دلیل دخالت عوامل طبیعی یا فیزیکی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی، زیست‌محیطی، فناوری و سیاست‌های ملی شهرنشینی در تعیین میزان تراکم (احمدی و شیخ کاظم، ۱۳۸۵: ۷). در این مطالعه اگر نسبت سطح ساخته‌شده به کل قطعه بین ۵۰ تا ۱۰۰ درصد باشد، آسیب‌پذیر زیاد و اگر کمتر از ۲۵ درصد باشد، آسیب‌پذیر کم محسوب می‌شود.	– تفاوت در آسیب‌پذیری لرزه‌ای هر نوع کاربری بر اساس زمینی که در آن واقع شده است در زمان وقوع زلزله شریف‌زادگان و فتحی، ۱۳۹۰: ۱۱۵). در این روش متوسط فاصلهٔ هر کاربری از کاربری‌های حساس میزان آسیب‌پذیری را نشان می‌دهد.	– جابه‌جایی لایه‌های زمین به‌صورت عمودی، افقی و ترکیبی از آنها در اثر لغزش گسل‌ها –ایجاد موج زلزله بر اساس این لغزش‌های ناگهانی و افزایش امکان آسیب دیدن ساخت‌وسازهایی که در فاصلهٔ کمتری از گسل‌ها قرار دارند (رجحان و همکاران، ۱۹۹۷: ۱). این روش متوسط فاصله از گسل را با توجه به موقعیت قرارگیری گسل‌ها محاسبه می‌کند.

۲.۴. معرفی محدوده

یکی از مناطق آسیب‌پذیر شهر شیراز منطقهٔ ۳ است. این منطقه در شمال شرقی شهر شیراز قرار دارد و از جنوب به بلـوار مدرس، کوی زهرا (بلوار شهید فیاض‌بخش)، از شرق به خیابان صاحب‌دیوان (مرز مـشترک بـا منطقـهٔ ۱)، از شـمال بـه خیابان چهل مقام (شهرک سعدی و مجموعه‌های مسکونی شمال خیابان) تـا دروازه قـرآن و از غـرب بـه خیابـان دروازه قرآن و ادامهٔ آن، خیابان حافظ تا دروازه اصفهان ختم می‌شود. منطقهٔ ۳ با مساحت ۱۷۴۴ هکتار ۱۴ درصد مـساحت کـل شهر شیراز را در بر می‌گیرد. جمعیت منطقهٔ ۳ شهرداری حدود ۱۹۱۴۰۵ نفر برآورد گردیده است و تـراکم آن حـدود ۱۳۰

نفر در هکتار است و در سیستم شهری شیراز یکی از زیرسیستم‌های مؤثر تلقی می‌شود. در شکل ۳ موقعیت منطقهٔ ۳ در شهرداری شیراز نشان داده شده است.

شکل ۳. موقعیت منطقهٔ ۳ شهرداری در شهر شیراز

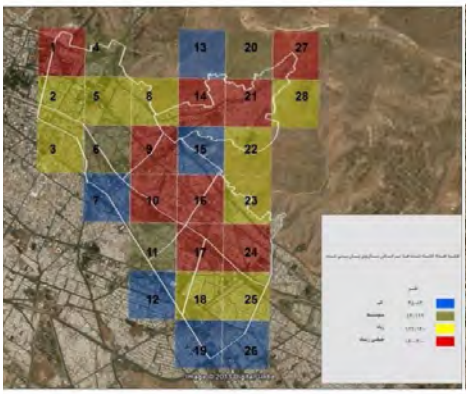
منبع: شهرداری شیراز.

نکتهٔ شایان توجه در زمینهٔ مسائل کالبدی این منطقه، آن است که فضای مسکونی بخش عمده‌ای از کاربری‌ها را تشکیل می‌دهد. بسیاری از واحدهای مسکونی توسط خانوارهایی تولید می‌شود که ناچارند در شرایط بی‌اطلاعی از رمز و فنون معماری و ساختمان، اقدام به خرید مصالح و تهیهٔ نقشه و استخدام کارگر و پیش‌برد تولید مسکن کنند؛ یعنی بخش مهم تولید فضای شهری به دست کسانی صورت می‌گیرد که تنها از زاویهٔ نیازها و منافع خود و از موضع توان مالی، فنی و زیباشناسانهٔ محدود خود به تولید و اجرا می‌نگرند. چنین پدیده‌ای نیاز به ارزیابی آسیب‌پذیری این منطقه را بیشتر نشان می‌دهد. به این ترتیب، در این تحقیق به آسیب‌پذیری کالبدی در منطقهٔ ۳ شهرداری شیراز بررسی خواهد شد. عامل دیگری که سبب تشدید آسیب‌پذیری بافت‌های این شهر است، وجود بافت‌های خودرو و قدیمی در دل این شهر است که عموماً از خانه‌های یک‌طبقه و دوطبقه با زیربنای کم که به‌صورت متراکم در کنار یکدیگر ساخته شده‌اند، تشکیل یافته است. این خانه‌ها غالباً مطابق استانداردهای فنی نبوده و ایستایی لازم در برابر زلزله را ندارند.

۳.۴. ارزیابی آسیب‌پذیری

معرفی سناریوی پیشنهادی اولین گام در ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای در هر گسترهٔ مطالعاتی است. برای تهیه و تدوین یک سناریوی خسارت زلزله، باید ناحیهٔ هدف مشخص شود و با توجه به زمین‌شناسی و موقعیت گسل‌ها، باید بزرگی، مرکز زلزله و مدل افت قدرت موج تعیین گردد.

محل وقوع خطر: محل وقوع خطر زلزله در منطقهٔ ۳ شهرداری شیراز تعریف شده است. گسل فعال: به دلیل نزدیک بودن منطقهٔ ۳ به گسل فعال سلطان II، گسل بمو و سعدی، فرض بر این است که بر اثر رخداد زلزله این گسل‌ها فعال شوند. ساعت وقوع زلزله: زلزلهٔ فرضی در ساعت ۱۲ ظهر رخ می‌دهد. شدت زلزله: با توجه به احتمالات متخصصان امر، شدت زلزله ۷/۴ ریشتر در نظر گرفته شده است. روانگرایی: شرایط خاک در محدودهٔ تحت مطالعه به‌طور عمده شامل خاک رس و ماسه است. عمق زلزله: در این پژوهش عمق زلزله ۸ کیلومتر فرض شده است. با توجه به داده‌های ورودی، تخمین خسارت‌ها در روش RADIUS آمار تخریب و تلفات را بدین صورت نشان داد (شکل‌های ۴ و ۵).



شکل ۵. میزان تلفات انسانی

شکل ۴. میزان تخریب ساختمان‌ها

منبع: خروجی روش RADIUS

براساس مطالب بیان‌شده، نتایج خسارات و تلفات ناشی از وقوع زلزله بر اساس سناریوی پیشنهادی در منطقهٔ تحت مطالعه مطابق (جدول ۴) است.

جدول ۴. آمار خسارات و تلفات منطقهٔ ۳ شهرداری شیراز

شمارهٔ شبکه	تعداد ساختمان‌ها	تعداد ساختمان‌های تخریب‌شده	تعداد مجروحان (شدید و متوسط)	تعداد کشته‌شدگان	شمارهٔ شبکه	تعداد ساختمان‌ها	تعداد ساختمان‌های تخریب‌شده	تعداد مجروحان (شدید و متوسط)	تعداد کشته‌شدگان
۱	۱۸۶۶	۷۰۹	۱۳۷۸	۱۶۳	۱۵	۴۶۷	۱۸۵	۳۶۹	۴۵
۲	۱۸۶۶	۶۹۹	۱۳۴۸	۱۵۷	۱۶	۱۸۶۶	۷۲۴	۱۴۲۵	۱۷۱
۳	۱۸۶۶	۶۸۷	۱۳۱۳	۱۵۱	۱۷	۱۸۶۶	۷۰۶	۱۳۷۰	۱۶۱
۴	۹۳۳	۳۶۵	۷۲۱	۸۷	۱۸	۱۸۶۶	۶۸۷	۱۳۱۳	۱۵۱
۵	۱۴۰۰	۵۳۹	۱۰۵۶	۱۲۶	۱۹	۹۳۳	۳۳۳	۶۲۷	۷۰
۶	۱۴۰۰	۵۳۰	۱۰۲۸	۱۲۱	۲۰	۹۳۳	۳۹۲	۸۰۴	۱۰۳
۷	۹۳۳	۳۴۶	۶۶۳	۷۷	۲۱	۱۸۶۶	۷۷۱	۱۵۶۸	۱۹۸
۸	۱۴۰۰	۵۵۴	۱۱۰۰	۱۳۴	۲۲	۱۴۰۰	۵۶۷	۱۱۴۰	۱۴۲
۹	۱۸۶۶	۷۲۴	۱۴۲۵	۱۷۱	۲۳	۱۴۰۰	۵۵۴	۱۱۰۰	۱۳۴
۱۰	۱۸۶۶	۷۰۹	۱۳۷۸	۱۶۳	۲۴	۱۸۶۶	۷۱۹	۱۴۰۹	۱۶۸
۱۱	۱۴۰۰	۵۱۹	۹۹۵	۱۱۵	۲۵	۱۸۶۶	۶۹۹	۱۳۴۸	۱۵۷
۱۲	۹۳۳	۳۳۷	۶۳۶	۷۲	۲۶	۹۳۳	۳۳۹	۶۴۳	۷۳
۱۳	۴۶۷	۱۹۲	۳۹۰	۴۹	۲۷	۱۴۰۰	۵۹۹	۱۲۳۸	۱۶۱
۱۴	۱۸۶۶	۷۵۶	۱۵۲۰	۱۸۹	۲۸	۱۴۰۰	۵۸۹	۱۲۰۷	۱۵۵

منبع: خروجی روش RADIUS

آمار و ارقام جدول حاکی از آن است که بیشترین میزان خسارات کالبدی و انسانی مربوط به ناحیهٔ ۲۱ است و ازآنجایی‌که محدودهٔ تحت مطالعه نوعی بافت سنتی داشته و از قدیم به‌طور ارگانیک شکل گرفته است، تنها می‌توان با کاهش تراکم ساختمانی و جمعیتی و جلوگیری از ساخت کاربری‌های ویژه یا اشغال پیوسته با تعداد مراجعان زیاد از میزان آسیب‌پذیری کاست.

۵. نتیجه‌گیری

برآورد حاصل از روش RADIUS نشان می‌دهد که دلیل تلفات، رعایت نکردن معیارهای کاربری زمین در مناطق زلزله‌خیز است. میزان خسارت‌های کالبدی در صورت وقوع زلزلهٔ ۷/۴ ریشتر به حدود ۴۰ درصد افزایش می‌یابد که شبکهٔ ۲۱ با داشتن سهمی معادل ۵ درصد بیشترین میزان خسارت را متحمل می‌شود. پس از آن، شبکه‌های ۹ و ۱۶ آسیب جدی خواهند دید. تعداد کشته‌شدگان این سناریو ۳۶۶۸ نفر است که حدود ۵ درصد آن در شبکهٔ ۲۱ و حدود ۱ درصد آن در شبکهٔ ۱۵ قرار گرفته‌اند و سهم دیگر شبکه‌ها بین این دو عدد قرار دارد. در شبکه‌های ذکرشده، تراکم ساختمانی در حریم گسل زیاد است. در این شبکه‌ها کاربری‌های ویژه‌ای همچون مدارس وجود دارد که با توجه به عرض معابر موجود، دسترسی به تمام نقاط در زمان بحران و تخلیهٔ سریع بسیار مشکل یا شاید ناممکن است. از سوی دیگر، در این منطقه گوناگونی بافت و عناصر کاربری به دلیل وسعت منطقه و سابقهٔ توسعهٔ آن بسیار زیاد است. بخش غربی منطقه در مجاورت بافت قدیم شهر قرار گرفته و به نوعی تداوم بافت قدیم شهر است. با حرکت به سمت جنوب حدفاصل رودخانهٔ خشک و خیابان تختی نیز بافت عمومی چندان تغییر نمی‌کند. در حدفاصل بلوار مدرس مجموعه‌های مسکونی ساخته‌شده در دهه‌های اخیر وجود دارد که می‌توان آنها را در مجموع بافتی خودرو و آشفته نامید. به فاصلهٔ کمی از آن، محلاتی وجود دارد که بافت شطرنجی را عرضه داشته‌اند و واجد نوعی سازمان عملکردی و شکلی از سلسله‌مراتب عملکردی هستند. ویژگی عمدهٔ آنها باز هم خودرو بودن و شکل‌گیریشان کمتر بر اساس طرح‌های شهری یا حتی طرح تفکیکی مصوب است. همچنین در برخی قسمت‌های منطقه چنان اجزای کالبد روستایی آن به هم تنیده شده‌اند که حتی پس از گذشت چندین دهه از عمر نظارت سازمان‌های مدیریتی شهر بر آن و بر منطقه، هنوز نتوانسته‌اند در ساختار بیمار آن تحول جدی به‌وجود آورند. معابر را در آنها به سختی می‌توان تشخیص داد و تنها در قسمت‌های جدیدتر آن می‌توان بعضاً راه‌هایی را مشاهده کرد. دانه‌بندی، بسیار ریز است و تفکیک‌ها متنوع‌اند و هیچ نوع فضای باز عمده در آن وجود ندارد. این عوامل موجب آسیب‌پذیری منطقه در برابر زلزله شده است. انتظار می‌رود با برنامه‌ریزی صحیح کاربری زمین و اصلاح ضوابط تفکیک زمین، تعیین کاربری‌ها با توجه به مشخصات زمین‌ساختی ناحیه، جلوگیری از ساخت‌وساز در حریم گسل از شدت آسیب‌های ساختمانی و تلفات احتمالی کاسته شود.

پرتال جامع علوم انسانی

سپاس‌گزاری

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از همهٔ عزیزانی که در تدوین این تحقیق همکاری داشته‌اند، سپاس‌گزاری به عمل آورند. بدین وسیله از جناب آقای مهندس محسن مهرجو (کارشناس مدیریت بحران شهر تهران) و جناب آقای دکتر محمدحسن آزادی به‌دلیل همکاری در ارائهٔ اطلاعات و مدارک طرح و تهیهٔ نقشه‌های مربوط، تشکر می‌شود. تلاش‌های این عزیزان نقش مهمی در هدایت راهبردی مطالعات حاضر داشته است.

منابع

احدنژاد روشتی، محسن؛ جلیل پور، شهناز؛ (۱۳۹۰). ارزیابی عوامل بیرونی تأثیرگذار در آسیب‌پذیری ساختمانی بافت قدیم شهرها در برابر زلزله (مطالعهٔ موردی: ناحیهٔ ۱ شهر خوی)، سمینار ملی کاربرد GIS در برنامه‌ریزی اقتصادی، اجتماعی و شهری، صص ۱-۱۲.

احدنژاد روشتی، محسن؛ قرخلو، مهدی؛ زیاری، کرامت‌اله؛ (۱۳۸۹). مدل‌سازی آسیب‌پذیری ساختمانی شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (نمونهٔ موردی: شهر زنجان)، جغرافیا و توسعه، شمارهٔ ۱۹، صص ۱۷۱- ۱۹۸.

احمدی، حسن؛ شیخ کاظم، محمدرضا؛ (۱۳۸۵). دومین کنفرانس بین‌المللی مدیریت جامع بحران در حوادث غیرمترقبهٔ طبیعی، تهران، صص ۴- ۱۸.

امینی، الهام؛ حبیب، فرح؛ مجتهدزاده، غلامحسین؛ (۱۳۸۹). برنامه‌ریزی کاربری زمین و چگونگی تأثیر آن بر کاهش آسیب‌پذیری شهری در برابر زلزله، علوم و تکنولوژی محیط زیست، دورهٔ یازدهم، شمارهٔ ۳.

امینی، جمال؛ کرمی، جلال؛ علی‌محمدی سراب، عباس؛ صفرراد، طاهر؛ (۱۳۹۰). ارزیابی مدل رادیوس در تخمین خسارات ناشی از زلزله در محیط GIS (مطالعهٔ موردی، منطقهٔ یک شهرداری تهران)، مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، سال سوم، شمارهٔ یازدهم.

ایری، عبدالجلال؛ (۱۳۷۸). برنامه‌ریزی کاهش آثار زلزله در سطوح شهری (نمونهٔ موردی: منطقهٔ ۲۰ شهر تهران)، رسالهٔ کارشناسی ارشد شهرسازی، استاد راهنما: زهره عبدی دانشپور، استاد مشاور: فریبرز ناطقی الهی، دانشگاه شهید بهشتی تهران.

پژوهشکدهٔ علوم انسانی و اجتماعی جهاد دانشگاهی؛ (۱۳۸۵). مرکز مطالعات و خدمات تخصصی شهری و روستایی، آشنایی با مدیریت بحران با تأکید بر نقاط روستایی، وزارت کشور سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور.

عزیزی، محمدمهدی؛ اکبری، رضا؛ (۱۳۸۷). ملاحظات شهرسازی در سنجش آسیب‌پذیری شهرها از زلزله (مطالعهٔ موردی منطقهٔ فرحزاد، تهران)، نشریهٔ هنرهای زیبا، شمارهٔ ۳۴، صص ۲۵-۳۶.

فرجزاده اصل، منوچهر؛ احدنژاد، محسن؛ امینی، جمال؛ (۱۳۹۰). ارزیابی آسیب‌پذیری مساکن شهری در برابر زلزله (مطالعهٔ موردی منطقهٔ ۹ شهرداری تهران)، مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، سال سوم، شمارهٔ نهم، تابستان ۱۳۹۰، صص ۳۶-۱۹.

گلی، علی؛ عسگری، علی؛ (۱۳۸۹). زلزلهٔ تهران و ارزیابی فضایی آسیب‌پذیری بنگاه‌های اقتصادی: مطالعهٔ موردی شبکهٔ بانکی شهر تهران، مدرس علوم انسانی - برنامه ریزی و آمایش فضا، دورهٔ چهاردهم، شمارهٔ ۳، صص ۷۱-۵۵.

گیاه‌چین، نسرین؛ مهرجو، محسن؛ (۱۳۹۰). ارزیابی کاربری زمین شهری با توجه به خطرات زلزله (مطالعهٔ موردی ناحیهٔ ۴ منطقهٔ ۲۰)، همایش ملی ژئوماتیک ۹۰، سازمان نقشه‌برداری کشور، تهران.

حسینی، سید بهشید؛ سرگلزایی، شریفه؛ مختارزاده، صفورا؛ (۱۳۸۹). تعیین مسیرهای انسداد در هنگام وقوع زلزله در شهر مشهد، مجلهٔ ساخت شهر، جلد ۷، شمارهٔ ۱۴، صص ۳-۱۳.

خاکپور، براتعلی؛ زمردیان، محمدجعفر؛ صادقی، سلیمان؛ مقدمی، احمد؛ (۱۳۹۰). تحلیل میزان آسیب‌پذیری فیزیکی – کالبدی منطقهٔ ۹ شهرداری مشهد از دیدگاه زلزله‌خیزی، جغرافیا و توسعهٔ ناحیه‌ای، شمارهٔ ۱۶، سال ۹، صص ۳۳-۱.

زنگی‌آبادی، علی؛ تبریزی، نازنین؛ (۱۳۸۵). زلزلهٔ تهران و ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق شهری، پژوهش‌های جغرافیایی، شمارهٔ ۵۶، صص ۱۱۵-۱۳۰.

زنگی‌آبادی، علی؛ صنیعی، راحله؛ وارثی، حمیدرضا؛ (۱۳۸۸). تحلیل آماری خطرپذیری مناطق ۱۱ و ۱۲ شهر تهران در برابر زلزله، فصلنامهٔ مدرس علوم انسانی، دورهٔ ۱۳، شمارهٔ ۳، صص ۹۱-۱۱۱.

زیاری، کرامت‌اله؛ داراب خانی، رسول؛ (۱۳۸۹). بررسی آسیب‌پذیری بافت‌های شهری در برابر زلزله (مورد مطالعه: منطقهٔ ۱۱ شهرداری تهران)، فصلنامهٔ تحقیقات جغرافیایی؛ ۲۵ (۴ (پیاپی ۹۹)): ۲۵-۴۸.

ستوده، بابک؛ (۱۳۸۰). برنامه‌ریزی کاربری زمین و اصلاح معابر جهت ایمن‌سازی در برابر زلزله (نمونهٔ موردی: محلهٔ باغ فردوس شهرداری منطقه یک تهران)، رسالهٔ کارشناسی ارشد شهرسازی، استاد راهنما: فرانک سیف‌الدینی، دانشگاه شیراز، شیراز.

شریف‌زادگان، محمدحسین؛ فتحی، حمید؛ (۱۳۹۰). طراحی و کاربرد مدل‌های فضایی ارزیابی و تحلیل آسیب‌پذیری لرزه‌ای در برنامه‌ریزی و مدیریت شهری، آرشیو SID، صص ۱۰۹-۱۲۴.

شیعه، اسماعیل؛ حبیبی، کیومرث؛ ترابی، کمال؛ (۱۳۸۹). بررسی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی معکوس (IHWP) و GIS (مطالعهٔ موردی منطقهٔ ۶ شهرداری تهران)، مجموعه مقالات چهارمین کنگرهٔبین‌المللی جغرافی‌دانان جهان اسلام (ICIWG 2010).

مهندسین مشاور نقش جهان پارس؛ (۱۳۷۴). طرح تفصیلی شهر شیراز جلد ششم (طرح تفصیلی منطقهٔ ۵)، ادارهٔ کل مسکن و شهرسازی استان فارس.

منزوی، مهشید؛ سلیمانی، محمد؛ تولایی، سیمین؛ چاووشی، اسماعیل؛ (۱۳۸۹). آسیب‌پذیری بافت‌های فرسودهٔ بخش مرکزی شهر تهران در برابر زلزله (مورد: منطقهٔ۱۲)، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، شمارهٔ ۷۳، صص ۱۸-۱.

Altan, M.; Özturk, F.; Ayday, C.; (2004). Preliminary Earthquake Risk Management Strategy Plan of Eskisehir, Turkey by using GIS, Space and Satellite Sciences Research Institute Anadolu University, Eskisehir, Turkey, 7th AGILE Conference on Geographic Information Science.

Cova, T.J.; (1999). GIS in emergency management. inGeographic Information Systems: Principles, Techniques, Applications, and Management, Longley, P., Goodchild, M.F., Maguire D., Rhind D. (eds).

Daniell, James E.; Love, David.; (2010). The Socio-Economic Impact of Historic Australian Earthquakes, Australian Earthquake Engineering Society 2010 Conference, Perth, Western Australia.

Davis, Harmer E.; (1995). Introduction and Welcome, The First World Conference On Earthquake Engineering, California, p1.

Enarson, E.; (2000). Gender Issues in Natural Disasters: Talking Points on Research Needs, ILO Infocus Programmer on Crisis Response and Reconstruction Workshop Geneva.

Estrada, Miguel.; Zavala, Carlos.; Lazares, Fernando.; Morales, Jorge.; (2012). GIS Tool for Calculating Repair Cost of Buldings Due to Earthquakes Effects (CCRE - CISMID), 9th International Conference on Urban Earthquake Engineering/ 4th Asia Conference on Earthquake Engineering, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan, pp 1695- 1698.

Gulati, Brijesh; (2006). Earthquake Risk Assessment of Buildings Applicability of HAZUS in Dehradun, India, M.Sc Thesis, International Institute for Geo- information Science and Earth Observation, Supervisors: M.J.G. Mark Brussel, Sandeep Maithani and Cees J van Westen.

Jaiswal, K.; Wald, D.; (2010). An Empirical Model for Global Earthquake Fatality Estimation, Earthquake Spectra, Volume 26, No. 4, pp 1017–1037.

Kaushik, P.; Joshi, P.K.; Yang, X.; (2005). Multiple Hazard Mapping (MHM) for **Vulnerability** Assessment in Pali Gad Watershed Using Geospatial Tools**,** Journal of the Indian Society of Remote Sensing, Vol. 33, No. 3.

Linares- Rivas, Alejandra.; (2012). Panama Prepares the City of David for Earthquakes, Project Highlights issue 9, Panama, pp 1- 4.

National Disaster Management Authority Government of India.; (2007). National Disaster Management Guidelines: Management of Earthquakes, New Delhi.

Peng, Y.; (2012). Regional earthquake vulnerability assessment using a combination of MCDM methods, Ann Oper Res DOI 10.1007/s10479-012-1253-8, pp 1-16.

Rojahn, Christopher et al.; (1997). Applied Technology Council Annual Report, Advancing Engineering Applications for Natural Hazard Mitigation, Redwood City, California 94065.

Shi, p.; Xu, w.; Zong, T.; (2004). Effect Assessment and Integrated Strategies of Earthquake at Urban Areas in China, 4th Annual IIASA-DPRI Forum, Ravello, Italy, pp 1-26.

Villacis, Carlos A.; Cardona, Cynthia N.; (1999). Guidelines for the Implementation of Earthquake Risk Management Projects, Geohazards International Palo Alto, California, December.

Wong, Ivan; Silva, Walter; Bott, Jacqueline; Wright, Douglas; Thomas, Patricia; Gregor, Nick; Li, Sylvia; Mabey, Matthew; Sojourner, Anna; Wang, Yumei; (2000). Earthquake Scenario and Probabilistic Ground Shaking Maps for the Portland, Oregon, Metropolitan Area, State of Oregon Department of Geology and Mineral Industries.

Wald, D. J.; Jaiswal, K. S.; ASCE, A.M.K.; Marano3, D.; Bausch, D.; (2011). Earthquake Impact Scale, Natural Hazards Review, www.ascelibrary.org, pp 125- 139.

Westen, Cees van.; Slob, Siefko.; Montoya, Lorena.; Boerboom, Luc.; (2004). Application of GIS for earthquake hazard and risk assessment: Kathmandu, Nepal, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, ITC, P.O. Box 6, 7500 AA Enschede, The Netherlands, pp 1-10.

Zebardast, E.; (2013). Constructing a Social Vulnerability Index to Earthquake Hazards Using a Hybrid Factor Analysis and Analytic Network Process (F'ANP) Model, Nat Hazards 65:1331–1359, DOI 10.1007/s11069-012-0412-1, pp 1331-1359.