تهیهٔ نقشهٔ آسیب‌پذیری حاصل زلزله در منطقهٔ یک شهر تهران

الناز علی اصل خیابانی،[1] ابوالقاسم صادقی نیارکی[2]، مصطفی قدوسی[3]

۱. نویسندهٔ مسئول: دانشجوی کارشناسی مهندسی عمران- نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.

Email:elnaz.khiabani073@gmail.com

۲. استادیار دانشکدهٔ مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین‌طوسی، تهران، ایران.

۳. دانشجوی دکتری سیستم اطلاعات مکانی، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین‌طوسی،تهران، ایران.

دریافت: ۹۶/۲/۱۳ پذیرش: ۹۶/۱۱/۱۸

چکیده

مقدمه: زلزله به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ناملایمات طبیعی زمین، همواره در زمان کوتاهی، خسارات غیرقابل جبرانی را به پیکرهٔ سکونت‌گاه‌های بشری وارد می‌کند. تحقیقات نشان می‌دهد ۲۴ ساعت اولیه پس از وقوع زلزله، ازاین‌جهت که در این ساعات بیشترین احتمال زنده ماندن قربانیان حادثه وجود دارد، فرصتی طلایی برای کمک به حادثه‌دیدگان است. بنابراین تخصیص بهینهٔ گروه‌های امداد و نجات به مناطقی که از میزان آسیب‌پذیری بیشتری برخوردارند، در کاهش تعداد تلفات مؤثر است. برای نیل به این هدف لازم است که نقشهٔ آسیب‌پذیری مربوط به منطقهٔ موردمطالعه مشخص شود تا نیروهای امداد در صورت بروز زلزله با آگاهی قبلی از آسیب‌پذیری مناطق، در سریع‌ترین زمان ممکن به منطقهٔ موردنظر اعزام شوند.

روش: این مقاله رهیافت تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی را با هدف شناسایی مهم‌ترین عوامل تشدیدکنندهٔ آسیب‌رسان حاصل از زلزله در منطقهٔ ۱ تهران و تهیهٔ نقشهٔ آسیب‌پذیری به‌کار می‌گیرد. چارچوب تصمیم‌گیری چندمعیاره، عوامل محیطی و انسان‌ساخت را دربر می‌گیرد. پس از انتخاب شاخص‌های تأثیرگذار در مکان‌یابی مناطق آسیب‌پذیر، نقشه‌های پایهٔ ورودی که بر اساس آسیب‌پذیر یا عدم آسیب قسمت‌های مختلف منطقه به‌صورت باینری به‌دست‌آمده‌اند، تهیه گردید. درنهایت برای تلفیق لایه‌ها از دو روش بولین و هم‌پوشانی شاخص استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهد که حدود ۱۲ درصد از مساحت کل منطقهٔ مطالعاتی در گروه آسیب‌پذیری زیاد، ۴۵ درصد در گروه متوسط و بقیهٔ منطقه که حدود ۴۳ درصد از مساحت را شامل می‌شود، در دستهٔ آسیب‌پذیری کم طبقه‌بندی می‌شوند. همچنین با توجه به اینکه این تحقیق در دو روش بولین و هم‌پوشانی شاخص صورت گرفت، نتایج حاصل از هر دو روش نمایانگر این بود که منطقهٔ دربند و خیابان‌های اطراف آن به‌عنوان آسیب‌پذیرترین قسمت‌های منطقهٔ ۱ شهر تهران پس از وقوع زلزله می‌باشند، و این بدین‌جهت است که در این منطقه تمامی شاخص‌های درنظرگرفته شده برای تعیین آسیب‌پذیری، نامطلوب هستند. با توجه به نقشهٔ آسیب‌پذیری به‌دست‌آمده بر اساس عرض معابر، نیاز به تعریض خیابان‌ها در بخش‌های مرکزی منطقه و به دلیل کمبود راه‌های مواصلاتی در شمال منطقهٔ موردمطالعه، ایجاد راه‌های استاندارد و با عرض مناسب در بخش‌های شمالی منطقهٔ یک شهر تهران احساس می‌گردد. همچنین با توجه به نقشهٔ

زمین‌شناسی تهیه‌شده و آسیب‌پذیر بودن بخش اعظمی از این منطقه، در هنگام ساخت‌وساز باید تمامی استانداردهای ساختمان‌سازی رعایت گردد تا از بروز حادثه جلوگیری شود.

نتیجه‌گیری: در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت، باید قبل از وقوع زلزله برنامه‌های مدیریتی برای کاهش آسیب‌پذیری در مناطق با آسیب‌پذیری بالا انجام شود؛ ازجملهٔ این اقدامات می‌توان به جانمایی درست و بهینهٔ مراکز امدادرسانی و درمانی نسبت به مراکز بحران و آسیب‌پذیر و همچنین رعایت استانداردهای ساختمان‌سازی به‌ویژه در مناطق مجاور گذرگاه‌ها اشاره کرد. در مرحلهٔ بعد، پس از وقوع زلزله با اطلاع قبلی از منطقهٔ آسیب‌دیده و با کمک نقشهٔ آسیب‌پذیری، باید نیروهای امدادی به مناطق آسیب‌پذیرتر اعزام گردند.

کلمات کلیدی: نقشهٔ آسیب‌پذیری، زلزله، مکان‌یابی، روش هم‌پوشانی شاخص، روش بولین

مقدمه

بررسی‌ها نشان می‌دهد که طبق گزارش سازمان ملل در ۲۰۰۳، کشور ایران در تعداد زلزله‌های با شدت بالای ۵/۵ ریشتری در جهان رتبهٔ نخست را دارد و دارای یکی از بالاترین رتبه‌ها در زمینهٔ آسیب‌پذیری حاصل از وقوع زلزله و تعداد افراد کشته‌شده در اثر این سانحه می‌باشد. [۱]

ازآنجایی‌که ایران در کمربند زلزله‌خیز آلپ هیمالیا قرار دارد، و به‌عنوان یکی از بخش‌های جوان و در حال کوه‌زایی به شمار می‌رود، جزء کشورهای زلزله‌خیز می‌باشد و شاهد زلزله‌های بزرگی است که هر از چند گاهی نواحی مختلفی از آن را تکان می‌دهد و موجب خسارت‌های جانی و مالی جبران‌ناپذیری می‌شود. [۲]

می‌توان گفت آنچه موجب افزایش تلفات در زلزله می‌شود، ساختمان‌های غیرمقاوم یا کم‌مقاوم در مناطق مختلف هستند که هنگام وقوع زلزله باعث بروز چنین فجایعی می‌شوند. تجربه نشان داده کشورهایی که با این پدیده درگیرند، تا حدود زیادی عامل تخریب زلزله‌ها را کم کرده و شهرهای خود را بر اساس اصول صحیح مهندسی بنا نهاده‌اند و هیچ واهمه‌ای از وقوع زمین‌لرزه ندارند. [۳]

نمونهٔ بارز این کشورها ژاپن است که سالانه با چندین مورد زلزلهٔ بالای هفت ریشتر، به دلیل وجود زیرساخت‌های مناسب شهری تعداد بسیار کمی از سازه‌ها و افراد آسیب می‌بینند و دچار بحران و اختلال در سیستم‌های شهری نمی‌شوند. [۴]

واقعیت اساسی در مورد این سوانح این است که در مواجهه با چنین سوانحی در لحظهٔ وقوع، کار چندانی نمی‌توان انجام داد، اما می‌توان با برنامه‌ریزی قبلی تأثیرات آنها را خنثی کرد یا به حداقل رساند. [۱]

مدیریت و تصمیم‌گیری پیش از وقوع زلزله، از انجام یک سری اقدامات بعد از وقوع مؤثرتر است؛ لذا توجه به فازهای پیش از وقوع یک بلای طبیعی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. [۵]

برای کاهش خسارات و برنامه‌ریزی قبلی می‌توان نقشهٔ آسیب‌پذیری منطقه را تهیه کرد تا در صورت بروز زلزله، امدادرسانی به مناطق با خطر بالا که از قبل مشخص‌شده‌اند در اولویت باشند.

تهران به‌عنوان یکی از کلان‌شهرهای کشور با جمعیتی حدود هشت میلیون نفر، در زمرهٔ شهرهایی قرار دارد که در معرض خطر شدید زلزله می‌باشد. زمانی این موضوع اهمیت بیشتری می‌یابد که بدانیم در صورت بروز خطر، تهران به دلیل ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود مانند تمرکز شدید ساختمانی، کمبود فضاهای باز، رعایت نکردن استانداردهای لازم در اکثر سازه‌های مناطق مختلف (به‌خصوص بافت مرکزی)، جمعیت زیاد، رعایت نکردن سرانه‌ها، وجود مخروط افکنهٔ توچال، بافت نوساز بدون رعایت آیین‌نامه‌های مرتبط با زلزله و ...، با مشکلات عدیده و متفاوتی نسبت به سایر شهرها مواجه است. بنابراین شناخت محدوده‌های آسیب‌پذیر و مقاوم در سطح شهر و برنامه‌ریزی صحیح و مناسب برای پیشگیری یا کاهش آثار خطر احتمالی، آمادگی در برابر مخاطرات، کاهش تلفات و خسارات ناشی از زلزله بسیار حیاتی و مهم است. از سوی دیگر، چنین مطالعه‌ای می‌تواند مؤثرترین شیوه تخصیص بهینهٔ اعتبارات مقاوم‌سازی شهری به شمار آید.

با شناسایی مناطق آسیب‌پذیر می‌توان درخصوص برنامه‌ریزی و مدیریت بحران اقداماتی همچون مقاوم‌سازی سازه‌های پرخطر، تخریب سازه‌هایی که احتمال تخریب آنها در زمان وقوع زلزله بالاست، کاهش تمرکز جمعیت در مناطق آسیب‌پذیر، ساخت بیمارستان و پایگاه‌های امدادی و... را انجام داد تا از خسارات مالی و جانی که پیامدهای جبران‌ناپذیری بر جامعه و افراد خواهد گذاشت جلوگیری شود.

بنابراین هدف از انجام این تحقیق، تهیهٔ نقشهٔ آسیب‌پذیری منطقهٔ یک شهر تهران برای بررسی و ارزیابی بخش‌های پرخطر موجود در منطقه، همچنین پیشگیری از بروز بحران‌های جبران‌ناپذیر پس از وقوع زلزله و آمادگی مقابله با این بحران‌ها می‌باشد که در این خصوص برای رسیدن به هدف مورد نظر، پارامترهای نوع مصالح ساختمانی، شیب، کاربری زمین، تعداد طبقات، مساحت قطعات، تراکم جمعیت، فاصله از گسل، فاصله از مراکز و تأسیسات خطرزا، فاصله از مراکز درمانی و امدادرسانی، فاصله از خیابان‌ها و راه‌های اصلی و عرض معابر مورد نظر قرار گرفت و با توجه به روش‌های موجود از دو روش بولین و هم‌پوشانی شاخص استفاده گردید. از روش بولین برای رسیدن به جواب قطعی با درصد اطمینان بالاتر و از روش هم‌پوشانی شاخص، برای داشتن گروه‌های آسیب‌پذیری مابین دو گروه آسیب‌پذیر و بدون آسیب استفاده شد.

توجه به دیدگاه سیستمی تعیین آسیب‌پذیری شهر فقط با استفاده از یک شاخص گویا نیست، بلکه باید شاخص‌های مختلف با هم مطالعه شوند. هدف این پژوهش شناسایی مهم‌ترین عوامل تشدیدکنندهٔ آسیب‌رسان حاصل از زلزله در منطقهٔ ۱ تهران، تشکیل لایهٔ مربوط به هرکدام از آنها و درنهایت تلفیق این لایه‌ها برای تهیه نقشهٔ آسیب‌پذیری می‌باشد. در پژوهش حاضر ۱۰ پارامتر نوع مصالح ساختمانی، شیب، تعداد طبقات، مساحت قطعات، تراکم جمعیت، فاصله از گسل، فاصله از مراکز و تأسیسات خطرزا، فاصله از مراکز درمانی و

امدادرسانی، فاصله از راه‌ها و جاده‌های اصلی و کاربری در نظر گرفته شده است. پس از مشخص شدن شاخص‌ها، به تشکیل لایه‌های اطلاعاتی آنها پرداخته می‌شود و درنهایت این لایه‌ها با روش‌های بولین و هم‌پوشانی شاخص تلفیق و اولویت‌های امدادرسانی و نقشهٔ آسیب‌پذیری تهیه می‌شود. ساختار کلی تحقیق بدین گونه است که بخش اول مقدمهٔ کوتاهی در مورد ضرورت انجام تحقیق، نحوهٔ اجرا و پیاده‌سازی آن؛ بخش دوم بررسی پیشینهٔ تحقیق و اشارهٔ کوتاهی به تحقیقات انجام‌شده؛ بخش سوم معرفی منطقهٔ مطالعاتی و ارائه سیمای کلی منطقه؛ بخش چهارم تشریح مبانی نظری تحقیق؛ بخش پنجم ارائه نحوهٔ پیاده‌سازی؛ بخش ششم نتایج حاصل از تحقیق و بخش‌های هفتم و هشتم مقایسه و ارزیابی نتایج و نتیجه‌گیری و پیشنهادات را شامل می‌شود.

پیشینهٔ تحقیق

در ارتباط با ارزیابی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله، پژوهش‌های چندی در سطح جهانی و داخلی انجام شده که در اینجا به بعضی از آنها اشاره می‌کنیم.

مجید ابراهیمی و همکاران تحقیقی با عنوان «ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر بَردَسْکن در برابر زلزله با استفاده از مدل سلسله مراتبی وارون (IHPW)[1]» انجام دادند؛ هدف شناسایی میزان آسیب‌پذیری اجزا و عناصر شهری با استفاده از مدل‌ها و روش‌های موجود در کاهش آسیب‌پذیری در برابر زلزله بود. برای رسیدن به این هدف ۱۶ شاخص کالبدی- فضایی مؤثر بر آسیب‌پذیری شهرها در سطح جهانی را شناسایی کردند، سپس در قالب مدل‌های برنامه-ریزی و تلفیقی فازی و تحلیل سلسله مراتبی وارون، برآورد مناسبی از آسیب‌پذیری شهر در برابر زلزله با استفاده از داده‌های مکانی و توصیفی اجزا، عناصر اصلی و رفتاری ساختمانی و تعیین تأثیر هرکدام از معیارهای به‌کاررفته در میزان آسیب‌پذیری ارائه دادند. [۶]

در این پژوهش معیارهایی چون دوری و نزدیکی از مراکز آسیب‌رسان و درمانی در نظر گرفته نشده است که ما در تحقیق حاضر این دو پارامتر را به شاخص‌هایمان اضافه کردیم.

حیدرزاده و همکاران به سنجش عوامل آسیب‌رسان حاصل از زلزله در منطقهٔ یک تهران پرداختند. در این پژوهش ابتدا به شناسایی عوامل مؤثر در آسیب‌رسانی حاصل از زلزله پرداخته شد، سپس با به‌کارگیری داده‌ها و اطلاعات جمع‌آوری‌شده و با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات مکانی (GIS) این شاخص‌ها تحلیل و در نهایت آسیب‌پذیرترین نواحی در این منطقه مشخص شد. [۷]

در تحقیق مذکور از یک روش برای دست‌یابی به نتایج استفاده شده است. اگر روش تحلیلی دیگری نیز استفاده می‌شد، امکان ارزیابی و مقایسهٔ نتایج وجود داشت.

رحمتی و همکاران در مقالهٔ خود به ارزیابی متغیرهای تأثیرگذار بر آسیب‌پذیری مساکن شهری در برابر زلزله با در نظر گرفتن متغیرهای آسیب‌پذیری ازجمله کیفیت ابنیه، قدمت بنا، نوع مصالح، تراکم جمعیت و سطح اشغال بنا به تحلیل

[1] Inversion Hierarchical Weight Process

همبستگی و رگرسیون بین آسیب‌پذیری و هرکدام از متغیرهای مذکور پرداختند. [۸]

تعداد شاخص‌های در نظر گرفته‌شده در این تحقیق کم می‌باشد، اگر پارامترهای دیگری چون مساحت قطعات، تعداد طبقات، فاصله از راه‌های اصلی در نظر گرفته می‌شد نتایج بهتر و قابل‌اعتمادتری حاصل می‌شد.

جمال امینی و همکاران با به‌کارگیری روش TOPSIS FUZZY به ارزیابی آسیب‌پذیری مساکن شهری در برابر زلزله در منطقهٔ ۹ تهران پرداختند. روش تحقیق و تجزیه‌وتحلیل در این مقاله بر اساس اطلاعات جمع‌آوری‌شده و نرم‌افزارهای مبتنی بر رویکرد سیستم اطلاعات مکانی می‌باشد. در این روش میزان مطلوبیت هر شاخص بر اساس فاصله از نقطهٔ ایده‌آل است که این نقطهٔ ایده‌آل بر اساس شاخص‌های اولیهٔ درنظر گرفته‌شده به دست خواهد آمد. [۹]

احدنژاد و همکاران سعی کردند تا با به‌کارگیری روش فرایند سلسله‌مراتبی (AHP[1]) برآورد مناسبی از آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله با استفاده از داده‌های مکانی و توصیفی اجزا و عناصر اصلی و رفتاری ساختمانی و تعیین تأثیر هرکدام از معیارهای به‌کار رفته در میزان آسیب‌پذیری ارائه دهند. همچنین به ارائه سناریوهای زلزله در شدت‌های مختلف به مدل‌سازی و ریزپهنه‌بندی آسیب وارده به ساختمان‌ها، تلفات انسانی و خسارات اقتصادی شهر زنجان پرداختند. [۱۰]

علاوه بر روش فازی، اگر از روش دیگری نیز استفاده می‌شد تا نتایج هر دو قسمت با یکدیگر مقایسه و ارزیابی شوند، نتیجهٔ حاصله قابل‌اعتمادتر بود.

حاتمی‌نژاد و همکاران با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی در منطقهٔ ۱۰ تهران، میزان آسیب‌پذیری حاصل از سازگاری زمین با کاربری‌های واقع در آن در برابر زلزله را بررسی کردند. بدیهی است که با در نظر گرفتن یک پارامتر برای بررسی میزان آسیب‌پذیری، به نتایج قابل‌اعتماد نخواهیم رسید، برای بهبود نتایج می‌توان معیارهای مؤثر دیگری چون تعداد طبقات، مصالح ساختمانی، مساحت قطعات، فاصله از کاربری‌های خطرناک و... را دخیل کرد. [۱۱]

شریف‌زادگان و همکاران کاربرد مدل‌های فضایی ارزیابی و تحلیل آسیب‌پذیری لرزه‌ای را در برنامه‌ریزی و مدیریت شهری بررسی کردند و با توجه به ضروری‌ترین برنامهٔ کاهش آسیب‌پذیری در این محدوده اصلاح شاخص‌های شهری ازجمله وضعیت شبکهٔ معابر و بافت شهری داخل محدوده را ارزیابی کرده‌اند. [۱۲]

بوترو فرناندز[2] در رسالهٔ دکتری خود با عنوان «اطلاعات جغرافیایی برای اندازه‌گیری میزان آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله» به ارزیابی نقش اطلاعات و داده‌های جغرافیایی در مطالعات مربوط به اندازه‌گیری آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله اشاره کرده و با توجه به زیرساختار داده‌های مکانی به پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری اجتماعی و کالبدی

[1] Analytical Hierrchy Process

[2] Verónica Botero Fernández

در شهر مدیلین واقع در کشور کلمبیا پرداخته است [۱۳]

مارتینلی[1] در مقاله‌ای با عنوان «ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها و ارائهٔ سناریوهای آسیب برای شهرهای ایتالیا»، ابتدا با استفاده از مدل‌های ارزیابی آسیب‌پذیری از جمله مدل Risk-UE میزان آسیب‌پذیری ساختمانی را ارزیابی کرده و درنهایت با ارائه سناریوهای زلزله در شدت‌های مختلف به تخمین و مدل‌سازی خسارات ناشی از زلزله‌های احتمالی پرداخته است. [۱۴]

ایبرت[2] و همکاران به بررسی آسیب‌پذیری اجتماعی شهرها در برابر مخاطرات طبیعی پرداخته‌اند. در این مطالعه که با استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات مکانی انجام‌گرفته، استانداردهایی برای کاهش آسیب‌پذیری شهرها ارائه داده‌اند که از آن جمله تشکیل واحدهای همسایگی است. همچنین آنها برای کاهش آسیب‌ها معتقد به ترکیب روش‌های سنتی و روش‌های نوین مانند سنجش‌ازدور در مواقع بحران هستند. [۱۵]

به‌طورکلی و با توجه به مطالعات پیشین صورت‌گرفته در این حوزه می‌توان پارامترهای تأثیرگذار در این حیطه را به‌صورت زیر بیان کرد: کیفیت ابنیه، قدمت بنا، نوع مصالح، تراکم جمعیت، سطح اشغال بنا، تعداد طبقات، نوع کاربری زمین، مساحت قطعات، وضعیت قرارگیری ساختمان در بلوک، تعداد همسایگی قطعات، نوع خاک، شیب، حداکثر شتاب زلزله، دسترسی به فضاهای باز شهری، نسبت عرض راه به ارتفاع جداره، تراکم ساختمانی، وضعیت شبکهٔ معابر، سازگاری زمین با کاربری‌های اطراف، فاصلهٔ سکونت‌گاه‌ها از فضاهای بی‌کالبد، عمق سطح ایستابی، دوری و نزدیکی به گسل، دسترسی به مراکز درمانی، فاصله از مراکز و تأسیسات خطرزا و....

در اکثر مقالات و تحقیقات انجام‌شده از روش تحلیل سلسله مراتبی روش‌های فازی استفاده شده و در کمتر مطالعه‌ای برای دستیابی به هدف تهیهٔ نقشهٔ آسیب‌پذیری از روش‌های بولین و هم‌پوشانی شاخص استفاده شده است. در پژوهش حاضر سعی بر آن شده تا با ارائهٔ دو روش بولین و هم‌پوشانی شاخص، به نحوی متفاوت به تهیهٔ نقشهٔ آسیب‌پذیری پرداخته شود و با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، خروجی‌های مناسب و معقولی به دست آید. می‌توان این نکته را خاطرنشان کرد که یکی از دلایل مفید بودن استفاده از روش بولین این است که جواب حاصل از این روش جوابی قطعی است و منطقهٔ آسیب‌پذیری که پس از استفاده از این روش مشخص می‌شود، قطعاً نسبت به دیگر مناطق آسیب‌پذیرتر خواهد بود. از طرفی در هیچ‌یک از مطالعات بررسی‌شده، ترکیب تمامی پارامترهای در نظر گرفته‌شده در این تحقیق در کنار یکدیگر به چشم نمی‌خورد؛ به همین دلیل در این تحقیق سعی بر آن شد تا کاستی‌های مطالعات پیشین برطرف شود و این عوامل و پارامترها در تصمیم‌گیری دخیل شوند و نتایج مفیدتر و قابل‌اعتمادتری به دست آید.

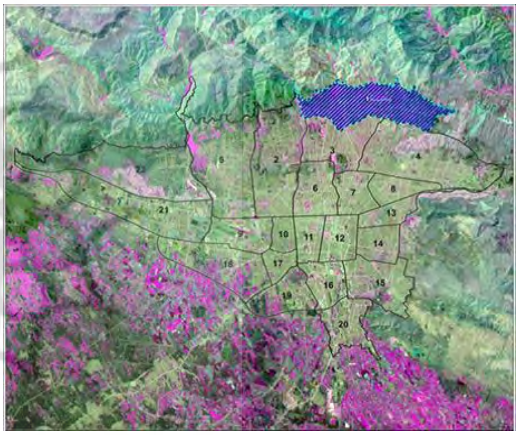
منطقهٔ مطالعاتی

منطقهٔ مطالعاتی در این مقاله منطقهٔ یک شهر تهران است. این منطقه در بلندای تهران و با وسعتی حدود

[1] Martinelli
[2] Ebert

۲۱۰ کیلومترمربع بر اساس داده‌های آماری بیش از ۴۳۳۵۰۰ هزار نفر جمعیت را در خود جای داده است.

شکل شمارهٔ ۱: منطقهٔ یک شهر تهران



شکل شمارهٔ ۲: موقعیت منطقهٔ یک در شهر تهران

منطقهٔ یک تهران از سمت غرب با منطقهٔ ۲، از سمت جنوب با منطقهٔ ۳ و از سمت شرق با منطقهٔ ۴ همجوار است. این منطقه از طرف شمال محدود به ارتفاعات ۱۸۰۰ متری دامنهٔ جنوبی کوه‌های البرز، از جنوب به بزرگراه شهید چمران حد فاصل دوراهی هتل آزادی و مدرس و پل آیت‌ا.. صدر و از غرب به اراضی رودخانهٔ درکه و از شرق نیز به انتهای بزرگراه ارتش، کارخانهٔ آسفالت و منبع نفت شمال شرق تهران محدود می‌شود. [۷] (شکل ۱ و۲)

روش تحقیق

در تحقیق پیش‌رو از دو روش مدل منطق اولین و مدل هم‌پوشانی شاخص نقشه‌ها برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی مربوط به شاخص‌های در نظر گرفته‌شده، استفاده شده است که در ادامه به تشریح این دو مدل می‌پردازیم.

الف) مدل منطق بولین: وزن‌دهی به لایه‌ها در هر لایهٔ اطلاعاتی در این مدل بر اساس منطق صفر و یک می‌باشد. یعنی در هر نقشه پایهٔ هر واحد از نظر آسیب‌پذیری به‌گونه‌ای است که یا آسیب‌پذیر است یا بدون آسیب و حد وسطی وجود ندارد، در نقشهٔ نهایی و تلفیق‌یافته نیز هر پیکسل یا آسیب‌پذیر یا بدون آسیب تشخیص داده می‌شود. این مدل دارای اپراتورهای NOT، AND و OR می‌باشد.

بر اساس نظریهٔ مجموعه‌ها، اپراتور AND اشتراک و اپراتور OR اجتماع مجموعه‌ها را استخراج می‌کند. یعنی در اپراتور AND فقط پیکسلی که در تمامی نقشه‌های پایه ارزش یک دارد در نقشهٔ نهایی ارزش یک خواهد داشت و جزء منطقهٔ مناسب قرار می‌گیرد. اما در اپراتور OR پیکسلی که فقط از نظر یک نقشهٔ پایه مناسب و ارزش یک داشته باشد و ازلحاظ سایر لایه‌های اطلاعاتی دارای ارزش صفر باشد در نقشهٔ خروجی و تلفیق‌یافته ارزش یک دارد و مناسب تشخیص داده می‌شود. [۱۶]

در این پژوهش از عملگر AND استفاده‌شده است که بر پایهٔ مجموعهٔ نظریهٔ اشتراک‌ها استخراج می‌کند.

ب) مدل هم‌پوشانی شاخص نقشه‌ها: در این مدل علاوه بر وزن‌دهی به واحدها در هر لایهٔ اطلاعاتی به

هر لایهٔ اطلاعاتی (نقشه) بر اساس ارزش خود در مکان‌یابی وزن داده می‌شود. این مدل دو حالت دارد:

الف) **وزندهی نقشه‌های باینری**[1]: بر اساس این مدل به نقشه‌های حاصل از مدل بولین بر اساس اهمیتشان در مکان‌یابی وزن خاصی داده می‌شود.

ب)**نقشه‌های چندکلاسه**[2]: در این مدل علاوه بر وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی، واحدهای موجود در هر لایهٔ اطلاعاتی نیز بر اساس پتانسیل خود وزن خاصی خواهد داشت.

در این روش مقادیر هر نقشه در وزن فاکتور مربوطه ضرب می‌گردد، در مرحلهٔ بعد مقادیر نقشه‌های وزن‌دهی شده با یکدیگر جمع و در انتها مقادیر نقشهٔ خروجی با تقسیم بر مجموع وزن‌ها استاندارد می‌گردد.

در این پژوهش از روش اول برای هم‌پوشانی شاخص استفاده شده؛ بدین‌صورت که از نقشه‌های باینری به‌عنوان ورودی استفاده گردیده است. وزن مربوط به هر معیار با توجه به پرسشنامه‌های تکمیل شده توسط کارشناسان و استفاده از نرم‌افزار Expert Choice به‌دست آمد. سپس وزن به‌دست‌آمده برای هر لایه، در لایهٔ مربوطه ضرب شد. درنهایت تمامی لایه‌های اطلاعاتی با یکدیگر جمع و مقادیر نقشهٔ نهایی به مقادیر بین صفر تا ۱۰ تبدیل‌شده و اولویت آسیب‌پذیری مناطق مشخص می‌شود.

به‌طورکلی مدل، رفتار یک پدیده را در دنیای واقعی با استفاده از چندین عامل ارائه می‌کند. معمولاً هر چه عوامل بیشتری در ارائهٔ یک مدل انتخاب شود، دقت مدل بالاتر خواهد بود و از طرفی افزایش عوامل و داده‌ها هزینهٔ ارائهٔ مدل را افزایش می‌دهد و مدل را پیچیده‌تر می‌کند. بهترین مدل، مدلی است که با کمترین تعداد عامل، بهترین نتیجه را ارائه نماید. مراحل پیاده‌سازی شامل ۳ مرحله است که هر مرحله را به‌صورت جداگانه معرفی خواهیم کرد.

۱- شناسایی عوامل تشدیدکنندهٔ آسیب‌رسان حاصل از زلزله: با توجه به مطالعات صورت‌گرفته، مهم‌ترین عوامل تشدیدکنندهٔ آسیب‌رسان که اطلاعات مورد نیاز آنها نیز در دست بود شامل نوع مصالح ساختمانی، شیب، کاربری زمین، تعداد طبقات، مساحت قطعات، تراکم جمعیت، فاصله از گسل، فاصله از مراکز و تأسیسات خطرزا، فاصله از مراکز درمانی و امدادرسانی، فاصله از خیابان‌ها و راه‌های اصلی، عرض معابر و جنس زمین می‌باشند.

۲- تهیهٔ نقشهٔ باینری طبقه‌بندی معیارها: با مشخص شدن هر یک از عوامل مؤثر در این حوزه و در دست داشتن نقشهٔ شاخص مربوطه می‌توان لایهٔ اطلاعاتی آن شاخص را به دست آورد. با توجه به جدول شمارهٔ ۱ که حاصل از تحقیق‌های گذشته و نظر کارشناسان این حوزه است، می‌توان نقشهٔ شاخص‌های مدنظر را به‌صورت باینری یعنی آسیب‌پذیر و بدون آسیب طبقه‌بندی و لایهٔ اطلاعاتی ورودی برای مراحل بعد را تهیه کرد.

نوع مصالح ساختمانی: نوع مصالح ساختمانی به‌کاررفته در ساخت واحد مسکونی یکی از شاخص‌های تعیین‌کنندهٔ کیفیت مسکن محسوب می‌گردد. به‌طوری‌که در اکثر کشورها، ساختمان‌های مسکونی ساخته‌شده از مصالح بی‌دوام مانند خشت و گل و چوب در ردهٔ واحدهای مسکونی غیر ایمن

[1] Binary Evidence Map
[2] Multi Class Map

قرار دارند. البته در این مورد ضوابط دقیق و بین‌المللی وجود ندارد؛ زیرا ایمنی، مرغوبیت و قابلیت مصالح مختلف ساختمانی بستگی به شرایط اقلیمی و نوع آب‌وهوای هر منطقه دارد [۱۷].

بر اساس مصالح غالب مورداستفاده در ساخت‌وساز ابنیه در سطح کشور، چهار گروه از انواع مصالح قابل‌شناسایی است که شامل مصالح بادوام (اسکلت فلزی و اسکلت بتن)، متوسط دوام (آجر و چوب، سنگ و چوب و بلوک سیمانی، آجر و آهن سنگ و آهن)، کم‌دوام (چوب و خشت و گل) و بی‌دوام (چادر و حصیر) می‌باشد. [۶]

شیب: شالوده‌های ساختمان باید حتی‌المقدور روی یک سطح افقی ساخته شود. در صورت احداث بنا در بالا، پایین و یا روی شیب، ظرفیت باربری، پی و پایداری موضعی و کلی شیب باید تأمین گردد، اما در حالت کلی با افزایش شیب، احتمال تخریب ساختمان‌های ساخته‌شده در شیب افزایش می‌یابد، پس می‌توان نتیجه گرفت که شیب و میزان آسیب‌پذیری ساختمان به‌نوعی رابطهٔ مستقیم دارند.

فاصله از گسل: مطالعهٔ گسل‌ها ازآنجایی‌که توان لرزه‌زایی دارند، دارای اهمیت است. شناسایی زون‌های گسلی فعال و برآورد توان لرزه‌زایی این گسل‌ها می‌تواند در کاهش خسارات جانی و مالی مهم باشد. در طول یک گسل مقدار و سازوکار جابه‌جایی، یکسان و همانند نیست و ممکن است بخشی از یک گسل به‌صورت کششی و بخشی دیگر از آن به‌صورت فشاری عمل کند، اما بدون تردید بین گسل و زلزله رابطهٔ نزدیکی وجود دارد و همین امر بیانگر این است که هرچه فاصله از گسل بیشتر باشد، احتمال آسیب‌پذیری آن منطقه کمتر خواهد بود.

تعداد طبقات: با بالا رفتن تعداد طبقات ساختمانی احتمال بسته شدن معابر به دلیل ریختن آوار ساختمان‌های بلندمرتبه بالا می‌رود و موجب اختلال در امر امدادرسانی می‌شود. همچنین به‌دلیل جمعیت زیاد ساکن در ساختمان‌های چندطبقه، در زمان بروز حادثه تخلیهٔ ساکنان در این واحدها کندتر انجام می‌شود و به علت حجم آواربرداری بسیار زیاد، نجات جان ساکنان ساختمان‌های بلند بسیار مشکل و دشوارتر است، بنابراین احتمال آسیب‌پذیری در سازه‌های بلندمرتبه‌تر بالاتر است. [۶]

تراکم جمعیت: شاخصی برای تعیین بار جمعیتی در مواقع زلزله است و درنتیجه با بیشتر شدن تراکم جمعیت، سرعت پناه‌گیری، خدمات‌رسانی و امداد پایین می‌آید و برعکس. [۱۸] این شاخص را می‌توان در هر قلمرویی نظیر تراکم جمعیتی کشور، تراکم جمعیتی شهری و تراکم جمعیت در محله اندازه‌گیری کرد؛ اما به‌طورمعمول این شاخص در قلمرو شهر یا مناطق درون‌شهری و به نام تراکم ناخالص مسکونی به کار می‌رود. هر چه تراکم جمعیت کمتر باشد آسیب‌پذیری نیز کمتر می‌شود. [۶]

هرچه تعداد افراد ساکن در یک بلوک نسبت به مساحت آن بلوک بیشتر باشد احتمال و خطر آسیب‌پذیری در آن منطقه بیشتر خواهد بود. در این مورد ما نسبت جمعیت به مساحت را برای هر بلوک به‌صورت جداگانه محاسبه و بر اساس این نسبت میزان آسیب‌پذیری را مشخص کردیم.

مساحت قطعات: تفکیک اراضی در ابعاد کوچک باعث خردشدن فضاهای باز می‌شود و عملاً از مفیدبودن فضاهای باز برای گریز و پناه‌گیری و عملیات امدادی می‌کاهد. بنابراین، با کاهش مساحت قطعات میزان آسیب‌پذیری افزایش می‌یابد. [۱۹]

فاصله از مراکز و تأسیسات خطرزا: تأسیسات خطرزا به آن گروه از تأسیساتی گفته می‌شود که در ارتباط با مواد خطرناک قرار دارند. این تأسیسات می‌توانند باعث خطرهای ثانویه‌ای چون انفجار و آتش‌سوزی شوند. بنابراین انتقال این‌گونه تأسیسات به خارج از شهر یا در نظر گرفتن حریم مناسب برای آنها می‌تواند راه‌حل مناسبی برای کاهش میزان آسیب محسوب شود. مکان‌هایی مثل پمپ‌های بنزین، ایستگاه تقلیل فشار گاز، پمپ گاز، مخزن آب‌رسانی و ایستگاه‌های حمل‌ونقل و ... به‌عنوان تأسیسات خطرزا محسوب می‌شوند. بدیهی است هرچه فاصله از این تأسیسات افزایش یابد، آسیب‌پذیری کمتر خواهد بود. [۶]

کاربری زمین: هرگاه در تعیین کاربری زمین‌های شهری، همجواری‌ها رعایت گردد، کاربری‌های ناسازگار در کنار یکدیگر قرار داده نشوند، امکان تخلیهٔ سریع اماکن فراهم گردد، و کاربری‌ها در شهر به‌گونه‌ای توزیع شوند که سبب عدم تمرکز گردند، می‌توان انتظار داشت آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله تا حد زیادی کاهش یابد. بنابراین، با توجه به نوع کاربری، احتمال آسیب‌پذیری مناطق، متفاوت خواهد بود. به همین دلیل با توجه به نظر کارشناسان مربوطه، کاربری‌های محدودهٔ موردمطالعه به دودستهٔ کاربری خطرناک و کاربری بدون خطر تقسیم شدند.

فاصله از مراکز درمانی و امدادرسانی: در پی وقوع حوادثی چون زلزله، تعداد زیادی از افراد مصدوم و مجروح می‌گردند و برای دریافت خدمات و مراقبت‌های بهداشتی و درمانی، به جست‌وجوی بیمارستان‌ها و مراکز درمانی می‌پردازند؛ پس هرچه فاصله تا این مراکز کمتر باشد، از میزان تلفات و خسارات جانی کاسته خواهد شد. همچنین درصورت بروز بحران، مناطقی که در محدودهٔ اطراف آنها مراکز درمانی وجود ندارد، تا اعزام نیروهای امدادی به این مناطق زمان بیشتری لازم است و در این زمان ممکن است تعداد تلفات بیشتر شود؛ پس مناطق با فاصلهٔ بیشتر تا مراکز درمانی و امدادی آسیب‌پذیری بیشتری را دارند. در این تحقیق لایهٔ فاصله تا مراکزی مثل هلال‌احمر، بیمارستان و آتش‌نشانی به دست آمد.

فاصله از خیابان‌ها و راه‌های اصلی: شبکه‌های ارتباطی به‌عنوان اسکلت سازندهٔ شهر نقش کاملاً کلیدی در کاهش آسیب‌پذیری حاصل از بحران‌ها را برعهده دارند. علاوه بر این، بستر لازم را برای عملیات مختلف نجات و بازسازی فراهم می‌کنند. شبکهٔ حمل‌ونقل برای نجات جان مجروحان زلزله و ارائهٔ سریع خدمات درمانی به آنها نقش اساسی دارد. هرچه میزان دسترسی به منطقه بیشتر و آسان‌تر باشد، نیروهای امدادی در دسترسی به این مناطق با مشکلات کمتری مواجه می‌شوند و به طبع آن، آسیب‌پذیری منطقه کمتر می‌باشد.

عرض معابر: این شاخص نقش بسیار مهمی در هنگام گریز، پناه، تخلیه و امدادرسانی دارد؛ چراکه حجم بیشتری از بازماندگان یا گروه‌های امدادگری

می‌توانند منتقل شوند. همچنین در صورت کارایی کم یا مسدود شدن هر یک از مسیرها (حتی مسیرهای فرعی) میزان آسیب‌پذیری مضاعف می‌شود و احتمال دارد بازگشت به وضعیت عادی چندان میسر نباشد. یکی از ویژگی‌های یک شبکهٔ ارتباطی کامل، عرض مسیر است. درواقع شبکهٔ ارتباطی کارآمد، شبکه‌ای است که عرض بیشتری دارد، سطح آن نسبت به سطوح ساخته‌شدهٔ شهری بیشتر و با شبکه‌های خارج از شهر در ارتباط است و معابر آن پیچ‌وخم کمتری دارد.

جنس زمین: در تحلیل و بررسی رفتار لرزه‌ای یک سازه، تحریکی که از جانب زمین به سازه اعمال می‌شود برای حالتی که سازه بر زمین و سنگ‌بستر سخت متکی باشد، همان تحریکی است که قبل از احداث سازه در آن نقطهٔ پی وجود داشته است، اما درصورتی‌که سازه بر خاک نرم متکی باشد، تغییرات مهمی در ورودی لرزه‌ای سازه رخ خواهد داد. به همین دلیل، در نظر گرفتن پارامتر جنس زمین برای تهیهٔ نقشهٔ آسیب‌پذیری بسیار مؤثر است. با توجه به نظر کارشناسان متخصص در زمینهٔ زمین‌شناسی جنس زمین در دو دستهٔ زیر طبقه‌بندی می‌شود:

بدون آسیب: دولومیت، سنگ‌آهک فسیل‌دار، سیلتستون و ماسه‌سنگ، سنگ‌آهک ریفی و مارن ژیپس‌دار، سنگ‌آهک توده‌ای، کنگلومرای پلی‌ژنیک قرمز و ماسه‌سنگ و پلی‌متال، مارن، مارن ژیپس‌دار.

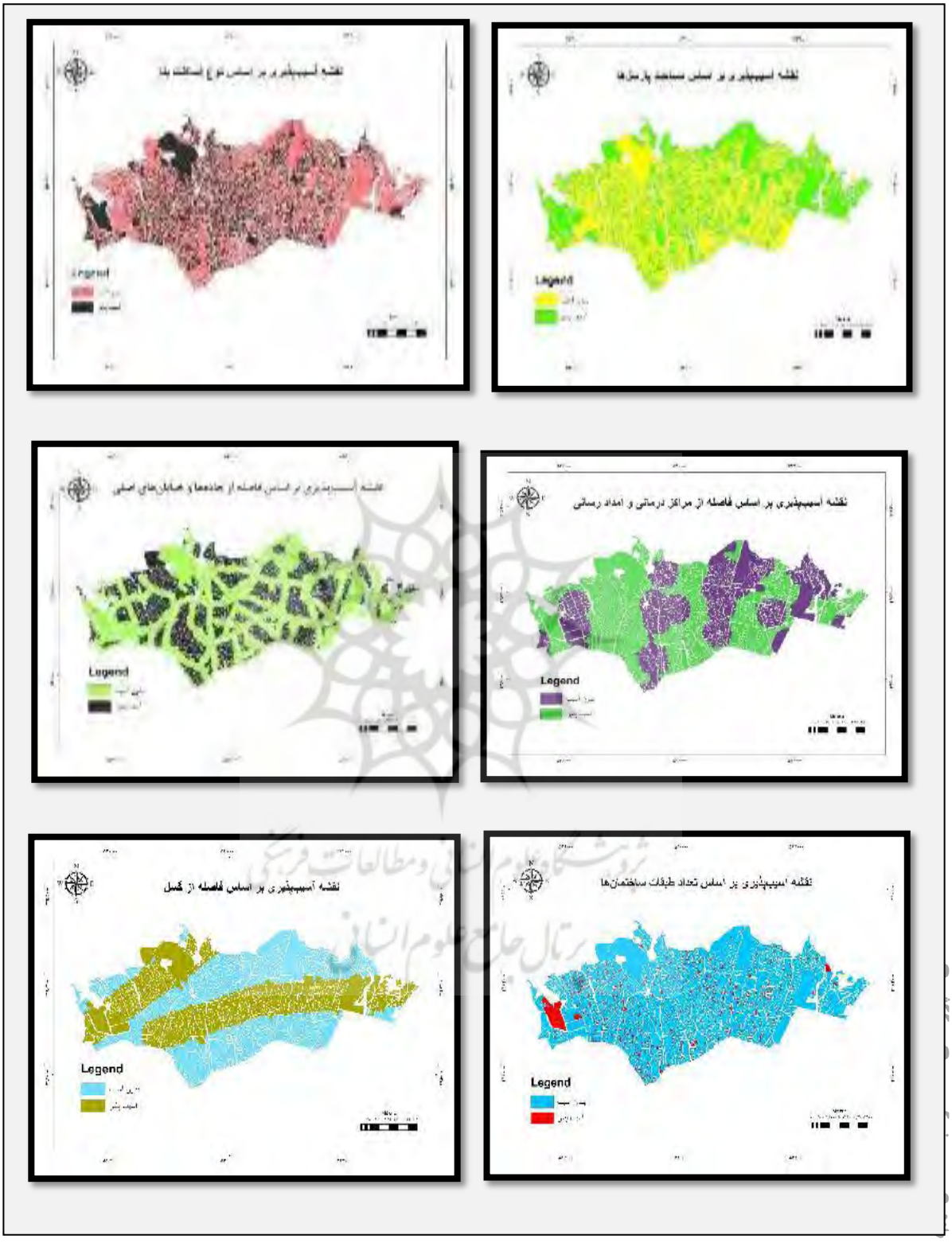
آسیب‌پذیر: ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای جدید کم‌ارتفاع، ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای قدیمی مرتفع، ژیپس، سنگ‌های تفکیک‌نشدهٔ پروتروزوئیک بالایی، کامبرین زیرین، سیلتستون میکادار و ماسه سنگ ریزدانه (سازند زایگون)، شیل توفی با میان لایه هایی از توف، شیل تیره توف‌دار با میان لایه‌هایی از توف، کنگلومرای پلی‌ژنیک سستو شیل تیره توف‌دار با میان لایه‌هایی از توف. نقشه‌های پایهٔ ورودی که به‌صورت باینری تهیه شده‌اند. نحوهٔ طبقه‌بندی لایه‌ها در جدول **شمارهٔ ۱** و لایهٔ اطلاعاتی طبقه‌بندی شدهٔ هر یک از پارامترها در شکل شمارهٔ ۳ آورده شده است.

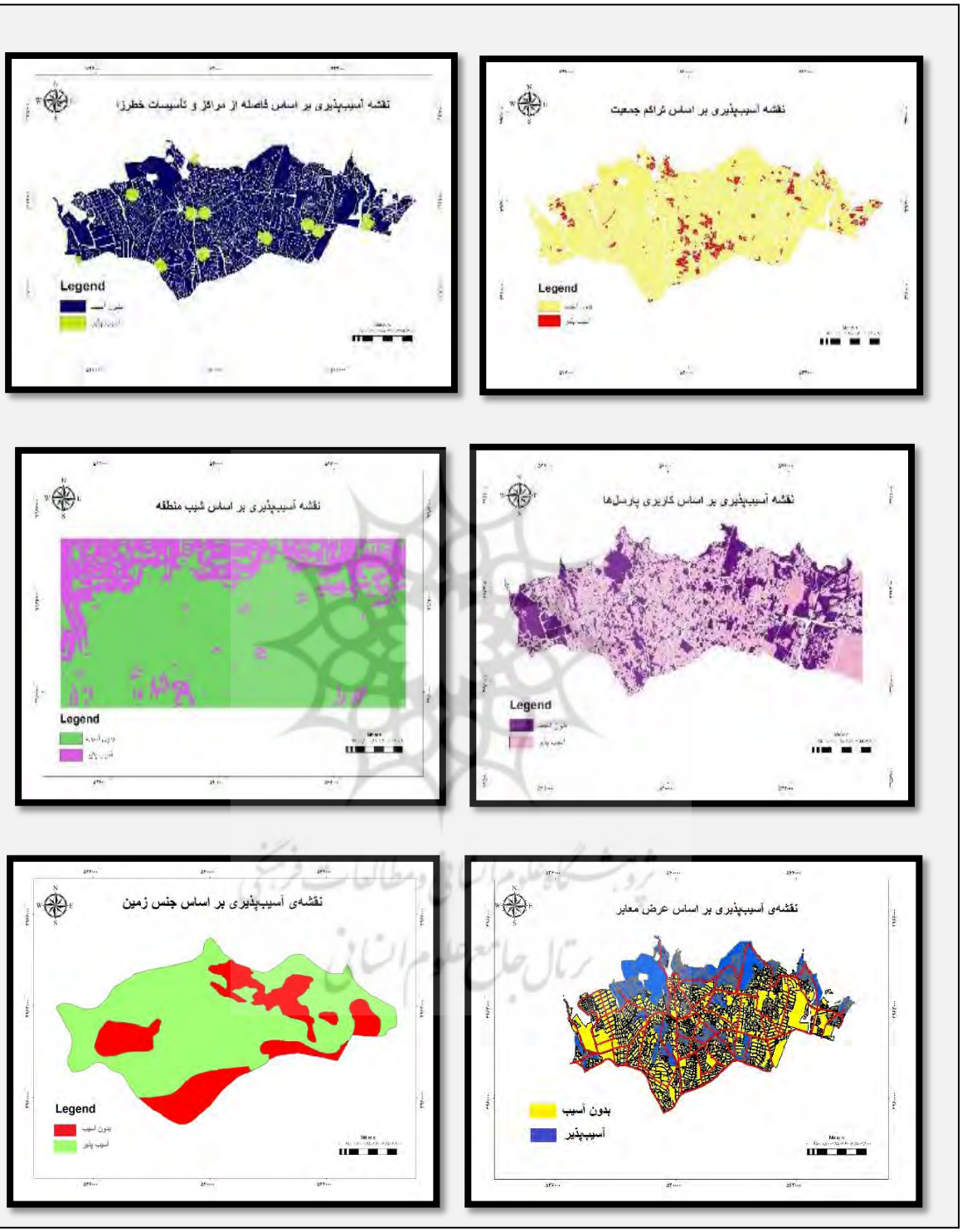
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جدول شمارهٔ ۱: معیارها و زیرمعیارها و طبقه‌بندی آنها (مطالعات نگارندگان و کارشناسان سازمان حمل‌ونقل و ترافیک)

معیار	زیرمعیار	آسیب‌پذیر	بدون‌آسیب
فاصله از مراکز درمانی و امدادرسانی	۰-۵۰۰		*
	بیشتر از ۵۰۰	*	
فاصله از راه‌های اصلی	۰-۵۰۰		*
	بیشتر از ۵۰۰	*	
نسبت جمعیت به مساحت	۰/۰۲-۰		*
	۰/۲-۰/۰۲	*	
مساحت	۰-۳۰۰	*	
	بیشتر از ۳۰۰		*
فاصله از مراکز و تأسیسات خطرزا	۰-۲۰۰	*	
	بیشتر از ۲۰۰		
فاصله از گسل	۰-۱۰۰۰	*	
	بیشتر از ۱۰۰۰		*
نوع مصالح	بتن		*
	اسکلت فلزی		*
	آجر	*	
	آجر و سنگ	*	
	آجر و آهن	*	
	خشت و چوب	*	
تعداد طبقات	۱-۲ طبقه		*
	۳ طبقه و بیشتر	*	
شیب	۰-۳ درصد		*
	بیشتر از ۳ درصد	*	
کاربری	باغ		*
	باغ و مسکونی		*
	بایر		*
	فضای باز و تفریحی		*
	فضای سبز و پارک		*
	مسکونی	*	
	تجاری	*	
	تأسیسات و تجهیزات	*	
	اداری	*	
	خدمات عمومی	*	
	صنعتی و کارگاهی	*	
عرض خیابان	کمتر از ۲۰ متر	*	
	بیشتر از ۲۰ متر		*

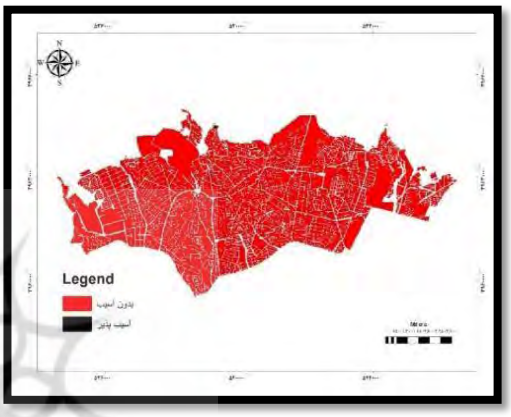
شکل شمارهٔ ۴: نقشهٔ باینری تمامی پارامترهای درنظرگرفته‌شده



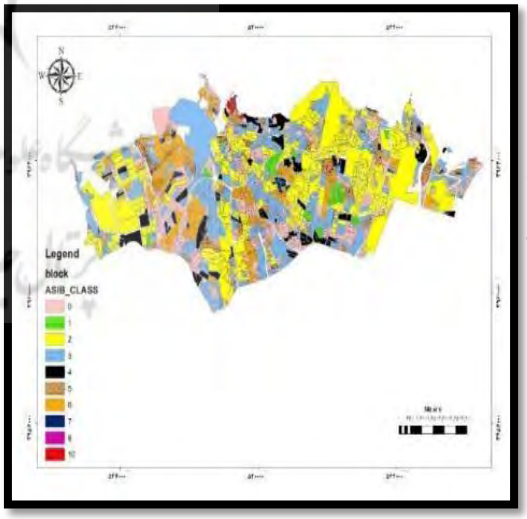

نقشه آسیب‌پذیری بر اساس فاصله از مراکز و تأسیسات خطرزا
Legend
نقشه آسیب‌پذیری بر اساس تراکم جمعیت
Legend
نقشه آسیب‌پذیری بر اساس شیب منطقه
Legend
نقشه آسیب‌پذیری بر اساس کاربری پارسل‌ها
Legend
نقشه‌ی آسیب‌پذیری بر اساس جنس زمین
Legend
نقشه‌ی آسیب‌پذیری بر اساس عرض معابر
بدون آسیب
آسیب‌پذیر

۳- تلفیق لایه‌های اطلاعاتی بدست‌آمده

با توجه به روش‌های ارائه‌شده در قسمت مبانی نظری تحقیق که دو روش بولین و هم‌پوشانی شاخص می‌باشند، لایه‌های اطلاعاتی طبقه‌بندی‌شده در مرحلهٔ قبل با یکدیگر تلفیق و نقشهٔ آسیب‌پذیری نهایی به دست خواهد آمد که در شکل‌های شمارهٔ ۵ و ۶ آورده شده است.



شکل شمارهٔ ۵: نقشهٔ آسیب‌پذیری منطقهٔ ۱ شهر تهران با استفاده از روش بولین



شکل شمارهٔ ۶: نقشهٔ آسیب‌پذیری منطقهٔ ۱ شهر تهران با استفاده از روش هم‌پوشانی شاخص

نتایج

با توجه به توضیحاتی که در بخش ۴ در مورد دو روش هم‌پوشانی شاخص و بولین داده شد، نقشه‌های پایهٔ ورودی تهیه‌شده با یکدیگر تلفیق شدند که نتیجهٔ حاصل از تلفیق با روش بولین در شکل شمارهٔ ۵ و روش هم‌پوشانی شاخص در شکل شمارهٔ ۶ نمایش داده شده است.

با توجه به تهیه و تحلیل نقشهٔ آسیب‌پذیری بعد از وقوع زلزله در منطقهٔ یک شهر تهران نتایج زیر حاصل شد:

با توجه به نتیجهٔ حاصل از منطق بولین حدود ۲/۳ درصد از کل منطقه به مساحت ۹۰۸۱۳۹ مترمربع آسیب‌پذیر و بقیهٔ منطقه که حدود ۳۵۴۷۸۰۷۳ مترمربع می‌باشد بدون آسیب خواهد بود. اما با توجه به نتیجهٔ روش هم‌پوشانی شاخص حدود ۴۶۴۰۹۲۴ مترمربع از منطقه (۱۲درصد) آسیب‌پذیری زیادی دارند (کلاس‌های ۱۰و۸و۷و۶)، ۱۶۱۹۹۳۱۷ مترمربع (۴۵درصد) آسیب‌پذیری متوسط (کلاس‌های ۵و۴و۳) و بقیهٔ منطقه که مساحتی برابر ۱۵۵۴۵۹۷۱ مترمربع (۴۳درصد) را داراست دارای آسیب‌پذیری کم هستند. با توجه به تحقیق انجام‌شده مناطق غربی و جنوبی منطقهٔ یک شهر تهران دارای آسیب‌پذیری بالایی می‌باشند، همچنین با توجه به نتیجهٔ حاصل از هر دو روش، منطقهٔ دربند و خیابان‌های اطراف آن، بالاترین احتمال آسیب را در حین وقوع زلزله دارند. همچنین با توجه به نتایج حاصل از نظر کارشناسان و خروجی حاصل از دو روش پیاده شده، مناطقی که دارای شیب بیشتر، مصالح با استحکام کمتر و ساختمان‌های بلندمرتبه بودند، از میزان آسیب‌پذیری

بیشتری برخوردار بودند. با توجه به اهمیت این ۳ پارامتر، باید اقداماتی در جهت مقاوم‌سازی سازه‌ها و بیشتر سازه‌های بلندمرتبه و ساخته شده در شیب مورد توجه مسئولان ذی‌ربط قرار گیرد. با توجه به مناطق آسیب‌پذیر که در شکل شمارهٔ ۵ مشخص‌شده، می‌توان این مناطق و همهٔ مناطق آسیب‌پذیر را شناسایی کرد. با توجه به اینکه عرض معابر و دسترسی به شبکه‌های ارتباطی نقش به‌سزایی در امدادرسانی و کاهش تلفات دارد و با توجه به نقشهٔ آسیب‌پذیری به‌دست‌آمده بر اساس عرض معابر، مشخص می‌شود که میزان آسیب‌پذیری در بخش‌های مرکزی منطقه و قسمت‌های شمالی بیشتر به چشم می‌خورد؛ بر این اساس باید اقدامات لازم برای تعریض و استانداردسازی معابر در بخش‌های مرکزی انجام شود. با توجه به کمبود راه‌های استاندارد در قسمت‌های شمالی منطقه، نیاز به احداث و ایجاد راه‌های مواصلاتی در این مناطق نیز احساس می‌گردد. هم‌چنین با توجه به نقشهٔ جنس زمین و نظر به اینکه مساحت وسیعی از منطقه، ازنظر زمین‌شناسی در دستهٔ آسیب‌پذیر قرار دارند، باید در هنگام ساخت ساختمان‌ها، تمامی اصول و استانداردهای ساختمان‌سازی رعایت شود.

از طرفی با توجه به مطالعات صورت‌گرفته در این حوزه، پارامترهایی از قبیل قدمت بنا، سطح اشغال بنا، نسبت عرض راه به ارتفاع جدارهٔ راه، خصوصیات ژئومورفولوژی و زمین‌شناختی منطقه نیز بسیار تأثیرگذارند، اما با توجه به اینکه اطلاعات یادشده در دست نبود، به‌عنوان عامل تأثیرگذار در تصمیم‌گیری در نظر گرفته نشد.

مقایسه و ارزیابی نتایج

همان‌طور که در شکل شمارهٔ ۵ نیز مشخص است؛ روش اشتراک بولین روشی سخت‌گیرانه و با انعطاف‌پذیری پایین است که ممکن است حتی پس از تلفیق لایه‌ها، هیچ خروجی‌ای نداشته باشد و یا یک منطقهٔ کوچک نتیجهٔ اشتراک لایه‌ها شود. در این روش واحدهایی که تا حدی نامناسب باشند، شانس انتخاب را به‌طورکلی از دست خواهند داد. همچنین این مدل قادر به تفکیک مکان‌های آسیب‌پذیر به اولویت‌های اول و دوم و... نیست و فقط نشان می‌دهد که مناطق، آسیب‌پذیر هستند یا بدون‌آسیب. بااین‌وجود درصد اطمینان حاصل از این روش بسیار زیاد است و محدودهٔ به‌دست‌آمده در روش اشتراک بولین دارای ماهیتی قطعی در آسیب‌پذیری است. در این روش صرفاً دو دسته مناطق صددرصد آسیب‌پذیر و صددرصد بدون آسیب حاصل می‌شود، پس درصدی از مساحت منطقه که مناسب تشخیص داده می‌شود، حتماً بدون ریسک خواهد بود، اما واقعیت این است که نمی‌توان گفت یک منطقه صددرصد آسیب می‌بیند یا خیر و ممکن است در لحظهٔ وقوع زلزله عاملی پیش بیاید که ما از آن بی‌خبر هستیم و یا در تعیین نقشهٔ آسیب‌پذیری آن پارامتر را در نظر نگرفته‌ایم. عدم توانایی این روش در تفکیک مکان‌های مناسب براساس اولویت، باعث شد تا از روش هم‌پوشانی شاخص استفاده گردد تا اولویت آسیب‌پذیری مناطق مشخص شود و به‌جز مناطق آسیب‌پذیر و بدون‌آسیب، طبقه‌بندی بین این دو

حالت را هم داشته باشیم. در روش هم‌پوشانی شاخص اولویت‌های آسیب‌پذیری به ترتیب آسیب-پذیری کم تا زیاد مشخص می‌شوند و باعث می‌شود شاخص‌ها مشارکت بیشتری در تصمیم‌گیری داشته باشند و فقط با نامناسب بودن یک منطقه در یک لایه، کل آن منطقه نامناسب تلقی نشود و تصمیم نهایی براساس دخالت همهٔ پارامترها اتخاذ شود.

نتیجه‌گیری

مدیریت بحران زلزله حوزه‌ای است که ابزارهای پیشرفته‌ای برای مدیریت داده‌ها و برنامه‌ریزی آن مورد نیاز است و تصمیم‌گیری در این زمینه باید بر مبنای اطلاعات درست و دقیق اتخاذ شود، اما مسائل متنوع و گستردهٔ امروز، پیچیدگی و در دسترس نبودن آنها، شرایط تصمیم‌گیری را به مهم‌ترین چالش برای کارشناسان و مدیران در زمینهٔ مدیریت بحران تبدیل کرده است. لذا برای مدیریت درست و بهینه می‌توان از سیستم اطلاعات مکانی (GIS) استفاده کرد. کاهش میزان آسیب‌پذیری و خسارات جانی و مالی حاصل از زلزله یکی از ضرورت‌های این تحقیق می‌باشد.

مدل‌های زیادی برای تحلیل و ارزیابی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله ارائه شده است و تحقیقات مختلفی نیز چه در داخل و چه در خارج کشور صورت گرفته است، اما در هیچ‌یک از پژوهش‌های انجام‌شده استفاده از روش بولین و هم‌پوشانی شاخص مشاهده نمی‌شود. در مقالهٔ حاضر دو هدف عمده دنبال شد. اولین هدف شناسایی عوامل آسیب‌رسان حاصل از زلزله در منطقهٔ یک شهر تهران و هدف دوم تهیهٔ نقشهٔ آسیب‌پذیری منطقه بر پایهٔ این عوامل شناسایی‌شده با دو روش بولین و هم‌پوشانی شاخص بود. با استفاده از نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان قبل از وقوع زلزله برنامه‌های مدیریتی برای کاهش آسیب‌پذیری در مناطق با آسیب‌پذیری بالا انجام داد و در مرحلهٔ بعد، پس از وقوع زلزله با اطلاع قبلی از منطقه، نیروهای امدادی را به این مناطق اعزام کرد. در مرحلهٔ اول به بررسی شاخص‌های تأثیرگذار در آسیب‌پذیری ساختمان‌ها پرداخته و در مرحلهٔ بعد نقشهٔ مربوط به این معیارها تهیه شد. سپس با توجه به جدول **شمارهٔ ۱** هر یک از لایه‌ها به مناطق آسیب‌پذیر و بدون آسیب طبقه‌بندی شدند. بعد از استخراج نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده، برای ترکیب لایه‌ها (شاخص‌ها) از دو روش منطق بولین و هم‌پوشانی شاخص استفاده شد. با استفاده از دو روش بولین و هم‌پوشانی شاخص که مدل‌های استفاده‌شده در این تحقیق بودند این نتایج حاصل شد:

مناطق غربی و جنوبی منطقه یک شهر تهران آسیب‌پذیری بالایی دارند، همچنین با توجه به نتیجهٔ حاصل از هر دو روش، منطقهٔ دربند و خیابان‌های اطراف آن بالاترین احتمال آسیب را در حین وقوع زلزله دارند.

پیشنهادات

- اجرای این تحقیق با روش‌های دیگری چون روش فازی یا روش‌های ابتکاری مانند الگوریتم ژنتیک؛
- مسیریابی بهینه از مناطق امدادرسانی به سمت مناطق آسیب‌پذیر؛

– افزایش کیفیت ساختمان‌ها در منطقه به‌خصوص ساختمان‌های مجاور شبکهٔ معابر؛

– دخیل کردن شاخص‌های تأثیرگذار بیشتر برای دستیابی به نتایج بهتر؛

– در بررسی‌های انجام‌شده دو پارامتر قدمت ساختمان و آسیب‌پذیری حاصل از سطح اشغال بنا از جمله عوام مؤثر یادشده‌اند، اما با توجه به اینکه اطلاعات مربوط به این دو شاخص در دست نبود، در تعیین آسیب‌پذیری در این پژوهش مورد ببرسی قرار نگرفت. می‌توان در مطالعات آینده این دو پارامتر را دخیل کرد و به نتایج مطلوب‌تری دست‌یافت؛

– ارزیابی سناریوی زلزله در شدت‌های مختلف که در آن میزان آسیب وارده به ساختمان‌ها برای گروه‌های متفاوت ساختمانی بررسی شود؛

– تعبیه محورهای دسترسی جایگزین و پشتیبان در شهر، به‌دلیل تخریب کامل یک بافت در هنگام وقوع زلزله؛

– طراحی شبکهٔ ارتباطی کارآمد؛

– تعریض معابر باریک برای تسهیل آمدوشد وسایل نقلیهٔ آتش‌نشانی، آمبولانس و امدادرسانی؛

– توسعه و گسترش فضاهای باز در نواحی و مناطق شهری؛

– کنترل کاربرد اراضی برای محدود کردن توسعهٔ واحدهای مسکونی در نواحی پرخطر؛

– گسترش تکنیک‌های تقویت ساختمان‌ها در برابر زلزله؛

– استفاده از مصالح و تکنیک‌های ساخت مناسب؛

– استقرار و توسعهٔ شهر در مکان مناسب؛

– جابه‌جایی مردم از نقاط آسیب‌پذیر شناسایی‌شده به مکان‌های امن؛

– احداث مراکز اسکان موقت جمعیت؛

– آموزش در مدارس و انجام مانورهای آموزشی؛

– بررسی آسیب‌پذیری سایر مناطق شهری تهران و نیز سایر مناطق زلزله‌خیز کشور در برابر زلزله، به‌منظور آگاهی نسبت به آسیب‌پذیر بودن این مناطق و انجام اقدامات لازم در زمینهٔ کاهش آسیب‌پذیری؛

– انجام مطالعات مربوط به پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری برای انجام اموری همچون مدیریت بحران از سوی سازمان‌های متولی؛

– نصب سیستم‌های قطع هوشمند حساس به لرزه در مناطق اصلی توزیع گاز شهری و تأمین ایمنی شبکهٔ گاز شهری؛

– آگاه کردن مردم از میزان آسیب‌پذیری اماکن محل کار و سکونت به‌منظور ایجاد انگیزه برای مقاوم-سازی یا نوسازی از طریق ایجاد تسهیلات اعتباری توسط بخش دولتی؛

– تهیهٔ طرح‌های جامع مدیریت بحران مبتنی بر مطالعات ریز پهنه‌بندی در واحدهای ساختمانی و مطالعات آسیب‌پذیری شبکه‌های معابر در سطح همهٔ معابر و شبکه‌های ارتباطی و محاسبهٔ دقیق میزان آوار و انسداد شبکهٔ معابر.

References

1. Undro B. Pre-disaster physical planning of human settlements. Guidelines for Disaster Prevention. 1976. Vol 1. No.3
2. Hosseini Z, Nejad akbari Z, Khahande A, Sadeghi Z. Prioritize emergency evacuation routes using hierarchical model. Chapter Specialized Knowledge of a Scientific Law (Kerman City). 2015. Vol.5. No.8
3. Mahdian F. Tehran vulnerability building against earthquake and Reduce Vulnerability. Proceeding of the first Seminar in the Capital Construction. University of Tehran. 2003
4. Yamazaki F. Building Damage Mapping of the 2003 Bam, Iran, earthquake using Envisat/ASAR Intensity Imagery, Earthquake Spectra. 2005. Vol.21. No. S1
5. Saleki maleki M, Ghasemi M, Valibeigi M. Space efficient Communication network in order to provide relief after Earthquake (Town Baghmishe). Quarterly Operations Research and Rescue. 2014. Vol 5. No. 3.
6. Ebrahimi M, Amirahmadi A, Salmani moghaddam M, Nouri M. Seismic Vulnerability Assessment of Seismic Using Hierarchical Model (Bardascan City). Journal of Natural Environmental Hazard. 2016. Vol 4. No. 6.
7. Heidarzade N, Shamai A, Lotfi moghaddam B. Measurement of Harmful Factors Caused by the Earthquake in Tehran Using GIS. Journal of Geography and Planning. 2014. Vol 17. No. 43
8. Rahmati S, Gandomkar A, Khoshkalampour A. Variables Assessed the Vulnerability of Urban Housing against Earthquake (Boroujerd City). Journal of Preparatory Environment. 2014. No. 24
9. Amini J, Farajzade asl M, Ahadnejad M. Vulnerability Assessment of Urban Housing against Erthquake (District 9 of Tehran). Urban and Regional Studies and Research. 2012. Vol 3. No. 9
10. Ahadnejad M, Ghorokhlu M, Ziari K. Modeling Special Vulnerability of Cities Earthquake Using Hierarchical Model in GIS (Zanjan City). Geoghraphy and Development. Foundation of Islamic Revoloution. 2011. No.1
11. Hataminejad H, Fathi H, Eshgh abadi F. Vulnerability assessment of urban against earhquake (District 10 of Tehran). The Study of Human Geography. 2010. No. 68
12. Sharifzadegan M, Fathi H. Design and application of spatial models and analysis of seismic vulnerability assessment in planning and urban management. 2009. Vol.2. No.46
13. Botero F. Geo-information for measuring vulnerability to earthquake: a fitness for use approach PhD thesis, ITC. Netherland; 2009
14. Martinelli A, Cifani G, Building vulnerability assessment and damage scenario in celano (Italy) using a quick survey databased methodology soil dynamic and earthquake engineering 875-889. 2008
15. Ebert A, Kerle N. Urban social vulnerability assessment using object-oriented analysis of remote sensing GIS data. Case study for Tegucigalpa, Honduras, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2008. Vol.xxxVII. Part B7. Beijing, pp: 1307-1311
16. Ghermez cheshme. Indicators are needed to Determine the Location Floodwater. Proceeding of the Second National Conference Social Achievement of the water Master plan reading. 2001
17. Bahreini H. Land use planning in Earthquake-prone Areas (Manjil, Loushan and Roodbar Cities); 1997.
18. Shi'e E, Habibi K, Torabi K. Vulnerability scanning communication networks of cities against earthquake. Baghnazar. 2013. No.3
19. Sasanpour F, Mousavand J. Impact of human-made factors on exacerbating the consequences of natural hazards in metropolitan environments with the application of fuzzy and Geographic information system. Journal of Applied Geosciences Research. 2011. Vol.13, No.16

Corresponding author: Elnaz Ali Asl Khiabani, Bachelor of Civil Engineering-Surveying, Khajeh Nasir Toosi University of Technology, Tehran, Iran
Email:elnaz.khiabani073@gmail.com
Abolghasem Sadeghi Niaraki, Assistant Professor, Department of Mapping Engineering, Khajeh Nasir Toosi University of Technology, Tehran, Iran
Mostafa Ghodousi: PhD Student in Spatial Information System, Khajeh Nasir Toosi University of Technology, Tehran, Iran

Received: May 3, 2017 **Accepted**: February 7, 2018

Abstract

Background: Earthquake is one of the most important natural disasters that can destroy human settlements in a very short time. According to the researches, the first 24 hours after earthquakes is the golden time to help the affected people because there is the greatest chance of the survival of the disasters. However, the dispatch of relief and rescue teams to the more vulnerable areas will reduce the number of casualties and injuries. For achieving these goals, it is necessary to identify the vulnerability map of the studied area in order to send the relief workers with prior knowledge to the area in earthquake occurrence as soon as possible.

Method: This research is used the multi criteria decision-making (MCDM) approach based on spatial information system with the aim of identifying the most important factors exacerbating the earthquake induced vulnerability in district 1 of Tehran and providing a vulnerability map. The framework of MCDM includes environmental and manmade factors. The input bases map were provided in binary form based on vulnerability or damage to the different areas. At the end, two methods of Boolean and Index Overlay were used in order to combine the layers.

Findings: The results show that 12% of the total study area is classified in high vulnerability group; 45% in the middle group and the rest of the region (about 43%) in the low vulnerability group. In addition, the results showed that Darband area and its surrounding streets are considered as the most vulnerable parts of the first district of Tehran after earthquake regarding the research methods. This is because all vulnerability indicators in this area were undesirable. Depending on the vulnerability map, it is needed to extend the streets and passages in the central parts of the region due to the lack of transportation in the north of the study area and to establish standard roads in the northern parts of district 1of Tehran. Moreover, in order to prevent disasters all standards must be observed during construction due to the geological map prepared and the vulnerability of the major part of this region.

Conclusion: According to the results, management plans must be made before the earthquake in order to reduce vulnerability in high vulnerability areas including providing the optimal relief and care centers than crisis and vulnerable centers also applying building standards especially in the adjacent areas of the passageways. After the earthquake, relief workers should be sent to the vulnerable areas with prior knowledge of the affected area and using vulnerability maps.

Keywords: vulnerability map, earthquake, site selection, Index Overlay method, Boolean method