نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۲۶، شماره ۸۲، فصل زمستان، سال۱۴۰۱، صفحات ۴۸-۲۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۹ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۰۳/۱۱

ارزیابی میزان آسیب‌پذیری مساکن شهر تبریز در برابر مخاطره زلزله

(مطالعه موردی: منطقه ۱۰ شهرداری)

مرضیه اسمعیل پور [۱]
منیژه لاله پور [۲]
سمانه ممقانی [۳]

چکیده

تبریز به‌عنوان بزرگ‌ترین شهر منطقه شمال غرب کشور و قطب اداری، ارتباطی، بازرگانی، سیاسی، صنعتی، فرهنگی و نظامی این منطقه شناخته می‌شود و به دلیل مجاورت با گسل بزرگ و فعال تبریز جزء شهرهای پرخطر از لحاظ لرزه‌خیزی می‌باشد. این پژوهش با هدف ارزیابی میزان آسیب‌پذیری مساکن شهری منطقه۱۰ شهر تبریز با استفاده از مدل فازی در بستر سیستم اطلاعات جغرافیایی صورت گرفته است. با توجه به دیدگاه سیستمی، تعیین آسیب‌پذیری مساکن شهری تنها با یک شاخص گویا نبوده، بلکه می‌بایست شاخص‌های مختلف در ارتباط با یکدیگر و به صورت ترکیبی مورد مطالعه قرار گیرند. تعداد ۱۲ متغیر موثر بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر که در پژوهش حاضر مورد استفاده قرار گرفتند عبارتند از: نوع مصالح، تعداد طبقات، کیفیت بنا، شیب، فاصله از ایستگاه‌های آتش نشانی، فاصله از بیمارستان‌ها، دسترسی به فضاهای باز ، فاصله از تأسیسات خطرزا، دانه‌بندی قطعات، تراکم مسکونی، تراکم جمعیت و فاصله از گسل. لایه‌های موضوعی متغیرهای مورد بررسی با استفاده از انواع توابع خطی کاهشی یا افزایشی به صورت فازی تبدیل شدند. با استفاده از این روش، مقادیر همه نقشه‌های تهیه شده بین ۰ و ۱ تعریف شدند. جهت ترکیب و همپوشانی لایه‌های موضوعی فازی شده نیز از عملگر گاما فازی در محیط نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد و به این ترتیب نقشه آسیب‌پذیری مساکن شهری منطقه ۱۰ شهر تبریز استخراج گردید. نتایج حاصل از پهنه‌بندی آسیب‌پذیری لرزه‌ای منطقه ۱۰ شهر تبریز نشان می‌دهد که بالغ بر ۱۲/۶ درصد از فضاهای شهری منطقه مطالعاتی در کلاس با آسیب‌پذیری لرزه‌ای زیاد و ۴/۵ درصد در کلاس با آسیب‌پذیری لرزه‌ای بسیار زیاد واقع شده‌اند. کاربری‌های با آسیب‌پذیری زیاد و بسیار زیاد عمدتا شامل کاربری‌های مسکونی واقع در محلات مرکزی منطقه ۱۰ می‌باشند. عوامل مختلفی نظیر تراکم جمعیتی و مسکونی بالا، ریزدانه بودن بناها، کیفیت پایین و فرسودگی ساختمان‌ها، عدم دسترسی و کمبود شدید فضاهای باز، شیب‌دار بودن سطح زمین، وجود سازندهای زمین‌شناسی سست و مجاورت با گسل فعال تبریز باعث شده‌اند که محلات مذکور نسبت به خطر زلزله از آسیب‌پذیری بسیار بالایی برخوردار باشند. در این رابطه، بر اساس ضریب آسیب‌پذیری لرزه‌ای برای زلزله احتمالی با شدت ۱۰ در مقیاس مرکالی، میزان آسیب وارده به ساختمان‌ها در محلات خلیل‌آباد و قربانی بین ۵۰ تا ۱۰۰ درصد خواهد بود. حجم تخریب ساختمان‌ها در محله ۴۲ متری نیز بالا خواهد بود. این مقادیر بر حجم گسترده خسارات و تلفات جانی و مالی در صورت وقوع زمین‌لرزه‌ای با بزرگای بالا (بیش از ۶ ریشتر) دلالت دارد و کل منطقه ۱۰ (به‌ویژه قسمت‌های مرکزی) متعاقب وقوع زلزله با شرایط بحرانی مواجه خواهند شد.

واژگان کلیدی: مساکن شهری، آسیب‌پذیری لرزه‌ای، منطق فازی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، منطقه ۱۰ شهر تبریز.

[۱]. استادیار عضو هیات علمی دانشگاه مراغه (نویسنده مسئول)

Email : s.esmaeilpour@gmail.com –Tel: 09144215674

[۲].دانشیار هیات علمی دانشگاه مراغه

[۳]. فارغ التحصیل کارشناس ارشد، دانشگاه مراغه

مقدمه

بررسی تاریخ شکل‌گیری سکونتگاه‌های انسانی نشان می‌دهد که بشر در انتخاب مکان سکونت، به دنبال مناطقی بوده است که به آب دسترسی داشته باشد و به همین دلیل، دامنه کوه‌ها، کنار رودخانه‌ها و اطراف گسل‌ها را برای سکونت انتخاب کرده است. در این رابطه، پایداری و ایمنی در مقابل پدیده‌های طبیعی همیشه فکر بشر را به خود مشغول کرده است (پورحسن‌زاده و احمدی، ۱۴:۱۳۹۷). با این حال مخاطرات طبیعی با انواع گوناگون و گستره نفوذشان، به عنوان پدیده‌هایی تکرار شدنی و مخرب، همواره در طول حیات کره زمین وجود داشته‌اند و پس از پیدایش بشر نیز همیشه خطر جدی برای انسان بوده‌اند. مخاطرات طبیعی حوادثی ویرانگر و ناگهانی‌اند که هر لحظه در جهان امکان وقوع دارند و برآیند آن خسارات جانی و مالی عمده‌ای است (رجبی و همکاران ،۱۸۴:۱۳۹۷). در این میان زلزله یکی از هولناک‌ترین بلایای طبیعی در طول تاریخ بشر است که در دسته مخاطرات آنی قرار می‌گیرد که قدرت تخریب بالا و کشتار بی-رحمانه در زمان اندک از خصوصیات بارز این پدیده طبیعی است (تقی‌پور، ۱:۱۳۹۶).

ایران از نظر لرزه‌خیزی در منطقه‌ی فعال جهان قرار دارد و به گواهی اطلاعات مستند علمی و مشاهدات قرن بیستم از خطرپذیرترین مناطق جهان در اثر زمین لرزه‌های پرقدرت محسوب می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که به طور متوسط، هر چهارسال یک‌بار در ایران زلزله‌ای شدید رخ می‌دهد که پیامد آن تخریب ۹۷ درصد واحدهای روستایی و ۷۹ درصد واحدهای شهری در منطقه‌ی وقوع زلزله خواهد بود (صادقی جدیدی و همکاران ،۱۰۸:۱۳۹۵). مطالعات مربوط به احتمال وقوع زمین‌لرزه در آینده با استفاده از نقشه ریسک زمین‌لرزه در ایران، کل کشور را به چهار ناحیه مختلف با میزان لرزه‌خیزی متفاوت تقسیم کرده، که در آن کلانشهر تبریز در منطقه خسارت نسبتاً بالا قرار دارد و احتمال وقوع زمین لرزه‌هایی با شدت ۶ ریشتر وجود دارد. این شهر در معبر نوار زلزله‌خیزی قرار گرفته است که دارای پیشینه زمین لرزه‌های ویرانگر فراوان در گذشته است. باتوجه به لرزه‌خیز بودن این شهر و در نظر گرفتن کیفیت ساختمان‌ها به ویژه در بافت‌های فرسوده و سایر پارامترها از قبیل شبکه‌ی دسترسی و ساختمان‌ها، وقوع یک زلزله‌ی بزرگ در کلانشهر تبریز بسیار مصیبت بار خواهد بود (کرمی و امیریان، ۱۱۲:۱۳۹۷).

تعاریف زیادی برای آسیب‌پذیری در متون مربوط ارائه شده است. از نظر سازمان ملل متحد/استراتژی بین المللی کاهش بلایای طبیعی، آسیب‌پذیری به این صورت تعریف می‌شود: "حالت ترکیبی از عوامل فیزیکی، اقتصادی و محیطی که حساسیت سیستم را در برابر خطر افزایش می‌دهد" (پنگ[1]، ۲۰۱۲: ۹۵). در این رابطه، یکی از موثرترین راهکارها برای کاهش خسارات اجتماعی و اقتصادی ناشی از زلزله، کاهش آسیب‌پذیری جامعه با استفاده از ارزیابی دقیق ریسک است (وی[2] و همکاران، ۲۰۱۷: ۱۲۸۹). سطح تکنولوژی برای پیش‌بینی دقیق زلزله به اندازه کافی پیشرفته نیست، اما می‌توان زلزله را از دو جنبه زیر مورد بررسی قرار داد و به این ترتیب می‌توان تلفات ناشی از زلزله را تا حد امکان کاهش داد. ابتدا ارزیابی آسیب‌پذیری زلزله باید به خوبی قبل از وقوع زلزله انجام شود و ساخت سیستم پیشگیری و کاهش بلایا در مناطقی که جمعیت نسبتاً آسیب‌پذیر هستند تقویت شود. ثانیاً تلفات پس از زلزله باید سریعاً تخمین زده شود و با توجه به نتایج برآورد شده، اقدامات امداد و نجات مؤثر به کار گرفته شود (ژانگ[3] و همکاران، ۲۰۱۸: ۲). ارزیابی تلفات و خسارت‌های مورد انتظار ناشی از رخدادهای خطرناک مستلزم تحلیل فضایی است، زیرا تمامی مولفه‌های ارزیابی ریسک در فضا و زمان تغییر می‌کنند. بنابراین ارزیابی خطر، آسیب‌پذیری و ریسک تنها زمانی می‌تواند به صورت موثر انجام شود که ابزارهایی مورد استفاده قرار گیرند که با اطلاعات فضایی از قبیل سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی سر و کار دارند (الکانتارا- ایالا و گودی[4]، ۲۰۱۰: ۲۰۵). منطقه ۱۰ شهر تبریز نیز به دلیل نزدیکی با گسل بزرگ تبریز، حاشیه نشینی، تراکم بالای جمعیتی و مسکونی از آسیب‌پذیری لرزه‌ای بالایی برخوردار است. بنابراین در پژوهش حاضر به پهنه‌بندی آسیب‌پذیری لرزه‌ای و محاسبه ضریب آسیب‌پذیری در منطقه ۱۰ کلانشهر تبریز

[1]- Peng
[2]- Wei
[3]- Zhang
[4] - Alcántara-Ayala and Goudie

پرداخته شده است. امروزه به مدد توسعه توانایی‌های تحلیل‌های مکانی و غیرمکانی سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) بخش عمده‌ای از تحلیل‌های مرتبط با آسیب‌پذیری لرزه‌ای در بستر سیستم‌های اطلاعاتی مذکور صورت می‌گیرد. در پژوهش حاضر نیز ارزیابی آسیب‌پذیری مساکن شهری منطقه ۱۰ شهرداری تبریز با کاربست منطق فازی در چارچوب سیستم اطلاعاتی جغرافیایی به انجام رسید. استفاده از منطق فازی باعث کاهش عدم‌قطعیت‌های مرتبط با کلاسه‌بندی داده‌ها و فرایند تصمیم‌گیری می‌گردد. همچنین ترکیب و یکپارچه‌سازی منعطف انواع لایه‌های داده از منابع مختلف را میسر می‌سازد.

در زمینه بررسی آسیب‌پذیری فضاهای شهری نسبت به زلزله پژوهش‌های متعددی انجام شده است که می‌توان به این موارد اشاره کرد: عزیزی و اکبری (۱۳۸۷) با به کارگیری معیارهای شهرسازی و با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی به بررسی آسیب‌پذیری شهر در برابر زلزله احتمالی پرداخته‌اند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که با افزایش مقدار متغیرهایی چون شیب زمین، تراکم جمعیت، تراکم ساختمانی، عمر ساختمان‌ها و فاصله از فضاهای باز میزان آسیب‌پذیری افزایش می‌یابد. در مقابل، افزایش مقدار متغیرهایی نظیر فاصله از گسل، مساحت قطعات، دسترسی بر اساس عرض معبر و سازگاری کاربری‌ها از نظر همجواری باعث کاهش آسیب‌پذیری می‌شود. شریفی کیا و همکاران (۱۳۹۰) در مقاله‌ای به تحلیل آسیب‌پذیری ناشی از مخاطرات زمینی در ناحیه پر مخاطره و پرجاذبه ولشت پرداختند. یافته‌های تحقیق آنها موید آسیب‌پذیر بودن کلیه مساکن و جمعیت ساکن در آن با درجه آسیب-پذیری متفاوت بود. موحد و همکاران (۱۳۹۱) پژوهشی با عنوان بررسی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری در برابر زلزله انجام دادند. نتایج پژوهش با بهره‌گیری از مدل سلسله مراتبی معکوس نشان داد ۷۶/۰۶ درصد ساختمان‌های شهر مسجد سلیمان آسیب‌پذیر بوده است. اسفندیاری و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی به تحلیل درجات آسیب‌پذیری مساکن در شهر اردبیل پرداخته‌اند که نتایج حاصل بیانگر آسیب‌پذیری بالا در منطقه ۳ این شهر است. محمدپور و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی شاخص‌های آسیب‌پذیری بافت فرسوده شهری را با رویکرد مدیریت بحران زلزله با استفاده از روش AHP-FUZZY (مطالعه موردی: محله سیروس تهران) تحلیل کرده‌اند، نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از آن است که وسعت و پوشش جمعیتی نقاط با آسیب‌پذیری بالا و بسیار بالا بیشتر است و در کل، محدوده با توجه به همه عوامل کالبدی مورد تحلیل، در برابر زلزله بسیار آسیب‌پذیر است. سرور و کاشانی (۱۳۹۵) آسیب‌پذیری کالبدی شهر اهر در برابر بحران زلزله را ارزیابی کرده‌اند. نتایج تحلیل آسیب‌پذیری فضاهای شهر اهر نشان می‌دهد بیشتر قسمت‌های ساخته شده شهر در پهنه آسیب‌پذیری متوسط قرار دارند؛ محلات حاشیه‌نشین در پهنه آسیب‌پذیری بالا و بخش‌های مرکزی و تاریخی در پهنه آسیب‌پذیری بسیار بالا طبقه‌بندی شده‌اند. این در حالی است که در پهنه‌بندی آسیب‌پذیری، کل شهر که شامل فضاهای ساخته شده و بایر است در طبقه آسیب‌پذیری خیلی کم قرار می‌گیرد. کارنو[1] و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی به معرفی رویکرد جدیدی برای ارزیابی ریسک لرزه‌ای پرداخته‌اند و خاطر نشان می‌کنند برای دستیابی به یک مدیریت ریسک مؤثر، علاوه بر تعیین خسارات فیزیکی، اقتصادی، شناسایی آسیب‌پذیری‌های اجتماعی نیز ضروری است. ما و اوهنو[2] (۲۰۱۲) پژوهشی با عنوان ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق مسکونی مختلف در چین برای مقابله با مخاطرات زلزله‌ای انجام دادند. در این پژوهش شهر تیانجین به صورت موردی و جزئی مورد مطالعه قرار گرفته، نتایج تحقیق نشان داد که شناسایی مناطق ضعیف و حساس به زلزله اولین گام در کاهش آسیب‌پذیری در برابر زلزله و بهسازی فضاهای شهری می‌باشد. رضایی و پناهی (۲۰۱۵) از تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی جهت ارزیابی آسیب‌پذیری شهر تهران نسبت به زلزله تحت ۳ سناریو استفاده کردند. یافته‌های پژوهش نشان داد که در هر سه سناریو، قسمت‌هایی از مرکز تهران نسبت به زلزله آسیب‌پذیر هستند. ناث[3] و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی با عنوان آسیب‌پذیری زلزله و ارزیابی ریسک، شهر کلکته هند را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد مطالعه قرار دادند که نتایج، حاکی از آن است که بیشتر از ۴۰٪ ساختمان‌ها در برابر زلزله مقاوم نیستند. خیری‌زاده و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی با عنوان ارزیابی آسیب‌پذیری شهرها در برابر مخاطره زلزله بر اساس تئوری

[1]- Carreno

[2]- Ma and Ohno

[3]- Nath

کاتاستروف، میزان آسیب‌پذیری شهر تبریز را تحلیل کرده و نتایج به دست آمده حاکی از آن است که محدودیت فضا باعث توسعه شهر در مکان‌های خطرناک از جمله در مجاورت گسل تبریز شده است. با توجه به پتانسیل لرزه‌ای گسل بزرگ تبریز و تراکم ساختمانی در مجاورت این گسل می‌توان گفت زمین لرزه مهم‌ترین و جدی‌ترین خطر طبیعی در شهر تبریز بوده و بخش قابل ملاحظه‌ای از شهر (بیش از۳۵٪) در طبقه آسیب‌پذیری بالا قرار دارد.

مبانی نظری

برآوردها نشان می‌دهند که در طی دو دهه اخیر، بلایا و فجایع طبیعی حدود سه میلیون نفر از مردم سراسر دنیا را به کام مرگ کشانده‌اند و بالغ بر ۸۰۰ میلیون نفر دیگر تحت تاثیر اثرات مخرب این بلایا قرار گرفته‌اند. مطابق بررسی‌های دفتر هماهنگ کننده امدادرسانی سازمان ملل متحد، بلایا و فجایع طبیعی همه‌ساله چیزی در حدود ۵۰-۳۰ میلیارد دلار آمریکا ضرر و زیان اقتصادی را در سراسر دنیا باعث شده‌اند (ساندرز و کلارک[1]، ۲۰۱۰: ۵). با توجه به این که بلایا و حوادث طبیعی را به‌سادگی نمی‌توان پیش‌بینی نمود، ضرورت دارد که دولت‌ها و سایر دست‌اندکاران مربوطه میزان ریسک حاصل از حوادث طبیعی را بررسی کنند و در راستای کاهش و تقلیل اثرات سوء آن از آمادگی‌های لازم برخوردار باشند. کاهش اثر[2] به آمادگی در برابر بلایا و کاهش تلفات و خسارات آن گفته می‌شود. کاهش اثر می‌تواند مشتمل بر طرح‌ها و پروژه‌های مهندسی و همچنین سیاست‌گذاری‌های دولت و آموزش همگانی باشد. یکی از شیوه‌های کاهش خسارات ناشی از بلایا و سوانح طبیعی شناسایی مناطق مستعد وقوع بلایا و جلوگیری از توسعه در آن مناطق با کاربست برنامه‌ریزی کاربری زمین می‌باشد. به عنوان مثال در شرایط ایده‌آل، ضرورت دارد که از توسعه در مجاورت گسل‌های فعال اصلی جلوگیری به‌عمل آید؛ این‌کار می‌تواند به روش‌های مختلف از قبیل اختصاص این اراضی به پارک‌ها و عرصه‌های طبیعی صورت گیرد (هیندمن و هیندمن[3]، ۲۰۰۹: ۳۳۴).

بافت‌های فرسوده و سکونت‌گاه‌های غیررسمی بیشتر از سایر بافت‌ها در معرض خطر زلزله قرار دارند؛ این بافت‌ها به دلایل عدم رعایت معیارهای فنی و مهندسی در ساخت بنا، قرارگیری در اراضی شیب‌دار، شبکه ارتباطی ناکارآمد، کمبود فضاهای باز و سبز، کمبود تأسیسات و تجهیزات شهری و غیره بیشتر در معرض آسیب‌پذیری هستند (فیروزی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱). زمانی می‌توان سکونتگاه‌های انسانی را در برابر زلزله مقاوم نمود که ایمن‌سازی این محیط‌های سکونتگاهی به عنوان یک هدف اساسی در تمامی سطوح برنامه‌ریزی کالبدی وارد گردد. محیط کالبدی زندگی انسان دارای مقیاس‌های متنوعی می‌باشد، کوچک‌ترین مقیاس آن خانه و تک‌بنا و بزرگ‌ترین مقیاس آن پهنه یک سرزمین می‌باشد و درون این طیف وسیع، محله، شهر، روستا و منطقه قرار می‌گیرند. در میان سطوح مختلف برنامه-ریزی کالبدی، از سطح خرد (معماری) تا سطح کلان (آمایش سرزمین و برنامه‌ریزی کالبدی ملی)، کارآمدترین سطح برای کاستن از میزان آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله، سطح میانی یا همان شهرسازی می‌باشد. بررسی میزان آسیب‌ها و خسارات ناشی از زلزله در شهرها در بسیاری از موارد نشان داده است که درصد بالایی از صدمات و تلفات به طور مستقیم و غیرمستقیم به وضعیت نامطلوب برنامه‌ریزی و طراحی آنها مربوط می‌گردد. وضعیت بد استقرار عناصر کالبدی، کاربری نامناسب زمین‌های شهری، شبکه ارتباطی ناکارآمد، بافت‌های فشرده و متراکم، وضعیت بد استقرار تأسیسات زیربنایی، کمبود و توزیع نامناسب فضاهای باز شهری و مواردی از این قبیل نقش اساسی در افزایش میزان آسیب‌های وارده به شهرها در برابر زلزله دارند. بنابراین آنچه که پدیده زلزله را در شهرها به یک فاجعه تبدیل می‌نماید، در بسیاری از موارد وضعیت شهرسازی نامناسب آنها می‌باشد، از این‌رو می‌توان با اصلاح وضعیت شهرسازی در شهرها، آسیب‌پذیری آنها را در برابر زلزله به میزان زیادی کاهش داد. به عبارت دیگر ایمنی شهری در برابر زلزله را باید به عنوان یک هدف عمده در فرآیند شهرسازی وارد نمود و تنها در این صورت است که می‌توان به شهرهایی مقاوم در برابر زلزله دست یافت. هرگاه ایمنی شهری در برابر زلزله به عنوان یک هدف اساسی در شهرسازی وارد گردد، به طبع در تمامی وجوه و عناصر شکل‌دهنده شهر شامل اندازه

[1] - Sanders & Clark

[2] - Mitigation

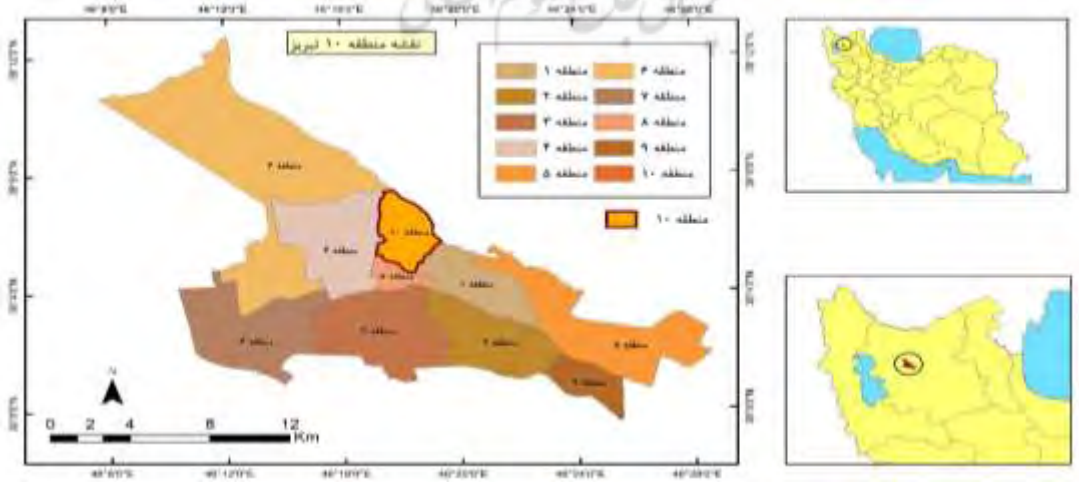
[3] - Hyndman & Hyndman

شهر، جایگاه و مکان شهر، ساختار شهر، بافت شهر، کاربری زمین‌های شهری، تراکم‌های شهری، تأسیسات و تجهیزات شهری، شبکه ارتباطی و ... تأثیر خود را خواهد گذاشت و تمامی این عناصر به گونه‌ای شکل خواهند گرفت که به هنگام زلزله کمترین آسیب به شهر وارد گردد (احمدی، ۱۳۷۶؛ ابوئی اشکذری، ۱۳۹۱).

برنامه‌ریزی کاهش اثرات و پیامدهای زمین‌لرزه در راستای کمینه کردن خسارت و تلفات زلزله مشتمل بر مجموعه‌ای از اقداماتی می‌باشد که به‌واسطه آن شدت خسارات و تلفات زلزله کاهش پیدا می‌کند. در این زمینه می‌توان به مواردی بدین شرح اشاره نمود: کنترل کاربری اراضی که توسعه و گسترش واحدهای مسکونی در مناطق مخاطره‌آمیز را محدود می‌سازد، گسترش روش‌ها و تکنیک‌های تقویت و بهسازی ساختمان‌ها در مقابل لرزش‌های زلزله، تدوین ضوابط و مقررات ساختمانی در راستای تشویق به بهره‌گیری از تکنیک‌های جدید ساختمان‌سازی، تنوع‌بخشی به فعالیت‌های اقتصادی و بیمه. بدین ترتیب، مقصود از برنامه‌ریزی کاهش اثرات زلزله شامل کاهش عوارض نامطلوب زلزله می‌باشد که اقدامات مرتبط با آن غالبا دارای هزینه بسیار پایین و یا بدون هزینه است (ایری، ۱۳۷۷: ۲۹؛ زارعمند، ۱۳۹۸: ۲۶). در نقاط لرزه‌خیز، فاکتور زلزله چه در انتخاب و چه در استقرار و مکان‌گزینی کاربری اراضی شهری، جزو مهم‌ترین فاکتورهای موثر به‌شمار می‌رود. نحوه انتخاب و استقرار کاربری اراضی به طوری که کمترین میزان خسارت را به هنگام بروز زلزله متحمل گردیده و یا کمترین خسارت و آسیب را به عوامل مصنوع وارد سازند، در چارچوب موضوع برنامه‌ریزی کاربری اراضی می‌گنجد. در مقوله برنامه‌ریزی کاربری اراضی، عوامل و ویژگی‌های خاص کالبدی، جمعیتی، اقتصادی و محیطی هر کاربری شهری نظیر میزان تراکم جمعیتی و ساختمانی و میزان سرمایه‌گذاری‌های اقتصادی و انسانی و همچنین نحوه سازگاری آنها به‌منظور استقرار و همچنین میزان آسیب‌پذیری (و آسیب‌رسانی) هر یک از کاربری‌های اراضی شهری که حاصل از همان عوامل و ویژگی‌های درونی آنها می‌باشد، به هنگام رخداد زلزله می‌تواند نقشی مهم و اساسی در مکان‌یابی بهینه برای استقرار هر کاربری مطابق اطلاعات زمین‌شناسی شهر داشته باشند (همان: ۳۴).

منطقه مورد مطالعه

شهر تبریز به عنوان متروپل بزرگ شمال غرب کشور از اهمیت حیاتی در ساختار سلسله مراتبی شهری کشور برخوردار بوده و موقعیت جغرافیایی، ساختگاه شهر، شرایط توپوگرافی و نزدیکی با گسل بزرگ واقع در شمال شهر مزید بر انجام این پژوهش گردیده است. این کلان‌شهر دارای ۱۰ منطقه می‌باشد. در پژوهش حاضر به ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای منطقه ۱۰ شهر تبریز به دلیل واقع شدن در مجاورت گسل تبریز پرداخته شده است. منطقه ۱۰ کلان‌شهر تبریز با جمعیتی بالغ بر ۲۰۰۱۴۳ نفر معادل ۱۳/۱ درصد مساحت شهر را شامل می‌شود. جمعیت زیاد، بافت فشرده و وجود اسکان غیررسمی نشان‌دهنده اهمیت بالای این منطقه از نظر آسیب‌پذیری است (حبیبی و همکاران،۱۱۳:۱۳۹۳). این منطقه جزء مناطق شمالی شهر به شمار می‌رود و بافت آن عمدتا از نوع حاشیه‌نشینی است که آسیب‌پذیری ناشی از زلزله را افزایش می‌دهد. شکل (۱) موقعیت این منطقه را در بین مناطق ده‌گانه شهر تبریز نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت منطقه ۱۰ شهر تبریز

داده ها و روش تحقیق

فاکتورهای متعددی مانند ارتفاع و عمر ساختمان، کیفیت مصالح، تراکم جمعیت و فاصله از گسل در آسیب‌پذیری یک منطقه شهری نسبت به زلزله موثر هستند (خامس پناه و همکاران، ۲۰۱۶: ۵۸). در پژوهش حاضر جهت بررسی آسیب‌پذیری منطقه ۱۰ کلان‌شهر تبریز نسبت به زلزله از ۱۲ متغیر استفاده شد که عبارتند از: شیب، فاصله از گسل، فاصله از تاسیسات خطرزا، تراکم جمعیت، تراکم مسکونی، دسترسی به فضاهای باز عمومی شهری، شعاع سرویس‌دهی بیمارستان‌ها و ایستگاه‌های آتش‌نشانی، تعداد طبقات ساختمان، کیفیت بنا، مصالح مورد استفاده و دانه‌بندی قطعات. این متغیرها به ۳ دسته به شرح زیر تقسیم می‌شوند:

شاخص‌های طبیعی: حتی در صورت ساخت و ساز اصولی، نادیده گرفتن شاخص‌های طبیعی در بررسی آسیب‌پذیری فضاهای کالبدی شهری می‌تواند به خسارت‌های جانی و مالی در هنگام بروز زمین‌لرزه منجر شود. بنابراین لایه فاصله از گسل و شیب زمین به عنوان معیارهای طبیعی در نظر گرفته شدند.

شاخص‌های برنامه‌ریزی: شاخص‌هایی هستند که به مدیریت و برنامه‌ریزی شهری مربوط می‌شوند و جزء اقدامات پیشگیرانه در کاهش خسارات ناشی از زلزله به حساب می‌آیند. تراکم جمعیت، تراکم مسکونی، فاصله از فضاهای باز عمومی، فاصله از ایستگاه آتش-نشانی، فاصله از بیمارستان و فاصله از تاسیسات خطرزا جزء معیارهای برنامه‌ریزی به حساب می‌آیند.

شاخص‌های سازه‌ای: ساخت و سازهای غیر اصولی و عدم مقاوم سازی ساختمان‌ها، یکی از عواملی است که باعث تلفات جانی و مالی در هنگام وقوع زلزله می‌شود. بنابراین مصالح ساختمانی، کیفیت بنا، مساحت قطعات تفکیک شده (دانه‌بندی) و تعداد طبقات جزء شاخص‌های سازه‌ای موثر بر آسیب‌پذیری در این پژوهش در نظر گرفته شدند.

در پژوهش حاضر داده‌ها و اطلاعات مربوط به طرح جامع شهر تبریز (مربوط به سال ۱۳۹۵) به‌عنوان داده‌های پایه برای استخراج شاخص‌های برنامه‌ریزی و سازه‌ای مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین برای تهیه نقشه شیب منطقه مطالعاتی از تصاویر مدل رقومی ارتفاع (DEM) با قدرت تفکیک مکانی ۱۲ متر (مربوط به ماهواره ALOS-PALSAR) و برای استخراج لایه گسل از نقشه زمین‌شناسی تبریز با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (سازمان زمین‌شناسی کشور) استفاده به عمل آمد.

به منظور ترکیب و روی‌هم‌گذاری لایه‌های موضوعی موثر بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای منطقه ۱۰ شهرداری تبریز از منطق فازی در چارچوب سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) بهره گرفته شد که در ادامه توضیحاتی در این خصوص ارائه می‌شود.

منطق فازی

در منطق فازی میزان عضویت یک عنصر در یک مجموعه، با مقداری در بازه یک (عضویت کامل) تا صفر (عدم عضویت کامل) تعریف می‌شود. درجه عضویت معمولا با یک تابع عضویت بیان می‌شود و شکل تابع می‌تواند به صورت خطی، غیرخطی، پیوسته و یا ناپیوسته باشد. در مدل فازی، به هر یک از پیکسل‌ها در هر نقشه فاکتور، مقداری بین صفر تا یک اختصاص داده می‌شود که بیانگر میزان تناسب پیکسل از دیدگاه معیار مربوطه برای هدف مورد نظر می‌باشد. پس از تشکیل نقشه‌های مربوط به هر یک از فاکتورها، مقادیر عضویت موجود در آنها به کمک عملگرهای فازی با یکدیگر ترکیب می‌شوند. در این پژوهش جهت فازی‌سازی لایه‌های موضوعی از تابع خطی کاهشی و افزایشی استفاده شد. در حالت کلی، معیارهایی که جهت ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای منطقه ۱۰ شهر تبریز در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفتند از نظر تابع مورد استفاده جهت فازی‌سازی به دو دسته می‌توان تقسیم‌بندی کرد:

- دسته اول معیارهایی هستند که رابطه مستقیمی با آسیب‌پذیری لرزه‌ای دارند. به این معنی که مقادیر بیشتر آنها باعث افزایش میزان آسیب‌پذیری نسبت به زلزله می‌شود. معیارهای تراکم جمعیت، تراکم مسکونی، تعداد طبقات ساختمان‌ها، دسترسی به مراکز بیمارستانی و ایستگاه‌های آتش‌نشانی، دسترسی به فضاهای باز شهری، مصالح، کیفیت بنا و شیب سطح زمین در این دسته جای می‌گیرند. بدین ترتیب، لایه‌های موضوعی مربوط به این معیارها با استفاده از تابع فازی خطی افزایشی بی‌بعد شدند.

- دسته دوم از معیارها با میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای رابطه معکوسی دارند. لایه‌های فاصله از گسل، فاصله از تاسیسات خطرزا و دانه‌بندی به این گروه تعلق دارند. در واقع، مقادیر کمتر این معیارها باعث افزایش آسیب‌پذیری نسبت به زلزله می‌گردند. جهت بی-بعدسازی این لایه‌ها تابع فازی خطی کاهشی مورد استفاده قرار گرفت.

پنج عملگر فازی که می‌تواند برای تلفیق نقشه‌های فاکتور سودمند باشد، عبارتند از: عملگر اشتراک فازی، عملگر اجتماع فازی، عملگر ضرب فازی، جمع فازی و گاما فازی. عملگر مورد استفاده در این پژوهش جهت تلفیق لایه موضوعی فازی‌سازی شده، عملگر گاما می‌باشد

عملگر گاما

این عملگر بر حسب حاصل ضرب جبری فازی و حاصل جمع جبری فازی بصورت زیر تعریف می‌شود:

رابطه (۱) $$\mu_{Combination} = (fuzzyAlg.Sum)^{\gamma} \times (fuzzyAlg.Product)^{1-\gamma}$$

در رابطه (۱) مقدار γ عددی بین صفر تا یک می‌باشد. انتخاب صحیح و آگاهانه γ بین صفر و یک، مقادیری را در خروجی به وجود می‌آورد که نشان‌دهنده سازگاری قابل انعطاف میان گرایشات کاهشی ضرب فازی و گرایشات کاهشی جمع فازی می‌باشد (فاضل‌نیا و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۴۹).

طراحی سناریوی ضریب آسیب‌پذیری منطقه ۱۰ در مقابل میانگین شدت زلزله

در پژوهش حاضر با استفاده از رابطه زیر متوسط درجات خسارت ساختمان در برابر شدت‌های مختلف زلزله محاسبه گردید (احدنژاد روشتی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۸۲):

رابطه (۲) $$\alpha_D = 2.5[1+\tanh\left(\frac{I+6.25\overline{V_i}-13.1}{2.3}\right)]$$

در رابطه فوق:

α_D: میانگین درجه خسارت و آسیب؛

tanh: تانژانت هیپربولیک؛

I: شدت زلزله براساس واحد مرکالی؛

$\overline{V_i}$: مقادیر آسیب‌پذیری لرزه‌ای حاصل از همپوشانی فازی می‌باشد.

دامنه اعداد حاصل از رابطه فوق بین ۰ تا ۱ می‌باشد (جدول ۱). مقدار صفر نشان دهنده عدم آسیب‌پذیری یا فقدان خسارت می‌باشد. مقدار ۱ نیز نشان‌دهنده ریزش ساختمان یا خسارت کلی می‌باشد.

جدول ۱- درجه‌بندی آسیب وارده به ساختمان‌ها (احدنژاد روشتی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۸۲)

درجه آسیب	محدوده (دامنه)	شرح	میزان آسیب وارده به ساختمان (٪)
D0	۰	بدون آسیب	۰
D1	۰/۰ – ۰/۲	آسیب جزئی و قابل اغماض	۰
D2	۰/۲ – ۰/۴	آسیب متوسط	۲
D3	۰/۴ – ۰/۶	آسیب قابل توجه تا سنگین	۱۰
D4	۰/۶ – ۰/۸	آسیب بسیار سنگین	۵۰
D5	۰/۸ – ۱	نابودی کامل	۱۰۰

یافته‌های تحقیق

جهت ارزیابی آسیب‌پذیری نسبت به مخاطره زلزله لازم است که نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری لرزه‌ای یا ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای برای منطقه مورد مطالعه تهیه شود. در پژوهش حاضر جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ۳ مرحله به شرح زیر طی شد:

۱. لایه‌های موضوعی معیارهای موثر بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شدند و سپس توزیع فضایی آنها در سطح منطقه ۱۰ شهر تبریز مورد ارزیابی قرار گرفت.

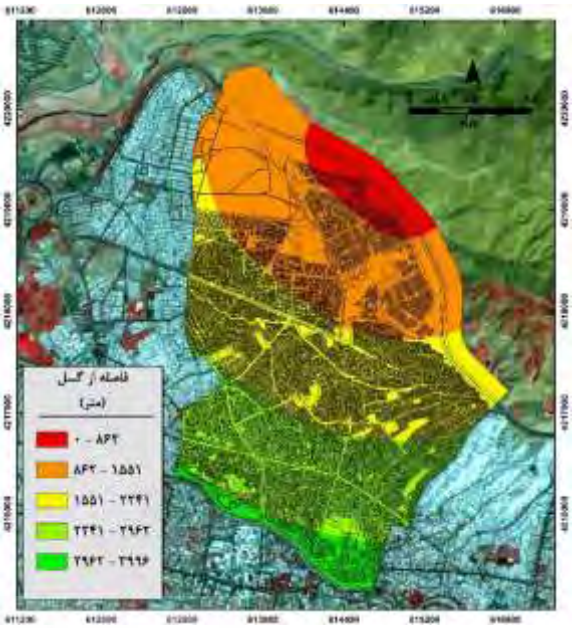
۲. لایه‌های موضوعی با استفاده از توابع فازی، فازی شدند.

۳. لایه‌های موضوعی فازی با استفاده از عملگر فازی با هم ترکیب شدند و نقشه آسیب‌پذیری لرزه‌ای برای منطقه ۱۰ شهر تبریز تهیه شد.

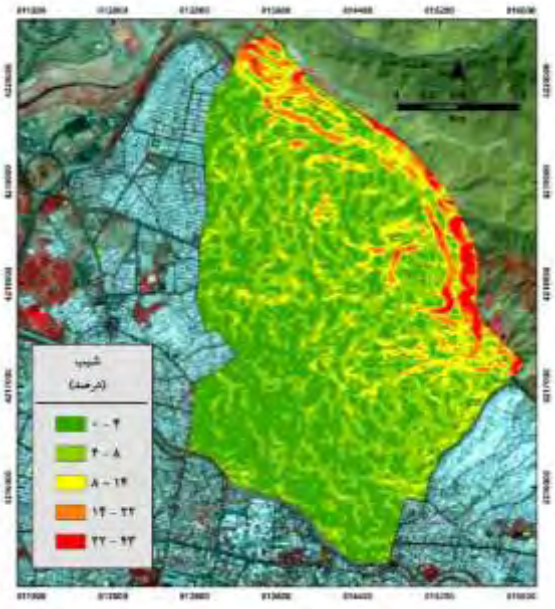
در ادامه هر یک از این مراحل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

فاصله از گسل: گسل تبریز عمده‌ترین عارضه تکتونیکی قابل مطالعه در ناحیه‌ی تبریز است که با شروع از جنوب غرب میانه با جهتی جنوب شرقی–شمال‌غربی با یک انحنای نسبتاً قوی به سمت مرند–خوی پیش می‌رود. این گسل در شمال تبریز به صورت راستگرد بوده و ضمن تشکیل دیواره عمده بخش شمالی جلگه تبریز به صورت هورست–گرابن موجب افتادگی چاله‌ی ارومیه–تبریز و بالاآمدگی عون‌بن‌علی و توده مورو گردیده و تنها عامل تکتونیکی در مورفوتکتونیک کنونی جلگه‌ی تبریز قلمداد می‌گردد (روستایی، ۳۲:۱۳۸۹). بدین ترتیب نزدیکی به گسل یکی از معیارهای مهم ارزیابی میزان آسیب‌پذیری مساکن منطقه مطالعاتی در برابر زلزله می‌باشد. بدیهی است که در شرایط برابر هر چه فاصله مساکن شهری از گسل کمتر باشد، میزان آسیب‌پذیری آنها بیشتر خواهد بود. در شکل (۲) موقعیت گسل بزرگ شمال تبریز و فاصله نسبت به آن آورده شده است. بخش عمده‌ای از منطقه ۱۰ شهر تبریز در فاصله کمتر از ۳ کیلومتری گسل بزرگ تبریز واقع شده است. بنابراین منطقه مطالعاتی با قرار گرفتن در منطقه حریم گسل تبریز از آسیب‌پذیری لرزه‌ای بالایی برخوردار است. در این میان، بالغ بر ۶/۶ درصد از منطقه مطالعاتی در فاصله ۰ تا ۵۰۰ متری از گسل تبریز قرار گرفته‌اند که آسیب‌پذیرترین نقاط منطقه ۱۰ شهر تبریز نسبت به خطر زلزله محسوب می‌شوند.

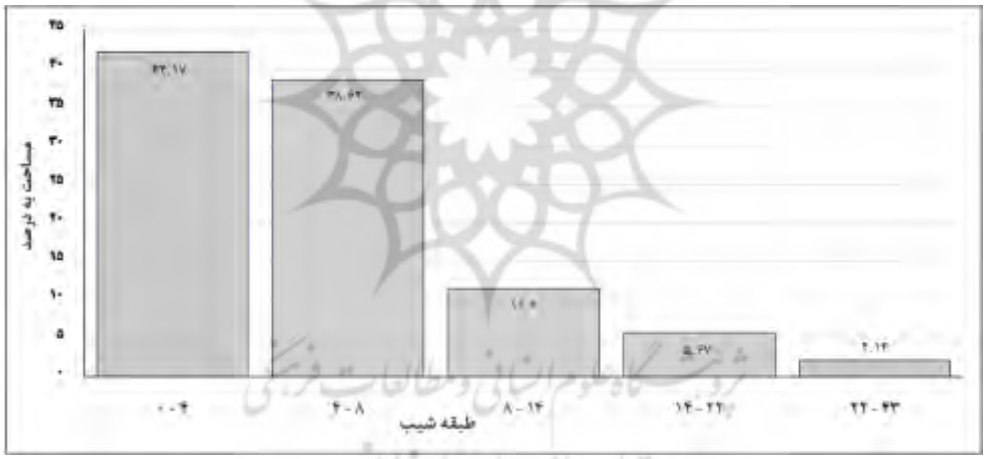
شیب: در پژوهش حاضر، شیب منطقه ۱۰ شهرداری تبریز با استفاده از تصاویر ماهواره ALOS-PALSAR با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر استخراج شد (شکل ۴). بین میزان آسیب‌پذیری نسبت به زلزله و مقدار شیب ارتباط مستقیمی وجود دارد و با افزایش شیب، میزان آسیب‌پذیری نیز افزایش پیدا می‌کند. میانگین شیب منطقه ۱۰ کلان‌شهر تبریز ۵/۴۳ درصد می‌باشد. توزیع طبقات مختلف شیب (شکل ۳) نشان می‌دهد که تقریبا در نیمی از مساحت منطقه مورد مطالعه، میزان شیب از ۴ درصد کمتر است. به این ترتیب، ساختمان‌هایی که در این اراضی مستقر هستند از آسیب‌پذیری کمتری نسبت به مخاطره زلزله برخوردارند. فقط در ۲ درصد از مساحت منطقه مطالعاتی شیب بالاتر از ۲۲ درصد است که به صورت نواری باریک در قسمتی از شمال منطقه کشیده شده است که جزء آسیب‌پذیرترین پهنه‌های شهر نسبت به مخاطره زلزله و پیامدهای ثانویه ناشی از این مخاطره (مخصوصا ناپایداری‌های دامنه‌ای) محسوب می‌شوند. در شکل ۴ نیز توزیع درصد طبقات شیب در منطقه مورد مطالعه آورده شده است.



شکل ۲: نقشه فاصله از گسل



شکل ۳: شیب منطقه مورد مطالعه

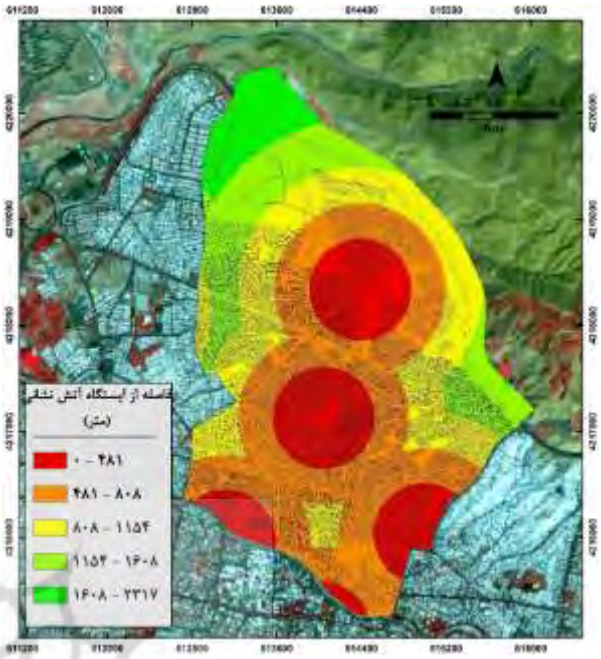


شکل ۴ : توزیع درصد طبقات شیب در منطقه ۱۰ شهرداری تبریز

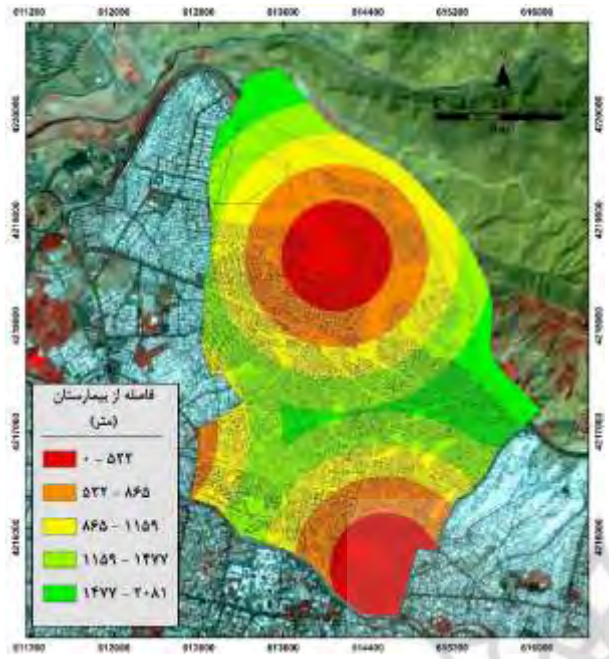
فاصله از ایستگاه آتش‌نشانی: در محدوده مورد مطالعه، تعداد سه ایستگاه آتش‌نشانی وجود دارد که توزیع آنها در سطح منطقه ۱۰ در شکل (۵) آورده شده است. با توجه به نقشه فاصله از ایستگاه‌های آتش نشانی در منطقه ۱۰ کلان‌شهر تبریز، عدم دسترسی به ایستگاه‌های آتش‌نشانی در قسمت‌های شمالی منطقه، بیشتر به چشم می‌خورد. به عنوان یک قاعده کلی، قرار گرفتن در فاصله کمتری از ایستگاه‌های آتش‌نشانی به عنوان یک مزیت محسوب می‌شود و به این ترتیب نواحی و محلاتی که در مجاورت ایستگاه‌های آتش‌نشانی قرار دارند جزء نواحی با آسیب‌پذیری کم محسوب می‌شوند و با افزایش فاصله از این ایستگاه‌ها، آسیب‌پذیری نسبت به زلزله نیز افزایش می‌یابد. محلات ارم که در شمال منطقه ۱۰ قرار گرفته‌اند به دلیل عدم دسترسی به ایستگاه آتش‌نشانی در مواقع بروز زمین‌لرزه آسیب-پذیری بالایی دارند.

فاصله از بیمارستان: ارائه خدمات درمانی به موقع و مطلوب در کاهش تلفات جانی ناشی از رخداد زلزله و یا هر نوع بلایای طبیعی دیگر تاثیر بسزایی دارد. منطقه ۱۰ شهر تبریز دارای دو بیمارستان (عالی نسب و کودکان) است. بیمارستان عالی نسب متعلق به تأمین اجتماعی است که در محله ارم واقع شده و بیمارستان کودکان به دانشگاه علوم پزشکی تبریز تعلق دارد که در محله ششگلان قرار

دارد. در حالت تطبیقی، علی رغم تراکم جمعیتی بالا در محلات مرکزی منطقه ۱۰، این محلات در شعاع خدمات‌رسانی بیمارستان قرار ندارند.



شکل ۵: نقشه فاصله از ایستگاه آتش‌نشانی (متر)

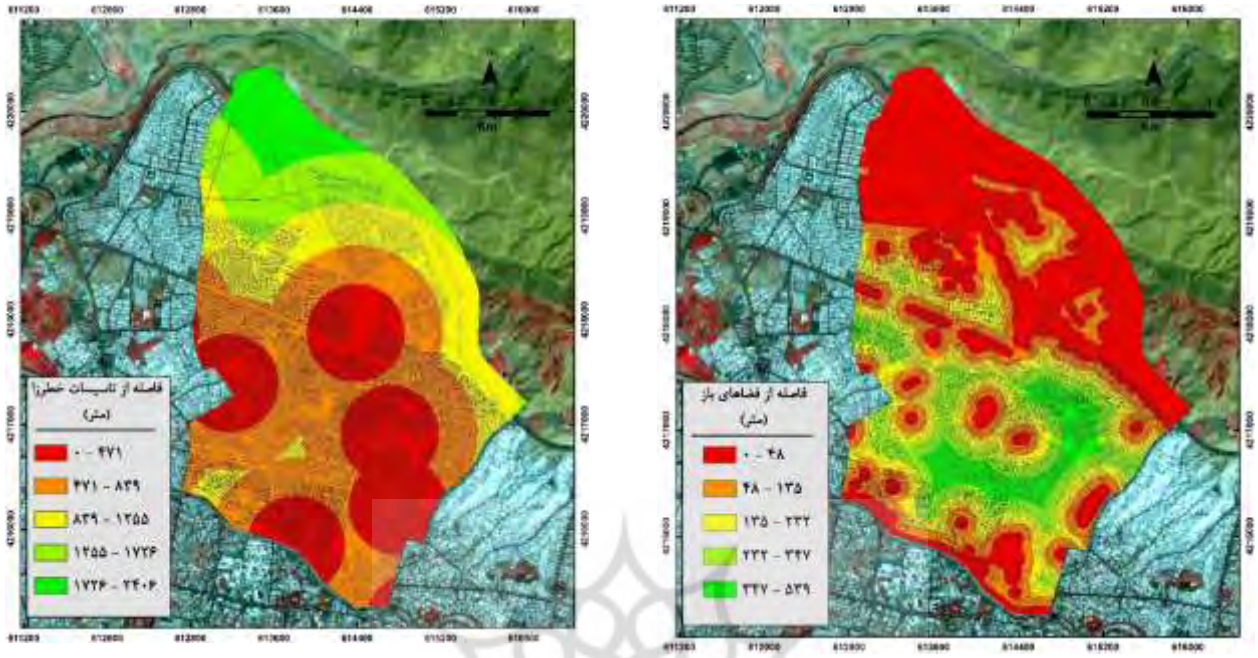


شکل ۶: نقشه فاصله از بیمارستان (متر) در سطح منطقه ۱۰

دسترسی به فضاهای باز عمومی: منظور از فضاهای باز، کلیه اراضی بایر و ساخته نشده و نیز فاقد کاربری خاص است. وجود این فضاهای باز می‌تواند خسارت زلزله را کاهش داده و امکان اسکان موقت پس از وقوع فاجعه را فراهم سازد. در منابع شهرسازی، فضاهای باز را در اشکال گوناگون تعریف کرده‌اند. کلاسون به نقل از پرلوف می‌نویسد: فضاهای باز، نواحی اجتماعی درون یا مجاور شهر هستند؛ مالکیت عمومی دارند و تحت اشغال بناها و ساختمان‌ها نیستند. کل این فضا برای اهداف تفریحی و عمومی استفاده می‌شود یا بدون استفاده باقی مانده است. فضاهای باز و سبز در شرایط بحرانی عملکردهای متعددی می‌یابند از جمله این عملکردها می‌توان به استقرار بیمارستان سیار و جمع آوری کمک‌ها و مهار و مدیریت بحران و نیز اسکان موقت زلزله زدگان و از این دست موارد اشاره کرد. هرچه تعداد و وسعت فضاهای باز بیشتر و توزیع آن‌ها منطقی‌تر و قابلیت دسترسی آن‌ها مناسب‌تر باشد آسیب‌پذیری مردم از زلزله کمتر می‌شود (محمدزاده، ۱۰۶:۱۳۸۵). نقشه توزیع فضاهای باز و دسترسی به این فضاها (شکل ۸) نشان می‌دهد فضاهای باز عمومی در حاشیه شمالی منطقه دارای وسعت قابل توجهی هستند. در برخی محلات مانند قربانی، دوه‌چی۳، دوه‌چی۴، سرخاب، خلیل آباد و منبع کمبود فضای باز و سبز وجود دارد. به عبارت دیگر، توزیع این فضاها در سطح منطقه ۱۰ همگون نیست و مخصوصا در محلات مرکزی کمبود شدید فضای باز وجود دارد. این محلات به دلیل کمبود فضای باز و همچنین نسبت تراکم مسکونی بالا دارای بیشترین آسیب-پذیری در برابر زلزله هستند.

فاصله از تاسیسات خطرزا: در شرایط بحرانی نقاطی وجود دارند که به عنوان نقاط بحرانی شناخته می‌شوند اگر چه این نقاط در شرایط عادی خطرناک محسوب نمی‌شوند اما به دلیل ویژگی‌هایی که دارند در شرایط بحرانی خطرزا محسوب می‌شوند. آسیب دیدن تأسیسات زیربنایی شهر نظیر شبکه آب، برق، گاز و مخابرات می‌تواند تلفات ناشی از وقوع زلزله را به شدت افزایش دهد. در این حیطه، دو نوع آسیب شامل آسیب‌های ناشی از عدم دسترسی به شریان‌های حیاتی در دوره امداد فوری و آسیب‌های ناشی از رویدادهای سوانح ثانویه مانند آتش‌سوزی، شوک الکتریکی، انفجار و مانند این‌ها وجود دارد (گلی مختاری و همکاران،۱۱۷:۱۳۹۶). در منطقه ۱۰ شهر تبریز، پنج نقطه که جزء نقاط خطرزا می‌باشند شناسایی شده است که این تأسیسات در محلات دوه‌چی، ۴۲متری، سرخاب، منبع و خلیل‌آباد

واقع شده‌اند. تنها محلات ارم واقع در نیمه شمالی منطقه ۱۰ در فاصله زیادی از این تاسیسات قرار گرفته‌اند و بنابراین از نظر این معیار، آسیب‌پذیری کمتری دارند. توزیع این تاسیسات در سطح منطقه ۱۰ شهر تبریز و فاصله از آنها در شکل (۸) آورده شده است.

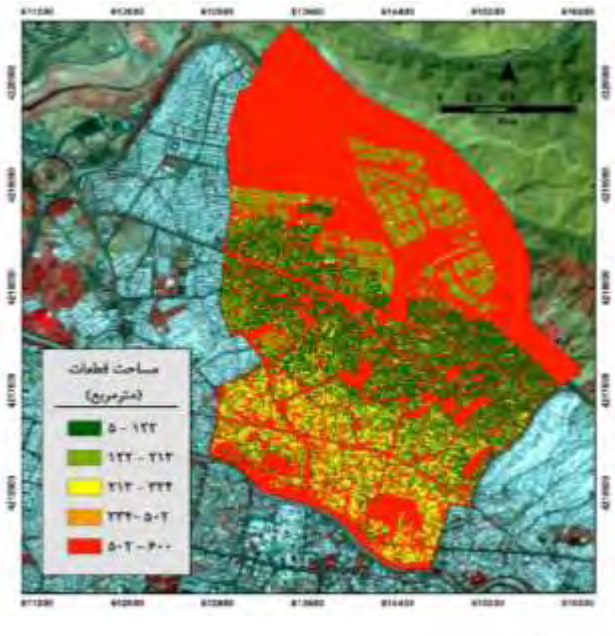


شکل ۷: نقشه فاصله از فضاهای باز عمومی بر حسب متر **شکل ۸: نقشه فاصله از تاسیسات خطرزا بر حسب متر**

تعداد طبقات: تعداد طبقات ساختمانی در ارتباط با نسبت عرض معابر و ارتفاع دیوارهای ساختمان‌ها، شاخص بسیار مهمی است. به این دلیل که با بالا رفتن تعداد طبقات ساختمانی و کم عرض‌تر شدن معابر، احتمال بسته شدن معابر به دلیل ریختن آوار ساختمان-های بلند مرتبه بالا می‌رود که این کار باعث اختلال در امر امدادرسانی می‌گردد؛ همچنین به دلیل جمعیت زیاد ساکن در آپارتمان‌های چند طبقه، در زمان بروز حادثه تخلیه ساکنین در این واحدها کندتر می‌باشد (وارثی و اکبری مهام،۵۵:۱۳۹۱). شاخص تعداد طبقات، شاخصی است که با افزایش آن، میزان آسیب‌پذیری نسبت به زلزله نیز افزایش می‌یابد. توزیع طبقات ساختمان‌ها در سطح منطقه مورد مطالعه در شکل (۹) ارائه شده است. با توجه به محاسبات صورت گرفته در حدود ۶۸/۱۸ درصد از ساختمان‌های منطقه ۱۰ شهر تبریز ساختمان‌های یک طبقه می‌باشند. همچنین در حدود ۲۳/۸ درصد از ساختمان‌ها نیز جزء ساختمان‌های دو طبقه و ۱/۵ درصد نیز در ردیف ساختمان‌های سه طبقه قرار می‌گیرند.

دانه‌بندی: مساحت و اندازه قطعات از متغیرهای مهم درونی موثر بر میزان آسیب‌پذیری می‌باشد و هر چه مساحت قطعات بیشتر باشد آسیب‌پذیری کاهش می‌یابد و هرچه اندازه قطعات کوچکتر باشد میزان آسیب‌پذیری افزایش می‌یابد این امر به علت خرد شدن فضای باز و کاسته شدن فضای مفید و امن برای گریز، پناه گرفتن، عملیات امدادی و اسکان موقت نسبت به اراضی بزرگتر می‌باشد (حمیدی،۲۲۲:۱۳۷۱). به این ترتیب قطعات با مساحت کمتر، در مقابل زلزله نیز آسیب‌پذیری بالاتری دارند. در شکل (۱۰) ساختمان‌های موجود در منطقه مورد مطالعه براساس مساحت قطعات تفکیکی (دانه‌بندی) ارائه شده است. همان‌گونه که مشخص است بافت ریزدانه در قسمت‌های مرکزی منطقه ۱۰ از فراوانی قابل توجهی برخوردارند. ساختمان‌های واقع در این قسمت در یک حالت تطبیقی، دارای آسیب-پذیری بالاتری نسبت به زلزله می‌باشند. ریزدانگی این بخش‌ها با سایر عوامل از قبیل تراکم بالای ساختمانی و جمعیتی همراه شده و به تبع آن آسیب‌پذیری دوچندان می‌شود. در قسمت‌های شمالی منطقه ۱۰ شهرداری تبریز عمدتا و به صورت جزئی در جنوب این منطقه غلبه با ساختمان‌های درشت دانه است.

شکل ۹: نقشه تعداد طبقات ساختمان‌ها در سطح منطقه ۱۰ تبریز



شکل ۱۰: نقشه مساحت قطعات در سطح منطقه ۱۰ (مترمربع)

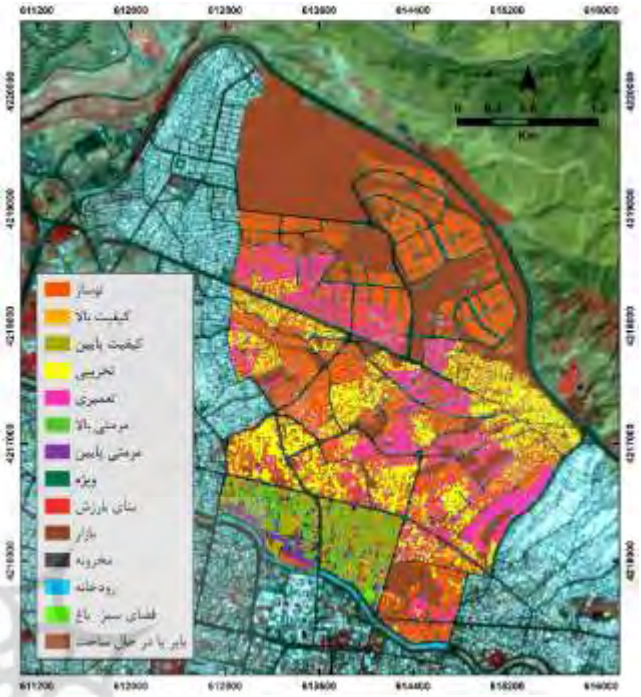
کیفیت بنا: شاخص کیفیت تأثیر بسیار مهمی بر میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌ها دارد. احتمال مقاومت ساختمان‌های با کیفیت بالا (نوساز) در مقابل زلزله نسبت به ساختمان‌های مخروبه و مرمتی بیشتر است. قابل ذکر است که قدمت یک سازه الزاماً رابطه مستقیمی با کیفیت ندارد اما در بیشتر موارد ساختمان‌های با سنی بیشتر از۳۰ سال نیاز به تعمیر و مقاوم‌سازی دارند. در عین حال رعایت نکردن اصول و آیین‌نامه زلزله در اجرا ساختمان نیز باعث کاهش کیفیت بنا می‌گردد و اینکه از مصالح مقاوم در ساخت ساختمان‌ها استفاده شود، از جمله مهم‌ترین عوامل تضمین کیفیت سازه‌هاست (وارثی و اکبری مهام،۵۸:۱۳۹۱). از نظر کیفیت، قسمت اعظم اراضی شمال منطقه ۱۰ جزء اراضی بایر یا در حال ساخت می‌باشند که بر آسیب‌پذیری پایین‌تر این بخش دلالت می‌کند. همچنین اراضی نوساز در این منطقه بالاترین فراوانی را دارند. ساختمان‌هایی که از نظر کیفیت نوساز هستند به استثنای محلات جنوبی و قسمتی از شمال منطقه ۱۰، در سایر قسمت‌های این منطقه پراکنده هستند (شکل ۱۱).

مصالح ساختمانی: نوع مصالح سازه‌ها یکی از معیارهای مهم و مؤثر در تعیین ضریب آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله محسوب می‌شود. بدیهی است سازه‌هایی که با مصالح مقاوم و استاندارد بالا ساخته شده‌اند، ایمنی مناسبی در برابر زلزله داشته و امنیت بالایی برای ساکنان فراهم می‌کنند. در بحث مصالح ساختمانی موارد زیر اهمیت بسیار زیادی دارد:

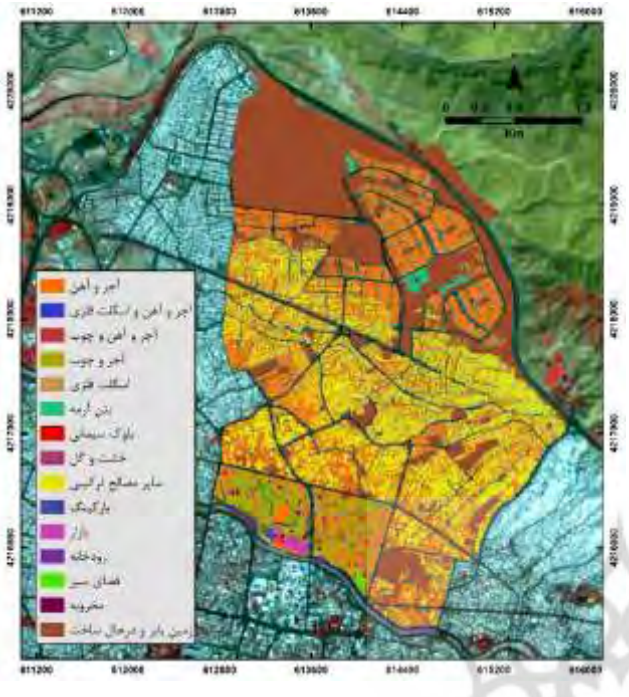
- نوع اسکلت بنا (فلزی، بتن آرمه، خشت و چوب و...)
- مصالح استفاده شده در بنا
- مصالح به کار رفته شده در نمای ساختمان
- نحوه‌ی نظارت بر مراحل مختلف ساخت مسکن
- کیفیت مصالح از نظر دوام

بالا بردن کیفیت مصالح و نحوه ساخت، یکپارچگی سقف و سبک کردن آن و تعبیه عناصری که شکل پذیری ساختمان را افزایش دهد (مانند کلاف‌های افقی و عمودی) می‌تواند باعث افزایش مقاومت ساختمان شود (مقدم،۹:۱۳۸۴). بخش قابل توجهی از ساختمان‌ها و بناهای منطقه ۱۰ شهر تبریز از نظر مصالح عمدتا از آجر و آهن ساخته شده‌اند (شکل ۱۲) که آسیب‌پذیری این مصالح نسبت به زمین-لرزه در سطح متوسط می‌باشد. مصالح مورد استفاده در ساختمان‌های محله دوه‌چی در جنوب این منطقه از نوع آجر و چوب می‌باشد که

نسبت به زمین‌لرزه از آسیب‌پذیری بالایی برخوردار هستند. ساختمان‌هایی که از اسکلت فلزی ساخته شده‌اند از آسیب‌پذیری لرزه‌ای پایینی برخوردار هستند ولی به صورت جزئی و پراکنده در این منطقه از شهر وجود دارند.



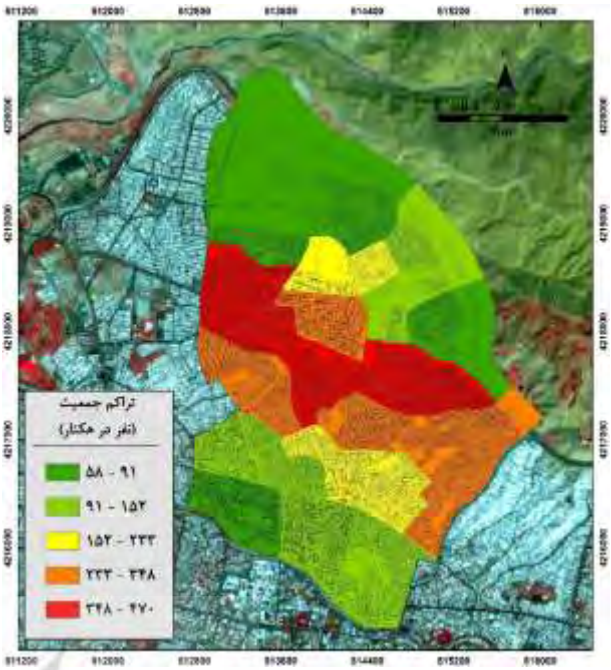
شکل ۱۱: کیفیت ساختمان‌ها در سطح منطقه ۱۰ تبریز



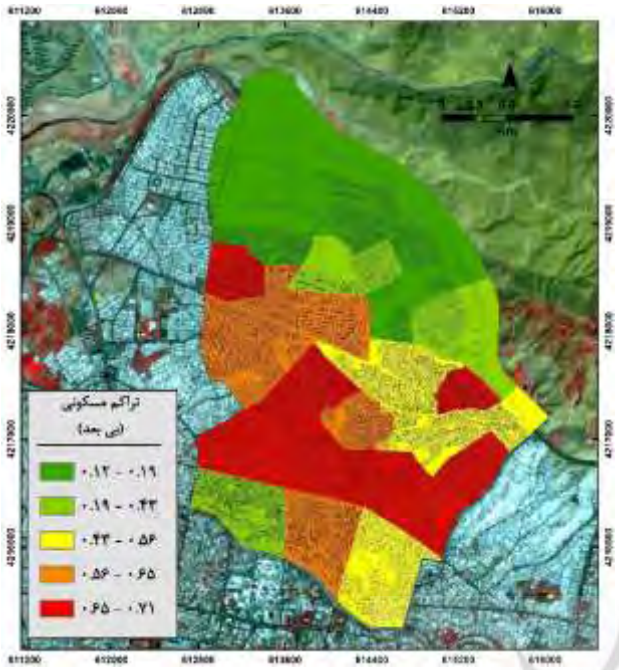
شکل ۱۲: نوع مصالح ساختمان‌ها در سطح منطقه ۱۰ تبریز

تراکم جمعیت: اولین مقوله‌ای که در مطالعه مناطق شهری به نظر می‌رسد، جمعیت آن منطقه است؛ یعنی وزن نیرو محرکه منطقه. به بیانی دیگر، جمعیت اصلی‌ترین عامل در هر نوع برنامه‌ریزی است (قائدرحمتی و همکاران،۱۱۲:۱۳۸۹) و هر چقدر تراکم جمعیت بیشتر باشد در زمان بروز حادثه عملیات امدادرسانی سخت‌تر و تخلیه ساختمان‌ها نیز مدت زمان زیادی طول خواهد کشید (اسدی و همکاران،۲۲۳:۱۳۹۷). تراکم جمعیتی بالا در شهر به معنای تلفات و خسارت‌های بیشتر به هنگام وقوع زلزله است. از نظر پراکندگی جمعیت با در نظر گرفتن موقعیت مکانی، محلاتی مانند انبارسرد، خلیل آباد، ۴۲ متری و قربانی که در مرکز منطقه قرار دارند دارای بیشترین تراکم جمعیت بوده و در زمان وقوع زمین لرزه بیشترین آسیب‌پذیری را دارند. در حالی که محلات شمالی منطقه ۱۰ مانند ارم و محلات جنوبی مانند دوه‌چی و ششگلان به ترتیب کم‌جمعیت‌ترین محلات منطقه ۱۰ به شمار می‌روند (شکل ۱۳).

تراکم مسکونی: به منظور محاسبه تراکم مسکونی در سطح محلات منطقه ۱۰ شهر تبریز، ابتدا لایه کاربری مسکونی از لایه کل کاربری اراضی این منطقه استخراج شد. در مرحله بعد، مساحت این نوع کاربری به تفکیک در سطح هر یک از محلات محاسبه شده و بر مساحت محله تقسیم شد. کاربری مسکونی با توجه به جمعیت ساکن در آن از آسیب‌پذیرترین کاربری‌ها در شرایط بحرانی و اضطرار، مخصوصا زلزله‌های شدید با حجم بالای تخریب و ویرانی به شمار می‌رود. از کل مساحت منطقه ۱۰ حدود ۴۳/۰۵ درصد که شامل ۴۶۶۴۰۱۱ مترمربع می‌باشد به کاربری مسکونی اختصاص دارد. برخی از محلات شمال منطقه از جمله ارم، قسمتی از شمال قربانی که در مجاورت خط گسل قرار گرفته‌اند و قسمتی از محلات مانند محله دوه‌چی۱ که در جنوب منطقه ۱۰ قرار دارند نسبت به محلات دیگر از تراکم مسکونی کمتری برخوردار هستند (شکل ۱۴). در حالی که بالاترین تراکم مسکونی در محلاتی مانند سرخاب، دوه‌چی و انبار سرد وجود دارد که بر آسیب‌پذیری بالای این مناطق نسبت به زلزله دلالت می‌کند.



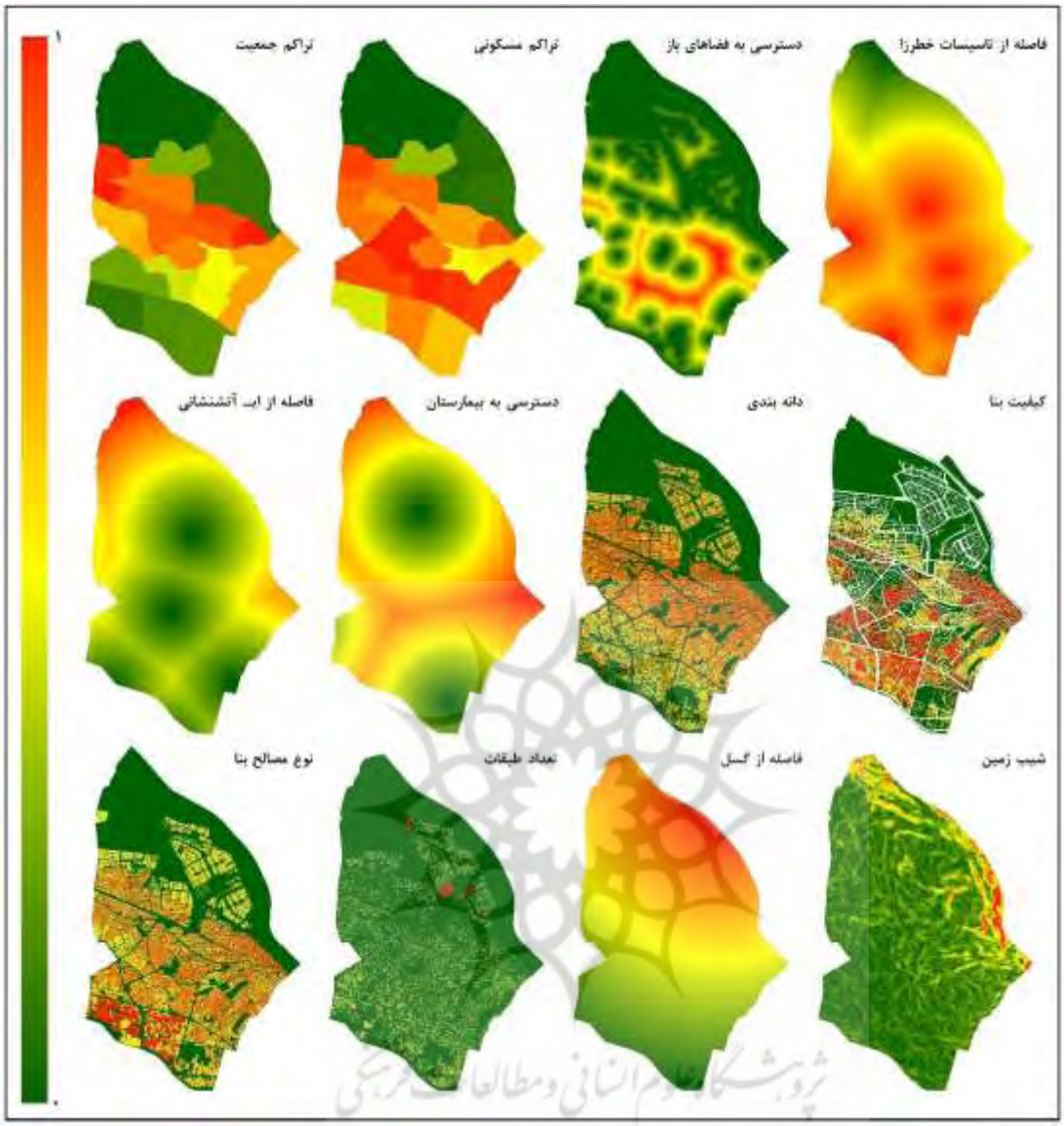
شکل ۱۳: نقشه تراکم جمعیت بر حسب نفر در هکتار



شکل ۱۴: نقشه تراکم مسکونی در سطح منطقه ۱۰ شهر تبریز

جهت تهیه نقشه آسیب‌پذیری منطقه ۱۰، بعد از تهیه لایه‌های موضوعی مربوط به معیارهای مورد بررسی، این لایه‌ها به صورت فازی تبدیل شدند. یکی از اهداف فازی سازی این است که لایه‌ها بی بعد می‌شوند. به دلیل اینکه لایه‌های موضوعی مورد استفاده واحدهای متفاوتی دارند. به عنوان مثال واحد لایه‌های شیب، تراکم جمعیت، فاصله از بیمارستان و دانه‌بندی قطعات با یکدیگر یکسان نیست. هدف دیگر از فازی‌سازی ارزش‌گذاری مجدد لایه‌ها بین عدد ۰ تا ۱ است. به این ترتیب که برای مجموعه ایده‌آلی تعریف می‌شود که دارای ارزش‌های ۱ (عضویت کامل) و نزدیک به آن می‌باشند؛ با دور شدن از این ایده‌آل ارزش مقادیر کاهش پیدا می‌کند و در نهایت به صفر یعنی عدم عضویت ختم می‌شوند. نقشه‌های فازی متغیرهای مورد بررسی با استفاده از توابع فازی، در شکل (۱۵) آورده شده است. روی این نقشه‌ها، بخش‌هایی از منطقه ۱۰ که مقدار هر یک از متغیرها به عدد یک نزدیک است از آسیب‌پذیری لرزه‌ای بالاتری برخوردار هستند.

پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۱۵- نقشه‌های فازی متغیرهای مورد بررسی جهت ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای منطقه ۱۰ شهر تبریز

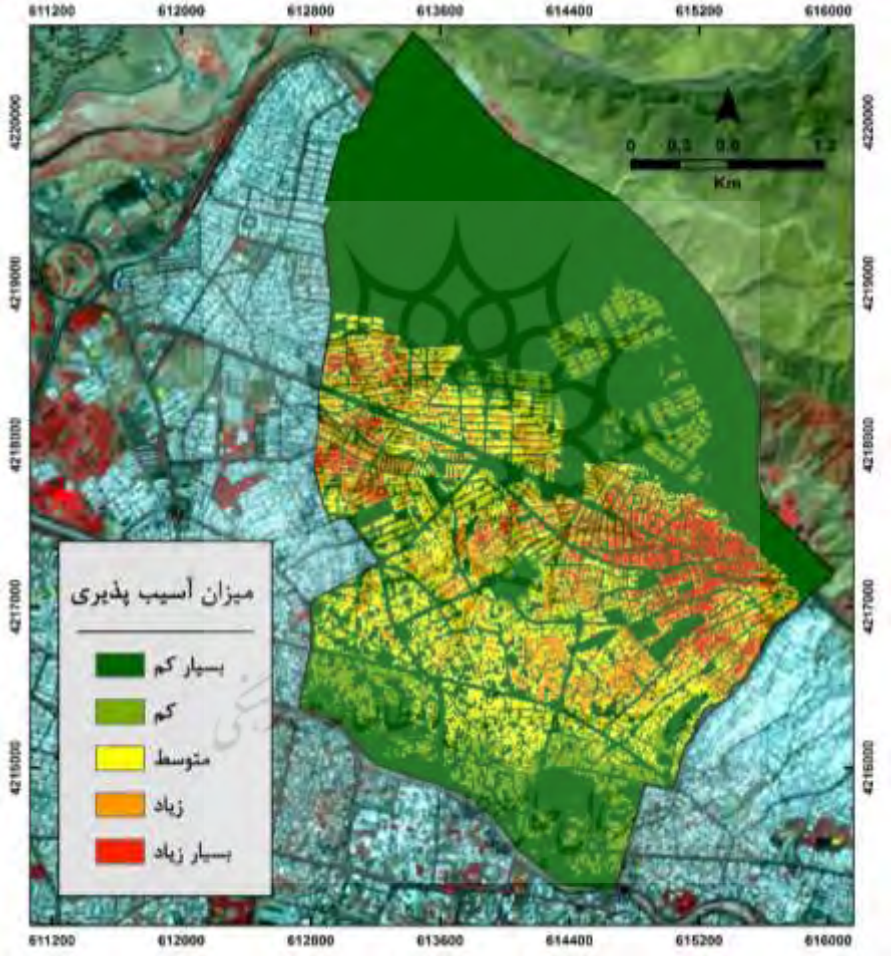
ترکیب لایه‌های فازی و تهیه نقشه آسیب‌پذیری منطقه ۱۰ نسبت به زلزله

نتایج حاصل از پهنه‌بندی لرزه‌ای منطقه ۱۰ شهر تبریز را با استفاده منطق فازی می‌توان به شرح زیر خلاصه نمود:

– از نظر توزیع کلاس‌های آسیب‌پذیری، در حدود ۴/۵ درصد از مساحت منطقه ۱۰ شهر تبریز در کلاس آسیب‌پذیری خیلی زیاد و ۱۲/۶ درصد از آن در کلاس آسیب‌پذیری زیاد قرار گرفته است. همچنین مجموع مساحت پهنه‌های با آسیب‌پذیری کم و بسیار کم در حدود ۶۴/۹ درصد از مساحت منطقه می‌باشد (شکل ۱۶). توزیع بخش‌های با آسیب‌پذیری خیلی کم در سطح منطقه ۱۰ شهر تبریز نشان می‌دهد که اکثر این پهنه‌ها بر اراضی بایر شمال منطقه ۱۰، فضاهای سبز و در کل فضاهای باز شهر منطبق می‌باشند. علاوه بر این، در محلات ارم در شمال منطقه مطالعاتی، تراکم مسکونی و تراکم جمعیتی نیز نسبت به سایر محلات بسیار پایین‌تر می‌باشد. همچنین بافت درشت قطعات در این محلات باعث کاهش آسیب‌پذیری لرزه‌ای شده است. بعضی از محلات جنوبی این منطقه مانند ششگلان و دوه‌چی نیز به دلیل تراکم جمعیتی و مسکونی کمتر، نزدیکی به بیمارستان، قرار گرفتن در مجاورت فضای سبز و فاصله کمتر

نسبت به ایستگاه آتش‌نشانی از آسیب‌پذیری لرزه‌ای کمتری برخوردار هستند. در حدود ۱۸ درصد از مساحت فضاهای شهری در منطقه مورد مطالعه در کلاس با آسیب‌پذیری لرزه‌ای متوسط واقع شده‌اند.

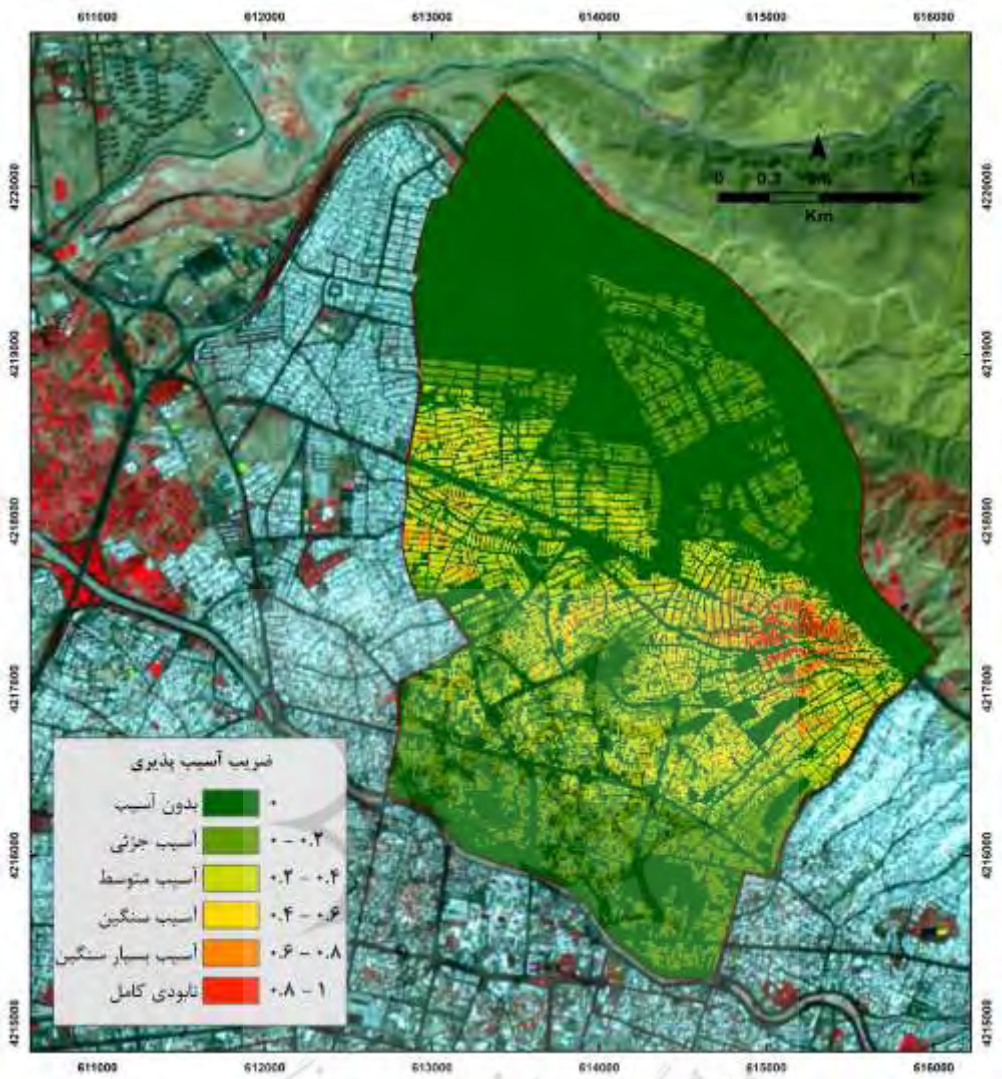
– محلاتی مانند خلیل‌آباد و قربانی که در قسمت‌های مرکزی منطقه ۱۰ واقع شده‌اند جزء آسیب‌پذیرترین محلات این منطقه نسبت به زلزله به شمار می‌روند. عواملی مانند تراکم بالای جمعیت، تراکم بالای مسکونی، عدم دسترسی به فضاهای باز شهری از جمله مهم‌ترین دلایل آسیب‌پذیری بسیار بالای این مناطق محسوب می‌شوند. به این عوامل می‌توان مواردی از قبیل ریزدانه بودن بافت شهری در این قسمت از شهر و کیفیت پایین مصالح ساختمانی را نیز اضافه نمود که باعث افزایش بسیار زیاد آسیب‌پذیری می‌شوند. به این ترتیب، محلات مرکزی منطقه ۱۰ جزء مهم‌ترین کانون‌های بحرانی نسبت به مخاطره زلزله در سطح منطقه ۱۰ شهر تبریز به شمار می‌روند. با توجه به تراکم بالای جمعیتی در این مناطق یک زلزله بزرگ می‌تواند به خسارات مادی و تلفات جانی شدید در این مناطق منجر گردد.



شکل ۱۶- اسیب‌پذیری لرزه ای منطقه ۱۰ شهر تبریز با استفاده از منطق فازی

محاسبه ضریب آسیب‌پذیری لرزه‌ای منطقه ۱۰ شهر تبریز در برابر میانگین شدت زلزله

لایه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری لرزه‌ای حاصل از همپوشانی فازی (شکل ۱۶) و رابطه (۲)، به منظور محاسبه ضریب آسیب‌پذیری منطقه ۱۰ شهر تبریز در برابر زمین لرزه مورد استفاده قرار گرفتند. نقشه حاصل از اجرای رابطه مذکور در بستر سیستم اطلاعات جغرافیایی به صورت شکل (۱۷) می‌باشد. در این شکل توزیع فضایی مقادیر ضریب آسیب‌پذیری در سطح منطقه ۱۰ در قالب شش کلاس، از D0 (بدون تخریب) تا D5 (تخریب کامل)، نشان داده شده است.



شکل ۱۷- ضریب آسیب‌پذیری لرزه‌ای منطقه ۱۰ شهر تبریز برای زلزله‌ای با شدت ۱۰ مرکالی

نتایج حاصل از تحلیل میزان آسیب در منطقه ۱۰ شهر تبریز با در نظر گرفتن زلزله احتمالی با شدت ۱۰ مرکالی نشان می‌دهد که ۴۹ درصد از فضاهای شهری منطقه مطالعاتی در کلاس D0 قرار می‌گیرند و بدون آسیب خواهند بود. این فضاها مشتمل بر کاربری‌های بایر، فضاهای باز، فضاهای سبز، بخش‌هایی از شبکه‌های ارتباطی و بناهای در حال ساخت می‌باشند. دلیل اساسی واقع شدن کاربری‌های مذکور در کلاس D0 مربوط به فقدان ساخت و ساز و خالی از سکنه بودن این نوع کاربری‌ها می‌باشد. تقریبا هیچ‌گونه کاربری مسکونی در کلاس مذکور قرار نگرفته است. بخش قابل توجهی از این کاربری‌ها در مجاورت بلافصل گسل شمال تبریز قرار گرفته‌اند و با توجه به آسیب‌پذیری لرزه‌ای بالای فضاهای مجاور گسل بزرگ و فعال تبریز می‌بایست از تغییر کاربری اراضی در این عرصه‌ها به‌جد اجتناب شود. بالغ بر ۲۴ درصد از فضاهای شهری منطقه ۱۰ شهرداری تبریز در کلاس D1 قرار گرفته است. بدین ترتیب برآورد می‌گردد که به‌هنگام وقوع زلزله‌ای به شدت ۱۰ مرکالی دچار آسیب جزئی شوند. حدود ۱۲ درصد از کاربری‌های مسکونی منطقه مطالعاتی در کلاس مذکور قرار گرفته‌اند و عمدتا مربوط به ساختمان‌های نوساز و باکیفیت منطقه مطالعاتی می‌باشند. تقریبا ۱۷ درصد از فضاهای شهری منطقه ۱۰ شهرداری تبریز در کلاس D2 یا آسیب متوسط واقع شده‌اند. در این میان بالغ بر ۹ درصد از کاربری‌های مسکونی منطقه مطالعاتی در این کلاس آسیب جای گرفته‌اند و عمدتا مشتمل بر ساختمان‌های نوساز یا تقریبا نوساز، دارای دانه‌بندی درشت و نسبتا دور از گسل تبریز می‌باشند. در حدود ۷ درصد از فضاهای شهری در منطقه ۱۰ شهرداری تبریز در کلاس D3 قرار دارند که از آسیب قابل

توجه تا سنگین به هنگام زلزله احتمالی ۱۰ مرکالی برخوردار خواهند شد. تقریبا تمامی این فضاها مشتمل بر کاربری‌های مسکونی می‌باشند. اگر چه بخش عمده‌ای از قسمت‌های شمالی منطقه ۱۰ تبریز ضرایب آسیب‌پذیری لرزه‌ای پایینی را نشان می‌دهند و در کلاس D0 و بدون آسیب قرار می‌گیرند اما باید توجه داشت در بخش عمده‌ای از این منطقه هنوز جمعیتی مستقر نشده است و تراکم جمعیتی پایینی دارند. در نهایت، حدود ۱ درصد فضاهای شهری در منطقه مورد مطالعه در کلاس D5 قرار دارند که از بیشترین میزان تخریب (تخریب ۱۰۰ درصد) به هنگام زلزله احتمالی با شدت ۱۰ مرکالی برخوردارند و تماما منطبق بر کاربری‌های مسکونی (و به صورت محدود تجاری) می‌باشند. این کلاس بخشی از قسمت‌های مرکزی منطقه مطالعاتی- شامل محلات خلیل‌آباد و قربانی- را شامل می‌گردند و بر آسیب‌پذیری بسیار بالای این محلات در هنگام وقوع زلزله دلالت دارد. با صرفنظر کردن از کاربری‌های بایر، فضاهای سبز، شبکه‌های ارتباطی و ساختمان‌های در حال ساخت و با تطبیق لایه ضریب آسیب‌پذیری و لایه کاربری مسکونی مشخص گردید که بیش از ۵۰ درصد از کاربری‌های مسکونی منطقه ۱۰ شهرداری تبریز در کلاس‌های با آسیب سنگین تا تخریب کامل قرار گرفته‌اند. بدین ترتیب منطقه ۱۰ شهرداری تبریز به‌هنگام وقوع زلزله‌ای شدید تا نسبتا شدید جزو کانون‌های بحرانی شهر تبریز خواهد بود. مجاورت با گسل بزرگ شمال تبریز، بافت فرسوده، حاشیه‌نشینی، عدم دسترسی (مخصوصا به محلات مرکزی)، غیراستاندارد بودن بسیاری از بناها و ساختمان‌ها و موارد مشابه دیگر از دلایل عمده آسیب‌پذیری و حجم تخریب شدید در این منطقه به‌هنگام وقوع زلزله به‌شمار می‌روند. بدین ترتیب ضرورت دارد با اقدامات مقتضی نسبت به کاهش آسیب‌پذیری این منطقه نسبت به خطر زلزله اقدام شود. در این زمینه می‌توان به رعایت حریم گسل و جلوگیری از تغییر کاربری اراضی، نوسازی بافت‌های فرسوده و حتی تخلیه بخشی از جمعیت منطقه اشاره نمود.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر در جهت ارزیابی میزان آسیب پذیری مساکن شهری منطقه ۱۰ شهر تبریز انجام شده است. ارائه ضرایب آسیب‌پذیری لرزه‌ای یکی از مهم‌ترین وجوه تمایز این تحقیق از سایر تحقیقات مشابه برای شهر تبریز می‌باشد. در همین راستا دوازده معیار مؤثر در آسیب پذیری شناسایی و توزیع فضایی آنها در سطح منطقه مورد مطالعه، مورد بررسی واقع شد. لایه‌های موضوعی نوع مصالح، تعداد طبقات، کیفیت بنا، شیب، فاصله از ایستگاه آتش‌نشانی، فاصله از بیمارستان، فاصله از فضای باز، فاصله از تأسیسات خطرزا، دانه‌بندی قطعات، تراکم مسکونی، تراکم جمعیت، فاصله از گسل تهیه و در بستر سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد ارزیابی قرار گرفت. لایه‌های موضوعی فوق با استفاده از تابع خطی (کاهشی یا افزایشی) به صورت فازی تبدیل شدند و مقادیر آنها در دامنه صفر تا یک قرار گرفت. به منظور تهیه نقشه آسیب‌پذیری منطقه ۱۰ کلانشهر تبریز، لایه‌های فازی با استفاده از عملگر گاما فازی با یکدیگر ترکیب شدند. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که میزان آسیب‌پذیری در محلات مرکزی این منطقه بالاتر می‌باشد عواملی مانند تراکم بسیار بالای مسکونی و جمعیتی، بافت فرسوده، فاصله زیاد از بیمارستان‌ها و عدم دسترسی به فضاهای باز عمومی در این منطقه از شهر از جمله مهم‌ترین فاکتورهایی هستند که باعث آسیب‌پذیری لرزه‌ای بسیار بالای این قسمت از شهر شده است. منطقه ۱۰ شهر تبریز در نزدیکی گسل بزرگ شمال تبریز واقع شده است و از این نظر کل این منطقه نسبت به زلزله آسیب پذیر هستند. اما صرف نزدیکی به گسل نمی تواند معیار آسیب‌پذیری ساختمان‌ها و بناهای شهری باشد بلکه عوامل مرتبط با برنامه ریزی و کالبد شهر می‌توانند باعث تشدید یا برعکس کاهش آسیب پذیری لرزه‌ای شوند. با توجه به عبور گسل بزرگ تبریز از مجاورت منطقه ۱۰ می‌توان گفت که هیچ پهنه‌ای از این منطقه مصون و ایمن از مخاطره زلزله نیست. بنابراین ضروری است که در روند توسعه فضایی- کالبدی شهر به حریم گسل‌ها (حداقل ۵۰۰ متر) و مقاوم‌سازی ساختمان‌ها و سازه‌های شهری در برابر زلزله توجه کافی مبذول گردد. همچنین ضریب آسیب‌پذیری لرزه‌ای منطقه مورد مطالعه در برابر زلزله احتمالی با شدت ۱۰ مرکالی محاسبه شد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که ساختمان‌های واقع در محلات مرکزی منطقه ۱۰ دارای بیشترین میزان ضریب آسیب‌پذیری لرزه‌ای می‌باشند. محلات قربانی و خلیل‌آباد در منطقه ۱۰ شهرداری جزء مهم‌ترین این محلات می‌باشند. قسمت اعظم فضاهای شهری این محلات در دو کلاس با مقادیر ضریب آسیب‌پذیری لرزه‌ای ۰/۶ تا ۰/۸ و ۰/۸ تا ۱ قرار گرفته‌اند. با توجه به تراکم بالای جمعیتی و مسکونی در محلات مذکور به هنگام زلزله بدون شک تلفات جانی و مالی بسیار زیاد و فاجعه‌بار خواهد بود.

پیشنهادات

– با توجه به آسیب‌پذیری لرزه‌ای بالای منطقه ۱۰ شهر تبریز ضرورت دارد که از توسعه بیشتر شهر به شمال منطقه مذکور به‌جد جلوگیری به عمل آید و پهنه‌های مذکور به کاربری‌های طبیعی– تفریحی اختصاص داده شوند.

– یکی از مهم‌ترین دلایل آسیب‌پذیری بالای کاربری‌های مسکونی در منطقه ۱۰ شهرداری تبریز نسبت به وقوع زلزله مربوط به فرسوده بودن و کیفیت پایین بناها می‌باشد. در این رابطه ارائه تسهیلات (از قبیل وام‌های بلاعوض یا کم‌بهره) به ساکنان این منطقه به منظور نوسازی بافت‌های فرسوده می‌تواند گامی اساسی در جهت کاهش آسیب‌پذیری لرزه‌ای منطقه به‌شمار آید.

– با توجه به مجاورت منطقه ۱۰ شهرداری تبریز با گسل بزرگ تبریز و تراکم بالای مسکونی و جمعیتی نواحی مرکزی این منطقه پیشنهاد می‌شود مطالعاتی در خصوص امکان‌سنجی تخلیه و جابجایی بخشی از جمعیت این نواحی صورت گیرد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

- ابوئی اشکذری، علیرضا، (۱۳۹۱)، مدیریت بحران زلزله با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) (نمونه موردی: شهر یزد). پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور . GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- احدنژاد روشتی، محسن، قرخلو، مهدی، زیاری، کرامت الله، (۱۳۸۹)، مدل‌سازی آسیب‌پذیری ساختمانی شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی نمونه موردی: شهر زنجان، *جغرافیا و توسعه*، پیاپی ۱۹، صص ۱۹۸-۱۷۱.
- احمدی، حسن، (۱۳۷۶)، نقش شهرسازی در کاهش آسیب‌پذیری شهر. نشریه مسکن و انقلاب، بنیاد مسکن انقلاب اسلامی، تهران.
- اسدی، یاسمن، نیسانی سامانی، نجمه، کیاورز مقدم، مجید، عبداللهی، عطا، ارگانی، میثم، (۱۳۹۷)، مدلسازی مکانی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های شهری با تاکید بر تأثیر سفره آب زیرزمینی با استفاده از تئوری مجموعه‌های راف، *نشریه علمی-پژوهشی علوم وفنون نقشه برداری*، دوره هشتم، شماره۳، صص ۲۲۹-۲۱۷.
- اسفندیاری، فریبا، غفاری گیلانده، عطا، لطفی، خداداد، (۱۳۹۲)، مدل‌سازی ضریب آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش تاپسیس در محیط GIS (مطالعه موردی شهر اردبیل)، *فصلنامه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی*، شماره۶، صص۷۹-۴۳.
- پورحسن‌زاده، محمد حسین، احمدی، قادر، (۱۳۹۷)، تحلیل آسیب‌پذیری مساکن شهری در برابر خطر زلزله با استفاده از مدل Topsis (مطالعه موردی: مساکن شهر ارومیه)، *نشریه علمی پژوهشی برنامه‌ریزی توسعه کالبدی*، سال سوم، شماره۴ ، صص۲۶-۱۱.
- تقی‌پور، علی اکبر، (۱۳۹۶)، ارزیابی آسیب‌پذیری شهری در برابر زلزله (نمونه موردی: شهر تبریز)، *اولین کنفرانس بین المللی زلزله*، مدیریت بحران، احیا و بازسازی، صص ۹-۱.
- حبیبی، کیومرث، عزتی، محمد، ترابی، کمال، عزت پناه، بختیار، (۱۳۹۳)، بررسی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله با استفاده از مدل MIHWP (مطالعه موردی منطقه ۱۰ تبریز)، نشریه علمی پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۲۰، شماره ۵۸ ، صص ۱۱۸-۱۰۸.
- حمیـــدی، ملیحه، (۱۳۷۱)، ارزیابی الگوهای قطعه بندی اراضی و بافت شهری در آســـیب‌پذیری مسکن از ســـوانح طبیعی، مجموعه مقاالت ســـمینار سیاست‌های توسعه مســـکن در ایران، *سومین کنفرانس سیاست های مسکن در ایران*، صص ۶۷-۵۶.
- رجبی، معصومه، حجازی، میراسدالله، روستایی، شهرام، عالی، نگین، (۱۳۹۷)، پهنه‌بندی آسیب‌پذیری مخاطرات طبیعی و ژئومورفولوژیکی سکونتگاه‌های روستایی شهرستان سقز (مطالعه موردی: سیل و زلزله)، *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی*، سال هفتم، شماره ۲، صص ۱۹۵-۱۸۳.
- روستایی، شهرام، (۱۳۸۹)، پهنه بندی خطر گسل تبریز برای کاربری‌های مختلف اراضی شهری، *فصلنامه جغرافیا و توسعه* شماره ۲۱، صص۴۱-۲۷.
- زارعمند، زهرا، (۱۳۹۸)، مدل‌سازی و پهنه‌بندی خطر زلزله با استفاده از مدل تاپسیس فازی (مورد: شهر کرمانشاه). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی.

- سرور، هوشنگ، کاشانی اصل، امیر، (۱۳۹۵)، ارزیابی آسیب‌پذیری کالبدی شهر اهر در برابر بحران زلزله، *فصلنامه آمایش محیط*، شماره ۳۴، صص ۱۰۸-۸۷.
- شریفی‌کیا، محمد، شایان، سیاوش، امیری، شهرام، (۱۳۹۰)، سنجش آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی ناحیه ولشت از مخاطرات زمینی، *برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، دوره ۱۵، شماره ۱، صص ۱۵۰-۱۲۵.
- صادقی جدیدی، الهام، گلی، علی، هاتف، نادر، (۱۳۹۵)، ارزیابی آسیب‌پذیری مساکن روستایی در برابر زلزله با رویکرد مدیریت بحران در استان فارس، *مجله پژوهش و برنامه‌ریزی روستایی*، سال ۵، شماره ۴، صص ۱۱۸-۱۰۷.
- صادقی، نوشین، بزی، خدارحم، خواجه شاهکوهی، علیرضا، رضایی، حامد، (۱۳۹۴)، تحلیل و برآورد آسیب‌پذیری مساکن شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: شهر گرگان)، مجله آمایش جغرافیا و فضا، *فصلنامه علمی پژوهشی دانشگاه گلستان*، سال هفتم، شماره مسلسل بیست و پنجم، صص ۸۸-۷۳.
- عزیزی، محمد مهدی، اکبری، رضا، (۱۳۸۷)، ملاحظات شهرسازی در سنجش آسیب‌پذیری شهرها از زلزله (مطالعه موردی منطقه فرحزاد تهران)، *نشریه هنرهای زیبا*، شماره۳۴، صص۳۶-۲۵.
- فاضل‌نیا، غریب، حکیم دوست، سیدیاسر و یدالله بلیانی، (۱۳۹۴)، راهنمای جامع مدل‌های کاربردی GIS در برنامه‌ریزی‌های شهری، روستایی و محیطی، انتشارات آزادپیما، چاپ اول.
- فیروزی، افسانه، بابایی اقدم، فریدون، بدلی، احد، (۱۳۹۱)، شناسایی محلات آسیب‌پذیر در برابر زلزله در سکونتگاه‌های غیررسمی مطالعه موردی شهر پارس‌آباد مغان. *دومین کنفرانس ملی مدیریت بحران*.
- قائد رحمتی، صفر، باستانی‌فر، ایمان، سلطانی، لیلا، (۱۳۸۹)، بررسی تأثیرات تراکم بر آسیب‌پذیری ناشی از زلزله در شهر اصفهان (با رویکرد فازی)، *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، سال ۲۲، شماره ۱، صص۱۲۲-۱۰۷.
- کرمی، محمدرضا، امیریان، سهراب، (۱۳۹۷)، پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهری ناشی از زلزله با استفاده از مدل AHP-FUZZY (مطالعه موردی شهر تبریز) *نشریه علمی و پژوهشی برنامه‌ریزی توسعه کالبدی*، سال سوم، شماره۶ (سری جدید) پیاپی۱۰، صص ۱۲۴-۱۱۰.
- گلی مختاری، لیلا، شکاری بادی، علی، بشکنی، زهرا، (۱۳۹۶)، ارزیابی میزان آسیب‌پذیری محدوده شهری کاشان در برابر خطر زلزله با استفاده از مدل IHPW، *مجله مخاطرات محیط طبیعی*، دوره هفتم، شماره ۱۶، صص ۱۲۶-۱۰۵.
- محمدپور، صابر، زالی، نادر، پوراحمد، احمد، (۱۳۹۴)، تحلیل شاخص‌های آسیب‌پذیر در بافت‌های فرسوده شهری با رویکرد مدیریت زلزله (مطالعه موردی: محله سیروس تهران) ، *مجله پژوهش‌های جغرافیای انسانی*، دوره ۴۸، شماره ۱، صص۵۲-۳۳.
- محمدزاده، رحمت، (۱۳۸۵)، بررسی نقش فضاهای باز و شبکه‌ی ارتباطی در کاهش آسیب زمین لرزه (مطالعه موردی: منطقه باغمیشه تبریز)، صفه، دوره ۲۰، شماره ۵۰، صص۱۱۲-۱۰۳.
- مقدم، حسن، (۱۳۸۴)، زلزله بم،۲۷۰۰ سال تاریخ در ۷ ثانیه از دست رفت، *نشریه شهرسازی و معماری هفت شهر*، سال پنجم و ششم، دوره ۱، شماره ۱۸ و ۱۹، صص ۱۵-۳.
- موحد، علی، فیروزی، محمد علی، ایصافی، ایوب، (۱۳۹۱)، بررسی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری در برابر زلزله با استفاده از مدل سلسله مراتبی معکوس در سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهر مسجد سلیمان)، *پژوهش و برنامه ریزی شهری*، سال ۳، شماره ۱۱، صص۱۳۶-۱۱۵.
- وارثی، حمیدرضا، (۱۳۹۱)، بررسی مقاومت ساختمان‌های مسکونی شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: شهر همدان)، *فصلنامه هفت حصار*، شماره اول، سال اول، صص ۶۰-۴۵.

- Alcántara-Ayala, Irasema; Goudie, Andrew. S. (2010). Geomorphological Hazards and Disaster Prevention. Cambridge University Press.
- Carreno, M. L., Cardona, O. D., & Barbat, A. H. (2012). New methodology for urban seismic risk assessment from a holistic perspective. Bulletin of earthquake engineering, 10 (2): 547-565.
- Khamespanah, F., Delavar, M.R., Moradi, M., Sheikhian, H., (2016). A GIS-based multi-criteria evaluation framework for uncertainty reduction in earthquake disaster management using granular computing, Geodesy and Cartography, 42 (2): 58-68.
- Kheirizadeh Arouq, M., Esmaeilpour, M., Sarvar, H. (2020). Vulnerability assessment of cities to earthquake based on the catastrophe theory: a case study of Tabriz city, Iran. Environmental earth Sciences, https://doi.org/10.1007/s12665-020-09103.
- Hyndman, D., and Hyndman. D. (2009). Natural Hazards and Disasters, Second Edition. Brooks/Cole, Cengage Learning.
- Ma, X., Ohno, R. (2012). Examination of Vulnerability of Various Residential Areas in China for Earthquake Disaster Mitigation, Procedia - Social and Behavioral Sciences, 35: 369-377.
- Nath, S. K., Adhikari, M. D., Maiti, S. K., Devaraj, N., Srivastava, N., and Mohapatra, L. D. (2014). Earthquake scenario in West Bengal with emphasis on seismic hazard microzonation of the city of Kolkata, India, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 14: 2549-2575.
- Peng, Y. (2012). Regional earthquake vulnerability assessment using a combination of MCDM methods. *Ann Oper Res*, 234: 95–110. https://doi.org/10.1007/s10479-012-1253-8.
- Rezaie, F. and Panahi, M. (2015). GIS modeling of seismic vulnerability of residential fabrics considering geotechnical, structural, social and physical distance indicators in Tehran using multi-criteria decision-making techniques, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 15: 461–474, https://doi.org/10.5194/nhess-15-461-2015.
- Sanders, M. H., and Clark. P. D. (2010). Geomorphology: Processes, Taxonomy and Applications. Nova Science Publishers, Inc. 216 P.
- Wei, B., Nie, G., Su, G., Sun, L., Bai, X., Qi, W. (2017). Risk assessment of people trapped in earthquake based on km grid: a case study of the 2014 Ludian earthquake, China, Geomatics, Natural Hazards and Risk, 8 (2): 1289-1305.
- Zhang, Y., Lin, Q., Liu,Y., Wang, Y., (2018). The quick assessment model of causalities for Asia based on the vulnerability of earthquake, Natural Hazards and Earth System Sciences, https://doi.org/10.5194/nhess-2018-21.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی