

ارزیابی ضریب آسیب‌پذیری کلان‌شهر تبریز در برابر خطر زلزله و برآورد تلفات انسانی

موسی عابدینی*

دانشیار گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

نادر سرمستی

دانشجوی دکتری گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۸/۸

چکیده

با توجه به رشد جمعیت و افزایش شهرنشینی، وقوع زلزله می‌تواند تلفات سنگینی را ایجاد نموده و توسعه شهرها را دچار وقفه نماید. هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی ضریب آسیب‌پذیری کلان‌شهر تبریز در برابر زلزله با به‌کارگیری مدل همپوشانی وزنی و استفاده از معیارهای طبیعی و انسانی است. همچنین با استفاده از امکانات تحلیلی GIS و ارائه سناریوی زلزله در میانگین شدت، به ارزیابی آسیب وارده به ساختمان‌ها و تلفات انسانی در برابر زلزله پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهد کلان‌شهر تبریز از نظر خطر زلزله وضعیت مطلوبی نداشته و بیش‌تر قسمت‌های پرتراکم شهری به‌خصوص قسمت‌های شمالی و مرکزی شهر در پهنه‌های آسیب‌پذیری با خطر بسیار بالا و بالا قرار دارند. با فرض وقوع زلزله مطابق سناریوی فعالیت لرزه‌ای گسل تبریز، از کل جمعیت ۱۶۰۵۸۸۴ نفری کلان‌شهر تبریز (سرشماری سال ۱۳۹۰) به تعداد تقریبی ۱۲۵۲۵۸۹ نفر تلفات شب‌هنگام شامل ۶۵۸۴۱۲ نفر مردگان و ۵۹۴۱۷۷ نفر مجروحین در شرایط تخریبی کامل ساختمان‌ها برآورد شد. بر اساس نتایج، به تعداد تقریبی ۶۲۶۲۹۴ نفر تلفات روز هنگام شامل ۳۲۹۲۰۶ نفر مردگان و ۲۹۷۰۸۸ نفر مجروحین برآورد شد.

واژگان کلیدی: آسیب‌پذیری، زلزله، تلفات انسانی، کلان‌شهر تبریز، GIS.

مقدمه

به علت ذخیره شدن مقادیر زیادی انرژی در درون زمین و با توجه به نظریه جابه‌جایی قاره‌ها، تغییرات عمده‌ای در قسمت‌های سطحی زمین رخ می‌دهد که زلزله یکی از این تغییرات است. به‌عبارت‌دیگر، زلزله پدیده انتشار امواج در زمین به علت آزاد شدن مقدار زیادی انرژی ناشی از اغتشاش سریع در پوسته زمین می‌باشد (لطفی و همکاران، ۱۳۹۱، ۲). جابه‌جایی صفحه‌ها نسبت به یکدیگر و یا ایجاد شکستگی جدید در یک منطقه می‌تواند زلزله‌ای ایجاد کند که بسته به میزان انرژی آزادشده، از قدرت تخریب متغیری برخوردار است (یزدانفر، ۱۳۹۳، ۱۳۳). اغلب آثار زیان‌بار ناشی از زلزله‌ها در این است که الگوهای شهری روی پهنه‌های گسلی توسعه یافته‌اند. شکل‌گیری مناطق شهری همراه با دخالت‌های

نسنجیده انسانی در حریم گسل موجب شده است تا بر اثر وقوع زلزله، فاجعه انسانی به وجود آید (آلوک^۱ و همکاران، ۲۰۱۳، ۶۳۵). در این میان تکنیک GIS نقش برجسته‌ای را ایفا می‌کند، چرا که مدیریت ریسک لرزه‌ای بر پایه پیاده‌سازی مدل‌های محاسباتی و تولید نقشه‌های خطرپذیری لرزه‌ای امکان‌پذیر است (منصوری، ۲۰۰۸، ۱). کشور ایران از جمله مناطق حادثه‌خیز است که در آن مکان‌گزینی اکثر شهرها بدون توجه به وضعیت لرزه‌خیزی محیط صورت گرفته است. در پهنه‌بندی نسبی خطر زلزله، کلان‌شهر تبریز در جایگاه پهنه‌بندی با خطر نسبی بسیار بالا قرار دارد. گسل تبریز در مجاورت بلافاصل شهر قرار گرفته و در مناطقی نیز شهر در امتداد این گسل بنا شده است (عابدینی و مقیمی، ۱۳۹۱، ۱۵۰).

در مورد ضریب آسیب‌پذیری و پهنه‌بندی خطر زلزله پژوهش‌های فراوانی انجام گرفته است که از نظر روش‌شناسی و فرایند انجام کار تقریباً باهم متفاوت بوده‌اند. احد نژاد روشی و همکاران (۱۳۸۹)، آسیب‌پذیری ساختمانی شهر زنجان را در برابر زلزله با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی در محیط GIS مدل‌سازی کردند. نتایج حاصله از این پژوهش نشان داده است که منطقه ۳ شهر زنجان و بناهای واقع شده در آن به دلیل فرسودگی بافت و استفاده از مصالح کم‌دوام در ساخت‌وساز و نیز عمر بالای ساختمان‌ها از آسیب‌پذیری بسیار بالایی برخوردار بوده و منطقه ۲، به دلیل رعایت استانداردها و استفاده از مصالح مقاوم در ساخت‌وسازها از آسیب‌پذیری نسبتاً کم‌تری در مقایسه با دو منطقه دیگر برخوردار است. ملکی و مودت (۱۳۹۲)، طیف آسیب‌پذیری لرزه‌ای در شهر یزد بر اساس سناریوهای شدت مختلف با استفاده از مدل‌های μID، TOPSIS و GIS را ارزیابی نمودند. نتایج نشان داده است اگر میزان شدت زلزله بیش‌تر از ۷ ریشتر باشد، بیش از ۵۰ درصد ساختمان‌های منطقه دو در معرض آسیب زلزله قرار دارند. اسفندیاری و همکاران (۱۳۹۳)، توان لرزه‌زایی گسل‌ها و برآورد تلفات انسانی ناشی از زمین‌لرزه در شهر اردبیل را بررسی کردند. بر اساس نتایج معلوم شده است در حدود ۷۴۹۴۵ نفر از ساکنان کل جمعیت اردبیل کشته خواهند شد. منصوری و همکاران (۲۰۰۸)، تلفات انسانی شهر تهران ناشی از لرزه‌زایی گسل را با تکنیک GIS برآورد نمودند. این پژوهش، متدولوژی بر اساس GIS را در مدل‌سازی و توزیع فضایی تلفات انسانی ارائه داده است. این متدولوژی دارای چهار مرحله است: فرضیه مخاطره لرزه‌زایی به‌عنوان ورودی، طراحی سناریوی زلزله احتمالی برای ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان، برآورد تلفات انسانی و در نهایت ارائه خروجی نتایج با GIS. هاشمی و همکاران (۲۰۱۱)، آسیب زلزله با استفاده از مطالعات مبتنی بر GIS در شهر تهران را ارزیابی نمودند. نتایج بیان‌گر آسیب وارده به ساختمان برابر ۶۴ درصد مجموع ساختمان‌های موجود، تعداد کشته‌ها برابر ۳۳ درصد کل جمعیت، تعداد مجروحین ۲۷ درصد مجموع ساکنین است.

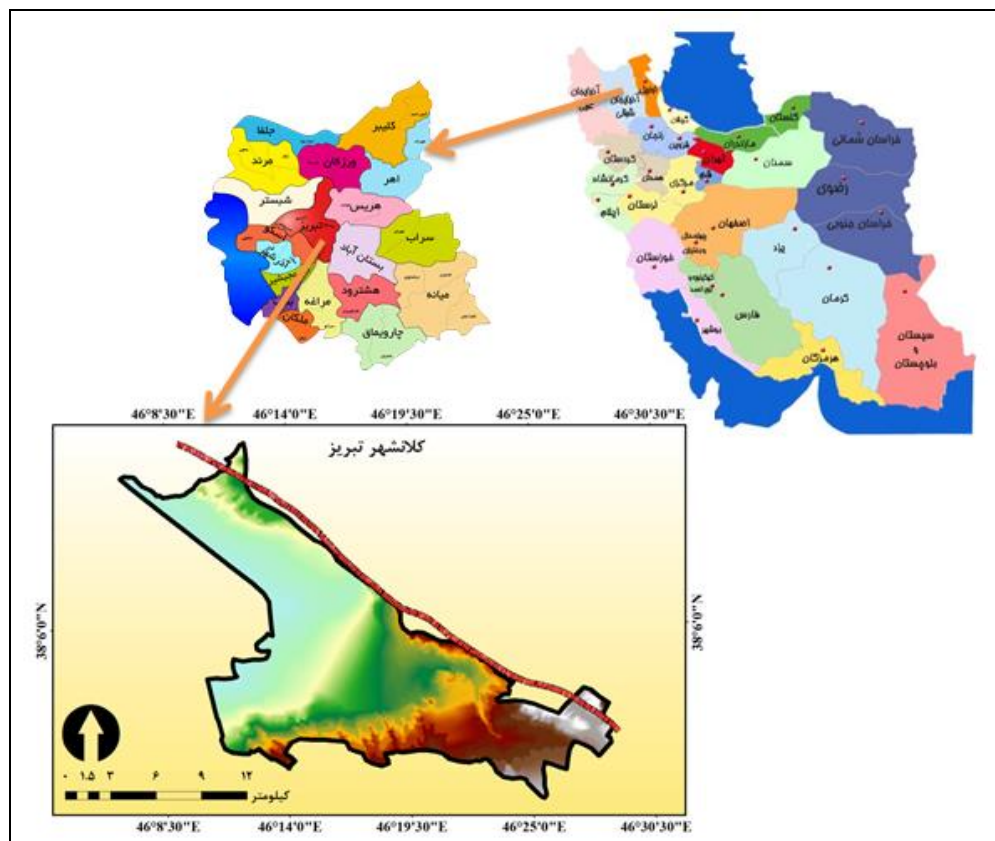
قرارگیری کلان‌شهر تبریز در حوزه نزدیک گسل مهم و لرزه‌خیز ناحیه که سابقه زمین‌لرزه‌های ویرانگر را در تاریخچه فعالیت خود دارا می‌باشد، ضرورت تحلیل ریسک لرزه‌زایی و تلفات انسانی منطقه مورد مطالعه را بیان می‌کند. با توجه به

¹ Alok

پتانسیل لرزه‌خیزی کلان‌شهر تبریز، مهم‌ترین اهداف این پژوهش پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهر در برابر خطر زلزله و برآورد تلفات انسانی است.

منطقه مورد مطالعه

در پژوهش حاضر، محدوده مورد مطالعه کل محدوده کلان‌شهر تبریز است. کلان‌شهر تبریز مرکز استان آذربایجان شرقی در ۶۳۶ کیلومتری غرب تهران، ۱۳۵ کیلومتر جنوب جلفا و ۵۰ کیلومتری شمال کوهستان سه‌سند واقع شده است. این شهر از لحاظ موقعیت جغرافیایی بین $38^{\circ} 1' 31''$ تا $38^{\circ} 9' 50''$ عرض شمالی و $46^{\circ} 11' 11''$ تا $46^{\circ} 23' 46''$ طول شرقی با ارتفاع متوسط ۱۳۵۱ متر از سطح دریا در جلگه‌ای به نام جلگه تبریز واقع شده است و مساحت تقریبی آن ۶۲۵ کیلومتر مربع می‌باشد. سراسر شمال تبریز را ارتفاعات عون‌بن‌علی، یکه‌چین، بهلول و بابا باغی، قسمت جنوبی را کوه سه‌سند و بخش خاوری را ارتفاع‌های بیلان کوه فرا گرفته است. رودخانه‌های مهم کلان‌شهر تبریز، رودخانه آجی‌چای و مهران‌رود می‌باشد. آجی‌چای از شمال شهر در میان تنگه کوهستانی عینالی جریان دارد و رودخانه مهران‌رود از وسط شهر می‌گذرد. این رود در حوالی فرودگاه تبریز به همدیگر پیوسته و به سمت دریاچه ارومیه جریان می‌یابد. بنابراین می‌توان تبریز را بخشی از حوضه آبریز دریاچه ارومیه محسوب کرد. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

روش پژوهش

در این پژوهش، علاوه بر استفاده از کتب و منابع نوشتاری، از داده‌های متنوع دیگری نیز استفاده شده است که در زیر به آن‌ها اشاره می‌شود:

- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی تبریز؛
 - مدل رقومی ارتفاع (DEM)^۲ با قدرت تفکیک ۲۰ متری؛
 - نقشه توزیع فضایی کاربری اراضی تبریز؛
 - آمار و نقشه توزیع فضایی جمعیت شهر تبریز؛
 - نقشه‌های توزیع فضایی ویژگی سازه‌های شهر تبریز؛
 - نرم‌افزار ArcGIS 10.3 در فازهای مربوط به ورود، ذخیره و مدیریت، پردازش و تحلیل داده‌ها.
- در پژوهش حاضر، فرایند پژوهش در یک نظام به هم پیوسته از گام‌های متوالی دنبال می‌شود:

الف. ارزیابی ضریب آسیب‌پذیری کلی شهر در برابر خطر زلزله: در این پژوهش، مجموعه‌ای از معیارهای طبیعی و انسانی را طبق نظرهای کارشناسان مختلف انتخاب کرده و سعی بر آن بود تا با تحلیل چند معیاره، برآورد مناسبی از آسیب‌پذیری کلان‌شهر تبریز در برابر خطر زلزله ارائه شود. وجه تمایز پژوهش حاضر نسبت به سایر مطالعات انجام‌شده در این زمینه، استفاده از معیارهای طبیعی و انسانی در ارتباط باهم است. ابتدا با بررسی پژوهش‌های پیشین و استفاده از نظرهای متخصصان در این زمینه، معیارهای مؤثر آسیب‌پذیری شهر در برابر زلزله شناسایی شد. در نهایت ۹ معیار انتخاب شدند که هر معیار نیز به زیر معیار مربوطه تقسیم شد. در مرحله بعد، لایه‌های اطلاعاتی مربوط به معیارهای منتخب در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.3 استاندارد شدند. برای وزن دهی نقشه‌های استانداردشده، وزن معیارها بین ۱ تا ۱۰۰ بر اساس نظرهای کارشناسان مختلف طی پرسشنامه‌ای تعیین شد. در نهایت باهمپوشانی لایه‌ها با استفاده از مدل همپوشانی وزنی^۳ بر اساس وزن نهایی معیارها، ضریب آسیب‌پذیری کلان‌شهر تبریز در برابر خطر زلزله مدل‌سازی و ارزیابی شد.

ب. محاسبه توان لرزه زایی گسل: برای تعیین لرزه‌خیزی در یک منطقه باید مخاطره‌آمیزی گسل‌ها از نظر توان لرزه زایی مورد بررسی قرار گیرد. توان لرزه زایی گسل تبریز با مدل‌های تجربی نوروژی و اشجعی، نوروژی و زارع تعیین گردیده و میانگین آن به‌عنوان مبنای ارزیابی در نظر گرفته شد.

پ. طراحی سناریوی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر در برابر میانگین شدت زلزله: نقشه حاصل از مدل همپوشانی وزنی و ارزیابی چندمعیاره، صرفاً نشان‌دهنده ضریب آسیب‌پذیری کلی شهر با معیارهای مورد استفاده است. برای ارزیابی

² Digital Elevation Model

³ Weighted Overlay Model

آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر لازم است، به طراحی سناریوی زلزله پرداخت و در نهایت ارزیابی نسبتاً دقیقی از میزان آسیب وارده به ساختمان‌ها و تلفات انسانی میسر شود.

ت. برآورد تلفات انسانی در سناریوی لرزه‌خیزی شهر: ارزیابی قابل اعتماد تلفات انسانی ناشی از زلزله با توجه به فقدان جدی داده‌های مورد نیاز تقریباً مشکل است. بنابراین در این پژوهش، برای برآورد تعداد تلفات انسانی منطقه مورد مطالعه به کمک توابع تحلیلی نرم‌افزار ArcGIS 10.3، تعداد تلفات مورد انتظار در سناریوی لرزه‌خیزی کلان‌شهر تبریز به تفکیک شب‌هنگام و روز هنگام برآورد گردید.

ث. بررسی‌های صحرایی: به‌منظور تطبیق نتایج حاصل از روش‌های اشاره‌شده در بالا با مشاهدات میدانی، نقاط مهم و حساس که امکان دسترسی به اطلاعات مفید در آن‌ها بیش‌تر بود؛ به کمک سایر داده‌های مورد استفاده انتخاب شدند و مطالعات صحرایی در بخش‌هایی از منطقه مورد مطالعه انجام گرفت.

بحث

ارزیابی ضریب آسیب‌پذیری شهر در برابر خطر زلزله

الف. انتخاب معیارهای ارزیابی

در این پژوهش، ابتدا با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای اعم از مطالعه متون مرتبط با موضوع، بررسی پژوهش‌های پیشین و استفاده از نظرهای متخصصان در این زمینه معیارهای مؤثر در آسیب‌پذیری شهر در برابر زلزله شناسایی شد. با توجه به دید جامع و سیستمی این پژوهش نسبت به مقوله زلزله، مجموعه‌ای از معیارهای طبیعی و انسانی را طبق نظرهای کارشناسان مختلف انتخاب کرده و سعی بر آن بود تا با تحلیل چندمعیاره، برآورد مناسبی از آسیب‌پذیری کلان‌شهر تبریز در برابر خطر زلزله ارائه شود. وجه تمایز پژوهش حاضر نسبت به سایر مطالعات انجام‌شده در این زمینه، استفاده از معیارهای طبیعی و انسانی در ارتباط باهم است. ابتدا با بررسی پژوهش‌های پیشین و استفاده از نظرهای متخصصان در این زمینه، معیارهای مؤثر آسیب‌پذیری شهر در برابر زلزله شناسایی شد. در نهایت ۹ معیار انتخاب شدند که هر معیار نیز به زیر معیار مربوطه تقسیم شد. جدول (۱) لیست معیارهای طبیعی و جدول (۲) لیست معیارهای انسانی را همراه با طبقه‌بندی آن‌ها نشان می‌دهد.

جدول ۱: لیست معیارها و زیرمعیارهای محیطی

درجه آسیب‌پذیری						
معیارها	زیر معیار	بسیار بالا	بالا	متوسط	پایین	نسبتاً پایین
فاصله از گسل (زارع، ۱۳۸۰، ۴۶)	۲۰۰۰ متر	✓				
	۴۰۰۰ متر		✓			
	۵۰۰۰ متر			✓		
	۶۰۰۰ متر				✓	
	بیش‌تر از ۶۰۰۰ متر					✓
سازندهای زمین‌شناسی (روستایی، ۱۳۹۰، ۳۱)	آبرفت عهد حاضر	✓				
	پادگانه‌ی آبرفتی		✓			
	مارن سبز و خاکستری			✓		
	ماسه‌سنگ و مارن				✓	
شیب (عابدینی، ۱۳۹۲، ۵۶)	کنگولمرای نیمه‌سخت					✓
	۳-۰ درصد					✓
	۳-۶ درصد				✓	
	۶-۹ درصد			✓		
	۹-۱۵ درصد		✓			
	۱۵ درصد به بالا	✓				

جدول ۲: لیست معیارها و زیرمعیارهای انسانی

درجه آسیب‌پذیری						
معیار	زیر معیار	بسیار بالا	بالا	متوسط	پایین	نسبتاً پایین
تراکم جمعیتی (نفر در هکتار)	۷۵-۱					✓
	۱۵۰-۷۶				✓	
	۲۲۵-۱۵۱			✓		
	۳۰۰-۲۲۶		✓			
	بیشتر از ۳۰۱	✓				
تراکم ساختمانی (%)	۱۰۰-۰	✓				
	۲۰۰-۱۰۰		✓			
	۳۰۰-۲۰۰			✓		
	۴۰۰-۳۰۰				✓	
کیفیت ابنیه	بیشتر از ۴۰۰					✓
	بافت فرسوده	✓				
	مرمتی		✓			
	قابل نگهداری			✓		
	نوساز				✓	
اندازه قطعات (مترمربع)	فاقد بنا					✓
	۵۰۰-۲۰۰				✓	
	۲۰۰-۱۰۰			✓		
	۱۰۰-۷۵		✓			
	زیر ۷۵	✓				
	کاربری‌های خطرزا	✓				

			✓		مسکونی	کاربری اراضی
		✓			تجاری- خدماتی و ...	
	✓				بایر و فضای سبز	
✓					نظامی	تعداد طبقات ساختمان
✓					یک تا دو طبقه	
	✓				سه تا چهار طبقه	
		✓			پنج تا شش طبقه	
			✓		هفت تا چهارده طبقه	
				✓	بیشتر از چهارده طبقه	

منبع: قنبری و همکاران، ۱۳۹۲، ۲۷

ب. تولید نقشه‌های معیار

در این مرحله از فرایند پژوهش، ابتدا محدوده حریم گسل با استفاده از تابع بافر^۴ در محیط نرم‌افزار ArcGIS10.3 ترسیم شد. سپس بخش مشترک بین نقشه حریم گسل با نقشه‌های زمین‌شناسی، شیب، کاربری اراضی شهری و بلوک‌های آماری جمعیت با استفاده از تابع همپوشانی اشتراک^۵ به صورت نقشه‌ای جدید همراه با پایگاه اطلاعاتی تهیه شد. در مراحل بعدی، نقشه معیارها با استفاده از دستور تبدیل پلی‌گون به رستر^۶ بر اساس فیلدهای اطلاعاتی جدول توصیفی نقشه جدید استخراج شدند.

پ. استانداردسازی و ارزش‌گذاری نقشه‌های معیار

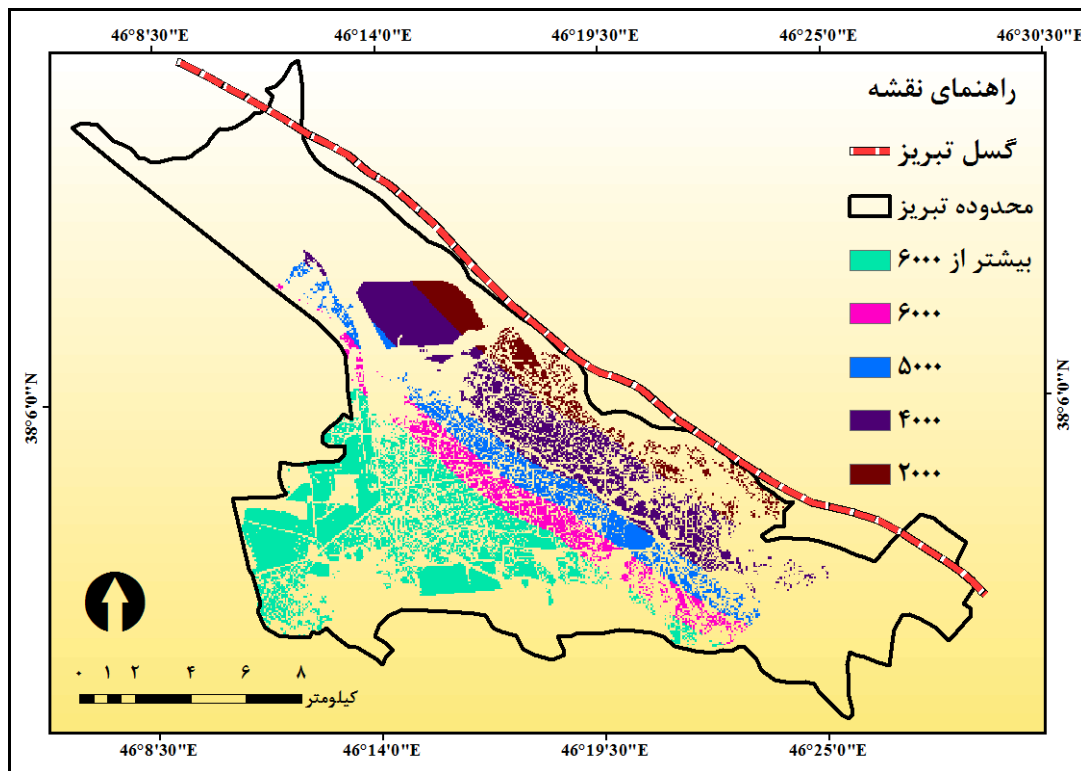
در پژوهش حاضر، نقشه معیارها بر اساس جداول (۱ و ۲) به پنج طبقه از کم‌ترین به بیش‌ترین درجه آسیب‌پذیری (۱ تا ۵) اولویت‌بندی^۷ و استاندارد شدند (شکل‌های ۲ تا ۱۰).

⁴ Buffer

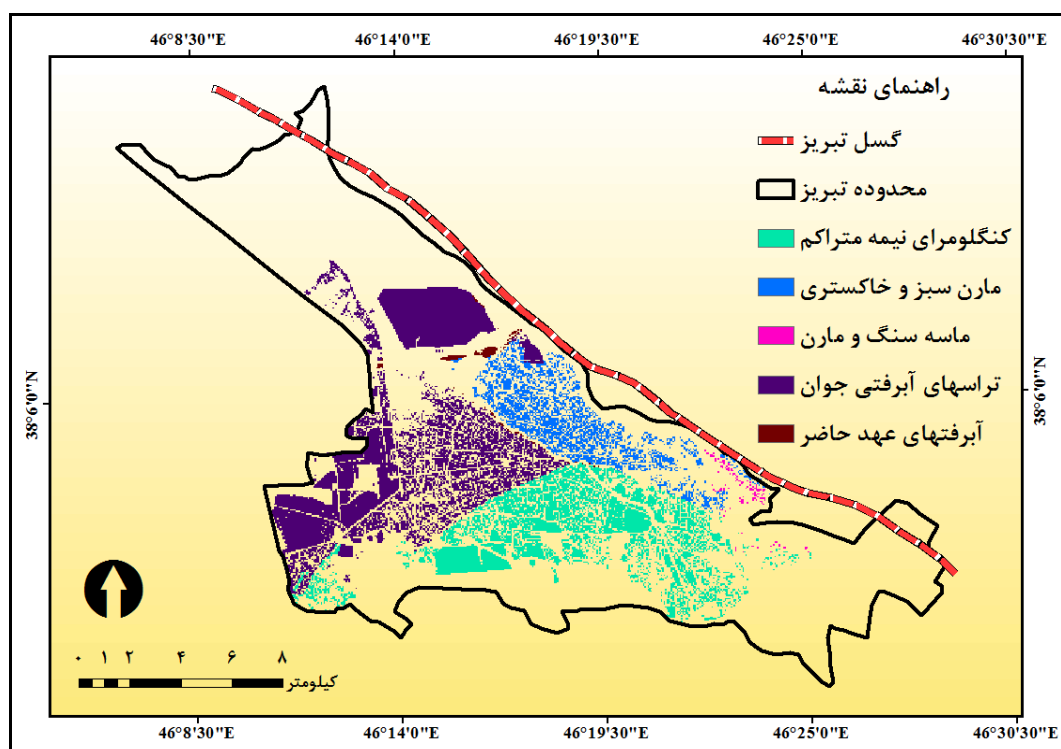
⁵ Intersect

⁶ Polygon to Raster

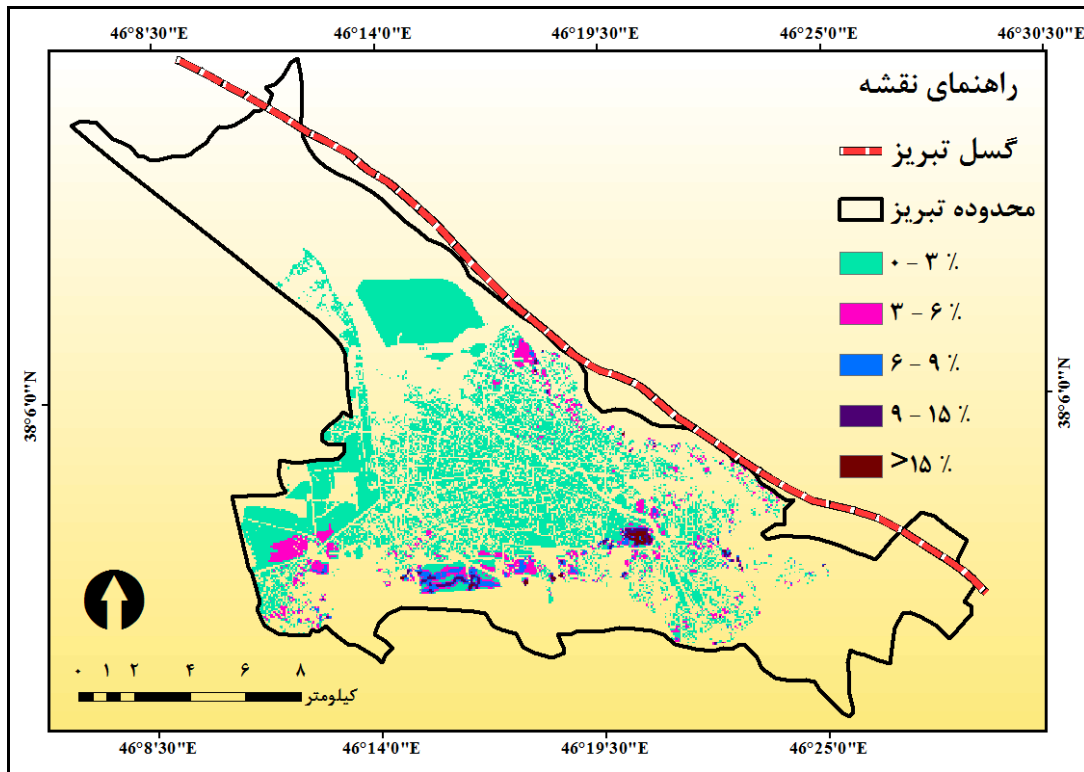
⁷ Reclassify



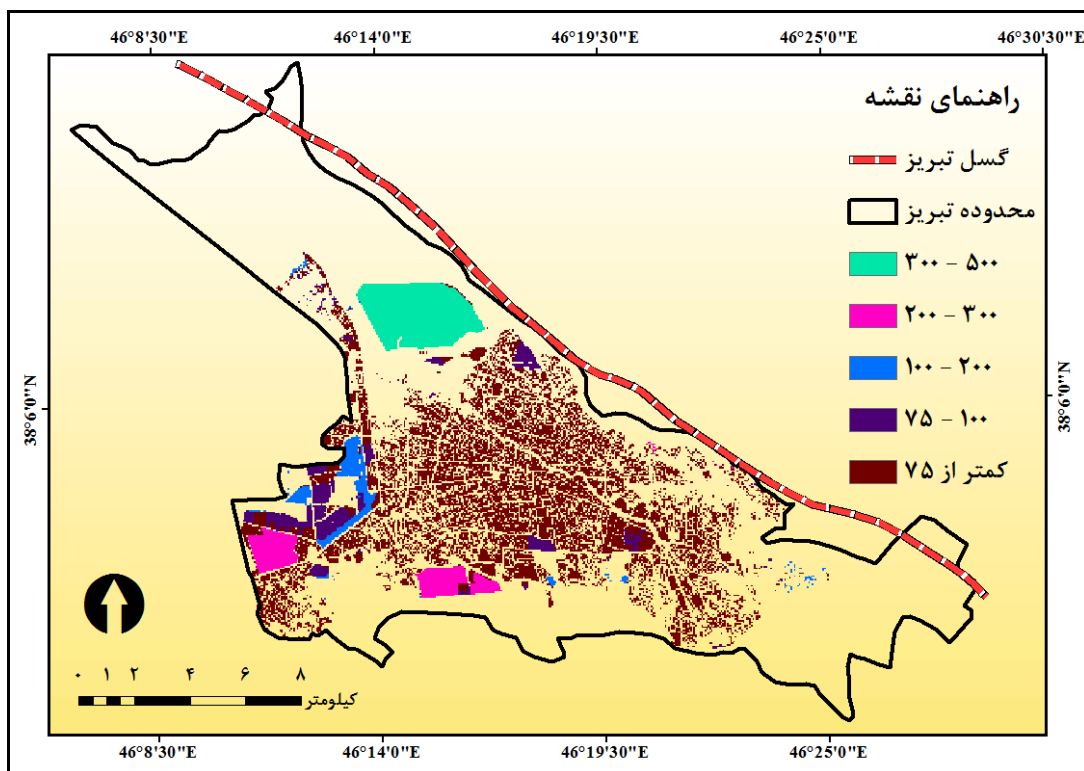
شکل ۲: نقشه فاصله از گسل کلان‌شهر تبریز (منبع: نگارندگان)



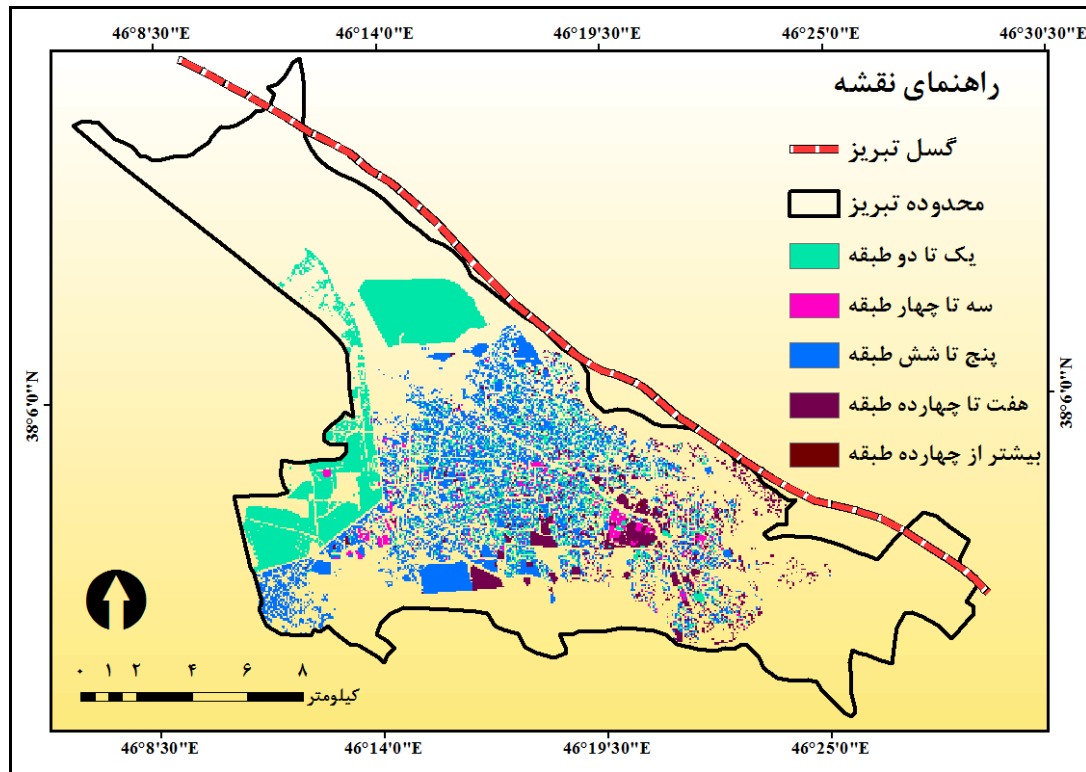
شکل ۳: نقشه سازندهای زمین‌شناسی کلان‌شهر تبریز (منبع: نگارندگان)



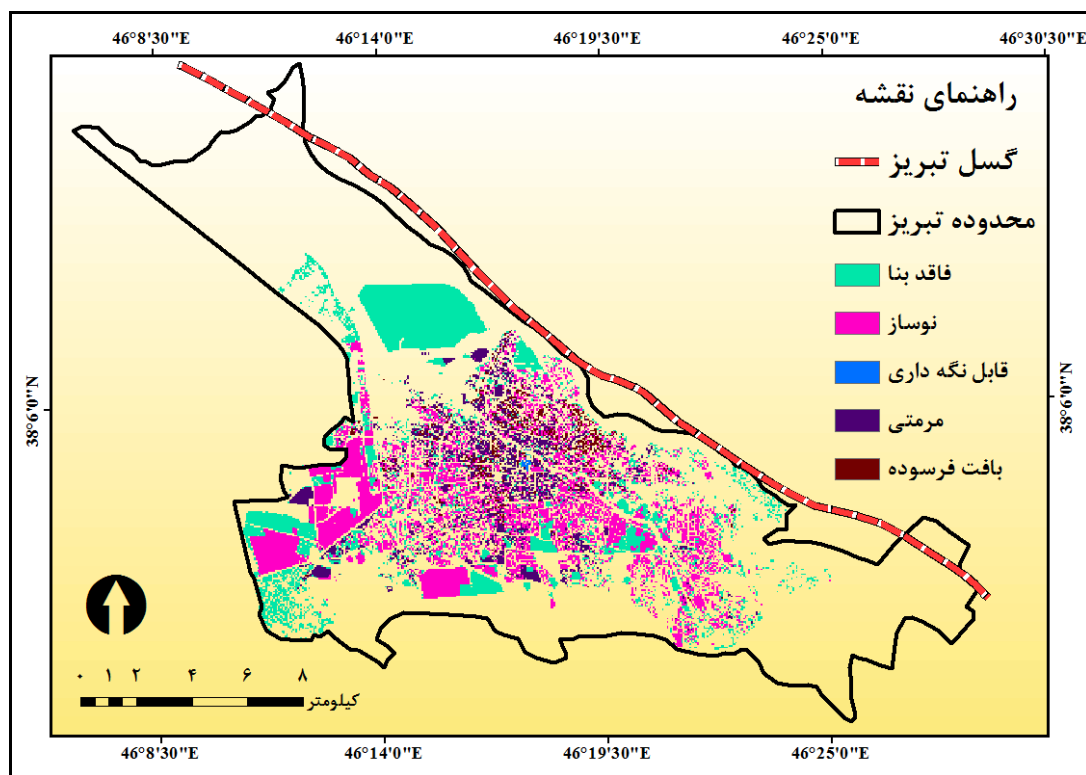
شکل ۴: نقشه شیب اراضی کلان شهر تبریز (منبع: نگارندگان)



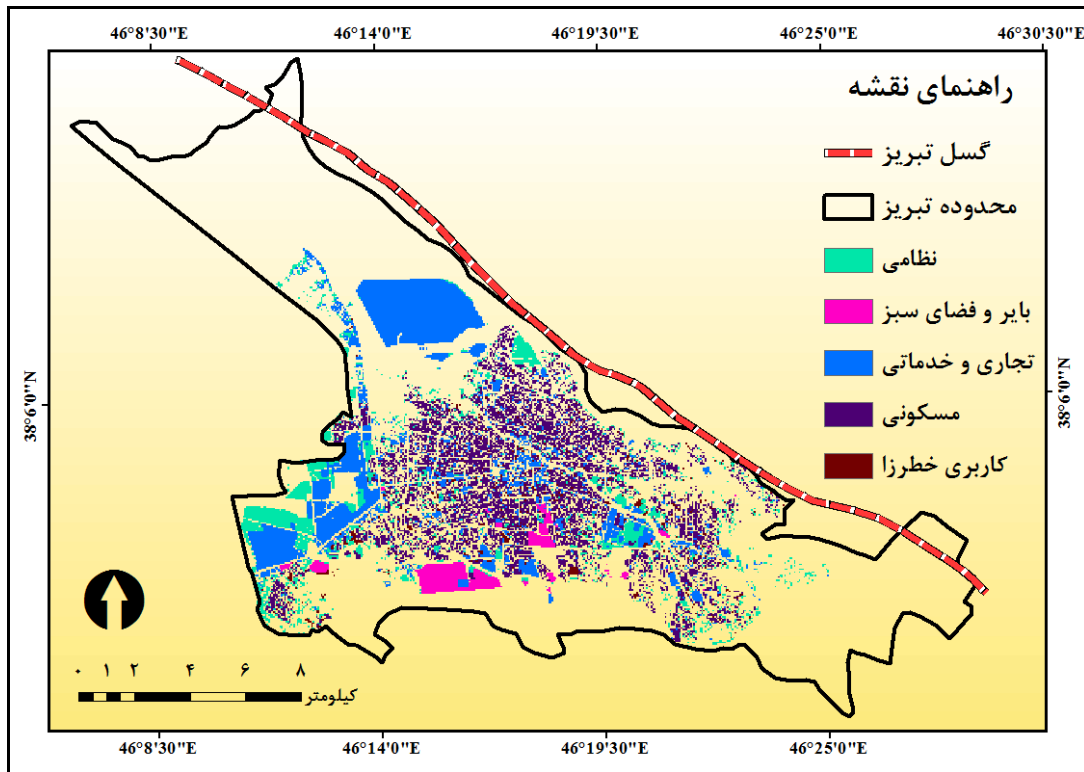
شکل ۵: نقشه مساحت اراضی کلان شهر تبریز (منبع: نگارندگان)



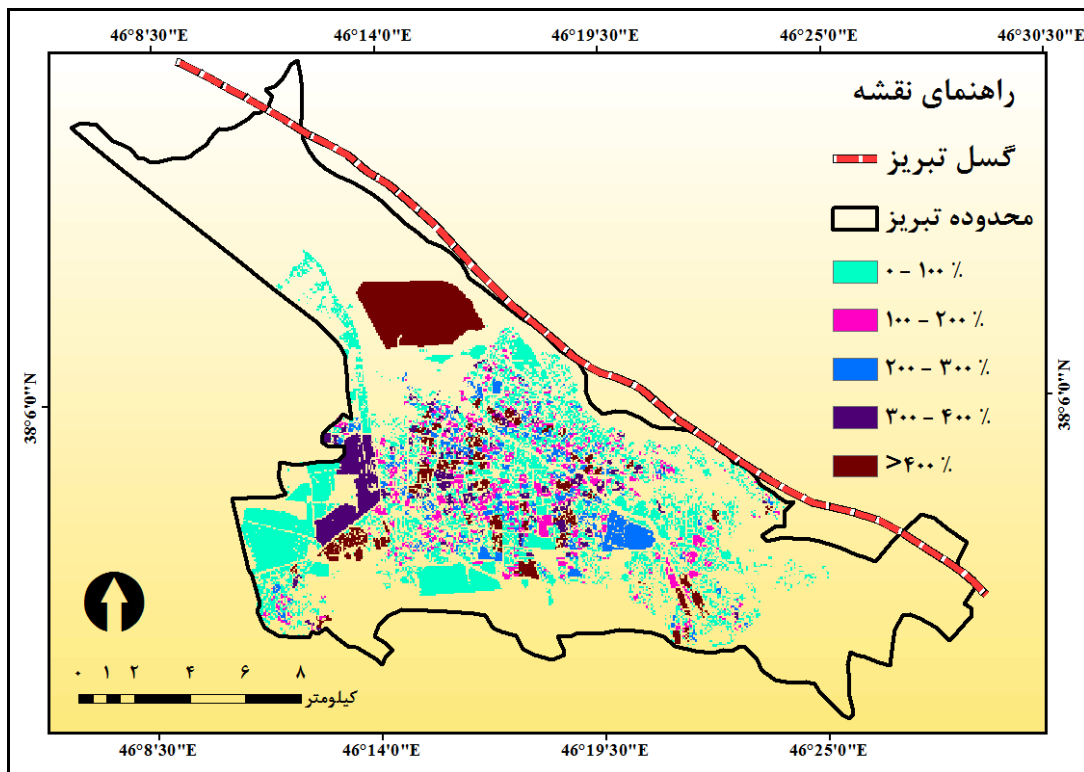
شکل ۶: نقشه تعداد طبقات ساختمان‌های کلان‌شهر تبریز (منبع: نگارندگان)



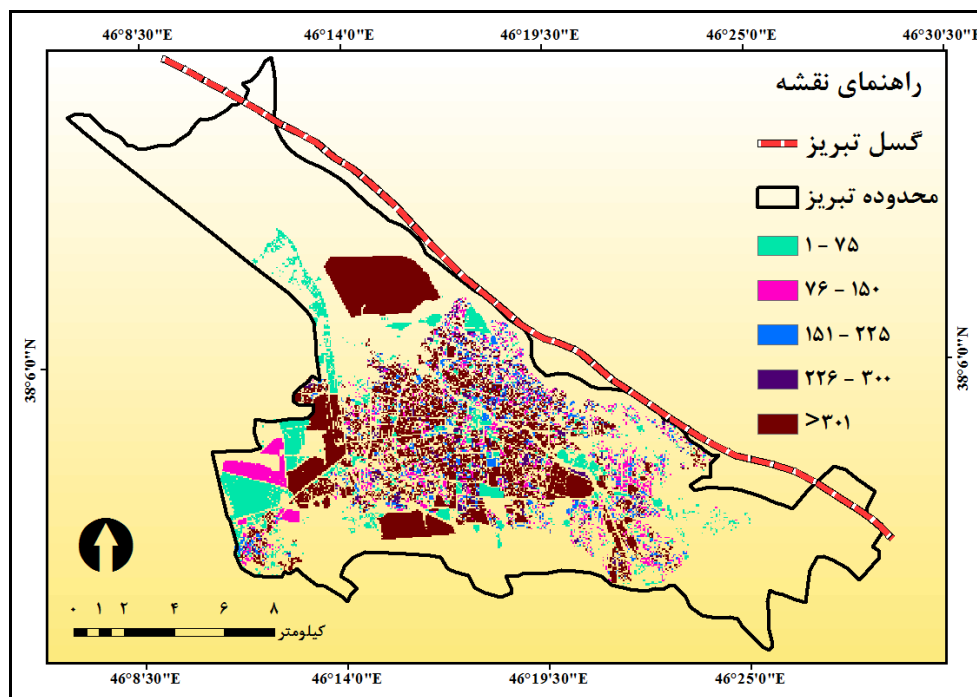
شکل ۷: نقشه کیفیت ابنیه کلان‌شهر تبریز (منبع: نگارندگان)



شکل ۸: نقشه کاربری اراضی کلان شهر تبریز (منبع: نگارندگان)



شکل ۹: نقشه تراکم ساختمان های کلان شهر تبریز (منبع: نگارندگان)



شکل ۱۰: نقشه توزیع جمعیت کلان‌شهر تبریز (منبع: نگارندگان)

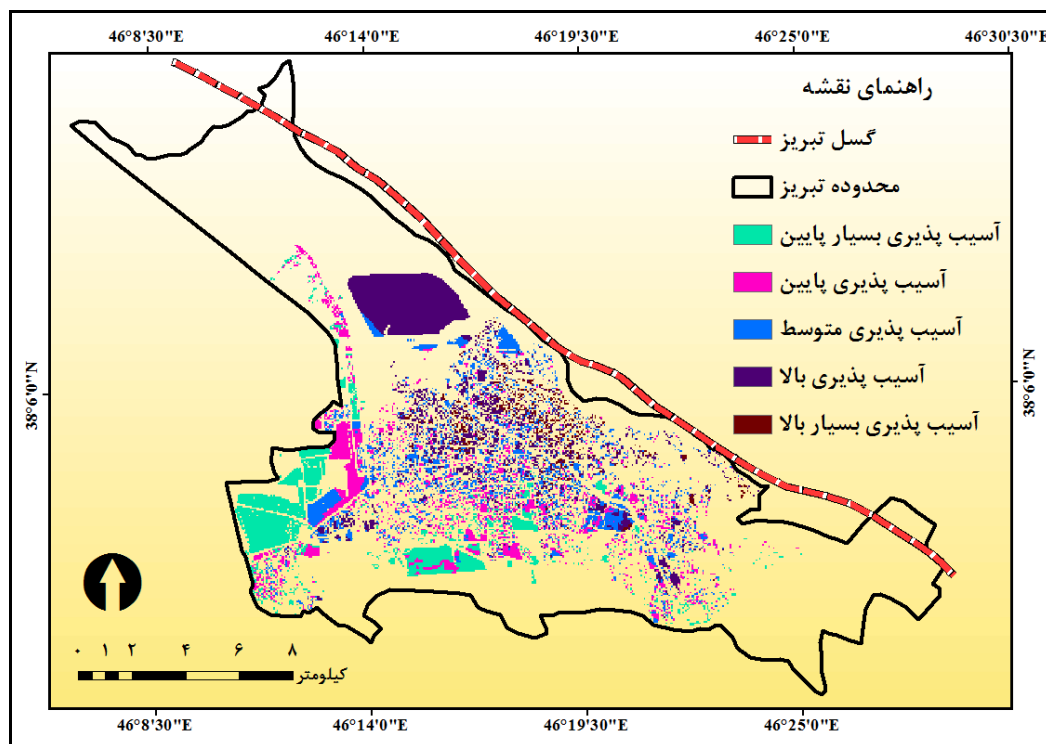
ت. وزن‌دهی نقشه‌های معیار

در این مرحله باید معیارهای انتخاب‌شده در قسمت فوق امتیازدهی شوند، زیرا همه عوامل در یک درجه از اهمیت نیستند. بدین منظور در این پژوهش برای وزن‌دهی نقشه‌های استانداردشده، وزن معیارها بین ۱ تا ۱۰۰ بر اساس نظرهای کارشناسان مختلف طی پرسش‌نامه‌ای تعیین شد که امتیاز نهایی آن در جدول (۳) آورده شده است. نتایج حاکی از امتیاز بالا برای عوامل محیطی است که در این میان، فاصله از گسل بیش‌ترین اهمیت و امتیاز را دارد. کیفیت ابنیه و تراکم جمعیت نیز در بین عوامل انسانی به‌عنوان مهم‌ترین عوامل انتخاب شدند. در نهایت با تلفیق و همپوشانی لایه‌ها با استفاده از مدل همپوشانی وزنی بر اساس وزن نهایی معیارها، ضریب آسیب‌پذیری کلی کلان‌شهر تبریز در برابر خطر زلزله مدل‌سازی شد (شکل ۱۱).

جدول ۳: وزن نهایی معیارها

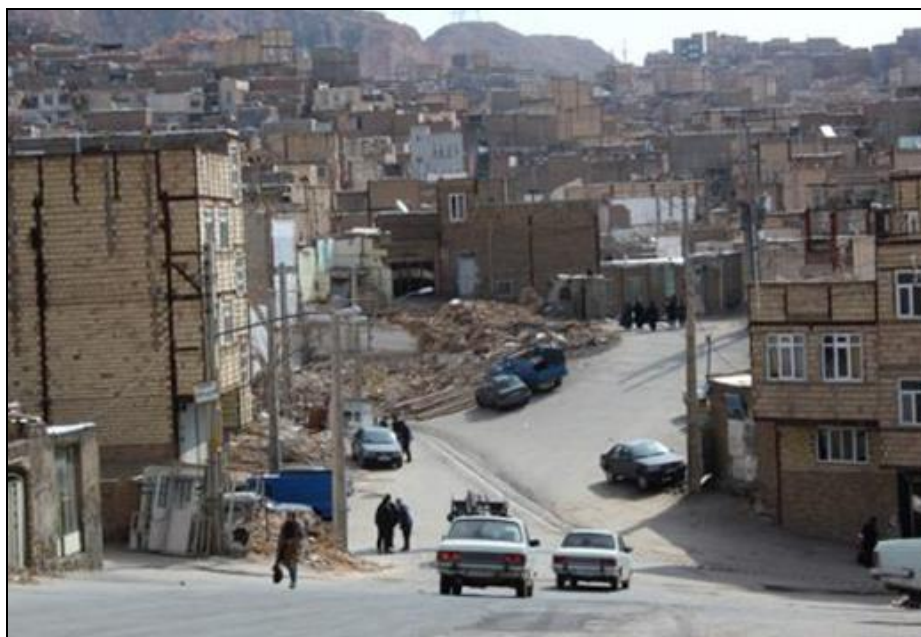
وزن معیارها	معیار	ردیف
۱۹/۸	فاصله از گسل	۱
۱۲/۶	سازند زمین‌شناسی	۲
۷/۸	شیب	۳
۱۱/۵	تراکم جمعیت	۴
۶/۹	تراکم ساختمانی	۵
۱۷/۷	کیفیت ابنیه	۶
۵/۵	اندازه‌ی قطعات کاربری اراضی	۷
۶/۴	نوع کاربری اراضی	۸
۷/۹	تعداد طبقات ساختمان‌ها	۹

منبع: نگارندگان



شکل ۱۱: نقشه ضریب آسیب پذیری کلان شهر تبریز در برابر خطر زلزله (منبع: نگارندگان)

بر اساس نتایج، کلان شهر تبریز از نظر خطر زلزله وضعیت مطلوبی نداشته و بیش تر قسمت های پرتراکم شهری به خصوص قسمت های شمالی و مرکزی شهر در پهنه های پرخطر قرار دارند. با فاصله گرفتن از خط گسل تبریز به تدریج از میزان آسیب پذیری کاسته می شود. قسمت اعظم بخش شمالی، محلات حاشیه نشین با بافت فرسوده شهر هستند که این مناطق هم از نظر فاصله از گسل و شیب تند و هم از نظر تراکم ساختمانی و جمعیتی، وضعیت بسیار نامطلوبی دارند. تراکم های ساختمانی زیاد و جمعیتی، کوچه های تنگ و باریک، نبود فضاهای سبز و دوری از مراکز درمانی از ویژگی های این محلات است (شکل ۱۲). نکته قابل توجه در مورد کلان شهر تبریز، تراکم ساختمانی بسیار بالا و ساختمان های بیش از ۱۵ طبقه، توسعه سریع ساخت و ساز و اسکان جمعیت، رشد برج سازی و کمبود فضاهای باز است (شکل ۱۳).



شکل ۱۲: بخش حاشیه‌نشین کلان‌شهر تبریز در محدوده پرخاطر گسل (دید از جنوب)



شکل ۱۳: ساخت‌وساز در زون گسلی کلان‌شهر تبریز (دید از جنوب‌شرق)

ساخت‌وسازهایی که بر روی سطوح شیب‌دار دامنه‌ها بنا شده‌اند، به مراتب از بناهای سطوح کم‌شیب ریسک‌پذیرند. سازندهای زمین‌شناسی میوسن تا آبرفت‌ها و مواد تخریبی عهد حاضر در شمال تا جنوب‌شرق تبریز قابل مشاهده است. با در نظر گرفتن موارد مذکور می‌توان گفت که قرارگیری بخش اعظمی از کلان‌شهر تبریز شرایط بسیار مساعدی را برای تشدید امواج زلزله فراهم ساخته است. با توجه به قدمت تاریخی کلان‌شهر تبریز و تجربه زلزله‌های تاریخی متعدد، این شهر در دهه‌های اخیر شتاب‌زده در حال توسعه است و اکثراً توسعه فیزیکی شهر به سمت شمال (پیرامون گسل تبریز در پای کوه‌های ارتفاعات شمالی) هدایت می‌شود. در سال‌های اخیر احداث ساختمان‌های بلند و برج‌ها در پهنه گسلی، ثبات این منطقه را بیش از گذشته برهم زده و خطر گسیختگی و لرزش را دو چندان کرده است.

ارزیابی توان لرزه زایی گسل تبریز

روش بزرگا- طول گسل یکی از معتبرترین متدها در محاسبه توان لرزه زایی گسل می‌باشد (حسین پور و همکاران، ۱۳۸۶، ۷۹). برخی روابط کمی تعیین توان لرزه زایی گسل‌ها عبارت‌اند از:

الف) رابطه نوروزی و مهاجر اشجعی (۱۹۷۸):

$$M_s = 5.4 + \text{Log}_L \quad (۱) \text{ رابطه}$$

که M_s بزرگی زمین‌لرزه در مقیاس ریشتر و L نیمی از طول گسل برحسب کیلومتر است (سادات ریاضی راد، ۱۳۸۸، ۸۱).

ب) رابطه نوروزی (۱۹۸۵):

$$M_s = 1.259 + 1.244 \text{Log}_L \quad (۲) \text{ رابطه}$$

که L نیمی از طول گسل برحسب متر است (حسن‌زاده و همکاران، ۲۰۱۳، ۳۲۸).

پ) رابطه زارع (۱۳۷۴):

$$M_s = 3.66 + 0.91 \text{Ln}L \quad (۳) \text{ رابطه}$$

که L نیمی از طول گسل برحسب کیلومتر است (حسین پور و همکاران، ۱۳۸۶، ۷۱).

طول قطعه گسل در محدوده کلان‌شهر تبریز حدود ۴۵ کیلومتر تعیین شده است (کریم‌زاده و همکاران، ۲۰۱۴، ۲۶۵). محاسبه‌های صورت گرفته، تفاوت‌هایی را در میزان لرزه‌خیزی گسل تبریز بیان می‌کند. با توجه به این محاسبه‌ها، میانگین عدد $۶/۹$ ریشتر به دست آمد. جدول (۴) مقادیر حداکثر توان لرزه زایی گسل تبریز را برحسب ریشتر نشان می‌دهد.

جدول ۴: توان لرزه زایی گسل تبریز برحسب ریشتر

نام گسل	طول گسل (کیلومتر)	نوروزی و اشجعی	نوروزی	زارع	میانگین
گسل تبریز	۴۵	۷	۶/۶	۷/۱	۶/۹

منبع: نگارندگان

طراحی سناریوی ضریب آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر در برابر میانگین شدت زلزله

معرفی سناریوی پیشنهادی، اولین گام در ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای است. سناریو بر اساس وضعیت تکتونیکی و ویژگی‌های کالبدی مکان مورد مطالعه مشخص می‌شود. طراحی و آزمون سناریوها، رویکردهای مناسبی برای مدل‌سازی حوادث زلزله هستند که برنامه‌ریزان را به تفهیم سطح لرزه زایی زلزله و تلفات ناشی از آن توانمند می‌سازد (حسن‌زاده و همکاران، ۲۰۱۳، ۳۲۴). برای ارزیابی میزان تلفات، ابتدا لازم است با روش میزان متوسط آسیب به طراحی سناریوهای زلزله برای شدت‌های مختلف آن پرداخت و در نهایت با تحلیل‌های حاصله، ارزیابی نسبتاً دقیقی از میزان تلفات انسانی

میسر شود (زهراپی و ارشاد، ۱۳۸۹، ۲۸۷). برای این منظور، از طریق رابطه (۴) به محاسبه متوسط درجات آسیب ساختمان در برابر شدت‌های مختلف زلزله پرداخته می‌شود:

$$\mu_D = 2.5[1 + \tanh((I_o + 6.25V_i - 13.1)/2.3)] \quad \text{رابطه (۴)}$$

که μ_D نشان‌گر متوسط درجه آسیب، \tanh تانژانت هیپربولیک^۸، I_o شدت زلزله بر اساس واحد مرکلی و V_i مقدار آسیب‌پذیری لرزه‌ای حاصل از روش چندمعیاری مورد نظر است. در این مدل، بازده تغییرات آسیب بین ۰ تا ۱ است که در اینجا عدد صفر به معنی عدم آسیب‌پذیری یا عدم آسیب و عدد ۱ به معنای ریزش ساختمان یا آسیب کلی خواهد بود که در جدول (۵) آورده شده است (احدنژادروشتی و همکاران، ۱۳۸۹، ۱۸۲). شدت نسبی زلزله در کانون (I_o) در مقیاس مرکلی^۹ از رابطه آمبرسایز-ملویل به دست می‌آید:

$$I_o = 1.3M_s - 0.09 \quad \text{رابطه (۵)}$$

که I_o شدت زمین‌لرزه در کانون در مقیاس مرکلی، M_s بزرگی زلزله در مقیاس ریشتر است (کیانی فر و پور کرمانی، ۱۳۹۰، ۴۲).

جدول ۵: درجه‌بندی آسیب وارده به ساختمان

درجه آسیب	بازه آسیب	شرح	درصد آسیب وارده به ساختمان
D1	۰-۰/۲	آسیب جزئی	۱-۲
D2	۰/۲-۰/۴	آسیب متوسط	۳-۱۱
D3	۰/۴-۰/۶	آسیب سنگین	۶-۳۱
D4	۰/۶-۰/۸	آسیب بسیار سنگین	۸-۶۱
D5	۱-۰/۸	تخریبی کامل	۱۰-۸۱

منبع: احدنژادروشتی و همکاران، ۱۳۸۹، ۱۸۲

نقشه حاصل از مدل همپوشانی وزنی و ارزیابی چندمعیاره (شکل ۱۱)، صرفاً نشان‌دهنده میزان آسیب‌پذیری کلی شهر با در نظر گرفتن معیارهای مورد استفاده است. در این پژوهش برای طراحی سناریوی زلزله با استفاده از رابطه (۴)، ابتدا شدت نسبی زلزله در کانون (I_o) در مقیاس مرکلی از رابطه (۵) محاسبه شد که نتایج آن در جدول (۶) آورده شده است.

جدول ۶: حداکثر شدت نسبی زلزله در کانون برحسب مرکلی

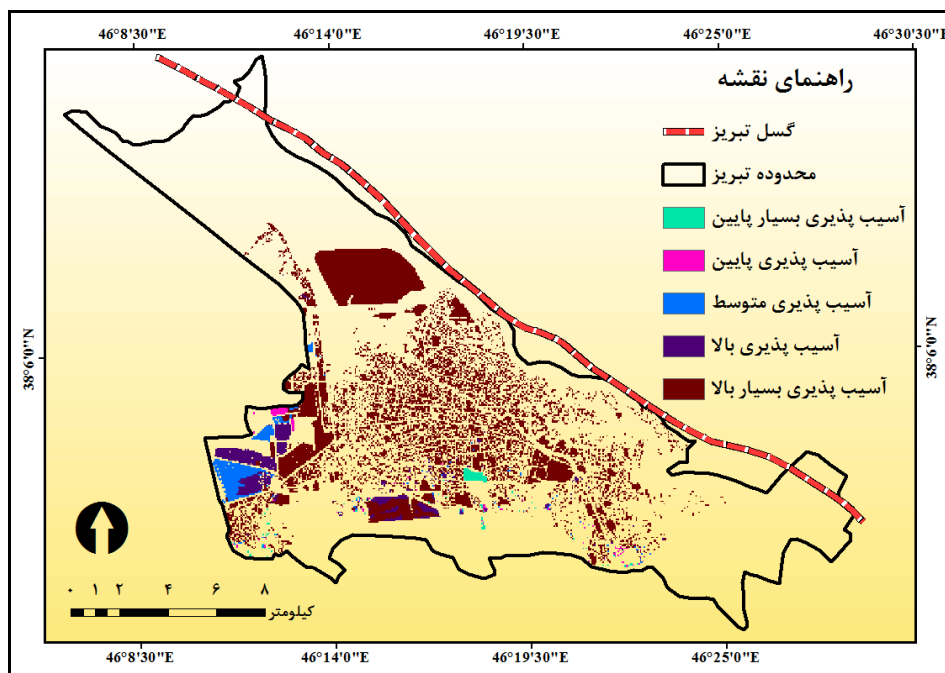
میانگین	شدت نسبی (مرکلی)					
	۸/۷	۹/۱	۹	۸/۴	۸/۸	۸/۳

منبع: نگارندگان

^۸ Hyperbolique

^۹ Mercalli

سپس، با جایگزینی میانگین شدت نسبی زلزله در کانون (جدول ۶) و مقادیر آسیب‌پذیری لرزه‌ای حاصل از روش چندمعیاری موردنظر (شکل ۱۱) به کمک محاسبه‌های رستری^{۱۰} در محیط نرم‌افزار ArcGIS10.3، درجه آسیب‌پذیری کلی ساختمان‌های کلان‌شهر تبریز در برابر زلزله احتمالی طبق رابطه (۴) مدل‌سازی شد (شکل ۱۴). بررسی نتایج حاکی از آن است که اکثر ساختمان‌های کلان‌شهر تبریز در درجه آسیب بین ۰/۸ تا ۱ (D5) با شرایط تخریبی کامل قرار دارند و در حدود ۸۱ درصد ساختمان‌ها در این سناریو تخریب خواهند شد.



شکل ۱۴: نقشه آسیب وارده به ساختمان‌های کلان‌شهر تبریز در برابر خطر زلزله (منبع: نگارندگان)

برآورد تلفات انسانی در سناریوی لرزه‌خیزی شهر

در مطالعات سناریوی ارزیابی تلفات انسانی، اغلب فرض‌های متفاوتی در نظر گرفته می‌شود. ارزیابی تلفات انسانی به‌طور گسترده به عواملی از جمله زمان وقوع، خدمات امداد و آگاهی مردم از بلایا و عوامل دیگر وابسته است (عبداللهی، ۱۳۸۰، ۱۰۸). برای ارزیابی تلفات انسانی ناشی از زلزله، باید تعداد جمعیت نواحی هر سناریوی زلزله مشخص شود. تعداد افراد ساکنین و تعداد تلفات مورد انتظار در هر زون آسیب‌پذیری ساختمان در زمان وقوع زلزله، جزء پارامترهای مهمی در تخمین تلفات انسانی هستند. درصد احتمال آسیب‌دیدگی هر زون جمعیتی بر اساس گزارش زلزله‌های گذشته کشورمان در ارتباط با آسیب‌پذیری ساختمانی و جمعیتی برآورد شده است (حسن‌زاده و همکاران، ۲۰۱۳، ۳۳۴). تلفات انسانی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$H = \sum BP_i \times PK_i \quad \text{رابطه (۶)}$$

¹⁰ Raster Calculator

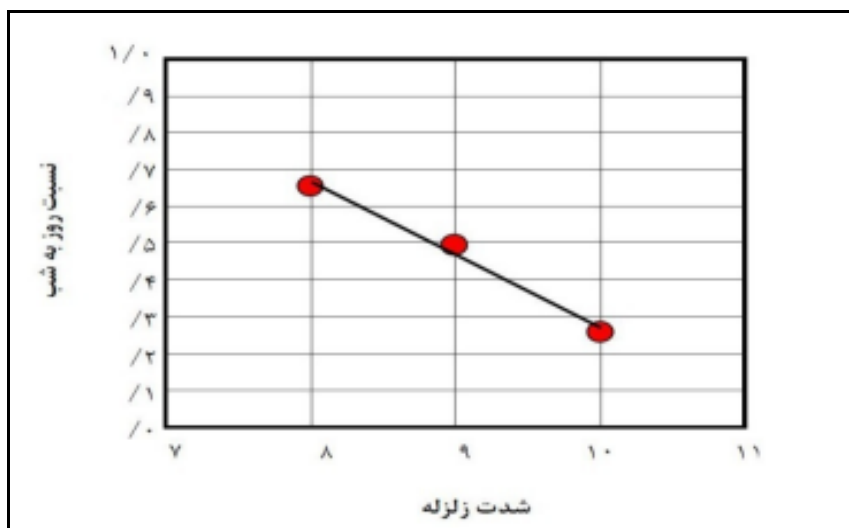
که H تلفات انسانی، BP_i تعداد جمعیت و PK_i درصد احتمال آسیب‌دیدگی جمعیت هر زون تخریبی ساختمان‌ها است که در جدول (۷) ارائه شده است (کریم‌زاده، ۲۰۱۴، ۲۷۳).

جدول ۷: رتبه‌بندی تلفات انسانی مورد انتظار

درجه‌ی تخریب ساختمان	سطح تلفات	درصد آسیب
تخریب سبک (D1)	مرگ	۲
	مجروح بستری	۵
	مجروح سرپایی	۹
	سالم	۸۴
تخریب متوسط (D2)	مرگ	۴
	مجروح بستری	۹
	مجروح سرپایی	۱۵
	سالم	۷۲
تخریب سنگین (D3)	مرگ	۱۳
	مجروح بستری	۱۷
	مجروح سرپایی	۲۳
	سالم	۴۷
تخریب خیلی سنگین (D4)	مرگ	۱۶
	مجروح بستری	۲۲
	مجروح سرپایی	۲۸
	سالم	۳۴
تخریبی کامل (D5)	مرگ	۴۱
	مجروح بستری	۱۶
	مجروح سرپایی	۲۱
	سالم	۲۲

منبع: کریم‌زاده، ۲۰۱۴، ۲۷۳

برای برآورد تعداد تلفات انسانی منطقه مورد مطالعه با استفاده از رابطه (۶) به کمک توابع تحلیلی نرم‌افزار ArcGIS10.3، تعداد کل جمعیت (سرشماری سال ۱۳۹۰) به درصد تلفات مورد انتظار در سناریوی لرزه‌خیزی شهر تبریز طبق جدول (۷)، ضرب شد و تعداد تقریبی تلفات (مردگان و مجروحان) به تفکیک شب‌هنگام و روز هنگام برآورد شد. با فرض وقوع زلزله مطابق سناریوی فعالیت لرزه‌ای گسل تبریز از کل جمعیت ۱۶۰۵۸۸۴ نفری کلان‌شهر تبریز (سرشماری سال ۱۳۹۰) به تعداد تقریبی ۱۲۵۲۵۸۹ نفر تلفات شب‌هنگام شامل ۶۵۸۴۱۲ نفر مردگان و ۵۹۴۱۷۷ نفر مجروحین در شرایط تخریبی کامل ساختمان‌ها برآورد شد (جدول ۸). تلفات روز هنگام در سناریوی زلزله با شدت ۸/۷ مرکلی با استفاده از نمودار نسبت تلفات روز هنگام به شب‌هنگام (شکل ۱۵) محاسبه شد. بر اساس نتایج جدول (۹)، وقوع زلزله در طول روز کم‌ترین تلفات را موجب می‌گردد. در این حالت، از کل جمعیت ۱۶۰۵۸۸۴ نفری شهر تبریز به تعداد تقریبی ۶۲۶۲۹۴ نفر تلفات شامل ۳۲۹۲۰۶ نفر مردگان و ۲۹۷۰۸۸ نفر مجروحین برآورد شد. پس، وقوع زلزله احتمالی در شب بیش‌ترین تلفات در حدود ۷۷٪ نسبت به‌روز در حدود ۳۸٪ کل جمعیت کلان‌شهر تبریز را موجب می‌شود.



شکل ۱۵: نسبت تعداد تلفات زلزله در شدت‌های مختلف روز هنگام به شب هنگام (منبع: مطالعات جایکا، ۱۳۸۰، ۱۷۱)

جدول ۸: تعداد تلفات انسانی ناشی از زلزله شب‌هنگام کلان‌شهر تبریز

زلزله شب‌هنگام				
تعداد تلفات	تعداد مجروحان سبک	تعداد مجروحان بستری	تعداد مردگان	تعداد جمعیت
۱۲۵۲۵۸۹	۳۳۷۲۳۵	۲۵۶۹۴۱	۶۵۸۴۱۲	۱۶۰۵۸۸۴

(منبع: نگارندگان)

جدول ۹: تعداد تلفات انسانی ناشی از زلزله روز هنگام کلان‌شهر تبریز

زلزله روز هنگام				
تعداد تلفات	تعداد مجروحان سبک	تعداد مجروحان بستری	تعداد مردگان	تعداد جمعیت
۶۲۶۲۹۴	۱۶۸۶۱۷	۱۲۸۴۷۰	۳۲۹۲۰۶	۱۶۰۵۸۸۴

(منبع: نگارندگان)

نتیجه‌گیری

با توجه به قدمت تاریخی کلان‌شهر تبریز و تجربه زمین‌لرزه‌های متعدد، این شهر در دهه‌های اخیر شتاب‌زده در حال توسعه است و اکثراً توسعه فیزیکی شهر به سمت شمال (پیرامون گسل تبریز در پای کوه‌های ارتفاعات شمالی) هدایت می‌شود. با توجه به نتایج، محدوده‌های خطرناک گسل در مورد کلان‌شهر تبریز رعایت نشده و در شرایط کنونی نیز در نظر گرفته نمی‌شود که این مسئله با توجه به جنس زمین و عدم استحکام کامل آبرفت‌های جوان منطقه می‌تواند آسیب‌های ناشی از زلزله را تشدید نماید. کلان‌شهر تبریز از نظر خطر زلزله وضعیت مطلوبی نداشته و بیش‌تر قسمت‌های پرتراکم شهری به‌خصوص قسمت‌های شمالی و مرکزی شهر در پهنه‌های آسیب‌پذیری با خطر بسیار بالا و بالا قرار دارند. در سال‌های اخیر احداث ساختمان‌های بلند و برج‌ها در پهنه گسلی، ثبات این منطقه را بیش از گذشته برهم زده و خطر گسیختگی و لرزش را دو چندان کرده است. این در حالی است که در محلات حاشیه شهر در امتداد پای کوه‌های عون‌بن‌علی (محل عبور گسل)، ساختمان‌هایی وجود دارند که با مصالح نامرغوب ساخته شده‌اند و نمی‌توانند در برابر

زلزله‌ای با بزرگی متوسط مقاومت کنند. سکونت‌گاه‌های غیراستاندارد روی دامنه‌های شیب‌دار، کوچه‌های باریک و شیب‌دار، تراکم خانه‌ها، جمعیت و نبود فضای باز، مخاطرات ناشی از وقوع زلزله را در این منطقه به شدت افزایش داده است. باید پذیرفت که، امروزه توسعه نامناسب شهرها و افزایش ریسک خطر در اثر برنامه‌ریزی‌های نادرست، فجایع و تلفات زیادی را به دنبال دارد. بنا به محاسبه‌های صورت گرفته بر اساس مدل‌های تجربی، میانگین توان لرزه زایی گسل تبریز عدد ۶/۹ ریشتر به دست آمد که به‌طور نسبی با واقعیت انطباق دارد. گسل تبریز از میان ارتفاع‌های شمالی شهر عبور می‌کند و پیامدهای ناشی از گسترش تبریز بر روی این گسل و ارتفاع‌های شمالی شهر با توجه به ویژگی‌های لیتولوژیکی به تدریج در این محدوده‌ها در حال حضور هستند و با وقوع زلزله‌هایی به بزرگی میانگین ۶/۹ ریشتر، عواقب ناشی از این توسعه نامناسب در آینده نیز بسیار خطرناک خواهد شد. با در نظر گرفتن موارد مذکور می‌توان گفت که قرارگیری بخش اعظمی از کلان‌شهر تبریز بر روی سازندهای آسیب‌پذیر، شرایط بسیار مساعدی را برای تشدید امواج زلزله فراهم ساخته است. چنانچه شواهد زلزله‌های تاریخی منطقه مورد مطالعه نیز نشان می‌دهد که مقاومت نسبی زمین هیچ‌گاه در مقابل امواج زلزله، تحمل مناسبی نشان نداده است. این امر می‌بایست در مباحث برنامه‌ریزی شهری و اجرای برنامه‌های عمرانی مورد توجه مسئولین شهری قرار گیرد.

بررسی نتایج سناریوی زلزله‌ای گسل تبریز در میانگین شدت نسبی ۸/۳ مرکلی نیز حاکی از آن است که اکثر ساختمان‌های شهر در درجه آسیب بین ۰/۸ تا ۱ (D5) با شرایط تخریبی کامل قرار دارند. با فرض وقوع زلزله مطابق سناریوی فعالیت لرزه‌ای گسل تبریز، از کل جمعیت ۱۶۰۵۸۸۴ نفری کلان‌شهر تبریز (سرشماری سال ۱۳۹۰) به تعداد تقریبی ۱۲۵۲۵۸۹ نفر تلفات شب‌هنگام شامل ۶۵۸۴۱۲ نفر مردگان و ۵۹۴۱۷۷ نفر مجروحین در شرایط تخریبی کامل ساختمان‌ها برآورد شد. بر اساس نتایج، وقوع زلزله در طول روز کم‌ترین تلفات را موجب می‌شود. در این حالت، از کل جمعیت ۱۶۰۵۸۸۴ نفری کلان‌شهر تبریز به تعداد تقریبی ۶۲۶۲۹۴ نفر تلفات شامل ۳۲۹۲۰۶ نفر مردگان و ۲۹۷۰۸۸ نفر مجروحین برآورد شد. پس، وقوع زلزله احتمالی در شب، بیش‌ترین تلفات در حدود ۷۷٪ نسبت به‌روز در حدود ۳۸٪ کل جمعیت کلان‌شهر تبریز را موجب می‌گردد.

منابع

۱. اسفندیاری، فریبا، غفاری‌گیلاننده، عطا و لطفی، خداداد (۱۳۹۳): بررسی توان لرزه زایی گسل‌ها و برآورد تلفات انسانی ناشی از زلزله در مناطق شهری (مطالعه موردی: شهر اردبیل)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۴، صص ۱۷-۳۶.
۲. روشتی، احد نژاد، محسن، قرخلو، مهدی و کرامت ا...، زیاری (۱۳۸۹): مدل‌سازی آسیب‌پذیری ساختمانی شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۹، صص ۱۷۱-۱۹۸.

۳. حسین پور، مارال (۱۳۸۶): بررسی‌های سائزموکتونیک شمال غرب ایران و پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه در شهر تبریز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی محسن مؤید، دانشکده علوم، دانشگاه تبریز.
۴. روستایی، شهرام (۱۳۹۰): پهنه‌بندی خطر گسل تبریز برای کاربری‌های مختلف اراضی شهری، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۱، صص ۲۷-۴۱.
۵. زارع، مهدی (۱۳۸۰): خطر زمین‌لرزه و ساخت‌وساز در حریم گسل شمال تبریز و حریم گسل‌های زمین‌لرزه‌ای ایران، پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، شماره ۲ و ۳، صص ۴۶-۵۷.
۶. زهرایی، سید مهدی و لیلی، ارشاد (۱۳۸۴): بررسی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های شهر قزوین، نشریه دانشکده فن‌آوری، جلد ۳۹، شماره ۳، صص ۲۸۷-۲۹۷.
۷. سادات ریاضی راد، زهره، کی‌نژاد، آنهیتا و قمی‌اویلی، جعفر (۱۳۸۸): بررسی لرزه‌زمین‌ساخت و لرزه‌خیزی در نوشهر و تعیین مناطق پتانسیل خطر بالا، فصلنامه زمین، شماره ۴، صص ۷۷-۸۹.
۸. عابدینی، موسی و مقیمی، ابراهیم (۱۳۹۱): نقش تنگناهای ژئومورفولوژیکی در توسعه کالبدی کلان‌شهر تبریز به‌منظور کاربری بهینه، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۱، صص ۱۴۷-۱۶۶.
۹. عابدینی، موسی (۱۳۹۲): بررسی سازندهای مقر شهر توریستی سرعین با تأکید بر وضعیت توپوگرافی، تکتونیک و اقلیم جهت کاربری بهینه اراضی شهری با استفاده از GIS، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۱، صص ۵۱-۶۸.
۱۰. عبداللهی، مجید (۱۳۸۰): مدیریت بحران در نواحی شهری، چاپ اول، تهران: سازمان شهرداری‌های کشور، ۱۸۰ ص.
۱۱. قنبری، ابوالفضل، سالکی‌ملکی، محمدعلی و معصومه، قاسمی (۱۳۹۲): پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری شهرها در مقابل خطر زمین‌لرزه (نمونه موردی: شهر تبریز)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۵، صص ۲۱-۳۵.
۱۲. کیانی فر، رضا و پور کرمانی، محسن (۱۳۹۰): تحلیل ساختاری گسل رباط‌کریم و توان لرزه‌زایی آن، علوم زمین، شماره ۲۱، صص ۲۷-۴۹.
۱۳. لطفی، خداداد (۱۳۹۱): مدل‌سازی ضریب آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله با استفاده از GIS و GA (مطالعه موردی: شهر اردبیل)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی فریبا اسفندیاری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.
۱۴. ملکی، سعید و الیاس، مودت (۱۳۹۲): ارزیابی طیف آسیب‌پذیری لرزه‌ای در شهرها بر اساس سناریوهای شدت مختلف با استفاده از مدل‌های GIS، TOPSIS، و μD (مطالعه موردی: شهر یزد)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۵، صص ۱۲۷-۱۴۲.
۱۵. مرکز مطالعات زلزله و زیست‌محیطی تهران بزرگ و آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن (جایکا) (۱۳۸۱): ریز پهنه‌بندی لرزه‌ای تهران بزرگ، گزارش نهایی.
۱۶. یزدانفر، کاملیا (۱۳۹۳): تعیین فعالیت گسل پیرانشهر به‌عنوان شمال غربی‌ترین قطعه رانندگی جوان زاگرس با کاربرد مدل DTM و نرم‌افزار GIS، تحقیقات جغرافیایی، شماره ۴، صص ۱۳۳-۱۴۶.

17. Alok, K., Verma, K. (2013): Estimation Of Maximum Magnitude (M_{max}): Impending Large Earthquakes In Northeast Region, India, Journal Geological Society Of India, Vol. 83, PP. 635-640.
18. Hassanzadeh, R., Zorica, N., Alavir, A., Norouzzadeh, M., And Hodhodkian, H. (2013): Interactive Approach GIS-Based Earthquake Scenario Development and Resource Estimation, Computers & Geosciences, Vol.51, PP.324- 338.
19. Karimzadeh, S., Miyajima, M., Hassanzadeh, R., Amiraslanzadeh, R., and Kamel, B. (2014): A GIS-Based Seismic Hazard, Building Vulnerability And Human Loss Assessment For The Earthquake Scenario In Tabriz, Soil Dynamics And Earthquake Engineering, Vol. 66, PP. 263-280.
20. Hashemi, M., And Alesheikh, A.A. (2011): A GIS-Based Earthquake Damage Assessment and Settlement Methodology, Soil Dynamics And Earthquake Engineering, Vol. 31, PP. 1607- 1617.

21. Mansouri. B., Nourjou. R., Hosseini. K. H. (2008): Comprehensive GIS- Based Solution For Road Blockage Due To Seismic Bulding Collapse In Tehran, The 14th World Conference On Earthquake Engineering, Beijing, China,, PP. 1- 6.