

# ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای در منطقه یک شهر تبریز با استفاده از مدل تحلیل چندمعیاره فضایی

بتول کامل باسمنج<sup>۱</sup>، بابک میرجعفری<sup>۲\*</sup>، سید علی علوی<sup>۳</sup>

- ۱- کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم محیطی و معماری، دانشگاه تبریز، ایران
- ۲- کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم محیطی و معماری، دانشگاه تبریز، ایران
- ۳- کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم محیطی و معماری، دانشگاه تبریز، ایران

دریافت: ۹۱/۳/۹ پذیرش: ۹۱/۶/۳۱

## چکیده

ارزیابی میزان آسیب‌پذیری، برنامه‌ریزی جهت آمادگی و کاهش خطر قبل از وقوع زلزله، امری ضروری است. با توجه به واقع شدن شهر تبریز در جایگاه پهنه‌بندی با خطر نسبی بالا، وقوع یک زلزله بزرگ در این شهر خسارت‌ها و تلفات زیادی را به دنبال خواهد داشت؛ این میزان آسیب لزوم کسب آمادگی‌های لازم جهت مقابله با بحران ناشی از زلزله را آشکارتر می‌کند. در مقاله حاضر، برای ارزیابی میزان آسیب‌پذیری (خسارت‌ها و تلفات) در برابر زلزله در منطقه یک شهرداری تبریز، نقشه عوامل انسانی، کالبدی و تأسیسات و امکانات حیاتی تأثیرگذار بر آسیب‌پذیری منطقه از طریق تلفیق سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل ارزیابی چندمتغیره فضایی (SMCE) تولید شده است؛ همچنین با ارائه وزن‌های درون‌گروهی و بین‌گروهی شاخص‌های مؤثر بر آسیب‌پذیری ناشی از زلزله، درجات آسیب‌پذیری مناطق مختلف مشخص شده است. براساس نقشه آسیب‌پذیری، بخش‌های شمالی و شرقی منطقه یک به‌عنوان محدوده‌های بحرانی از نظر میزان آسیب‌پذیر بودن در برابر زلزله احتمالی شناخته شده‌اند. نزدیکی به گسل، افزایش شیب زمین، فرسودگی بافت ساختمان‌ها و عدم دسترسی مناسب به شبکه معابر شهری به ترتیب از عوامل مهم افزایش آسیب‌های ناشی از زلزله در این منطقه است.

## ۱- مقدمه

در عصر حاضر، یکی از پدیده‌های مهم جهان افزایش جمعیت و به تبع آن رشد سریع شهرنشینی و توسعه کالبدی شهرهاست. این مسئله همراه با دخالت‌های نسنجیده انسانی در محیط‌های طبیعی از جمله ساخت‌وسازهای بی‌قاعده انسان‌ها در حریم گسل، بی‌توجهی به ضوابط و استانداردهای ساخت‌وساز و یا اصلاً نبود این ضوابط و بسیاری دیگر از عوامل موجب شده است تا تهدید بحران‌های ناشی از سوانح طبیعی به‌ویژه زلزله تشدید شود و بر اثر وقوع آن، بحران یا فاجعه انسانی به وجود آید (ناطق الهی، ۱۳۷۹). ایران به‌عنوان کشوری زلزله‌خیز، طی دهه‌های گذشته آسیب‌های اجتماعی و اقتصادی فراوانی را بر اثر زلزله‌های فراوان متحمل شده است. شهر تبریز نیز در پهنه‌بندی خطر زلزله، در جایگاه پهنه با خطر بسیار بالا قرار دارد. گسل شمال تبریز که زمانی با محدوده شهری تبریز فاصله داشت، هم‌اکنون بر اثر گسترش ساخت‌وساز و شهرک‌سازی در حریم آن، از میان شهرک‌های تازه‌ساخت و درحال ساخت عبور می‌کند (زارع، ۱۳۸۰).

در تحقیق حاضر، با مطالعات تحلیلی، بررسی نظر کارشناسان و مشاهدات زمینی، از بین مناطق ده‌گانه شهر تبریز منطقه یک بنابه دلایل زیادی از جمله نزدیکی به گسل اصلی تبریز و وجود سکونتگاه‌های غیررسمی و تراکم‌های بالای جمعیتی بررسی شده است. در تعیین و ارزیابی خطر پدیده‌های طبیعی مانند زلزله، عوامل مهمی مانند پراکنش جمعیت، قوانین ساختمانی، آمادگی و واکنش سریع باید مورد توجه قرار گیرند (Murack et al., 1997). به عبارت دیگر، توصیف ماهیت و شدت هر حادثه مورد انتظار فقط بخشی از ارزیابی خطر است و مرحله مهم‌تر، مطابقت این حادثه با عوامل انسانی مانند توزیع جمعیت، نظام‌های ساختمانی و... در یک منطقه است؛ این مرحله اغلب با ترسیم نقشه‌های خطر انجام می‌شود (Keller & Pinter, 2002). پژوهش در زمینه شناخت و تبیین نواحی پرخطر در قالب الگوهای پهنه‌بندی، و تحلیل آسیب‌پذیری با هدف تعدیل و کنترل بحران مبتنی بر مطالعه عمیق و فراگیر در کانون‌های پرخطر مورد توجه نسبی بوده است (ولیزاده، ۱۳۸۰؛ زنگی‌آبادی،

۱۳۸۷؛ احدنژاد، ۱۳۸۸؛ شمس‌پور و شیخی، ۱۳۸۹؛ Haryo, 2003; Rashid & Weeks, 2003; Nugroho, 2011). هدف کلی این تحقیق، سنجش میزان آسیب‌پذیری نواحی شهری از زلزله احتمالی است که با روش ارزیابی چندمتغیره فضایی و اجرای تابع الحاقی AHP<sup>۱</sup> در محیط GIS انجام شده است.

## ۲- مبانی نظری تحقیق

مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره با مجموعه‌گزینه‌هایی سروکار دارند که برپایه پاره‌ای معیارها ارزیابی می‌شوند. از آنجایی که در برآورد توان لرزه‌خیزی یک محیط، عناصر و عوامل فراوانی تأثیرگذارند و اثر هریک از پارامترها بر هدف متفاوت است، ارزیابی چندمتغیره فضایی توان همدیده‌بانی همه عوامل مؤثر در برآورد توان لرزه‌خیزی را به صورت یکجا داراست (شهابی و همکاران، ۱۳۹۰). برای بهینه‌سازی روش تصمیم‌گیری چندمعیاره، استفاده از ابزار تحلیلگری که بتواند حجم انبوهی از داده‌های مکانی را تجزیه و تحلیل کند ضروری می‌نماید (حبیبی و کوهساری، ۱۳۸۶). GIS به‌عنوان ابزاری که به راحتی می‌تواند با این حجم انبوه از داده‌ها کار کند و آن‌ها را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد، بستری مناسب برای تلفیق با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌نظر می‌رسد. در پژوهش‌های مرتبط با تصمیم چندمعیاره، روش‌هایی مانند رتبه‌بندی، درجه‌بندی، مقایسه دوجه‌دو و تحلیل موازنه- جایگشتی در وزن‌دهی معیار برپایه قضاوت‌های تصمیم‌گیران مطرح شده است (مالچفسکی، ۱۳۸۵). از میان این روش‌ها، روش تحلیل سلسله‌مراتبی به دلیل توانایی مدل کردن معیارهای کمی و کیفی و استفاده از نظرات کارشناسان و مقایسه دوتایی بین معیارها به کار گرفته شده است. این روش امکان فرموله کردن مسئله به صورت سلسله‌مراتبی و در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی در مسئله را فراهم می‌کند. این روش چندمعیاری بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده است. این امر قضاوت و محاسبات را آسان می‌کند و میزان سازگاری و ناسازگاری قضاوت را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این روش در تصمیم‌گیری چندمعیاره است (قدسی‌پور، ۱۳۸۸). فرایند AHP

---

1. analytical hierarchy process

بتول کامل باسمنج و همکاران \_\_\_\_\_ ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای در منطقه ...

شامل سه گام اساسی در فرایند اجرایی نرم‌افزار GIS است: الف- تولید ماتریس مقایسه‌دوتایی؛ ب- محاسبه وزن‌های معیار؛ ج- تخمین نسبت توافق. روش مقایسه‌دوتایی، مقایسه‌های کیفی را به وزن‌های کمی برای تمام شاخص‌ها تبدیل می‌کند (جدول ۱).

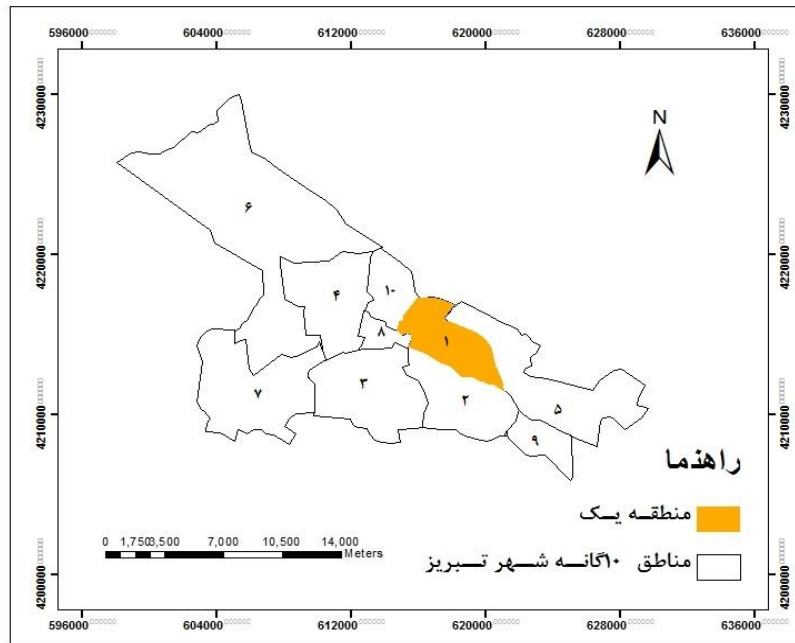
جدول ۱ ترجیحات AHP

مقدار عددی	ترجیحات (قضاوت شفاهی)
۹	کاملاً مرجح یا کاملاً مطلوب‌تر
۷	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
۵	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	کمی مرجح یا کم‌مطلوب‌تر
۱	ترجیح یا مطلوبیت یکسان
۲، ۴، ۶، ۸	ترجیحات بین فواصل قوی

(منبع: قدسی‌پور، ۱۳۸۸)

### ۳- محدوده مورد مطالعه

شهر تبریز، مرکز استان آذربایجان شرقی، بزرگ‌ترین شهر شمال‌غرب ایران است. این شهر از لحاظ مختصات جغرافیایی در ۴۶ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی از نصف‌النهار گرینویچ واقع است (جعفری، ۱۳۷۲). براساس آخرین تقسیمات، شهر تبریز دارای ده منطقه شهرداری است که از این میان منطقه یک، به‌عنوان محدوده مورد مطالعه انتخاب شده است (شکل ۱).



شکل ۱ محدوده مورد مطالعه (نقشه موقعیت منطقه یک در شهر تبریز)

#### ۴- داده‌ها و روش تحقیق

در این تحقیق، مجموعه‌ای از عوامل طبیعی، کالبدی و اجتماعی مورد بررسی قرار گرفته و میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای منطقه از برابند آسیب‌پذیری ناشی از این عناصر استخراج شده است. به همین منظور، از اطلاعات موجود در نقشه‌های طرح تفصیلی شهر تبریز، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۰۰۰، نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، داده‌های سرشماری مسکن ۱۳۸۵ و تصاویر ماهواره‌ای IKONOS استفاده شد. در این پژوهش، شاخص‌های فاصله از گسل، شیب، ساختار زمین‌شناسی، تراکم جمعیتی، دسترسی به فضاهای باز عمومی، جنس مصالح و عمر ساختمان، مساحت و تعداد طبقات ساختمان، و دسترسی به شبکه معابر شهری به عنوان شاخص‌های آسیب‌پذیری در برابر زلزله تعیین شد. داده‌های یادشده جمع‌آوری و رقمی‌سازی شد و در سیستم تصویر UTM زون ۳۸ زمین مرجع و جهت ارزیابی گزینه‌های تصمیم‌گیری، هر معیار به صورت یک لایه نقشه در فرمت رستر، در پایگاه داده‌های مکانی آماده شد. واحدهای مطالعاتی با توجه به شاخص‌های مورد نظر و



شرایط منطقه بین ۱ تا ۴ رتبه‌بندی شدند؛ به‌گونه‌ای که عدد ۱ معرف کمترین آسیب‌پذیری و عدد ۴ معرف بیشترین میزان آسیب‌پذیری ناشی از زلزله است. سپس براساس مدل ارزیابی چندمعیاره فضایی و با اجرای تابع الحاقی AHP در محیط GIS، این لایه‌ها وزن‌دهی و با یکدیگر تلفیق شد. سرانجام، نقشه نهایی که نمایش‌دهنده درجات آسیب‌پذیری مناطق مختلف در برابر زلزله احتمالی است، تولید شد. در این مدل، وزن نسبی هر یک از معیارها به‌روش مقایسه دوه‌دو و براساس نظر کارشناسان تعیین شده است.

## ۵- یافته‌های تحقیق

برای ارزیابی گزینه‌های تصمیم‌گیری، هر معیار به‌صورت یک لایه نقشه با عنوان نقشه‌های معیار در پایگاه داده‌های مبتنی بر GIS آماده شد که در ادامه به تفکیک هر یک را بررسی می‌کنیم.

### ۵-۱- آسیب‌پذیری ناشی از دوری از فضاهای باز

فضاهای باز شامل فضاهایی نظیر پارک‌ها، باغ‌ها و زمین‌های بایرند که ظرفیت تجمع و پناه‌گیری را دارند. با افزایش میزان دسترسی به چنین کاربری‌هایی، آسیب‌پذیری نیز کمتر خواهد بود (احدنژاد و همکاران، ۱۳۸۶). جدول ۲ ماره دو میزان آسیب‌پذیری را براساس فاصله از فضای باز نشان می‌دهد. براساس نتایج جدول و شکل شماره دو، حدود ۳/۳۵ درصد از منطقه دارای درجه آسیب‌پذیری زیاد و ۶۲/۳۵ درصد دارای آسیب‌پذیری کم است.

جدول ۲ طبقات دسترسی به فضای باز و آسیب‌پذیری

فاصله از فضاهای باز عمومی (متر)	۰ - ۵۰	۵۰ - ۱۵۰	۱۵۰ - ۳۰۰	بیشتر از ۳۰۰
میزان آسیب‌پذیری	کم	متوسط	قابل توجه	زیاد

(منبع: منزوی و همکاران، ۱۳۸۹)

### ۵-۲- آسیب‌پذیری ناشی از تراکم جمعیتی

از آنجا که ترتیب زمانی آثار زلزله به‌صورت لرزش‌های شدید زمین «تحریک» تلفات است، اهمیت تراکم جمعیت در آخرین مرحله از بحران زلزله می‌تواند تعیین‌کننده باشد (بحرینی و همکاران،

مدرس علوم انسانی - برنامه‌ریزی و آمایش فضا \_\_\_\_\_ دوره شانزدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۱

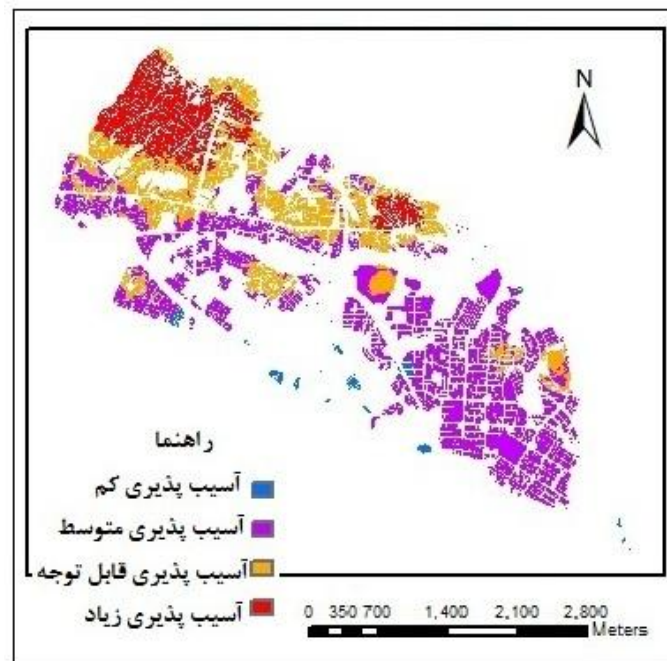
(۱۳۷۵). با محاسبه تراکم جمعیت براساس اطلاعات سرشماری عمومی نفوس و مسکن آبان ۱۳۸۵، منطقه به چهار پهنه آسیب ناشی از تراکم جمعیت تقسیم شده است.

جدول ۳ کلاس‌های تراکم جمعیت و آسیب‌پذیری

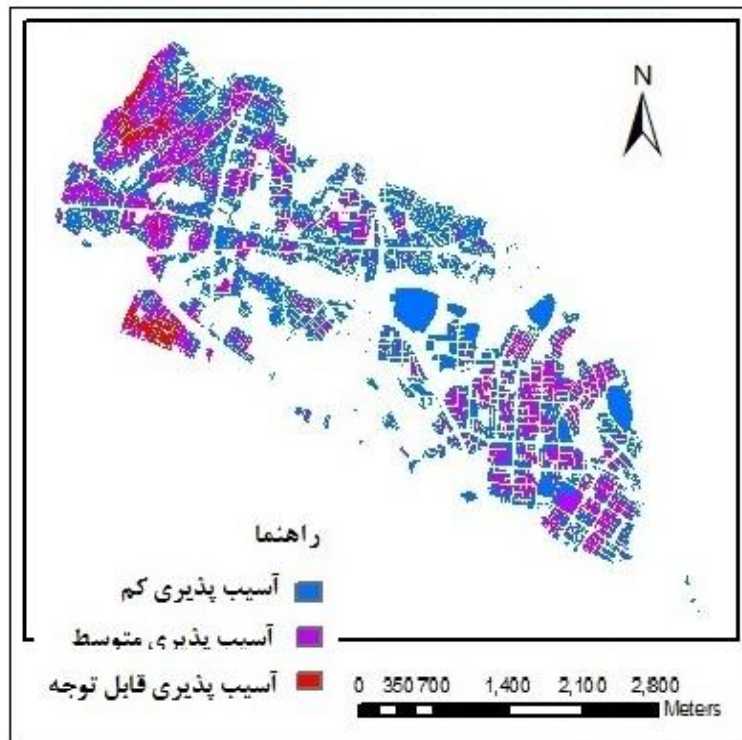
تراکم جمعیت (نفر در هکتار)	۰ - ۱۵۰	۱۵۰ - ۲۵۰	۲۵۰ - ۳۵۰	بیشتر از ۳۵۰
میزان آسیب‌پذیری	کم	متوسط	قابل توجه	زیاد

(منبع: مهندسین مشاور تهران‌پادیر، ۱۳۸۸)

براساس نتایج به‌دست آمده، ۱/۸۳ درصد دارای آسیب‌پذیری کم و حدود ۱۷/۳۸ درصد از محدوده دارای آسیب‌پذیری زیاد است که مطابق شکل ۳ این مناطق پرجمعیت شامل بخش‌های شمالی و شرقی منطقه یک است.



شکل ۲ آسیب‌پذیری ناشی از دوری از فضای باز



شکل ۳ آسیب‌پذیری ناشی از تراکم جمعیتی بالا

### ۳-۵- آسیب‌پذیری ناشی از خسارت وارد شده بر ساختمان‌ها

خسارت وارد شده بر ساختمان‌ها از تلفیق نقشه‌های مربوط به جنس مصالح، عمر ساختمان و تعداد طبقات آن برآورد شده است.

### ۴-۵- آسیب‌پذیری ناشی از قدمت ساختمان‌ها و نوع سازه (مصالح) آن‌ها

با در نظر گرفتن عمر ساختمان‌ها و ترکیب آن با نوع سازه، نحوه تحلیل آن تعیین می‌شود. عمر مفید ساختمان در ایران سی سال برآورد شده است. هرچه عمر ساختمان بیشتر باشد، میزان آسیب نیز بیشتر خواهد بود (حاتمی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۸). جدول ۴ طبقه‌بندی براساس عمر و مصالح ساختمانی را نشان می‌دهد. اغلب بخش‌های شمالی و غربی منطقه دارای بافت‌های فرسوده و ساخت‌وسازهای غیرقانونی هستند.



جدول ۴ کلاس‌های عمر و مصالح ساختمانی و آسیب‌پذیری

عمر و مصالح ساختمانی	اسکلت فولادی، یا بتن مسلح/ ۱ تا ۱۵ سال	ساختمان بنایی (آجر و آهن) - ۱ تا ۱۵ سال یا اسکلت فولادی، بتن مسلح/ ۱۵ تا ۳۰ سال	ساختمان بنایی (آجر و آهن) - ۱۵ تا ۳۰ سال یا اسکلت فولادی، بتن مسلح/ بیش از ۳۰ سال و سایر سازه‌ها	زیاد
آسیب‌پذیری	کم	متوسط	قابل توجه	

(منبع: منزوی و همکاران، ۱۳۸۹)

#### ۵-۵- آسیب‌پذیری ناشی از مساحت قطعات تفکیکی

قطعات کوچک‌تر به علت خرد کردن فضاهای باز و افزایش تراکم، باعث افزایش میزان آسیب‌پذیری می‌شود (رنج‌آزمای، ۱۳۹۰) (جدول ۵). از سویی، هرچه سطح این قطعات بیشتر باشد، آوار ناشی از تخریب ساختمان کمتر به ساختمان‌ها و معابر مجاور آسیب می‌زند (حبیبی و همکاران، ۱۳۸۷). براساس یافته‌های این بخش، میزان آسیب ناشی از این شاخص در بخش‌های شمالی و اندکی از محدوده مرکزی منطقه یک - که ساختمان‌ها ریزدانه هستند - افزایش یافته است.

جدول ۵ کلاس‌های مساحت قطعات تفکیکی و آسیب‌پذیری

مساحت قطعات تفکیکی (متر)	کمتر از ۱۰۰	۱۰۰ - ۲۰۰	۲۰۰ - ۳۰۰	بیشتر از ۳۰۰
میزان آسیب‌پذیری	کم	متوسط	نسبتاً زیاد	زیاد

(منبع: منزوی و همکاران، ۱۳۸۹)

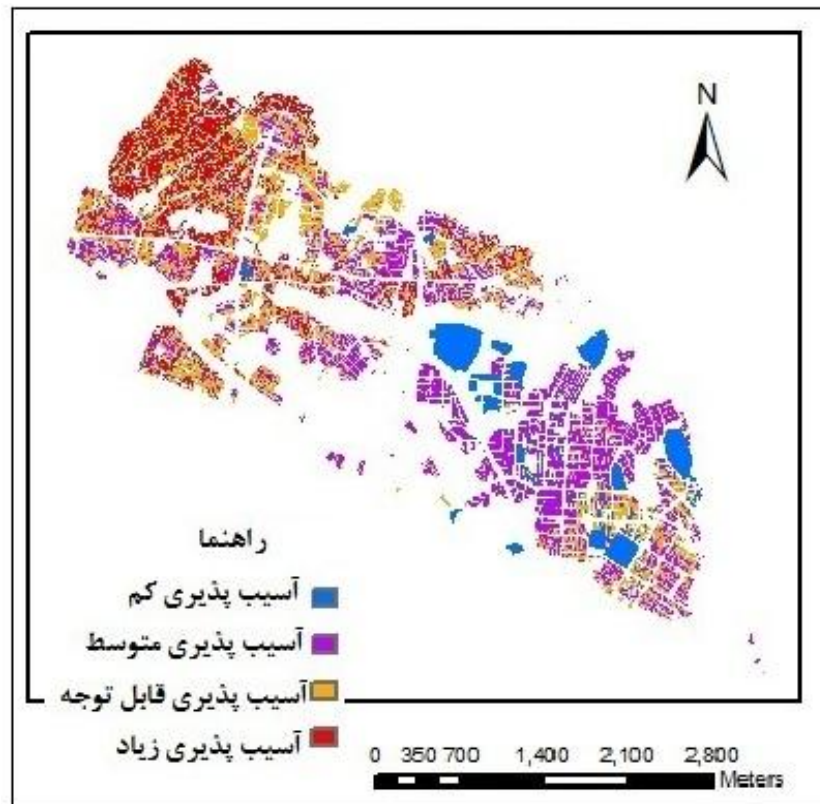
#### ۵-۶- آسیب‌پذیری ناشی از تعداد طبقات ساختمان

در صورت وقوع زلزله‌ای که موجب تخریب ساختمان‌ها شود، افزایش تعداد طبقات ساختمان‌ها برابر با افزایش آسیب‌پذیری خواهد بود. حتی اگر افزایش ارتفاع با رعایت ضوابط و محاسبات انجام گیرد، هنگام تخلیه و جست‌وجو و نجات، کار امداد رسانی به‌سختی انجام خواهد شد (حبیبی و همکاران، ۱۳۸۷). جدول شماره ۶ درجات آسیب‌پذیری را براساس تعداد طبقات ساختمان‌ها نشان می‌دهد.

جدول ۶ طبقات تعداد ساختمان‌ها و آسیب پذیری

۷-۱۴	۵-۶	۳-۴	۱-۲	تعداد طبقات
زیاد	قابل توجه	متوسط	کم	میزان آسیب پذیری

نتایج نقشه آسیب پذیری ناشی از خسارت وارد شده بر ساختمان‌ها که از تلفیق سه عامل یاد شده به دست آمده است، نشان می‌دهد حدود ۱۹/۰۴ درصد از منطقه دارای آسیب پذیری زیاد و ۱۳/۰۵ درصد از محدوده دارای آسیب پذیری کم در برابر زلزله احتمالی است (شکل ۴).



شکل ۴ نقشه آسیب پذیری ناشی از خسارت وارد شده بر ساختمان‌ها

#### ۵-۷- آسیب‌پذیری ناشی از عدم دسترسی مناسب به شبکه معابر

هرچه معابر دارای عرض مناسب‌تری با توجه به سلسله‌مراتب عملکردهای شهری باشند، آسیب‌پذیری نیز به همین میزان کاهش می‌یابد. نتایج نقشه آسیب‌پذیری ناشی از دسترسی به معابر نشان می‌دهد ۶۶/۷۷ درصد از محدوده مورد مطالعه دارای آسیب‌پذیری نسبتاً زیاد تا زیاد و ۲۲/۸۳ درصد دارای آسیب‌پذیری کم است (جدول ۷).

جدول ۷ سلسله‌مراتب شهری و آسیب‌پذیری

کاربری‌های پیرامون معابر عرض بالای ۱۴ متر	کاربری‌های پیرامون معابر عرض ۹-۱۴ متری	کاربری‌هایی که ورودی و خروجی آن‌ها معابر با عرض ۶ تا ۹ متر است.	کاربری‌هایی که ورودی و خروجی آن‌ها معابر با عرض ۶ متر و بن‌بست است.	عرض معابر شهری	آسیب‌پذیری
کم	متوسط	نسبتاً زیاد	زیاد		

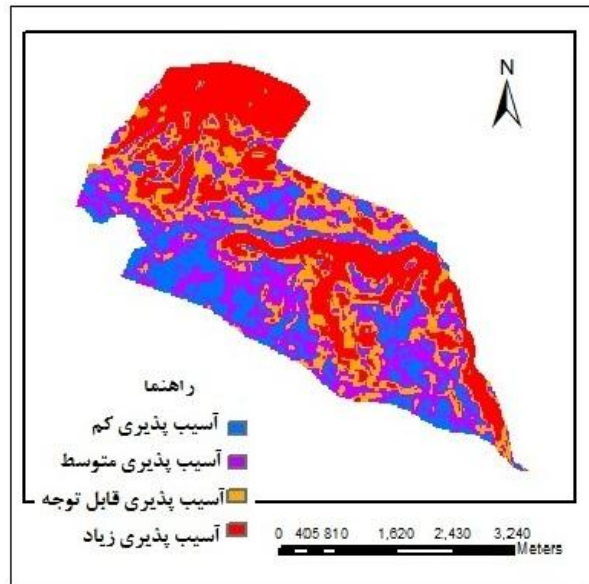
(منبع: فتحیم حاجی‌آقایی، ۱۳۸۴)

#### ۵-۸- آسیب‌پذیری ناشی از شیب

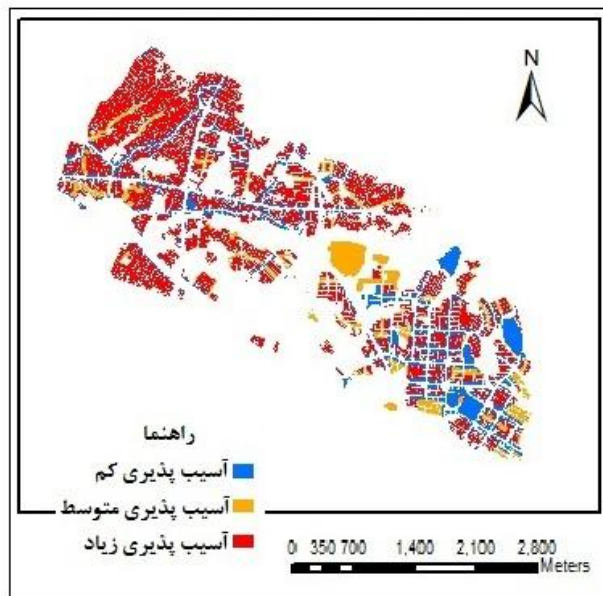
تخریب در زمین‌های با توپوگرافی پرشیب به‌ویژه در خط‌الرأس‌ها و قله‌ها به میزان چشمگیری افزایش می‌یابد. طبق ضوابط ساخت‌وساز، شیب مناسب برای شهرسازی ۵ تا ۶ درصد و حداکثر ۹ درصد است (جدول ۸). برپایه نتایج نقشه آسیب‌پذیری ناشی از شیب، ۳۲/۰۸ درصد از این محدوده با آسیب‌پذیری زیاد و ۱۸ درصد با آسیب‌پذیری کم روبه‌روست (شکل).

جدول ۸ کلاس‌های شیب و آسیب‌پذیری

شیب (درصد)	۰-۲	۲-۶	۶-۹	بیشتر از ۹
میزان آسیب‌پذیری	کم	متوسط	قابل توجه	زیاد



شکل ۵ آسیب‌پذیری ناشی از عدم دسترسی به معابر



شکل ۶ آسیب‌پذیری ناشی از شیب

### ۵-۹- آسیب‌پذیری ناشی از لیتولوژی

شرایط لیتولوژیکی از نظر رفتار در برابر امواج لرزه‌ای، یکی از مهم‌ترین پارامترهای محیطی در رخداد زلزله است (Shah et al., 2004)؛ به‌گونه‌ای که هرچه سری زمین‌شناسی سخت‌تر باشد، باعث کم شدن توان انتقال موج زلزله و در نتیجه تضعیف قدرت تخریبی زلزله می‌شود (Coburn & Spence, 2003). جدول شماره ۹ آسیب‌پذیری براساس ساختار زمین‌شناسی را نشان می‌دهد. براساس شکل شماره ۷، ۳۹/۷۹ درصد از محدوده مورد مطالعه دارای آسیب‌پذیری کم و ۰/۵۸ درصد دارای آسیب‌پذیری زیاد است (شکل ۸).

جدول ۹ کلاس‌های لیتولوژی و آسیب‌پذیری

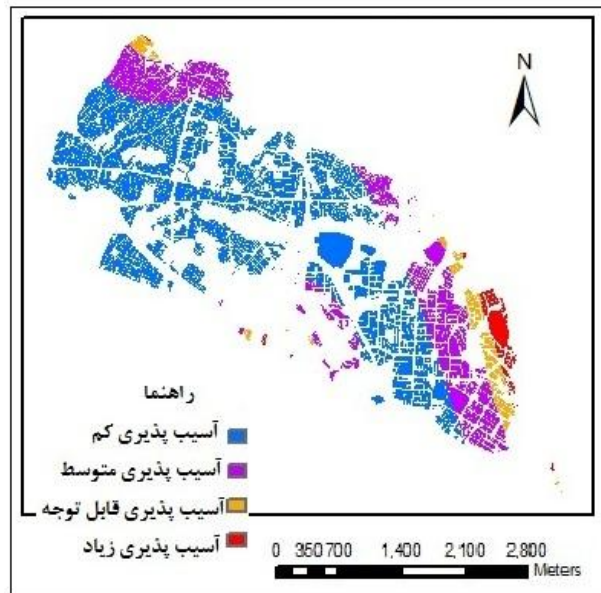
ساختار زمین‌شناسی	کنگلومرای نیمه‌سخت	ماسه‌سنگ و مارن قرمز	پادگانه آبرفتی جوان
میزان آسیب‌پذیری	کم	متوسط	نسبتاً زیاد

### ۵-۱۰- آسیب‌پذیری ناشی از نزدیکی به گسل

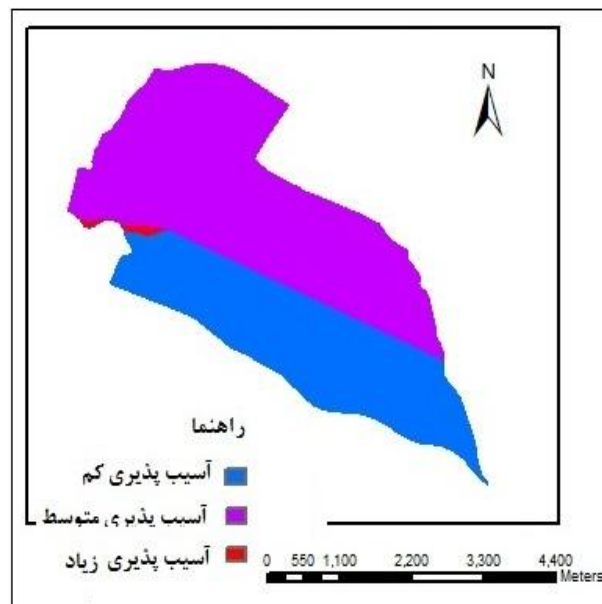
هرچه فاصله ساختمان‌ها از گسل موجود کمتر باشد، آسیب‌پذیری بیشتر خواهد بود و برعکس. کارشناسان زلزله حداقل فاصله از گسل را ۳۰۰ متر در نظر گرفته‌اند تا رفتار سازه‌ها مانند سازه‌ها در نقاط دور از گسل باشد. براساس نقشه، ۳/۰۳ درصد محدوده مورد مطالعه دارای آسیب‌پذیری زیاد و ۶۸/۵۱ درصد دارای آسیب‌پذیری کم است (جدول ۱۰ و شکل ۸).

جدول ۱۰ کلاس‌های فاصله از گسل و آسیب‌پذیری

فاصله از گسل (متر)	۰ - ۳۰۰	۳۰۰ - ۵۰۰	۵۰۰ - ۱۰۰۰	بیشتر از ۱۰۰۰
میزان آسیب‌پذیری	زیاد	نسبتاً زیاد	متوسط	کم



شکل ۷ آسیب پذیری ناشی از لیتولوژی



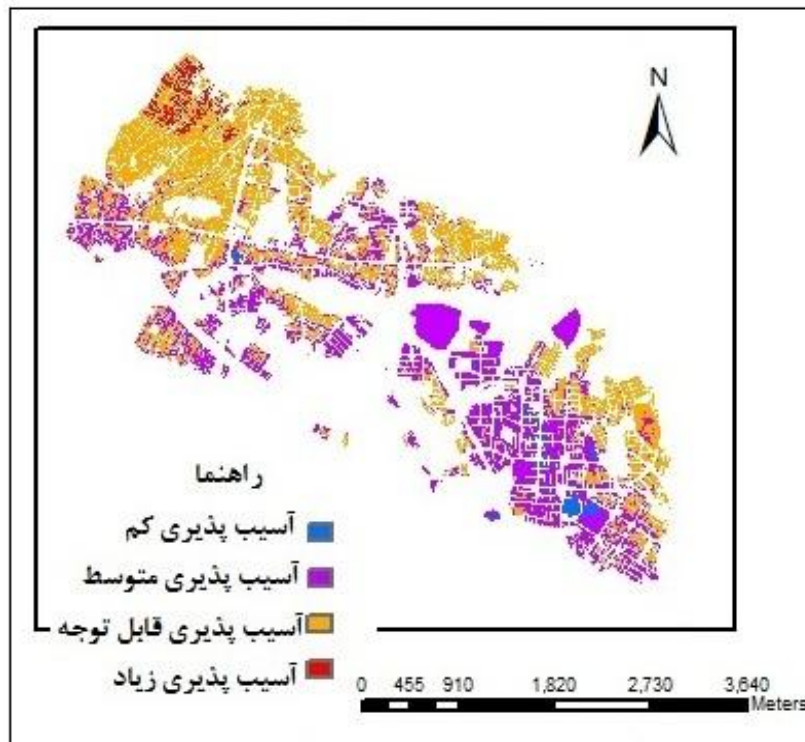
شکل ۸ آسیب پذیری ناشی از نزدیکی به گسل

## ۶- تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای تعیین میزان آسیب‌پذیری کلی منطقه مورد مطالعه در برابر زلزله، نقشه‌های تولیدشده باید وزن‌دهی و روی هم‌گذاری شوند. جهت تعیین وزن هریک از معیارها از طریق مقایسه‌های زوجی، وزنی بین ۱ تا حداکثر ۹ در نظر گرفته شد. با اعمال مدل ارزیابی چندمتغیره فضایی در محیط GIS، وزن هریک از شاخص‌های مؤثر بر آسیب‌پذیری مشخص، (نرمال‌شده بین صفر تا یک) و بر نقشه معیار مربوط اعمال شد (جدول ۱۱). در مرحله بعدی با اعمال وزن‌های مربوط، نقشه‌ها در محیط GIS با هم تلفیق و نقشه نهایی با عنوان نقشه میزان آسیب‌پذیری ناشی از زلزله احتمالی تولید شد (شکل ۹). در این نقشه، کل منطقه در چهار درجه: آسیب‌پذیری کم، متوسط، قابل توجه و زیاد نمایش داده شد.

جدول ۱۱ وزن عوامل مؤثر بر آسیب‌پذیری ناشی از زلزله به روش AHP

وزنها	شاخص‌های آسیب‌پذیری
۰/۳۷۰۲	فاصله از گسل
۰/۲۲۴۲	خسارت وارد بر ساختمان
۰/۱۴۱۹	ساختار زمین‌شناسی
۰/۰۸۸۶	دسترسی به شبکه معابر
۰/۰۸۸۶	شیب
۰/۰۴۸۴	تراکم جمعیتی
۰/۰۳۸۱	دسترسی به فضای باز



شکل ۹ نقشه آسیب پذیری ناشی از ترکیب متغیرها

## ۷- نتیجه گیری

با توجه به اینکه بیشتر تصمیم‌ها در حوزه شهر و شهرسازی و از جمله در این تحقیق با فضا و مکان سروکار دارد و عوامل متعددی بر موضوعات مکانی تأثیرگذارند؛ براساس یافته‌های تحقیق حاضر، استفاده از روش‌های تحلیل چندمعیاره در تلفیق با GIS می‌تواند ابزار قدرتمندی برای یکپارچه کردن اطلاعاتی با ساختارهای متفاوت و تصمیم‌گیری در این حیطه باشد. در این تحقیق، با تلفیق GIS و MCE برای برآورد میزان آسیب‌پذیری ناشی از زلزله احتمالی در منطقه یک شهر تبریز، نقشه نهایی آسیب‌پذیری تهیه شد. براساس این نقشه، ۱/۹۸ درصد منطقه مطالعاتی جزء محدوده با آسیب‌پذیری کم، ۴۰/۷۷ درصد جزء محدوده با آسیب‌پذیری متوسط، ۵۴/۲۴ درصد دارای آسیب‌پذیری قابل توجه



و ۲/۳ درصد جزء محدوده آسیب زیاد هستند. در این میان، بیشترین خطرها متوجه محله‌های شمالی و حاشیه‌نشین است. این محله‌ها که از بیشترین تراکم جمعیتی و بافت ریزدانه برخوردارند، اغلب فاقد بناهای محکم‌اند و بدون برنامه‌ریزی اصولی و به‌صورت خودرو ساخته شده‌اند و دارای معابر ارتباطی بسیار تنگ و کم‌عرض هستند. این مناطق شامل محله‌های سیلاب و ملازینال هستند. بخشی از مناطق شمال‌شرقی و شرقی منطقه یک در محله‌های صالح‌آباد، کوی وحدت و بخش‌هایی از مجتمع مسکونی فرهنگ‌شهر نیز جزء محدوده با آسیب‌پذیری زیاد هستند. در این مناطق به‌دلیل توسعه شهر و ساخت‌وسازهای گسترده در حریم گسل تبریز و نیز برخورد با واحدهای توپوگرافی و ژئومورفولوژی و تغییر کاربری (تبدیل مناطق شیب‌دار به مناطق مسکونی و جاده) که با بارگذاری و باربرداری و تغییر هندسه شیب همراه است، بر دینامیسم و پویایی دامنه‌ها افزوده شده و در کنار خطر ناشی از زلزله، با احتمال قوی زمین‌لغزه نیز مواجه‌اند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد افزایش مقادیر متغیرهایی مانند شیب زمین، تراکم جمعیت، عمر ساختمان‌ها و فاصله از فضاها، باز باعث افزایش میزان آسیب‌پذیری می‌شود. درمقابل، افزایش مقدار متغیرهایی نظیر فاصله از گسل، مساحت قطعات و دسترسی آسان به معابر در کاهش آسیب‌پذیری مؤثرند.

## ۸- منابع

- احدنژاد، محسن، ابوالفضل مشکینی و بتول نوری، «ارزیابی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های حاشیه‌ای و غیررسمی در برابر زلزله با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (نمونه موردی: شهر زنجان)» در اولین کنفرانس GIS شهری، دانشگاه شمال، ۱۳۸۶.
- احدنژاد، محسن، مدل‌سازی آسیب‌پذیری شهرهای ایران در برابر زلزله، نمونه موردی: زنجان، رساله دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تهران، ۱۳۸۸.



- بحرینی، سید حسن و همکاران، برنامه‌ریزی کاربری زمین در مناطق زلزله‌خیز، نمونه: شهرهای منجیل، لوشان و رودبار، تهران، انتشارات بنیاد مسکن انقلاب اسلامی، ۱۳۷۵.
- جعفری، عباس، نقشه‌خوانی گیتاشناسی، تهران: گیتاشناسی، ۱۳۷۲.
- حبیبی، کیومرث و محمدجواد کوهساری، «تهیه مدلی یکپارچه به‌وسیله تلفیق روش تصمیم‌گیری چندمعیاره با GIS به‌منظور حل مسائل تصمیم‌گیری شهرسازی (نمونه موردی: انتخاب سایت بهینه برای استقرار تجهیزات جدید شهری)» در همایش ژئوماتیک، ۱۳۸۶.
- حاتمی‌نژاد، حسین، حمید فتحی و فرشید عشق‌آبادی، «ارزیابی میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای در شهر (نمونه موردی: منطقه ۱۰ شهرداری تهران)»، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، ش ۶۸، صص ۱-۲۰، ۱۳۸۸.
- رنج‌آزما، فاطمه، تحلیل آسیب‌پذیری مسکن شهری در برابر خطر زلزله (مطالعه موردی: مسکن منطقه ۸ تبریز)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، ۱۳۹۰.
- زنگی‌آبادی، علی، راحله صنیعی و حمیدرضا وارثی، «تحلیل آماری خطرپذیری مناطق ۱۱ و ۱۲ شهر تهران در برابر زلزله»، فصلنامه مدرس علوم انسانی، ش ۳، صص ۹۲-۱۱۱، ۱۳۸۷.
- زارع، مهدی، «خطر زمین‌لرزه و ساخت‌وساز در حریم گسل شمال تبریز و حریم گسلش گسل‌های زمین‌لرزه‌ای ایران»، پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ش ۲ و ۳، صص ۴۶-۵۷، ۱۳۸۰.
- شمسی‌پور، علی‌اکبر و محمد شیخی، «پهنه‌بندی مناطق حساس و آسیب‌پذیری در ناحیه غرب فارس، با روش طبقه‌بندی فازی و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی»، پژوهش‌های جغرافیایی، ش ۷۳، صص ۵۳-۶۸، ۱۳۸۹.
- شهابی، هیمن، محمدحسین قلیزاده و هادی نیری، «پهنه‌بندی زمین‌لرزه با روش تحلیل چندمعیاره فضایی»، فصلنامه جغرافیا و توسعه، ش ۲۱، صص ۶۵-۸۰، ۱۳۹۰.

- فنخیم حاجی‌آقایی، نسیم، مدیریت بحران زلزله در نواحی شهری در مرحله قبل از وقوع با استفاده از *SDSS* در منطقه ۱۰ شهرداری تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ۱۳۸۴.
- قدسی‌پور، حسن، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی *AHP*، تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۸.
- منزوی، مهشید و همکاران، «آسیب‌پذیری بافت‌های فرسوده بخش مرکزی شهر تهران در برابر زلزله»، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، ش ۷۳، صص ۱-۱۸، ۱۳۸۹.
- مهندسین مشاور تهران‌یادیر، مطالعات ریزپهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای شهر تبریز، ج ۱، ۱۶ و ۱۷، طرح مطالعات شهرسازی، سازمان مسکن و شهرسازی آ. ش، ۱۳۸۸.
- مالچفسکی، یاچک، سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم‌چندمعیاری، ترجمه اکبر پرهیزگار و عطا غفاری گیلانده، تهران: سمت، ۱۳۸۵.
- ناطق‌الهی، فریبرز، مدیریت بحران زلزله ابرشهرها با رویکرد به برنامه مدیریت بحران زلزله شهر تهران، تهران: پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی، ۱۳۷۹.
- ولیزاده کامران، خلیل، پهنه‌بندی خطر زلزله با استفاده از سنجش از دور و *GIS* در شهرستان تبریز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۱۳۸۰.
- Coburn, A. & R. Spence, "Earthquake Protection", *Journal of Seismology*, Vol. 7, No. 2, Pp. 541-552, 2003.
- Haryo Nugroho, B., *Urban Risk Analysis Based on Earthquake Hazard Vulnerability Area in Bantul Regency*, MSc. Thesis, Natural Resources Management Program, Bogor Agriculture University, Bogor, 2011.
- Keller, E. A. & N. Pinter, *Active Tectonics: Earthquake Uplift and Landscape*, Newjersy, Prentic Hall, 2002.
- Murack, B. W., B. J. Skinner & S. C. Porter, "Dangerous Earth: An Introduction to Geologic Hazards", Wiley INC., *Computers and Geosciences*, Vol. 30, No. 6, Pp. 637-646, 1997.



- Rashid, T. & J. Weeks, "Assessing Vulnerability to Earthquake Hazards through Spatial Multi Criteria Analysis of Urban Areas", *INT. J. Geographical Information Science*, Vol. 17, No. 6, Pp. 547-576, 2003.
- Shah, H., R. Boyle & W. Dong, "Geographic Information System and Artificial Intelligence and Application for Seismic Hazard", *Proceeding of the 4th International Conference on Seismic Zonation*, V. 1, Pp. 487-517, Stanford, CA, August 26-29, 1991.