# پهنه‌بندی خطر زلزله با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: کلان‌شهر تبریز)

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۱۱/۱۱ تاریخ پذیرش نهایی مقاله:۹۶/۰۷/۲۵

**حجت‌الله پاشاپور*(دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان تهران، ایران)**
**رامین قربانی (دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران)**
**ابراهیم فرهادی (دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران)**
**عباس درودی‌نیا (دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تربیت مدرس)**

## چکیده

کشور ایران از کشورهای خطرپذیر در زمینهٔ بلایای طبیعی به‌ویژه زلزله است. قرارگیری بر روی کمربند کوهزایی آلپ ـ هیمالیا و وجود فرآیندهای فعال زمین‌شناسی و صفحه‌ای، زلزله را به‌عنوان یک خطر بالقوه مطرح ساخته است. در این میان، استقرار بیشتر جمعیت ایران در کلان‌شهرها لزوم ایمنی هرچه بیشتر فضاهای شهری را مطرح ساخته است. یکی از فضاهای شهری بسیار مهم در این رابطه کلان‌شهر تبریز است. قرارگیری این شهر بر روی گسل‌های فعال منطقه به‌ویژه گسل تبریز لزوم اتخاذ رویکردهای ایمنی شهرسازی را مطرح می‌سازد. این مقاله از نظر هدف کاربردی و از نظر روش توصیفی ـ تحلیلی است. برای انجام این پژوهش از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و نرم‌افزار Arc GIS استفاده‌شده است. در این راستا ۱۲ معیار در دو بخش طبیعی و انسانی مشخص و پردازش شدند و نقشه خطرپذیری زلزله تهیه شد. نتایج نشان می‌دهد مناطق مرکزی، غرب و جنوب غربی با مساحت ۱۳۹۶۹/۶ هکتار (بیش از نیمی از مساحت شهر) یعنی ۵۹/۳ درصد این شهر در پهنه لرزه‌خیزی با ریسک بسیار بالا و بالا قرار دارند و کاملاً مستعد زلزله هستند و تنها بخش‌های شمالی این شهر به‌صورت منفرد مصون از زلزله است؛ اما با توجه به آن‌که عمق و دامنه زلزله محدود به حریم خاصی نیست، طبیعتاً رخداد زلزله در این شهر مناطق شمالی را نیز در بر خواهد گرفت. از این رو التزام به قوانین و مقررات ساخت‌وساز، مکان‌یابی توسعه شهری، فضاهای زیست و فعالیت در این کلان‌شهر اهمیت ویژه‌ای می‌یابد.

**واژه‌های کلیدی:** پهنه‌بندی زلزله، خطرپذیری، کلان‌شهر تبریز، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، GIS.

* نویسنده رابط: geo.pashapour@yahoo.com

## مقدمه و بیان مسئله

در سرتاسر جهان، نگرانی در مورد وقوع مخاطرات طبیعی روزبه‌روز در حال افزایش بوده و حجم وسیعی از توجهات را در رسانه‌ها و سازمان‌های کمک‌رسان به خود اختصاص داده است (Birkmann, 2007: 1). بیشترین تعداد حوادث در سال ۲۰۰۰ به ثبت رسیده (۸۵۰ حادثه) که ۱۴ درصد آن به زمین‌لرزه و رانش زمین اختصاص داشته است. علاوه بر این در این سال از هر ۳۰ نفر ۱ نفر در سرتاسر جهان از بلایای طبیعی متأثر گشته و این در حالی است که از حدود ۹۲۷۰ نفر تلفات جانی، سهم زمین‌لرزه در حدود ۴ درصد بوده است (Armaş, 2006: 1).

برآورد شده است که در هزاره سوم، زمین‌لرزه‌هایی عظیم شهرها و کلان‌شهرهای واقع در نواحی لرزه‌خیز شناسایی شده را درخواهند نوردید که این حوادث در شهرهای کشورهای درحال توسعه، جایی که ساختارهای مقاوم در برابر زلزله وجود نداشته و یا به‌خوبی تحکیم نیافته است، خسارات جبران‌ناپذیری را به همراه خواهند داشت (Blaike et al, 1994). هر سال بر اثر وقوع بلایای طبیعی و حوادث غیرطبیعی (سوانح، تصادفات، جنگ و غیره) میلیون‌ها نفر در سراسر جهان جان خود را از دست می‌دهند. علی‌رغم تلاش‌هایی که از سوی مجامع علمی و بین‌المللی در جهت کنترل، کاهش و پیشگیری از بلایا و حوادث به عمل می‌آید، اما متأسفانه باگذشت زمان، شدت و وسعت این فجایع و شمار قربانیان افزایش پیدا می‌کند. زمین‌لرزه به علت گستردگی قلمرو، کثرت وقوع، غیرقابل پیش‌بینی بودن و همچنین وسعت و شدت خساراتی که وارد می‌سازد، یکی از شناخته‌شده‌ترین و مخرب‌ترین بلایای طبیعی جهان است. هر روز وقوع صدها زمین‌لرزه در نقاط جهان به ثبت می‌رسد، اما تعداد کمی از آن‌ها با آثار تخریبی فراوان همراه می‌باشد. نقشه پهنه‌بندی خطر نسبی زمین‌لرزه در ایران نشان می‌دهد که بیشتر نقاط شهری و غیرشهری کشور در نواحی با خطر نسبی زیاد قرارگرفته‌اند (سرور و کاشانی اصل، ۱۳۹۵: ۹۸). ساختمان زمین‌شناسی فلات ایران و حواشی آن به سیستم کمربند چین‌خورده دوران سوم زمین‌شناسی ارتباط دارد که از نظر ذخایر معدنی و اقتصادی یک عامل بالقوه و مثبت و از نظر تکامل لرزه‌خیزی یک عامل منفی می‌باشد (رمضانی گورابی، ۱۳۷۱: ۱۰۷).

کشور ما در قسمت میانی کمربند کوهزایی آلپ هیمالیا می‌باشد (عبدالهی و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۶۶؛ فال سلیمان و همکاران، ۱۳۹۱: ۷۵)؛ و این حرکات هنوز به اتمام نرسیده و تعادل نهایی برقرار نشده است (نگارش، ۱۳۸۴: ۹۳). صفحهٔ عربستان از جنوب غربی و هندوستان از شرق و جنوب شرقی و سیبری از شمال شرقی به ایران فشار وارد می‌کنند و

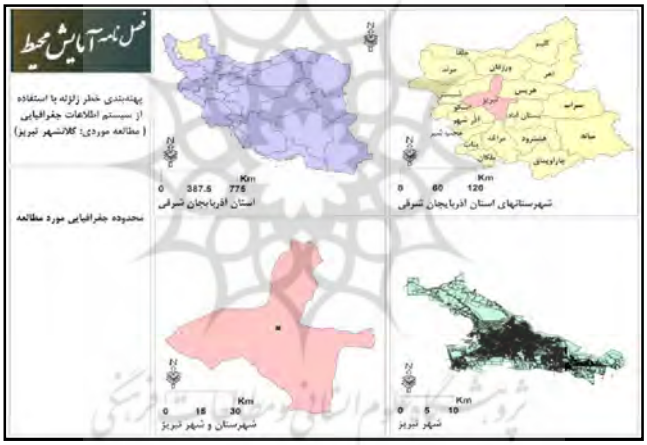
مقاومت ایران در مقابل فشارهای وارده منجر به بروز گسل‌ها و شکستگی‌های متعددی شده است و فعالیت این گسل‌ها باعث گردیده که ایران از مناطق مهم زلزله‌خیز دنیا محسوب شود. انرژی ناشی از فشارها در مناطق گسلی ذخیره و پس از رها شدن به‌صورت امواج مخرب زلزله موجبات نابودی و تخریب شهرها را فراهم می‌سازد که زلزله‌های ایران بیشتر به خاطر فعالیت همین گسل‌هاست (زمردیان، ۱۳۸۱: ۱۲۱)؛ وقوع بیست زلزله‌ی شدید و مخرب در قرن بیستم با ۱۲۰۰۰۰ کشته و روند رو به افزایش آن در ۲۵ سال اخیر نشان‌دهنده‌ی لرزه‌خیزی و آسیب‌پذیری بالای کشور ما در برابر زلزله است (قنبران و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۲۸؛ پارسی زاده و همکاران، ۱۳۷۶: ۱۶۸). که نشان می‌دهد هیچ نقطه‌ای از آن از جمله بسیاری از شهرهای ایران از خطر زلزله در امان نیست (نوری، ۱۳۷۶: ۲۶).

بر اساس پژوهش‌های وزارت مسکن و شهرسازی در طرح کالبد ملی، ۵۰ درصد جمعیت شهرنشین کشور در پهنه‌هایی زندگی می‌کنند که دارای بیشترین خطر زلزله‌خیزی است (فرجی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۴۳). به عبارتی نقشه پهنه‌بندی خطر نسبی زلزله در ایران گویای آن است که بخش اعظم مناطق مسکونی کشور در محدوده خطر نسبتاً بالا و قریب به تمام سرزمین در محدوده خطر نسبتاً متوسط رو به بالا قرار دارد و تنها در محدوده کوچکی از کشور (آبادان، خرمشهر، بندر امام خمینی، ماهشهر و هویزه)، خطر نسبی زلزله پایین است (زیاری، ۱۳۸۷: ۳۳۴). در این میان کلان‌شهر تبریز نیز به عنوان بزرگترین شهر و یکی از پرجمعیت‌ترین شهرهای شمال غرب کشور از مخاطره زلزله مصون نبوده و ضرورت نگاه پیشگیرانه در برنامه‌ریزی شهری حکم می‌کند که با نگاهی پیش‌بینی محور به ارزیابی وضع وجود پرداخته و با توجه به نتایج و اهداف؛ برنامه‌ریزی‌ها را به گونه‌ای جهت داد که شهر و شهروندان را از هرگونه آسیب احتمالی دور نگاه داشت؛ به همین منظور پژوهش حاضر به بررسی و پهنه‌بندی شهر تبریز به لحاظ آسیب‌پذیری‌های احتمالی از زلزله پرداخته است.

## محدوده موردمطالعه

شهر تبریز، مرکز استان آذربایجان شرقی به‌عنوان بزرگ‌ترین شهر شمال غرب ایران در غرب استان آذربایجان شرقی؛ در موقعیت جغرافیایی ′۵۰ و °۴۵ تا ′۳۶ و °۴۶ طول شرقی و ′۴۲ و °۳۷ تا ′۲۹ و °۳۸ عرض شمالی واقع‌شده است. بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵ این شهر با مساحت ۲۵۰۵۹ هکتار جمعیتی در حدود ۱۷۷۳۰۳۳ نفر را در خود جای داده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). تبریز از سمت شمال به کوه‌های پکه‌چین و عون بن علی، از سمت شمال‌شرق به کوه‌های گوزنی و بابابغی، از سمت شرق به گردنهٔ پایان و از سمت جنوب به

دامنه‌های رشته‌کوه سهند؛ از سمت غرب به زمین‌هـای همـوار دشـت تبریـز و شـوره‌زارهـای تلخه‌رود (آجی‌چای) محدود شده و به شکل یک چالهٔ نسبتاً بزرگ یا یـک جلگـهٔ بـین‌کـوهی درآمده‌است. این شهر در ناحیه‌ای زلزله‌خیز واقع شده؛ و در طول تـاریخ بارهـا بـا زلزلـه‌هـای مهیبی مواجه شده‌است. دلیل وقوع زمین‌لرزه‌هـای بـزرگ و مخـرب رشـته‌کـوه‌هـای البـرز و زاگرس و شهر تبریز که محل تلاقی این دو رشته کوه مـی‌باشـد، قرارگـرفتن آن‌هـا در مسـیر کمربند آلپاید[1] است. از جمله گسله‌های بارز آذربایجان، «گسلهٔ شمال تبریز» است. این گسله که به موازات جادهٔ اصلی تبریز- بستان‌آباد تا میانه امتداد یافته، مسبب زمین‌لرزهٔ سال ۱۷۲۱ میلادی با شدت ۷/۶ ریشتر می باشد. هرچند ایـن گسـله در سـدهٔ حاضـر فعالیـت مشخصـی نداشته‌است؛ ولی شواهدی مبنی بر امکان تجدید حرکت آن وجود دارد. اطلاعات آمـاری نیـز نشان می‌دهد که دورهٔ بازگشت زمین‌لرزه‌های شدید و مخرب در تبریز می‌تواند تا حدود ۲۶۰ سال نیز برسد (ظهوریان ایزدپناه، ۱۳۸۶).



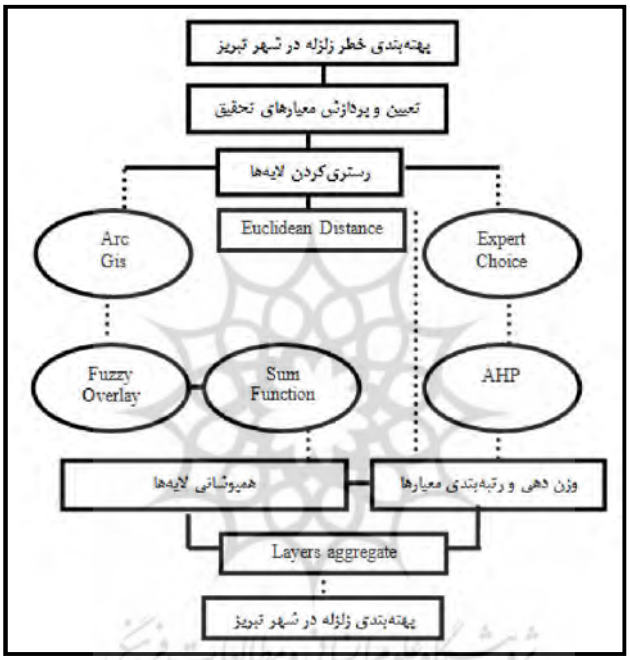

شکل ۱: موقعیت جغرافیایی شهر تبریز
(مأخذ: مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵ و ترسیم: نگارندگان)

## روش پژوهش و تجزیه‌وتحلیل تحقیق

این تحقیق از نظـر هـدف، کـاربردی و از نظـر روش توصـیفی ـ تحلیلـی اسـت. روش جمع‌آوری داده‌ها اسنادی و کتابخانه‌ای می‌باشد. روش تجزیه‌وتحلیل داده‌ها برای وزن‌دهی به معیارها فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی[2] و ابزار تحلیل، GIS و نوار ابزار تحلیل فضـایی اسـت. در

[1] Alpide belt
[2] Analytic hierarchy process (AHP)

این پژوهش با استفاده از اطلاعات و نقشه‌های اخذ شده از سازمان‌های راه و شهرسازی و شهرداری و همچنین سایر لایه‌های اطلاعاتی با توجه به معیارهای تحقیق که اشاره خواهد شد در محیط نرم‌افزاری Arc Gis 10.2 تهیه شدند. پس از این که تجزیه‌وتحلیل‌های لازم روی این لایه‌ها انجام گرفت، به فرمت‌های متناسب رستر تبدیل شدند. در نهایت با استفاده از تلفیق و همپوشانی لایه‌ها بر اساس مدل‌های مذکور نقشه نهایی که نشان‌دهنده پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهر تبریز در برابر خطر زمین‌لرزه بود استخراج شد.




شکل ۲: فرآیند پهنه‌بندی خطر زلزله در کلان‌شهر تبریز
(مأخذ: نگارندگان)

## تجزیه‌وتحلیل معیارهای تحقیق

ابتدا با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای، اعم از مطالعه متون مرتبط با موضوع، بررسی تحقیقات پیشین و طرح‌های انجام‌شده و استفاده از نظرات متخصصان در این زمینه معیارهای مؤثر در آسیب‌پذیری شهر در برابر زمین‌لرزه شناسایی شد. با توجه به دید جامع و سیستمی این پژوهش نسبت به مقوله زمین‌لرزه معیارهای محیطی و انسانی توأمان و در کنار هم بررسی شدند. در نهایت ۱۲ معیار انتخاب شدند که با بررسی و تحلیل‌های انجام‌شده هر معیار نیز به

زیر معیارهایی تقسیم شدند. در مرحله بعد با استفاده از نقشه‌های تولیدشده لایه‌های اطلاعاتی مربوط به معیارهای منتخب تهیه شد.

## داده‌های مورد استفاده و نقشه‌های معیار

۱- لایه جمعیتی و نقاط روستایی؛ ۲- لایه جمعیتی و نقاط شهری؛ ۳- لایه و نقشه پروژه‌های عمرانی منطقه؛ ۴- نقشه شبکه‌های ارتباطی شهر و منطقه؛ ۵- نقشه خاک منطقه (تیپ‌های اصلی و فرعی)؛ ۶- نقشه مناطق حفاظت‌شده؛ ۷- نقشه رقومی ارتفاع در سطح شهر و شهرستان؛ ۸- نقشه و تعیین حوضه‌های اصلی و زیر حوضه‌ها؛ ۹- نقشه نقاط زمین‌لغزش منطقه؛ ۱۰- نقشه تیپ زمین؛ ۱۱- نقشه گسل‌های منطقه؛ ۱۲- نقشه فرسایش خاک منطقه؛ ۱۳- نقشه کاربری اراضی منطقه، ۱۴- نقاط و جهت شیب، ۱۵- واحدهای زمین‌شناسی، ۱۶- کاربری اراضی شهری، ۱۷- تراکم جمعیت، ۱۸- فاصله از مراکز خطر.

جدول ۱: معیارهای محیطی مورد استفاده در تحلیل و پهنه‌بندی خطر زلزله شهر تبریز

| معیارها | زیرمعیارها | آسیب‌پذیری بسیار بالا | آسیب‌پذیری بالا | آسیب‌پذیری متوسط | آسیب‌پذیری پایین | آسیب‌پذیری بسیار پایین |
|---|---|---|---|---|---|---|
| فاصله از خطوط گسل (زارع، ۱۳۸۰: ۴۶) | ۲۰۰۰ متر | * | | | | |
| | ۴۰۰۰ متر | | * | | | |
| | ۵۰۰۰ متر | | | * | | |
| | ۶۰۰۰ متر | | | | * | |
| | ۶۰۰۰ متر و بیشتر | | | | | * |
| واحدهای زمین‌شناسی (روستایی، ۱۳۹۰: ۳۱) | آبرفت عهد حاضر | * | | | | |
| | پادگانه‌های آبرفتی | | * | | | |
| | مارن سبز و خاکستری | | | * | | |
| | ماسه‌سنگ و مارن | | | | * | |
| | کنگلومرای نیمه سخت | | | | | * |
| شیب | ۳ ـ ۰ درصد | | | | | * |
| | ۶ ـ ۳ درصد | | | | * | |
| | ۹ ـ ۶ درصد | | | * | | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ۱۵ ـ ۹ درصد | | ❊ | | | |
| | ۱۵ درصد به بالا | ❊ | | | | |
| جهت شیب (به‌تناسب اسکان جمعیت در شهر تبریز) | شمالی | | ❊ | | | |
| | جنوبی | | | ❊ | | |
| | شرقی | ❊ | | | | |
| | غربی | ❊ | | | | |
| ارتفاع (متر) | ۰ ـ ۵۰۰ | ❊ | | | | |
| | ۵۰۰ ـ ۱۰۰۰ | | ❊ | | | |
| | ۱۰۰۰ ـ ۱۵۰۰ | | | ❊ | | |
| | ۱۵۰۰ ـ ۳۰۰۰ | | | | ❊ | |
| | ۳۰۰۰ متر و بیشتر | | | | | ❊ |
| فاصله از نقاط زمین‌لغزش (متر) | ۰ ـ ۵۰۰ | ❊ | | | | |
| | ۵۰۰ ـ ۱۰۰۰ | | ❊ | | | |
| | ۱۰۰۰ ـ ۲۰۰۰ | | | ❊ | | |
| | ۲۰۰۰ ـ ۵۰۰۰ | | | | ❊ | |
| | ۵۰۰۰ متر و بیشتر | | | | | ❊ |

مأخذ: (قنبری و همکاران، ۱۳۹۴ و نگارندگان)

جدول ۲: معیارهای انسانی مورداستفاده در تحلیل و پهنه‌بندی خطر زلزله شهر تبریز

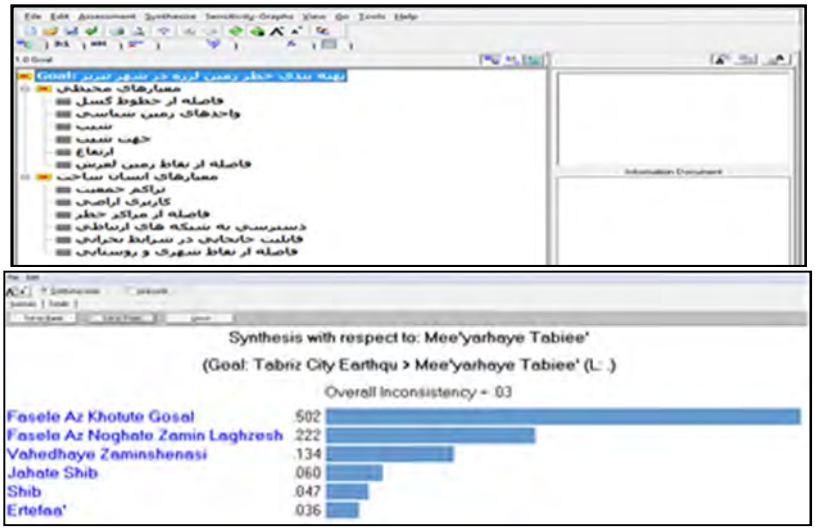
| معیارها | زیرمعیارها | آسیب‌پذیری بسیار بالا | آسیب‌پذیری بالا | آسیب‌پذیری متوسط | آسیب‌پذیری پایین | آسیب‌پذیری نسبتاً پایین |
|---|---|---|---|---|---|---|
| تراکم جمعیتی (نفر در هکتار) | ۱ ـ ۵۰ | | | | | ❊ |
| | ۵۱ ـ ۱۵۰ | | | | ❊ | |
| | ۱۵۱ ـ ۲۵۰ | | | ❊ | | |
| | ۲۵۱ ـ ۳۵۰ | | ❊ | | | |
| | ۳۵۱ ـ ۴۵۰ | ❊ | | | | |
| کاربری اراضی | کاربری‌های خطرزا | ❊ | | | | |
| | مسکونی | | ❊ | | | |
| | تجاری، خدماتی وغیره | | | ❊ | | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | بایر و فضای سبز | | | | ❋ | |
| فاصله از مراکز خطر (متر) | ۱ ـ ۵۰۰ | ❋ | | | | |
| | ۵۰۱ ـ ۱۰۰۰ | | ❋ | | | |
| | ۱۰۰۱ ـ ۱۵۰۰ | | | ❋ | | |
| | ۱۵۰۱ ـ ۲۰۰۰ | | | | ❋ | |
| | ۲۰۰۰ متر به بالا | | | | | ❋ |
| دسترسی به شبکه‌های ارتباطی (./) | ۰ ـ ۵ | ❋ | | | | |
| | ۵ ـ ۱۰ | | ❋ | | | |
| | ۱۰ ـ ۲۰ | | | ❋ | | |
| | ۲۰ ـ ۳۰ | | | | ❋ | |
| | ۳۰ ـ ۳۴ | | | | | ❋ |
| قابلیت جابجایی در شرایط بحرانی | بسیار بالا | | | | | ❋ |
| | بالا | | | | ❋ | |
| | متوسط | | | ❋ | | |
| | پایین | | ❋ | | | |
| | بسیار پایین | ❋ | | | | |
| فاصله از نقاط شهری و روستایی (کیلومتر) | ۰ ـ ۵ | ❋ | | | | |
| | ۵ ـ ۱۵ | | ❋ | | | |
| | ۱۵ ـ ۴۰ | | | ❋ | | |
| | ۴۰ ـ ۱۰۰ | | | | ❋ | |
| | ۲۰۰ و بیشتر | | | | | ❋ |

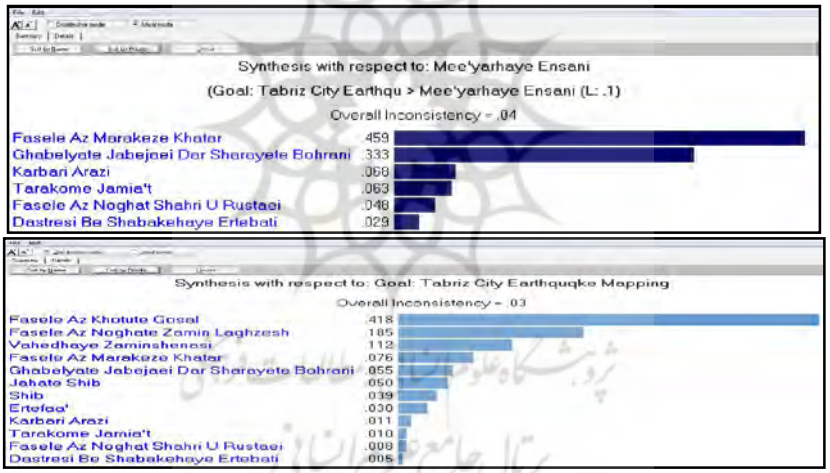
مأخذ: (قنبری و همکاران، ۱۳۹۴ و نگارندگان)

## فرایند مدل تحلیل سلسله‌مراتب

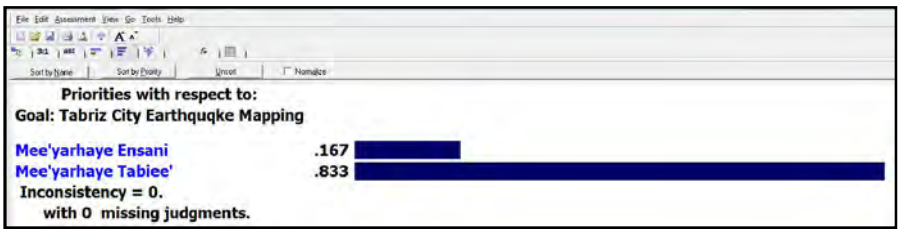
در فرایند مدل تحلیل سلسله‌مراتبی پس از تشکیل ماتریس مقایسات زوجی بر اساس مقیاس ۹ کمیتی (توماس ساعتی) همه معیارها در ارتباط باهم و به‌صورت دودویی بررسی و مقایسه شدند. سپس با نرمالیزه کردن ردیف‌های ماتریس، ضرایب اهمیت و امتیاز هر معیار مشخص شد. لازم به ذکر است که این فرایند در محیط Expert Choice انجام گرفت. ضریب ناسازگاری (CR) در این بررسی ۰/۰۳ بوده که نشانگر سازگاری قابل‌قبول است.



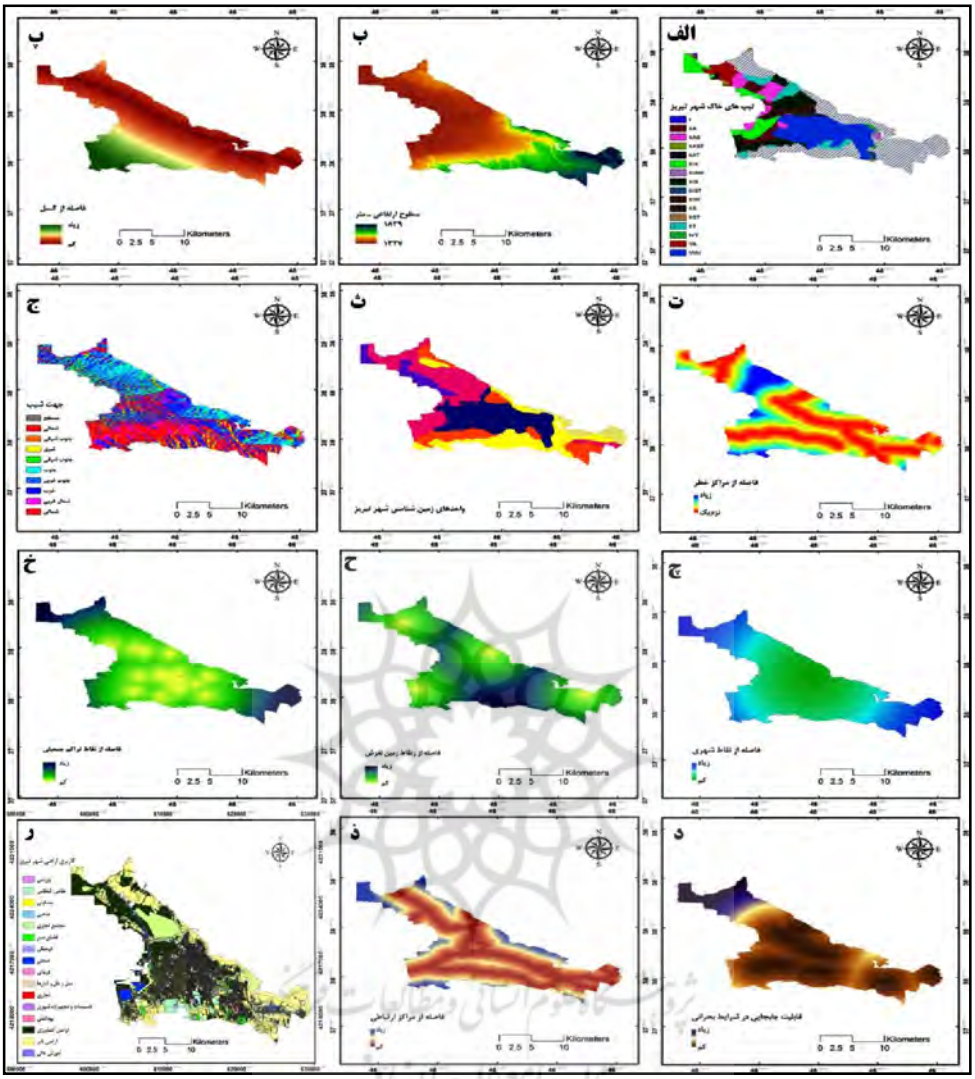

شکل ۳: تعریف معیارها و زیرمعیارها به همراه وزن معیارهای عوامل محیطی در نرم‌افزار **Expert Choice** (مأخذ: نگارندگان)



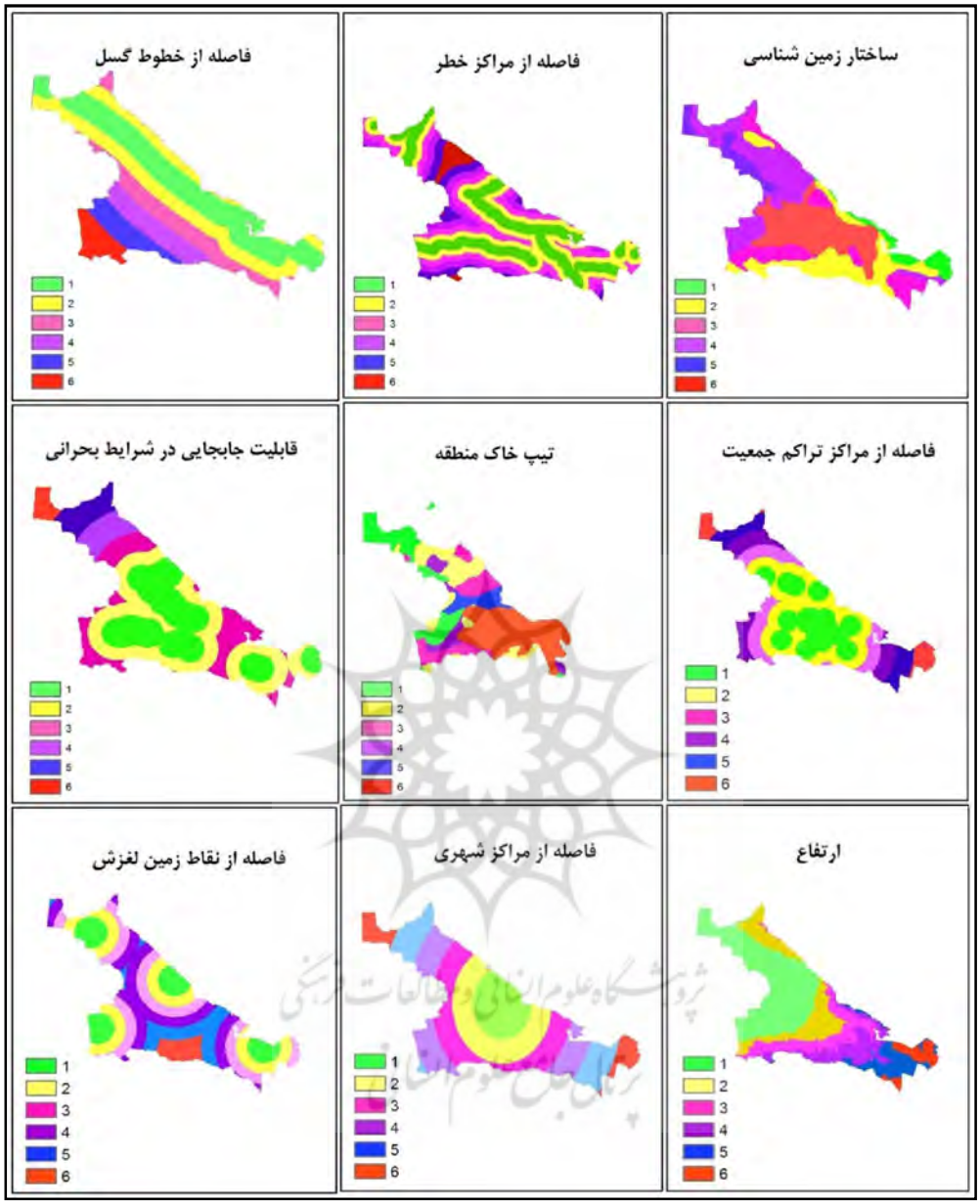

شکل ۴: وزن معیارهای عوامل انسانی به همراه وزن کلیه معیارهای انسانی و محیطی در نرم‌افزار **Expert Choice** (مأخذ: نگارندگان)




شکل ۵: مجموع وزن معیارهای عوامل انسانی و محیطی در نرم‌افزار **Expert Choice** (مأخذ: نگارندگان)




شکل ۶: الف: تیپ‌های خاک شهر تبریز؛ ب: سطوح ارتفاعی شهر تبریز؛ پ: فاصله از معیار گسل تبریز؛ ت: فاصله از مراکز خطر شهر؛ ث: واحدهای زمین‌شناسی شهر تبریز؛ ج: جهت شیب شهر تبریز؛ چ: فاصله از مراکز خطر شهر؛ ح: فاصله از نقاط زمین‌لغزش؛ خ: فاصله از نقاط تراکم جمعیتی؛ د: قابلیت جابجایی در شرایط بحرانی شهری تبریز؛ ذ: فاصله از مراکز ارتباطی شهر تبریز؛ ر: کاربری اراضی شهر تبریز(مأخذ: نگارندگان)

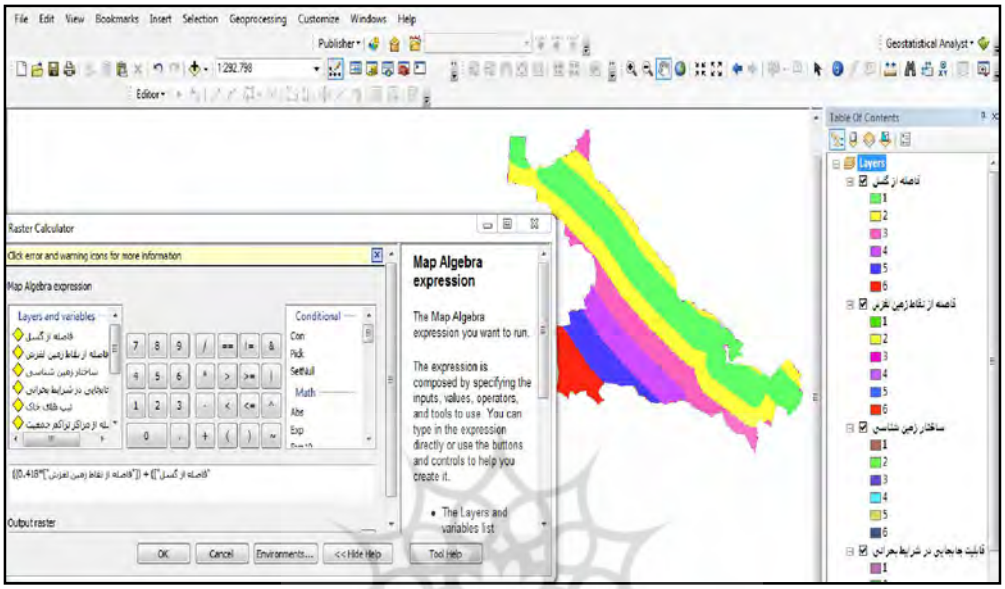



شکل ۷: طبقه‌بندی مجدد لایه‌ها به‌منظور محاسبه ضریب اهمیت هر معیار (مأخذ: نگارندگان)

در این مرحله به‌منظور محاسبه ضریب اهمیت هر یک از معیارها بـر روی نقشـه، ابتـدا لایه‌ها طبقه‌بندی مجدد[1] شدند و در پنجره بزار فضایی> محاسبه‌گر رستری[2] در وزن معیارها

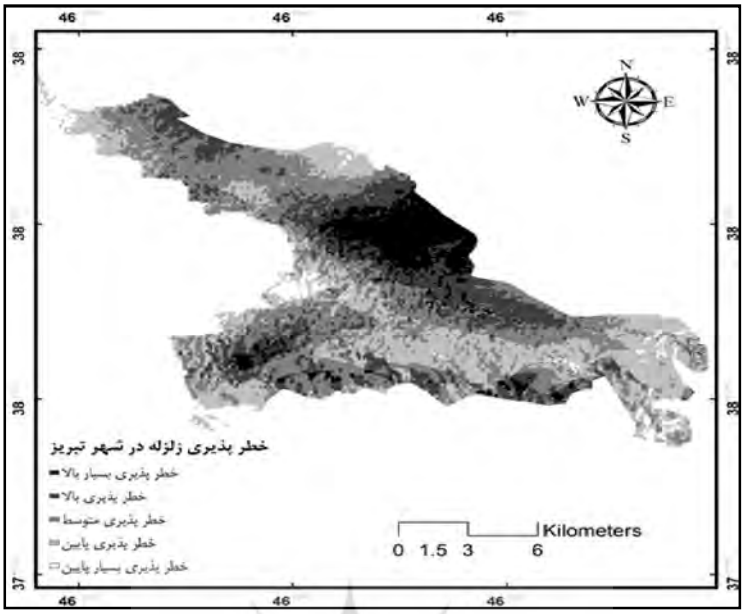
[1] Reclassify
[2] Raster Calculator

که قبلاً از طریق روش AHP به‌دست‌آمده بودند ضرب شدند تا نقشه پهنه‌بندی نهایی به دست آید.




شکل ۸: محاسبه ضریب اهمیت و پهنه‌بندی نهایی (مأخذ: نگارندگان)

همان‌طور که از شکل شماره ۹ مشخص است بر اساس نقشهٔ نهایی پهنه‌بندی خطرپذیری زلزله در شهر تبریز با استفاده از روش AHP، بیشتر مناطق این کلان‌شهر و به‌ویژه بخش مرکزی و بافت قدیمی آن در معرض خطرپذیری زلزله و ریسک بسیار بالا است. مهم‌ترین عامل طبیعی که در این فرآیند اثرگذار بوده و خواهد بود گسل تبریز است. در واقع عامل نزدیکی گسل تبریز به کمربند میانی شهر این منطقه را که مرکز شهر و بافتی تاریخی، قدیمی، فرسوده و بالطبع آسیب‌پذیر دارد را در محتمل وقوع بیشترین آسیب‌پذیری کرده است؛ به همین ترتیب در سایر مناطق مجاور نیز با شدت و ضعف این خطر وجود دارد؛ و نقشه نمایانگر این موضوع است که بر اساس نتایج کمتر محدوده‌ای در شهر وجود دارد که ریسک خطرپذیری از زلزله در آن وجود نداشته باشد.




شکل ۹: پهنه‌بندی نهایی خطرپذیری زلزله در شهر تبریز با استفاده از روش **AHP** (مأخذ: نگارندگان)

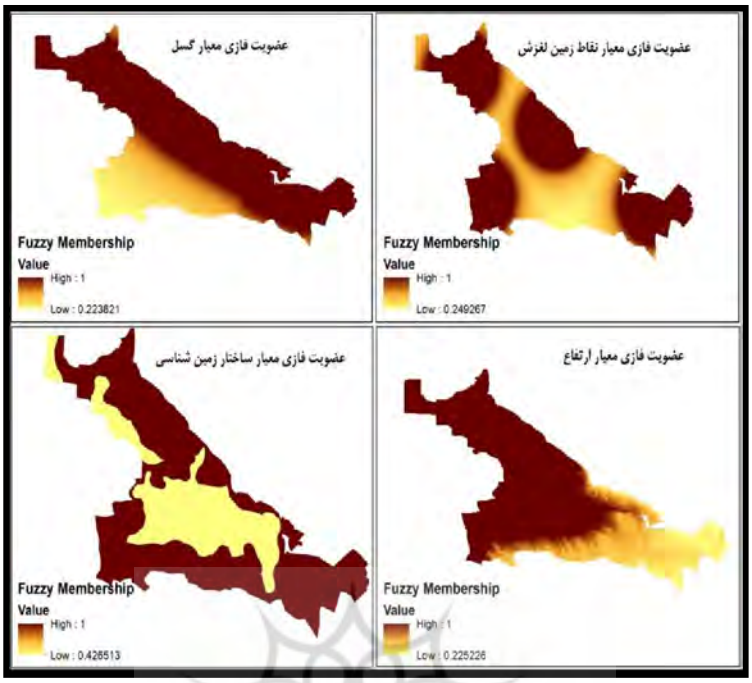
### شاخص همپوشانی (Overlay Index)

در این مدل ابتدا با مطالعه منابع و مطالعات پیشین به شناسایی، طبقه‌بندی و اولویت‌دهی معیارها پرداخته و پس از قرارگیری در مدل امتیازات هر معیار طبق جدول شماره ۳ استخراج شد.

### همپوشانی فازی (Fuzzy Overlay)

در این مرحله کلیه لایه‌های اطلاعاتی بر اساس عامل فاصله اقلیدسی[1] رستری و فازی شده و با تعریف تابع عضویت فازی[2] از طریق تابع فازی جمع[3] بر یکدیگر همپوشانی شده و نقشه تلفیقی از مجموعه معیارهای مذکور بر خطر زلزله استخراج شد.

[1] Euclidean Distance
[2] Fuzzy Membership
[3] Sum Function




شکل ۱۰: عضویت فازی برخی نقشه‌های معیار
(مأخذ: نگارندگان)

شکل ۱۱: پهنه‌بندی نهایی خطر زلزله در شهر تبریز با روش **Fuzzy Overlay**
(مأخذ: نگارندگان)

همان‌طور که مشخص است مشابهت‌هایی در نقشهٔ پهنه‌بندی نهایی خطر زلزله در شهر تبریز با روش Fuzzy Overlay با نقشهٔ مدل AHP به وضوح قابل مشاهده است؛ به طوری که در این نقشه نیز مناطق مرکزی و میانی شهر مستعد بیشترین خطرپذیری شناسایی گردیده؛ که امتداد آن به نیمه‌های جنوبی، جنوب غربی و جنوب شرقی شهر نیز کشیده شده است. در این نقشه به جز جهت شمال غربی شهر که نسبتاً خطرپذیری کمتری در آن نشان داده شده است؛ سایر مناطق و در معرض بیشترین آسیب‌پذیری قرار دارند؛ این‌گونه به نظر می‌رسد که باز هم عامل فاصله از گسل نقشی کلیدی در تعیین میزان خطرپذیری حاصل از این مدل ایفا می‌کند.

همان‌طور که اشاره شد، در این تحقیق از دو مدل تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و شاخص همپوشانی (Overlay Index) استفاده‌شده است. دلیل استفاده از این دو مدل؛ مقایسه تطبیقی نتایج حاصل از استفاده این دو مدل در پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه‌ای در شهرهاست. نتایج حاصل از این دو مدل و امتیاز نهایی معیارها در جدول شماره ۳ آمده است.

جدول ۳: نتایج مدل‌های تحلیل سلسله‌مراتبی، شاخص همپوشانی و جدول اوزان نهایی

| معیارهای اصلی | ضریب اهمیت | زیرمعیارها | وزن حاصل از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی | وزن حاصل از مدل شاخص همپوشانی |
|---|---|---|---|---|
| طبیعی | ۰/۸۳۳ | فاصله از خطوط گسل | ۰/۴۱۸ | ۱۸ |
| | | واحدهای زمین‌شناسی | ۰/۱۱۲ | ۱۲ |
| | | شیب | ۰/۳۹ | ۷ |
| | | جهت شیب | ۰/۵۰ | ۹ |
| | | ارتفاع | ۰/۳۰ | ۶ |
| | | فاصله از نقاط زمین‌لغزش | ۰/۱۸۵ | ۱۴ |
| انسان‌ساخت | ۰/۱۶۷ | تراکم جمعیت | ۰/۱۰ | ۶ |
| | | کاربری اراضی | ۰/۱۱ | ۶/۳ |
| | | فاصله از مراکز خطر | ۰/۷۶ | ۱۱/۲ |
| | | دسترسی به شبکه‌های ارتباطی | ۰/۰۵ | ۳ |
| | | قابلیت جابجایی در شرایط بحرانی | ۰/۵۵ | ۱۰/۱ |
| | | فاصله از نقاط شهری و روستایی | ۰/۰۸ | ۵ |

(مأخذ: نگارندگان)

با توجه به آنچه در مباحث قبلی اشاره شد شهر در بستر طبیعی بنا می‌شود و معیارهای محیطی نقش بسیار مؤثری در میزان آسیب‌پذیری شهر در برابر مخاطرات طبیعی علی‌الخصوص خطر زمین‌لرزه دارند. بر این اساس، نتایج مدل تحلیل سلسله‌مراتبی نیز حاکی از امتیاز بالا برای عوامل محیطی است؛ که در این میان جهت شیب و فاصله از خطوط گسل بیشترین اهمیت و امتیاز را به خود اختصاص دادند؛ و همچنین فاصله از مراکز خطر، قابلیت جابجایی در شرایط بحرانی نیز در بین عوامل انسان‌ساختی به‌عنوان مهم‌ترین عوامل شناسایی شدند. نتایج حاصل از مدل شاخص همپوشانی نیز حاکی از اهمیت بالای عوامل طبیعی بخصوص عامل فاصله از خطوط گسل است. به‌جز شاخص‌های فاصله از خطوط گسل، مقاومت خاک و سطح ایستایی آب که بیشترین امتیاز و درجه اهمیت را دارا هستند، بقیه عوامل امتیازات نزدیک به هم دارند و برخی عوامل دارای درجه اهمیت یکسان هستند و این به دلیل انعطاف کمتر این مدل نسبت به مدل تحلیل سلسله‌مراتبی است. لازم به ذکر است که علت استفاده از دو مدل در تحقیق حاضر تطبیق دو مدل از نظر نتایج به‌دست‌آمده بوده است.

## بحث و تحلیل

با توجه به هدف اصلی این پژوهش که شناسایی و پهنه بندی کلان‌شهر تبریز از نظر میزان آسیب پذیری در مقابل خطر زمین لرزه است از دو مدل تحلیل سلسله‌مراتبی و همپوشانی فازی استفاده گردید. پس از طی مراحلی که ذکر گردید؛ در نقشه‌های حاصل از این دو مدل شهر تبریز از لحاظ میزان خطرپذیری به ۵ پهنه: آسیب‌پذیری بسیار بالا، آسیب‌پذیری بالا، آسیب‌پذیری متوسط، آسیب‌پذیری پایین و آسیب‌پذیری نسبتاً پایین، تقسیم‌شده است؛ نتایج حاصل از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی نشان می‌دهد اکثر مناطق مرکزی به‌ویژه بافت قدیمی و مناطق جنوبی و غربی شهر، در پهنه خطر بسیار بالا قرار دارند. نکته قابل‌توجه در نتایج نهایی این مدل تأثیرپذیری بسیار بالای مناطق با ریسک بالا از عامل فاصله از گسل است؛ به‌طوری که با فاصله گرفتن از خط گسل شمالی به‌تدریج از میزان خطرپذیری پهنه‌ها کاسته می‌شود. به طور کلی بنا به نتایج این مدل قسمت‌های میانی و بخشی از جنوب غربی و شمال غربی در پهنه آسیب‌پذیری بالا قرار دارند. در انتهای جنوب شرقی، شرق و غرب شهر میزان آسیب‌پذیری بالا است؛ تنها در نواحی محدودی از شهر و به صوت منفرد در قسمت‌های شمال شرقی، غرب و شرق شهر از میزان آسیب‌پذیری کاسته شده و این قسمت‌ها در پهنه آسیب‌پذیری پایین و نسبتاً پایین قرار می‌گیرند. نتایج مدل شاخص همپوشانی نیز نسبتاً مشابه با مدل تحلیل سلسله‌مراتبی است؛ با این تفاوت که فراوانی

پهنه‌های آسیب‌پذیری بسیار بالا بیشتر از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی بوده و بیشتر قسمت‌های شهر در این پهنه قرار می‌گیرند. در این مدل نیز مناطق مرکزی، جنوبی، جنوب شرقی، جنوب غربی و شمال شرقی سهم بسیار بالایی از مناطق با آسیب‌پذیری بسیار بالا را در خود جای داده‌اند. و نواحی با خطرپذیری بالا و متوسط در پیرامون این پهنه‌ها جای گرفته‌اند. در نقشه نهایی این مدل نیز تأثیرپذیری بسیار بالای آن از گسل بسیار مشهود است؛ همچنین همان‌طور که در جدول ۴ و نتایج تقضیلی پهنه‌بندی خطر در کلان‌شهر تبریز مشاهده می‌شود بیش از ۵۹/۳ درصد از مساحت کلان‌شهر تبریز در دامنهٔ خطرپذیری بالا و بسیار بالا قرار می‌گیرند و بیش از ۷۶ درصد مساحت شهر دامنهٔ خطرپذیری متوسط رو به بالا دارند. این نتایج مؤید آن است که کلان‌شهر تبریز بنا به نتایج این پژوهش به لحاظ ریسک ناشی از خطر زلزله در موقعیت بسیار ویژه‌ای قرار دارد؛ که مسلماً نامطلوب ارزیابی می‌شود.

جدول ۴: نتایج تفصیلی پهنه‌بندی خطر زلزله در کلان‌شهر تبریز

| دامنهٔ خطرپذیری | مساحت (هکتار) | درصد | محدوده |
|---|---|---|---|
| بسیار بالا | ۴۹۷/۶ | ۲۱/۱ | مرکز |
| بالا | ۸۹۹/۹ | ۳۸/۲ | غرب و جنوب غربی |
| متوسط | ۳۹۳/۴ | ۱۶/۷ | شرق |
| پایین | ۴۲۱/۶ | ۱۷/۹ | جنوب شرقی |
| بسیار پایین | ۱۴۳/۷ | ۶/۱ | شمال |

(مأخذ: نگارندگان)

با توجه به مطالب مذکور و همچنین با توجه به اینکه بیش از نیمی از جمعیت شهر تبریز در پهنه‌های آسیب‌پذیری بسیار بالا و بالا سکونت دارند. و علاوه بر آن اکثر کاربری‌های حیاتی و تأسیساتی شهر از جمله فرودگاه، اماکن اداری ــ سیاسی، بیمارستان‌ها و بناهای تاریخی و فرهنگی در این قسمت قرار دارند. این مسئله ابعاد ویژه‌ای به خود می‌گیرد؛ اهمیت این مسئله در جایی دو چندان می‌شود که می‌توان شاهد رشد و گسترش روزافزون ساخت شهرک‌هایی بر روی گسل و در حریم آن بود؛ که بیش از پیش مردم و شهر را در معرض مخاطره قرار می‌دهد. که چنین شرایطی نگاه ویژه و جدی برنامه‌ریزان و مدیران شهری با فوریت بالا را می‌طلبد.

## نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها

نتایج بدست آمده حاکی از آن است که موقعیت کلان‌شهر تبریز در مجاورت با گسل تبریز؛ آن را در پهنه‌ای با خطر آسیب‌پذیری بسیار بالا از زلزله قرار داده است. این امر طبیعی است که بنا به سابقهٔ تاریخی شهرهای کشورمان و به خصوص شهر تبریز؛ مکان‌گزینی آن‌ها در گذشته‌های دور فارغ از توجه به این گونه مسائل و به طور کلی نبود علم به اینگونه مسائل (مانند وجود گسل در منطقه) بوده است؛ اما در شرایط فعلی که پیشرفت‌های علمی این امکان را فراهم کرده که با انجام پژوهش‌هایی مانند نوشتار حاضر بتوان آگاهی بسیار مناسبی از این گونه مسائل حاصل کرد؛ می‌توان با برنامه‌ریزی و مدیریت از شدت خسارات احتمالی وقوع مخاطراتی که گرچه زمان وقوع آن مشخص نیست ولی روی دادن آن محتمل است، کاست و جان و مال شهروندان و شهری که دارای سرمایه‌های عظیم صنعتی، فرهنگی و تاریخی کشورمان است حفظ کرد.

نتایج پژوهش حاضر بیانگر آن است که آسیب‌پذیری بسیار بالای شهر از زلزلهٔ احتمالی بیشترین تأثیر را از مجاورت گسل خواهد داشت. گسلی که زمانی با محدوده شهری تبریز فاصله داشت، هم‌اکنون براثر گسترش ساخت‌وساز و شهرک‌سازی بر روی حریم آن، از میان شهرک‌های جدید ساخته‌شده و در حال احداث در شمال تبریز عبور می‌نماید. وجود چنین شرایطی وقوع یک فاجعه انسانی در تبریز را در سال‌های آتی را محتمل می‌کند. و نتایج دو تکنیک فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و شاخص همپوشانی در این پژوهش مؤید این مسئله و حاکی از خطرپذیری بسیار بالای کلان‌شهر تبریز در برابر زلزله دارد.

یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که اکثر مناطق این شهر در پهنه زلزله‌خیز قرار دارند و به طور کلی نقشه‌های پهنه‌بندی گویای این است که مناطق مرکزی، غرب و جنوب غربی این شهر کاملاً مستعد زلزله بوده و تنها بخش‌های شمالی این شهر به‌صورت منفرد مصون از زلزله است؛ اما با توجه به آن‌که عمق و دامنه یک زلزله محدود به یک حریم خاصی نیست، طبیعتاً رخداد زلزله در این شهر مناطق شمالی را نیز در بر خواهد گرفت.

همان‌طور که نتایج پهنه‌بندی پژوهش نشان داد بیشتر مساحت کلان‌شهر تبریز (۵۹/۳ درصد) با وسعت ۱۳۹۷/۵ هکتار در دامنه خطرپذیری بسیار بالا و بالا قرار دارند و تنها قسمت‌های شمالی شهر و پهنه‌هایی منفرد و پراکنده در سطح شهر با مساحتی در حدود ۱۴۳/۷ هکتار و یا به عبارتی ۶/۱ مساحت شهر در دامنه خطرپذیری بسیار پایین قرارگرفته است. لذا با توجه به استقرار بیشتر جمعیت این شهر در محدوده‌های قدیمی و هسته‌های مرکزی و جنوب غربی و همچنین فشردگی و دانه‌ریز بودن ابنیه، بافت‌های فرسوده شهری،

بازار و غیره التزام به قوانین شهرسازی به‌ویژه در ابعاد کالبدی و تاب‌آوری شهری اهمیت کاملاً اضطراری پیدا می‌کند. درنهایت به‌منظور برنامه‌ریزی و مدیریت فضاهای شهری تبریز در برابر مخاطرهٔ احتمالی زلزله و یا سایر موارد باید بنا به تشخیص مدیران و برنامه‌ریزان در دستور کار قرار گرفته و اجرایی گردند. به همین منظور موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

۱- در وضع موجود باید با تدوین آیین‌نامه ساختمانی به ساماندهی ساخت‌وسازها و به ویژه نوسازی بافت‌های فرسوده شهر پرداخت و ایمنی آن‌ها را ارتقا بخشید؛ همچنین به ایمن‌سازی سازه‌ها و تأسیسات شهری واقع شده در مناطق پر خطر اقدام نمود.

۲- فرایند تدوین برنامه و اصول پیشنهادی طرح‌های شهری آتی کلان‌شهر تبریز می بایست در قالب دو برنامهٔ کلان یعنی پیشگیری از بحران و کاهش اثرات بحران صورت گیرد. اقدامات و سیاست‌های پیشنهادی علاوه بر اینکه به طور عام جهت‌ها و کیفیت توسعه شهر را کنترل و هدایت می‌کند می‌بایست سیاست‌ها و اقدامات خاصی جهت پیشگیری از بحران و کاهش آسیب پذیری داشته باشد. بنابراین در تدوین طرح‌ها و برنامه‌های آتی از جمله طرح جامع و یا تفصیلی باید توسعهٔ مطلوب و پایدار شهر در دستور کار قرار داده شود و به صورت جامع و کامل مسئلهٔ مدیریت بحران نیز مورد توجه جدی واقع شود.

۳- تدوین و اجرای طرح‌های روانبخشی و ساماندهی عملکردی-کالبدی در محدوده مرکزی شهر که بیشترین خطرپذیری را داراست ضروری است.

۴- تمرکز زدایی از فعالیت‌های تجاری و خدماتی گسترده در کنار فعالیت‌های اداری و کاستن از تراکم ساختمانی و جمعیتی در پهنه مرکزی شهر و به خصوص در کناره معابر کم عرض به منظور کاهش تلفات و خسارت‌های احتمالی باید مورد توجه واقع شود.

۵- برای کاهش خسارت‌ها و ضرورت امداد رسانی به موقع و مناسب در هنگام وقوع مخاطرات احتمالی؛ لازم است مکان‌هایی همچون کمپ‌های اسکان موقت، مراکز مدیریت بحران، مراکز درمانی، امداد رسانی و غیره پیش‌بینی و مکان‌یابی گردند و در مکان‌های مناسب و دور از پهنه‌های خطر ساخته شوند؛

۶- ضرورت آموزش شهروندان به منظور آمادگی در مواقع مدیریت بحران ضروری است و مدیریت شهری با انجام آموزش‌های لازم می‌تواند گامی بزرگ و اساسی در زمینهٔ مدیریت بحران بردارد.

## منابع و مآخذ:


۱- پارسی زاده، ف، پویان، ژ، توکلی، ب، تیو، م، عباسی، م.ر، غفوری آشتیانی، م؛ فلاحی، کوهیان، ر.۱۳۷۶. زمین‌لرزه ۷۵/۱۲/۱۰ گلستان. اردبیل. مؤسسهٔ بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.

۲- - رمضانی گورابی، ب.۱۳۷۱. بررسی ابعاد جغرافیایی زلزله ۳۱ خرداد ۱۳۹۶ گیلان. مجموعه مقالات هشتمین کنگره جغرافیدانان ایران. جلد اول (طبیعی). انتشارات دانشگاه اصفهان.

۳- روستایی، ش.۱۳۹۰. پهنه‌بندی خطر گسل تبریز برای کاربری‌های مختلف اراضی شهری. جغرافیا و توسعه. ۹(۲۱): ۴۱-۲۷.

۴- زارع، م.۱۳۸۰. خطر زمین‌لرزه و ساخت‌وساز در حریم گسل شمال تبریز و حریم گسلش گسل‌های زمین لرزه‌ای ایران. پژوهشگاه مؤسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله ایران. ۴(۲و۳): ۵۷-۴۶.

۵- زمردیان، م.ج.۱۳۸۱. ژئومورفولوژی ایران. جلد اول. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

۶- زیاری، ک.۱۳۷۸. اصول و روش‌های برنامه‌ریزی منطقه‌ای. چاپ پنجم. یزد. انتشارات دانشگاه یزد.

۷- سرور، ه. کاشانی اصل، ا. ۱۳۹۵. ارزیابی آسیب‌پذیری کالبدی شهر اهر در برابر بحران زلزله. آمایش محیط. ۹(۳۴): ۱۰۸-۸۷.

۸- ظهوریان ایزدپناه، ع.ا، ۱۳۸۶، زمین لرزه‌های تبریز، قابل‌دسترسی بر روی دانشنامهٔ شهر تبریز به آدرس اینترنتی: www.tabrizinfo.com.

۹- عبداللهی، ع. ا، اشرفی، ح. ا، صباحی، ی. ۱۳۹۷. تاب‌آوری نهادی و کالبدی-محیطی اجتماعات شهری در جهت کاهش بحران‌های طبیعی، زلزله (مطالعه‌موردی: شهر کرمان). آمایش محیط. ۱۱(۴۲): ۱۸۷-۱۶۵.

۱۰-فال سلیمان، م، حجی پور، م، جمشیدی، ک.۱۳۹۱. آسیب‌پذیری عناصر کالبدی سکونتگاه‌های روستایی در مناطق زلزله‌خیز (نمونه: شهرستان‌های قاینات و زیر کوه). آمایش جغرافیایی فضا. ۲(۶): ۹۷-۷۵.

۱۱-فرجی، ا، قرخلو، م.۱۳۸۹. زلزله و مدیریت بحران شهری؛ (نمونه موردی :شهر بابل). جغرافیا. ۸(۲۵): ۱۶۴-۱۴۳.

۱۲-قنبران، ع. حسینعلی، ف. حسینی، س. ب و بهرامی دوست، پ. ۱۳۹۸. مکان‌یابی مراکز بیمارستانی با تکیه‌بر مخاطرات طبیعی و با بهره‌گیری از مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP) نمونه موردی (منطقه پنج شهر تهران). آمایش محیط, ۱۲(۴۴): ۱۵۶-۱۲۷.

۱۳-قنبری، ا، سالکی ملکی، م.ع، قاسمی، م.۱۳۹۲. پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری شهرها در مقابل خطر زمین لرزه (نمونه موردی: شهر تبریز). جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۲(۵): ۳۵-۲۱.

۱۴-نگارش، ح.۱۳۸۴. زلزله، شهرها و گسل‌ها، پژوهش‌های جغرافیایی. ۳۷(۵۲): ۱۱۰-۹۳.

۱۵-نوری، ز. ۱۳۷۶. بررسی خواص دینامیکی زلزله‌های ایران. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

۱۶-مرکز آمار ایران، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵، نتایج تفصیلی سرشماری ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵، قابل‌دسترسی بر روی درگاه ملی آمار به آدرس اینترنتی: www.amar.org.ir.

17- Armaş, I. 2006. Earthquake risk perception in Bucharest, Romania. Risk Analysis, 26(5), 1223-1234.

18- Birkmann, J. 2007. Risk and vulnerability indicators at different scales: Applicability, usefulness and policy implications. Environmental hazards, 7(1), 20-31.

19- Wisner, B., Cannon, P., & Terry Davis, I. 1994. At Risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters (No. 363.34 R595r). London, GB: Routledge.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی