پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دورهٔ ۴۶، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۳
ص. ۷۱۷-۶۹۷

# ارزیابی و پهنه‌بندی لرزه‌ای شهر تبریز با استفاده از منطق Fuzzy با تلفیق AHP و TOPSIS در محیط ARCGIS

حسین حاتمی‌نژاد- دانشیار دانشکدهٔ جغرافیا، دانشگاه تهران
ایوب منوچهری* - دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تهران
حسن آهار- دانشجوی کارشناسی ارشد شهرسازی، دانشگاه آزاد قزوین
محمدعلی سالکی- دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تربیت معلم تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۱۰/۲۵ تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۱۱/۲۵

## چکیده

**امروزه با توجه به روند رو به رشد جمعیت و تراکم جمعیتی در مناطق شهری، به‌ویژه در شهرهای پرجمعیت و مستعد از نظر لرزه‌خیزی، لزوم نگرشی همه‌جانبه و فراگیر به حوادث طبیعی و فجایع ناشی از بروز آن‌ها، بیش از پیش جلوه کرده است. تمرکز بیش از اندازهٔ جمعیت در محدوده‌های خاص شهری، نبود برنامه‌ریزی‌های پیشگیرانه و نبود آمادگی لازم برای مقابله با حوادثی نظیر زلزله، تهدیدی بسیار جدی و مهم برای شهروندان و تداوم حیات شهری به شمار می‌رود. در این پژوهش، شهر تبریز به‌عنوان مطالعهٔ موردی انتخاب شده است. روش تحقیق، توصیفی- تحلیلی است. هدف این پژوهش، ارزیابی و پهنه‌بندی لرزه‌ای تبریز، با توجه به معیارهای کیفی و ارائهٔ مدل و الگوی مناسب برای ساخت‌وساز در تبریز است، بدین منظور، از ۹ معیار فاصله از گسل، تراکم ساختمانی، تراکم جمعیتی، کیفیت سازه‌ها، شبکهٔ ارتباطی، دسترسی به مراکز امدادی و ضروری، دسترسی به فضاهای باز و سبز، اندازهٔ قطعات و فاصله از مراکز خطرزا استفاده شده است. در این پژوهش، ابتدا داده‌های آماری لازم جمع‌آوری شدند، سپس لایه‌های لازم برای پهنه‌بندی لرزه‌ای آماده شد و وزن‌دهی به لایه‌ها، براساس استانداردهای پهنه‌بندی انجام گرفت. تحلیل نهایی با استفاده از تلفیق روش‌های AHP و Fuzzy TOPSIS در محیط GIS (روش پیشنهادی) صورت گرفته است. در نهایت، میزان خطرپذیری کل مناطق شهر تبریز به دست آمده است. نتایج نشان می‌دهد که مناطق شمالی شهر، بیشترین پهنه‌های خطرپذیری و مناطق جنوبی، کمترین میزان آن را دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که مدل ارائه‌شده برای پهنه‌بندی خطرپذیری قابل استفاده است.**

***کلیدواژه‌ها: پهنه‌بندی، تبریز، زلزله، مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، منطق فازی.***

* نویسندهٔ مسئول: ۰۹۱۴۱۸۳۲۹۰۷
Email: ayub.manochehri@gmail.com

## مقدمه

وجود زمینه‌های لرزه‌خیزی ناشی از موقعیت زمین‌شناسی، وضعیت تکتونیکی، وجود گسل‌های فراوان در بطن و حاشیهٔ شهرها و ... ، همگام با عوامل انسانی متعدد نظیر جمعیت شهری، افزایش ساختمان‌های کم‌دوام شهری و شهرسازی نامتناسب با بحران زلزله، همگی قابلیت لرزه‌پذیری شهرها را افزایش داده است؛ تا جایی که ۹۰ درصد شهرهای کشور، در برابر زلزلهٔ ۵/۵ ریشتری آسیب‌پذیرند (عکاشه، ۱۳۸۳: ۴۹۵). با توجه به پژوهش‌های انجام‌گرفته در طرح کالبد ملی ایران توسط وزارت مسکن و شهرسازی، ایران به پهنه‌هایی با خطر بسیار بالا، نسبتاً متوسط، نسبتاً پایین و پایین، تقسیم شده است. حدود ۵۰ درصد جمعیت شهرنشین کشور در پهنه‌هایی زندگی می‌کنند که خطر نسبتاً بالا، بالا و بسیار بالا دارد (مهندسان مشاور کاواب، ۱۳۶۹: ۵۲). به عبارت دیگر، نقشهٔ پهنه‌بندی خطر نسبی زلزله در ایران، گویای آن است که بخش اعظم مناطق مسکونی کشور در محدودهٔ خطر نسبتاً بالاست و تقریباً تمام سرزمین در محدودهٔ خطر نسبتاً متوسط رو به بالا قرار دارد. تنها در محدودهٔ کوچکی از کشور (آبادان، خرمشهر، بندر امام خمینی، ماهشهر و هویزه)، خطر زلزله نسبتاً اندک است (زیاری، ۱۳۸۵: ۲۸۳). با توجه به اهمیت موضوع ارزیابی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله در مباحث مربوط به جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، در این مقاله سعی شده است تا با به‌کارگیری روش منطق فازی با تلفیق فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و FTOPSIS در محیط GIS، برآورد مناسبی از خطرپذیری شهرها در برابر زلزله با استفاده از داده‌های مکانی و توصیفی اجزا و عناصر اصلی و رفتاری ساختمانی انجام گیرد و تأثیر هریک از معیارهای به کاررفته در میزان آسیب‌پذیری تعیین شود. ابعاد کالبدی را می‌توان محسوس‌ترین و مهم‌ترین بخش برنامه‌ریزی شهری در کاهش آثار زلزله دانست. شکل و کالبد شهر، شامل عناصر مختلفی است که سازمان‌دهی آن‌ها از طریق برنامه‌ریزی و طراحی شهری صورت می‌گیرد. این بخش به روش‌های مختلفی انجام می‌شود که عبارتند از: تقسیم‌بندی کالبدی شهر و نظام محله‌بندی، نظام شبکهٔ ارتباطی و سلسله‌مراتب، مراکز شهری، سطوح پر و خالی، بخش‌ها و محله‌ها، نشانه‌های شهری، نظام قطعه‌بندی و بلوک‌بندی، الگوهای مختلف بافت شهری، فضاهای باز شهری، تراکم‌های جمعیتی و ساختمانی، پراکنش کاربری‌ها و سرانجام، جهت‌گیری گسترش و رشد شهر (عزیزی، ۱۳۸۳؛ ویسه، ۱۳۷۸). تا به‌حال، تحلیل‌ها و ارزیابی‌های متعددی دربارهٔ آسیب‌پذیری و پهنه‌بندی خطرپذیری در برابر زلزله انجام شده است. یکی از مهم‌ترین اقدام‌های انجام‌گرفته برای تعیین آسیب‌پذیری فیزیکی ساختمان‌ها در ایران تحقیق توکلی‌ها (۱۹۹۳) است و بررسی‌های آن‌ها به برآورد منحنی‌های شکست برای سه نوع مختلف ساختمان، براساس زلزلهٔ رودبار و منجیل انجامیده است. عزیزی و اکبری (۱۳۸۷) با به‌کارگیری معیارهای GIS و AHP و با استفاده از سنجش آسیب‌پذیری شهر در برابر زلزله احتمالی، به بررسی شهرسازی پرداخته‌اند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان می‌دهد 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 قطعه‌ها، دسترسی براساس عرض معبر و سازگاری کاربری‌ها از نظر همجواری، موجب کاهش آسیب‌پذیری می‌شود. احدنژاد (۱۳۸۸) با استفاده از دو مدل آسیب‌پذیری، شهر زنجان را در برابر زلزلهٔ AHP مدل‌سازی کرده و در نهایت، با ارائهٔ سناریوهای زلزله در شدت‌های مختلف و با استفاده از مدل‌های موجود در زمینهٔ تخمین خسارت‌ها، به ارزیابی خسارت‌های انسانی، اقتصادی و اجتماعی زنجان پرداخته است. لانتادا و دیگران (۲۰۰۹) در پژوهشی، ضمن مدل‌سازی آسیب‌پذیری شهر بارسلون با استفاده از مدل‌های موجود، به ارزیابی خسارت‌های انسانی و اقتصادی در بارسلون پرداخته‌اند.

شاخص‌های کالبدی و برنامه‌ریزی شهری این پژوهش عبارتند از:

۱. تراکم جمعیتی؛ ۲. فاصله از گسل؛ ۳. دسترسی و شبکهٔ معابر؛ ۴. مساحت و اندازهٔ قطعات؛ ۵. دسترسی به فضای سبز؛ ۶. ویژگی سازه (مقاومت مصالح)؛ ۷. فاصله از مراکز خدمات؛ ۸. دسترسی به مراکز امداد؛ ۹. تراکم ساختمانی و ۱۰. جنس بستر.

## مبانی نظری

### نقش برنامه‌ریزی شهری در کاهش آسیب‌پذیری شهر در برابر زلزله

در میان سطوح گوناگون برنامه‌ریزی کالبدی، کارآمدترین سطح برای کاهش میزان آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله، سطح میانی یا همان برنامه‌ریزی شهری است. بررسی میزان آسیب‌ها و صدمه‌ها به‌طور مستقیم و غیر مستقیم، به وضعیت نامطلوب برنامه‌ریزی و طراحی شهری آن‌ها مربوط می‌شود، وضعیت بد استقرار عناصر کالبدی و کاربری‌های نامناسب زمین‌های شهری، شبکهٔ ارتباطی ناکارآمد شهر، بافت شهری فشرده، تراکم‌های بالا، وضعیت استقرار تأسیسات زیربنایی شهر، کمبود و توزیع نامناسب فضاهای باز شهری و مواردی از این قبیل، نقشی اساسی در افزایش میزان آسیب به شهرها در برابر زلزله دارند؛ بنابراین، آنچه پدیدهٔ زلزله را در شهرها به یک فاجعه تبدیل می‌کند، در بسیاری موارد، وضعیت نامناسب شهرسازی است (عبداللهی، ۱۳۸۳: ۷۵)؛ بنابراین، می‌توان با اصلاح وضعیت شهرسازی و به‌کارگیری روش‌های کارآمد برنامه‌ریزی شهری، آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله را به میزان زیادی کاهش داد. به عبارت دیگر، ایمنی شهری در برابر زلزله را باید به‌عنوان یک هدف عمده در فرایند برنامه‌ریزی شهری وارد ساخت. تنها در این صورت می‌توان به شهرهای مقاوم در برابر زلزله دست یافت. عناصری مانند ساختار شهر، بافت شهر، فرم شهر، تراکم‌های شهری، شبکهٔ ارتباطی شهر، مکان‌گزینی عناصر شهری و ... ، از این هدف تأثیر می‌پذیرند. تبیین ابعاد برنامه‌ریزی شهری مرتبط با آسیب‌های زلزله و شناخت عناصر شهری آسیب‌پذیر، در تحلیل آسیب‌پذیری لرزه‌ای مناطق شهری، نقش بسیار مؤثری را ایفا می‌کند. اکنون به این مسئله می‌پردازیم که چگونه می‌توان مفاهیم برنامه‌ریزی شهری را با هدف کاهش آسیب‌پذیری شهر در برابر زلزله شکل داد:

## ساختار شهر

توزیع فضایی عناصر، چگونگی کنار هم قرار گرفتن و ترکیب عناصر و عملکردهای اصلی شهر، ساختار آن را تشکیل می‌دهند. تقسیمات کالبدی شهر (کوی، محله، ناحیه، برزن و منطقه) و تک‌مرکزی یا چندمرکزی بودن شهر، وجوه دیگری از ساختار شهر به شمار می‌آیند.

## بافت شهر

شکل، اندازه و چگونگی ترکیب کوچک‌ترین اجزای تشکیل‌دهندهٔ شهر، بافت شهری را مشخص می‌سازد. هر نوع بافت شهری، در هنگام وقوع زلزله، مقاومت خاصی در برابر زلزله دارد؛ به‌عنوان مثال، بافت منظم، در مقایسه با بافت نامنظم، مقاومت بیشتری در برابر زلزله دارد. همچنین درجهٔ ایمنی بافت گسسته در برابر خطرهای زلزله، بیش از درجهٔ ایمنی بافت پیوسته است (احمدی، ۱۳۷۶: ۶۵). واکنش هر نوع بافت شهری در هنگام وقوع زلزله در توانایی گریز و پناه‌گیری ساکنان، امکانات کمک‌رسانی، چگونگی پاک‌سازی و بازسازی و حتی اسکان موقت، در این مسئله دخالت مستقیم دارد. در ارزیابی و قطعه‌بندی اراضی، شکل هندسی قطعه (منظم یا نامنظم)، مساحت قطعه، ابعاد و اندازهٔ قطعه، تناسب طول و عرض قطعه با توجه به کاربری زمین و نوع مالکیت (اختصاصی یا مشاع)، ملاک سنجش قرار می‌گیرد. تأثیر این

مشخصات، به دلیل تأثیر در ویژگی‌های ساخت‌وساز شبکهٔ راه‌ها، به‌طور مستقیم در ضریب آسیب‌پذیری یا کارایی بافت، مؤثر خواهد بود. الگوی ترکیب فضاهای باز و بسته و نسبت سطح ساخته‌شده به فضاهای باز، مهم‌ترین ملاک کارایی و سنجش است. از طرفی، وجود واحدهای ساختمانی مجزا درون هر قطعه و نوع محصور شدن آن به علت تخریب ساختمان در فضای باز، در آسیب‌پذیری مؤثر است. برای درک بهتر این مسائل، به توضیح کارایی بعضی از الگوها می‌پردازیم (جدول ۱).

**جدول ۱. ارزیابی الگوهای مختلف قطعه‌بندی هنگام و بعد از وقوع زلزله**

| الگوی قطعه‌بندی | وضعیت از نظر آسیب‌پذیری |
|---|---|
| منظم (قائم‌الزاویه) مربع یا مستطیل | احتمال نظم بیشتر در فرم ساختمان‌ها و آسیب‌پذیری کمتر به‌دلیل باقی ماندن فضای باز مفید و کارایی بیشتر در پناه گرفتن و اسکان موقت |
| منظم، چندضلعی (زوایای حاد و منفرجه) | تأثیر در بی‌نظمی فرم ساختمان و احتمال آسیب‌پذیری بیشتر، خرد شدن فضای باز و غیر قابل استفاده بودن برای گریز، پناه، امداد و اسکان |
| نامنظم (اشکال ترکیبی) | مؤثر در بی‌نظمی ساختمان‌ها و افزایش ضریب آسیب‌پذیری، بی‌نظمی و خرد شدن فضای باز و بنابراین کاهش کارایی آن در پناه گرفتن، امدادرسانی و اسکان موقت |

مأخذ: احمدی، ۱۳۷۲: ۲۲۰

با افزایش نسبت سطح ساخته‌شده به کل سطح زمین یا به فضای باز، آسیب‌پذیری فضای باز ناشی از ریزش آوار ساختمان‌ها و غیر قابل استفاده شدن بافت، افزایش می‌یابد. میزان افت کارایی فضای باز با ارتفاع ساختمان‌ها نیز ارتباط مستقیم دارد (جدول ۲).

**جدول۲. رابطهٔ نسبت سطوح ساخته‌شده به کل قطعه و درجهٔ آسیب‌پذیری**

| اندازه (نسبت سطح ساخته‌شده به کل قطعه) به درصد | درجهٔ آسیب‌پذیری |
|---|---|
| ۵۰<A<۱۰۰ | زیاد |
| ۲۵<A< ۵۰ | متوسط |
| ۰<A<۲۵ | کم |

مأخذ: احمدی، ۱۳۷۲: ۲۲۱

در خصوص اندازهٔ قطعات نیز احتمال آسیب‌پذیری در اندازهٔ قطعه بندی کوچکتر از اراضی به علت خرد شدن فضای باز و کاسته‌شدن فضای مفید و امن برای گریز، پناه گرفتن، امدادرسانی و اسکان موقت، نسبت به اراضی بزرگ بیشتر است (جدول ۳).

**جدول ۳. رابطهٔ اندازهٔ قطعه‌ها و درجهٔ آسیب‌پذیری**

| اندازهٔ قطعه‌ها | درجهٔ آسیب‌پذیری |
|---|---|
| کوچک $S \leq ۲۰۰$ | زیاد |
| متوسط $۲۵۰< S < ۵۰۰$ | متوسط |
| بزرگ $S \geq ۵۰۰$ | کم |

مأخذ: احمدی، ۱۳۷۲: ۲۲۳

به‌طور کلی، بافت‌های پیوسته و منظم در اراضی هموار که راه‌های آن‌ها نیز درجهٔ محصورشدگی متوسط یا کم دارند و به‌ویژه نسبت سطح ساخته‌شده به فضای باز آن‌ها متوسط یا کم است و بلوک‌هایی با یک یا دو ردیف منظم ساختمان

دارند، بعد از وقوع سانحه، آسیب‌پذیری کمتر و کارایی بیشتر داشته‌اند. همچنین نظم شبکهٔ راه‌ها، طول کم و شطرنجی بودن کوچه‌های فرعی به‌دلیل تعدد دسترسی، از فلج‌شدن بافت جلوگیری می‌کند (جدول ۴) (همان: ۲۲۱– ۲۲۲).

**جدول ۴. رابطهٔ درجهٔ آسیب‌پذیری و انواع بافت‌های شهری**

| نوع بافت | درجهٔ آسیب‌پذیری |
|---|---|
| پیوسته و منظم | زیاد |
| ناپیوسته و منظم | متوسط |
| پیوسته و نامنظم | کم |

مأخذ: احمدی، ۱۳۷۲: ۲۲۳

## فرم شهر

هر شهری ممکن است با هدفی طراحی شود (مربوط به عالم هستی یا دنیوی، مقدس یا کفرآمیز) (لینچ، ۱۹۸۵)، اما هیچ شهری با این هدف ساخته نشده است که خطرهای ناشی از زلزله را به حداقل برساند. اکنون این پرسش مطرح می‌شود که آیا می‌توان کالبد شهر را به صورتی تغییر داد که از صدمه‌های زلزله جلوگیری کند یا آن را به حداقل برساند؟ آیا ویژگی‌های ذاتی برای فرم شهر وجود دارد که انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به فضاهای متراکم داشته باشد؟ علاوه بر انعطاف‌پذیری، امکانات زیاد نیز ویژگی دیگری است که می‌تواند فرمی را نسبت به دیگری برتری دهد (حبیب، ۱۳۷۱: ۲۱).

## کاربری اراضی شهری

برنامه‌ریزی بهینهٔ کاربری زمین‌های شهری، نقش مهمی در کاهش آسیب‌پذیری در برابر زلزله دارد. هرگاه در تعیین کاربری زمین‌های شهری، همجواری‌ها رعایت شوند و کاربری‌های ناسازگار در کنار یکدیگر قرار داده نشوند، امکان تخلیهٔ سریع اماکن فراهم می‌شود و اگر کاربری‌ها در شهرها به‌گونه‌ای توزیع شوند که سبب پراکندگی شود، می‌توان انتظار داشت آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله تا حد زیادی کاهش یابد. دربارهٔ آسیب‌پذیری هریک از انواع کاربری در برابر زلزله نمی‌توان حکم قطعی صادر کرد. در این زمینه باید نحوهٔ همجواری کاربری‌ها، انواع کاربری (جمعیتی، ساختمانی، مسکونی)، میزان تراکم‌های یادشده، قطعه‌بندی اراضی با کاربری‌های گوناگون، نظم و اندازهٔ قطعه‌ها، میزان فشردگی و پیوستگی آن‌ها، ویژگی‌های کالبدی سازه‌های تشکیل‌دهنده و... بررسی و مطالعه شوند (محمدپور، ۱۳۹۰: ۲۵)؛ بنابراین، آسیب‌پذیری هریک از کاربری‌ها، تابعی از عوامل مذکور است که الزام مطالعه و بررسی هریک از عوامل مؤثر در آسیب‌پذیری را مطرح می‌سازد. کاربری‌های شهری در بررسی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله، به دو دستهٔ کلی کاربری مسکونی و سایر کاربری‌ها تقسیم می‌شوند. دلیل این امر، نحوهٔ تأثیرگذاری زلزله بر کاربری‌های مسکونی است. مسکن نیز یکی از کاربری‌های مهم در شهر است که باید سعی شود هنگام وقوع زلزله دچار آسیب نشود. بدین منظور باید از طرح‌های ساده برای ساخت مسکن استفاده کرد و همجواری‌ها را رعایت کرد؛ به‌ویژه باید از کاربری‌های خطرآفرین، نظیر کارگاه‌های صنعتی دور باشد. استفاده از مصالح ساختمانی سبک و برقراری امکان تخلیهٔ سریع مناطق مسکونی، در کاهش آسیب‌پذیری بین مناطق بسیار مؤثر است (احمدی، ۱۳۷۶ :۶۶). در واقع، کاربری‌های مسکونی در شهرها، آزمایشگاهی است که شرایط تمام‌عیار آزمایش را دارد و از فرایند تنش‌های شدید زمینی و آسیب‌پذیری محیط مصنوع شهری، به دو شکل تلفات و تخریب تأثیر می‌پذیرد. این در حالی است که سایر کاربری‌های موجود نظیر آموزشی، بهداشتی، مذهبی و ... ، از آثار دوگانهٔ زلزله تنها تخریب را دارند (بحرینی و دیگران، ۱۳۷۵: ۷). بنیادی‌ترین نظریه در برنامه‌ریزی شهری برای کاهش آسیب‌پذیری کاربری زمین این است که از توسعه و گسترش اراضی که در

معرض خطر زلزله هستند، اجتناب ورزیم. به عبارت دیگر، لازم است که از توسعه و گسترش اراضی واقع در نواحی خطرساز جلوگیری شود و در قسمت‌های دیگر، کاربری‌ها با خطرهای موجود و موانع آن تطبیق داده شود (محمدپور، ۱۳۹۰: ۲۵).

## کیفیت ساختمان‌های بافت و درجهٔ آسیب‌پذیری

کیفیت ساختمان‌های بافت‌های شهری محصول کیفیت ساخت تکنولوژیکی و مصالح است. هریک از روش‌های ساخت، تأثیر خاصی را از زمین‌لرزه می‌پذیرند. جدول ۵، درجهٔ آسیب‌پذیری ساختمان‌ها را براساس سیستم‌های مختلف ساختمانی (در صورت اجرای صحیح و رعایت کلیهٔ ضوابط فنی) بیان می‌کند. دیگر عامل بسیار تأثیرگذار در کیفیت ساختمان‌ها، عمر ساختمان است. می‌توان گفت به‌طور کلی با افزایش عمر بناهای ساختمانی، آسیب‌پذیری آن‌ها در برابر زلزله افزایش می‌یابد (جدول ۵).

**جدول ۵. آسیب‌پذیری سیستم‌های مختلف ساختمانی در برابر زلزله**

| سیستم ساخت | درجهٔ آسیب‌پذیری |
|---|---|
| آجری | زیاد |
| فلزی | متوسط |
| بتنی | کم |
| چوبی | کم |
| خشتی | بسیار زیاد |

مأخذ: نگارندگان

## تراکم‌های شهری

هرچه تراکم جمعیت در شهر کمتر باشد و این تراکم به‌طور متعادل در سطح شهر توزیع شده باشد، آسیب‌پذیری شهر در برابر زلزله کمتر خواهد بود. برعکس، تراکم‌های جمعیتی بالا در شهر به‌معنای تلفات و خسارت‌های بیشتر در هنگام وقوع زلزله است. همچنین تراکم‌های بالای شهری به‌معنای کمبود فضای خالی برای اسکان موقت آسیب‌دیدگان است.

به‌طورکلی تراکم‌های انسانی، نقش مهمی در شاخص‌های مختلف رفاهی، بهداشتی، آموزشی و... و به‌طور کلی دسترسی به این امکانات دارد، اما رابطهٔ تراکم جمعیت با آثار زلزله قدری پیچیده‌تر است. با استناد به روش‌های استقرایی و ایده‌آلی، روشن است که تراکم جمعیت هیچ نقشی در شدت تخریب ندارد؛ بلکه اهمیت تراکم مربوط به بعد از رخ‌دادن تخریب است. به عبارت دیگر، از آنجا که ترتیب زمانی آثار زلزله به صورت زیر است، میزان تراکم‌های انسانی، در آخرین مرحله اهمیت بسیار می‌یابد (بحرینی، ۱۳۷۵ :۳۲).

لرزش‌های شدید ← تخریب ← تلفات

از طرفی مکان فیزیکی تراکم‌های انسانی بسیار تعیین‌کننده است. اگر دامنهٔ آسیب‌پذیری شهر در بخش‌های مختلف متفاوت باشد، در بخش‌های مقاوم و ایمن شهر، افزایش تراکم به‌اندازهٔ ظرفیت، آسیب‌پذیری در برابر زلزله را افزایش نمی‌دهد؛ زیرا تا تخریبی صورت نگیرد، تراکم‌های انسانی خطری نخواهد داشت (همان: ۴۱). این موضوع، فقط در بحث تراکم‌های انسانی صدق می‌کند و مطالب پیشین در مورد نقش آسیب‌پذیری شهر با توجه به مکان‌یابی، دوری و نزدیکی به گسل‌ها و... را نقض نمی‌کند.

## تأسیسات و زیرساخت‌های شهری

آسیب‌دیدن تأسیسات زیربنایی شهر نظیر شبکه‌های آب، برق، گاز و مخابرات، تلفات ناشی از زلزله را به‌شدت افزایش می‌دهد. آسیب‌دیدن شبکهٔ گاز شهری، از جملهٔ این‌هاست. بهترین کار برای دوری از بلایای ثانویه، مسدود کردن همهٔ مخازن است؛ ولی به‌دلیل اینکه این امر بر زندگی مردم تأثیر می‌گذارد، باید یک سیستم پیشرفته طراحی شود. در زمینهٔ تأثیرپذیری سیستم گاز شهری از زلزله، مهم این است که برای ما ثابت شود که آیا زلزله در نواحی دارای مخازن گاز، در کل سیستم، خسارت به بار می‌آورد یا نه. در آن صورت، تصمیم‌ها و برنامه‌ریزی‌هایی برای پیشگیری، اتخاذ و اجرا می‌شود (محمدپور، ۱۳۹۰: ۲۷).

## فضاهای باز شهری

فضاهای باز، نقش مهمی در کاهش وسعت عمل و نتایج اکثر حوادث طبیعی و مصنوعی دارند. از مهم‌ترین عملکردهای آن‌ها در هنگام بروز زلزله، جداسازی یک منطقهٔ خطرناک از دیگری و بدین‌ترتیب متمرکز کردن فعالیت نیروهای مخرب و جلوگیری از توسعهٔ زنجیره‌ای وقایع است. سودمندی فضاهای باز در محدودهٔ شهری، بستگی به تعداد این فضاها، توزیع یکسان در تمام منطقهٔ شهری و همچنین تداوم سیستم سبز دارد (همان، ۲۸). پارک‌های بزرگ شهری می‌توانند به‌عنوان پایگاه‌های امدادرسانی نیروهای عمل‌کننده و نیز در صورت امکان برای اسکان‌های بزرگ و اردوگاهی استفاده شوند. پارک‌های متوسط و کوچک نیز علاوه بر استفادهٔ نیروهای امدادرسان می‌توانند به‌عنوان مکان تخلیه در مرحلهٔ اول امداد و نجات و نیز مکان اسکان موقت بهره‌برداری شوند. سایر فضاهای باز شهری نظیر میادین، شبکه‌های دسترسی، محیط باز ساختمان‌های عمومی و باغ‌ها نیز در این گروه قرار می‌گیرند (عزیزی، ۱۳۸۳: ۳۳)؛ بنابراین، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که وجود فضاهای باز در شهرها و قابل استفاده بودن این فضاها در هنگام وقوع زلزله (اعم از دسترسی آسان، دوری از کاربری‌های خطرزا، قابلیت‌های عملکردهای بالا)، نقش مهمی در کاهش آسیب‌ها و تلفات ناشی از زلزله دارند.

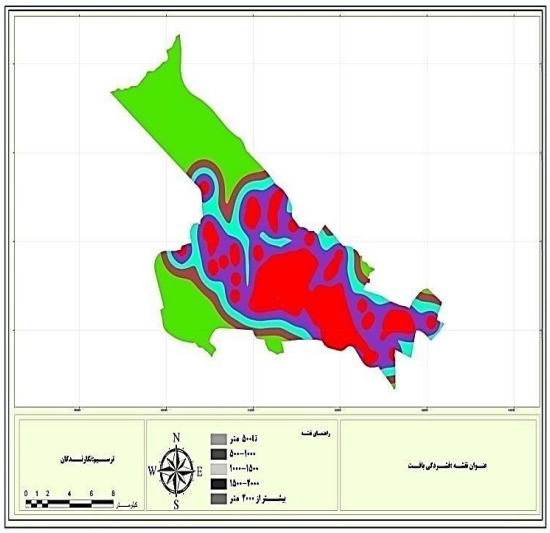
## شریان‌های حیاتی

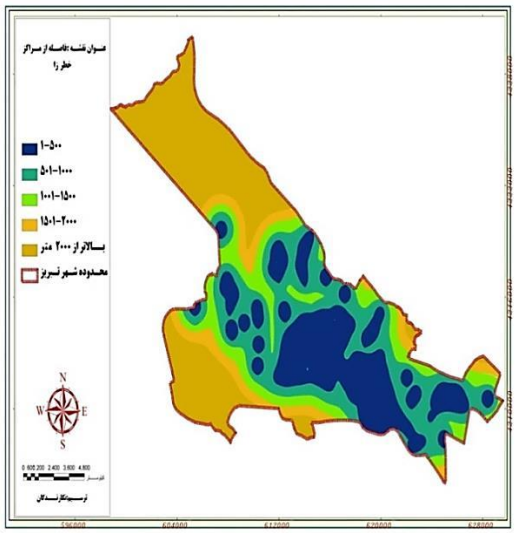
پیش‌بینی وضعیت شریان‌های حیاتی در شرایط زمین‌لرزه به‌دلیل نحوهٔ عملکرد و وابستگی آن‌ها به یکدیگر، کاری بسیار دشوار و پیچیده است و همین امر سبب شده تا مطالعه‌های محدودی در این زمینه انجام شود. شریان‌های حیاتی، به مجموعه تأسیسات زیربنایی در شهرها، بین شهرها، سیستم‌های ارتباطی از راه دور و نزدیک و ساختمان‌های مهم تاریخی اطلاق می‌شود (پورکرمانی، ۱۳۷۷: ۱۷۱). از این میان، مجموعه شریان‌های حیاتی شبکهٔ حمل‌ونقل که پیچیدگی و نبود کشش ترافیکی آن در زمان عادی نیز مشکل‌زاست، در برابر زمین‌لرزه به‌شدت آسیب‌پذیرند. در هنگام وقوع زلزله، بسیاری از معابر شهری بر اثر ریزش آوار ساختمانی یا پل‌ها مسدود خواهند شد و این مسئله، زمینهٔ اختلال و تأخیر در عملکرد سیستم مدیریت بحران پس‌لرزه را فراهم خواهد ساخت؛ بنابراین، نحوهٔ آسیب‌پذیری معابر شهری (شبکهٔ ارتباطی شهر) به‌دلیل ارتباط بیشتر با موضوع پژوهش، به‌صورت تفصیلی بررسی می‌شود.

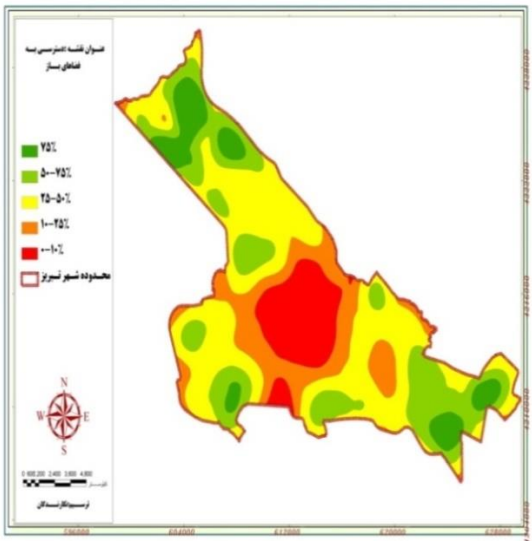
## شبکهٔ ارتباطی شهر

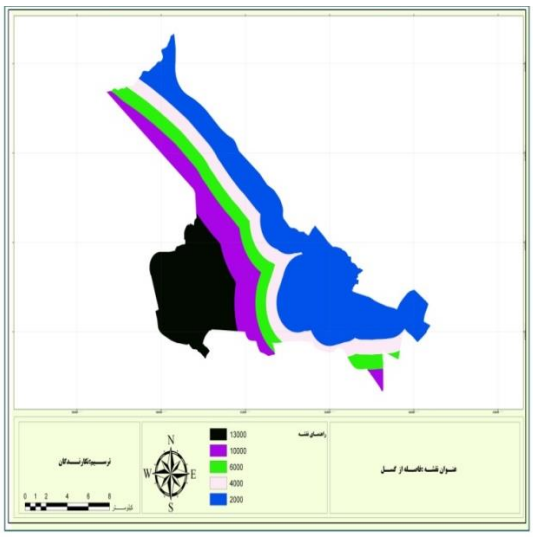
شبکه ارتباطی شهر نقش حساسی در آسیب‌پذیری شهر در برابر زلزله دارد. در صورتی که شبکهٔ ارتباطی شهر، بعد از وقوع زلزله آسیب نبیند و کارایی خود را حفظ کند، از تلفات زلزله به‌میزان زیادی کاسته خواهد شد؛ زیرا امکان گریز از موقعیت‌های خطرناک و دسترسی به مناطق امن فراهم خواهد بود و عبور و مرور وسایل نقلیهٔ امدادی به‌راحتی صورت

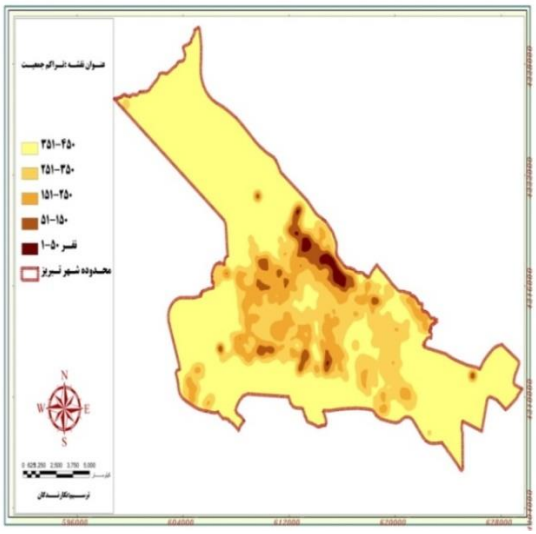
خواهد گرفت. اولین موضوع دربارهٔ شبکهٔ ارتباطی شهر و دسترسی در مقابله با زلزله، به سلسله‌مراتب آن‌ها ارتباط پیدا می‌کند که از بالاترین سطح در مقیاس منطقه و شهر، تا دسترسی به واحدهای مسکونی قابل ملاحظه است؛ بنابراین، اولین موضوع و اصل در شبکهٔ ارتباطی، وجود دسترسی‌های متنوع و متعدد با کیفیت مناسب به شهر است (عزیزی، ۱۳۸۳: ۶۷). مراکز ارتباطی شهرهای بزرگ و متوسط نباید در یک ناحیهٔ بزرگ متمرکز باشند. همچنین باید سیستم‌های چندمنظوره ایجاد شوند که هریک از این سیستم‌ها بتوانند در مواقع اضطراری جایگزین سیستم آسیب‌دیده شوند. شبکه‌های ارتباطی باید با توجه به تأسیساتی از قبیل پل‌ها طوری طراحی شوند که مقاومت لازم را در برابر زلزله داشته باشند. این موارد توجه به لزوم انجام مطالعه‌های لرزه‌خیزی، موقعیت زمین‌شناسی، گسل‌ها و جنس خاک را روشن می‌سازد (یاشیاکی کوتا، ۲۰۰۴: ۳۲۰). طراحی شبکهٔ ارتباطی درون‌شهری، گاه بدون توجه به عواملی نظیر نحوهٔ شکل‌گیری شهرها، نقاط و بافت‌های تاریخی آن‌ها و همچنین تأثیر اندک توزیع و پراکندگی کاربری‌های عمومی در شهرها انجام پذیرفته و این امر، شکل شهر و هنجارهای آن را نامتعادل و روابط موجود را بی‌برنامه و مختل می‌سازد (زارعی و کاظمی، ۱۳۷۴: ۱۳۶).

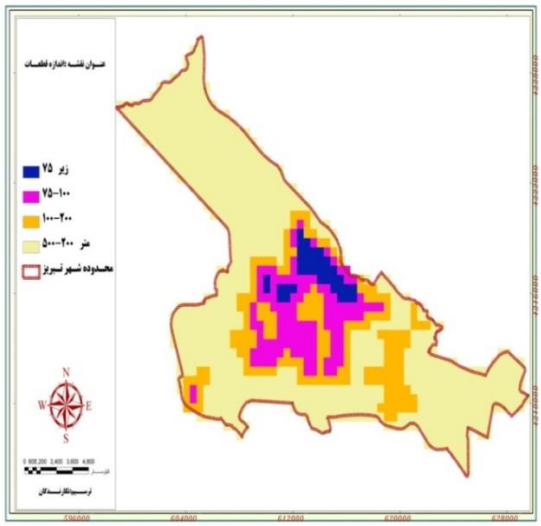


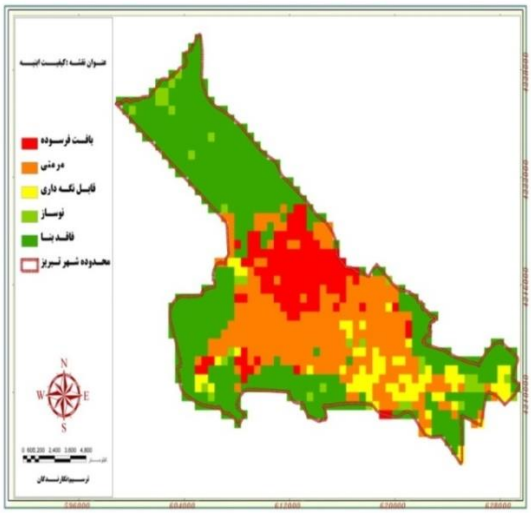


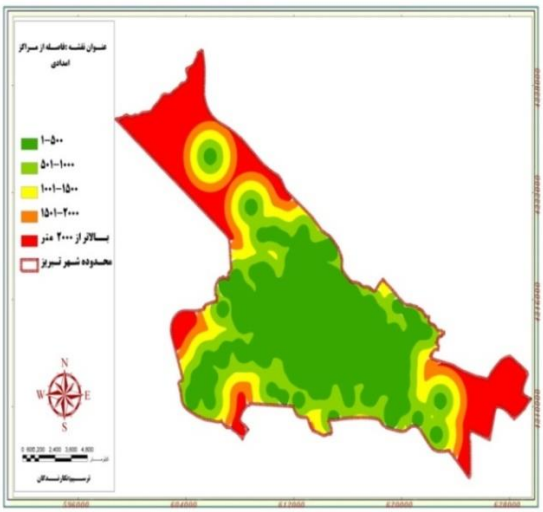


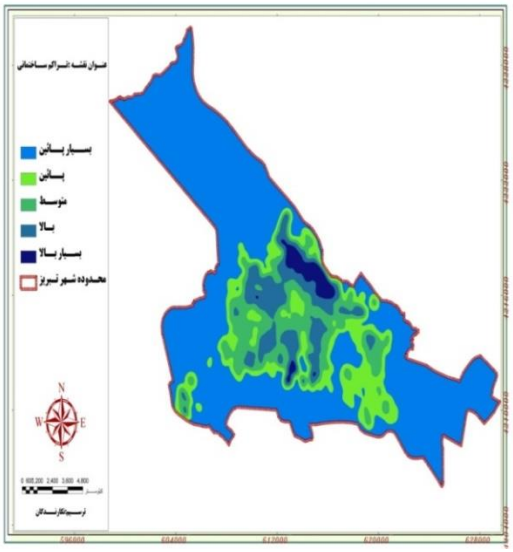



عنوان نقشه: شراکم جمعیت
۳۵۱-۴۵۰
۲۵۱-۳۵۰
۱۵۱-۲۵۰
۵۱-۱۵۰
کمتر ۱-۵۰
محدوده شهر تبریز

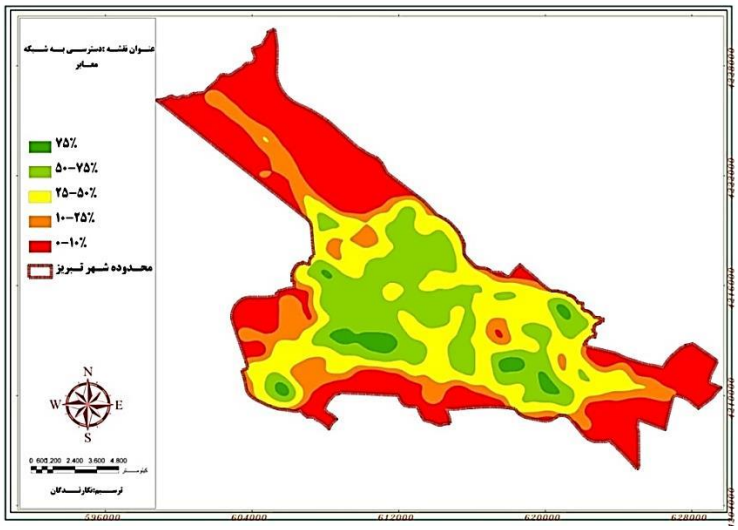

عنوان نقشه: اندازه قطعات
زیر ۷۵
۷۵-۱۰۰
۱۰۰-۲۰۰
بیش از ۲۰۰-۵۰۰ متر
محدوده شهر تبریز


عنوان نقشه: کیفیت ابنیه
بافت فرسوده
مرمتی
قابل نگه داری
نوساز
فاقد بنا
محدوده شهر تبریز


عنوان نقشه: فاصله از مراکز امدادی
۱-۵۰۰
۵۰۱-۱۰۰۰
۱۰۰۱-۱۵۰۰
۱۵۰۱-۲۰۰۰
بیشتر از ۲۰۰۰ متر
محدوده شهر تبریز


عنوان نقشه: شراکم ساختمانی
بسیار پائین
پائین
متوسط
بالا
بسیار بالا
محدوده شهر تبریز

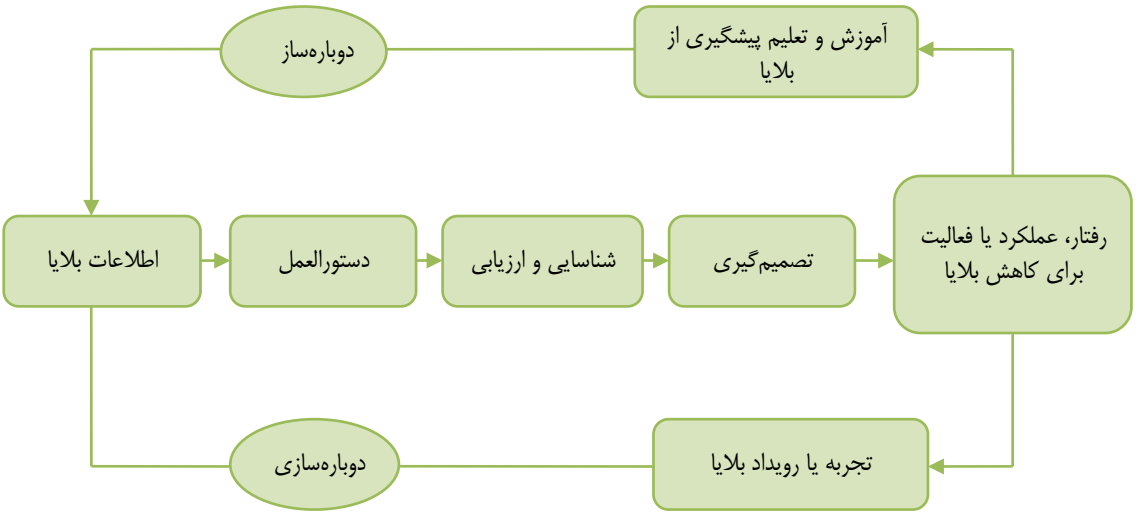
عنوان نقشه: ساختار زمین




**شکل ۱. لایه‌های استفاده‌شده در پهنه‌بندی خطرپذیری لرزه‌ای تبریز**

## برنامه‌ریزی شهری مبتنی بر ارزیابی خطر بلایا

اساسی‌ترین عامل برای اجرای برنامه‌ریزی شهری در پیشگیری از بلایا این است که مردم، به‌طور صحیح و کامل، خطر بلایا را در نواحی مسکونی خود بشناسند. حال این پرسش ایجاد می‌شود که مردم چگونه می‌توانند خطر بلایا در هر ناحیه را بشناسند؟ چگونه شناسایی خطر بلایا، مردم را به اجرای اقدام‌های پیشگیری از بلایا هدایت می‌کند؟ شکل ۲ مراحل شناسایی خطر بلایا و تأثیر متقابل انسان را نشان می‌دهد (آگویلر و دیگران، ۲۰۰۹: ۲۵۶).




**شکل ۲. مراحل شناسایی خطر بلایا و تأثیر متقابل انسان**
**مأخذ: آگویلر و دیگران، ۲۰۰۹: ۲۵۶**

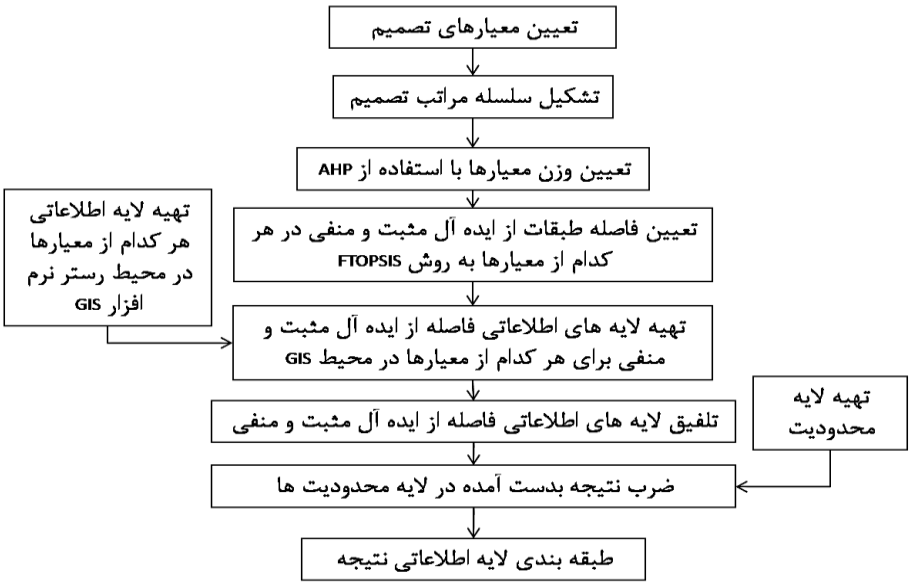
اگر سطح اقدام‌های افراد در مقابله با بلایا به‌طور گسترده افزایش یابد، ارزیابی خطر بلایا مبتنی بر برنامه‌ریزی شهری، یکی از چنین اقدام‌های مقابله‌ای است. اولین قدم برای اجرا و انجام برنامهٔ پیشگیری بلایا از طریق برنامه‌ریزی شهری، منتشر کردن اطلاعات ارزیابی خطر بلایاست تا این برنامه‌ها به‌طور صحیح و کامل برای مردم قابل درک و فهم شود.

## ارزیابی خطر بلایا و برنامه‌ریزی برای پیشگیری از بلایای شهری

دو موضوع در ارزیابی خطر بلایا وجود دارد: یکی روش برنامه‌ریزی شهری در پیشگیری از بلایاست که ساختار و محیط شهر را دربر می‌گیرد؛ زیرا این برنامه قادر به تشخیص نواحی مخاطره‌آمیز است. دیگری، برآورد تقاضا برای اقدام‌های مقابله با خسارت‌های به‌وجودآمده از یک زلزله است که برای زلزلهٔ بعدی در نظر گرفته می‌شود. برآورد این خسارت، آمادگی مقابله با بلایای بعد از زلزله را افزایش می‌دهد. اولی «ارزیابی آسیب‌پذیری ناحیه» از زلزله و بعدی «برآورد خسارت» زلزله است. ارزیابی آسیب‌پذیری ناحیه، مستلزم داشتن داده‌های جغرافیایی ناحیه در مقیاس کوچک است. از میان طرح‌ها، طرح‌های جدید توسعهٔ شهر، تعدیل و تنظیم زیرساخت‌ها، بهبود محیطی و دیگر طرح‌های مقابله با بلایا در ارتباط با این موضوع، استفاده می‌شوند. در مجموع، اصول برنامه‌ریزی شهری برای پیشگیری از بلایا عبارتند از: بازسازی یک محیط آسیب‌پذیر و توسعه و ایجاد یک محیط امن و بی‌خطر. برای ارزیابی خطر بلایا، آماده‌کردن نقشه‌های پهنه‌بندی خطر و داده‌های جغرافیایی مربوط به ساختار زمین‌شناسی، کاربری زمین، جمعیت، ساختمان‌ها، تجهیزات شهری و دیگر جنبه‌های فعالیت شهری ضروری است. این اطلاعات با به‌کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به روز و به‌کار گرفته می‌شوند (بیر کمان، ۲۰۰۶: ۸۷).

## روش پژوهش

پژوهش حاضر را می‌توان از حیث ماهیت و روش پژوهش جزء تحقیق‌های تحلیلی- اکتشافی دانست. با توجه به ماهیت داده‌ها و نبود امکان کنترل رفتار متغیرهای مؤثر در مسئله، پژوهش از نوع غیر تجربی است و روش جمع‌آوری اطلاعات در مرحلهٔ اول، به صورت اسنادی و کتابخانه‌ای و بررسی متون مختلف با موضوع زمین‌لرزه و آسیب‌های ناشی از آن است. محدودهٔ مطالعاتی این پژوهش، شهر تبریز است. ابتدا معیارهای لازم با استفاده از مطالعه‌های گذشته و نظرهای کارشناسی انتخاب شد. در مرحلهٔ بعد، با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی وزن معیارها، با توجه به نظریه‌های کارشناسی به دست آمد. در مرحلهٔ بعد، با استفاده از اعداد مثلثی، وزن معیارها فازی شد. در ادامه با استفاده از مدل TOPSIS، ایده‌آل مثبت و منفی داده به دست آمد و در نهایت، نقشهٔ نهایی در محیط GIS تهیه شد.




**شکل۳. روش پژوهش**

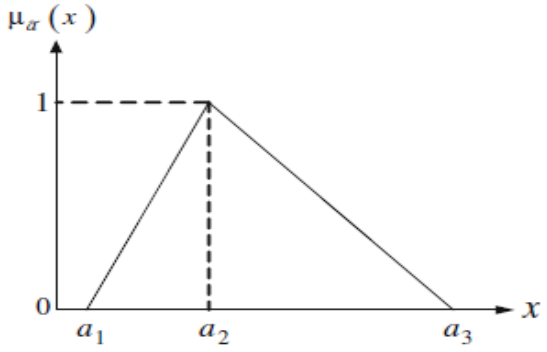
## تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)

روش AHP توسط ساعتی پیشنهاد شد (ساعتی، ۱۹۸۰) که روشی انعطاف‌پذیر و کمّی برای انتخاب میان گزینه‌ها، مبتنی بر عملکرد نسبی آن‌ها نسبت به چند معیار مورد علاقه است (لینکوو و دیگران، ۲۰۰۷؛ بوروشاکی و دیگران، ۲۰۰۸). AHP، تصمیم‌گیری‌های پیچیده را از طریق ساختار گزینه‌ها در یک چارچوب سلسله‌مراتبی حل می‌کند. روش AHP مبتنی بر مقایسه‌های زوجی یا دوبه‌دویی آلترناتیوها و معیارهای تصمیم‌گیری است (اصغرپور، ۱۳۸۷). کاربرد این روش، بر سه اصل استوار است، الف) برپایی یک ساختار و قالب رده‌ای برای مسئله؛ ب) برقراری ترجیح‌ها از طریق مقایسه‌های خروجی (به‌صورت نرخ نهایی جانشینی)؛ ج) سازگاری منطقی از اندازه‌گیری (اصغرپور، ۱۳۸۷). AHP به‌طور گسترده، برای حل مسائل تصمیم‌گیری‌های پیچیده استفاده می‌شود (چان و دیگران، ۲۰۰۷؛ داگدویرن و دیگران، ۲۰۰۸؛ قهرمان و دیگران، ۲۰۰۳؛ کولاک و دیگران، ۲۰۰۵).

## Fuzzy TOPSIS

روش TOPSIS [1] ابتدا در سال ۱۹۸۱ توسط هانگ و یون ارائه شد. براساس این مدل، هر عامل انتخابی باید کمترین فاصله را با عامل ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله را با عامل ایده‌آل منفی داشته باشد. به عبارت دیگر، در این روش، میزان فاصلهٔ یک عامل با عامل ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی سنجیده می‌شود و این خود معیار درجه‌بندی و اولویت‌بندی عوامل است. بهترین گزینه یا عامل باید نزدیک‌ترین عامل به ایده‌آل مثبت و دورترین عامل از ایده‌آل منفی باشد (وانگ و دیگران، ۲۰۰۶). به‌طور خلاصه، عامل ایده‌آل مثبت، از بهترین ارزش‌ها و عامل ایده‌آل منفی، از بدترین ارزش‌ها تشکیل شده است (وانگ، ۲۰۰۷).

چان و دیگران در سال ۲۰۰۷، روش TOPSIS را براساس مجموعهٔ فازی ارزش مقداری در تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری، توسعه دادند. شی و دیگران، روش TOPSIS را در یک محیط تصمیم‌گیری گروهی بررسی کردند. در این پژوهش، از اعداد مثلثی فازی استفاده شده است. دلیل استفاده از اعداد مثلثی این است که به‌طور مستقیم، برای تصمیم‌گیران استفاده می‌شود و محاسبه را آسان می‌کند. علاوه بر این، با استفاده از مدل‌سازی فازی مثلثی ثابت شده است که این روش، با فرمولی کردن مسائل تصمیم‌گیری ذهنی و تقریبی، روشی مؤثر به شمار می‌رود (قهرمان و دیگران، ۲۰۰۴؛ زیمرمن، ۱۹۹۶؛ چان و دیگران، ۲۰۰۲؛ چان و دیگران، ۲۰۰۷). در کاربردهای عملی، شکل مثلثی تابع عضویت، اغلب به نمایندگی از اعداد فازی استفاده می‌شود (ژو و دیگران، ۲۰۰۷). در این پژوهش، از اعداد فازی مثلثی در Fuzzy TOPSIS استفاده شده است (براساس جدول‌های ۷ و ۸). در شکل ۴ عدد فازی مثلثی به صورت $(\mathbf{a_1}, \mathbf{a_2}, \mathbf{a_3})$ نشان داده می‌شود.




**شکل ۴. اعداد فازی مثلثی a**

1. Technique for order preference by similarity to ideal solution

درجهٔ عضویت هریک از این اعداد براساس رابطهٔ ۱

$$\text{triangle}(a_1, a_2, a_3) = \begin{cases} 0 & x < a_1 \\ \dfrac{x - a_1}{a_2 - a_1} & a_1 \le x \le a_2 \\ \dfrac{a_3 - x}{a_3 - a_2} & a_2 \le x \le a_3 \\ 0 & x > a_3 \end{cases} \quad (1)$$

اگر $\tilde{a}(a_1, a_2, a_3)$ و $b(b_1, b_2, b_3)$ دو عدد مثلثی باشند، روابط ریاضی این دو عدد به صورت زیر ارائه می‌شود:

$$\tilde{a}(+)\tilde{b} = (a_1, a_2, a_3)(+)(b_1, b_2, b_3) = \left[(a_1 + b_1), (a_2 + b_2), (a_3 + b_3)\right] \quad (2)$$

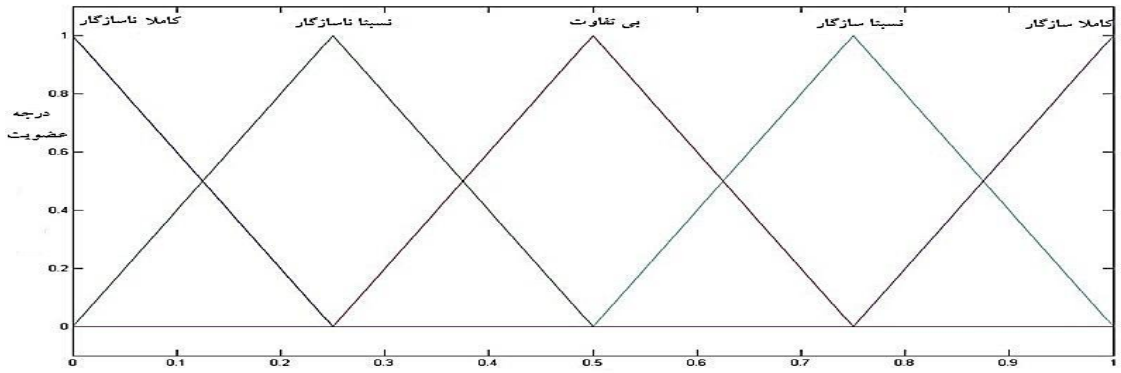
$$\tilde{a}(-)\tilde{b} = (a_1, a_2, a_3)(-)(b_1, b_2, b_3) = \left[(a_1 - b_1), (a_2 - b_2), (a_3 - b_3)\right] \quad (3)$$

$$\tilde{a}(\times)\tilde{b} = (a_1, a_2, a_3)(\times)(b_1, b_2, b_3) = \left[(a_1 \times b_1), (a_2 \times b_2), (a_3 \times b_3)\right] \quad (4)$$

$$\tilde{a}(\div)\tilde{b} = (a_1, a_2, a_3)(\div)(b_1, b_2, b_3) = \left[(a_1 \div b_3), (a_2 \div b_2), (a_3 \div b_1)\right] \quad (5)$$

$$k\tilde{a} = (ka_1, ka_2, ka_3) \quad (6)$$

در مرحلهٔ بعد، مطابق شکل ۵، متغیرهای زبانی را تبدیل به اعداد مثلثی کردیم.




**شکل ۵. ارزش‌های زبانی برای متغیرهای زبانی**

## بحث و یافته‌ها

همان‌گونه که در جدول ۶ دیده می‌شود، بعد از تعیین معیارها و تشکیل سلسله‌مراتب تصمیم وزن هر معیار را با استفاده از مقایسه‌های زوجی و با توجه به نظر کارشناسی به دست آوردیم.

**جدول ۶. وزن معیارها با استفاده از مقایسهٔ زوجی با توجه به نظر کارشناسی**

| معیارها | فاصله از گسل | تراکم جمعیتی | تراکم ساختمانی | ویژگی‌های سازه‌ای | فاصله از مراکز خطرزا | دسترسی به شبکهٔ معابر | دسترسی به فضاهای باز | دسترسی به مراکز امداد | اندازهٔ قطعه‌ها | CR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| وزن | ۰/۳۰۷ | ۰/۲۱۸ | ۰/۱۱۳ | ۰/۰۹۸ | ۰/۰۶۴ | ۰/۰۸۴ | ۰/۰۵ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۱۶ | ۰/۰۹ |

در این مرحله، پس از تبدیل متغیرهای زبانی به اعداد مثلثی، این اعداد را در وزن معیارهای پهنه‌بندی خطرپذیری- که به روش AHP با نظر کارشناسی به دست آمده است- ضرب می‌کنیم تا وزن فازی را به دست آوریم. این مرحله در جدول ۷ نشان داده شده است.

**جدول ۷. تشکیل ماتریس مؤلفه‌های عددی فازی و به دست آوردن وزن فازی**

| **فاصله از گسل** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Linguistic variables** | Triangular Fuzzy numbers | a1 | a2 | a3 | Weight(AHP) | a1 | a2 | a3 |
| **کاملاً سازگار** | (۰/۷۵ ۱ ۱) | ۰/۷۵ | 1 | 1 | ۰/۲۷۱ | ۰/۲۰۳۲۵ | ۰/۲۷۱ | ۰/۲۷۱ |
| **نسبتاً سازگار** | (۰/۵ ۰/۷۵ ۱) | ۰/۵ | ۰/۷۵ | 1 | ۰/۲۷۱ | ۰/۱۳۵۵ | ۰/۲۰۳۲۵ | ۰/۲۷۱ |
| **بی‌تفاوت** | (۰/۲۵ ۰/۵ ۰/۷۵) | ۰/۲۵ | ۰/۵ | ۰/۷۵ | ۰/۲۷۱ | ۰/۰۶۷۷۵ | ۰/۱۳۵۵ | ۰/۲۰۳۲۵ |
| **نسبتاً ناسازگار** | (۰ ۰/۲۵ ۰/۵) | ۰ | ۰/۲۵ | ۰/۵ | ۰/۲۷۱ | ۰ | ۰/۰۶۷۷۵ | ۰/۱۳۵۵ |
| **کاملاً ناسازگار** | (۰ ۰ ۰/۲۵) | ۰ | ۰ | ۰/۲۵ | ۰/۲۷۱ | ۰ | ۰ | ۰/۰۶۷۷۵ |
| **تراکم جمعیتی** | | | | | | | | |
| **Linguistic variables** | Triangular Fuzzy numbers | a1 | a2 | a3 | Weight(AHP) | a1 | a2 | a3 |
| **کاملاً سازگار** | (۰/۷۵ ۱ ۱) | a1 | a2 | a3 | Weight | a1 | a2 | a3 |
| **نسبتاً سازگار** | (۰/۵ ۰/۷۵ ۱) | ۰/۷۵ | 1 | 1 | ۰/۱۸۷ | ۰/۱۴۰۲۵ | ۰/۱۸۷ | ۰/۱۸۷ |
| **بی‌تفاوت** | (۰/۲۵ ۰/۵ ۰/۷۵) | ۰/۵ | ۰/۷۵ | 1 | ۰/۱۸۷ | ۰/۰۹۳۵ | ۰/۱۴۰۲۵ | ۰/۱۸۷ |
| **نسبتاً ناسازگار** | (۰ ۰/۲۵ ۰/۵) | ۰/۲۵ | ۰/۵ | ۰/۷۵ | ۰/۱۸۷ | ۰/۴۶۷۵ | ۰/۰۹۳۵ | ۰/۱۴۰۲۵ |
| **کاملاً ناسازگار** | (۰ ۰ ۰/۲۵) | 0 | ۰/۲۵ | ۰/۵ | ۰/۱۸۷ | 0 | ۰/۰۴۶۷۵ | ۰/۰۹۳۵ |
| **تراکم ساختمانی** | | | | | | | | |
| **Linguistic variables** | Triangular Fuzzy numbers | a1 | a2 | a3 | Weight(AHP) | a1 | a2 | a3 |
| **کاملاً سازگار** | (۰/۷۵ ۱ ۱) | ۰/۷۵ | 1 | 1 | ۰/۰۹۳ | ۰/۰۶۹۷۵ | ۰/۰۹۳ | ۰/۰۹۳ |
| **نسبتاً سازگار** | (۰/۵ ۰/۷۵ ۱) | ۰/۵ | ۰/۷۵ | 1 | ۰/۰۹۳ | ۰/۰۴۶۵ | ۰/۰۶۹۷۵ | ۰/۰۹۳ |
| **بی‌تفاوت** | (۰/۲۵ ۰/۵ ۰/۷۵) | ۰/۲۵ | ۰/۵ | ۰/۷۵ | ۰/۰۹۳ | ۰/۰۲۳۲۵ | ۰/۰۴۶۵ | ۰/۰۶۹۷۵ |
| **نسبتاً ناسازگار** | (۰ ۰/۲۵ ۰/۵) | 0 | ۰/۲۵ | ۰/۵ | ۰/۰۹۳ | 0 | ۰/۰۲۳۲۵ | ۰/۰۴۶۵ |
| **کاملاً ناسازگار** | (۰ ۰ ۰/۲۵) | 0 | 0 | ۰/۲۵ | ۰/۰۹۳ | 0 | 0 | ۰/۰۲۳۲۵ |
| **ویژگی‌های سازه‌ای** | | | | | | | | |
| **Linguistic variables** | Triangular Fuzzy numbers | a1 | a2 | a3 | Weight(AHP) | a1 | a2 | a3 |
| **کاملاً سازگار** | (۰/۷۵ ۱ ۱) | ۰/۷۵ | 1 | 1 | ۰/۰۶۶ | ۰/۰۴۹۵ | ۰/۰۶۶ | ۰/۰۶۶ |
| **نسبتاً سازگار** | (۰/۵ ۰/۷۵ ۱) | ۰/۵ | ۰/۷۵ | 1 | ۰/۰۶۶ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۴۹۵ | ۰/۰۶۶ |
| **بی‌تفاوت** | (۰/۲۵ ۰/۵ ۰/۷۵) | ۰/۲۵ | ۰/۵ | ۰/۷۵ | ۰/۰۶۶ | ۰/۰۱۶۵ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۴۹۵ |
| **نسبتاً ناسازگار** | (۰ ۰/۲۵ ۰/۵) | 0 | ۰/۲۵ | ۰/۵ | ۰/۰۶۶ | 0 | ۰/۰۱۶۵ | ۰/۰۳۳ |
| **کاملاً ناسازگار** | (۰ ۰ ۰/۲۵) | 0 | 0 | ۰/۲۵ | ۰/۰۶۶ | 0 | 0 | ۰/۰۱۶۵ |
| **فاصله از مراکز خطرزا** | | | | | | | | |
| **Linguistic variables** | Triangular Fuzzy numbers | a1 | a2 | a3 | Weight(AHP) | a1 | a2 | a3 |
| **کاملاً سازگار** | (۰/۷۵ ۱ ۱) | ۰/۷۵ | 1 | 1 | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۵۲ |

**ادامهٔ جدول ۷. تشکیل ماتریس مؤلفه‌های عددی فازی و به دست آوردن وزن فازی**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **نسبتاً سازگار** | (۰/۵ ۰/۷۵ ۱) | ۰/۵ | ۰/۷۵ | 1 | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۲۶ | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۵۲ |
| **بی‌تفاوت** | (۰/۲۵ ۰/۵ ۰/۷۵) | ۰/۲۵ | ۰/۵ | ۰/۷۵ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۱۳ | ۰/۰۲۶ | ۰/۰۳۹ |
| **نسبتاً ناسازگار** | (۰ ۰/۲۵ ۰/۵) | 0 | ۰/۲۵ | ۰/۵ | ۰/۰۵۲ | 0 | ۰/۰۱۳ | ۰/۰۲۶ |
| **کاملاً ناسازگار** | (۰ ۰ ۰/۲۵) | 0 | 0 | ۰/۲۵ | ۰/۰۵۲ | 0 | 0 | ۰/۰۱۳ |
| **دسترسی به شبکهٔ معابر** | | | | | | | | |
| **Linguistic variables** | Triangular Fuzzy numbers | a1 | a2 | a3 | Weight(AHP) | a1 | a2 | a3 |
| **کاملاً سازگار** | (۰/۷۵ ۱ ۱) | ۰/۷۵ | 1 | 1 | ۰/۰۶۳ | ۰/۰۴۷۲۵ | ۰/۰۶۳ | ۰/۰۶۳ |
| **نسبتاً سازگار** | (۰/۵ ۰/۷۵ ۱) | ۰/۵ | ۰/۷۵ | 1 | ۰/۰۶۳ | ۰/۰۳۱۵ | ۰/۰۴۷۲۵ | ۰/۰۶۳ |
| **بی‌تفاوت** | (۰/۲۵ ۰/۵ ۰/۷۵) | ۰/۲۵ | ۰/۵ | ۰/۷۵ | ۰/۰۶۳ | ۰/۰۱۵۷۵ | ۰/۰۳۱۵ | ۰/۰۴۷۲۵ |
| **نسبتاً ناسازگار** | (۰ ۰/۲۵ ۰/۵) | 0 | ۰/۲۵ | ۰/۵ | ۰/۰۶۳ | 0 | ۰/۰۱۵۷۵ | ۰/۰۳۱۵ |
| **کاملاً ناسازگار** | (۰ ۰ ۰/۲۵) | 0 | 0 | ۰/۲۵ | ۰/۰۶۳ | 0 | 0 | ۰/۰۱۵۷۵ |
| **دسترسی به فضاهای باز** | | | | | | | | |
| **Linguistic variables** | Triangular Fuzzy numbers | a1 | a2 | a3 | Weight(AHP) | a1 | a2 | a3 |
| **کاملاً سازگار** | (۰/۷۵ ۱ ۱) | ۰/۷۵ | 1 | 1 | ۰/۰۲۵ | ۰/۰۱۸۷۵ | ۰/۰۲۵ | ۰/۰۲۵ |
| **نسبتاً سازگار** | (۰/۵ ۰/۷۵ ۱) | ۰/۵ | ۰/۷۵ | 1 | ۰/۰۲۵ | ۰/۰۱۲۵ | ۰/۰۱۸۷۵ | ۰/۰۲۵ |
| **بی‌تفاوت** | (۰/۲۵ ۰/۵ ۰/۷۵) | ۰/۲۵ | ۰/۵ | ۰/۷۵ | ۰/۰۲۵ | ۰/۰۰۶۲۵ | ۰/۰۱۲۵ | ۰/۰۱۸۷۵ |
| **نسبتاً ناسازگار** | (۰ ۰/۲۵ ۰/۵) | 0 | ۰/۲۵ | ۰/۵ | ۰/۰۲۵ | 0 | ۰/۰۰۶۲۵ | ۰/۰۱۲۵ |
| **کاملاً ناسازگار** | (۰ ۰ ۰/۲۵) | 0 | 0 | ۰/۲۵ | ۰/۰۲۵ | 0 | 0 | ۰/۰۰۶۲۵ |
| **دسترسی به مراکز امداد** | | | | | | | | |
| **Linguistic variables** | Triangular Fuzzy numbers | a1 | a2 | a3 | Weight(AHP) | a1 | a2 | a3 |
| **کاملاً سازگار** | (۰/۷۵ ۱ ۱) | ۰/۷۵ | 1 | 1 | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۵۲ |
| **نسبتاً سازگار** | (۰/۵ ۰/۷۵ ۱) | ۰/۵ | ۰/۷۵ | 1 | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۲۶ | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۵۲ |
| **بی‌تفاوت** | (۰/۲۵ ۰/۵ ۰/۷۵) | ۰/۲۵ | ۰/۵ | ۰/۷۵ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۱۳ | ۰/۰۲۶ | ۰/۰۳۹ |
| **نسبتاً ناسازگار** | (۰ ۰/۲۵ ۰/۵) | 0 | ۰/۲۵ | ۰/۵ | ۰/۰۵۲ | 0 | ۰/۰۱۳ | ۰/۰۲۶ |
| **کاملاً ناسازگار** | (۰ ۰ ۰/۲۵) | 0 | 0 | ۰/۲۵ | ۰/۰۵۲ | 0 | 0 | ۰/۰۱۳ |
| **اندازه و حدود قطعه‌ها** | | | | | | | | |
| **Linguistic variables** | Triangular Fuzzy numbers | a1 | a2 | a3 | Weight(AHP) | a1 | a2 | a3 |
| **کاملاً سازگار** | (۰/۷۵ ۱ ۱) | ۰/۷۵ | 1 | 1 | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۱۸ | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۲۴ |
| **نسبتاً سازگار** | (۰/۵ ۰/۷۵ ۱) | ۰/۵ | ۰/۷۵ | 1 | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۱۲ | ۰/۰۱۸ | ۰/۰۲۴ |
| **بی‌تفاوت** | (۰/۲۵ ۰/۵ ۰/۷۵) | ۰/۲۵ | ۰/۵ | ۰/۷۵ | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۱۲ | ۰/۰۱۸ |
| **نسبتاً ناسازگار** | (۰ ۰/۲۵ ۰/۵) | 0 | ۰/۲۵ | ۰/۵ | ۰/۰۲۴ | 0 | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۱۲ |
| **کاملاً ناسازگار** | (۰ ۰ ۰/۲۵) | 0 | 0 | ۰/۲۵ | ۰/۰۲۴ | 0 | 0 | ۰/۰۰۶ |
| **جنس زمین** | | | | | | | | |
| **Linguistic variable** | Triangular Fuzzy numbers | a1 | a2 | a3 | weight | a1 | a2 | a3 |
| **کاملاً سازگار** | (۰/۷۵ ۱ ۱) | ۰/۷۵ | 1 | 1 | ۰/۱۶۹ | ۰/۱۲۶۷۵ | ۰/۱۶۹ | ۰/۱۶۹ |
| **نسبتاً سازگار** | (۰/۵ ۰/۷۵ ۱) | ۰/۵ | ۰/۷۵ | 1 | ۰/۱۶۹ | ۰/۰۸۴۵ | ۰/۱۲۶۷۵ | ۰/۱۶۹ |
| **بی‌تفاوت** | (۰/۲۵ ۰/۵ ۰/۷۵) | ۰/۲۵ | ۰/۵ | ۰/۷۵ | ۰/۱۶۹ | ۰/۰۴۲۲۵ | ۰/۰۸۴۵ | ۰/۱۲۶۷۵ |
| **نسبتاً ناسازگار** | (۰ ۰/۲۵ ۰/۵) | 0 | ۰/۲۵ | ۰/۵ | ۰/۱۶۹ | 0 | ۰/۰۴۲۲۵ | ۰/۰۸۴۵ |
| **کاملاً ناسازگار** | (۰ ۰ ۰/۲۵) | 0 | 0 | ۰/۲۵ | ۰/۱۶۹ | 0 | 0 | ۰/۰۴۲۲۵ |

بعد از تشکیل ماتریس تصمیم با مؤلفه‌های عددی فازی، در مرحلهٔ بعد، با استفاده از روش TOPSIS، فاصلهٔ هریک از معیارهای پهنه‌بندی از ایده‌آل مثبت و منفی را به دست می‌آوریم. برای هر معیار، لایه‌های اطلاعاتی فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی ایجاد می‌شود که به صورت زیر به دست می‌آید:

اگر $W = (w_1, = (w_m)$ بردار وزن معیارها با شرط $\sum_{j=1}^{m} W_j = 1$ باشد، که با استفاده از مقایسه‌های زوجی به دست آمده است و T ماتریس تصمیم برای پهنه‌بندی خطرپذیری است که در آن، $\tilde{a}_{ij}$ عدد مثلثی است که ارجحیت طبقهٔ iام معیار jام نسبت به باقی طبقات را براساس نظر کارشناسی نشان می‌دهد.

$$T = \begin{bmatrix} \tilde{a}_{۱۱} & \tilde{a}_{۱۲} & \dots & \tilde{a}_{۱j} \\ \tilde{a}_{۲۱} & \tilde{a}_{۲۲} & \dots & \tilde{a}_{۲j} \\ \vdots & \vdots & \dots\vdots & \vdots \\ \tilde{a}_{i۱} & \tilde{a}_{i۲} & \dots & \tilde{a}_{ij} \end{bmatrix} \quad (۷)$$

با ضرب $W_j$ در هریک از مؤلفه‌های ستون jام ماتریس T براساس رابطهٔ ۸، ماتریس V با مؤلفه‌های $\tilde{v}_{ij} = (W_j(\times)\tilde{a}_{ij})$ شکل می‌گیرد. از آنجا که اعداد فازی یک مقیاس دارند، نیازی به نرمالیزه کردن نیست.

$$\tilde{v}_{ij} = \left(W_j(\times)\tilde{a}_{ij}\right) \quad (۸)$$

رابطه‌های ۹ و ۱۰ به‌ترتیب، بردار گزینه‌های ایده‌آل‌های مثبت و منفی ماتریس V را نشان می‌دهند.

$$A^+ = \left(\tilde{v}_۱^{max}, \tilde{v}_۲^{max}, \dots, \tilde{v}_j^{max}\right) \quad (۹)$$

$$A^- = \left(\tilde{v}_۱^{min}, \tilde{v}_۲^{min}, \dots, \tilde{v}_j^{min}\right) \quad (۱۰)$$

با تفریق هریک از مؤلفه‌های ماتریس V از $\tilde{v}_j^{max}$ (رابطهٔ ۱۱) و تقسیم مجموعه مؤلفه‌های هر عدد فازی بر ۳، رابطهٔ ۱۲ به دست می‌آید. ماتریس فاصله از ایده‌آل مثبت، $D^+ = (d_{ij}^+)$ است. رابطهٔ ۱۳ از رابطهٔ ۱۱ و ۱۲ حاصل می‌شود که در این رابطه‌ها $d_{ij}^+$ فاصلهٔ طبقهٔ iام معیار jام از ایده‌آل مثبت jام است.

$$\tilde{d}_{ij}^+ = \tilde{v}_j^{max}\left(-\right)\tilde{v}_{ij} \quad (۱۱)$$

$$d_{ij}^+ = \frac{d_{ij_۱}^+ + d_{ij_۲}^+ + d_{ij_۳}^+}{۳} \quad (۱۲)$$

$$D^+ = \begin{bmatrix} d_{۱۱}^+ = \frac{d_{۱۱_۱}^+ + d_{۱۱_۲}^+ + d_{۱۱_۳}^+}{۳} & d_{۱۲}^+ & \dots & d_{۱j}^+ \\ d_{۲۱}^+ & d_{۲۲}^+ & \dots & d_{۲j}^+ \\ \vdots & \vdots & \dots\vdots & \vdots \\ d_{i۱}^+ & d_{i۲}^+ & \dots & d_{ij}^+ \end{bmatrix} \quad (۱۳)$$

ماتریس فاصله از ایده‌آل منفی $(D^-)$ است. رابطهٔ ۱۶ نیز از طریق رابطه‌های ۱۴ و ۱۵ به دست می‌آید که در این رابطه‌ها $d_{ij}^-$، فاصلهٔ طبقهٔ iام معیار jام از ایده‌آل منفی jام است.

$$\tilde{d}_{ij}^- = \tilde{v}_{ij}\left(-\right)\tilde{v}_j^{min} \quad (۱۴)$$

$$d_{ij}^- = \frac{d_{ij_۱}^- + d_{ij_۲}^- + d_{ij_۳}^-}{۳} \quad (۱۵)$$

$$D^- = \begin{bmatrix} d_{۱۱}^- = \frac{d_{۱۱_۱}^- + d_{۱۱_۲}^- + d_{۱۱_۳}^-}{۳} & d_{۱۲}^- & \dots & d_{۱j}^- \\ d_{۲۱}^- & d_{۲۲}^- & \dots & d_{۲j}^- \\ \vdots & \vdots & \dots\vdots & \vdots \\ d_{i۱}^- & d_{si۲}^- & \dots & d_{ij}^- \end{bmatrix} \quad (۱۶)$$

**جدول ۸. محاسبهٔ فاصلهٔ معیارها از ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی**

| فاصله از گسل | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| طبقه‌ها | V* | | | d~_ij^+ | | | v- | | | d~_ij^- | | | D* | D- |
| | a1 | a2 | a3 | a1 | a2 | a3 | a1 | a2 | a3 | a1 | a2 | a3 | - | - |
| 1 | ۰/۲۰۳۲۵ | ۰/۲۷۱ | ۰/۲۷۱ | | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | ۰/۰۶۷۷۵ | | ۰/۰۰۰ | ۰/۲۲۶ |
| 2 | ۰/۲۰۳۲۵ | ۰/۲۷۱ | ۰/۲۷۱ | | ۰/۰۶۷۷۵ | ۰/۰۶۷۷۵ | 0 | | 0 | 0 | ۰/۰۶۷۷۵ | | ۰/۰۴۵ | ۰/۱۸۱ |
| 3 | ۰/۲۰۳۲۵ | ۰/۲۷۱ | ۰/۲۷۱ | | ۰/۱۳۲۵۵ | ۰/۱۳۲۵۵ | ۰/۰۶۷۷۵ | | 0 | 0 | ۰/۰۶۷۷۵ | | ۰/۱۱۳ | ۰/۱۱۳ |
| 4 | ۰/۲۰۳۲۵ | ۰/۲۷۱ | ۰/۲۷۱ | | ۰/۲۰۳۲۵ | ۰/۲۰۳۲۵ | ۰/۱۳۲۵۵ | | 0 | 0 | ۰/۰۶۷۷۵ | | ۰/۱۸۱ | ۰/۰۴۵ |
| 5 | ۰/۲۰۳۲۵ | ۰/۲۷۱ | ۰/۲۷۱ | | ۰/۲۰۳۲۵ | ۰/۲۷۱ | ۰/۲۰۳۲۵ | | 0 | 0 | ۰/۰۶۷۷۵ | | ۰/۲۲۶ | ۰/۰۰۰ |
| تراکم جمعیتی | | | | | | | | | | | | | | |
| طبقه‌ها | V* | | | d~_ij^+ | | | v- | | | d~_ij^- | | | D* | D- |
| 1 | ۰/۱۴۰ | ۰/۱۸۷ | ۰/۱۸۷ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۴۷ | ۰/۱۴۰ | ۰/۱۸۷ | ۰/۱۴۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۱۵۶ |
| 2 | ۰/۱۴۰ | ۰/۱۸۷ | ۰/۱۸۷ | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۹۴ | ۰/۱۴۰ | ۰/۱۴۰ | ۰/۰۳۱ | ۰/۱۲۵ |
| 3 | ۰/۱۴۰ | ۰/۱۸۷ | ۰/۱۸۷ | ۰/۰۹۴ | ۰/۰۹۴ | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۹۴ | ۰/۰۹۴ | ۰/۰۷۸ | ۰/۰۷۸ |
| 4 | ۰/۱۴۰ | ۰/۱۸۷ | ۰/۱۸۷ | ۰/۱۴۰ | ۰/۱۴۰ | ۰/۰۹۴ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۴۷ | ۰/۱۲۵ | ۰/۰۳۱ |
| 5 | ۰/۱۴۰ | ۰/۱۸۷ | ۰/۱۸۷ | ۰/۱۴۰ | ۰/۱۸۷ | ۰/۱۴۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۱۵۶ | ۰/۰۰۰ |
| تراکم ساختمانی | | | | | | | | | | | | | | |
| طبقه‌ها | V* | | | d~_ij^+ | | | v- | | | d~_ij^- | | | D* | D- |
| 1 | ۰/۰۷۰ | ۰/۰۹۳ | ۰/۰۹۳ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۲۳ | ۰/۰۷۰ | ۰/۰۹۳ | ۰/۰۷۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۷۸ |
| 2 | ۰/۰۷۰ | ۰/۰۹۳ | ۰/۰۹۳ | ۰/۰۲۳ | ۰/۰۲۳ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۲۳ | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۷۰ | ۰/۰۷۰ | ۰/۰۱۶ | ۰/۰۶۲ |
| 3 | ۰/۰۷۰ | ۰/۰۹۳ | ۰/۰۹۳ | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۲۳ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۲۳ | ۰/۰۲۳ | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۳۹ |
| 4 | ۰/۰۷۰ | ۰/۰۹۳ | ۰/۰۹۳ | ۰/۰۷۰ | ۰/۰۷۰ | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۲۳ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۲۳ | ۰/۰۲۳ | ۰/۰۶۲ | ۰/۰۱۶ |
| 5 | ۰/۰۷۰ | ۰/۰۹۳ | ۰/۰۹۳ | ۰/۰۷۰ | ۰/۰۹۳ | ۰/۰۷۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۲۳ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۷۸ | ۰/۰۰۰ |
| ویژگی‌های سازه‌ای | | | | | | | | | | | | | | |
| طبقه‌ها | V* | | | d~_ij^+ | | | v- | | | d~_ij^- | | | D* | D- |
| 1 | ۰/۰۵۰ | ۰/۰۶۶ | ۰/۰۶۶ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۱۷ | ۰/۰۵۰ | ۰/۰۶۶ | ۰/۰۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۵۵ |
| 2 | ۰/۰۵۰ | ۰/۰۶۶ | ۰/۰۶۶ | ۰/۰۱۷ | ۰/۰۱۷ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۱۷ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۵۰ | ۰/۰۵۰ | ۰/۰۱۱ | ۰/۰۴۴ |
| 3 | ۰/۰۵۰ | ۰/۰۶۶ | ۰/۰۶۶ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۱۷ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۱۷ | ۰/۰۱۷ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۲۸ | ۰/۰۲۸ |
| 4 | ۰/۰۵۰ | ۰/۰۶۶ | ۰/۰۶۶ | ۰/۰۵۰ | ۰/۰۵۰ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۱۷ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۱۷ | ۰/۰۱۷ | ۰/۰۴۴ | ۰/۰۱۱ |
| 5 | ۰/۰۵۰ | ۰/۰۶۶ | ۰/۰۶۶ | ۰/۰۵۰ | ۰/۰۶۶ | ۰/۰۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۱۷ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۵۵ | ۰/۰۰۰ |
| فاصله از مراکز خطرزا | | | | | | | | | | | | | | |
| طبقه‌ها | V* | | | d~_ij^+ | | | v- | | | d~_ij^- | | | D* | D- |
| 1 | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۱۳ | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۴۳ |
| 2 | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۱۳ | ۰/۰۱۳ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۱۳ | ۰/۰۲۶ | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۰۹ | ۰/۰۳۵ |
| 3 | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۲۶ | ۰/۰۲۶ | ۰/۰۱۳ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۱۳ | ۰/۰۱۳ | ۰/۰۲۶ | ۰/۰۲۶ | ۰/۰۲۲ | ۰/۰۲۲ |
| 4 | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۲۶ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۱۳ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۱۳ | ۰/۰۱۳ | /۰۳۵۰ | ۰/۰۰۹ |
| 5 | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۱۳ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۴۳ | ۰/۰۰۰ |
| دسترسی به شبکهٔ معابر | | | | | | | | | | | | | | |
| طبقه‌ها | V* | | | d~_ij^+ | | | v- | | | d~_ij^- | | | D* | D- |
| 1 | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۶۳ | ۰/۰۶۳ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۱۶ | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۶۳ | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۵۳ |
| 2 | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۶۳ | ۰/۰۶۳ | ۰/۰۱۶ | ۰/۰۱۶ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۱۶ | ۰/۰۳۲ | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۱۱ | ۰/۰۴۲ |
| 3 | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۶۳ | ۰/۰۶۳ | ۰/۰۳۲ | ۰/۰۳۲ | ۰/۰۱۶ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۱۶ | ۰/۰۱۶ | ۰/۰۳۲ | ۰/۰۳۲ | ۰/۰۲۶ | ۰/۰۲۶ |
| 4 | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۶۳ | ۰/۰۶۳ | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۳۲ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۱۶ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۱۶ | ۰/۰۱۶ | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۱۱ |
| 5 | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۶۳ | ۰/۰۶۳ | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۶۳ | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۱۶ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۵۳ | ۰/۰۰۰ |
| دسترسی به فضاهای باز | | | | | | | | | | | | | | |
| طبقات | V* | | | d~_ij^+ | | | v- | | | d~_ij^- | | | D* | D- |
| 1 | ۰/۰۱۹ | ۰/۰۲۵ | ۰/۰۲۵ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱۹ | ۰/۰۲۵ | ۰/۰۱۹ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۲۱ |
| 2 | ۰/۰۱۹ | ۰/۰۲۵ | ۰/۰۲۵ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱۳ | ۰/۰۱۹ | ۰/۰۱۹ | ۰/۰۰۴ | ۰/۰۱۷ |
| 3 | ۰/۰۱۹ | ۰/۰۲۵ | ۰/۰۲۵ | ۰/۰۱۳ | ۰/۰۱۳ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۱۳ | ۰/۰۱۳ | ۰/۰۱۰ | /۰۱۰ |
| 4 | ۰/۰۱۹ | ۰/۰۲۵ | ۰/۰۲۵ | ۰/۰۱۹ | ۰/۰۱۹ | ۰/۰۱۳ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۱۷ | ۰/۰۰۴ |
| 5 | ۰/۰۱۹ | ۰/۰۲۵ | ۰/۰۲۵ | ۰/۰۱۹ | ۰/۰۲۵ | ۰/۰۱۹ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | 0.01 | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۲۱ | ۰/۰۰۰ |
| دسترسی به مراکز امداد | | | | | | | | | | | | | | |
| طبقات | V* | | | d~_ij^+ | | | v- | | | d~_ij^- | | | D* | D- |
| 1 | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۴۳ |
| 2 | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۱۳ | ۰/۰۱۳ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۲۶ | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۰۹ | ۰/۰۳۵ |
| 3 | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۲۶ | ۰/۰۲۶ | ۰/۰۱۳ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱۳ | ۰/۰۲۶ | ۰/۰۲۶ | ۰/۰۲۲ | ۰/۰۲۲ |
| 4 | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۲۶ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۱۳ | ۰/۰۱۳ | ۰/۰۳۵ | ۰/۰۰۹ |

**ادامهٔ جدول ۸. محاسبهٔ فاصلهٔ معیارها از ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی**

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۴۳ | ۰/۰۰۰ |
| **اندازه و حدود قطعه‌ها** | | | | | | | | | | | | | | |
| **طبقه‌ها** | V* | | | d ̃_ij^+ | | | v- | | | d ̃_ij^- | | | D* | D- |
| **1** | ۰/۰۱۸ | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۱۸ | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۱۸ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۲۰ |
| **2** | ۰/۰۱۸ | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۱۲ | ۰/۰۱۸ | ۰/۰۱۸ | ۰/۰۰۴ | ۰/۰۱۶ |
| **3** | ۰/۰۱۸ | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۱۲ | ۰/۰۱۲ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۱۲ | ۰/۰۱۲ | ۰/۰۱۰ | ۰/۰۱۰ |
| **4** | ۰/۰۱۸ | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۱۸ | ۰/۰۱۸ | ۰/۰۱۲ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۱۶ | ۰/۰۰۴ |
| **5** | ۰/۰۱۸ | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۱۸ | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۱۸ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۲۰ | ۰/۰۰۰ |
| **جنس زمین** | | | | | | | | | | | | | | |
| **طبقات** | V* | | | d ̃_ij^+ | | | v- | | | d ̃_ij^- | | | D* | D- |
| **۱** | ۰/۱۲۷ | ۰/۱۶۹ | ۰/۱۶۹ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۴۲ | ۰/۱۲۷ | ۰/۱۶۹ | ۰/۱۲۷ | ۰/۰۰۰ | ۰/۱۴۱ |
| **۲** | ۰/۱۲۷ | ۰/۱۶۹ | ۰/۱۶۹ | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۰۰ | ۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۸۵ | 0.127 | ۰/۱۲۷ | ۰/۰۲۸ | ۰/۱۱۳ |
| **۳** | ۰/۱۲۷ | ۰/۱۶۹ | ۰/۱۶۹ | ۰/۰۸۵ | ۰/۰۸۵ | ۰/۰۴۲ | ۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۸۵ | ۰/۰۸۵ | ۰/۰۷۰ | ۰/۰۷۰ |
| **۴** | ۰/۱۲۷ | ۰/۱۶۹ | ۰/۱۶۹ | ۰/۱۲۷ | ۰/۱۲۷ | ۰/۰۸۵ | ۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۴۲ | ۰/۱۱۳ | ۰/۰۲۸ |
| **۵** | ۰/۱۲۷ | ۰/۱۶۹ | ۰/۱۶۹ | ۰/۱۲۷ | ۰/۱۶۹ | ۰/۱۲۷ | ۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۱۴۱ | ۰/۰۰۰ |

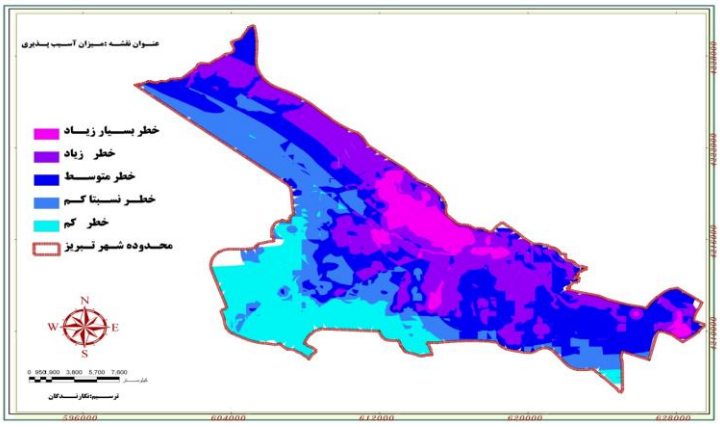
نزدیکی نسبی هر گزینه نسبت به راه حل ایده‌آل (RCi) با استفاده از رابطهٔ ۱۷ به دست می‌آید. با تلفیق لایه‌های ایده‌آل مثبت و منفی در محیط GIS، لایهٔ نهایی شکل می‌گیرد و اولویت‌بندی نهایی گزینه‌ها براساس آن انجام می‌شود. در این رابطه، m تعداد معیارهاست.

$$RC_i = \frac{\sum_{j=1}^{m} d_{ij}^{-}}{\sum_{j=1}^{m} d_{ij}^{-} + \sum_{j=1}^{m} d_{ij}^{+}} \qquad (۱۷)$$

نتایج محاسبهٔ پیکسلی اراضی با توجه به رابطهٔ ۱۸ در محیط GIS نشان می‌دهد که ۱۵/۱۱ درصد از مساحت تبریز، خطرپذیری خیلی کم، ۲۸/۵ درصد خطرپذیری کم، ۴۴/۷ درصد خطرپذیری کم، ۹/۰۴ خطرپذیری زیاد و ۲/۵۵ درصد از تبریز با خطرپذیری خیلی زیاد است.

**جدول ۹. میزان خطرپذیری پهنه‌ای تبریز**

| مؤلفه‌ها | تعداد پیکسل | مساحت هر پیکسل | مساحت هر طبقه | درصد |
|---|---|---|---|---|
| **خطرپذیری خیلی کم** | ۵۹۴۱۶ | ۶۲۵ | ۳۷۱۳۵۰۰۰ | ۱۵/۱۱ |
| **خطرپذیری کم** | ۱۱۲۱۳۳ | ۶۲۵ | ۷۰۰۸۳۱۲۵ | ۲۸/۵ |
| **خطرپذیری متوسط** | ۱۷۵۸۵۵ | ۶۲۵ | ۱۰۹۹۰۹۳۷۵ | ۴۴/۷ |
| **خطرپذیری زیاد** | ۳۵۵۵۸ | ۶۲۵ | ۲۲۲۲۳۷۵۰ | ۹/۰۴ |
| **خطرپذیری خیلی زیاد** | ۱۰۰۳۹ | ۶۲۵ | ۶۲۷۴۳۷۵ | ۲/۵۵ |




**نقشهٔ ۱. نقشهٔ نهایی پهنه‌بندی خطرپذیری تبریز با استفاده از منطق فازی با تلفیق AHP و TOPSIS (روش پیشنهادی)**

با توجه به نقشهٔ نهایی پهنه‌بندی خطرپذیری تبریز، محدوده‌هایی که در سطح خطرپذیری بسیار بالا قرار دارند، درصد کمتری از شهر را در بر می‌گیرند، اما از نقاط آسیب‌پذیر به شمار می‌روند. این محدوده از تبریز، بخشی از بافت قدیم و فرسودهٔ شهر را شامل می‌شود. بخشی دیگر، محدودهٔ خطرپذیر منطقهٔ اسکان غیر رسمی شهر را در بر می‌گیرد. در نتیجه، با توجه به شرایط اجتماعی، اقتصادی و کالبدی این محدوده، میزان خطرپذیری، چند برابر نواحی دیگر است. از طرفی، تمامی این محله‌ها به دلیل دسترسی نامناسب و تراکم بالای جمعیت، نسبت به مناطق دیگر شهر، آسیب‌پذیرتر هستند. در نتیجه، آسیب‌پذیری این منطقه در هنگام وقوع زلزله، به‌دلیل مسائل کالبدی و برنامه‌ریزی شهری و بعد از زلزله، به دلیل مسائل فرهنگی و اجتماعی بسیار بالاست. همچنین بخش‌هایی از شرق، شمال شرق و بخش مرکزی شهر نیز به دلیل قرارگیری و نزدیکی به خط گسل، بسیار خطرپذیرند. هرچند شهرک‌های تازه‌تأسیس در این نواحی زیادند و موارد ایمنی ساخت‌وساز، در مقایسه با نواحی دیگر رعایت شده است، ولی با توجه به نزدیکی به گسل، از نواحی پرخطر به شمار می‌روند. با توجه به اینکه تبریز در نزدیکی گسل قرار دارد، هیچ نقطه‌ای از شهر بدون خطر نیست، اما با استفاده از مدل پژوهش، تلاش بر این بوده است که نواحی شهر با توجه به ساختارهای اجتماعی، فرهنگی و کالبدی، از لحاظ خطرپذیری اولویت‌بندی شوند تا مناطق پرخطر در برنامه‌ریزی‌های آتی در اولویت قرار گیرند.

همچنان که در نقشهٔ نهایی مشاهده می‌شود، تنها بخش‌هایی از جنوب شهر، خطرپذیری کمتری دارد. همچنین با تلفیق مدل‌های تصمیم‌گیری سعی شده است که نتایج پژوهش دقیق‌تر باشد. در واقع ابتدا با استفاده از نظر کارشناسی، وزن معیارها از طریق AHP به دست آمده است. در مرحلهٔ بعد، با استفاده از منطق فازی، مؤلفه‌های کیفی به کمّی تبدیل شده است. این روش، نتایج عینی‌تری به دست داده است. در مرحلهٔ آخر، با استفاده از مدل TOPSIS، بهترین نتیجهٔ ممکن به دست آمده است. با توجه به آشنایی پژوهشگران با شهر تبریز می‌توان گفت که مدل استفاده‌شده در این پژوهش توانسته است با دقت بالای ۹۰ درصد، میزان خطرپذیری شهر تبریز را برآورد کند.

## نتیجه‌گیری

تخمین و برآورد میزان ریسک و بحران، به رهیافتی جامع‌نگر نیاز دارد تا در آن، از تخصص‌های مختلف، از جمله برنامه‌ریزی شهری استفاده شود. برقراری این ارتباط، به‌عنوان ابزاری در کاهش آسیب‌پذیری شهرها، تهیهٔ برنامه‌ها و سیاست‌های تقلیل خسارت‌های عمل می‌کند. در چنین حالتی، براساس رهیافتی عقل‌گرا و از طریق استفاده از معیارهای مختلف در مقیاس‌های خرد و کلان، این امکان فراهم می‌آید تا متغیرهای پیچیده، چندبعدی و معیارهای کمی و کیفی با یکدیگر ترکیب شوند و نتیجه‌ای منطقی حاصل شود. بدین‌ترتیب، روند ارزیابی برآورد، از طریق شناسایی معیارهای تأثیرگذار بر یک سیستم، براساس یک ساختار سلسله‌مراتبی و از طریق استفاده از روابط ارزیابی آسیب‌پذیری و تعیین ضرایب اهمیت هر معیار نسبت به سایر معیارها عمل می‌کند. مروری بر سال‌های گذشته نشان می‌دهد بروز زلزله در این شهر اجتناب‌ناپذیر است؛ در نتیجه، هر لحظه احتمال وقوع زلزله در تبریز، وجود دارد. بررسی معیارهای انتخاب‌شده نشان می‌دهد که مناطق شمالی تبریز، بالاترین میزان خطرپذیری را دارند. این نواحی، شرایط کالبدی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی خوبی ندارند و بیشتر، جمعیت حاشیه‌نشین شهر در این مناطق، ساکن‌اند. در نتیجه، توجه به این نواحی و توانمندسازی آن‌ها باید در اولویت قرار گیرد. البته این ناحیه تنها حدود ۲ درصد از مساحت شهر را در بر می‌گیرد و برنامه‌ریزی و مدیریت آن ساده‌تر به نظر می‌رسد. مناطق شمالی و شرقی تبریز با خطرپذیری بالا، در اولویت بعدی قرار دارند. این مناطق نیز تقریباً ۹ درصد مساحت تبریز را در بر گرفته‌اند. با توجه به اینکه بخش زیادی از بافت قدیمی شهر، در این ناحیه قرار دارد، توجه به این بخش نیز باید در اولویت قرار گیرد. مناطق مرکزی و جنوبی شهر، خطرپذیری اندکی

دارند. به‌طور کلی، شهر تبریز بسیار خطرپذیر است و باید در تمام موارد، به‌ویژه در ساخت‌وسازها به آن توجه بیشتری شود. رعایت آیین‌نامهٔ ۲۸۰۰ وزارت راه و شهرسازی، موجب پایداری ساختمان‌ها در مقابل زمین‌لرزه خواهد شد.

## منابع


1. Abdullahi, M., 2004, **Crisis Management in Urban Areas**, Municipalities and Ten Assists in the Publication. *(In Persian)*

2. Aguilar, A., Pujades, L., Barbat, A. and Lantada, N. 2009, **A Probabilistic Model for the Seismic Risk of Buildings. Application to Urban Areas**, Proceedings of the Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering. Papadrakakis, M.,Lagaros, N.D., Fragiadakis, M. (eds.), 22-24 June,Rhodes, Greece.

3. Ahadnejad, M., 2009, **Modeling of Urban Vulnerability in Earthquake Against, Case Study: Zanjan, Thesis of Geography and Urban Planning at Steerage Gharakhlo**, University of Tehran, Tehran. *(In Persian)*

4. Ahmadi, H. 1997, **The role of Urban planning in Reducing Vulnerability,** housing and revolution, the second year, Tehran.

5. Ahmadi, H., 1997, **Review of Criteria for Evaluating the Physical Design, Proceedings of International Conference on Physical Planning**, Urban Design and Architecture Publications Research Center of Iran, Tehran. *(In Persian)*

6. Azizi, M. M., and Akbari, R., 2008, **Urbanism Regarding about Evaluation CitiesVulnerability from Earthquake**, Journal of Beautiful Arts, No. 34, 25-36. *(In Persian)*

7. Azizi, M. M., 2004, **The Role of Urbanization in Reducing Earthquake Damage**, The Experience of Bam, Tehran University Research Project Final Report, Tehran. *(In Persian)*

8. Bahraini, H., 1998, **Urban Design Process, publication**, Tehran University, Tehran.

9. Bahraini, H. et al, 1996, **Planning Land Use in Earthquake Prone Areas, The Cities Manjil, Loshan Roudbar Publishing Revolution Housing Foundation Islamic, Based Methods for Urban Seismic Risk Evaluation: A Comparison**, Nat Hazards Vol. 51, PP. 501–524 , Tehran. *(In Persian)*

10. Birkamann, j., 2006, **Measuring Vulnerability to Natural Hazards**, Hong Kong. P. 524.

11. Boroushaki, S. and Malczewski, J., 2008, **Implementing an Extension of the Analytical Hierarchy Process Using Ordered Weighted Averaging Operators with fuzzy Quantifiers in ArcGIS**, Computers & Geosciences 34, 399–410.

12. Chang, Y. H. and Yeh, C. H., 2002, **A Survey Analysis of Service Quality for Domestic Airlines**, European Journal of Operational Research, 139, PP. 166–177.

13. Chang, Y. H. Chung, H. Y. and Wang, S. Y., 2007, **A Survey and Optimization-Based Evaluation of Development Strategies for the Air Cargo Industry**, International Journal of Production Economics, 106, PP. 550–562.

14. **Disaster Management in Metropolitan Area in 21st Century**, 1993, International Conference Nagoya Japan.

15. Habib, F., 1993, **In the Form of Minimizing the Risks of Earthquakes**, Proceedings of International Conference on Natural Disasters in urban areas, Urban Studies and Planning, Tehran.

16. Kahraman, C. Beskese, A. and Ruan, D., 2004, **Measuring Flexibility of Computer Integrated Manufacturing Systems Using Fuzzy Cash Flow Analysis**, Information Sciences, Vol. 168, PP. 77–94.

17. Kavab Consulting Engineers, 1990, **Physical and Regional Planning**, Ministry of Housing and Urban Planning, Tehran. *(In Persian)*

18. Lantada, N. Pujades, L. and Barbat, A., 2009, **Vulnerability Index and Capacity Spectrum**.

19. Linkov I. Satterstrom, F. K. Steevens, J. Ferguson, E. and Pleus, R.C., 2007, **Multi-Criteria Decision Analysis and Environmental Risk Assessment for Nano Materials**, Journal of Nanoparticle Research, Vol. 9, PP. 543–554.

20. Pourkermani, M. and Mehran, A., 1998, **Seismicity of Iran**, Publication of Shahid Beheshti University.

21. Saaty, T. L., 1980, **The Analytic Hierarchy Process, Planning, Priority Setting**, Resource Allocation, McGraw-Hill, New York. *(In Persian)*

22. Tang, A. and Wen, A., 2009, **An Intelligent Simulation System for Earthquake Disaster Assessment**, Computers & Geosciences, Vol. 35, 871– 879.

23. Tavakoli, B. and Tavakoli, S., 1993, **Estimating the Vulnerability and Loss Functions of Residential Buildings**, Journal of the International Society for the Presentational Mitigation of Natural Hazard Vol. 7, No. 2. *(In Persian)*

24. Veyseh, Y., 2009, **Outlook on Urbanism Studies and Urban Planning in Earthquake-Prone Areas**, first Printing, Researchers at the International Seismology and Earthquake Engineering, Tehran. *(In Persian)*

25. Wang, Y. J., 2007, **Applying FMCDM to Evaluate Financial Performance of Domestic Airlines in Taiwan**, Expert Systems with Applications, in press, DOIi, 10.1016/j.eswa.2007.02.029.

26. Wang, Y. M. and Elhag, T. M. S., 2006, **Fuzzy TOPSIS Method Based on Alpha Level Sets with an Application to Bridge Risk Assessment**, Expert Systems with Applications, Vol. 31, PP. 309–319.

27. Xu, Z. S. and Chen, J., 2007, **An Interactive Method for Fuzzy Multiple Attributes Group Sciences**, Vol. 177, PP. 248–263.

28. Yamazaki, F. 2005, **Building Damage Mapping Of The Bam**, Iran, Earthquake Using ENVISAT /ASAR Intensity Imagery, Earthquake Spectra, Vol. 21, No. S1, PP. S285-S294,12.

29. Ziarat, K., ????, The Principles and Methods of Regional Planning, University of Yazd, Yazd. *(In Persian)*

30. Zimmerman, H. J., 1996, Fuzzy Sets Theory and Its Applications, Boston, Kluwer Academic Publisher.