



# سنجش از دور & GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران  
Iranian Remote Sensing & GIS

سال پنجم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۲  
Vol.5, No.3, Autumn 2013

۶۴-۴۹

## ارزیابی تلفات انسانی و خسارت‌های ساختمانی در سناریوهای مختلف زلزله در شرایط عدم قطعیت (منطقه مطالعه شده: منطقه ۸ شهر تبریز)

علیرضا شکیبا<sup>۱\*</sup>، سیدبابک میرجعفری<sup>۲</sup>، سیدعلی علوی<sup>۳</sup>، بتول کامل<sup>۴</sup>

۱. استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی  
۲ و ۳ و ۴. کارشناس ارشد GIS و سنجش از دور، دانشگاه تبریز

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۱۰/۴

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۷/۲۴

### چکیده

یکی از اصولی ترین روش‌های کاهش تأثیر زمین‌لرزه در مناطق شهری، شناسایی نواحی مستعد، درجه‌بندی میزان ریسک مناطق، و ارزیابی خسارت‌ها و تلفات انسانی در زلزله با شدت‌های مختلف است. شهر تبریز با داشتن جمعیت زیاد، قرارگیری روی گسل فعال، و سابقه زلزله با دوره بازگشت در ادوار گذشته، پتانسیل وقوع زمین‌لرزه را دارد. با توجه به اینکه بیشترین پهنه‌های مسکونی منطقه ۸ شهرداری تبریز را پلاک‌های ریزدانه با مسیرهای دسترسی تنگ و باریک و مصالح بی‌دوام و ناپایدار اشغال کرده‌اند، این منطقه برای مطالعه انتخاب شده است. در این پژوهش با استفاده از هفت معیار کاربری اراضی، تعداد طبقات ساختمانی، کیفیت بنا، مساحت قطعه تفکیکی، قدمت بنا، سطح اشغال بنا و نوع مصالح ساختمانی، از روش تحلیل چندمعیاره فازی (FAHP)، خسارت‌های ساختمانی و تلفات انسانی در سه سناریوی زلزله ۶، ۷ و ۸ ریشتری محاسبه و تحلیل شد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که خسارت‌های ساختمانی از ۶ تا ۸ مرکالی افزایش زیادی یافته و از ۱/۵ درصد به ۴۶ درصد رسیده است. تلفات انسانی نیز - که بیشتر در ساختمان‌های مسکونی رخ می‌دهد - از ۲۹ نفر تا ۲۵۱۱ نفر در شدت‌های مختلف زلزله افزایش می‌یابد؛ که توجه مضاعف به بهسازی ساختمان‌های مسکونی را می‌طلبد.

**کلیدواژه‌ها:** زمین‌لرزه، تحلیل چندمعیاره فازی، برآورد آسیب‌پذیری، تلفات انسانی.

\* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، اوین، دانشگاه شهید بهشتی، مرکز سنجش از دور و GIS. تلفن: ۰۹۱۲۳۲۷۴۹۹۱

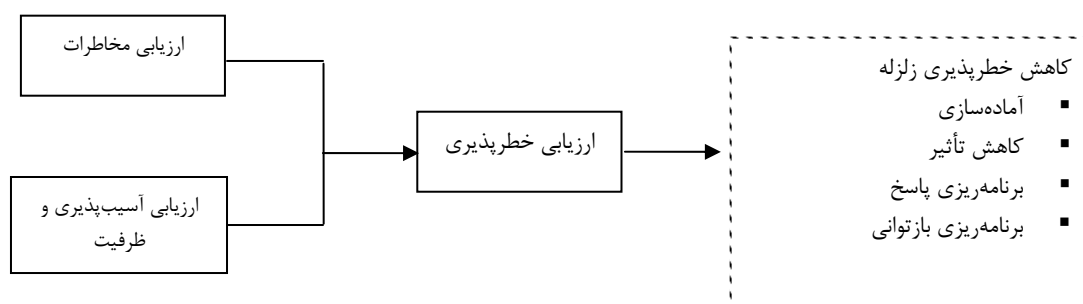
## ۱- مقدمه

یکی از رویکردهای حمایتی در برابر حوادث طبیعی - که متأسفانه در کشورمان کمتر به آن پرداخته شده - بیمه کردن ساختمان‌ها در مقابل زلزله است. اقتصاد بیمه حاصل فهم دقیق و درست از محصولاتی است که بیمه‌شونده تمایل به بیمه کردن آنها دارد. در حوادث طبیعی، شناخت عنصر بیمه‌شده - مثلاً ساختمان - و میزان تخریب در حادثه احتمالی از مشکلات شرکت‌های بیمه حوادث است. از آنجاکه زلزله به‌ندرت اتفاق می‌افتد و شرکت‌های بیمه برنامه آماری مشخصی برای محاسبه خسارت آن ندارند، محاسبه هزینه به مراتب دشوارتر است. از سویی، بیمه‌شونده نیز دید درستی از میزان خطری که او را تهدید می‌کند برای تصمیم‌گیری ندارد (Abbasnejad, 2008).

شهر تبریز یکی از پرجمعیت‌ترین شهرهای کشور است که روی گسل فعال شمال تبریز قرار دارد. به دلیل سابقه زلزله‌های مخرب و طبق بررسی‌های تاریخی، کارشناسان دوره بازگشت زلزله شدید در منطقه را قریب‌الوقوع می‌دانند. این شهر با داشتن ۲۵۲۰ هکتار بافت فرسوده و جمعیت ۴۰۰ هزار نفری ساکن در این مناطق، مستعد ظهور فاجعه انسانی در مواقع زلزله است (Mohammadnia, 2010). با توجه به اینکه بخش اعظم پهنه‌های مسکونی منطقه ۸ شهر تبریز را پلاک‌های ریزدانه با مسیرهای دسترسی تنگ و باریک و مصالح بی‌دوام و ناپایدار تشکیل می‌دهد، این منطقه برای مطالعه انتخاب شده است.

حوادث و بلایای طبیعی همواره زندگی انسان را در معرض آسیب قرار داده‌اند. در قرن بیستم بیش از ۱۰۰۰ زلزله مخرب در ۷۰ کشور جهان اتفاق افتاد و بیش از ۵۳ میلیون نفر تلفات انسانی، و خسارت‌های اقتصادی فراوان برجای گذاشت. با توجه به گستردگی موضوع مدیریت خطرهای طبیعی، در این پژوهش فقط مرحله قبل از وقوع بررسی شد و با برآورد خسارت زلزله احتمالی کوشش شد تا بتوان اطلاعات لازم برای اقدامات پیشگیرانه را با دقت بیشتر در اختیار مدیران و تصمیم‌گیران مدیریت بحران قرار داد.

نقشه آسیب‌پذیری، ارتباط بین شدت لرزه‌ای و درجه خسارت به سازه‌ها را نشان می‌دهد. تلفاتی چون مرگ و جراحت هنگام وقوع در شب یا روز به‌طور یکسان تخمین زده می‌شوند، بنابراین کل فرایند «تخمین خسارت» می‌تواند مجموع خسارت و چگونگی توزیع آن را در صورت وقوع زلزله نشان دهد. بدون شک، تأثیر و نتایج وقوع زلزله تفاوت‌های زیادی با نتایج سناریو خواهند داشت. سناریو فقط فرضیه‌ای است که بیان می‌کند تأثیر وقوع زلزله می‌تواند بدتر یا شبیه به چیزی باشد که سناریو محاسبه کرده است. آماده‌بودن هنگام وقوع زلزله براساس سناریوی زلزله، مردم و مسئولان را برای رویارویی با زلزله واقعی در منطقه مهیا می‌کند. در شکل ۱ فرایند ارزیابی مخاطرات و میزان آسیب‌پذیری زلزله نشان داده شده است (Abasnejad, 2008)



شکل ۱. فرایند آمادگی در برابر زلزله

FAHP و ۵ معیار با توابع عضویت مثلثی روش چانگ انجام داد. صادقی (2009) عدم قطعیت را در تصمیم‌گیری‌های مکانی با استفاده از روش IF-AHP بررسی کرد و با تبدیل واژه‌های زبانی به توابع عضویت مثلثی، مفاهیم فازی را در AHP به کار گرفت. برنندت (2011) تأثیر فزاینده فازی‌سازی در تحلیل سلسله‌مراتبی در تصمیم‌گیری چندمعیاره را بررسی کرد و سعی در اثبات آن داشت. او در مطالعه موردی مکان‌یابی سد با به‌کارگیری توابع عضویت مثلثی و دوزنقه‌ای، نتایج میزان عدم قطعیت در تصمیم‌گیری را آزمون کرد.

در ایران مطالعه‌ای که به‌طور جامع و در سطح کلان کمیت انتظاری خسارت ناشی از زلزله را برآورد کرده باشد، صورت نگرفته است؛ صرفاً در بعضی موارد می‌توان به طرح بیمه زلزله و بیمه مسئولیت ساخت‌وساز که با روش‌های توسعه فرهنگ بیمه در ایران در سال ۱۳۷۶ صورت گرفت اشاره کرد. در طرح بررسی آسیب‌پذیری شهر تهران در برابر زلزله در سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۳۷۹ نیز خسارت اقتصادی برحسب تیپ‌بندی مصالح و شدت زلزله تخمین زده شده است. طرح محاسبه خسارت اقتصادی زلزله سال ۱۳۶۹ رودبار با جداکردن خسارت‌های مستقیم و غیرمستقیم پس از وقوع زلزله، خسارت را برآورد کرده است. در خصوص موضوع ارزیابی و مدل‌سازی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله در ایران با استفاده از روش‌های فازی، مطالعات اندک و موردی بوده و آنهایی که انجام شده عمدتاً نمونه‌برداری از ساختمان‌ها و سپس تصمیم به کل شهر بوده است که عمدتاً از منطق فازی استفاده نکرده یا صرفاً از روش‌های ادغام فازی بهره برده‌اند. به هر حال در تحلیل‌ها از توابع عضویت فازی بسیار کم استفاده شده است.

برای کاهش آسیب‌پذیری شهرها در مقابل زلزله به برنامه‌ریزی بلندمدت به‌منظور تقویت زیرساخت‌ها و رعایت استانداردهای ساخت‌وساز نیاز است. هر نوع برنامه‌ریزی با تصمیم‌گیری همراه است، و دستیابی به اطلاعات مورد نیاز تصمیم‌گیران، کمک بزرگی برای تصمیم‌گیری است. سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری مکانی<sup>۱</sup> (SDSS) سامانه کامپیوتری ویژه تصمیم‌گیران است که ابزاری جدید برای تصمیم‌گیری در حالت انبوهی داده‌ها و پیچیدگی روابط مؤلفه‌های دخیل در تصمیم‌گیری به‌شمار می‌آید. در سال‌های اخیر ادغام سامانه‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری<sup>۲</sup> (DSS) با فناوری سامانه اطلاعات جغرافیایی<sup>۳</sup> (GIS) قابلیت و کارایی آن را دوچندان کرده است (Malczewski, 2010). در این تحقیق با بررسی وضعیت ساختمان‌های موجود و میزان خسارت انتظاری وارد بر واحدهای مسکونی و آسیب‌پذیری انواع ساختمان‌ها برحسب تیپ‌بندی‌های مصالح رایج کشور، ضریب خسارت و تراکم سازه‌ها با توجه به عدم قطعیت داده‌های محیطی و قضاوت‌های انسانی، برای رسیدن به دقت بیشتر در محاسبات پهنه‌بندی، از منطق فازی در تحلیل‌های مکانی استفاده شد و برای محاسبه میزان تلفات انسانی و مدل‌سازی خسارت سناریوهای مختلف زلزله روش لانتادا<sup>۴</sup> به کار گرفته شد (Barbat, 2006).

به‌منظور ارزیابی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های شهری در برابر زلزله، تحقیقات گسترده‌ای در کشورهای خارجی صورت گرفته است. مطالعات انجام‌شده عمدتاً در قالب مدل‌سازی و پیش‌بینی آسیب‌پذیری شهری، ارزیابی شبکه بزرگراه در حاشیه رودخانه، مخاطرات محیطی و پیش‌بینی شرایط آتش‌سوزی پس از زلزله با توجه به تحلیل‌های چندمعیاره و بررسی نقش سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور بوده است (Yong 2001, Rashed 2003, Sijian 2005, Xiaoqiong 2004).

تانگ (2005) در پژوهشی، تصمیم‌گیری برای انتخاب مناطق مناسب سرمایه‌گذاری را با استفاده از

1. Spatial decision support system
2. Decision support system
3. Geographic information system
4. Lantada

تبریز است که به دلیل داشتن بافت قدیمی و ساختمان‌های باارزش فرهنگی، به منطقه فرهنگی تبریز معروف است (Mohammadnia, 2010).

## ۲-۲- داده‌ها

نوع تحقیق در این مطالعه، کاربردی و روش پژوهش تحلیلی است. در انجام مراحل مختلف پژوهش از آمادگی‌سازی داده‌های اولیه تا تحلیل و نمایش نتایج نهایی از نرم‌افزارهای R2V, AUTODESKMAP, ARCGIS استفاده شده است. از آنجا که نیازهای اطلاعاتی شناسایی شده در برآورد خسارت، اطلاعات ساختمانی در حد پارسل بودند، از نقشه با مقیاس ۱:۲۰۰۰ استفاده شد، که هم دقت مورد نیاز و هم محتوای اطلاعاتی را برای برآورد خسارت زلزله برآورده می‌ساخت. داده‌های مکانی ساختمان‌ها و داده‌های ممیزی، از نقشه‌های موجود در مقیاس ۱:۲۰۰۰ شهری از مرکز اطلاعات و فناوری شهرداری تبریز به دست آمد.

## ۲-۳- معیارهای استفاده شده در تحلیل

هفت عامل در این تحقیق استفاده شده است، که در ادامه به بررسی آنها در منطقه مطالعاتی پرداخته می‌شود.

- تعداد طبقات: تعداد طبقات ساختمان‌ها معیاری است که می‌تواند در بالا یا پایین بودن خطر ریزش و خرابی آنها مؤثر باشد. بناهای بلندمرتبه به دلیل ارتعاشات بیشتر ناشی از زلزله در شرایط مساوی، احتمال تخریب بیشتری دارند. بیشترین ساختمان‌های منطقه مورد بررسی یک طبقه است و ساختمان‌های بیش از ده طبقه کمتر از ۲۰ عددند.
- کاربری اراضی: برحسب نوع کاربری، احتمال آسیب‌پذیری متفاوت است. به همین خاطر ۳۰ کاربری محدود مطالعه شده، در هم ادغام شدند، و در پنج دسته کلی مسکونی، تجاری، مراکز آموزشی و درمانی، تأسیسات و تجهیزات، و اداری و نظامی

حاتمی‌نژاد و گیوه‌چی (۲۰۰۳)، راهبردهای بنیادی را به منظور شناسایی و تحلیل ریسک‌های بالقوه ناشی از سوانح طبیعی در مناطق شهری با بافت فرسوده بررسی کرده و با طبقه‌بندی ریسک‌ها، تأخیر در زمان سفرهای امدادی را مهم‌ترین ریسک در منطقه مطالعه شده بر شمرده‌اند.

هاشمی (2009) و اصلانی (2011) روش FAHP و پیاده‌سازی با روش چانگ در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی را به منظور مکان‌یابی به کار گرفته‌اند. در پژوهش «مدل‌سازی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری در برابر زلزله با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی، نمونه موردی شهر زنجان» خسارت انسانی و اقتصادی با استفاده از روش AHP برآورد شده است (Ahadnejad, 2010).

هدف از پژوهش حاضر برآورد خسارت‌های انسانی و ساختمانی حاصل از زمین‌لرزه در سه سناریوی ۶، ۷ و ۸ ریشتر با استفاده از تحلیل چندمعیاره فازی بوده است. با استفاده از داده با معیارهای کافی و به‌روز در مقیاس مناسب به این هدف پرداخته شد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه ۸ یکی از مناطق ده‌گانه شهرداری کلان‌شهر تبریز است، که مرکزی‌ترین و مهم‌ترین منطقه شهر تبریز به‌شمار می‌رود، و برجسته‌ترین آثار تاریخی و باستانی با قدمت نسبتاً زیاد، همانند بازار تبریز، مسجد کبود، مسجد جامع تبریز، ارگ تبریز، و ساختمان شهرداری تبریز را در خود جای داده است. محدوده مطالعه شده، بخش مرکزی شهر تبریز است که با وسعتی حدود ۵ کیلومترمربع در موقعیت جغرافیایی  $38^{\circ}11'$  و  $46^{\circ}23'$  طول شرقی و  $38^{\circ}11'$  و  $38^{\circ}9'$  عرض شمالی با ارتفاع متوسط ۱۳۸۰ متر از سطح دریا قرار دارد. این منطقه با جمعیت ۳۶۰۹۱ نفر براساس سرشماری مرکز آمار ایران در سال ۱۳۸۵، یکی از کوچک‌ترین و در عین حال قدیمی‌ترین مناطق شهر

## ارزیابی تلفات انسانی و خسارت‌های ساختمانی در سناریوهای مختلف زلزله در شرایط عدم قطعیت

دسته‌بندی شدند. باشد، میزان فشردگی طبقات و ساختمان‌های همجوار کمتر است و احتمال تخریب شدید سازه کاهش می‌یابد.

- نوع مصالح ساختمانی: در چند دهه گذشته از مصالح ساختمانی متفاوتی استفاده شده، که با پیشرفت دانش بشر و تأثیر مهندسان سازه، شیوه استفاده و نوع مصالح تغییر یافته است. در منطقه مطالعه شده نوع سازه «خشت - آجر - چوب» هم وجود داشت، که به دلیل اندک بودن تعداد و نزدیکی به شرایط «خشت - چوب» و «آجر - چوب» در این دو دسته ادغام شدند.

معیارهای استفاده شده شامل زیرمعیارهایی است که برای وزن‌دهی به آنها و بررسی میزان تأثیر روی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها از واژه‌های زبانی با وزن‌های جدول ۲ استفاده شده است.

جدول ۲. وزن‌های واژه‌های زبانی

میزان اهمیت	اولویت قضاوت‌های شفاهی
۲	آسیب‌پذیری خیلی کم
۳	آسیب‌پذیری کم
۵	آسیب‌پذیری متوسط
۷	آسیب‌پذیری زیاد
۹	آسیب‌پذیری خیلی زیاد

هریک از معیارها پیش از ورود به ماتریس مقایسه به زیرمعیارهایی تقسیم می‌شوند و وزن زیرمعیارها به هر یک از لایه‌ها اضافه می‌شود. تأثیر هر یک از زیرمعیارها با نظر کارشناسان و استفاده از منابع مختلف با اختصاص وزن‌های مناسب، نشان داده شده است (جدول ۳).

در معیار کاربری اراضی به دلیل زیادبودن انواع کاربری‌ها پس از ادغام کاربری‌های مشابه، در نهایت پنج کاربری اصلی به عنوان زیرمعیارهای مؤثر تعیین شد. بعضی از کاربری‌ها - مانند فضای سبز - نیز چون سازه مهمی در آنها وجود نداشت، حذف شدند.

کیفیت بنا: این شاخص تأثیر زیادی بر میزان آسیب‌پذیری ساختمان دارد. احتمال مقاومت ساختمان‌های با کیفیت بالا (نوساز) در مقابل زلزله بیش از ساختمان‌های مخروبه و مرمتی است. خسارت وارد بر ساختمان‌ها در اثر زلزله کاملاً تحت تأثیر نوع ساختمان‌هاست.

- مساحت قطعه تفکیکی: اندازه قطعه تأثیر عکس بر میزان آسیب‌پذیری دارد، به گونه‌ای که در قطعات کوچک به دلیل فشردگی سازه‌ها و احتمال درهم‌کنش ساختمان‌های همجوار، آسیب‌پذیری بیشتر است. قطعات تفکیکی بزرگ معمولاً فضای باز بیشتری در محدوده خود دارند که سبب کاهش خسارت خواهد بود. استانداردهای به کار رفته در این معیار در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. رابطه اندازه قطعه‌ها و درجه آسیب‌پذیری

اندازه (نسبت سطح ساخته شده به کل قطعه) درصد	درجه آسیب‌پذیری
$S < 200$	کوچک‌اندازه
$250 < S < 500$	میان‌اندازه
$S > 250$	بزرگ‌اندازه

معرف نسبت اندازه قطعات تفکیکی واحدهای مسکونی به مترمربع است. منبع: Lantada, 2008.

- قدمت بنا: بهترین سازه‌ها نیز با گذشت زمان فرسوده می‌شوند. شدت این فرسایش در ساختمان‌های با مصالح سنتی به مراتب بیشتر و احتمال تخریب سازه نیز در آنها بالاتر است. در این پژوهش با توجه به اینکه داده‌های ساختمان‌ها پیش از سال ۱۳۵۰ به طور دقیق موجود نبود، تمامی ساختمان‌های قبل از سال ۱۳۵۰ در یک دسته و بقیه ساختمان‌ها بر مبنای سال احداث تقسیم‌بندی شدند.
- سطح اشغال بنا: معرف میزان فضای باز در قطعه تفکیکی است. در شرایطی که سطح اشغال بنا کمتر

## علیرضا شکيبا و همکاران

جدول ۳. وزن زیرمعیارها

معیارهای اصلی	زیرمعیارها	آسیب پذیری خیلی کم	آسیب پذیری کم	آسیب پذیری متوسط	آسیب پذیری زیاد	آسیب پذیری خیلی زیاد
		۲	۳	۵	۷	۹
نوع مصالح	اسکلت فلزی	*				
	بتنی		*			
	آجر و آهن			*		
	آجر و چوب خشت و چوب				*	*
قدمت بنا	قبل از سال ۱۳۵۰				*	*
	۱۳۵۰-۱۳۶۰				*	
	۱۳۶۰-۱۳۷۰			*		
	۱۳۷۰-۱۳۸۰		*			
کیفیت بنا	سال ۱۳۸۰ به بعد	*				
	نوساز	*		*		
	مرمتی			*		*
	تخریبی مخروبه					*
تعداد طبقات	یک طبقه	*				
	دو طبقه		*			
	سه طبقه			*		
	چهار طبقه پنج طبقه و بیشتر				*	*
سطح اشغال بنا	۰-۲۵ درصد		*			
	۲۵-۵۰ درصد			*		
	۵۰-۷۵ درصد				*	
	۷۵-۱۰۰ درصد					*
کاربری اراضی	مسکونی			*	*	
	تجاری			*		
	آموزشی بهداشتی تأسیسات		*			
	اداری و نظامی	*				
مساحت قطعه تفکیکی	کمتر از ۱۰۰ مترمربع				*	*
	۱۰۰-۲۵۰ مترمربع				*	
	۲۵۰-۵۰۰ مترمربع			*		
	بیش از ۵۰۰ مترمربع		*			

### ۳- روش تحلیل

صحت‌شان مشخص نیست و با عدم قطعیت همراه‌اند. در چنین شرایطی در واقع صورت مسئله این است: با پدیده‌ای روبه‌رو هستیم که شناخت دقیقی از آن نداریم و درعین حال تأثیر بسیار زیادی بر زندگی ما دارد. چگونه باید با این دوگانگی مواجه شد؟ اگرچه

زمین‌لرزه پدیده‌ای طبیعی است که تاکنون بشر نتوانسته است به درستی تمام جزئیات مربوط به آن را شناسایی کند، به همین دلیل تحلیل‌های انجام‌شده نیز با پارامترهایی صورت گرفته‌اند که میزان دقت و

مثلی خواهد بود. تابع عضویت مثلی کار تصمیم‌گیری را ساده می‌سازد، زیرا  $\alpha_{ij}$  نشانگر بالاترین درجه عضویت و معرف خوشبینی تصمیم‌گیر و  $\delta_{ij}$  نشانگر کمترین درجه عضویت و بیانگر بدبینی تصمیم‌گیر است و عدد میانی معرف میانگینی از اعضای مجموعه است (Zanjirchi, 2011).

### ۳-۲- پیاده‌سازی FAHP به روش چانگ

پژوهشگران برای بسط و توسعه AHP با اعداد فازی، روش‌های گوناگونی پیشنهاد کرده‌اند که روابط بین معیارها را به‌طور دقیق‌تر توضیح می‌دهد. در سال ۱۹۸۳ دو پژوهشگر هلندی به نام‌های «هایلار هورن و پدریک» روشی را برای فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی پیشنهاد کردند که براساس روش حداقل مجذورات لگاریتمی بنا شده بود. پیچیدگی مراحل این روش باعث شده است که چندان از آن استفاده نشود. سرانجام چانگ (۲۰۰۹) روش اصلاح‌شده خود را با نام «روش تحلیل توسعه‌ای اصلاح‌شده» ارائه کرد. در پژوهش حاضر به‌دلیل مقبولیت و کاربرد وسیع، از همین روش استفاده شده است. اعداد به‌کار گرفته‌شده در این روش، اعداد مثلی فازی هستند، که در ادامه توضیح داده می‌شود. باید توجه داشت که حاصل ضرب دو عدد فازی مثلی، یا معکوس یک عدد فازی مثلی، دیگر عدد فازی مثلی نیست.

منطق فازی می‌تواند به محاسبات در شرایط عدم قطعیت کمک کند، اما استفاده از عملیات مبتنی بر اصل گسترش روی اعداد فازی امری طاقت‌فرسا و وقت‌گیر است. از این‌رو، به‌منظور ساده کردن مدل‌سازی فازی، اعداد فازی ویژه‌ای پیشنهاد شدند، که عبارت‌اند از: آن دسته از اعداد که با توجه به کارایی محاسباتی و سهولت اکتساب داده، اغلب به کار می‌روند، شامل انواع دوزنقه‌ای، مثلی، دوزنقه‌ای L-R و مثلی L-R و همچنین آن دسته از اعداد فازی که بر پایه توابع S, Z قرار دارند (Eastman, 1997).

برای بیان مجموعه‌های فازی با توجه به خصوصیات اعضا از حالت‌های متفاوتی از اعداد استفاده می‌شود، که رایج‌ترین‌شان اعداد فازی مثلی<sup>۱</sup> است (Ataei, 2010). در این تحقیق با ادغام منطق فازی و روش رایج AHP از روش تحلیل توسعه‌ای چانگ برای پیاده‌سازی تحلیل FAHP استفاده شده است.

### ۳-۱- وزن‌های فازی

پس از مقایسه نسبت اولویت‌ها و بیان زبانی در جدول باید فازی‌سازی صورت گیرد تا تحلیل سلسله‌مراتبی فازی انجام شود و وزن‌های فازی به‌دست آید. فازی‌سازی یعنی به‌جای عدد قطعی و دقیق  $a_{ij}$ ، یک عدد فازی به شکل  $(\alpha_{ij}, \beta_{ij}, \gamma_{ij}, \delta_{ij})$  به‌دست آوریم، اگر  $\beta_{ij} = \gamma_{ij}$  و  $\delta_{ij} - \alpha_{ij} = 2$  تابع عضویت

جدول ۴. ماتریس مقایسه‌ای مثلی

اندازه قطعه	کاربری اراضی	سطح اشغال	کیفیت بنا	قدمت بنا	تعداد طبقات	مصالح اسکلت
(۸،۹،۱۰)	(۸،۹،۱۰)	(۸،۹،۱۰)	(۶،۷،۸)	(۸،۹،۱۰)	(۸،۹،۱۰)	(۱،۱،۱)
(۲،۳،۴)	(۱،۲،۳)	(۱،۲،۳)	(۱،۲،۳)	(۱،۲،۳)	(۱،۱،۱)	
(۳،۴،۵)	(۲،۳،۴)	(۲،۳،۴)	(۱،۲،۳)	(۱،۱،۱)		
(۲،۳،۴)	(۴،۵،۶)	(۶،۷،۸)	(۱،۱،۱)			
(۱،۲،۳)	(۱،۲،۳)	(۱،۱،۱)				
(۱،۲،۳)	(۱،۱،۱)					
(۱،۱،۱)						

1. Trapezoidal Fuzzy Number

رابطه (۴)

$$w'(x_i) = \text{Min} \{ V(S_i \geq S_k) \}, \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad k \neq i$$

بدین ترتیب، بردار وزن شاخص‌ها به صورت رابطه (۵) درآمد، که همان بردار ضرایب غیرنرمال فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی است.

$$w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T \quad \text{رابطه (۵)}$$

به کمک رابطه (۶) نتایج نرمال نشده به دست آمده از رابطه (۸) نرمال شد و از نتایج بهنجار شده حاصل از رابطه (۵) یا همان W نیز استفاده شد.

رابطه (۶)

$$w_i = \frac{V(S_i \geq S_j \quad j=1, \dots, n; j \neq i)}{\sum_{k=1}^n V(S_i \geq S_j \quad j=1, \dots, n; j \neq k)} \quad i=1, \dots, n$$

به این ترتیب وزن نرمال نشده هر یک از معیارها به دست آمد. در آخرین مرحله، وزن‌های به دست آمده نرمال سازی شدند تا وزن‌های نهایی به دست آیند. در جدول ۴ وزن‌های به دست آمده از فرایند غیرفازی سازی، وزن‌هایی نهایی است که در نرم افزار GIS بعد از هم پوشانی برای ساختن نقشه که سطوح خسارت ساختمان‌ها را در مقابل زلزله نشان می‌دهد به کار رفته است.

جدول ۵. وزن‌های به دست آمده از FAHP به روش چانگ

درجه	معیارها	FAHP مثلثی
۱	مصالح اسکلت	۰/۵۱۷
۲	تعداد طبقات	۰/۱۲۶
۳	قدمت بنا	۰/۱۲۰
۴	کیفیت بنا	۰/۱۰۶
۵	سطح اشغال بنا	۰/۰۴۶
۶	کاربری اراضی	۰/۰۴۱
۷	اندازه قطعه	۰/۰۳۱

وزن‌های نهایی به دست آمده به روش لاندا با ضریب ۰/۶ هم پوشانی شدند و بلوک‌های ساختمانی در پنج کلاس آسیب پذیری طبقه بندی شدند.

این روابط، فقط تقریبی از حاصل ضرب واقعی دو عدد فازی مثلثی و معکوس یک عدد فازی مثلثی را بیان می‌کنند. در روش تحلیل توسعه‌ای، برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسات زوجی، مقدار S - که عددی مثلثی است - به صورت رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

رابطه (۱)

$$S_k = \sum_{j=1}^n M_{kj} \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n M_{ij} \right]^{-1}$$

برای رسیدن به تخمینی از مجموعه وزن‌ها برای هر معیار باید اعداد فازی را با هم مقایسه کرد (Bafande, 2009). در روش تحلیل توسعه‌ای، پس از محاسبه Sها که خود اعداد فازی هستند، درجه بزرگی‌شان نسبت به هم به دست آمد. به طور کلی اگر M1 و M2 دو عدد فازی مثلثی باشند، درجه بزرگی M1 بر M2، که با  $V(M_1 \geq M_2)$  نشان داده می‌شود، به وسیله تابع ویژه به صورت رابطه (۲) تعریف می‌گردد.

رابطه (۲)

$$V(S_i \geq S_j) = \left[ \frac{\begin{matrix} m_j \geq m_j \\ u_i - l_j \end{matrix}}{(u_j - m_j) + (m_j - l_j)} \right]_0, \text{ otherwise}$$

$$l_j \leq u_j \quad i, j = 1, \dots, n, \quad j \neq i$$

میزان بزرگی یک عدد فازی مثلثی نسبت به عدد فازی مثلثی دیگر نیز از رابطه (۳) به دست آمد.

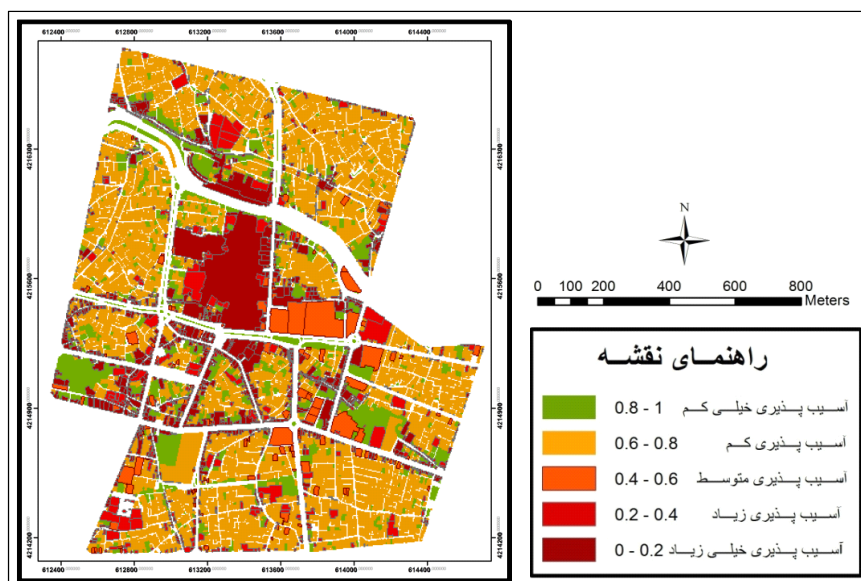
رابطه (۳)

$$V(M_1 \geq M_2, \dots, M_k) = V(M_1 \geq M_2), \dots, V(M_1 \geq M_k)$$

برای محاسبه وزن شاخص‌ها در ماتریس مقایسه زوجی می‌توان از کمینه یا پیشینه میزان بزرگی استفاده کرد؛ که در روش تحلیل توسعه‌ای چانگ از کمینه استفاده می‌گردد و به صورت رابطه (۴) عمل می‌شود.



## ارزیابی تلفات انسانی و خسارت‌های ساختمانی در سناریوهای مختلف زلزله در شرایط عدم قطعیت



شکل ۲. میزان آسیب‌پذیری به دست آمده از اعمال وزن‌های روش FAHP مثلثی

جدول ۶. درجه‌بندی آسیب وارد بر ساختمان‌ها

درجه آسیب	محدوده (دامنه)	شرح	میزان آسیب وارد بر ساختمان (درصد)
D0	۰	بدون آسیب	۰
D1	۰/۲-۰/۱	آسیب جزئی و قابل اغماض	۰
D2	۰/۴-۰/۲	آسیب متوسط	۲
D3	۰/۶-۰/۴	آسیب قابل توجه تا سنگین	۱۰
D4	۰/۸-۰/۶	آسیب بسیار سنگین	۵۰
D5	۱-۰/۸	ناپودی کامل	۱۰۰

رابطه (۷)

$$\mu_D = 2/5 \left[ I + \tanh \left( \frac{I + 6/25 \nabla i - 13/1}{2/3} \right) \right]$$

$\mu_D$ : نشانگر متوسط درجه آسیب

I: نشانگر شدت زلزله براساس واحد مرکالی

$\bar{V}_i$ : مقدار آسیب‌پذیری حاصل از اعمال روش

تحلیل چندمعیاره فازی

با توجه به این رابطه مقدار آسیب وارد بر هر واحد

ساختمانی را می‌توان در ۶ گروه عمده طبقه‌بندی کرد

(جدول ۶).

### ۳-۴- برآورد تلفات انسانی

مهم‌ترین هدف برنامه‌های کاهش آسیب‌پذیری شهرها

### ۳-۳- برآورد خسارت در سناریوهای مختلف زلزله

برای طراحی سناریو و ارزیابی آسیب‌پذیری شهر در برابر شدت‌های مختلف زلزله، به نقشه فازی‌سازی شده به دست آمده از روش تحلیل فرایند سلسله‌مراتبی فازی مرحله قبل نیاز است. برای ارزیابی دقیق آسیب‌پذیری لازم است با استفاده از روابط موجود در این زمینه - از جمله روش میزان متوسط آسیب - سناریوهای زلزله برای شدت‌های مختلف طراحی شوند و پس از تحلیل آنها، ارزیابی دقیقی از میزان تلفات انسانی و خسارت‌های وارد بر ساختمان‌ها صورت گیرد. برای این منظور ابتدا از طریق رابطه (۷) متوسط درجه آسیب ساختمان‌ها در برابر شدت‌های مختلف زلزله محاسبه شد (Milutinovic, 2003).

رابطه (۸)

$$K_s = C \cdot [M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 \cdot (M_4 + M_5) \cdot (1 - M_6)]$$

$K_s$ : تعداد آسیب‌دیدگان در زلزله، شامل درگذشتگان و مجروحان؛

$C$ : تعداد ساختمان‌های تخریب‌شده براساس شدت‌های مختلف زلزله؛

$M_1$ : تعداد افراد ساکن در هر واحد ساختمانی؛

$M_2$ : درصد ساکنان مستقر در واحدهای ساختمانی در زمان وقوع زلزله؛ که برحسب زمان وقوع زلزله و نوع کاربری ساختمان متغیر است. به‌عنوان مثال اگر ارزیابی تلفات برای شب باشد، این رقم به‌طور متوسط معادل ۸۰ درصد در نظر گرفته می‌شود؛

$M_3$ : درصد تعداد ساکنان گرفتار شده زیر آوار ساختمان، که این مورد می‌تواند برحسب نوع سازه متغیر باشد، و مقادیر استاندارد آن در جدول ۶ آمده است؛ و

$M_4$ : درصد مرگ‌ومیر افراد گرفتار شده زیر آوار، که به نوع سازه ساختمان ارتباط دارد و مقادیر آن برای ساختمان‌های مختلف در جدول ۶ آمده است. نسبت «مرگ‌آوری» برای هر کدام از ساختمان‌ها که در درجه‌های مختلف آسیب‌پذیری قرار می‌گیرند، استفاده می‌شود و به‌صورت نسبت تعداد افراد کشته‌شده به تعداد ساکنان موجود در حین ریزش ساختمان تعریف می‌شود. بنابراین تخمین تلفات تابعی از تخمین تعداد ساختمان‌های تخریب‌شده در هر گروه از درجه‌های آسیب است. با استفاده از این روش می‌توان نسبت مرگ‌آوری هریک از ساختمان‌های موجود در شهر را تخمین زد (Coburn, 2002)؛ و

$M_5$ : درصد مرگ‌ومیر بعد از ریزش است که به‌طور مستقیم با مدیریت بحران بعد از زلزله ارتباط می‌یابد. به‌عنوان مثال اگر امداد رسانی و آواربرداری بلافاصله بعد از وقوع زلزله صورت بگیرد، مقدار آن کم و اگر امداد رسانی و آواربرداری به‌کندی صورت گیرد، مقدار آن زیاد خواهد شد.

در برابر زلزله، حفظ حیات و زندگی ساکنان است. برای مطالعات تخمین آسیب، ارزیابی میزان احتمالی تلفات انسانی ناشی از زلزله (مجروح و فوت‌شده) ضروری است. معمولاً عمده‌ترین تلفات انسانی زلزله ناشی از آسیب وارد بر ساختمان‌ها و سازه‌هاست. بررسی زلزله‌های به‌وقوع پیوسته در جهان نشان می‌دهد که بیش از ۷۵ درصد از مرگ‌ومیرها در زلزله بر اثر ریزش مستقیم ساختمان‌هاست و اگر حوادث ثانویه زلزله را هم به آن اضافه کنیم، بیش از ۹۰ درصد مرگ و میرها به ریزش ساختمان‌ها برمی‌گردد. در مطالعه حاضر، روش بنیادی برآورد تلفات که آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن آن را ارائه کرده، پذیرفته شده است. برای محاسبه میزان تلفات ناشی از زلزله به اطلاعاتی نظیر توزیع فضایی شدت زلزله و میزان خسارت وارد بر ساختمان‌ها، سیستم طبقه‌بندی مناسب ساختمان‌ها، آمار توزیع هر کدام از ساختمان‌های واقع شده در درجات مختلف آسیب، ماتریس تیپولوژی ساختمانی، و جمعیت هر کدام از واحدهای مسکونی یا متوسط آن نیاز است. از این رو ارزیابی و تخمین در صورتی می‌تواند به واقعیت نزدیک باشد که نقشه توزیع ساختمان‌ها به‌صورت پلاکی و تک‌به‌تک تهیه شود؛ چنانچه از داده‌های بلوکی استفاده شود، نتایج و تخمین‌های به‌دست‌آمده تا حد زیادی از واقعیت دور خواهند بود (Lantada, 2008).

محاسبه تلفات براساس ساختمان‌های خسارت‌دیده انجام می‌شود. در اختیار داشتن اطلاعات تعداد افراد داخل ساختمان‌ها برای محاسبه تعداد افراد کشته و زخمی شده ضروری است. تعداد افراد ساکن در ساختمان‌ها در طول روز یا شب یکسان نیست و برحسب کاربری ساختمان متفاوت است. به همین دلیل در تحقیق حاضر از جمعیت ثابت در شب استفاده شده است. برای ارزیابی میزان تلفات انسانی در این پژوهش از رابطه (۸) و جدول ۶ استفاده شده است (Lantada, 2008).

## 1. Building Typology Matrix (BTM)

## ارزیابی تلفات انسانی و خسارت‌های ساختمانی در سناریوهای مختلف زلزله در شرایط عدم قطعیت

جدول ۷. مقادیر استاندارد و متوسط هر یک از اجزای به‌کاررفته در معادله تلفات انسانی (درصد)

M5	M4			M3	M2	نوع ساختمان
	فوت‌شدگان	مجروحان با وضعیت وخیم	مجروحان نیازمند به بستری شدن در بیمارستان			
۶۰	۱۵	۲۵	۳۰	۶۰	۸۰	ساختمان‌های با مصالح بنایی
۹۰	۴۰	۱۰	۴۰	۵۰	۸۰	اسکلت فلزی و بتنی

منبع: Coburn, 2002

جدول ۸. میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در روش FAHP مثلثی

منطقه ۸	تعداد ساختمان	دامنه آسیب‌پذیری	میزان آسیب‌پذیری
			درصد در منطقه
۱۶/۲	۱۶۷۲	۰-۰/۲	آسیب‌پذیری خیلی کم
۱۶/۴	۱۶۹۶	۰/۲-۰/۴	آسیب‌پذیری کم
۲۹/۲	۳۰۱۱	۰/۴-۰/۶	آسیب‌پذیری متوسط
۲۵/۹۰	۲۶۷۰	۰/۶-۰/۸	آسیب‌پذیری بالا
۱۲/۳	۱۲۵۶	۰/۸-۱	آسیب‌پذیری خیلی بالا
۱۰۰	۱۰۳۰۵		مجموع

ساختمان‌ها به‌عنوان ساختمان‌های با آسیب زیاد و بسیار زیاد است.

#### ۴- نتایج

قطعات تفکیکی ساختمانی براساس میزان احتمال آسیب‌پذیری در مقابل زلزله به پنج دسته آسیب‌پذیر تفکیک شدند (جدول ۸). با توجه به جدول ۸ بیشترین ساختمان‌ها در درجه آسیب متوسط با ۳۲۸۷ قطعه تفکیکی از کل ۱۰۳۰۵ قرار دارند. بعد از آن در کلاس آسیب زیاد ۲۶۷۰ بلوک ساختمانی وجود دارد. در کلاس میزان آسیب‌پذیری خیلی کم ۱۱۶۶ بلوک ساختمانی شمارش شد.

#### ۴-۱- نتایج ارزیابی آسیب‌پذیری شهر در برابر شدت‌های مختلف زلزله

نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل درجه‌های آسیب با در نظر گرفتن سه سناریوی مختلف زلزله در شدت‌های ۶ و ۸ مرکالی نشان می‌دهد که میزان آسیب واردآمده بر ساختمان‌ها در محله ساعت و بخشی از راسته کوچه و شمس‌تبریزی در هر سه سناریو بیشتر از محله‌های دیگر است، به‌طوری‌که در زلزله احتمالی با شدت ۸ مرکالی حدود ۴۶ درصد ساختمان‌ها تخریب می‌شود و به ۲۴ درصد از ساختمان‌ها آسیب‌های جدی وارد خواهد شد (جدول ۹). در این منطقه فقط ۱۲/۸ درصد از ساختمان‌ها آسیب‌های جزئی می‌بینند که عمدتاً مربوط به ساختمان‌های تجاری و مسکونی جدیدالاحداثی است که به‌صورت پراکنده داخل بافت یا در حاشیه خیابان‌های اصلی بنا شده‌اند. دلایل آسیب‌پذیری در این منطقه را می‌توان استفاده از مصالح کم‌دوام نظیر خشت، آجر و چوب، و عمر نسبتاً بالای ساختمان‌ها دانست.

نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که بیشتر ساختمان‌ها در درجه آسیب متوسط به بالا قرار دارند. با توجه به وزن بالای نوع مصالح ساختمانی به‌نظر می‌رسد که نتیجه هم‌پوشانی بیش از هر عاملی تحت تأثیر نوع مصالح ساختمانی قرار دارد. از میان انواع مصالح به‌کاررفته، خشت - چوب و آجر - چوب، به‌عنوان دو زیرمعیار بیشترین وزن را دارند و به‌شدت روی میزان آسیب‌پذیری منطقه تأثیر می‌گذارند (شکل ۲). با توجه به اینکه اکثر ساختمان‌هایی که از این‌گونه مصالح ساخته شده‌اند قدمت بالایی دارند، سن بالای این ساختمان‌ها نیز عامل دیگری در تشخیص این‌گونه

جدول ۹. توزیع آماری آسیب به ساختمان‌های منطقه ۸ شهر تبریز در زلزله با شدت‌های مختلف

تعداد ساختمان‌ها	درجه‌های آسیب	شدت ۶ مرکالی (سناریوی اول)		شدت ۷ مرکالی (سناریوی دوم)		شدت ۸ مرکالی (سناریوی سوم)	
		تعداد	درصد در ساختمان‌ها	تعداد	درصد در منطقه	تعداد	درصد در منطقه
	۱	۷۰۰۷	۶۸	۲۴۷۳	۲۴	۱۳۱۹	۱۲/۸
	۲	۲۵۷۶	۲۵/۳	۲۹۸۸	۲۹	۷۴۱۹	۷/۲
منطقه ۸	۳	۲۴۷	۲/۴	۲۱۶۴	۲۱	۹۵۸	۹/۳
	۴	۲۸۸	۲/۸	۱۵۴۵	۱۵	۲۵۴۵	۲۴/۷
	۵	۱۵۴	۱/۵	۱۱۳۳	۱۱	۴۷۴۰	۴۶

جدول ۱۰. تعداد تلفات و خسارت انسانی زلزله در شدت‌های مختلف

نام منطقه	جمعیت در سال ۱۳۸۵	شدت زلزله	مجروحان سبک	نیاز به بستری	مجروحان وخیم	کل مجروحان	فوت‌شدگان
		۶ مرکالی (سناریوی اول)	۳۹	۳۱	۲۴	۹۴	۲۹
۸	۳۶۰۹۱	۷ مرکالی (سناریوی دوم)	۳۷۸	۲۷۷	۲۳۹	۸۸۵	۴۵۶
		۸ مرکالی (سناریوی سوم)	۳۵۴۱	۲۹۲۹	۲۷۱۱	۷۲۴۱	۲۵۱۱

دلیل دیگر آسیب‌پذیری بالای این منطقه را می‌توان تراکم بسیار بالای ساختمانی در بافت‌های نامنظم واقع شده در این منطقه دانست. منطقه ۸ با داشتن ساختمان‌های با عمر زیاد، رعایت نکردن قوانین شهرسازی و تراکم بالا و قطعات کوچک ساختمانی پتانسیل تخریب بسیار بالایی دارد. اگرچه منطقه بازار نیز از سازه‌های قدیمی منطقه به‌شمار می‌آید اما به دلیل بازسازی و نگهداری بهتر، از بسیاری از سازه‌های قدیمی منطقه مقاوم‌تر است. البته این منطقه نیز در زلزله‌ای با مقیاس ۸ مرکالی آسیب بسیار زیادی خواهد دید. بیشترین سازه‌های مقاوم منطقه، ساختمان‌های «مصلی» و ساختمان‌های مسکونی نوسازی هستند که عموماً در حاشیه خیابان‌های اصلی قرار دارند.

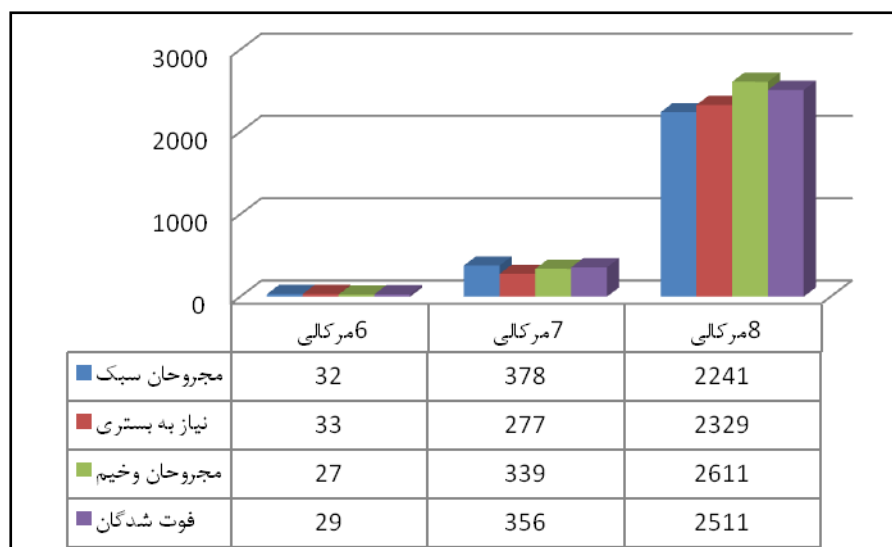
#### ۴-۲- نتایج تخمین و ارزیابی تعداد آسیب‌دیدگان

در این تحقیق برای تخمین مقدار خسارت‌های انسانی در شهر ابتدا با توجه به روش FAHP نقشه درجه آسیب‌پذیری ساختمان‌ها تهیه شد و سپس آسیب درجه D5 یعنی تخریب کامل در نظر گرفته شد و از

طریق رابطه (۷) میزان خسارت برآورد گردید. بعد از به‌دست‌آوردن تعداد ساختمان‌های تخریب‌شده در شدت‌های مختلف با انتقال تعداد آنها به بلوک‌های آماری جمعیتی سال ۱۳۸۵ با استفاده از امکانات تحلیلی سامانه اطلاعات جغرافیایی و انجام محاسبات لازم با استفاده از رابطه (۸) روی بلوک‌های آماری، تلفات انسانی شامل فوت‌شدگان و مجروحان احتمالی در منطقه مورد مطالعه تخمین زده شد (جدول ۱۰).

براساس نتایج به‌دست‌آمده و به تبعیت از تحلیل آسیب‌پذیری ساختمان‌ها، تحلیل تلفات انسانی در زلزله‌های احتمالی با شدت‌های مختلف به‌صورت جداگانه برای منطقه ۸ شهر تبریز به‌دست آمد. براساس جدول تلفات انسانی، در زلزله‌ای با مقیاس ۸ مرکالی، این منطقه ۲۵۱۱ نفر از ساکنانش را از دست خواهد داد. با توجه به اینکه محاسبه برای ساعت‌های شب صورت گرفته است، تلفات انسانی بیشتر تابع خسارت‌های وارد بر ساختمان‌های مسکونی و اقامتی می‌شود و تخریب ساختمان‌های تجاری و اداری تأثیر چندانی بر میزان آمار تلفات ندارد.

## ارزیابی تلفات انسانی و خسارت‌های ساختمانی در سناریوهای مختلف زلزله در شرایط عدم قطعیت



شکل ۳. تعداد تلفات و خسارت انسانی زلزله در شدت‌های مختلف

تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی قوانین ساخت‌وساز شهری با رویکرد امنیت و آسایش شهری نیازمند اطلاع از شرایط موجود سازه‌های شهری در مقابل حوادث غیرمترقبه هستند. مدیران شهری به‌عنوان راهبران ساخت‌وساز شهر به‌منظور اجرای بهتر قوانین ساخت‌وساز برای ایجاد امنیت پایدار در مقابل خطر زلزله نیاز به آگاهی از شرایط خطرپذیری سازه‌های موجود دارند.

همه افرادی که در مناطق زلزله‌خیز زندگی می‌کنند باید در مورد زلزله احتمالی و شرایط سکونتگاه‌شان در مقابل زلزله اطلاعاتی داشته باشند. نشان دادن تأثیرات زلزله احتمالی می‌تواند اطلاعات مردم را در زمینه زلزله افزایش دهد و نگاه واقع‌بینانه به شرایط موجود را تقویت کند. تعیین شرایط بلوک‌های ساختمانی در مقابل زلزله با ایجاد حساسیت در شهروندان، توجه آنان را به فرایندهای پیشگیرانه بیش از پیش جلب می‌کند. در این بین دسترسی عامه مردم به تحلیل‌های برآورد خسارت و شرایط خطرپذیری سکونتگاه‌ها حق شهروندی آنان است، که باید از مدیران شهری مطالبه کنند.

از سوی دیگر چنانچه صنعت بیمه به اطلاعات

تراکم بالای جمعیتی در این مناطق باعث می‌شود تا در زلزله سبک ۶ مرکالی نیز ۲۹ نفر از ساکنان منطقه از دست بروند. تراکم بالای جمعیتی بیشتر ناشی از کوچک بودن قطعات تفکیکی، تراکم واحدهای مسکونی و رعایت نکردن توزیع کاربری‌های مختلف است که در برنامه‌های شهرسازی به آن توجه نشده است. به‌طور کلی محله‌های «بازار»، «دارایی» و «تریت» به دلیل تراکم پایین، در همه سناریوهای زلزله کمترین تلفات را دارند. نگاهی کلی به منطقه نشان می‌دهد که تلفات انسانی تحت تأثیر شدید پراکنش کاربری‌ها قرار دارد. تراکم کاربری مسکونی، جدای از افزایش تلفات می‌تواند در امداد رسانی در شرایط بحرانی نیز مشکلات زیادی ایجاد کند. به نظر می‌رسد علاوه بر اجرای آیین‌نامه‌های جدید ساختمان، توزیع مناسب کاربری‌ها و کاهش کاربری مسکونی نیز می‌بایست به‌طور ویژه مدنظر قرار گیرد.

### ۵- بحث و نتیجه‌گیری

آگاهی از میزان خطرپذیری سکونتگاه‌های انسانی برای طیف وسیعی از کارشناسان، مدیران و افراد ساکن در این مناطق ضرورت دارد. کارشناسان شهری برای

۶- منابع

- Abbasnejad, A., Hassanzadeh, R., 2008, **Earthquake Hazard Management**, Kerman Disaster Management Center, Kerman, Iran, PP. 117-123.
- Ahadnejad, M., Gharakhlo, M., Ziari, K., 2010., **Modeling of Urban Building Vulnerability in Earthquake against Using Analytical Hierarchy Process (AHP) and GIS**, Geography and Developing, Vol. 19, PP. 171-198.
- Aslani, M., Alesheikh, A., 2011, **Site Selection for Small Gas Stations Using GIS**, Scientific Research and Essays Vol. 6(15), PP. 1361-3171, 11 August. Available online at <http://www.academicjournals.org/sre>. ISSN 1992-2248 ©2011 Academic Journals.
- Ataei, M., 2010, **Fuzzy Multicriteria Decision**, Shahrood University of Technology Publication, PP. 96- 100.
- Bafande, A., 2009, **Fuzzy Expert System for Organization Structure Design**, Beyond Management, Vol. 9, PP. 73-77.
- Barbat, A., Pujades, L., Lantada, L., 2006, **Performance of Buildings under Earthquakes in Barcelona, Spain**, Comp. Aided Civil and Infrastruct, Engineering 21(8), PP. 573-593.
- Brandt, A., Kordi. M., 2011, **Effects of Increasing Fuzziness on Analytic Hierarchy Process for Spatial Multicriteria Decision Analysis**, Computers, Environment and Urban Systems, Vol.36, PP. 43-53. homepage: [www.elsevier.com/locate/compenvurbysys](http://www.elsevier.com/locate/compenvurbysys).
- Chang, C.W., Wu, C.R., Lin, H.L., 2009, **Applying Fuzzy Hierarchy Multiple Attributes to Constructan Expert Decision Making Process**, Expert Systems with Applications, Vol. 36, PP. 7363-7368.

پهنه‌بندی مناسب دسترسی داشته باشد، می‌تواند بر مقاوم‌سازی سازه‌های شهری تأثیر بگذارد. مدیریت خطر زلزله با ایجاد نقشه‌های میزان خطر در مناطق مختلف شهر، سهم بیمه‌شونده‌ها را در نرخ بیمه تعیین می‌کند. در مناطق شهری به‌دلیل تفاوت در شرایط سازه‌ها برآورد احتمال خسارت وارد شده در حد بلوک‌های ساختمانی ضرورت دارد. بدین ترتیب، صنعت بیمه می‌تواند با آگاهی از میزان خطری که ساختمان‌های فرسوده یا مکان‌های نامناسب را تهدید می‌کند، به‌عنوان ابزاری هدایتگر در بهسازی مناطق شهری تأثیرگذار باشد.

استفاده از داده‌های کوچک‌مقیاس و خصوصیات سازه‌ای و داده‌های جمعیتی بلوک‌های ساختمانی منطقه ۸ شهر تبریز در قالب مدل فازی سلسله‌مراتبی و مدل برآورد خسارت ساختمانی و جمعیتی، برآوردی از میزان آسیب به منطقه را در پنج سطح برای سه سناریوی زلزله با شدت‌های مختلف فراهم ساخته است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که در زلزله با شدت ۶ ریشتر، آسیب‌پذیری بسیار اندک و در حد ۱/۵ درصد ساختمان‌های منطقه خواهد بود که بیشتر آنها ساختمان‌های قدیمی از نوع خشت و چوب هستند؛ اما با افزایش شدت به ۷ ریشتر میزان آسیب‌پذیری بسیار شدید و به ۱۱ درصد می‌رسد و در شدت ۸ ریشتر ۴۶ درصد ساختمان‌ها آسیب‌پذیری بسیار سنگین سطح ۵ خواهند داشت.

در شرایطی که سطح تراکم جمعیتی منطقه نسبتاً بالاست، تعداد تلفات انسانی در شدت‌های ۶ تا ۸ ریشتر از ۲۹ به ۲۵۱۱ نفر می‌رسد.

با توجه به توزیع جمعیت ثابت منطقه در بلوک‌های ساختمانی مسکونی، تخریب بلوک‌های غیرمسکونی مانند تجاری و کارگاهی، تأثیر چندانی بر آمار تلفات انسانی نداشتند. در نتیجه به‌منظور کاهش تلفات انسانی توجه مضاعف به بهسازی بناهای آسیب‌پذیر مسکونی در اولویت قرار دارد.

- Chen, Y., Chen, Q., Chen L., 2001, **Vulnerability Analysis in Earthquake Loss Estimate**, Kluwer Academic Publishers.
- Coburn, A., Spence, R., 2002, **Earthquake Protection**, Second edition John Wiley & Son, Ltd .
- Eastman, J.R., 1997, **Idrisi: A Grid Based Geographic Analysis System**, version 4.1. Worcester, Ma: Graduate School of Geography, Clark University.
- Freeman, S., Irfanoglu, A., Terrence, F., 2004, **Earthquake Engineering Intensity Scale: A Template with Many Uses**, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada, August 1-6.
- Hashemi, M., Alishikh, A., 2010, **Assessment of Effectment Parameter on Earthquake Vulnerability Based on Fuzzy Logic**, International Conference on Geomatics, Tehran, Iran.
- Hatami Nejad, H., Givechi, S., 2003, **Essential Strategy for Potential Risk Analysis and Identity due Natural Disaster in Urban Area with Old Texture**, 2st international conference on integrated natural disaster management, Tehran, Iran.
- Lantada, N., Pujades, L., Barbat, A., 2008, **Vulnerability Index and Capacity Spectrum based Method for Urban Seismic Risk Evaluation**, Journal of Nathazards, GeoHazards International DOI 10.007/s11069-007-9212-4.
- Malczewski, J., Parhizgar, A., Ghafari, A., 2010, **GIS and Multicriteria Decision Analysis**, Samt publication, Tehran, Iran.
- Milutinovic, Z., Filoloski, T., Goran, S., 2003, **An Advanced Approach to Earthquake Risk Scenarios with Applications to Different European Towns**, RISK-UE – EVK4-CT-2000-00014.
- Mohammadnia, R., 2010, **Introduction on Tabriz City**, Javidan Publication, Tabriz, Iran, PP.63-78.
- Rashed, T., weeks, J., 2003, **Assessing Vulnerability to Earthquake Hazards through Spatial Multi Criteria Analysis of Urban Areas**, Geographical information Science, Vol. 17, No. 6, PP. 547-576.
- Sadiq, R., Tesfamariam, S., 2009, **Environmental Decision-making Under Uncertainty Using Intuitionistic Fuzzy Analytic Hierarchy Process (IF-AHP)**, Stoch Environ Res Risk Assess, Vol. 23, PP. 75-91.
- Sijian, Z., Xiong, L., Ren, A., 2005, **The Potential Risk Assessment of Urban Post-Earthquake Fire Based on UGIS Grid**, fifth Annual IIASA-DPRI Forum on Integrated Disaster Risk Management 14-18 September 2005, Beijing, China.
- Tang, Y., Malcolm, J., 2005, **Application and Development of a Fuzzy Analytic Hierarchy Process within a Capital Investment Study**, Journal of Economics and Management, Vol. 1, No. 2, PP. 207-230.
- Wu, X., Pu, F., Shao, S. Fang, J., 2004, **Trapezoidal Fuzzy AHP for the Comprehensive Evaluation Related Coefficient Calcldine of Highway Network Programming Schemes in YangtzeRiver Delta**, Fourth World Congress on Intelligent Control and Automation, June 15-19, Hangzhou, China.
- Zanjirchi, S.M., 2011, **Fuzzy Analytical Hierarchy Process**, Sane publication, PP. 281-284.