نشریه علمی – پژوهشی برنامه‌ریزی توسعه کالبدی
سال سوم، شماره ۶ (سری جدید)، پیاپی ۱۰، تابستان ۱۳۹۷ (۱۲۴-۱۱۰)

Journal of Physical Development Planning
Vol. 3, No. 6, (New Series), Summer 2018 (110-124)

پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهری ناشی از زلزله با استفاده از مدل Fuzzy-AHP

مطالعه موردی شهر تبریز

محمدرضا کرمی[۱]، سهراب امیریان[۲*]

۱. استادیار دانشگاه پیام نور

۲. استادیار دانشگاه پیام نور

(دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۲۱ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۲۳)

Zoning the Urban Earthquake vulnerability using Fuzzy logic-AHP model (case study: Tabriz City)

Mohammadreza Karami[1], Sohrab Amirian[2*]

1. Assisstant professors of Payame Noor University
2. Assisstant professors of Payame Noor University

(Received: 12/Dec/2017 Accepted: 14/Aug/2018)

چکیده

پهنه‌بندی خطر رویکرد مهمی از فرایند مدیریت پیش از بحران است که به برنامه‌ریزان و مدیران شهری در آماده‌سازی و کاهش آسیب‌پذیری کمک فراوانی می‌کند. مسئله اساسی انتخاب معیارهای آسیب‌پذیری و نحوه ترکیب این معیارهاست و به‌علاوه انتخاب مدلی مناسب است که بتواند به بهترین شیوه نمایانگر میزان آسیب‌پذیری باشد. شهر تبریز به‌عنوان بزرگ‌ترین مادر شهر شمال غرب کشور از نظر وسعت، شرایط صنعتی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی اهمیت فراوان دارد، اما به دلیل هم‌جواری با گسلی بزرگ و فعال، شرایطی نامساعد دارد. در این مقاله با استفاده از نرم‌افزارهای IDRISI و ARCGIS و انتخاب ۱۵ معیار و ترکیب مدل‌های منطق Fuzzy و AHP میزان آسیب‌پذیری منطقه‌های شهری و جمعیت ساکن در آن‌ها نیز تحلیل و استخراج‌شده است. نتایج نشان می‌دهد که مناطق ۱۰ و ۱ به ترتیب دارای بدترین شرایط ممکن هستند و تطبیق نتایج به‌دست‌آمده با وضع موجود، حاکی از دقت بالای مدل انتخاب‌شده در موضوع پهنه‌بندی خطر زلزله است.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی خطر، زلزله، منطق فازی (Fuzzy logic)، تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، مدل‌سازی، شهر تبر.

Abstract:

Risk zoning is an important approach to the pre-crisis management process, which assists planners and managers to be prepared for reducing vulnerability. The key issue is the selection of vulnerability criteria and how these criteria are combined. It is also important to select the suitable model that can best illustrate the vulnerability. The city of Tabriz, from the viewpoint of size, industrial, economic, social and cultural conditions, is considered as the metropolis of northwest of the country, however, its proximity to a large and active fault has created an unfavorable condition for the city. In the present paper, using IDRISI and ArcGIS software, 15 selected criteria have been analyzed. Also, a combination of Fuzzy and AHP logic models were applied to analysis of vulnerability of urban areas and their population. The results showed that regions 10 and 1 of city municipality have the worst possible conditions respectively. Conformation of the results to the existing situation indicates the high accuracy of the chosen model for zoning the earthquake hazard.

Keywords:. risk assessment, earthquake, Fuzzy Logic, Analytic Hierarchy Process (AHP), modeling, Tabriz.

*** نویسنده مسئول:** سهراب امیریان
E-mail: s_amirian@pnu.ac.ir

*Corresponding Author: Sohrab Amirian

مقدمه

شهرها در آغاز قرن بیست و یکم، تقریباً ۲ درصد از مساحت کره زمین را اشغال کرده و حدود نیمی از جمعیت جهان را در خود جای‌داده‌اند. جمعیت شهری دنیا هرسال ۵۵ میلیون نفر افزایش می‌یابد (ارجمندنیا، ۱۳۷۹: ۲۷) و پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۲۵ بیش از ۶۵ درصد مردم دنیا در شهرها زندگی کنند(Fengli & others, 2005: 1). در این میان، شهرهای آفریقا، آسیا و آمریکای لاتین از رشد بسیار بالای جمعیت شهری برخوردار هستند(Cozen, 2002: 4). روند ساخت‌وساز بی‌رویه (خوش‌نمک، ۱۳۸۱: ۱۰۹) و رشد فزاینده جمعیت ایران، در دهه‌های اخیر و افزایش میل به مهاجرت از روستاها به شهرها در همین دوره باعث رشد سریع و لجام‌گسیخته شهرها شده است. در چنین شرایطی توسعه پایدار شهرهای کشور ناممکن می‌نماید (کیال و عقیلی، ۱۳۸۸: ۲). مخاطرات طبیعی توانایی آن را دارند که در نبود سیستمهای تقلیل مخاطرات به سوانحی هولناک بدل شوند(ملکی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۹) از طرفی دیگر، یکی از موضوع‌هایی که بیشتر شهرهای جهان با آن دست به گریبان‌اند، حوادث طبیعی است (Alexander, 2002: 38.) و برنامه ریزی برای مقابله و پیشگیری از این مخاطرات و آثار زیان بارآنها در زمره اهداف بلندمدت هر جامعه ای به حساب می آید(مهدوی، هزاریان، ۱۳۹۶: ۲۸).در دنیا و در ۲۵ سال اخیر حوادث طبیعی سه میلیون نفر تلفات داشته و در حدود ۲۳ میلیارد دلار خسارت وارد ساخته است. در این میان زلزله یکی از حوادث شایع در سراسر دنیا است و در سال ۲۰۰۱ به‌عنوان مرگبارترین حادثه جهان گزارش شده است. ایران هم در ردیف ۱۰ کشور بحران‌خیز دنیا است و زلزله سبب بیشترین تلفات انسانی آن بوده است. کمربند زلزله ۹۰ درصد خاک کشور ما را در برگرفته (آوازه و جعفری، ۱۳۸۵: ۲) و از سال ۱۳۳۶ تا ۱۳۷۰ بیش از ۱۵۰۰۰۰ نفر در اثر زمین‌لرزه جان خود را ازدست‌داده‌اند (عرب و دیگران، ۱۳۸۵: ۲). با توجه به گسترش کالبدی و افزایش تراکم شهرهای بزرگ، در صورت وقوع بحران وضعیت خطرناکی ایجاد می‌شود، زیرا عدم رعایت سلسله‌مراتب شبکه‌های ارتباطی، عرض کم‌راه‌ها و دوری از مراکز خدماتی و درمانی در مناطق بحران‌خیز در زمان حوادث مشکل‌ساز می‌شود (ترابی، ۱۳۸۸: ۲). بنابراین ضروری است برای جلوگیری از افزایش آسیب‌پذیری بایستی میزان تاب‌آوری جامعه محلی را شناخت و توان ظرفیت‌های جامعه برای ایستادگی و بازیابی در برابر مخاطره‌ها هنگام وقوع بحران را سنجید (عشقی چهاربرج، نظم‌فر، غفاری، ۱۳۹۶: ۱۲) به‌ویژه این که برخی از شهرها در مجاورت و حتی بر روی خط گسل (همانند شهر تبریز) ساخته‌شده و توسعه‌یافته‌اند. به‌طور کلی زمین لرزه‌ها بیشترین تلفات را در مناطقی ایجاد می‌کنند که به لحاظ کالبدی ضعیف هستند و بیشترین تراکم ساختمان‌های آسیب‌پذیر را دارند. در بسیاری از موارد، آسیب‌پذیرترین ساختمان‌ها آن‌هایی هستند که با استقامت کم بنا شده‌اند . این حادثه‌ها، افزون بر پیامدهای زیان بار مالی و تلفات جانی گسترده، عواقب روانی و پیامدهای روان‌شناختی عمیقی بر جای می‌گذارد که گاهی تا سال‌ها بازماندگان این مخاطرات طبیعی را رنج می‌دهد(مهدوی، هزاریان، ۱۳۹۶: ۲۸). آسیب پذیری شهرها در همه جا، از زیرساختها و ساختمانها تا تأسیسات و خدمات شهری در زندگی انسان محسوس است. شناخت شیوه های نیل به پایداری، به وسیله الگوهای مختلف کاهش آسیب پذیری، در برنامه ریزی و مدیریت سوانح وارد شده است(شکری فیروزجاه، ۱۳۹۶: ۲۸). از طرفی آسیب پذیری برحسب مبانی متفاوتی مانند درجه زیان و آسیب حاصل از یک پدیده بالقوه آسیب رسان، وضعیت و موقعیت اجتماعی- اقتصادی و خصیصه ای از یک سیستم انسانی- محیطی تعریف شده است(ملکی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۰). مطالعات مربوط به‌احتمال وقوع زمین‌لرزه در آینده با استفاده از نقشه ریسک زمین‌لرزه در ایران، کل کشور را به چهار ناحیه مختلف با میزان لرزه‌خیزی متفاوت تقسیم کرده، که در آن کلان‌شهر تبریز در منطقه خسارت نسبتاً بالا قرار دارد و احتمال وقوع زمین‌لرزه‌هایی با شدت ۶ درجه ریشتر وجود دارد (گزارش طرح جامع شهر تبریز، ۱۳۸۲: ۱۰). این شهر در معبر نوار زلزله‌خیزی قرارگرفته است که دارای پیشینه زمین‌لرزه‌های ویرانگر فراوان در گذشته است. با توجه به زلزله‌خیز بودن این شهر و در نظر گرفتن کیفیت ساختمان‌ها به‌ویژه در بافت‌های فرسوده و سایر پارامترها از قبیل شبکهٔ دسترسی و ساختمان‌ها، وقوع یک زلزلهٔ بزرگ در کلان‌شهر تبریز بسیار مصیبت‌بار خواهد بود. علاوه بر این عوامل متعدد دیگری باعث افزایش احتمال بحران درکلان شهر تبریز می‌شوند مانند متغیرهای آسیب‌پذیری مانند بالا بودن تراکم ساختمانی و جمعیتی، کیفیت پایین ساختمان‌ها در بدنه شبکه‌های ارتباطی و مناطق مسکونی خودرو و بسیار آسیب‌پذیر، توزیع ناموزون امکانات و خدمات در بعضی مناطق شهر، وجود بافت‌های فرسوده، نابسامانی‌های کالبدی،

تراکم ترافیک، توسعه بی‌قاعده شهری، عدم رعایت قوانین و مقررات مقاوم‌سازی، استفاده از مصالح ناسازگار در ساخت‌وسازها، ناپایداری زمین و نداشتن برنامه‌های اصولی برای رویارویی با بحران‌های آتی و مشکل‌های دیگر که اکنون در کلان‌شهر تبریز به‌وضوح مشاهده می‌شود. بخشی از این مشکل‌ها ناشی از نبود نگرش علمی و سیستمی به نیازهای مردم و انطباق برنامه‌ها و سیاست‌ها با محیط شهر است که در صورت تداوم آن در آینده، به گره‌های کور و لاینحلی می‌انجامد و در صورت بروز چنین شرایطی، حتی صرف هزینه‌های سنگین و تلاش برنامه‌ریزان نیز نمی‌تواند وضعیت پیش‌آمده را بهبود بخشد؛ بنابراین شناخت میزان خطر ناشی از این پدیده و برآورد تقریبی خسارات کالبدی و انسانی (که هدف غایی این مقاله است) بسیار ضروری و حیاتی است.

داده‌ها و روش کار

این پژوهش از بعد ماهیت، کاربردی و از منظر شیوه تحقیق ترکیبی از روش های اسنادی، توصیفی و مبتنی بر مدل های کمّی است. در اینجا از ترکیب دو مدل ریاضی بسیار مهم و پرکاربرد یعنی منطق فازی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی به‌منظور پهنه‌بندی خطر زلزله استفاده‌شده است.AHP یک روش برای ارزیابی گزینه های تصمیم گیری و انتخاب بهترین گزینه برای زمانی است که تصمیم گیرنده دارای معیار های متعدد است (Özdağoğlu & Özdağoğlu, 2007,P:66). این مدل یک سنتز ریاضی و یک شیوه جبری تصمیم‌گیری با مقیاس نسبی است. در این روش با استفاده از یک شبکه سیستمی، شاخص‌های مختلف و ضوابط و معیارهای چندگانه با ساختارهای چند سطحی اولویت‌دار برای رتبه‌بندی یا تعیین اهمیت گزینه‌های مختلف، یک فرآیند تصمیم‌گیری پیچیده مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل AHP ترکیب معیارهای کیفی همراه با معیارهای کمی را به‌طور هم‌زمان امکان‌پذیر می‌سازد. این امر به تصمیم‌گیرنده این امکان را می‌دهد که فارغ از هرگونه نفوذ و مزاحمت خارجی تنها روی مقایسه دو معیار یا گزینه تمرکز کند (معصوم‌زاده، تراب زاده، ۱۳۸۳: ۷۰-۷۱). در AHP، ترجیح بین جایگزین ها به‌وسیله ساختارهای مقایسه زوجی تعیین می شوند. در یک مقایسه دو جانبه، تصمیم گیرنده دو گزینه را با در نظر گرفتن یک معیار و یک اولویت را نشان می دهد (Özdağoğlu & Özdağoğlu, 2007,P:66).

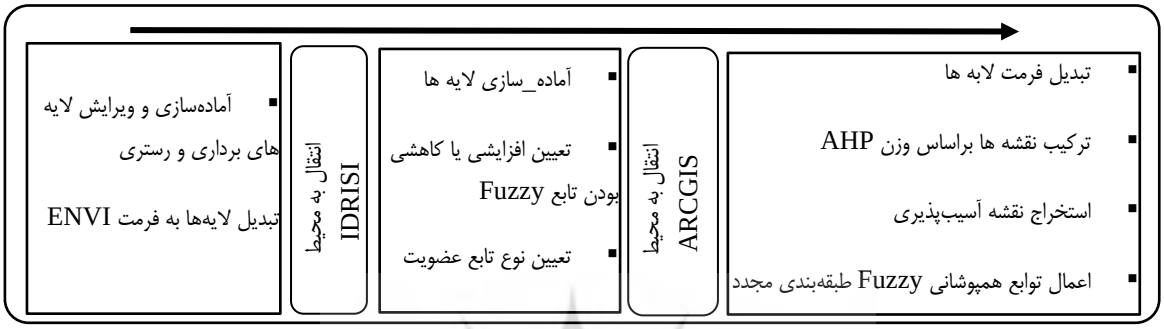
به‌طورکلی AHP روشی است منعطف، قوی و ساده که برای تصمیم‌گیری در شرایطی که معیارهای تصمیم‌گیری متضاد، انتخاب گزینه‌ها را با مشکل مواجه می‌سازد استفاده می‌شود (نوچیان، ۱۳۸۴: ۲۹). در عین حال یک ابزار تصمیم‌گیری چند منظوره قدرتمند و انعطاف‌پذیر برای حل مسائل پیچیده است که در آن جنبه‌های کیفی و کمی در نظر گرفته می‌شود (Özdağoğlu & Özdağoğlu, 2007,P:67). این روش یکی از روش‌های MADM است که به منظور تصمیم‌گیری و انتخاب یک گزینه از میان گزینه‌های متعدد با توجه به شاخص‌هایی که توسط تصمیم‌گیرنده تعیین می‌شود به کار گرفته می‌شود (موسوی، ۱۳۸۰: ۷۴). به‌طورکلی فرایند AHP دارای چهار مرحله است. این مراحل عبارت‌اند از الف: وزن دادن به سنجه‌ها ب: وزن دادن به جایگزین‌ها ج: به‌دست‌آوردن وزن‌های مرکب و د: آزمایش سازگاری (محمدزاده، ۱۳۸۲: ۹۹). برای ارزیابی سازگاری داوری‌های تحلیل‌گر، باید «شاخص سازگاری» محاسبه شود. درصورتی‌که عدد شاخص از ۰/۱ کمتر باشد می‌توان حاصل کار را خوب و وزن‌ها را قابل‌اعتماد دانست (همان: ۱۰۲). بر همین اساس مفهوم ارزیابی اراضی بر اساس منطق تصمیم‌گیری در انتخاب استفاده از زمین بر پایه تجزیه‌وتحلیل روابط بین استفاده از سرزمین بوده و طی آن برآوردهایی از نهاده‌های مورد نیاز و ستاده‌های پیش‌بینی‌شده به دست می‌آید (ایوبی و جلالیان، ۱۳۸۵: ۴). روش مقایسه دوگانه فواید بیشتری در فراهم‌سازی یک ساختار سازمان‌دهی شده برای گروه مشاهده‌گر دارد و به گروه تصمیم‌گیرنده کمک می‌کند که بر روی مناطق موافق و غیر موافق در وزن دهی معیارها دقیق باشند (Eastman, 2006, P: 131). از سوی دیگر، مجموعه‌های فازی، مجموعه یا طبقاتی بدون مرزهای دقیق هستند که تغییر بین اعضای مجموعه و اعضای ناقص یک پدیده در این مجموعه، تدریجی است. تصور و انگاشت مجموعه‌های فازی شروعی سهل و آسان برای ساخت یک چارچوب مفهومی که در بسیاری جهات مشابه چارچوب‌های بکار برده شده در مجموعه‌های معمولی را فراهم می‌کند. ولی به‌طور بالقوه ممکن است فهم و گستره خیلی وسیع‌تری را شامل شود، خصوصاً در زمینه الگوهای طبقه‌بندی و پروسه اطلاعات (Zadeh, 1965: 338-339). تفکر فازی از دیدگاهی فلسفی نشات می‌گیرد که به‌اندازه فلسفه سابقه چند هزار ساله دارد. تفکر فازی با الهام از فلسفه شرقی، جهان را

همان‌گونه که هست معرفی می‌کند. در فلسفه ارسطویی که در مقابل فلسفه شرق قرار دارد، همه‌چیز به دو دسته سیاه‌وسفید و آری و نه تقسیم می‌شود. درحالی‌که فازی بودن به معنای چند ارزشی بودن است، بدین معنی که سه یا تعداد بیشتری انتخاب در پاسخ به هر سؤال وجود دارد (تقی‌پور، ۱۳۸۸: ۴۳). ارسطو ۳۰۰ سال قبل از میلاد، منطق بولین (۰ و ۱) را ارائه کرد که بنیان و اساس ریاضیات را تشکیل می‌دهد. این منطق به این موضوع اشاره دارد که یک قانون یا درست است یا درست نیست. لیکن این منطق همیشه کارایی و کاربرد مناسب را ندارد (انصاری، ۱۳۸۲: ۱۰۸). منطق بولین یا دووجهی نام خود را از ریاضی‌دان انگلیسی جورج بول گرفته است. در این روش ابتدا معیارهای مربوطه انتخاب‌شده و کل منطقه بر اساس آن معیارها به واحدهای مناسب (ارزش یک یا True) یا نامناسب (ارزش صفر یا False) تقسیم می‌شود. در مرحله بعد با استفاده از توابع منطقی مانند AND، OR و NOT لایه‌ها باهم ترکیب می‌شوند (اسدی‌نظری، ۱۳۸۳: ۷۲-۶۹). نظریه فازی مبتنی بر توسعه نظریه مجموعه بولین است. همان‌گونه که از تعریف این واژه مشخص است «مبهم» بر انواع مختلف ابهامات و عدم قطعیت به‌خصوص ابهامات مربوط به بیان و تفکر بشر اشاره دارد .این مطلب با عدم اطمینان مطرح‌شده در نظریه احتمال متفاوت است. در نظریه احتمال، احتمال وقوع یک حادثه یا واقعه سنجیده می‌شود و میزان عدم اطمینان مطرح‌شده در این نظریه را می‌توان به‌طور واقعی و با تکرار آزمون در خصوص موضوع‌های تکرارپذیر بررسی کرد. لیکن منطق فازی به بررسی ابهامات ناشی از تعاریف عضویت‌پذیری یک عنصر یا پدیده به مجموعه می‌پردازد. منطق فازی روی متغیرهای زبانی تأکید دارد و قصد دارد با کمک گزاره‌های نادقیق برای استدلال تقریبی، مبنای استدلالی فراهم آورد (گلی، ۱۳۸۳: ۱۱۳-۱۱۴).

در تفکر فازی تعیین مرزی مشخص مشکل و تعلق عناصر مختلف به مفاهیم و موضوعات گوناگون نسبی است. چنین تفکری با طبیعت و محیط پیرامونی انسان بسیار سازگار است. در نظریه فازی عضویت می‌تواند طیفی از اعداد صفر تا یک را به خود اختصاص دهد. تابعی که درجه عضویت به یک مجموعه را بیان می‌کند، اصطلاحاً تابع عضویت نامیده می‌شود. در این تابع مهم‌ترین خصوصیت مقدار عددی یک و کم‌اهمیت‌ترین مقدار صفر را اختیار می‌کند (ایوبی و جلالیان، ۱۳۸۵: ۲۸۸). در منطق فازی اطلاعات و معلومات به‌صورت مجموعه‌ای از قیود فازی، قیود معادل یا قابل انعطاف در مجموعه‌ای از متغیرها بیان می‌شود (بنابراین می‌توان منطق بولین را به‌عنوان یک منطق فازی بیان کرد). استنتاج به‌عنوان مرحله‌ای از انتشار[1] قیود قابل انعطاف بیان می‌شود (انصاری، ۱۳۸۲: ۱۰۸-۱۰۹). سه نوع اصلی از توابع عضویت قابل‌استفاده در ارزیابی شامل توابع زنگوله‌ای شکل، ذوزنقه‌ای شکل و مثلثی شکل است. انتخاب مدل فازی مناسب برای ارزیابی بستگی به درجه تغییرات خصوصیت یا کیفیت مورد بررسی در ناحیه انتقالی و مرز کلاس‌ها دارد. بعد از انتخاب نوع مدل، تعیین عرض ناحیه انتقالی یکی از مهم‌ترین مراحل تصمیم‌گیری در مدل‌سازی فازی است و دقت نتایج به این تصمیم‌گیری بستگی دارد (ایوبی و جلالیان، ۱۳۸۵: ۲۸۸-۲۹۲).باید توجه داشت که مجموعه‌های فازی در مسائل تصمیم‌گیری در مواجه با GIS بسیار رایج هستند. آن‌ها الگوهای عدم قطعیت را نشان می‌دهند، اما ارزیابی عدم قطعیت نیستند. شاخص های هم‌پیوسته تصمیم‌گیری چند معیاره، تابع عضویت مجموعه فازی هستند درحالی‌که هم‌پیوسته‌های فازی بولین تابع عضویت ترد هستند. لیکن باید دانست که عبارت‌های شاخص و محدودیت بیشتر از توابع عضویت ترد یا فازی به‌کار می‌روند (Eastman, 2006, P: 128). از طرفی دیگر انسان ها در پیش‌بینی‌های کمی چندان موفق نبوده‌اند، در حالیکه به طور نسبی در پیش‌بینی‌های کیفی کارآمد بوده‌اند .اساسا عدم اطمینان در قضاوت های ترجیحی موجب عدم اطمینان در رتبه بندی جایگزین ها و همچنین مشکل در تعیین سازگاری ارجحیت‌ها تنظیمات می شود. تکنیک Fuzzy-AHP می تواند به عنوان یک روش تحلیلی پیشرفته در نظر گرفته شود که برگرفته از AHP سنتی باشد. با وجود راحتی AHP در مدیریت هر دوی معیارهای کمی و کیفی، مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر قضاوت‌های ارزشی تصمیم‌گیرندگان، ابهام موجود در بسیاری از مشکلات تصمیم‌گیری ممکن است به قضاوت‌های نامشخص از تصمیم‌گیرندگان در روش های معمول در AHP گردد(Özdağoğlu & Özdağoğlu, 2007,P:69). به همین دلیل در حال حاضر بسیاری از محققین از رویکرد ترکیبی Fuzzy-AHP به منظور تصمیم‌گیری و حل مسائل چند معیاره استفاده می‌کنند. با در نظر گرفتن موارد فوق و نیز

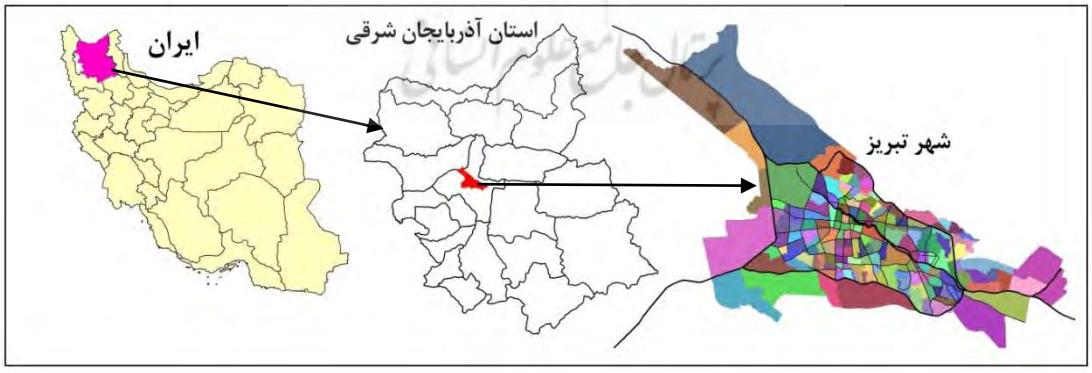
1. Propagation

روش تحقیق در این پژوهش ۱۵ لایه (نقشه) مختلف که هر کدام مبین ویژگی‌های کالبدی، طبیعی، اقتصادی و اجتماعی است در نظر گرفته شد و تابع عضویت هرکدام نیز تعریف شد. به منظور تعیین اوزان AHP و همچنین آستانه فازی هر کدام از لایه ها با رجوع به منابع و مقالات علمی (فارسی و انگلیسی) که از منظر آسیب‌پذیری ناشی از زلزله به صورت کمی و یا کیفی بدان ها اشاره شده استفاده شد. همچنین اوزان نهایی در مدل AHP و نیز فازی سازی هر یک از لایه در نرم‌افزار terrset که دارای کارایی بیشتری نسبت به ArcGIS است انجام شد، لیکن همپوشانی لایه‌ها در ArcGIS 10.4 انجام شده است. در نهایت از ضرب اوزان نهایی به دست آمده از مدل AHP در لایه های فازی شده در محیط ArcGIS در بخش Raster Calculator نقشه نهایی (شکل ۳)به دست آمد.



شکل ۱: فرایند کلی اجرای مدل منطق Fuzzy در رابطه با آسیب‌پذیری

شهر تبریز، مرکز استان آذربایجان شرقی در موقعیت جغرافیایی ´۲۳، °۴۶ و ´۱۱، °۴۶ طول شرقی و ´۹، °۳۸ و ´۱، °۳۸ عرض شمالی در جنوب شرقی جلگه تبریز در پای کوه عون بن علی و سهند قرار گرفته است. حد شمالی شهر را کوه اینالی و جنوب آن را دامنه‌های شمالی توده آتشفشانی سهند و شرق آن را کوه‌های اینالی تشکیل می‌دهد و در غرب آن زمین‌های هموار جلگه تبریز گسترده است. مکان طبیعی شهر چاله بزرگی است که از سه طرف توسط کوهستان احاطه شده و تنها از قسمت غرب، زمین‌های هموار که عمدتاً شوره‌زارهای ناشی از مخروطه‌افکنه آجی‌چای باز است. ارتفاع شهر تبریز ۱۳۵۰ تا ۱۵۵۰ متر از سطح دریاست و شیب عمومی زمین‌های آن به سوی مرکز شهر و غرب است (عزیزپور، ۱۳۷۵). ازنظر مناطق شهرداری این شهر به ۱۰ منطقه تقسیم شده و ازنظر جمعیتی در سال‌های ۱۳۷۵، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۱ به ترتیب ۱۱۴۴۱۶۱، ۱۳۹۹۱۴۶ و ۱۵۳۳۵۰۰ نفر جمعیت داشت که نرخ رشد جمعیتی آن معادل ۱/۸۵ درصد در سال بوده است.

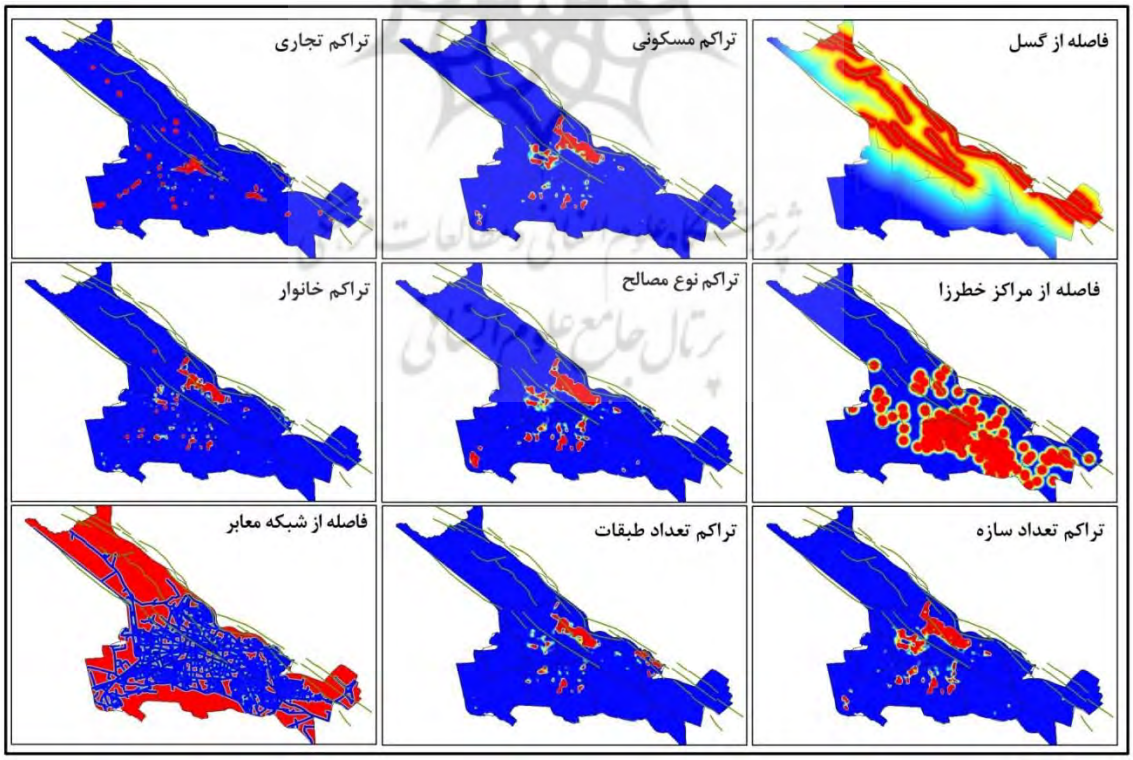


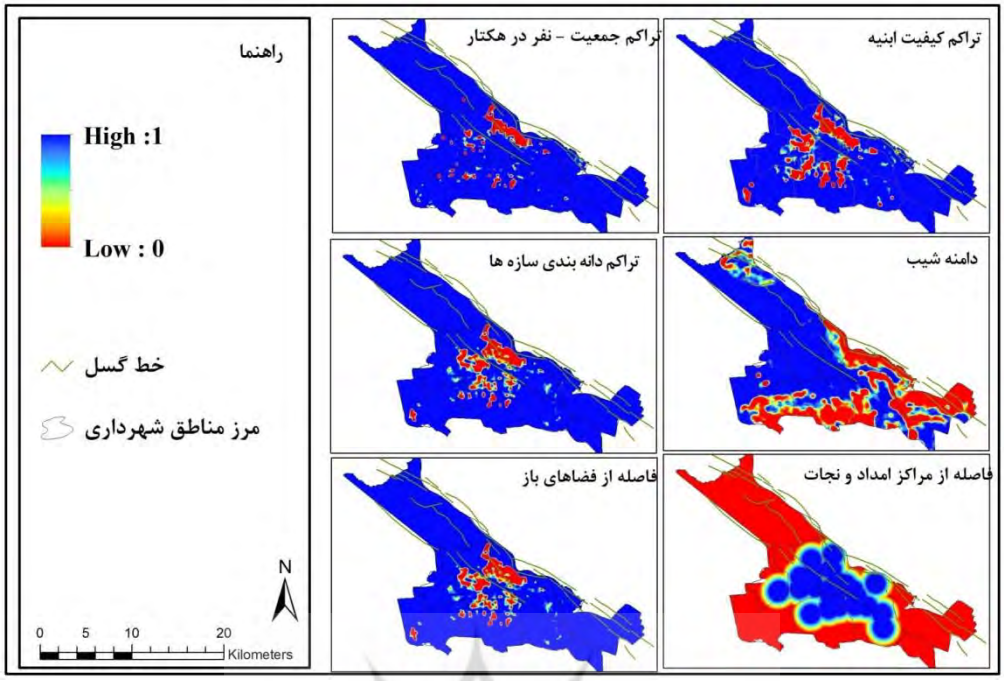
شکل ۱: موقعیت شهر تبریز در کشور و استان

گسترش شهر به سمت گسل شمالی بوده است. علاوه بر شهرک‌های و محله‌های از پیش طراحی‌شده (شهرک باغمیشه، رشدیه، ولیعصر، شهرک ارم و ...)، حجم عظیمی از پهنه‌های حاشیه‌نشین و اسکان غیررسمی نیز در مجاورت و نزدیک گسل قرار دارند.

جدول ۱: قواعد فازی‌سازی نقشه‌های معیار و مقادیر a, b, c, d در توابع مربوط در شهر تبریز

ابعاد آسیب‌پذیری	لایهٔ نقشه	حد آستانه		نوع تابع فازی	نام تابع فازی	وزن اولیه در *AHP*	وزن نهایی در *AHP*
		b یا *d*	*a* یا *C*				
طبیعی	فاصله از گسل	۵۰۰۰	۵۰۰	افزایشی	*Linear*	۹	۰,۰۴۲۱
	شیب	۱۰	۵	کاهشی	*Sigmodial*	۶	۰,۰۵۷۴
کالبدی	تراکم تعداد طبقات	۱۲۰	۶۰	کاهشی	*Sigmodial*	۶	۰,۰۶۲۸
	تراکم کیفیت ابنیه	۲۰۰	۱۰۰	کاهشی	*Sigmodial*	۴	۰,۰۹۴۵
	تراکم نوع مصالح	۲۰۰	۱۰۰	کاهشی	*Sigmodial*	۷	۰,۰۵۴۲
	دانه‌بندی	۸۰	۴۰	کاهشی	*Sigmodial*	۶	۰,۰۶۲۷
	تراکم مسکونی	۸۰	۴۰	کاهشی	*Sigmodial*	۷	۰,۰۵۳۸
	تراکم ساختمانی	۸۰	۴۰	کاهشی	*Sigmodial*	۶	۰,۰۶۲۶
	تراکم تجاری	۸۰۰	۴۰۰	کاهشی	*Sigmodial*	۴	۰,۰۹۳۳
فاصله	فاصله از مراکز امداد و نجات	۲۰۰۰	۱۰۰۰	کاهشی	*Linear*	۶	۰,۰۶۲۶
	فاصله از فضای باز	۲۰۰	۱۰۰	کاهشی	*Linear*	۵	۰,۰۷۶۰
	فاصله از شبکه معابر	۲۰۰	۱۰۰	کاهشی	*Linear*	۷	۰,۰۵۴۰
	فاصله از مراکز خطرزا	۸۰۰	۴۰۰	افزایشی	*Linear*	۸	۰,۰۴۷۲
اجتماعی	تراکم جمعیت ۸۵	۴۰۰	۲۰۰	کاهشی	*Sigmodial*	۷	۰,۰۵۵۰
	تراکم تعداد خانوار	۱۲۰	۶۰	کاهشی	*Sigmodial*	۵	۰,۱۲۱۸

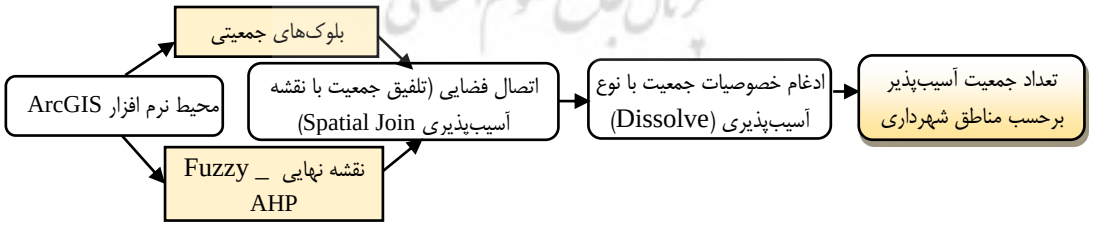




شکل ۲: لایه‌های مورد استفاده در شهر تبریز

به‌طورکلی بررسی شکل ها و جدول‌های به‌دست‌آمده و نیز نتیجه تحلیل نقشه آسیب‌پذیری با جمعیت مناطق شهر تبریز نشان می‌دهد که در مناطق مختلف آسیب‌پذیری اشکال متفاوتی دارد. به‌عبارتی‌دیگر مناطق ۱۰ و ۱ به ترتیب بیشترین میزان آسیب‌پذیری را نشان می‌دهند. لازم به یادآوری است که روش استخراج میزان جمعیت در معرض نوع آسیب‌پذیری در کلیه مدل‌ها به یک شکل انجام شده است. برای این منظور پس از تهیه نقشه نهایی هر مدل با استفاده از تحلیل‌های مکانی در GIS خصوصیات هر پهنه آسیب‌پذیری (ازنظر نوع آسیب‌پذیری) به نقشه جمعیت سال ۱۳۸۵ انتقال داده شد و در نهایت با استفاده از روش تلخیص در محیط نرم‌افزاری ARCGIS میزان جمعیت آسیب‌پذیر استخراج شد. باید نقشه بلوک‌های سرشماری جمعیت که به‌صورت سطح می‌باشند از قبل به نقطه تبدیل شوند (شکل ۲).

پس از استانداردسازی داده‌ها و انتقال آن‌ها به مدل AHP علاوه بر نقشه خروجی، وزن نهایی معیارها به دست آمد (جدول ۱). نسبت CR به‌دست‌آمده برابر با ۰/۰۲۲۵ است که کمتر از ۰/۱ است. بنابراین انتخاب اوزان اولیه لایه‌ها منطقی و قابل‌قبول است.



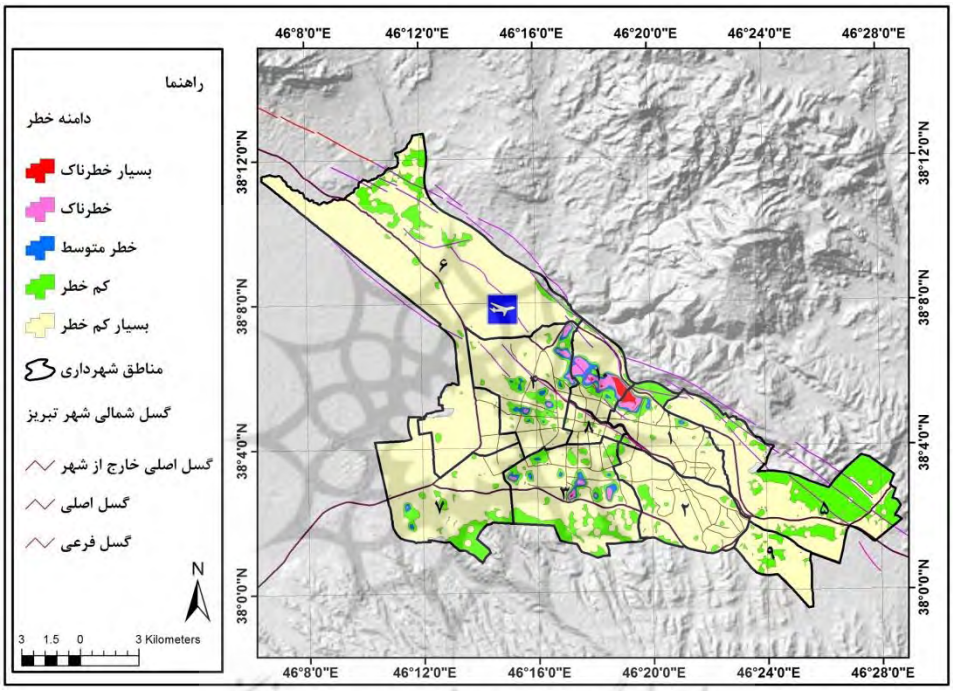
شکل ۳: فرایند استخراج جداول جمعیتی بر اساس نوع آسیب‌پذیری ناشی از زلزله به‌وسیله ModelBuilder در محیط ARCGIS

شرح و تفسیر نتایج

ترکیب لایه‌ها از راه‌های مختلف با مدل‌های متفاوت امکان‌پذیر است. آنچه در این رابطه مهم است انطباق مدل مورد نظر با اهداف محقق است. در مقاله حاضر از مدل Fuzzy-AHP استفاده شده است و همان‌گونه که از نام آن پیداست ترکیبی از دو مدل منطق فازی و مدل تحلیل سلسله مراتبی است. در این مدل لایه‌های (نقشه‌های) مورد نظر که بر اساس منطق فازی آماده شده‌اند بر اساس وزن‌های

به‌دست‌آمده از مدل تحلیل سلسله مراتبی باهم ترکیب می‌شوند، نتیجه ترکیب این دو مدل، نقشه (۱) است.

با توجه به خروجی نهایی به‌دست‌آمده بیشترین مساحت پهنه‌های با آسیب‌پذیری بسیار بالا در مناطق ۱۰ و ۱ واقع شده‌اند. مناطق ۷، ۸ و ۹ پهنه‌های با آسیب‌پذیری بسیار بالا ندارند و از این لحاظ شرایط بهتری دارند. از سوی دیگر این مناطق جزو مناطق با تراکم مسکونی و جمعیتی پایین محسوب می‌شوند. به‌طورکلی بیش از ۸۰ درصد از کل مساحت شهر تبریز در پهنه‌های آسیب‌پذیری متوسط و پایین قرار دارند و فقط حدود ۲۰ درصد از این مساحت در پهنه آسیب‌پذیری متوسط به بالا قرار دارد. تنها ۲/۱۹ درصد از مساحت شهر شرایط بسیار بحرانی به سر می‌برد. آسیب‌پذیری متوسط با ۵۲/۲۲ درصد و مساحت۱۳۳۰۴ هکتار و آسیب‌پذیری بسیار بالا با ۲,۱۹ درصد و مساحتی برابر با ۵۵۸,۱۷ به ترتیب بیشترین و کم‌ترین درصد مساحت از محدوده شهر را به خود اختصاص داده‌اند.



شکل ۳: آسیب‌پذیری شهر تبریز ناشی از زلزله با استفاده از مدل Fuzzy-AHP

جدول ۲: میزان آسیب‌پذیری شهر تبریز از زلزله به تفکیک مناطق شهرداری با استفاده از مدلFuzzy-AHP

جمعیت سال ۹۱	درصد	مساحت به هکتار	دامنه	نام منطقه	جمعیت سال ۹۱	درصد	مساحت به هکتار	دامنه	نام منطقه
۱۴۶۷۶۲	۰/۱	۱/۹	خطر متوسط	منطقه ۲	۱۹۷۶۹۴	۱/۹	۳۱/۶	بسیار خطرناک	منطقه ۱
	۷/۵	۱۵۸/۴	کم‌خطر			۲/۹	۴۷/۲	خطرناک	
	۹۲/۴	۱۹۴۳/۲	بسیار کم‌خطر			۲/۳	۳۷/۵	خطر متوسط	
	۱۰۰/۰	۲۱۰۳/۴	جمع کل			۱۳/۶	۲۲۳/۹	کم‌خطر	
۳۰۶۰۰۹	۰/۰	۰/۳	بسیار خطرناک	منطقه ۴		۷۹/۴	۱۳۱۱/۲	بسیار کم‌خطر	
	۱/۹	۴۷/۳	خطرناک			۱۰۰/۰	۱۶۵۱/۵	جمع کل	
	۴/۳	۱۰۸/۸	خطر متوسط		۲۴۴۰۶۷	۰/۱	۱/۶	بسیار خطرناک	منطقه ۳
	۱۳/۷	۳۴۷/۱	کم‌خطر			۱/۴	۴۰/۸	خطرناک	
	۸۰/۲	۲۰۳۹/۰	بسیار کم‌خطر			۳/۰	۸۵/۵	خطر متوسط	

جمعیت سال ۹۱	درصد	مساحت به هکتار	دامنه	نام منطقه	جمعیت سال ۹۱	درصد	مساحت به هکتار	دامنه	نام منطقه
	۱۰۰/۰	۲۵۴۲/۵	جمع کل			۲۶/۰	۷۴۰/۷	کم‌خطر	
۹۰۷۶۷	۸/۷	۶۵۰/۵	کم‌خطر	منطقه ۶		۶۹/۶	۱۹۸۴/۲	بسیار کم‌خطر	
	۹۱/۳	۶۸۵۷/۶	بسیار کم‌خطر			۱۰۰/۰	۲۸۵۲/۸	جمع کل	
	۱۰۰/۰	۷۵۰۸/۱	جمع کل		۶۵۰۸۸	۳۹/۷	۱۴۶۸/۹	کم‌خطر	منطقه ۵
۳۰۰۱۷	۸/۲	۳۱/۸	کم‌خطر	منطقه ۸		۶۰/۳	۲۲۲۷/۶	بسیار کم‌خطر	
	۹۱/۸	۳۵۴/۹	بسیار کم‌خطر			۱۰۰/۰	۳۶۹۶/۵	جمع کل	
	۱۰۰/۰	۳۸۶/۸	جمع کل		۲۵۴۸۶	۰/۰۲	۰/۶۸	خطرناک	منطقه ۷
–	۱۴/۶	۱۲۳/۷	کم‌خطر	منطقه ۹		۰/۴۵	۱۳/۲۸	خطر متوسط	
	۸۵/۴	۷۲۳/۱	بسیار کم‌خطر			۱۳/۳۴	۳۹۶/۶۲	کم‌خطر	
	۱۰۰/۰	۸۴۶/۹	جمع کل			۸۶/۱۹	۲۵۶۱/۶۱	بسیار کم‌خطر	
						۱۰۰/۰۰	۲۹۷۲/۱۹	جمع کل	
					۱۹۵۰۷۴	۳/۹	۴۲/۸	بسیار خطرناک	منطقه ۱۰
						۱۲/۰	۱۳۱/۷	خطرناک	
						۹/۷	۱۰۶/۴	خطر متوسط	
						۱۶/۲	۱۷۷/۰	کم‌خطر	
						۵۸/۲	۶۳۷/۳	بسیار کم‌خطر	
						۱۰۰/۰	۱۰۹۵/۳	جمع کل	

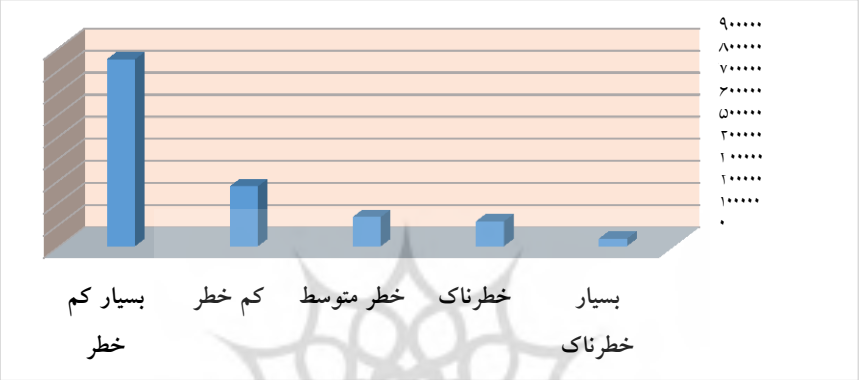
جدول ۳: میزان آسیب‌پذیری شهر تبریز ناشی از زلزله با استفاده از مدل Fuzzy-AHP.

درصد	مساحت به هکتار	مساحت به مترمربع	میزان آسیب‌پذیری مدل Fuzzy-AHP
۰/۳	۷۶/۳	۷۶۲۹۹۸/۵	بسیار خطرناک
۱/۰	۲۶۷/۷	۲۶۷۶۶۲۲/۹	خطرناک
۱/۴	۳۵۳/۴	۳۵۳۳۷۳۰/۴	خطر متوسط
۱۶/۸	۴۳۱۹/۲	۴۳۱۹۱۹۱۶۵/۵	کم‌خطر
۸۰/۴	۲۰۶۴۲/۰	۲۰۶۴۲۰۴۱۷/۰	بسیار کم‌خطر

مقایسه آسیب‌پذیری مناطق مختلف، وضعیت متفاوتی را نمایش می‌دهد. از کل مساحت شهر در مجموع ۲,۷ کل شهر با داشتن ۱۹,۹ درصد کل جمعیت در معرض خطر متوسط به بالا قرار دارند. از این منظر، منطقه ۱۰ با ۵۵,۶ درصد کل جمعیت به عبارتی ۱۰۸۵۹۰ نفر جمعیت با مساحت تقریبی ۲۵,۶درصد کل مساحت منطقه ۱۰ دارای بیشترین میزان آسیب‌پذیری متوسط به بالا قرار دارد. از نظر آسیب‌پذیری جمعیت تعداد ۲۷۹۱۵۷ نفر با ۷۰۷۱۹ خانوار در معرض آسیب‌پذیری متوسط به بالا قرار دارند یعنی حدود ۲۰ درصد کل جمعیت شهر تبریز که در پهنه آسیب‌پذیری متوسط هستند که بالاترین درصد را به خود اختصاص می‌دهند. به‌علاوه ۲,۷ درصد یا به عبارتی ۶۹۷,۴ هکتار از مساحت شهر نیز در شرایط آسیب‌پذیری متوسط به بالا قرار دارد. با در نظرگرفتن درصد پهنه آسیب‌پذیری باید توجه داشت که مناطق در معرض آسیب‌پذیری، دارای تراکم جمعیتی و ساختمانی بالایی هستند. با توجه به روند ساخت‌وسازهای بی‌رویه آپارتمان‌سازی در بخش شرقی شهرک باغمیشه (در منطقه یک) و بافت‌های فرسوده و ناکارآمد منطقه ده می‌توان شرایط ناگوارتری را انتظار داشت.

جدول ۴: آسیب‌پذیری جمعیت شهر تبریز بر اساس مدل Fuzzy-AHP

درصد خانوار	درصد جمعیت	تعداد خانوار	جمعیت	دامنه آسیب‌پذیری
۲/۲	۲/۴	۸۴۲۵	۳۴۱۳۳	بسیار خطرناک
۷/۴	۸/۰	۲۸۱۶۴	۱۱۲۳۱۵	خطرناک
۹/۰	۹/۵	۳۴۱۳۰	۱۳۲۷۰۹	خطر متوسط
۱۹/۲	۱۹/۴	۷۲۷۴۰	۲۷۱۴۷۸	کم‌خطر
۶۲/۱	۶۰/۶	۲۳۵۰۰۱	۸۴۷۴۲۵	بسیار کم‌خطر
۱۰۰	۱۰۰	۳۷۸۴۶۰	۱۳۹۸۰۶۰	جمع کل



شکل ۴: آسیب‌پذیری جمعیت شهر تبریز بر اساس مدل Fuzzy-AHP به نفر

جدول ۵: میزان آسیب‌پذیری مناطق شهر تبریز از زلزله با استفاده از مدل Fuzzy -AHP

مردان	زنان	خانوار	درصد	کل جمعیت	آسیب‌پذیری	منطقه
۷۶۱۱	۷۲۸۶	۳۶۰۱	۷/۵	۱۴۸۹۷	بسیار خطرناک	۱
۶۴۳۷۱	۶۱۵۳۳	۳۴۱۱۶	۶۳/۷	۱۲۵۹۰۴	بسیار کم‌خطر	۱
۷۵۰۱	۷۰۵۸	۳۷۱۸	۷/۴	۱۴۵۵۹	خطر متوسط	۱
۱۰۲۱۰	۹۵۸۷	۴۹۲۲	۱۰/۰	۱۹۷۹۷	خطرناک	۱
۱۱۵۸۰	۱۰۹۵۷	۵۸۸۱	۱۱/۴	۲۲۵۳۷	کم‌خطر	۱
۱۰۱۲۷۳	۹۶۴۲۱	۵۲۲۳۸	۱۰۰/۰	۱۹۷۶۹۴	جمع کل	
۷۲۲۶۵	۶۷۷۸۱	۳۸۹۱۲	۹۴	۱۴۰۰۴۶	بسیار کم‌خطر	۲
۱۱۰	۴۷۳	۵۹	۰	۵۸۳	خطر متوسط	۲
۳۲۷۲	۴۷۶۱	۱۷۷۲	۵	۸۰۳۳	کم‌خطر	۲
۷۵۶۴۷	۷۳۰۱۵	۴۰۷۴۳	۱۰۰	۱۴۸۶۶۲	جمع کل	
۳۲۴	۳۰۹	۱۶۰	۰/۳	۶۳۳	بسیار خطرناک	۳
۶۰۲۳۴	۵۴۰۴۱	۳۲۰۸۶	۴۶/۸	۱۱۴۲۷۵	بسیار کم‌خطر	۳
۱۷۴۵۳	۱۶۷۶۵	۹۰۷۵	۱۴/۰	۳۴۲۱۸	خطر متوسط	۳
۱۱۰۲۱	۱۰۱۸۵	۵۳۹۵	۸/۷	۲۱۲۰۶	خطرناک	۳
۳۷۳۲۱	۳۶۴۱۴	۲۰۶۰۳	۳۰/۲	۷۳۷۳۵	کم‌خطر	۳
۱۲۶۳۵۳	۱۱۷۷۱۴	۶۷۳۱۹	۱۰۰	۲۴۴۰۶۷	جمع کل	
۱۲۶	۱۳۳	۶۱	۰/۱	۲۵۹	بسیار خطرناک	۴
۸۰۳۳۱	۷۵۶۹۸	۴۴۲۹۸	۵۱/۰	۱۵۶۰۲۹	بسیار کم‌خطر	۴

مردان	زنان	خانوار	درصد	کل جمعیت	آسیب‌پذیری	منطقه
۱۹۸۱۸	۱۹۴۲۴	۱۰۲۷۷	۱۲/۸	۲۴۲/۳۹	خطر متوسط	۴
۹۷۳۹	۹۲۶۲	۴۹۵۵	۶/۲	۱۹۰۰۱	خطرناک	۴
۴۵۳۷۸	۴۶۱۰۰	۲۴۳۶۶	۲۹/۹	۹۱۴۷۸	کم‌خطر	۴
۱۵۵۳۹۲	۱۵۰۶۱۷	۸۳۹۲۷	۱۰۰	۳۰۶۰۰۹	**جمع کل**	
۲۶۰۵۱	۲۵۲۴۳	۱۴۳۹۰	۷۸/۸	۵۱۲۹۴	بسیار کم‌خطر	۵
۷۱۱۸	۶۶۷۶	۳۹۴۴	۲۱/۲	۱۳۷۹۴	کم‌خطر	۵
۳۳۱۶۹	۳۱۹۱۹	۱۸۳۳۴	۱۰۰/۰	۶۵۰۸۸	**جمع کل**	
۴۱۳۷۸	۴۱۸۰۳	۲۱۸۳۶	۹۱/۶	۸۳۱۸۱	بسیار کم‌خطر	۶
۴۷۱۵	۲۸۷۱	۲۰۲۲	۸/۴	۷۵۸۶	کم‌خطر	۶
۴۶۰۹۳	۴۴۶۷۴	۲۳۸۵۸	۱۰۰/۰	۹۰۷۶۷	**جمع کل**	
۴۶۶۵۷	۴۲۳۶۷	۲۴۸۵۳	۲۸۱/۲	۸۹۰۲۴	بسیار کم‌خطر	۷
۲۸۲۱	۲۵۸۷	۱۳۶۶	۱۷/۱	۵۴۰۸	خطر متوسط	۷
۳۹۵	۳۶۹	۲۱۵	۲/۴	۷۶۴	خطرناک	۷
۱۳۰۰۰	۱۲۴۸۶	۶۶۵۶	۸۰/۵	۲۵۴۸۶	کم‌خطر	۷
۱۶۲۱۶	۱۵۴۴۲	۸۲۳۷	۱۰۰/۰	۳۱۶۵۸	**جمع کل**	
۱۳۵۸۹	۱۴۵۰۵	۸۵۲۱	۹۳/۶	۲۸۰۹۴	بسیار کم‌خطر	۸
۹۳۶	۹۸۷	۵۷۳	۶/۴	۱۹۲۳	کم‌خطر	۸
۱۴۵۲۵	۱۵۴۹۲	۹۰۹۴	۱۰۰/۰	۳۰۰۱۷	**جمع کل**	
۹۴۴۸	۸۸۹۶	۴۶۰۳	۹/۴	۱۸۳۴۴	بسیار خطرناک	۱۰
۳۰۹۱۹	۲۸۶۵۹	۱۵۹۸۹	۳۰/۵	۵۹۵۷۸	بسیار کم‌خطر	۱۰
۱۹۷۶۰	۱۸۹۳۹	۹۶۳۵	۱۹/۸	۳۸۶۹۹	خطر متوسط	۱۰
۲۶۱۴۱	۲۵۴۰۶	۱۲۶۷۷	۲۶/۴	۵۱۵۴۷	خطرناک	۱۰
۱۳۵۱۴	۱۳۳۹۲	۶۹۵۳	۱۳/۸	۲۶۹۰۶	کم‌خطر	۱۰
۹۹۷۸۲	۹۵۲۹۲	۴۹۸۵۷	۱۰۰/۰	۱۹۵۰۷۴	**جمع کل**	

بحث و نتیجه‌گیری

در ایران تحقیقات اندکی در زمینه آسیب‌پذیری ناشی از زلزله با تأکید بر اصول و معیارهای شهرسازی صورت گرفته است. به جزء معدود طرح‌های‌ریز پهنه‌بندی خطر زلزله که به‌صورت قراردادی با شرح خدمات از پیش تعریف‌شده و سایر منابع به‌صورت گذرا در قالب مقالات بودند. با این وصف بخش عمده‌ای از مساحت کشور، شهرها و سکونتگاه‌ها تحت‌تأثیر مخاطرات طبیعی قرار دارند. از این میان شهر تبریز به‌واسطه گسلی فعال و بزرگ در شرایط بسیار نامناسبی قرار دارد. روند بی‌رویه و بسیار نابهنجار آپارتمان‌سازی در غرب باغمیشه، و رشدیه نیز اوضاع را وخیم‌تر کرده است؛ به‌عبارتی‌دیگر علاوه بر مشوق‌های دولتی بر ساخت‌وسازها حتی در قالب انبوه‌سازی ، عدم نظارت بر ساخت‌وسازهای مبتنی بر اسکان غیررسمی و بافت‌های فرسوده و ناکارآمد شهر، نشان دهنده کمترین اهمیت و توجه به خطر گسل و عواقب ناشی از آن است. به‌علاوه، بررسی نقشه‌های جمعیتی دوره سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۸۵ حاکی از گسترش تراکم‌های انبوه جمعیتی به سمت گسل است. بنابراین یکی از بهترین راهکارهای ممکن حفظ حریم گسل است. از طرفی دیگر، در صورت ساخت‌وساز در حریم گسل سیاست پراکنش افقی و کاهش تراکم به حداقل‌ها، افزایش حدنصاب تفکیکی قطعات، نظارت شدید و بی‌قیدوشرط مهندسی الزامی است. به‌علاوه حمایت‌های دولتی به‌منظور مقاوم‌سازی، ترمیم، مرمت، احیا و نوسازی محلات و مناطق شهری که در پهنه‌های با آسیب‌پذیری بالا ضروری به‌نظرمی‌رسد. درنهایت، اصلاح قوانین و ضوابط شهرسازی و طرح‌های توسعه شهری با رویکرد و محوریت آسیب‌پذیری ناشی از

زلزله در چنین مناطقی می‌تواند در کاهش مخاطرات طبیعی بسیار مفید باشد.

علاوه‌براین، توانایی سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و استفاده از مدل‌های پیشرفته و بعضاً پیچیده ریاضی و آماری و نیز ترکیب آن‌ها با اطلاعات فضایی، چشم‌انداز روشن و نسبتاً دقیقی از شرایط مکانی حاکم را نمایش می‌دهد. در این میان مدل ترکیبی Fuzzy-AHP به‌خوبی و با دقت نسبتاً بالایی، نقشه‌ای از آسیب‌پذیری شهر را ارائه می‌دهد. بیشترین مناطق با خطر بالا از نظر کالبدی دارای شرایط نابسامانی همچون ریزدانگی، فرسودگی کالبدی، تراکم ساختمانی بالا، معضل حاشیه نشینی و همچنین از نظر جمعیتی از پرتراکم ترین مناطق شهر تبریز می باشد که این مبین موفقیت مدل در ارایه شرایط واقعی حاکم بر جامعه شهری تبریز است. بنابراین با توجه به توانمندی این شیوه به نظر می‌رسد بکارگیری روش‌های ترکیبی دیگر همچون فازی-تاپسیس، فازی-شبکه‌های عصبی و ... و مقایسه و راستی آزمایی و صحت‌سنجی هر یک از مدل‌های فوق در جهت حصول به یک مدل کاملا موفق در کنار سایر پیشنهادها ،می‌تواند به عنوان ایده‌ای نسبتا نو ارایه شود. در این پژوهش نیز هر سه مدل (AHP, Fuzzy و Fuzzy-AHP) آزمون شد که به دلیل افزایش حجم مطالب بدان اشاره نشد. لیکن نتایج به دست‌آمده نشان داد که مدل ترکیبی Fuzzy-AHP نسبت به دو مدل مورد نظر از دقت بالاتری دارد. اگرچه خروجی غالب مدل‌های موجود شرایط ایستایی از محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهند که این امر با توجه به پویایی شهر و جمعیت شهری می‌تواند ایرادی اساسی محسوب شود.

منابع

آوازه، آذر و نسرین جعفری (۱۳۸۵)، بررسی توانمندی‌ها و محدودیت‌های بیمارستان‌های آموزشی دانشگاه علوم پزشکی زنجان در مدیریت بحران (برنامه‌ریزی، سازه‌ای و غیرسازه‌ای)، همایش سراسری راهکارهای ارتقاء مدیریت بحران در حوادث و سوانح غیرمترقبه.

احمدی، حسن و شهابی، منیرالسادات (۱۳۸۷)، مشارکت محلی، ضامن بهسازی پایداری بافت‌های فرسوده (بررسی تجربه بهسازی محله سیروس تهران)، اولین همایش بافت‌های فرسوده شهری، چشم‌انداز توسعه پایدار، ارزش‌ها و چالش‌ها.

احمدیان، آراسب (۱۳۸۰)، بررسی تطبیقی مدیریت بحران و پیش‌بینی زمین‌لرزه، پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، سال چهارم، شماره اول. ۴۲-۴۱.

ارجمندنیا، اصغر (۱۳۷۹)، بوم شهر، تبلور پایداری شهری، مدیریت شهری: زمستان ۱۳۷۹, دوره ۱, شماره ۴.

اسدی نظری، مهرنوش (۱۳۸۳)، برنامه‌ریزی و مکان‌یابی اردوگاه‌های اسکان موقت بازماندگان زلزله، نمونه موردی: منطقه ۱ (ناحیه ۶) شهر تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد شهرسازی گروه شهرسازی (برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای)، دانشکده هنر، دانشگاه تربیت مدرس.

اسمیت، کیت (۱۳۸۲)، مخاطرات محیطی، ترجمه: ابراهیم مقیمی و شاپور گودرزی‌نژاد، انتشارات سمت، چاپ اول.

اکبری، آزاده (۱۳۷۸)، رویکردی نو در احیا و بازیابی بافت‌های مسکونی فرسوده، همایش بافت‌های فرسوده شهری، چشم‌انداز توسعه پایدار، ارزش‌ها و چالش‌ها. ۸۳-۸۲.

انزابی، علی (۱۳۸۴)، نگرشی نو به زلزله‌خیزی شمال غرب ایران، کنفرانس بین‌المللی مخاطرات زمین، بلایای طبیعی و راهکارهای مقابله با آن‌ها، دانشگاه تبریز. ۱۷۳.

انصاری، حسین (۱۳۸۲)، پایش و پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از منطق فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی، مطالعه موردی استان خراسان، رساله دکتری آبیاری گرایش آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

ایوبی، شمس‌الله، جلالیان، احمد (۱۳۸۵)، برنامه‌ریزی اراضی (کاربری کشاورزی و منابع طبیعی)، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، چاپ اول.

بحرینی، سید حسین و همکاران (۱۳۷۵)، برنامه‌ریزی کاربری زمین در مناطق زلزله‌خیز نمونه شهرهای منجیل، لوشان، رودبار، انتشارات بنیاد مسکن انقلاب اسلامی، چاپ و نشر لیلی. ۲۳-۱۷.

ترابی، کمال، حبیبی، کیومرث و شیعه، اسماعیل (۱۳۸۹)، بررسی آسیب‌پذیری شبکه ارتباطی شهرها در مقابل زلزله با استفاده از روش IHWP و GIS مطالعه موردی منطقه ۶ شهرداری تهران، باغ نظر، شماره ۱۳، سال هفتم، صفحات ۴۸-۳۵.

تقی‌پور، علی‌کبر (۱۳۸۸)، ارزیابی سازمان فضایی شهر شاهرود با تأکید بر الگوهای کاربری زمین‌های آموزشی،

پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.

خوش‌نمک، زهره (۱۳۸۸)، «گزارش اولین همایش علمی تخصصی فضای سبز، شهرهای گرم خشک»، مجلهٔ شهرداری‌ها، سال ۴، شمارهٔ ۳۸.

داودپور، زهره (۱۳۸۴)، کلان‌شهر تهران و سکونتگاه‌های خودروی، چاپ اول، انتشارات مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری، ۳۵–۵۰.

زارع، مهدی (۱۳۸۰)، خطر زمین‌لرزه و ساخت‌وساز در حریم گسل شمال تبریز و حریم گسلش گسل‌های زمین‌لرزه‌ای ایران، پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، سال چهارم، شماره دوم و سوم، تابستان و پاییز. ۴۸.

شکری فیروزجاه، پری (۱۳۹۶)،تحلیل فضایی میزان تاب آوری مناطق شهر بابل در برابر مخاطرات محیطی، نشریه علمی – پژوهشی برنامه ریزی توسعه کالبدی، سال دوم، شماره ۲ (سری جدید) پیاپی۶، ۲۲ تابستان ۹۶ (۴۴–۲۷).

صادقی، ارژنگ (۱۳۸۴)، بررسی اثرات آسیب‌پذیری پل‌های شهری تبریز در هنگام زلزله، کنفرانس بین‌المللی مخاطرات زمین، بلایای طبیعی و راهکارهای مقابله با آن‌ها، دانشگاه تبریز. ۹۲۴.

عبدی، خالد (۱۳۸۵)، مکان‌یابی و مدل‌سازی پراکنش فضای سبز شهری، پارک در مقیاس محله، مطالعه موردی: منطقه یک شهری سنندج، دانشگاه تبریز، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری. ۷۷–۸۹.

عرب، محمد، زراعتی، حجت، اکبری حقیقی، فیض‌اله و روانگر رامین، میزان آگاهی و عملکرد مدیران اجرایی و آمادگی در مقابل زلزله (بیمارستان‌های دولتی دانشگاه علوم پزشکی تهران)، فصلنامه علمی پژوهشی مدیریت سلامت، شماره ۳۴.

عزیزپور، ملکه (۱۳۷۵)، توان سنجی محیط طبیعی و توسعه فیزیکی شهر، پژوهش موردی الگوی مناسب توسعه شهر تبریز، رساله دوره دکتری جغرافیای انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم انسانی. ۵۹–۵۸.

عشقی چهاربرج، علی، نظم فر، حسین، غفاری، عطا (۱۳۹۶)، ارزیابی تاب‌آوری کالبدی شهر در برابر زلزله‌های احتمالی؛ نمونه موردی: منطقه یک شهرداری تهران، نشریه علمی – پژوهشی برنامه‌ریزی توسعه کالبدی، سال دوم، شماره ۴، سری جدید (پیاپی ۸)، زمستان ۱۳۹۶(۲۶–۱۱).

عنابستانی، علی‌اکبر (۱۳۸۴)، نقش گسل درونه در استقرار سکونتگاه‌های انسانی منطقه کاشمر و پیامدهای آن، کنفرانس بین‌المللی مخاطرات زمین، بلایای طبیعی و راهکارهای مقابله با آن‌ها، دانشگاه تبریز. ۱۰۷۵.

فخیم‌حاجی آقایی، نسیم (۱۳۸۵)، مدیریت بحران زلزله در نواحی شهری در مرحله قبل از وقوع با استفاده از SDSS، مطالعه موردی منطقه ۱۰ شهرداری تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، دانشگاه شهید بهشتی. ۱۸.

قربانی، رسول و باقری، کریم (۱۳۸۴)، تأثیرات طراحی مناسب شهرسازی در کاهش تلفات زلزله با تاکید بر نمونه بم، کنفرانس بین‌المللی مخاطرات زمین، بلایای طبیعی و راهکارهای مقابله با آن‌ها، دانشگاه تبریز. ۱۲۰۵.

قنبری، سیروس و قاضی عسکری نائینی، آرمان (۱۳۸۴)، اصول و شیوه‌های مدیریت مقابله با پیامدهای ناشی از وقوع زلزله با تأکید بر ایران، کنفرانس بین‌المللی مخاطرات زمین، بلایای طبیعی و راهکارهای مقابله با آن‌ها، دانشگاه تبریز. ۱۲۵۹.

کاتبی، هوشنگ (۱۳۸۴)، استفاده از ساختمان‌های چوبی در مناطق زلزله‌خیز، کنفرانس بین‌المللی مخاطرات زمین، بلایای طبیعی و راهکارهای مقابله با آن‌ها، دانشگاه تبریز. ۱۳۰۸.

کیالی، امیر و عقیلی مهدیه (۱۳۸۸)، طراحی شهری دانشگاه طراحی شهر بر مبنای توسعه پایدار (نمونه موردی: شهر مصدر در امارات متحده عربی)، اولین همایش معماری پایدار، کد *COI* مقاله. *NCSUSTAINARCH01_044*.

گلی، علی (۱۳۸۳)، تحلیل فرایند گذار از روستا به شهر و طراحی مدلی برای شناسایی روستاهای در حال گذار ایران، رساله دوره دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس.

مالچوفسکی، یاچک (۱۳۸۵)، سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چند معیاری، ترجمه اکبر پرهیزکار و عطا غفاری گیلانده، انتشارات سمت. ۳۱۵ – ۳۱۴.

محمدزاده، رحمت (۱۳۸۴)، نقش برنامه‌ریزی شهری در کاهش اثرات ناشی از زلزله، کنفرانس بین‌المللی مخاطرات زمین، بلایای طبیعی و راهکارهای مقابله با آن‌ها، دانشگاه تبریز. ۱۴۰۴.

معصوم‌زاده، سیدمحسن، تراب زاده، اقدس (۱۳۸۳)، رتبه‌بندی تولیدات صنعتی کشور، فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی، شماره ۳۰، بهار ۸۳.

ملکی، سعید، امانپور، سعید، صفایی‌پور، مسعود، پورموسوی، سیدنادر، مودت، الیاس (۱۳۹۶)، ارزیابی طیف تاب آوری کالبدی شهرها در برابر زلزله با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی (نمونهٔ موردی شهر ایلام)، نشریه علمی – پژوهشی برنامه ریزی توسعه کالبدی، سال دوم، شماره (۱سری جدید)، پیاپی ۵، بهار ۱۳۹۶.

موسوی، ناصر (۱۳۸۰)، اولویت‌بندی و انتخاب مکان مناسب برای شعب بانک کشاورزی با استفاده از تکنیک تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مدیریت، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران.

مهدوی، داوود، هزاریان، الهام (۱۳۹۶) ارزیابی و تحلیل آسیب‌پذیری کالبدی سکونتگاههای روستایی در برابر زلزله مطالعه موردی: روستاهای شهرستان یزد، نشریه علمی – پژوهشی برنامه‌ریزی توسعه کالبدی، سال دوم، شماره ۴ (سری جدید)، پیاپی ۸، زمستان ۱۳۹۶(۴۵-۲۷).

میرزا گل تبار روشن، علیرضا و جانعلیزاده، عسکر (۱۳۸۴)، مقاوم‌سازی ساختمان‌ها در برابر زلزله، کنفرانس بین‌المللی مخاطرات زمین، بلایای طبیعی و راهکارهای مقابله با آن‌ها، دانشگاه تبریز. ۱۵۴۰.

نوچیان، آرش (۱۳۸۴)، ارائه الگوی مناسب مکان‌یابی پایانه‌های مسافربری برون شهری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته شهرسازی، دانشکده هنر، دانشگاه تربیت مدرس.

Abdalla, Rifaat and Tao, Vincent (2005), Integrated Distributed GIS Approach for Earthquake Disaster Modeling and Visualization, Geo-information for Disaster Management, Library of Congress Control Number: 2005920463, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 1189-1190.

Akhondzadeh, Mehdi & Sadeghian, Saied(1384), Role of Remote Sensing and Geographic Information System (GIS) in Natural Disaster Management, The International Conference On Geohazards, Natural Disasters and Methods of Confronting with Them, September 27-29, 2005, Tabriz-Iran. 1736.

Alegra and others (2011), Application of Density Analysis for Landmine Risk Mapping, 978-1-4244-8350-1/11. IEEE.

Alexander, David, 2002, Principles of Emergency and management, oxford university press.

Batty, Michael (1976), Urban Modelling Algorithms, Calibrations, Predictions, Cambridge University Press. Xxii,4-6

C.Gatrell, Anthony and Löytönen, Markku (2003), GIS and Health, published in the Taylor & Francis e-Library.

Campagna, Michele (2006), GIS for Sustainble Development, Taylor & Francis Group. 15.

Coburn, Andrew and Spence, Robin (2002), Earthquake Protection, Second Edition, John Wiley & Sons, Ltd. 8-263-233

Dubhashi M. Ghrachorlou A. Najaf. Malek Ali.The investigation of the methods of natural disasters & socio-economic systems, The International Conference On Geohazards, Natural Disasters and Methods of Confronting with Them, September 27-29, 2005, Tabriz-Iran. 1193.

Eastman, J. Ronald (2006), IDRISI Andes, Guide to GIS and Image Processing, Published by Clark Labs, Clark University.

Feng Li & Rusong Wang & Juergen Paulussen & et al. "Comprehensive concept planning of urban greening based on ecological principles: a case study in Beijing, china"; J. Land scape and urban planning. 2005, 72. 325-336.

Grossi, Patricia & Kunreuther, Howards (2005), CATASTROPHE MODELING: A NEW APPROACH TO MANAGING RISK, Springer Science and Business Media, Inc. 3-23-26.

Gundogdu, Ismail Bulent (2009),Spatial analyst methods for urban planning, Scientific Research and Essay Vol.4 (12), 1531-1535.

Lin, Yu-Pin and others (2011), Hotspot Analysis of Spatial Environmental Pollutants Using Kernel Density Estimation and Geostatistical Techniques, International Journal of Environmental Research and Public Health, 8, 75-88, 75-76.

Murgante, Beniamino & others (2009), Geocomputation and Urban Planning, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 42.

Özdağoğlu,Güzin & Özdağoğlu, Aşkın (2007), Comparison of AHP And Fuzzy Ahp for The Multicriteria Decision

Making Processes with Linguistic Evaluations, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Yıl: 6 Sayı:11Bahar 2007/1 s. 65-85.

Rachedi, Azzeddine & others (2005), Alsat-1: First Member of the DMC, Geo-information for Disaster Management, Library of Congress Control Number: 2005920463, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 500.

Rosli, Er, A.C. and others(2010),Spatial Mapping of Dengue Incidence: A Case Study in Hulu Langat District, Selangor,Malaysia, International Journal of Human and Social Sciences 5:6. 412.

Smith, Keith and David N. Petley(2008), Environmental Hazards, Assessing Risk and Reducing Disaster,Taylor & Francis e-Library, Fifth Edition.

Zadeh, L.A (1965), Fuzzy Sets, Information and Control, Volume 8, Issue 3, June 1965, 338-353.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی