

پهنه‌بندی تاب‌آوری بافت‌های شهری در برابر زلزله با استفاده از منطق فازی و FAHP (مطالعه موردی: منطقه ۱۲ شهرداری تهران)

حمیده حیدرزاده^۱، جهانبخش بالیست^۲، سعید کریمی^{۳*}، حمیدرضا جعفری^۴

۱ دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی محیط‌زیست، گروه برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران

۲ دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت محیط‌زیست، گروه برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران

۳ استادیار گروه برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران

۴ استاد گروه برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۰۲؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۱۱/۰۴)

چکیده

کشور ایران به دلیل ویژگی‌های خاص زمین‌ساختی با خطر زلزله روبه‌رو است و کمتر نقطه‌ای در آن یافت می‌شود که از آسیب زلزله در امان باشد. رشد بی‌رویه در ابر شهر تهران سبب ایجاد بافت‌های غیرهمگن شده و آن را آسیب‌پذیرتر کرده است. با توجه به احتمال وقوع زلزله در این کلانشهر و ضرورت برنامه‌ریزی، در این پژوهش به پهنه‌بندی تاب‌آوری بافت شهری در مقابل زلزله در منطقه ۱۲ شهرداری تهران بعنوان نمونه پرداخته شد. در بین سوانح طبیعی زلزله می‌تواند دامنه وسیعی از خسارات را داشته باشد. بنابراین، جهت کاهش خسارات، نیاز به بررسی ابعاد مختلف می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از تکنیک FAHP ضریب اهمیت هر یک از معیارها در میزان تاب‌آوری در برابر زلزله مشخص شد. سپس، در محیط GIS نقشه استاندارد وزن‌دار هر یک از معیارها تولید شد که نشان‌دهنده آسیب‌پذیری قسمت‌های مختلف بافت با توجه به آن معیار است. تمام این لایه‌ها ترکیب و نقشه میزان تاب‌آوری بافت با توجه به تمام معیارهای تحقیق مدل‌سازی گردید. نتایج نشان داد که مدل فازی نه تنها برای تعیین تاب‌آوری منطقه ۱۲ شهرداری تهران کاربرد دارد، بلکه با استفاده از این مدل می‌توان میزان تاب‌آوری شهر را در برابر زلزله محاسبه کرد.

کلیدواژه‌ها: زلزله، تاب‌آوری، منطقه ۱۲ شهرداری تهران، FAHP

سرآغاز

شهر San Robles ایالت کالیفرنیا رخ داد که تنها ۲ کشته بر جای گذاشت (UN/ISDR, 2005). به نظر می‌رسد برای مصون‌سازی هر چه بیشتر فضاهای شهری، برنامه‌ریزی ویژه‌ای نیاز است. دانش شهرسازی با تکیه بر داده‌های جغرافیایی می‌تواند با تبیین اصول و مفاهیم خود و با استفاده از این داده‌ها، اثرات این گونه بلایا را تا حد زیادی کاهش دهد و مدیران شهری نیز می‌توانند با استفاده از این داده‌ها، اصول مدیریتی لازم برای کاهش آسیب‌پذیری شهرها در برابر این رویدادها را به اجرا در آورند (حبیبی و همکاران، ۱۳۹۲).

به رغم محبوبیت عام، AHP به دلیل ناتوانی در ترکیب ابهام ذاتی و نبود صراحت مربوط به نگاهت ادراک‌های تصمیم‌گیرندگان با اعداد دقیق، مورد نقد است (Deng, 1999). منطق فازی که در برابر منطق کلاسیک مطرح شد، ابزاری توانمند برای حل مسائل مربوط به سامانه‌های پیچیده‌ای به شمار می‌آید که در آنها مشکل و یا مسائلی وابسته به استدلال، تصمیم‌گیری و استنباط بشری است (کوره‌پزان دزفولی، ۱۳۸۷). پدیده‌های واقعی تنها سیاه یا تنها سفید نیستند، بلکه تا اندازه‌ای خاکستری هستند. پدیده‌های واقعی همواره فازی، مبهم و غیردقیق هستند (آذر و فرجی، ۱۳۸۹). برد توابع عضویت کلاسیک (X, X_A) ، مجموعه دو عضوی صفر و یک بوده در حالی که برد توابع عضویت فازی $(X, \mu_A(X))$ ، بازه بسته صفر و یک است (کوره‌پزان دزفولی، ۱۳۸۷). نظریه مجموعه‌های فازی، یک نظریه ریاضی طراحی شده برای مدل کردن ابهام فرآیندهای وابسته به دانش بشری انسان است (Lin et al., 2007). تصمیم‌گیرنده می‌تواند آزادانه دامنه مقادیر موردنظر را انتخاب کند. قضاوت مردم کارشناس را می‌توان با عدد فازی بیان کرد (Vahidnia et al., 2009). بنابراین، FAHP دامنه‌ای از مقادیر را برای بیان عدم قطعیت تصمیم‌گیرندگان، به کار می‌گیرد (Lee et al., 2008). در این روش برای مقایسه زوجی گزینه‌ها، از اعداد فازی و برای به دست آوردن وزن‌ها و برتری‌ها از روش میانگین هندسی استفاده می‌شود. چرا که این روش به سادگی به حالت فازی قابل تعمیم است و همچنین جواب یگانه‌ای برای ماتریس مقایسات زوجی تعیین می‌کند. در این روش شخص تصمیم‌گیرنده می‌تواند مقایسات زوجی المان‌های هر سطح را در قالب اعداد فازی دوزنقه‌ای بیان کند (عیسوی و همکاران، ۱۳۹۱). منطق فازی در مطالعه فرآیندهای محیطی و از جمله زلزله مورد توجه محققین

امروزه حدود نیمی از جمعیت هفت میلیاردی کره زمین در شهرها ساکن هستند. اکثریت جهان و زمین رفته رفته به شهر تبدیل می‌شود (نوزاد و همکاران، ۱۳۹۳). پیش‌بینی شده است که برای ۳۰ سال آینده، از ۲٫۲ میلیارد جمعیتی که به ساکنان زمین افزوده خواهند شد، ۲٫۱ میلیارد ساکن شهرها خواهند بود و انتظار می‌رود ۲ میلیارد از این جمعیت در شهرهای کشورهای در حال توسعه متولد شوند (USAID, 2001). زلزله از جمله سوانح طبیعی است که بیشتر شهرهای جهان با آن مواجه هستند (Alexander, 2002). زلزله پدیده‌ای است طبیعی که هر از چند گاهی قسمتی از زمین را می‌لرزاند و خرابی‌هایی را به بار می‌آورد (زهرائی و ارشاد، ۱۳۸۴). زلزله به عنوان یک پدیده طبیعی به خودی خود نتیجه نامطلوبی در پی ندارد. آنچه از این پدیده یک فاجعه می‌سازد، عدم پیشگیری از تاثیر آن و عدم آمادگی جهت مقابله با عواقب آن است (موحد و همکاران، ۱۳۹۱). زلزله هر ساله در گوشه و کنار جهان جان هزاران انسان را تهدید و میلیون‌ها دلار خسارت به بار می‌آورد. با به وقوع پیوستن هر زلزله شاهد تخریب بخش بزرگی از بافت شهر و به زیر آوار رفتن هزاران شهروند خواهیم بود (موحد و همکاران، ۱۳۹۱). تقریباً ۵۰ درصد از شهرهای بزرگ جهان در نزدیکی گسل‌های فعال زلزله یا حوضه آبریز سیلاب‌ها قرار دارند. شهرهای کشورهای در حال توسعه در معرض خطر بیشتری هستند. برآورد می‌شود که حدود ۹۵ درصد از کل قربانیان بلایای طبیعی در جهان، از کشورهای در حال توسعه باشند و تلفات ناشی از این گونه رخدادها در این کشورها ۲۰ برابر بیشتر از رخدادهای مشابه در کشورهای توسعه یافته است (Kreimer et al., 2003). ایران به دلیل واقع شدن در کمربند آلپ-همیالیا و قرارگیری روی یکی از کمربندهای لرزه‌خیز دنیا، کشوری زلزله‌خیز است که هر از چند گاه شاهد لحاظ وقوع زلزله است. به طوری که ایران ششمین کشور دنیا از لحاظ وقوع زلزله است و همه‌ساله خسارات مالی و جانی فراوان و جبران‌ناپذیری را متحمل می‌شود (شایان و همکاران، ۱۳۹۲). زلزله‌های اخیر شاخصی از میزان آسیب‌پذیر بودن ایران در مناطق شهری و روستایی است. زلزله‌های بوبین زهرا (۱۳۴۱)، رودبار (۱۳۶۹) و بم (۱۳۸۲) هر کدام بیش از ۱۰ هزار کشته برجای گذاشتند (Ministry of Interior, 2005). در حالی که ۴ روز پس از زلزله بم زلزله‌ای با مقیاس مشابه در

فوریت پزشکی، بیمارستان‌ها، خطوط انتقال نیرو، بزرگراه‌ها و نیز بیشترین هزینه بازسازی ساختمان‌ها، نیاز به سرپناه، حجم آوار و درصد مناطق از بین رفته بر اثر آتش‌سوزی است (Rashed & Weeks, 2003). اسریکانس و همکاران در سال ۲۰۱۰ به ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌های موجود در شهرهای گاندهی داهم و ادیبور هند پرداختند که پهنه‌بندی مناطق آسیب دیده نشان داد دلیل اصلی تلفات در این شهرها کیفیت پایین ساخت و ساز ساختمان‌ها بوده است (Srikanth et al., 2010). ساریس و همکاران در سال ۲۰۱۰ پروژه‌ای تحت عنوان «آسیب‌پذیری زلزله و ارزیابی خطر لرزه‌ای برای مراکز شهری با خطر لرزه‌ای بالا» را انجام دادند (Sarris et al., 2010). راجا و شاجاهان در سال ۲۰۱۱ پروژه‌ای تحت عنوان «تجزیه و تحلیل آسیب‌پذیری زلزله برای مناطق شهری» را انجام دادند (Reja & Shajahan, 2011). با توجه به مطالب بیان شده، این ضرورت به طور جدی احساس می‌شود که با ایجاد یک مدل مناسب و به کارگیری انواع داده‌های مکانی و انجام تحلیل‌های مربوط در سیستم اطلاعات جغرافیایی، بتوان به ارزیابی و تحلیل آسیب‌پذیری در برابر زلزله کمک نموده و به کسب آمادگی‌های لازم در برابر این خطر طبیعی پرداخت. در واقع در این پژوهش با کمک تکنیک AHP فازی و معیارهای مورد استفاده به شناسایی مناطق آسیب‌پذیر شهری خواهیم پرداخت. هدف از این پژوهش پهنه‌بندی تاب‌آوری بافت‌های شهری در مقابل زلزله با استفاده از منطق فازی و AHP فازی به‌عنوان یکی از مدل‌های رتبه‌بندی می‌باشد که بررسی منابع گوناگون نشان داد که تا به حال مطالعات بسیار محدودی در این زمینه صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

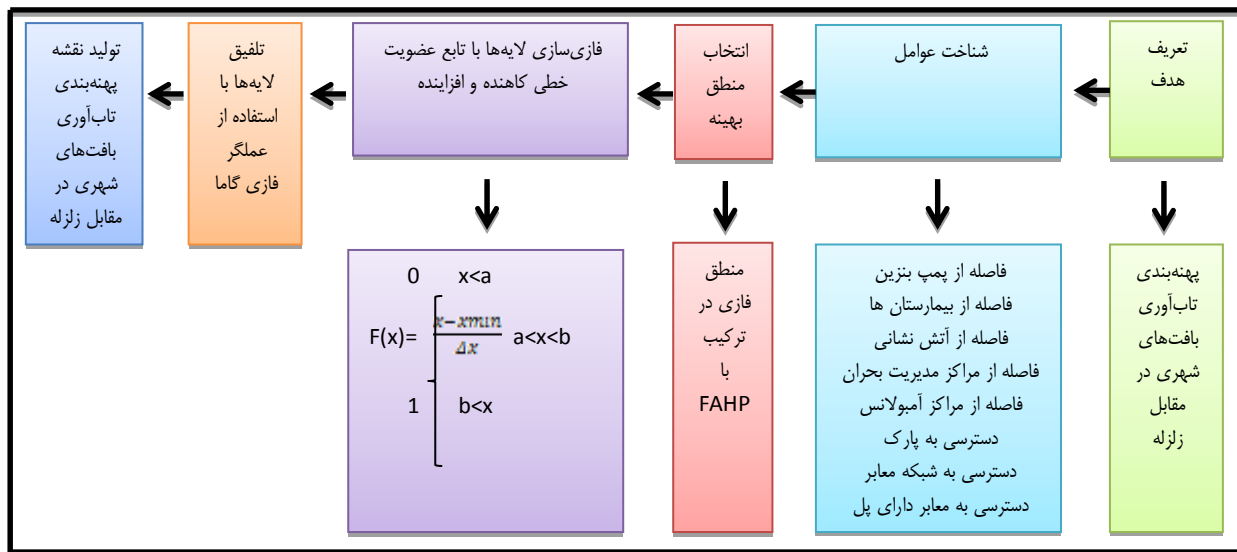
فرآیند کار

در این پژوهش نقشه تاب‌آوری، طی سه مرحله تولید شده است. در مرحله اول معیارهای موثر در تاب‌آوری در مقابل زلزله با استفاده از تکنیک FAHP وزن‌دهی می‌شوند. در مرحله دوم لایه‌ها با استفاده از توابع فازی به لایه‌های فازی تبدیل شده و در مرحله سوم این لایه‌ها با توجه به وزن هر معیار و با استفاده از عملگر گاما با هم ترکیب می‌شوند. شکل (۱) فرآیند تولید نقشه تاب‌آوری بافت شهری در مقابل زلزله با استفاده از منطق فازی و FAHP را نشان می‌دهد.

قرار گرفته است. منطق فازی در اینجا به‌عنوان یکی از روش‌های بهینه، ابزاری توانمند جهت حل مسائل مربوط به سیستم‌های پیچیده که درک آنها مشکل است، به‌شمار می‌آید (کوره‌پزان دزفولی، ۱۳۸۷). در این پژوهش روش AHP فازی به‌عنوان یکی از روش‌های وزن‌دهی به معیارها در بحث‌های مکانیابی معرفی و استفاده می‌شود. این روش یکی از روش‌های پرکاربرد در تصمیم‌گیری می‌باشد. با ترکیب این روش با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) (۱) امر تصمیم‌گیری چند معیاره در سطوح وسیع و با دقت بالا امکان‌پذیر شده است (کشاورز و همکاران، ۱۳۹۳). امروزه استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی در ذخیره‌سازی اطلاعات مکانی و غیر مکانی، مدیریت، ویرایش، قابل نمایش کردن و در نهایت امکان اعمال انواع تحلیل‌های فضایی، ابزار قدرتمندی را در اختیار مدیران و تصمیم‌گیران در کمک به فرایند تصمیم‌گیری قرار داده است. برخلاف روش‌های سنتی که اولاً زمان بر بوده و ثانیاً امکان تحلیل همزمان داده‌ها وجود ندارد، در محیط GIS افزون بر کاهش زمان، امکان داشتن یک نگاه جامع به منطقه و داده‌های مورد استفاده را می‌دهد (عیسوی و همکاران، ۱۳۹۱). سیستم اطلاعات جغرافیایی در این زمینه می‌تواند به‌کار آید و مدلسازی به وسیله ابزاری قوی مانند GIS برای شبیه‌سازی و پهنه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

از جدیدترین پژوهش‌های آسیب‌پذیری شهر ناشی از زلزله می‌توان به پژوهش Antonioni و همکاران در سال ۲۰۰۷ اشاره کرد. در این پژوهش یک روند برای بررسی تأثیرات زلزله بر تأسیسات صنعتی ارائه شده است. نکته شروع در این پژوهش استفاده از اطلاعات زمین‌لرزه‌های پیشین برای برآورد روند زلزله‌های آینده است. به بیان دیگر با فرض ثابت بودن شدت لرزه‌های پیشین تاریخی حوزه مطالعاتی، میزان تاب‌آوری تأسیسات موجود با کیفیت ساخت فعلی را در ارتباط با میزان آسیب‌پذیری پیش‌بینی کرده است. به عبارت دیگر با بررسی تجهیزات موجود و نیز نقشه آسیب‌پذیری میزان آسیب‌های ناشی از زلزله بر روی تجهیزات پیش‌بینی شده است (Antonioni et al., 2007) راشد و ویکس در سال ۲۰۰۳ از GIS در مدلسازی میزان آسیب‌پذیری ناشی از زلزله کمک گرفتند. آنها در مدل خود رویکردی فازی نسبت به جهان پیرامون داشته و با این نگاه مدلی را بر پایه تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای پیش‌بینی میزان خطر تولید کردند. عواملی که آنها در مدل خود به‌عنوان معیار به کار بردند شامل: کمترین عملکرد پل‌ها، سرویس‌های

شکل (۱): فرآیند تولید نقشه تاب‌آوری بافت شهری در مقابل زلزله با استفاده از منطق فازی و FAHP



منطقه مورد مطالعه

زنگی‌آبادی و تبریزی در پژوهشی تحت عنوان «زلزله تهران و ارزیابی فضایی آسیب‌پذیری مناطق شهری» در سال ۱۳۸۵ با توجه به شاخص‌های به دست آمده در سطح مناطق، به این نتیجه رسیدند که منطقه ۱۲ آسیب‌پذیرترین منطقه شهر تهران می‌باشد و بدیهی است که در صورت بروز حادثه با مشکلات بی‌شماری مواجه خواهد گردید (زنگی‌آبادی و تبریزی، ۱۳۸۵). به همین جهت در این پژوهش منطقه ۱۲ به‌عنوان نمونه مورد مطالعه قرار گرفته است.

منطقه ۱۲، بخش اصلی «مرکز تاریخی شهر تهران» را شامل می‌شود و به دلیل استقرار بخش‌های زیادی از خدمات (مقیاس شهری و فراشهری تهران). در منطقه مذکور و نیز اختصاص سطوح وسیعی از اراضی این منطقه به کاربری‌های فرامنطقه‌ای و سطوح بالاتر، منطقه ۱۲ را می‌توان به‌عنوان مرکز ثقل شهر تهران قلمداد کرد (مهندسان مشاور باوند، ۱۳۸۲). هر چند بسیاری از عناصر و فضاهای شاخص و با کیفیت بافت قدیمی در منطقه ۱۲ تهران در گذر زمان از بین رفته است، اما استخوان‌بندی موجود بافت کمابیش با استخوان‌بندی تاریخی بخش مرکزی شهر انطباق دارد (مهندسان مشاور باوند، ۱۳۸۲). بازار بزرگ تهران در حد فاصل چهار خیابان ۱۵ خرداد، مصطفی خمینی، شوش و خیام، مرکز ثقل و ستون فقرات منطقه ۱۲ را تشکیل می‌دهد، و امتدادهای منشعب از آن - به خصوص به سمت جنوب و شمال - با پذیرش فعالیت‌های اصلی،

استخوان‌بندی منطقه را تعیین می‌کنند. محورهای خیام جنوبی و صاحب جمع با پذیرش فعالیت‌های تجاری - تولیدی با مقیاس فرامنطقه‌ای دارای پیوندهای قوی با بازار هستند و بخش جنوبی این استخوان‌بندی را تشکیل می‌دهند و با امتداد از طریق محورهای شهید رجایی و فدائیان اسلام به بزرگراه آزادگان می‌رسند. در بخش شمالی بازار، فعالیت‌های عمده تجاری - اداری منشعب از بازار از طریق خیابان‌های خیام، ناصر خسرو و پامنار به سمت خیابان امیرکبیر و میدان توپخانه تداوم می‌یابند. میدان توپخانه یکی از نقاط عطف تمرکز فعالیت‌های فرامنطقه‌ای است و خیابان‌های سعدی، لاله‌زار، فردوسی و قوام‌السلطنه امتدادهای اصلی و مکان استقرار فعالیت‌های مهم منطقه (از نوع تجاری - تولیدی و اداری - حکومتی) است که به خیابان انقلاب منتهی می‌گردد. بنابراین، می‌توان گفت استخوان‌بندی اصلی منطقه ۱۲، شمالی - جنوبی است و از جنوب به شمال بر حجم فعالیت‌های اداری - تجاری در کنار فعالیت‌های تجاری فرامنطقه‌ای، اضافه شده است (منزوی و همکاران، ۱۳۸۹). در شکل (۲) منطقه ۱۲ شهرداری تهران قابل ملاحظه است.

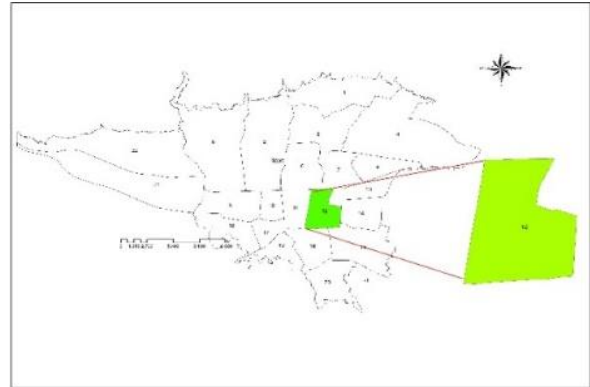
مدل منطق فازی ۲

منطق فازی، در واقع توسعه یافته منطق بولین است. در منطق فازی، میزان عضویت یک عنصر در یک مجموعه، با مقداری در بازه یک (عضویت کامل) تا صفر (عدم عضویت) تعریف می‌شود (ملک و همکاران، ۱۳۹۰).

صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_{\text{Combination}} = (\text{Fuzzy Algebraic Sum})^{\gamma} \times (\text{Fuzzy Algebraic Product})^{1-\gamma}$$

در این رابطه مقدار γ عددی بین صفر و یک می‌باشد. انتخاب صحیح و آگاهانه γ بین صفر و یک، مقادیری را در خروجی به وجود می‌آورد که نشان‌دهنده سازگاری قابل انعطاف میان گرایش‌های کاهشی ضرب فازی و گرایش‌های افزایشی جمع فازی می‌باشد (بهشتی‌فر و همکاران، ۱۳۸۹).



شکل (۲): محدوده مورد مطالعه

توابع عضویت فازی

یک روش برای تعیین اوزان معیارهای موردنظر، استفاده از توابع عضویت فازی در نرم‌افزار Arc GIS 9.3 است. در این روش برای فازی‌سازی معیارها، از توابع عضویت فازی جدول (۱) استفاده می‌شود. استفاده و اعمال هر کدام از این توابع با توجه به دو پارامتر نقطه میانی و پارامتر پخش صورت می‌گیرد. انتخاب تابع برای فازی‌سازی با توجه به ماهیت، اهمیت و رابطه هر کدام از معیارها با هدف انتخاب می‌شود (صفاری و اخدر، ۱۳۹۱).

عملگرهای فازی

انواع عملگرهای فازی عبارتند از: عملگر اشتراک فازی (Fuzzy AND)، عملگر اجتماع فازی (Fuzzy OR)، عملگر ضرب فازی (Fuzzy Algebraic Product)، عملگر جمع فازی (Fuzzy Algebraic Sum) و عملگر فازی گاما (Gamma) (ملک و همکاران، ۱۳۹۰).

عملگر فازی گاما

این عملگر از حاصل ضرب عملگرهای ضرب و جمع فازی به

جدول (۱): توابع عضویت فازی

تابع عضویت را بر اساس توزیع نرمال و یا گوسی بر اساس یک نقطه میانی تعریف می‌کند (عضویت فازی نقطه میانی ۱ است).	Gaussian
این تابع وقتی استفاده می‌شود که مقادیر بزرگ در نقشه، عضویت نزدیک به ۱ داشته باشند. این تابع نیز بر اساس یک نقطه میانی تعریف شده توسط کاربرد تعریف می‌شود (عضویت نقطه میانی ۰/۵ است).	Large
این تابع، عضویت فازی را بر اساس یک حداکثر با عضویت فازی ۱ و یک حداقل با عضویت فازی صفر تعریف می‌کند.	Linear
این تابع عضویت فازی را بر اساس میانه و انحراف معیار تعریف می‌کند. مقادیر بزرگ تر عضویتی نزدیک به ۱ می‌گیرند.	Ms Large
این تابع عضویت فازی را بر اساس میانه و انحراف معیار تعریف می‌کند. مقادیر کوچک تر عضویتی نزدیک به ۱ می‌گیرند.	Ms Small
این تابع، تابع عضویت را بر اساس یک مقدار خاص توسط یک نقطه میانی تعریف شده توسط کاربرد مشخص می‌کند نقطه میانی عضویت یک می‌گیرد.	Near
این تابع وقتی استفاده می‌شود که مقادیر کوچک در نقشه، عضویت نزدیک به ۱ داشته باشند. این تابع نیز بر اساس یک نقطه میانی تعریف شده توسط کاربرد تعریف می‌شود (عضویت نقطه میانی ۰/۵ است).	Small

تصمیم‌گیرنده در مقایسه گزینه‌های مختلف، ناتوان است (مردادزاده فرد و همکاران، ۱۳۹۰). برای رفع مشکلات بالا از FAHP برای تعیین ضرایب معیارها استفاده می‌کنیم. در این مطالعه از FAHP ای استفاده می‌شود که برای اولین بار توسط چانگ معرفی شد.

اگر $X = \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$ به‌عنوان مجموعه داده‌ها $G = \{g_1, g_2, g_3, \dots, g_n\}$ به‌عنوان مجموعه هدف باشد، مطابق

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی ۳ (چانگ)

برنامه‌ریزی سلسله مراتبی (AHP) برای اولین بار توسط ساعتی ارایه شد، یک ابزار تصمیم‌گیری چند معیاره است که کاربرد فراوانی دارد. AHP از زمان ابداع به‌عنوان یک ابزار در دست تصمیم‌گیرندگان و پژوهشگران در تصمیم‌گیری‌های چند معیاره استفاده می‌شود؛ اما AHP سنتی هنوز نمی‌تواند طرز فکر بشر را منعکس نماید. AHP سنتی در بیان ارزش دقیق عقاید

و همچنین $(\sum_{i=1}^n L_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i)$ که معکوس بردار مزبور به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n L_i} \right)$$

گام دوم: هرگاه $M_1 = (I_1, m_1, u_1)$ و $M_2 = (I_2, m_2, u_2)$ عدد فازی مثلثی باشند بطوریکه

$$M_1 \geq M_2 = (I_2, m_2, u_2)$$

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} [\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))]$$

گام سوم: درجه احتمال برای یک نقطه فازی کوژ (محدب) مثل $M_i (i=1, 2, \dots, K)$ ، بزرگتر از نقطه فازی کوژ K به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1), (M \geq M_2), \dots, (M \geq M_k)] = \min V(M \geq M_i), i=1, 2, \dots, u$$

نرمالایز شده در جدول (۳) آورده شده است.

جدول (۲): نام گزینه‌ها و علامت اختصاری آن‌ها

نام گزینه	علامت اختصاری
فاصله از پمپ بنزین	A1
فاصله از بیمارستان	A2
فاصله از آتش نشانی	A3
فاصله از مراکز مدیریت بحران	A4
فاصله از مراکز آمبولانس	A5
دسترسی به پارک	A6
دسترسی به شبکه معابر	A7
دسترسی به معابر دارای پل	A8

بر اساس نتایج جدول (۳) و اوزان نرمالایز به دست آمده، اولویت‌بندی گزینه‌های سطح ۲ نسبت به تعیین بافت‌های آسیب‌پذیر در جدول (۴) آورده شده است: برای به دست آوردن لایه نهایی آسیب‌پذیری منطقه، از نرم‌افزار ArcGIS 9.3 استفاده شد. در حقیقت وزن معیار مورد نظر در ویژگی تک تک قطعات منطقه ضرب و سپس تمامی این لایه‌ها با هم ترکیب شد. روند کار به صورت زیر است:

تولید لایه‌های تاب‌آوری منطقه

با توجه به این که هدف از تحلیل به دست آوردن تاب‌آوری

آنالیز مقدار ارائه شده توسط چانگ، هر داده گرفته شده و سپس آنالیز مقدار بر روی آن انجام می‌پذیرد. بنابراین مقادیر آنالیز برای هر داده مطابق علایم زیر به دست می‌آید (Chang, 1996):
 $M_{gi}^j (j=1, 2, \dots, m)$ که $M_{gi}^1, M_{gi}^2, \dots, M_{gi}^m, i=1, 2, \dots, n$
 تمام اعداد فازی مثلثی است. مراحل آنالیز مقدار چانگ به صورت زیر است:

گام اول: ارزش مقدار ترکیبی فازی نسبت به i امین شی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j [\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1}$$

که $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ به صورت زیر به دست می‌آید:

$$(\sum_{j=1}^m L_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j) = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j$$

هرگاه فرض کنیم: برای $i \neq k$ و $k=1, 2, \dots, n$ باشد $d(A_i) = \min W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T$

جایی که $A_i (i=1, 2, \dots, n)$ و n تعداد اعضا باشد.

گام چهارم: به وسیله نرمال کردن (بی مقیاس کردن)، بردار وزنی نرمال شده به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T$$

که در این صورت W یک عدد غیرفازی است. با تکرار این فرایند، اوزان تمامی ماتریس‌ها به دست می‌آید. با انجام این محاسبات نتایج به ترتیب زیر به دست می‌آید.

نتایج

محاسبه وزن معیارهای تصمیم

برای محاسبه وزن معیارها از مدل FAHP استفاده شد. در این روش با جمع‌آوری نظرات کارشناسی، ارزش و اهمیت معیارها دو به دو نسبت به هم مشخص و ماتریس مقایسه زوجی معیارها تشکیل شد و در نهایت وزن‌های نرمالایز مطابق روند زیر به دست آمد.

مدل سلسله مراتبی فازی با استفاده از روش چانگ

نام گزینه‌ها و علامت اختصاری آن‌ها در جدول (۲) و اوزان

جدول (۳): محاسبه درجه ارجحیت گزینه‌ها نسبت به تعیین بافت‌های آسیب‌پذیر

تعیین بافت‌های آسیب‌پذیر	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	درجه بزرگتری نهایی	اوزان نرمالایز شده
A1	-	۰/۷۹۷	۰/۷۱۱	۱	۰/۸۱۹	۱	۰/۸۱۸	۱	۰/۷۱۱	۰/۱۲۳
A2	۱	-	۰/۹۱۸	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۹۱۸	۰/۱۵۸
A3	۱	۱	-	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۱۷۳
A4	۰/۹۸۴	۰/۷۷۶	۰/۶۹	-	۰/۸	۱	۰/۷۹۸	۱	۰/۶۹	۰/۱۱۹
A5	۱	۰/۹۸۳	۰/۹۰۴	۱	-	۱	۰/۹۹۸	۱	۰/۹۰۴	۰/۱۵۶
A6	۰/۷۳۹	۰/۴۹۲	۰/۴۰۹	۰/۷۵۷	۰/۵۲۶	-	۰/۵۲۷	۱	۰/۴۰۹	۰/۰۷۱
A7	۱	۰/۹۸۶	۰/۹۰۶	۱	۱	۱	-	۱	۰/۹۰۶	۰/۱۵۶
A8	۰/۵۷۸	۰/۳۲۷	۰/۲۵۵	۰/۵۹۶	۰/۳۶۶	۰/۸۴۸	۰/۳۶۹	-	۰/۲۵۵	۰/۰۴۴
مجموع									۵/۷۹۲	۱

جدول (۴): وزن معیارها

اولویت	علامت اختصاری	نام گزینه	اوزان نرمالایز شده
۱	A3	فاصله از آتش نشانی	۰/۱۷۳
۲	A2	فاصله از بیمارستان	۰/۱۵۸
۳	A5	فاصله از مراکز آمبولانس	۰/۱۵۶
۴	A7	دسترسی به شبکه معابر	۰/۱۵۶
۵	A1	فاصله از پمپ بنزین	۰/۱۲۳
۶	A4	فاصله از مراکز مدیریت بحران	۰/۱۱۹
۷	A6	دسترسی به پارک	۰/۰۷۱
۸	A8	دسترسی به معابر دارای پل	۰/۰۴۴

به علت تنگی معابر مشکلات دسترسی به این مراکز تشدید خواهد شد. نقشه فاصله قطعه از بیمارستان‌ها با توجه به این که هر چه فاصله قطعه از بیمارستان کمتر باشد تاب‌آوری قطعه بیشتر است، ساخته شده است.

- تاب‌آوری منطقه با توجه به فاصله از آتش‌نشانی

نقشه فاصله از مراکز آتش‌نشانی با توجه به این که هر چه فاصله قطعه از مراکز آتش‌نشانی کمتر باشد تاب‌آوری قطعه بیشتر است، ساخته شده است.

- تاب‌آوری منطقه با توجه به فاصله از مراکز مدیریت بحران

نقشه فاصله از مراکز مدیریت بحران با توجه به این که هر چه فاصله قطعه از مراکز مدیریت بحران کمتر باشد تاب‌آوری قطعه بیشتر است، ساخته شده است.

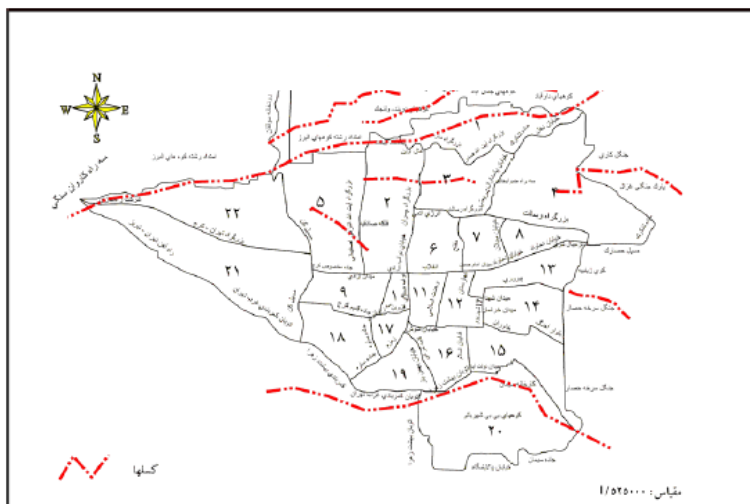
منطقه با توجه به تمام معیارهای مورد نظر است در این مرحله تاب‌آوری منطقه با توجه به هر یک از معیارهای زیر محاسبه می‌شود. البته معیار تاب‌آوری منطقه با توجه به فاصله از گسل نیز معیاری مهم است که به دلیل عدم وجود گسل در منطقه ۱۲، از این معیار صرف‌نظر شد. در شکل (۳) موقعیت تقریبی گسل‌های شهر تهران قابل ملاحظه است:

- تاب‌آوری منطقه با توجه به فاصله از پمپ بنزین

منطقه ۱۲ شامل ۹ پمپ بنزین است که در مجاورت مناطق مسکونی و بدون رعایت حریم‌ها ساخته شده‌اند. نقشه فاصله قطعات از پمپ بنزین‌ها با توجه به این که هر چه فاصله قطعه از پمپ بنزین بیشتر باشد تاب‌آوری قطعه بیشتر است، ساخته شده است.

- تاب‌آوری منطقه با توجه به فاصله از بیمارستان‌ها

تعداد ۱۷ بیمارستان در سطح منطقه پراکنده است اما این پراکندگی به صورت مناسبی رخ نداده است و در هنگام بحران



شکل (۳): موقعیت تقریبی گسل‌های شهر تهران (زنگی‌آبادی و تبریزی، ۱۳۸۵)

ترکیب لایه‌های فازی معیارها

در لایه‌های فازی شده معیارها به هر کدام از پیکسل‌ها (گزینه‌ها) ارزشی بین صفر تا یک [۰،۱] تعلق می‌گیرد که درجه عضویت مقدار خام معیار مربوطه در آن پیکسل است. در هر پیکسل وزن محاسبه شده مربوط به هر معیار در درجه عضویت معیار مورد نظر مربوط به آن پیکسل ضرب می‌شود تا ارزش واقعی هر معیار در هر پیکسل به دست آید.

به‌کارگیری عملگرهای فازی گاما

به منظور ترکیب لایه‌های فازی از عملگرهای فازی مختلفی استفاده می‌شود که عبارتند از: عملگر جمع جبری فازی، عملگر ضرب جبری فازی، عملگر AND، عملگر OR و عملگر گاما. از آنجا که عملگر ضرب جبری فازی عملگری بسیار محافظه کارانه و با حساسیت بالا است و مقادیر تلفیقی عضویت فازی بسیار کوچک و نزدیک به صفر و در بسیاری از پیکسل‌ها ارزش صفر را تولید می‌کند، بنابراین استفاده از آن نتایج را متفاوت با واقعیت نشان داده و از آن استفاده نشد.

عدم استفاده از عملگر جمع نیز حساسیت خیلی کم آن است (کشاورز و همکاران، ۱۳۹۳). در این پژوهش در محیط GIS 9.3 و با استفاده از عملگر گاما که حداقل بین این دو عملگر عمل می‌کند، لایه‌های فازی ضمن تاثیر وزن‌هایشان با یکدیگر ترکیب شده و لایه اطلاعاتی نهایی حاصل شد. پس از این که وزن معیارها مشخص شد، با روی هم‌گذاری این ۸ لایه با عملگر گاما، تاب‌آوری کلی برای منطقه به دست آمد. لایه نهایی

تاب‌آوری منطقه با توجه به فاصله از مراکز آمبولانس

تعداد ۲ مرکز آمبولانس در سطح منطقه پراکنده است اما این پراکندگی به صورت مناسبی رخ نداده است. نقشه فاصله قطعه از مراکز آمبولانس با توجه به این که هر چه فاصله قطعه از مراکز آمبولانس کمتر باشد تاب‌آوری قطعه بیشتر است، ساخته شده است.

تاب‌آوری منطقه با توجه به دسترسی به پارک

کمبود فضای سبز در منطقه ۱۲ به خاطر تراکم شدید کاربری مسکونی، به شدت چشمگیر است. پراکندگی نامناسب فضاهای سبز به نحوی که بیشتر پارک‌ها در جنوب و غرب منطقه واقع شده‌اند و سایر نواحی در شعاع مناسبی از فضاهای سبز قرار ندارند. نقشه دسترسی قطعات پارک‌ها با توجه به این که هر چه فاصله قطعه از پارک کمتر باشد میزان تاب‌آوری قطعه بیشتر است، تولید شده است.

تاب‌آوری منطقه با توجه به دسترسی به شبکه معابر

نقشه شبکه معابر منطقه ۱۲ با توجه به این که هر چه عرض معبری که قطعه در کنار آن قرار دارد بیشتر باشد آسیب‌پذیری قطعه کمتر است، تولید شده است.

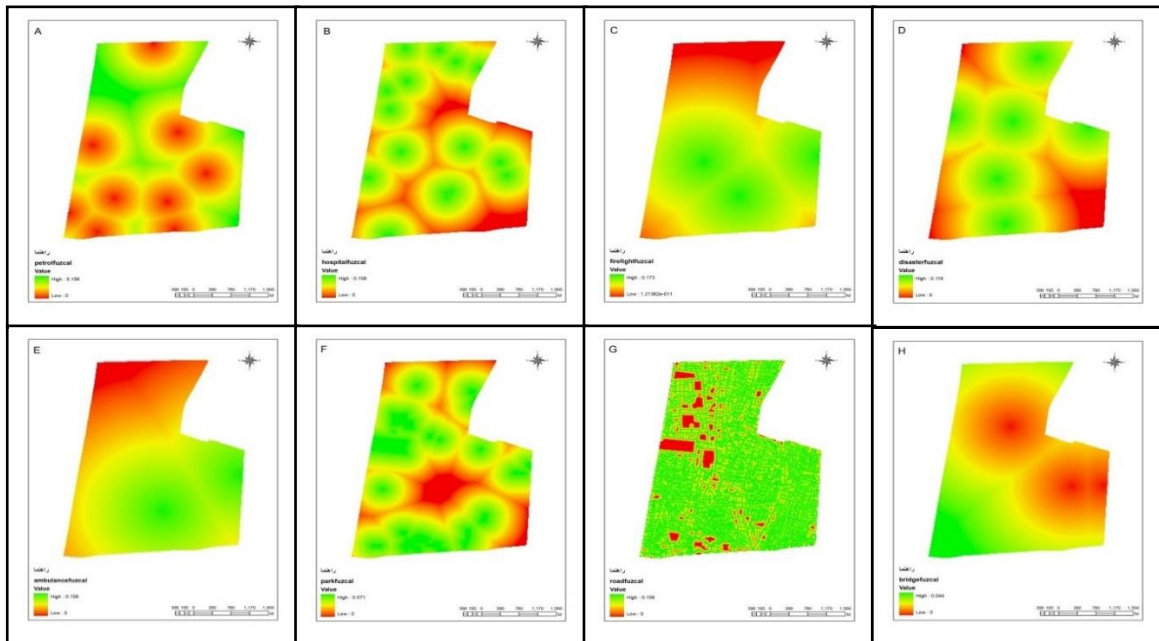
تاب‌آوری منطقه با توجه به دسترسی به معابر

دارای پل

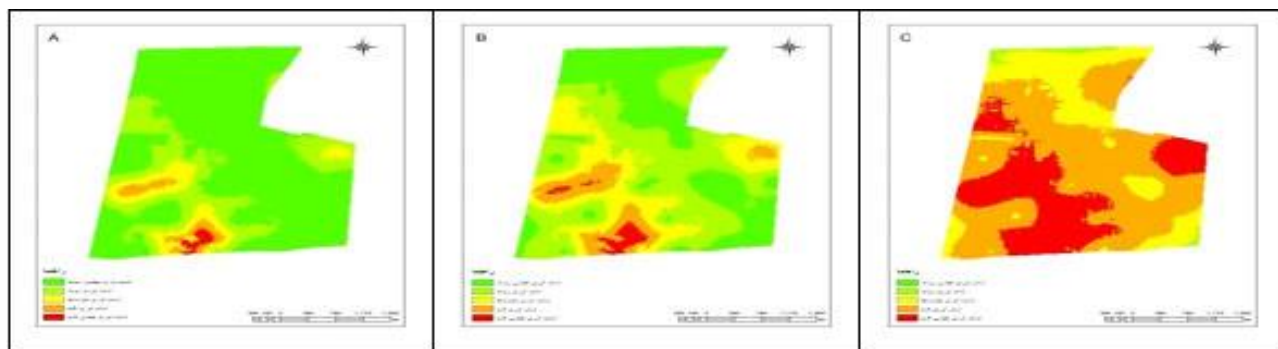
نقشه فاصله از پل‌های منطقه با توجه به این که هر چه فاصله قطعه از پل کمتر باشد تاب‌آوری قطعه بیشتر است، تولید شده است. جدول (۵) و شکل (۴) فازی‌سازی معیارهای موثر در پهنه‌بندی تاب‌آوری بافت شهری در مقابل زلزله را نشان می‌دهد.

جدول (۵): فازی‌سازی عوامل موثر در میزان تاب‌آوری بافت شهری در مقابل زلزله

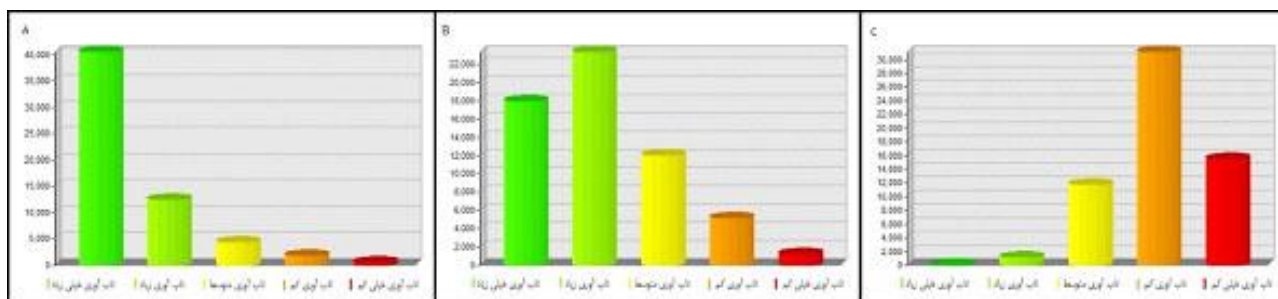
نمودار	Max	Min	تابع فازی مورد استفاده	معیار
	۱۵۷۲/۸۳۸۷۴۵	۰	Increase Linear	فاصله از پمپ بنزین
	۰	۱۳۲۸/۱۳۵۷۴۲	Decrease Linear	فاصله از بیمارستان‌ها
	۰	۳۱۱۸/۲۵۸۳۰۱	Decrease Linear	فاصله از آتش‌نشانی
	۰	۲۰۸۱/۰۶۸۳۵۹	Decrease Linear	فاصله از مراکز مدیریت بحران
	۰	۳۸۱/۶۰۰۸۳	Decrease Linear	فاصله از مراکز آمبولانس
	۰	۱۱۲۰/۵۱	Decrease Linear	دسترسی به پارک
	۰	۱۸۱/۴۷۳۰۰۷۲	Decrease Linear	دسترسی به شبکه معابر
	۳۴۶۲/۷۱۳۶۲۳	۰	Increase Linear	دسترسی به معابر دارای پل



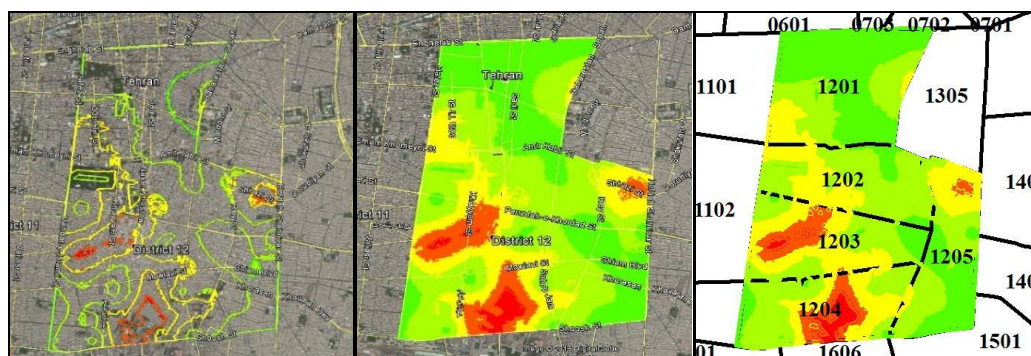
شکل (۴): فازی‌سازی معیارهای موثر در پهنه‌بندی تاب‌آوری بافت شهری در مقابل زلزله (A: نقشه استاندارد وزن‌دار فاصله از پمپ بنزین - B: نقشه استاندارد وزن‌دار فاصله از بیمارستان - C: نقشه استاندارد وزن‌دار فاصله از آتش‌نشانی - D: نقشه استاندارد وزن‌دار فاصله از مراکز مدیریت بحران - E: نقشه استاندارد وزن‌دار فاصله از مراکز آمبولانس - F: نقشه استاندارد وزن‌دار دسترسی به پارک - G: نقشه استاندارد وزن‌دار دسترسی به شبکه معابر - H: نقشه استاندارد وزن‌دار دسترسی به معابر دارای پل)



شکل (۵): پهنه‌بندی تاب‌آوری بافت شهری در مقابل زلزله (A): نقشه نهایی تاب‌آوری با گامای ۰/۱-؛ (B): نقشه نهایی تاب‌آوری با گامای ۰/۵-؛ (C): نقشه نهایی تاب‌آوری با گامای ۰/۹+



شکل (۶): هیستوگرام میزان آسیب‌پذیری بافت شهری در مقابل زلزله (A): هیستوگرام نقشه گامای فازی ۰/۱-؛ (B): هیستوگرام نقشه گامای فازی ۰/۵-؛ (C): هیستوگرام نقشه گامای فازی ۰/۹+



شکل (۷): نقشه تاب‌آوری روی منطقه ۱۲ و نواحی تشکیل دهنده آن

بحث و نتیجه‌گیری

گام اول در برنامه‌ریزی پیش از بحران شناخت مناطق شهری آسیب‌پذیر به وسیله تولید نقشه پهنه‌های تاب‌آوری است. در این پژوهش سعی شد مدلی بر پایه تحلیل فضایی برای بررسی میزان تاب‌آوری در مقابل زلزله با استفاده از توابع تحلیل فضایی GIS ارائه شود تا معیاری برای میزان خطرپذیری ناشی زلزله در شهرها باشد. محدودیت‌هایی در مدل ارائه شده وجود دارد؛ ولی، هدف اصلی این پژوهش ایجاد زمینه‌ای جدید برای مدیران بحران است. نگاه فازی به مسئله آسیب‌پذیری می‌تواند پاسخی

نشان‌دهنده میزان تاب‌آوری منطقه است. شکل (۵) تلفیق لایه‌ها با گامای ۰/۱، ۰/۵ و ۰/۹ و شکل (۶) هیستوگرام مربوط به این نقشه‌ها را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل (۷) دیده می‌شود بیشتر مناطق آسیب‌پذیر در نواحی ۳ و ۴ قرار گرفته‌اند به طوری که کل مساحت آسیب‌پذیرترین طبقه ۰/۲۶۹ کیلومتر مربع است که قسمت اعظم آن در ناحیه ۴ قرار گرفته است و مساحت طبقه با آسیب‌پذیری زیاد ۱/۱۶۵ کیلومتر مربع است که قسمت عمده آن به ترتیب در نواحی ۳، ۴ و ۵ قرار گرفته است.

منطق فازی و FAHP پرداخته شد. نتایج به دست آمده از مدل نشان داد که در بین عملگرهای مورد استفاده نیز عملگر گامای ۰/۵ به این دلیل که عملکردی بینابین عملگرهای SUM و PRODUCT دارد و ارزش هر سلول در آن میانگینی از سلول‌های متناظر در لایه‌های مختلف است، بعنوان عملگر مطلوب انتخاب شد. با توجه به خروجی عملگر گامای ۰,۵ تاب‌آوری در بافت‌های شهری منطقه ۱۲ با توجه به معیارهای مورد بررسی در نقاط مختلف متفاوت است. بدین صورت که ناحیه‌های یک، دو و پنج تاب‌آوری بیشتری نسبت به ناحیه‌های سه و چهار دارند. ناحیه چهار بیشترین آسیب‌پذیری در بین نواحی را داراست و ناحیه سه نیز در رده بعدی قرار می‌گیرد. این مدل را می‌توان در شرایط و موقعیت‌های دیگر نیز بسط داد و جهت تصمیم‌گیری سریع و دقیق مورد استفاده قرار داد و از آن برای کاهش تلفات بهره برد.

یادداشت‌ها

1. Geographic information system
2. Fuzzy Logic Model
3. Fuzzy Analytic Hierarchy Process

به عدم قطعیت‌ها و ابهامات موجود در عوامل و مسائل مربوط به آسیب‌پذیری باشد، استفاده از این منطق کمک می‌کند که تئوری و واقعیت را هرچه بیشتر به هم نزدیک شود. می‌توان با تهیه نقشه‌های تاب‌آوری شهری در برابر بحران‌های طبیعی و مصنوعی، بخش مهمی از تلفات پس از بحران را کاهش داد (حبیبی و همکاران، ۱۳۹۲).

مدل‌های زیادی جهت تحلیل و ارزیابی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله ارائه شده است و تحقیقات مختلفی نیز چه در داخل و چه در خارج کشور صورت گرفته است. در دنیای امروز با توجه به اینکه با عدم قطعیت و اطمینان در زمینه‌های مختلف روبرو هستیم و بسیاری از متغیرهای مربوط به مسائل موجود در دنیای واقعی، متغیرهای کیفی و زبانی هستند، بنابراین، در این گونه مسائل بهتر است از مدل‌های تصمیم‌گیری فازی استفاده گردد، که در پژوهش‌های انجام شده مشاهده نمی‌شود (فرج‌زاده اصل و همکاران، ۱۳۹۰). در این تحقیق با استفاده از ۸ معیار فاصله از پمپ بنزین، فاصله از بیمارستان‌ها، فاصله از آتش‌نشانی، فاصله از مراکز مدیریت بحران، فاصله از مراکز آمبولانس، دسترسی به پارک، دسترسی به شبکه معابر و دسترسی به معابر دارای پل به پهنه‌بندی تاب‌آوری بافت شهری در مقابل زلزله با استفاده از

فهرست منابع

- آذر، ع. و فرجی، ح. ۱۳۸۹. علم مدیریت فازی، انتشارات کتاب مهریان نشر. تهران.
- بهشتی‌فر، س.؛ مسگری، م.؛ ولدان زوج، م. و کریمی، م. ۱۳۸۹. استفاده از منطق فازی در محیط GIS به منظور مکان‌یابی نیروگاه‌های گازی، دوفصلنامه مهندسی عمران و نقشه‌برداری، دوره ۴۴، شماره ۴، ص ۵۸۳-۵۹۵.
- حبیبی، ک.؛ بهزادفر، م.؛ مشکینی، ا. و نظری، س. ۱۳۹۲. تهیه یک مدل پیش‌بینی ناپایداری بافت‌های کهن شهری در برابر زلزله با منطق سلسله مراتبی وارون (IHPW) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، فصلنامه علوم زمین. سال بیست و دوم، شماره ۸۷، ص ۸۳-۹۲.
- زنگی آبادی، ع. و تبریزی، ن. ۱۳۸۵. زلزله تهران و ارزیابی فضایی آسیب‌پذیری مناطق شهری. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۶، ص ۱۱۵-۱۳۰.
- زهرائی، م. و ارشاد، ل. ۱۳۸۴. بررسی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های شهر قزوین، دوم‌هنامه دانشکده فنی، جلد ۳۹، شماره ۳، ص ۲۸۷-۲۹۷.
- شایان، س.؛ زارع، غ. و حق‌پناه، ی. ۱۳۹۲. لرزه‌خیزی ایران و مقاومت‌سازی مدارس، فصلنامه رشد آموزش جغرافیا، دوره بیست و هفتم، شماره ۳، ص ۱۹-۲۵.
- صفاری، ا. و اخدر، ا. ۱۳۹۱. مقایسه مدل نسبت فراوانی و توابع عضویت فازی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی: جاده ارتباطی میروان - سندنجان)، فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره چهارم، ص ۷۹-۹۶.
- عیسوی، و.؛ کریمی، ج.؛ علیمحمدی، ع. و نیک‌نژاد، س. ع. ۱۳۹۱. مقایسه دو روش تصمیم‌گیری AHP و Fuzzy-AHP در مکان‌یابی اولیه سدهای زیرزمینی در منطقه طالقان، علوم زمین، سال بیست و دوم، شماره ۸۵، ص ۲۷-۳۴.
- فرج‌زاده اصل، م.؛ احدنژاد، م. و امینی، ج. ۱۳۹۰. ارزیابی آسیب‌پذیری مسکن شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: منطقه ۹ شهرداری تهران)، فصلنامه مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، سال سوم، شماره نهم، ص ۱۹-۳۶.

- کشاورز، ا؛ خاشعی سیوکی، ع. و نجفی، م. ۱۳۹۳. مکان یابی مناسب استحصال آب شرب با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی (مطالعه موردی: آبخوان بیرجند)، فصلنامه آب و فاضلاب، شماره ۳، ص ۱۳۵-۱۴۲.
- کوره‌پزان دزفولی، ا. ۱۳۸۷. اصول تئوری مجموعه‌های فازی و کاربرد آن در مدل‌سازی مسائل مهندسی آب، انتشارات جهاد دانشگاهی، واحد صنعتی امیر کبیر، تهران.
- مرادزاده فرد، م؛ موسی‌زاده عباسی، ن. و مشعشی، س م. ۱۳۹۰. ارائه مدلی نوین در رتبه‌بندی و ارزیابی مالی شرکت‌ها (مطالعه موردی: صنعت فلزات اساسی بورس اوراق بهادار تهران)، فصلنامه بررسی‌های حسابداری و حسابرسی، شماره ۶۶، ص ۴۱-۵۲.
- ملک، م؛ همتی، ف؛ جاهدی، ن. و فرداد، م. ۱۳۹۰. مکانیابی بهینه استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی شهر زنجان با استفاده از تحلیل شبکه، منطق فازی و GIS. همایش ژئوماتیک ۹۰.
- منزوی، م؛ سلیمانی، م؛ تولایی، س. و چاووشی، ا. ۱۳۸۹. آسیب‌پذیری بافت‌های فرسوده بخش مرکزی شهر تهران در برابر زلزله (مورد: منطقه ۱۲)، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای انسانی، شماره ۷۳، ص ۱-۱۸.
- موحد، ع؛ فیروزی، م. و ایصافی، ا. ۱۳۹۱. بررسی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری در برابر زلزله با استفاده از مدل سلسله مراتبی معکوس (IHWP) در سیستم اطلاعات جغرافیایی: مطالعه موردی شهر مسجد سلیمان. فصلنامه پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، سال سوم، شماره یازدهم، ص ۱۱۵-۱۳۶.
- مهندسین مشاور باوند. ۱۳۸۲. بررسی مسائل توسعه شهری منطقه ۱۲ شهر تهران، جلد ۹.
- نوزاد، ن؛ احمدی، ک. و سلطان‌پناه، ه. ۱۳۹۳. رویکرد آینده‌پژوهانه به وضعیت ساخت و ساز مسکن در کلان شهرهای نوظهور (مطالعه موردی شهرستان ارومیه)، اولین کنگره تخصصی مدیریت شهری و شوراهای شهر، مرکز همایش‌های توسعه ایران.
- Alexander, D. 2002. Principles of Emergency and managements. Oxford university press.
- Antonioni, G.; Gigliola, S. & Valerio, C. 2007. A methodology for the quantitative risk assessment of major accidents triggered by seismic events. Journal of Hazardous Materials, Article in press.
- Chang D. Y. 1996. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. European journal of operational research. 95: 649-655.
- Deng, H. 1999. Multicriteria analysis with fuzzy pairwise comparisons. International Journal of Approximate Reasoning, 21:231-215.
- Kreimer, A.; Arnold, A.; Carlin, A. 2003. Building safer cities, the future of disaster risk, Disaster risk management series. Vol. 3, The Worldbank.
- Lee, A. H. I.; Chen, W. C. & Chang, C. J. 2008. A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan. Expert Systems with Applications. 34: 96-107
- Lin, F.; Ying, H.; MacArthur, R. D.; Cohn, J. A.; Barth-Jones. D. & Crane, L. R. 2007. Decision making in fuzzy discrete event systems. Information Sciences. 177: 3749-3763.
- Ministry of Interior. 2005. National report of the Islamic republic of Iran on disaster reduction. World Conference on Disaster Reduction. Kobe, Hyogo, Japan.
- Rashed, K. & Weeks, J. 2003. Assessing vulnerability to earthquake hazards through spatial multicriteria analysis of urban areas. International Journal of Geographic Information Science. 17(6): 547-576.
- Reja, Y. & Shajahan, A. 2011. Analysing the earthquake vulnerabilities for urban areas: In the context of Chittagong city.
- Sarris, A.; Loupasakis, C.; Soupios, P.; Trigkas, V. & Vallianatos, F. 2010. Earthquake vulnerability and seismic risk assessment of urban areas in high seismic regions: application to Chania City crete island, Greece. Natural hazards. 54(2), 395-412.
- Srikanth, T.; Kumar, R.; Singh, A.; Rastogi, B. & Kumar, S. 2010. Earthquake Vulnerability Assessment of Existing Buildings in Gandhidham and Adipur Cities Kachchh, Gujarat, India.
- UN/ISDR. 2005. Word Conference on Disaster Reduction. 18- 22 January, Kobe, Hyogo, Japan.
- USAID. 2001. Making cities work: USAID's urban strategy. An Initiative launched by the Administrator and prepared by the Urbanization task force.
- Vahidnia, M. H.; Alesheikh, A.; Alimohammadi, A. 2009. Hospital site selection using fuzzy AHP and derivatives. Journal of Enviromental Management. 90: 3048 -3056.