علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره یک، فروردین ماه ۹۹

تحلیل فضایی محدوده‌های ایمن در برابر زلزله با استفاده از تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره و منطق فازی؛ مورد مطالعه منطقه ۲۰ شهر تهران

علی حسینی [۱]

a.hosseini@ut.ac.ir

سید امیر فتاحیان [۲]

جواد ملکان [۳]

تاریخ دریافت:۹۵/۰۸/۱۵ **تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۲/۲۰**

چکیده

زمینه و هدف: شهر تهران به‌واسطه قرار گرفتن چندین گسل فعال در اطراف و درون آن از ریسک بالایی در برابر خطر زلزله برخوردار است. قرارگیری منطقه ۲۰ (شهر ری) تهران در گستره شمال ایران مرکزی این منطقه را به عنوان پرخطرترین منطقه شهر تهران از سایر مناطق شهر متمایز می‌نماید. از طرفی این محدوده دارای بیشترین بافت فرسوده در شهر تهران می‌باشد. هدف از انجام این پژوهش شناسایی محدوده-های ایمن منطقه ۲۰ شهر تهران در هنگام وقوع زلزله است.

روش بررسی: در این تحقیق الگوی پژوهش کاربردی است بنابراین جزء تحقیقات هدف‌گرا می‌باشد. بر اساس ماهیت و روش نیز توصیفی-تحلیلی می‌باشد. برای ارزیابی خطر وقوع زلزله و شناسایی محدوده‌های ایمن از GIS و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند AHP و منطق فازی استفاده شده است. معیارهای به کار رفته شده در این پژوهش بر اساس روش دلفی و از طریق تکنیک گلوله برفی و شرایط منطقه استخراج گردیده است.

۱- استادیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران * (مسوول مکاتبات).

۲- دکتری شهرسازی، دانشگاه عدالت، تهران، ایران

۳- کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

یافته‌ها: یافته‌های پژوهش نشان داد که منطقه ۲۰ شهر تهران به لحاظ ایمنی در برابر زلزله از حد نهایی امتیاز فازی (امتیاز ۱)، به امتیاز ۰/۱۷ تا ۰/۵۸ دست پیدا کرده است و به لحاظ ایمنی در هنگام وقوع زلزله در سطح متوسط به پایین قرار می‌گیرد. هر چند در این حد نهایی امتیاز فازی بعضی از نواحی و مکان‌ها در منطقه ۲۰ نسبت به سایر نواحی و مکان‌ها ایمن‌تر هستند. به‌گونه‌ای که محدوده‌های غربی، جنوب غربی و شمال منطقه ۲۰ به لحاظ مواجه با خطر زلزله وضعیت به نسب بهتری را دارا می‌باشند.

بحث و نتیجه‌گیری: منطقه ۲۰ تهران به دلیل وجود گسل‌های متعدد به‌شدت در خطر زلزله‌خیزی قرار دارد و از سوی دیگر با توجه به وجود مناطق کم‌دوام و بافت فرسوده شهری نیازمند اقدام اساسی برای کاهش خسارات ناشی از زلزله می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: زلزله، محدوده‌های ایمن، تصمیم‌گیری چندمعیار، منطق فازی، تهران.

J. Env. Sci. Tech., Vol 22, No.1, March, 2020

Spatial Analysis of Safe Areas Based of Earthquake Risk Using Multi-Criteria Decision Making and Fuzzy Logic: (The Case Study on District 20 of Tehran)

Ali Hosseini [1*]

a.hosseini@ut.ac.ir

Sayed Amir Fatahiyan [2]

Javad Malakan [3]

Accepted: 2017.05.10 Received: 2016.11.05

Abstract

Background and purpose: Due to vicinity to several active faults, Tehran is treated by earthquake occurrence. The district 20 of Tehran (Rey City), where is situated in north part of central Iran, has been found as the most dangerous district which has the most blighted areas too. Assessment of earthquake risk and recognize safe and secure regions in district 20 of Tehran is this study's purpose.

Methodology: The study is an applied research model. So in this goal oriented research which has been done by descriptive analytic method, GIS and fuzzy logic and multi-criteria decision-making methods were used. The criteria which are been used in this study have been extracted based on the Delphi method and through snowball technique and based on district's situation.

Results: According to results, the district 20, has achieved a scores of 0.17 to 0.58 out of a fuzzy total score (1 score).It shows its moderate level of safety against prop gable earthquake. In contrast with the main parts of district, there are some regions in the western, southwestern and northern parts of mentioned district where are almost safer and more secure .

Discussion and conclusion: Because of various faults and urban blight areas, the district 20 of Tehran is treated seriously by earthquakes. It is really vital to take some actions to implement some essential and fundamental proceedings in order to reduce the probable damages.

Keywords: Safety areas, Earthquake, Multi-criteria decision-making, Fuzzy logic, Tehran**.**

1- Ph.D, Department of Human Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran.
(*Corresponding Author***)**
2- Ph.D, Department of Urbanism, Adalat University, Tehran, Iran.
3- MS, Geography and Urban Planning, Karazami University, Tehran, Iran

مقدمه

یکی از موضوع‌هایی که بیشتر شهرهای جهان با آن دست به گریبانند، سوانح و حوادث غیرمترقبه در سکونتگاه‌های انسانی است (۱). هنگامی‌که این قبیل حوادث غیرمترقبه روی می‌دهند شهرها با خطرهای بیشتری مواجه می‌شوند و بیش از هر محیط دیگری در شهرها خسارات ایجاد می‌شود (۲). با توجه به‌واقع شدن کشور ایران بر روی یکی از دو کمربند زلزله‌خیز جهان، وقوع زلزله در فلات ایران امری طبیعی است (۳). به‌گونه‌ای که طبق گزارش سازمان ملل در سال ۲۰۰۳ میلادی کشور ایران در بین کشورهای جهان رتبه نخست را در تعداد زلزله‌های بالای ۵/۵ ریشتری را داشته است (۴). کشور ایران طی قرون گذشته، ۱۳۰ زلزله به بزرگی ۷/۵ ریشتر یا بیشتر را تجربه کرده است (۵). در ارتباط با تحلیل و ارزیابی خطر وقوع زلزله مطالعاتی در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است. کریمی کردآبادی و نجفی (۱۳۹۴) در مقاله‌ای با عنوان ارزیابی خطر زلزله با استفاده مدل ترکیبی Fuzzy AHP در ایمنی شهری منطقه یک تهران به این نتیجه می‌رسند که بیشتر مساحت و گستره منطقه یک جزء پهنه‌های خطرناک وقوع زلزله محسوب می‌شود، به‌گونه‌ای که مناطق دارای خطر کم و خیلی کم ۲۳ درصد، مناطق دارای خطر زیاد و خیلی زیاد در حدود ۵۰ درصد مساحت منطقه یک را در بر می‌گیرد (۹). موسوی و همکاران مقاله‌ای را با عنوان ارزیابی خطر زمین‌لرزه در حوزه شهری ایذه با استفاده از مدل‌های چند معیاری در سال ۱۳۹۴ انجام دادند. هدف پژوهش آن‌ها بررسی و تحلیل خطر وقوع زلزله در محدوده شهری ایذه با استفاده از مدل‌های چند معیاری است. نتایج پژوهش آنان نشان داد که بر اساس مدل WLC ۱۶/۵۸ و بر اساس مدل AHP ۹۲/۱۰ درصد از محدوده موردمطالعه در طبقه خطر بسیار بالای زمین‌لرزه قرار دارد. ارزیابی این دو مدل، با توجه به مشاهده میدانی و داده‌های به کار گرفته شده، بیانگر این است که مدل WLC دارای کارایی بهتری نسبت به مدل AHP می‌باشد (۱۰). پورمحمدی و کرمی (۱۳۹۳) در مقاله‌ای با عنوان ارزیابی خطر زلزله در بافت‌های حاشیه‌نشین و فرسوده شهری، به بررسی مناطق یک و پنج شهر تبریز با در نظر گرفتن ماهیت زلزله و بررسی آن در ارتباط با چهار عامل تراکم جمعیت، تراکم ساختمانی، کیفیت ابنیه و نوع مصالح پرداخته‌اند. درنهایت رابطه بین میزان آسیب‌پذیری ناشی از زلزله به کمک تکنیک GIS بررسی و مدل‌سازی شده است (۱۱). گیوونیازی[1] (۲۰۰۶) در پژوهشی با استفاده از مدل risk_uk به ارزیابی آسیب‌پذیری منطقه لگوریا در ایتالیا پرداخته و سپس سناریوهای آسیب را انجام داده است. لانتادا[2] و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیقی ضمن مدل‌سازی آسیب‌پذیری شهر بارسلون با استفاده از مدل risk_ue به ارزیابی انسانی و اقتصادی در شهر بارسلون پرداخته‌اند (۱۲).

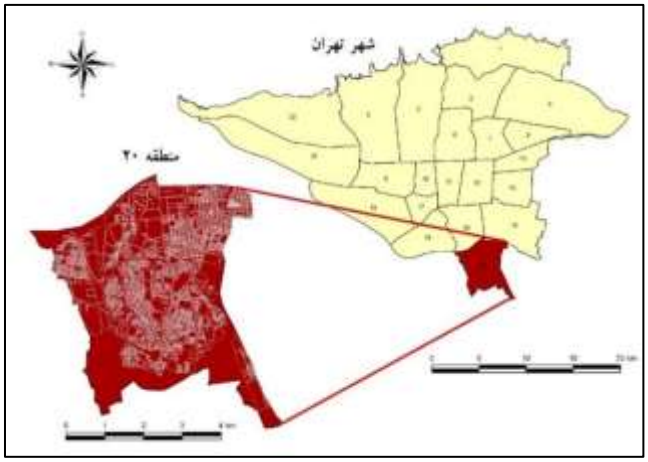
تهران به عنوان یکی از شهرهای مهم ایران به‌واسطه قرار گرفتن چندین گسل فعال در اطراف و درون آن از ریسک بالایی در برابر خطر زلزله برخوردار است (۶). به‌گونه‌ای که به عقیده کارشناسان تنها شهری که ممکن است در اثر زلزله در مقیاس مهندسی، (زلزله متوسط) به‌شدت خراب شود (۷۰ درصد تخریب)، تهران است (۷). قرارگیری منطقه ۲۰ تهران در گستره شمال ایران مرکزی (دشت تهران- ری) به سبب کارکرد چند گسل در این گستره، این منطقه را به‌عنوان پرخطرترین منطقه شهر تهران از سایر مناطق شهر متمایز می‌کند (۸). از سوی دیگر با توجه به اینکه بخش زیادی از پهنه‌های مسکونی منطقه را پلاک‌های ریزدانه، نفوذناپذیر با کاربرد مصالح بی‌دوام و ناپایدار تشکیل می‌دهند در صورت وقوع زلزله خسارات جبران‌ناپذیر انسانی و مالی شدیدی به پیکره منطقه ۲۰ وارد خواهد شد. هدف این تحقیق ارزیابی منطقه ۲۰ به لحاظ خطرپذیری و شناسایی پهنه-های پرخطر در هنگام وقوع زلزله است که به نظر می‌رسد با وجود گسل‌ها و نفوذناپذیری بافت در وضعیت ناامنی قرار دارد. حال بایستی اذعان داشت که آنچه زلزله را به سانحه تبدیل می‌کند

1- Giovinazzi
2- Lantada

عدم آگاهی انسان و ناتوانی در مواجه و برخورد با آن است. بدین لحاظ اولین و اساسی‌ترین کار در این زمینه، ارزیابی خطر وقوع زلزله و شناسایی محدوده‌های ایمن و آسیب‌پذیر می‌باشد که از اهمیت و ضرورت بالایی برخوردار است، تا از این طریق برنامه-ریزان و سیاست‌گذاران شهری بتوانند گامی اساسی در جهت کاهش آسیب‌های ناشی از زلزله بردارند و در برنامه‌های توسعه شهری به این مهم توجه کنند.

معرفی محدوده موردمطالعه

منطقه ۲۰ جنوبی‌ترین منطقه شهر تهران است. سابقه و قدمت شش هزارساله شهر ری و وجود اماکن باارزش تاریخی و مذهبی، ویژگی‌های بسیار بارز و خاص تاریخی- مذهبی بر این منطقه بخشیده است و آن را نسبت به سایر مناطق تهران، مجزا و متفاوت ساخته است. علاوه بر ویژگی‌های فوق جایگاه این منطقه در سازمان فضایی نیز بسیار شاخص است و به عنوان عنصر انسجام بخش فضای شهری تهران به شمار می‌آید (۱۳). این منطقه دارای ۷ ناحیه و جمعیتی بالغبر ۴۵۰۰۰۰ نفر را در خود جای داده است که از این تعداد ۳۶۸۲۶۵ نفر در محدوده شهری و مابقی ساکن حریم می‌باشند. منطقه ۲۰ در گستره فرونشست شمال ایران مرکزی جای دارد. گستره فرونشست شمال ایران مرکزی به سبب کارکرد چند گسله شامل ۴ بخش فیزیوگرافی دشت تهران، فرونشست ری، فرونشست جنوب ری و فرونشست کهریزک است (۱۴). بیشترین درازای گسل جنوب ری و بخش عمده‌ای از گسل شمال ری در محدوده منطقه ۲۰ قرار دارد و فعال شدن این گسل‌ها امکان‌پذیر می‌باشد. گسل ری در صورت فعالیت پر تلفات‌ترین گسل کشور و شاید جهان می‌باشد که از جاده خاوران شروع و با گذر از دولت‌آباد و حرکت روی جاده کمربندی تهران در حدنصاب کوره‌های آجرپزی چهاردانگه پایان می‌یابد (۱۵). با عنایت به مطالعه صورت گرفته از سوی آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن (جایکا) ، احتمال فعال شدن سه گسل در تهران تشخیص داده شده که یکی از آن‌ها گسل «جنوب ری» می‌باشد. از طرف دیگر درصد زیادی از کاربری‌های محدوده موردمطالعه جزء بافت فرسوده و ناهنجار می‌باشد که آسیب‌پذیری منطقه را در صورت وقوع زلزله افزایش خواهد داد به‌گونه‌ای که در بررسی‌های صورت گرفته منطقه ۲۰ در مقایسه با سایر مناطق تهران در هنگام وقوع زلزله آسیب‌پذیرتر می‌باشد (۱۳). در شکل ۱ موقعیت منطقه ۲۰ در شهر تهران نشان داده شده است.



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه ۲۰ در شهر تهران

Fig. 1- Position of district 20 in Tehran

روش تحقیق

در این تحقیق الگوی پژوهش کاربردی است بنابراین جزء تحقیقات هدف‌گرا است. بر اساس ماهیت و روش نیز توصیفی-تحلیلی می‌باشد. جهت تحلیل و ارزیابی خطر وقوع زلزله ابتدا معیارها و زیر معیارهای تعیین محدوده‌های ایمن در هنگام وقوع زلزله بر اساس روش دلفی، مبانی نظری، مصاحبه با کارشناسان امر و منابع و اطلاعات کتابخانه‌ای شناسایی شد و با استفاده از مدل AHP و ترکیب منطق فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی محدوده‌های ایمن مشخص شد. جهت اولویت‌بندی هر معیار نسبت به سایر معیارها از روش دلفی بهره گرفته شد. این روش در تحقیقات مربوط به سیستم‌های اطلاعاتی، رایج بوده و عمدتاً با هدف کشف ایده‌های خلاقانه و قابل‌اطمینان و یا تهیه اطلاعاتی مناسب به‌منظور تصمیم‌گیری است. روش دلفی فرایندی ساختاریافته برای جمع‌آوری و طبقه‌بندی دانش موجود در نزد گروهی از کارشناسان و خبرگان است که از طریق توزیع پرسشنامه‌هایی در بین این افراد و بازخورد کنترل‌شده پاسخ‌ها و نظرات دریافتی صورت می‌گیرد (۱۶، ۱۷ و ۱۸). یکی از موارد استفاده از روش دلفی برای اولویت‌بندی و وزن‌دهی است که هدف از آن دستیابی به توافق گروهی درباره اهمیت نسبی معیارهاست (۱۹، ۲۰). ابتدا ما خبرگان را به دو گروه تقسیم کردیم؛ که شامل: الف. در این قسمت از تکنیک گلولهٔ برفی برای تعیین حجم نمونه استفاده شد. با توجه به موضوع تحقیق، از افراد باتجربه و آشنا به موضوع تحقیق، چه به لحاظ حرفه‌ای و چه به لحاظ نظری، در شهرداری تهران منطقه ۲۰ درخواست شد تا در این پژوهش شرکت کنند. این گروه شامل ۱۸ نفر از کارشناسان متخصص بود. جامعه آماری گروه ب: متخصصان و صاحب‌نظران دانشگاهی؛ در انتخاب این گروه نیز که ۱۲ نفر را شامل می‌شد از تکنیک گلوله برفی استفاده شد. فرایند اجرای پرسشنامهٔ دلفی برای جمع‌آوری و تجزیه‌وتحلیل اطلاعات در سه فاز توفان فکری، تحدید و وزن-دهی اجرا شد. استفاده از ترکیب منطق فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی به روش زیر صورت گرفته است: در ابتدا برای هر کدام از معیارها بر اساس زیر معیارها یک لایه اطلاعاتی در سیستم اطلاعات جغرافیایی تعریف می‌شود و پردازش اولیه (ویرایش لایه‌ها و جداول توصیفی، تغییر سیستم تصویر و مختصات جغرافیایی و غیره) انجام می‌شود، سپس در سیستم اطلاعات جغرافیایی لایه‌ها فازی، و در آخر، لایه‌های فازی به‌دست‌آمده از هر کدام از معیارها در وزن به‌دست‌آمده از طریق فرآیند سلسله مراتبی AHP ضرب می‌شود و درنهایت تمام لایه‌ها با همدیگر جمع می‌شود. لایه نهایی به‌دست‌آمده از این فرآیند محدوده‌های ایمن و آسیب‌پذیر منطقه ۲۰ شهر تهران در هنگام وقوع زلزله را به‌خوبی نشان می‌دهد. در این روش از نظر کارشناسان برای وزن دهی به معیارها و زیر معیارها استفاده می‌شود. در ارتباط با به‌کارگیری منطق فازی باید اشاره کرد در تحلیل تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره و تئوری فازی معمول‌ترین روش برای بررسی عدم قطعیت‌ها شناخته‌شده است.

یافته‌های تحقیق

در مرحله اول که انتخاب معیارها می‌باشد بر اساس مبانی نظری و بر اساس شناخت از محدوده موردمطالعه و گروه دلفی به شناسایی و انتخاب معیارها و مشخص نمودن زیر معیارها پرداخته شده است. مثال بارز در این زمینه این‌که برای تحلیل و ارزیابی خطر وقوع زلزله و شناسایی محدوده‌های ایمن در منطقه ۲۰ شهر تهران، عامل یا معیار شیب بدون تأثیر می‌باشد حال‌آنکه همین عامل در منطقه یک شهر تهران مؤثر و دارای اهمیت می‌باشد. معیارهای استفاده شده شامل فاصله از گسل، نفوذپذیری بر اساس عرض معابر، تراکم جمعیت شهری، فاصله از محدوده‌های فرسوده شهری، فاصله از مراکز خدماتی (مانند بیمارستان و درمانگاه، آتش‌نشانی) و فاصله از فضاهای باز (فضای سبز و پارک) می‌باشد. در مرحله دوم که وزن دهی به معیارها می‌باشد، با توجه به تنوع

شاخص‌ها به لحاظ کیفیت، کمیت، گسستگی و پیوستگی ابتدا باید شاخص‌ها را وزن دهی و به مقیاس رتبه‌ای نسبتاً یکسانی طبقه‌بندی نمود تا امکان دست‌یابی به اهداف فراهم شود. برای امتیازدهی شاخص‌ها نسبت به همدیگر باید آن‌ها را از طریق مقایسه زوجی امتیازدهی نمود. ال‌ساعتی برای مقایسه زوجی عناصر هر سطح این رویه را به پیشنهاد می‌کند: در مقایسه زوجی عناصر، اگر عنصر i ام را با عنصر j ام مقایسه کردیم، یکی از حالات زیر می‌تواند میزان اهمیت (ارجحیت) عنصر i را به عنصر j تعیین کند. بر این اساس امتیاز مقایسه زوجی معیارها (شاخص-ها) در جدول ال‌ساعتی بین حداقل ۱ و حداکثر ۹ تعیین شده است که در جدول ۱ مشخص شده است (۲۱).

جدول ۱- مقیاس اساسی تعیین ارجحیت (اهمیت) شاخص‌ها

Table 1- The fundamental scale of absolute numbers

امتیاز(شدت اهمیت)	تعریف
۹	کاملا مرجح یا کاملا مهم تر یا کاملا مطلوب تر
۷	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
۵	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	کمی مرجح یا کمی مهم تر یا کمی مطلوب تر
۱	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۲، ۴، ۶ و ۸	ترجیحات بین فواصل

ماخذ: (۲۲)

پس از مشخص نمودن روش و نحوه امتیازدهی در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی باید سنجه‌ها در یک ماتریس قرار گیرد و از این طریق ارجحیت شاخص‌ها به لحاظ وزنی نسبت به یکدیگر (۶ معیار) با تشکیل جدول ماتریسی در نرم‌افزار Expert Choice و به‌طور خودکار محاسبه می‌شود (۲۳). پس از محاسبه وزن معیارها و زیرمعیارها، میزان سازگاری (CR) به مقدار ۰,۳ به‌دست‌آمده است. چنانچه این نسبت کمتر از ۰/۱ باشد، مقایسه-های زوجی را پذیرفته و وزن‌ها استخراج می‌شوند (جدول ۲).

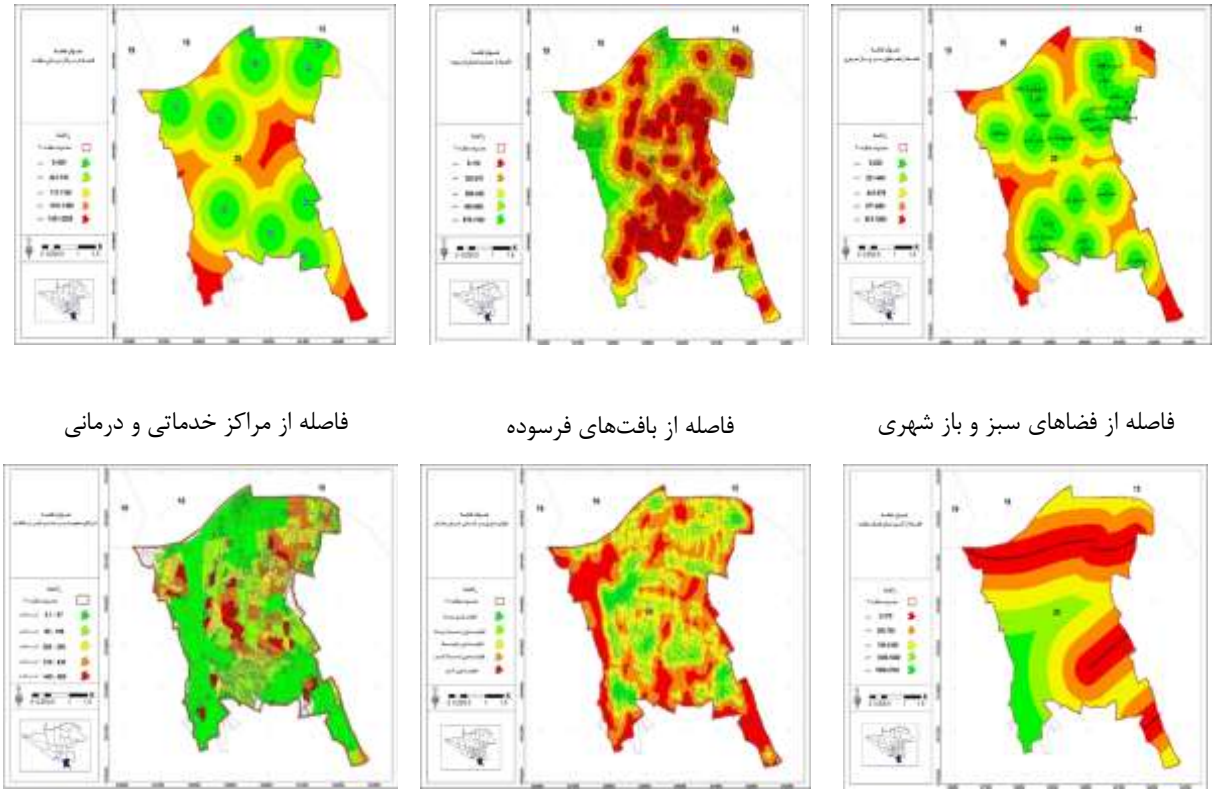
جدول ۲- وزن زیر معیارها و وزن نهایی معیارها

Table 2- Sub-criteria weight and final weight criteria

ردیف	معیار	زیر معیار	وزن زیر معیار	وزن نهایی معیار
۱	فاصله از گسل‌های اصلی و فرعی منطقه ۲۰ شهر تهران	کمتر از ۲۰۰ متر	۰/۰۲۴	۰/۲۶۳
		۲۰۰ تا ۵۰۰ متر	۰/۰۲۹	
		۵۰۰ تا ۱۰۰ متر	۰/۰۴۵	
		بیشتر از ۱ کیلومتر	۰/۱۶۵	
۲	نفوذپذیری بر اساس عرض معابر	عرض کمتر از ۴ متر	۰/۰۱۳	۰/۲۰۸
		عرض ۴ تا ۶ متر	۰/۰۸۶	
		بیشتر از ۶ متر	۰/۱۰۹	
۳	تراکم جمعیت	کمتر از ۱۵۰ نفر در هکتاری	۰/۰۴۶	۰/۱۲۸
		۱۵۰ تا ۲۵۰ نفر در هکتار	۰/۰۳۹	
		۲۵۰ تا ۳۵۰ نفر در هکتار	۰/۰۲۷	
		بیشتر از ۳۵۰ نفر در هکتار	۰/۰۱۶	
۴	فاصله از محدوده‌های فرسوده شهری	۰ تا ۱۰۰ متر	۰/۰۱۰	۰/۱۳۰
		۱۰۰ تا ۲۰۰ متر	۰/۰۳۶	
		بیشتر از ۲۰۰ متر	۰/۰۸۴	
۵	فاصله از مراکز خدماتی (مانند بیمارستان و درمانگاه، آتش‌نشانی)	کمتر از ۵۰۰ متر	۰/۰۸۲	۰/۱۶۹
		۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر	۰/۰۶۴	
		۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متر	۰/۰۱۸	
		بیشتر از ۱۵۰۰ متر	۰/۰۰۵	
۶	فاصله از فضاهای باز شهری (فضای سبز و پارک)	کمتر از ۱۰۰ متر	۰/۰۵۸	۰/۱۰۲
		۱۰۰ تا ۵۰۰ متر	۰/۰۳۶	
		بیشتر از ۵۰۰ متر	۰/۰۰۸	

همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود معیار فاصله از گسل‌ها بیشترین وزن (۰/۲۶۳) و فاصله از فضاهای باز شهری (۰/۱۰۲) کمترین وزن را به خود اختصاص داده است.

در مرحله سوم که ساخت لایه‌های اطلاعاتی برای معیارها در محیط Arc GIS می‌باشد در ابتدا داده‌های مربوط به هر معیار در محیط Arc GIS وارد شده و پردازش اولیه (ویرایش لایه‌ها و جداول توصیفی، تغییر سیستم تصویر و مختصات جغرافیایی و غیره) بر روی آن‌ها انجام شده است تا برای مرحله بعدی، یعنی استانداردسازی یا فازی‌سازی لایه‌ها آماده شوند. در این مرحله از فرآیند تحقیق، برای اعمال وزن بر روی لایه‌ها و ترکیب لایه‌ها با یکدیگر، باید آن‌ها را به فرمت رستر (Raster) تبدیل نمود. در شکل ۲ نقشه لایه‌های تهیه شده نشان داده شده است.



شکل ۲- تحلیلی فضایی معیارهای تحقیق

Fig. 2- Spatial analysis of research criteria

در مرحله چهارم که بهینه‌سازی یا استانداردسازی لایه‌های اطلاعاتی می‌باشد، باید از طریق مدل منطق فازی و در محیط نرم‌افزار Arc GIS لایه‌های اطلاعاتی فازی شوند. برای این کار ابتدا بر اساس استانداردهای موجود، هرکدام از معیارهای این تحقیق بین صفر تا یک قرار داده شدند. جدول ۳ اندازه استاندارد هریک از معیارها را نشان می‌دهد. در هر نقشه فاکتور فازی، ارزش هر یک از کلاس‌ها و واحدهای مکانی موجود با درجات عضویت فازی بین صفر تا یک نشان داده می‌شود. به‌منظور تهیه نقشه فاکتور فازی در این تحقیق با تعریف توابع خطی و با توجه به اثر مثبت و یا منفی هر پارامتر و در نظر گرفتن معیارها و ضوابط ارائه شده، دستوراتی در نرم‌افزار GIS و با استفاده از ابزار Raster calculator نوشته و اجرا شده است. درنهایت خروجی حاصل از هر مرحله، لایه رستری است که برای هر لایه اطلاعاتی بر اساس طبقه‌بندی و ضوابط تعریف شده، ارزش‌هایی بین صفر و یک در نظر گرفته شده است.

جدول ۳- اندازه استاندارد برای فازی سازی معیارها و نوع تابع فازی

Table 3- The standard size for fuzzy making of criteria and fuzzy type of function

ردیف	معیار	اندازه استاندارد برای فازی‌سازی معیارها	نوع تابع
۱	فاصله از گسل	هر چه فاصله از گسل بیشتر باشد ایمنی بیشتر است	خطی افزاینده
۲	نفوذپذیری	هرچه عرض معبر بیشتر باشد نفوذپذیری بیشتر و درنتیجه ایمنی بیشتر است	خطی افزاینده
۳	تراکم جمعیت	هرچه تراکم جمعیت کم‌تر باشد میزان خسارات جانی کمتر و ایمنی بیشتر است	خطی کاهنده
۴	بافت فرسوده	هرچه فاصله از بافت فرسوده بیشتر باشد ایمنی بیشتر است	خطی افزاینده
۵	مراکز خدماتی و درمانی	هر چه فاصله و دسترسی به مراکز درمانی کمتر باشد، ایمنی بیشتر است	خطی کاهنده
۶	فاصله از فضاهای سبز و باز شهری	هر چه فاصله به فضاهای سبز و باز شهری کمتر باشد، ایمنی نیز بیشتر است	خطی کاهنده

الف: فازی سازی لایه فاصله از گسل:

لایه فاصله از گسل‌ها در سطح منطقه ۲۰ شهر تهران بر مبنای فاصله (Distance)از منطقه و عوارض، ابتدا رستری شده است و سپس بر مبنای ضوابط و معیارهای موجود در جدول ۲ و تابع خطی فازی شد و وزن بین صفر و یک برای آن تعیین شده است. نقشه فازی شده این لایه که در شکل ۳ نشان داده شده است بیانگر آن است که هر چقدر فاصله از گسل‌ها بیشتر باشد، مکان مورد نظر از امنیت بیشتری در هنگام وقوع زلزله برخوردار است. تابعی که از آن برای فازی کردن لایه فاصله از گسل‌ها استفاده شده است به‌صورت خطی افزایشی می‌باشد. تحلیل فازی‌سازی این لایه در شکل ۳ بیانگر آن است که محدوده‌های مرکزی، غربی و جنوب غربی منطقه به دلیل فاصله از گسل‌های سطح منطقه از وضعیت ایمن‌تری در هنگام وقوع زلزله برخوردار می‌باشد. این لایه بر اساس روش زیر فازی شده است.

Spatial Analyts>Overlay> Fuzzy Membership

ب: فازی‌سازی لایه نفوذپذیری (بر اساس عرض معابر):

برای فازی‌سازی لایه نفوذپذیری، ابتدا لایه آن در محیط نرم‌افزار Arc GIS با استفاده از ابزار Spatial Analyst و Density kernel و بر اساس عرض موجود معابر آن به لایه رستری تبدیل شد و بر مبنای ضوابط و معیارهای موجود در جدول ۲ و همچنین با استفاده از تابع خطی افزایشی (liner) فازی‌سازی شد. بر اساس شکل ۳ هر چه مقدار فازی به عدد یک نزدیک باشد، مکان موردنظر در هنگام وقوع زلزله امن‌تر خواهد بود. بر این اساس هر چه عرض معابر بیشتر باشد نفوذپذیری بیشتر می‌شود و به دنبال آن هر چه نفوذپذیری بیشتر باشد امنیت منطقه در هنگام وقوع زلزله بیشتر می‌شود. تحلیل فازی‌سازی لایه نفوذپذیری بیانگر آن است که وضعیت نفوذپذیری در سطح منطقه به‌صورت پراکنده می‌باشد به عبارتی در قسمت‌هایی از منطقه که نوسازی صورت پذیرفته وضعیت نفوذپذیری جهت اقدامات امدادرسانی بعد از زلزله بهتر می‌باشد

پ: فازی‌سازی لایه تراکم جمعیت شهری (برحسب نفر در هکتار):

بر اساس جدول ۲ محدوده‌های که تراکم جمعیتی کمتری دارند باید امتیاز بیشتری به خود اختصاص دهند و محدوده‌هایی که دارای تراکم جمعیتی بیشتری هستند امتیاز فازی کمتری به خود اختصاص می‌دهند. بر اساس شکل ۳ هر چه تراکم جمعیت بالاتر باشد میزان امنیت در برابر زلزله پایین‌تر خواهد شد و برعکس هر چه تراکم جمعیت پایین‌تر باشد امنیت در برابر زلزله بیشتر خواهد شد. تحلیل فازی‌سازی لایه تراکم جمعیت بیانگر آن است که محدوده‌های مرکزی منطقه ۲۰ دارای تراکم جمعیتی بالاتری نسبت به سایر نواحی منطقه و در نتیجه از امنیت پایین‌تری در هنگام وقوع زلزله برخوردار می‌باشند. این لایه بر اساس روش زیر فازی شده است.

Spatial Analyts>Overlay> Fuzzy Membership

ج: فازی‌سازی لایه فاصله از بافت فرسوده:

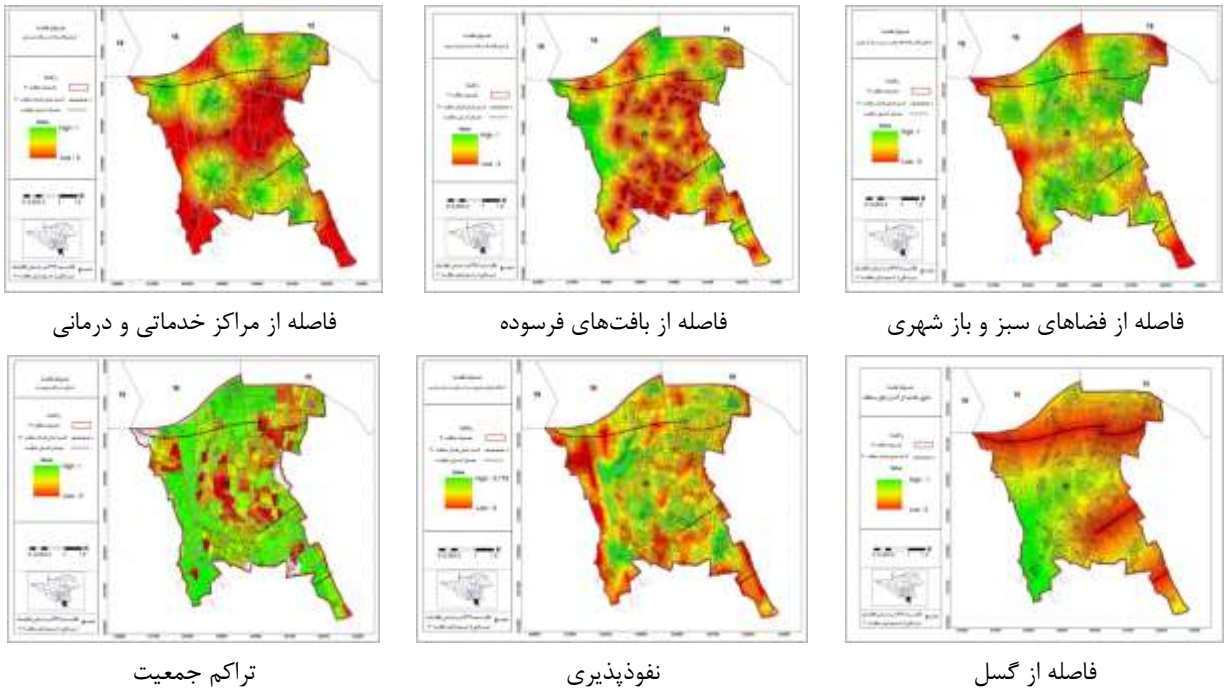
بر اساس ضوابط هرچه فاصله از محدوده‌های فرسوده بیشتر باشد، ایمنی در هنگام وقوع زلزله بیشتر خواهد بود. فازی‌سازی لایه فاصله از بافت فرسوده با استفاده از تابع خطی افزایشی مستقیم انجام شده است. همان‌گونه که در متن مقاله اشاره شده است درصدی از بافت شهری منطقه ۲۰ فرسوده می‌باشد و تحلیل فازی‌سازی لایه فاصله از بافت فرسوده نیز بیانگر آن است که قسمت‌هایی از محدوده‌هایی غرب و شمال و شمال غرب منطقه در هنگام وقوع زلزله از امنیت بهتری برخوردار می‌باشد (شکل ۳).

چ: فازی‌سازی لایه دسترسی به مراکز درمانی و خدماتی:

لایه دسترسی به مراکز درمانی در سطح منطقه ۲۰ شهر تهران بر مبنای فاصله (Distance) از منطقه و عوارض، ابتدا رستری و سپس فازی شده و وزن بین صفر و یک برای آن تعیین شده است. ازآنجاکه دسترسی به این مراکز در مواقع بروز زلزله می‌تواند در کاهش خسارات و کمک‌رسانی به آسیب‌دیدگان نقش اساسی داشته، هر چقدر فاصله از مراکز درمانی کمتر باشد میزان امنیت در هنگام وقوع زلزله افزایش پیدا خواهد کرد. تحلیل فازی‌سازی لایه دسترسی به مراکز درمانی نشان دهنده آن است که محدوده‌های شمالی و جنوبی منطقه ۲۰ از دسترسی بهتری به این مراکز برخوردار می‌باشند و در نتیجه از وضعیت مناسب‌تری جهت اقدامات بعد از وقوع زلزله برخوردار می‌باشند.

ح: فازی‌سازی لایه فاصله از فضاهای باز شهری (پارک و زمین‌های بایر):

لایه دسترسی به فضاهای سبز موجود و همچنین فضاهای باز شهری در سطح منطقه ۲۰ شهر تهران بر مبنای فاصله (Distance) از این فضاها، ابتدا رستری شده است و سپس بر مبنای ضوابط و معیارهای موجود در جدول ۲ و با استفاده از تابع خطی کاهنده فازی شد و وزن بین صفر و یک برای آن تعیین شده است. بر اساس این تابع هر چقدر فاصله به فضاهای باز و سبز شهری نزدیک‌تر باشد ایمنی در هنگام وقوع زلزله بیشتر می‌شود چراکه امکان ریختن آوار ساختمان‌ها بر روی ساکنین کمتر شده و از طرفی هنگام امدادرسانی به ساکنین استفاده از این فضاهای باز شهری و تجهیز کردن آن‌ها می‌تواند امدادرسانی را بهتر نماید. تحلیل فازی‌سازی این لایه نشان دهنده آن است که به‌غیراز محدوده‌های حاشیه‌ای منطقه سایر قسمت‌های منطقه ۲۰ از دسترسی مناسبی به فضاهای باز برخوردار می‌باشند (شکل ۳).



شکل ۳- نقشه‌های فازی معیارها

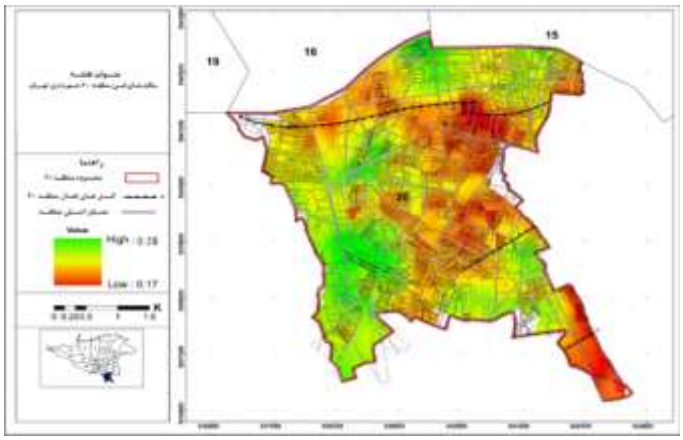
Fig. 3- Fuzzy maps of criteria

در مرحله پنجم که ترکیب لایه‌های اطلاعاتی و شناسایی محدوده‌های ایمن می‌باشد وزن نهایی به‌دست‌آمده از هر یک از معیارها را در لایه‌های مربوط به آن‌ها ضرب و سپس لایه‌های اطلاعاتی را با همدیگر جمع می‌کنیم تا لایه نهایی محدوده‌های ایمن در هنگام وقوع زلزله شناسایی شود. شکل ۴ لایه نهایی محدوده‌های ایمن در سطح منطقه ۲۰ شهر تهران را نشان می دهد. این عمل در سیستم اطلاعات جغرافیایی و از طریق مسیر زیر انجام شده است:

Arc Map> Arc toolbox > Spatial Analyts> Map Algebra>Raster calculator

بعد از انجام این مرحله از فرایند تحقیق با مقایسه‌ای که بین لایه-های فازی شده و نقشه نهایی حاصل از ترکیب چندلایه با همدیگر انجام شد، صحت لایه نهایی به اثبات رسید. همان‌طور که شکل ۴ نشان می‌دهد منطقه ۲۰ شهر تهران به لحاظ ایمنی در حد وسط امتیاز فازی بین ۰/۱۷ تا ۰/۵۸ قرار گرفته است. این امتیاز بیانگر آن است که منطقه توانسته است از حد نهایی امتیاز فازی (امتیاز ۱)، به ۰/۵۸ امتیاز فازی دست پیدا کند. اگر بخواهیم به عبارت ساده‌تر بیان کنیم، منطقه در هنگام وقوع زلزله در سطح متوسط به پایین قرار می‌گیرد. در شکل ۵ نقشه نهایی پهنه‌بندی محدوده‌های ایمن در هنگام وقوع زلزله بر اساس ۵ متغیر زبانی نشان داده شده است. چنانچه بخواهیم محدوده‌های منطقه ۲۰ را که در هنگام وقوع زلزله نسبت به سایر نواحی ایمن-تر هستند مشخص کنیم و به‌عبارت‌دیگر در همین امتیاز متوسط فازی نیز که بعضی مناطق نسبت به بعضی دیگر از مناطق ایمن‌تر هستند را نشان دهیم بایستی به شکل ۵ اشاره نمود. به‌گونه‌ای که برای نشان دادن سطح نهایی ایمنی منطقه مورد مطالعه در هنگام وقوع زلزله از ۵ طبقه (ناامن، نسبتاً ناامن، متوسط، نسبتاً امن، امن) استفاده شده است. بر این اساس امتیاز نهایی به‌دست‌آمده از ترکیب لایه‌های اطلاعاتی بین ۰/۱۷ تا ۰/۲۹ (ناامن)؛ ۰/۲۹۱ تا ۰/۳۵ (نسبتاً ناامن)؛ بین ۰/۳۵۱ تا ۰/۴۱ (متوسط)؛ بین ۰/۴۱۱

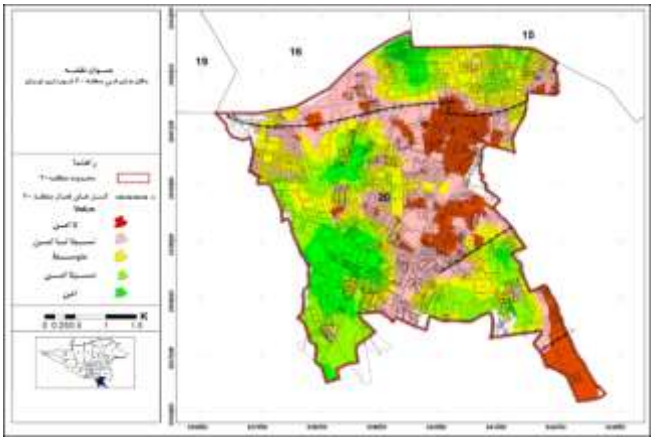
تا ۰/۴۸ (نسبتاً امن)؛ بین ۰/۴۸۱ تا ۰/۵۸ (امن) می‌باشد. هدف از استفاده از این طبقه‌بندی بیان‌کننده این مساله است که به لحاظ نسبی بعضی مناطق نسبت به بعضی دیگر از مناطق در هنگام وقوع زلزله دارای امنیت بیشتری هستند.



شکل ۴- نقشه فازی محدوده‌های ایمن در هنگام وقوع زلزله

Fig. 4- Fuzzy map of areas safety during an earthquake

تحلیل شکل ۵ که نقشه نهایی این پژوهش می‌باشد نشان‌دهنده آن است که محدوده‌های غربی و جنوب غرب و قسمت‌هایی از شمال شرق منطقه و درصد کمی از جنوب شرقی منطقه در شرایط امن‌تری نسبت به سایر مناطق قرار دارند. نکته قابل‌توجه آن است که درصد زیادی از محدوده منطقه ۲۰ در وضعیت ناامن و نسبتاً ناامن در هنگام وقوع زلزله می‌باشند به‌گونه‌ای که محدوده‌های شرقی و قسمت‌هایی از جنوب شرقی و شمال منطقه در وضعیت ناامن در هنگام وقوع زلزله قرار دارند هر چند که قبلاً نیز اشاره شد منطقه در هنگام وقوع زلزله در سطح متوسط به پایین قرار می‌گیرد، بااین‌وجود بعضی از محدوده‌های ذکر شده نسبت به سایر محدوده‌های منطقه از وضعیت به نسبت بهتری برخوردار می‌باشد.



شکل ۵- نقشه نهایی طبقه بندی پهنه‌های محدوده‌های ایمن در هنگام وقوع زلزله

Fig. 5- The final zoning map of areas safety during an earthquake

بحث و نتیجه‌گیری

در جمع‌بندی از پژوهش می‌توان اشاره نمود که منطقه ۲۰ تهران به‌شدت در خطر زلزله‌خیزی قرار دارد و نیازمند اقدام اساسی برای کاهش خسارات ناشی از زلزله می‌باشد. به عبارتی به دلیل وجود گسل‌های متعدد در این منطقه و وجود مناطق کم‌دوام و بافت فرسوده شهری که بیشتر در پهنه‌های با خطر زیاد و متوسط قرار دارد نیازمند اقدام و توجه اساسی در این زمینه می‌باشد. گسل-هایی که از منطقه موردمطالعه عبور کرده‌اند بیشتر در محدوده شمال و شرق منطقه می‌باشند و همان‌طور که وزن معیارها که از طریق نرم‌افزار expert choice لایه فاصله از گسل بیشترین امتیاز را به خود اختصاص داد در نقشه نهایی نیز محدوده‌هایی که گسل از آن‌ها عبور نموده از امنیت پایین‌تری برخوردار بوده و به عبارتی این لایه بیشترین اثر را نسبت به سایر لایه‌های به کار رفته در پژوهش در مشخص نمودن محدوده‌های ایمن در منطقه ۲۰ داشته است.

نقشه‌های خروجی نهایی نشان داد که نواحی شرقی و جنوب شرقی و قسمت‌هایی از شمال منطقه ۲۰ با خطر بالاتری در مواجه با زلزله می‌باشند که عمده‌ترین علل آن وجود گسل‌های فراوان و بافت کم‌دوام و فرسوده نسبت به سایر نواحی می‌باشد. در این پژوهش همان‌طور که گفته شد جهت تحلیل و ارزیابی خطر وقوع زلزله از روش AHP و منطق فازی استفاده شد. از مزایای روش AHP این است که عوامل مؤثر در ارزیابی خطر وقوع زلزله وزن‌دهی شده و عوامل برحسب اهمیتشان اولویت‌بندی می‌شوند. از مزایای فازی نمودن لایه‌های مؤثر در ارزیابی خطر زلزله نیز این است که موجب افزایش دقت در شناسایی محدوده‌های دارای پتانسیل ذاتی خطر زلزله می‌شود. حال با توجه به مطالعه و شناخت به‌دست‌آمده از منطقه موردمطالعه برای مواجه با مسئله موردنظر باید موارد زیر را مدنظر قرار داد: نخست باید در اجرای طرح‌های شهری (اعم از ساخت‌وسازهای مسکونی، نوسازی بافت‌های فرسود، پل‌ها و تأسیسات و تجهیزات شهری) از تمام ظرفیت‌های کارشناسی برای شناخت بهتر و دقیق‌تر مسئله جهت به حداقل رساندن خسارات ناشی از مخاطرات طبیعی به‌خصوص زلزله بهره گرفت. دوم آنکه امروزه در دنیا تأکید بر دید چندجانبه نگراست. اگر جنبه‌های مختلف مسائل مخاطرات طبیعی، زیست‌محیطی و حتی مسائل اجتماعی و زیستی را باهم نبینیم و از ابزارهایی مثل GIS یا سامانه اطلاعات جغرافیایی به‌درستی استفاده نکنیم، هرگز موفق به غلبه بر مسائل پیچیده دنیای امروز به‌ویژه در شهرهای بزرگ و باز هم به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه مثل کشور خودمان، نخواهیم شد. لذا لازم است که تمام خطرات احتمالی منطقه ۲۰ شهر تهران با همدیگر دیده شود تا دید همه جانبه‌ای از محدوده‌های ایمن در هنگام وقوع این سانحه طبیعی به وجود آید.

References

1. Yoon, D.K., (2012). Assessment of social vulnerability to natural disasters: a comparative study. Natural Hazards 63, 823–843.
2. Balaikie, P; Cannon, T; Davis, I. and Wisner, B. (1994). At risks, Natural hazards, People Vulnerbility and Disasters, London, Routledge.
3. Jamali, F., Hessami, K., & Ghorashi, M. (2011). Active tectonics and strain partitioning along dextral fault system in Central Iran: analysis of geomorphological observations and geophysical data in the Kashan region. Journal of Asian Earth Sciences, 40(4), 1015-1025.
4. UNDP (2004) Reducing Disasters Risk:A challeng for Development, UNDP.

5. Ghafory- Ashtiany, M (1999). Rescue Operation and Reconstructions in Iran, Disaster Prevention and Management, 8(1), MCB University.
6. Farajzadeh, M. Ahadnezhad, M. & Amini, J. (2011). The Vulnerability Assessment of Urban Housing in Earthquake against, A Case Study: 9th district of Tehran, Journal Urban - Regional Studies and Research, 3(9), 19-36 (In Persian).
7. Zangiabadei, A., Mohamadei, G., Safaei, H., Gaedrahmati, S. (2008). Vulnerability Indicators Assessment of Urban Housing Against the Earthquake Hazard Case Study: Isfahan Housing. Geography and Development Iranian Journal, 6(12), 61-79 (In Persian).
8. Aeri, A. (1999). Earthquake Effects Planning in city, A Case Study: District 20 of Tehran, M.Sc. Thesis, Shahid Beheshti University, Faculty of Architecture and Urban Planning, Tehran (In Persian).
9. Karimi Kordabadi, M. And Najafi, A. (2015). Earthquake hazard assessment using hybrid Fuzzy AHP model in urban security, A Case study of district 1 of Tehran metropolitan), Journal of Research and Urban Planning, 6(2) 17-34 (In Persian).
10. Mousavi, S. M., Abedini, M., & Esmeali Ouri, A. (2015). Evaluation Seismic hazard in Izeh urban catchment with using models, Multi-criteria: WLC and AHP. in GIS, Emergency Management, 4(1), 93-101 (In Persian).
11. Pourmohammadi, M., & Karami, M. (2015). Integration of Kernel model (KDE) and AHP Model in order to Evaluate the Earthquake Risk in Urban Squatter and Timeworn Textures by Geographic Information System (GIS); A Case Study of Tabriz (municipal district 1 and 5), Journal of Geography and Planning, 18(50), 55-88 (In Persian).
12. Lantada, N., Pajades, L. & Borbat, A. (2009). Vulnerability Index and Capacity Spectrum Based Method for Urban Seismicrisk Evaluation. A Comparision, Nat Hazards, 51, 501-524.
13. Mehrazan Consulting Engineers (2005). Preparation of development plan model and detailed plan for district 20, Report No. 2, Tehran Municipality (In Persian).
14. Drodi, M. R. & Qasemi, A. (2014). Prioritize Effective Strategies to Promote Urban Security and its Impact on Residential Satisfaction Case Study: 20th region of Tehran. Police Geography Research Journal, 2(6). 149-178 (In Persian).
15. Afaride, S., Salehi, E., Razaghi, M. (2012). Urban Land Use Evaluation Based on Earthquake Risks. Environmental Researches, 2(3), 77-86 (In Persian).
16. Hasson, F., Keeney, S., & McKenna, H. (2000). Research guidelines for the Delphi survey technique. Journal of Advanced Nursing, 32(4), 1008-1015.
17. Mukherjee, N., Huge, J., Sutherland, W. J., McNeill, J., Van Opstal, M., Dahdouh-Guebas, F., & Koedam, N. (2015). The Delphi technique in ecology and biological conservation: applications and guidelines. Methods in Ecology and Evolution, 6(9), 1097-1109.

18. Okoli, C., & Pawlowski, S. D. (2004). The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications. Information & management, 42.
19. Delbecq, A. L.; Van de Ven, A.H. and Gustafson, D.H., (1975). Group Techniques for Program Planning: a Guide to Nominal Group and Delphi Processes. Scott, Foresman, Michigan.
20. Hosseini, A., Pourahmad, A., & Pajoohan, M. (2015). Assessment of institutions in sustainable urban-management effects on sustainable development of Tehran: learning from a developing country. Journal of Urban Planning and Development, 142(2), 05015009.
21. Keeney, S.; Hasson, F. and Mckenna, H., (2011). The Delphi Technique in Nursing and Health Research. Wiley-Blackwell, UK.
22. Ghodsipour S. H., (2013). Hierarchical Analysis Process, 11th Edition, Amirkabir University of Technology Press, Tehran (In Persian).
23. Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. Journal of mathematical psychology, 15(3), 234-281.