

ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه‌ی معابر شهری در برابر زلزله‌های احتمالی

مطالعه‌ی موردی: منطقه‌ی ۳ شهرداری تهران

حسین نظم‌فر: دانشیار، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی.

علی عشقی چهاربرج*: دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی؛ Email: aeshghei@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۴/۲/۱۳

تاریخ پذیرش: ۹۵/۵/۱۷

چکیده

زلزله می‌تواند شهرها و مناطق یک کشور را از تحرک بیندازد، با مختل کردن شبکه‌ی ارتباطی شهر نظم ترافیکی را بر هم بزند و جریان عرضه‌ی کالا را کند و ارائه‌ی خدمات اورژانسی (اضطراری) و ایمنی به زلزله‌زدگان را با موانع جدی مواجه نماید. این وضعیت خطرناک به دلیل کم‌عرض بودن معابر، تمرکز زیاد جمعیت در بافت‌های قدیمی، بلندمرتبه‌سازی‌های غیراصولی، ساخت‌وسازهای انجام‌شده بر روی مسیر فئات‌ها و قرارگیری در منطقه‌ای با لرزه‌خیزی بالا، که نتیجه‌ی گسترش کالبدی و افزایش تراکم شهرهای بزرگ است، منجر به از بین رفتن کارایی شبکه‌ی ارتباطی، حجم بالای تلفات انسانی و خسارت‌های مالی می‌شود. هدف این پژوهش پیش‌بینی آسیب‌پذیری شبکه‌ی ارتباطی شهر در برابر شدت‌های مختلف زلزله است. برای رسیدن به این هدف ۱۰ شاخص مؤثر در آسیب‌پذیری شبکه‌ی معابر شهری در برابر زلزله در قالب مدل‌های برنامه‌ریزی و تلفیقی چون ANP وزن‌دهی و فازی‌سازی شدند. لایه‌های انتخابی در محیط GIS ترکیب و نهایتاً نقشه‌ی آسیب‌پذیری کلی منطقه پیش از زلزله تهیه گردید. در مرحله‌ی بعد مدل پیش‌بینی در قالب طراحی سناریوهای زلزله در شدت‌های مختلف ۶، ۷ و ۸ مرکالی اصلاح‌شده بر روی نقشه‌ی کلی آسیب‌پذیری منطقه پیش از زلزله اعمال شد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که میزان آسیب‌وارده به شبکه‌ی معابر منطقه‌ی ۳ شهرداری تهران در سناریوی ۶ مرکالی حاکی از آن است که ۵۲٪ درصد معابر منطقه در دو دامنه‌ی آسیب‌پذیری خیلی کم و کم قرار گرفته‌اند. بیشترین درصد این معابر با ۶۴٪ درصد در ناحیه‌ی ۴ و ۶ منطقه، در قسمت‌های جنوبی محله‌ی سیدخندان و شمال محله‌ی کاووسییه قرار دارند، در سناریوی ۷ مرکالی ۵۳٪ درصد معابر در دامنه‌ی آسیب‌پذیر زیاد قرار دارند. بیشترین درصد این معابر در ناحیه‌ی ۱، در قسمت غربی ده ونک و در ناحیه ۲، در قسمت مرکزی محله‌ی حسن‌آباد و زرگنده است. در سناریوی ۸ مرکالی نمودار میزان آسیب‌پذیری شبکه‌ی معابر در دو دامنه‌ی آسیب‌پذیری زیاد و تخریب کامل حالت صعودی پیدا کرده و ۸۰٪ درصد معابر منطقه در این دو دامنه قرار گرفته‌اند. بیشترین درصد این معابر به ترتیب در نواحی ۶، ۱، ۲، ۳، ۵ و ۴ قرار دارند.

واژه‌های کلیدی: زلزله، آسیب‌پذیری، شبکه‌ی معابر، مدل‌سازی، تحلیل شبکه.

Prediction of the vulnerability of urban passages network due to earthquake Case Study: Tehran Municipality Region 3

Hosein nazmfar¹, Ali Eshghi Chahar Borj^{2*}

Abstract

Earthquakes can make lots of disruptions in activities of a country. It can fail traffic system by disrupting communication system, disconnection of the supply chain of materials and emergency services. It also can make serious obstacles to safety of earthquake victims. This dangerous situation is because of narrow streets, constructing high-rise buildings in old urban segments, wrong positioning of tall building, constructing building in the seismic belts and path of the Qanats in Tehran. Thus, these factors increase congestion in large cities, damages and casualties because of earthquakes. The aim of this study is to assess the vulnerability of communication network in the urban area due to different seismic intensity. For this reason, ten effective criteria were selected and applied in ANP models within the fuzzy language. Then, selected GIS layer were combined for pre-disaster stage. In next session, forecasting model was implemented for different intensity as 6, 7, 8 modified Mercalli scale as a pre-disaster vulnerability plan. The results of study show that the vulnerability of pedestrian network in district 3 for 6 mercalli is around low and very low for 53 percentages of the area while the highest vulnerability was assigned to Seyed Khandan and North-Kavoosiyeh with 64%. In the scenario with intensity of & mercalli 53% of pathways were suffered from high vulnerability. In the scenario with 8 mercalli, the vulnerability of pathways in two states of high and full-destruction had been ascending trend. Around 80% of pathways are in these to states. The highest vulnerabilities were assigned to district number 6, 1, 2, 3, 5 and 4 according to their rates.

Keywords: Earthquake, vulnerability, passages networks, modeling, network analysis.

1 Associate Professor, Department of Urban Planning, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.

2 Ph.D. Student in Urban Planning, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran; Email: aeshghei@gmail.com

نزدیکی به گسل‌های مؤثر در آسیب‌پذیری شهر تهران از جمله گسل مشا، گسل شمال تهران و گسل ری به همراه تأثیرات مخرب گسل‌هایی در داخل و پیرامون منطقه از جمله گسل محمودیه، گسل داوودیه، گسل تلو پایین، گسل شیان و کوثر از آسیب‌پذیری بالایی در برابر زلزله برخوردار است. لذا در پژوهش حاضر با بهره‌گیری از مدل Fuzzy ANP^۱ به کمک سیستم اطلاعات مکانی، مدل پیش‌بینی ارائه گردیده که میزان آسیب‌پذیری هر یک از مسیرها و راه‌های ارتباطی را در شدت‌های مختلف زلزله به ورطه‌ی آزمایش گذاشته است؛ تا ضمن ارائه‌ی مدل ارزیابی آسیب‌پذیری منطقه، میزان آسیب‌پذیری مسیرهای ارتباطی را ارزیابی کند، تا سازمان‌های متولی به صورت آگاهانه و با استفاده از روش‌های اصولی برنامه‌ریزی تا حد امکان از خسارت‌های جانی و مالی در برابر آسیب‌ها ناشی از زلزله بکاهند. بر این اساس اهداف پژوهش حاضر عبارتند از: شناسایی شبکه‌ی معابر آسیب‌پذیر منطقه‌ی مورد مطالعه به کمک مدل و روش مورد استفاده و ارائه‌ی الگویی سلسله‌مراتبی از وضعیت آسیب‌پذیری شبکه‌ی معابر منطقه‌ی ۳ شهرداری تهران در برابر شدت‌های مختلف زلزله‌های احتمالی.

پیشینه‌ی پژوهش

چنگ و نوجیم^۲ در سال ۱۹۹۸ کارایی بزرگراه‌ها در شرایط بعد زلزله‌ی کشورهای ایالات متحده آمریکا و ژاپن (زلزله‌ی ۱۹۸۹ لویسپاریتا، زلزله‌ی ۱۹۹۴ نورث ریج و زلزله‌ی ۱۹۹۵ کوبه) را مطالعه کرده‌اند [۱۱]. تسوکاوی و لی^۳ در سال ۱۹۹۹ بعد از زلزله‌ی هانشین - آواجی مدلی را برای یافتن علت بسته شدن معابر و کاربرد آن برای بهبود ساختار شبکه‌های ارتباطی و طراحی شبکه پیشنهاد کرده‌اند [۱۲]. مینامی^۴ و همکارانش در سال ۲۰۰۳ داده‌هایی مانند نام و شماره‌ی ساختمان و جنس و تعداد طبقات آن، حیاط ساختمان و جنس و ارتفاع آن و فاصله‌ی ساختمان‌ها تا خیابان و همچنین اطلاعات معابر مانند نام، طول و عرض خیابان و نیز عرض پیاده‌رو در شهر کوبه‌ی ژاپن را جمع‌آوری و در محیط GIS تحلیل کرده‌اند [۱۳]. لی و یه^۵ در سال ۲۰۰۳ بعد از بررسی ۹۲۱ زلزله‌ی بزرگ دنیا به این نتیجه رسیده‌اند که مهم‌ترین دلیل بسته شدن معابر در مواقع بروز زلزله، وجود عرض کمتر از ۴ متر معابر بوده است [۱۴].

فوتان تونگ^۶ (۲۰۰۴)؛ در پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد با عنوان «ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه‌ی ارتباطی شهر در برابر زلزله در شهر کاتماندو» با استفاده از مدل RADIUS HAZUS به این نتیجه می‌رسد که با افزایش شدت زلزله مقدار آسیب‌پذیری نیز افزایش می‌یابد. در نهایت راهکارهایی را برای کاهش آسیب‌پذیری شبکه‌ی شهری ارائه می‌دهد [۱۵]. باغ وند و همکاران (۱۳۸۵) پژوهشی با هدف یافتن علل تنزیل عملکرد شبکه‌ی حمل و نقل شهری پس از وقوع زلزله انجام دادند. ابتدا به بررسی عمده‌ی مخاطراتی پرداخته‌اند که عملکرد شبکه‌های دسترسی را پس از وقوع تهدید می‌نماید و در ادامه راهکارهایی برای افزایش کارآمدی شبکه‌ی معابر در مناطق شهری و به‌ویژه مناطق دارای بافت فرسوده، پس از وقوع یک سانحه ارائه کرده‌اند [۱۶]. در سال

هیچ نقطه از زمین از حوادث غیرمترقبه در امان نیست و همواره گزارش‌هایی از سراسر زمین مبنی بر فجایع و بلایای طبیعی دریافت می‌گردد [۱]. در قرن بیستم بیش از ۱۱۰۰ زلزله‌ی مخرب در نقاط مختلف رخ داده که در اثر آن بیش از ۱۵۰۰۰۰ نفر جان خود را از دست داده‌اند [۲]. کشور ایران به‌منزله‌ی بخشی از کمربند کوهزایی آلپ - هیمالیا همواره از لرزه‌خیزی بالایی در طول تاریخ برخوردار بوده است، به‌گونه‌ای که بخش‌های مختلف کشور توسط زمین‌لرزه‌های ویرانگر متعددی پیوسته تخریب شده است [۳]. از هر ۱۵۳ زلزله‌ی مخربی که در دنیا اتفاق افتاده، ۱۷/۶ درصد آن مربوط به ایران بوده است [۴]. یکی از این موارد زلزله‌ی بم بود که بیش از ۳۰۰۰۰ کشته، بیش از ۱۰۰۰۰ زخمی، بیش از ۱۰۰۰۰۰ نفر بی‌خانمان و تخریب بیش از ۸۰ درصد شهرها را به همراه داشت؛ همچنین از بین رفتن تمام زیرساخت‌های اجتماعی را به بار آورد که چیزی بیش از ۸۰۰ میلیون دلار خسارت وارد کرد [۵]. جدا از افزایش بلایای طبیعی طی دهه‌های گذشته، افزایش قربانیان به دلیل افزایش آسیب‌پذیری جوامع شهری است. زلزله گاه می‌تواند خسارت‌های عظیمی در زندگی بشر به بار آورد، از جمله مختل کردن شبکه‌ی ارتباطی که امکان نجات زلزله‌زدگان به‌ویژه در ۷۲ ساعت اولیه را با مشکل روبه‌رو می‌سازد [۶]. بعد از وقوع زلزله کارایی شبکه‌ی ارتباطی به علت فرو ریختن ساختمان‌ها و احتمالاً بسته شدن مسیرها به شدت کاهش می‌یابد [۷]. این در حالی است که بعد از وقوع یک فاجعه با وضعیت اضطراری، شبکه‌ی ارتباطی نقش حیاتی در نجات انسان‌ها و شدت بخشیدن به عملیات بازسازی و بازگشت حالت عادی به شهرها بر عهده دارد [۸]. در زلزله‌های اخیر به دلیل آسیب‌پذیری شبکه‌ی ارتباطی؛ رفت و آمد وسایل نقلیه غیرممکن شده است، فعالیت‌های شهری از بین رفته است و توانایی بازسازی اضطراری شهر غیرممکن گردیده است [۹]. زلزله می‌تواند شهرها و مناطق یک کشور را از تحرک ببنداند، نظم ترافیکی را بر هم زند، جریان عرضه‌ی کالا را کند نماید و ارائه‌ی خدمات اورژانسی و ایمنی را با موانع جدی مواجه کند. مدیریت و پایش ترافیک (شدآمد) در شرایط وقوع زلزله در فضای شهری، نیاز به برنامه‌های مدیریت بحران ویژه‌ای دارد [۱۰]. با توجه به اهمیت حفظ عملکرد شبکه‌های ارتباطی در چنین شرایطی در یک سطح مطلوب باید یک مدل ارزیابی عملکرد شبکه‌های ارتباطی در شرایط وقوع زلزله ارائه شود. چرا که، مسئله‌ی حائز اهمیت این است که برنامه‌ریزی برای پیش‌گیری و کاهش خسارات و تلفات ناشی از زلزله بدون ارزیابی آسیب‌پذیری برای مناطق امری بی‌فایده است. ارزیابی میزان آسیب‌پذیری شهر در برابر زلزله مستلزم برآورد خسارت‌های شرایط حاضر شهر با پیش‌فرض وقوع یک زلزله‌ی بزرگ از نظر اینکه کدام ناحیه با چه درجه‌ای دچار خسارت می‌شود، است. ارزیابی خطر بلایا علاوه بر روشن کردن اهمیت پیش‌گیری از بلایا و آگاهی از آن، به نحوه‌ی برنامه‌ریزی و ساماندهی شهر برای کاهش خسارت‌های ناشی از زلزله سمت و سو می‌دهد. منطقه‌ی ۳ شهرداری تهران به خاطر

۲۰۰۸ صمدزادگان به همراه زرین‌پنجه با استفاده از نقشه‌برداری دیجیتالی قبل از زلزله و عکس‌های ماهواره‌ای با کیفیت بالا بعد از زلزله، به دنبال ارائه‌ی مدلی برای ارزیابی آسیب شبکه‌ی ارتباطی متمرکز شده‌اند [۱۷]. شیعه و همکارانش در سال ۱۳۸۹ در بررسی آسیب‌پذیری شبکه‌ی ارتباطی شهر، از معیارهای دسترسی به مراکز درمانی، عرض معابر و ارتفاع ساختمان‌ها، تراکم ساختمانی و جمعیتی، کاربری زمین و کیفیت ابنیه استفاده کرده‌اند و به این نتیجه رسیدند که بدنه‌ی خیابان‌هایی که با تراکم ساختمانی و جمعیتی بالا، کیفیت ابنیه‌ی پایین و فاصله‌ی زیاد تا مراکز امداد دارند از آسیب‌پذیری بالایی برخوردار هستند [۷]. ایدیل و سیبل سلیمان^۲ در سال ۲۰۱۳ در پژوهشی با عنوان «مدل‌سازی آسیب‌پذیری شبکه‌ی بزرگراه‌ها در برابر زلزله» به ارائه‌ی روش بهینه‌ی سناریوهای شکست برای پیدا کردن بهترین حالت ممکن شبکه‌ی ارتباطی بعد از وقوع زلزله برای پاسخ‌گویی به نیازها پرداخته‌اند [۱۸]. آنچه پژوهش حاضر را از تحقیقات قبلی متمایز می‌کند این است که در بیشتر پژوهش‌ها از مدل AHP، TOPSIS و یا RADIUS, HAZUS برای ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه‌ی معابر استفاده شده است، اما پژوهش حاضر با استفاده از مدل ANP که یکی از جدیدترین روش‌های وزن‌دهی به داده‌های جغرافیایی است، به ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه‌ی معابر پرداخته است. از طرفی چنین پژوهشی برای منطقه‌ی ۳ شهرداری تهران تاکنون صورت نگرفته است.

روش تحقیق

روش پژوهش حاضر از نوع توصیفی-تحلیلی یا هدف کاربردی است. با تکمیل اطلاعات کتابخانه‌ای و میدانی، تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع‌آوری شده با بهره‌گیری از روش Fuzzy ANP، که به منزله‌ی روشی نوین در وزن‌گذاری به داده‌های مکانی است، در سیستم اطلاعات مکانی انجام شد. این پژوهش به دنبال مدل‌سازی آسیب‌پذیری شبکه‌های ارتباطی منطقه‌ی ۳ شهرداری تهران در برابر زلزله است تا با به‌کارگیری روش‌های کمی و تحلیلی و با طراحی سناریوهای زلزله در شدت‌های مختلف، میزان آسیب‌پذیری شبکه‌ی ارتباطی شهر را مورد ارزیابی قرار دهد. برای مدل‌سازی با استفاده از ANP، اول: تمامی زیرمعیارهای هر معیار اصلی وزن‌دهی شد و در محیط GIS لایه‌ها تهیه شدند. دوم: معیارهای اصلی وزن‌دهی و با هم ترکیب شدند و در نهایت نقشه‌ی آسیب‌پذیری کلی استخراج گردید. در واقع نقشه‌ی آسیب‌پذیری کلی حاصل ترکیب لایه‌های حاصل شده از نتایج مدل ANP است و چون ممکن است دارای داده‌های ناخواسته باشد، برای سناریوسازی نیازمند استانداردسازی (تنظیم داده‌ها بین صفر و یک) است.

معیارهای ارزیابی با مقیاس‌های مختلف اندازه‌گیری ارائه می‌شوند، برای اینکه بتوانیم آن‌ها را به یک مقیاس مشترک تبدیل کنیم، نیاز به استانداردسازی دارند. علاوه بر نظریه‌ی فازی چندین روش از جمله تابع انتقال مقیاس خطی، تابع مقدار (ارزش) و احتمالات تجدید نظر شونده برای استانداردسازی نتایج

حاصله از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مجموعه‌ی فازی با توجه به ماهیت و نوع کاربردها از انواع توابع مانند آستانه‌ی خطی، سیگموئیدال، S، شکل و J شکل استفاده می‌شود. در این پژوهش لایه‌ها و معیارها با استفاده از تابع آستانه‌ی خطی مورد تحلیل قرار می‌گیرند. نقشه‌ی فازی‌سازی شده از روش فرایند ANP صرفاً برای نشان دادن میزان آسیب‌پذیری کلی با در نظر گرفتن معیارهای مورد استفاده است. در این مرحله برای پیش‌بینی دقیق آسیب‌پذیری با استفاده از رابطه‌ی ۱ به طراحی سناریوهای زلزله در شدت‌های مختلف پرداخته شد تا با توجه به تحلیل‌های حاصل، ارزیابی دقیقی از میزان خسارت‌های وارد شده به شبکه‌ی ارتباطی منطقه میسر شود.

رابطه‌ی ۱ [۱۹]:

$$\mu_D = 2.5 \left[1 + \tanh_c \left(\frac{1 + 6.25\bar{V}_1 - 13.1}{2.3} \right) \right]$$

μ_D : نشانگر متوسط درجات آسیب

\bar{V}_1 : مقدار آسیب‌پذیری حاصله از اعمال روش تحلیل سلسله

مراتبی و چند معیاره

I: نشانگر شدت زلزله بر اساس واحد مرکالی اصلاح شده

مبانی نظری آسیب‌پذیری

آسیب‌پذیری یک تابع ریاضی است و به مقدار خسارت پیش‌بینی شده برای هر عنصر در معرض خطرهای مصیبت‌بار، با شدت معین، گفته می‌شود. تحلیل آسیب‌پذیری فرایند برآورد آسیب‌پذیری عناصر معینی است که در معرض خطر احتمالی ناشی از وقوع مصیبت‌بار هستند [۲۰]. تحلیل آسیب‌پذیری شهری، تحلیل، ارزیابی و پیش‌بینی احتمال خسارت‌های جانی، مادی و معنوی شهر و ساکنان شهر در برابر مخاطرات احتمالی است [۲۱]. در دهه‌های اخیر دیدگاه‌های نظری متفاوتی در خصوص آسیب‌پذیری مطرح شد که شامل سه دسته‌اند:

۱. زیستی-فیزیکی^۸

۲. ساخت اجتماعی^۹

۳. ترکیبی^{۱۰}

هر یک از دیدگاه‌های فوق چارچوب‌های متفاوتی بر تحلیل آسیب‌پذیری و کاهش آن ارائه دادند. دیدگاه زیستی-فیزیکی؛ بر طبیعت خطر فیزیکی، شیوه‌ی استقرار جوامع در معرض آن و در نتیجه، عواقب آن برای واحد در معرض خطر [۲۲، ۲۳] بر حسب «درجه آسیب محتمل» [۲۴] و ایده‌های زیان فیزیکی [۲۵] تمرکز می‌کند. یعنی بیشتر روی مخاطرات طبیعی، زوال محیط زیستی-فیزیکی و آثار و زیان‌های مالی و جانی حاصل از آن‌ها بر ساکنان توجه می‌کند. دیدگاه ساخت اجتماعی؛ به وضعیتی ریشه‌دار در فرایندهای تاریخی، فرهنگی، اجتماعی و اقتصادی، که توانایی رسیدگی به بحران‌ها و پاسخ کافی به آن‌ها را محدود می‌کند، دلالت دارد [۲۶]. دیدگاه ترکیبی؛ پیوندی از دو دیدگاه زیستی و فیزیکی و ساخت اجتماعی است. محور این پژوهش برای ارزیابی خطر از منظر زیستی-فیزیکی است [۲۷].

مدل ANP

فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) هر موضوع و مسئله‌ای را به مثابه‌ی شبکه‌ای از اهداف، معیارها و زیرمعیارها (همه‌ی این‌ها عناصر نامیده می‌شوند) که با یکدیگر در خوشه‌هایی جمع شده‌اند، در نظر می‌گیرد. تمامی عناصر در یک شبکه می‌توانند، به هر شکل، دارای ارتباط با یکدیگر باشند. به عبارت دیگر، در یک شبکه، بازخورد و ارتباط متقابل بین و میان خوشه‌ها امکان‌پذیر است [۲۸]. فرایند تحلیل شبکه‌ای، فنی در تصمیم‌گیری است که بر مبنای فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی برای حل مشکلات با در نظر گرفتن بازخورد و وابستگی بنا نهاده شده است. این روش قادر است همبستگی‌ها و بازخوردهای موجود بین عناصر مؤثر در یک تصمیم‌گیری را الگوسازی کند و تمامی تأثیرات درونی اجزای مؤثر در تصمیم‌گیری را منظور و وارد محاسبات کند.

منطق فازی

دانشمندان علوم زمین و مهندسی همواره با در نظر گرفتن بسیاری از عوامل و شرایط توپوگرافیکی، زمین‌شناسی، هیدرولوژی، کاربری زمین و اقلیم، معیارهایی را برای تعیین چگونگی مناسب و یا نامناسب بودن فضای خاصی در نظر می‌گیرند. هر معیاری می‌تواند با داده‌های جغرافیایی و نقشه‌های موضوعی^{۱۱} نشان داده شود و برای برنامه‌ریزی و نقشه‌برداری اقدام به مدل‌سازی می‌کنند. مدل فازی یکی از این مدل‌هاست. واژه‌ی Fuzzy به معنای غیردقیق، ناواضح و مبهم (شناور) است. این نظریه قادر است بسیاری از مفاهیم و متغیرها و سیستم‌هایی را که نادقیق و مبهم هستند صورت‌بندی ریاضی بخشیده و زمینه را برای استدلال، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد [۲۹].

محدوده‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی ۳ شهرداری تهران یکی از مناطق ۲۲ گانه‌ی شهرداری تهران است که در پهنه‌ی شمال شرقی شهر تهران واقع

شده است. این منطقه از شمال با منطقه‌ی ۱، از شرق با منطقه‌ی ۴، از جنوب با منطقه‌ی ۶ و ۷ و از غرب با منطقه‌ی ۲ هم‌مرز و هم‌جواری است. پهنه‌ی منطقه‌ی ۳ شهرداری تهران دارای ۶ ناحیه و ۱۱ محله با مساحتی بالغ بر ۲۹۴۵ هزار هکتار، در پهنه‌ی شمال شرقی شهر تهران واقع شده است و یکی از بزرگ‌ترین مناطق شهری تهران است. این منطقه از شمال به بزرگراه شهید چمران، بزرگراه شهید مدرس و بزرگراه آیت‌الله صدر و از شرق به خیابان پاسداران و بخشی از خیابان شریعتی و از جنوب به بزرگراه رسالت و بزرگراه همت و از غرب به بزرگراه شهید چمران محدود می‌شود (تصویر ۱) [۳۰].

بحث و یافته‌های تحقیق

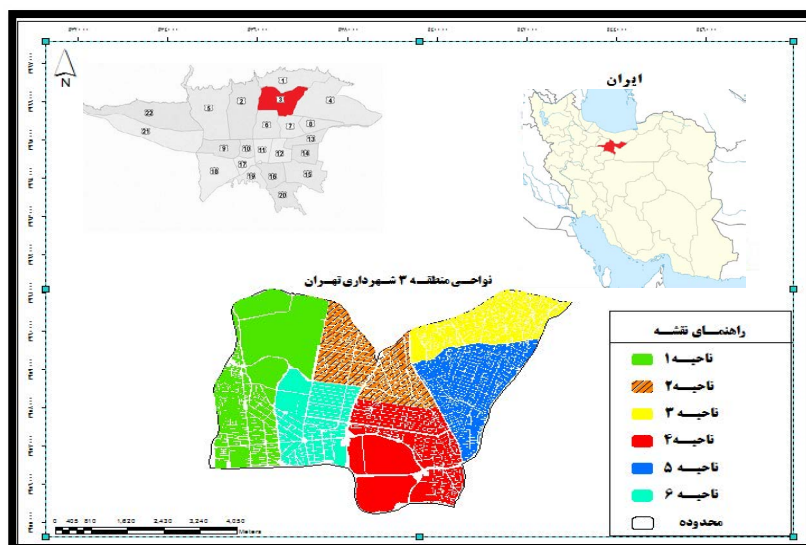
محاسبه‌ی میزان آسیب‌پذیری شبکه‌ی معابر

در پژوهش حاضر ده شاخص اصلی (پل‌ها، تراکم ساختمانی، تعداد طبقات ساختمانی، قدمت بنا، سازگاری کاربری‌ها، عرض معابر، مسیر قنات‌ها، فاصله از گسل، مصالح ساختمانی و مساحت همکف ساختمان‌ها) با زیرمعیارهای لازم برای شناسایی معابر آسیب‌پذیری در برابر زلزله پرداخته شده و با لایه‌سازی برای هر یک از معیارهای اصلی و زیرمعیارها با استفاده از وزن‌های حاصل از ANP در محیط Arc GIS و روی هم‌گذاری لایه‌ها، نقشه‌ی آسیب‌پذیری شبکه‌ی ارتباطی پیش از زلزله تهیه شد.

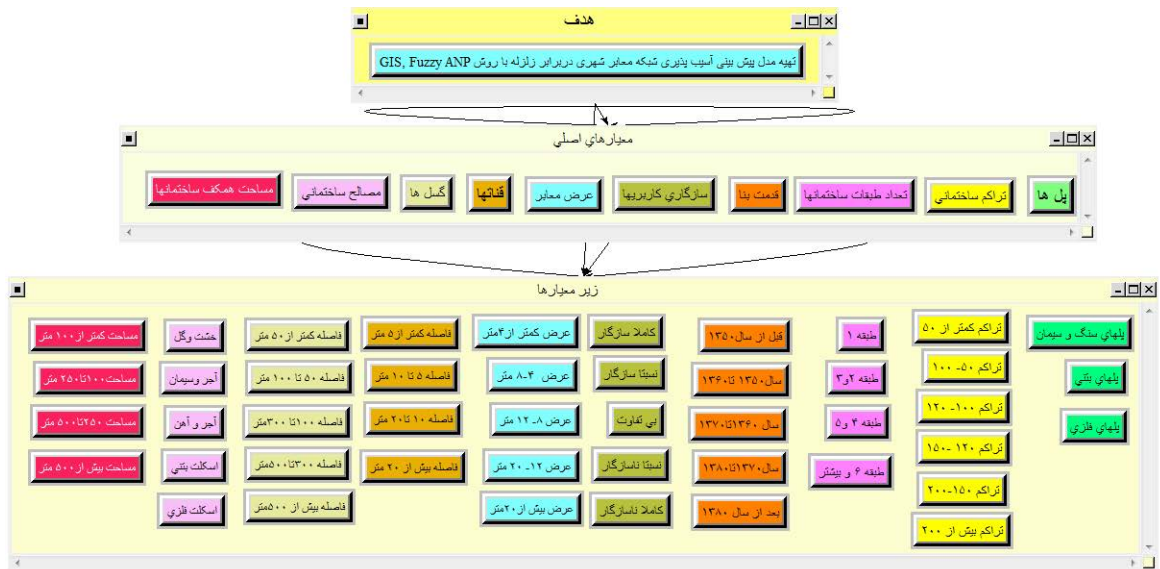
تعیین وزن مؤلفه‌ها با استفاده از مدل تحلیل شبکه‌ای در نرم‌افزار Super Decisions

برای تحلیل وزن معیارها و زیرمعیارها در مدل ANP که توسط کارشناسان خبره وزن‌دهی شده بودند از نرم‌افزار Super Decisions استفاده شد. تصویر ۲ نمودار خوشه‌ای معیارهای اصلی و زیرمعیارهای مؤثر در آسیب‌پذیری شبکه‌ی معابر شهر در ANP را نشان می‌دهد.

برخی از معیارها از اهمیت زیادی نسبت به دیگر معیارها برخوردارند و نقش تعیین‌کننده‌ای در آسیب‌پذیری شبکه‌ی



تصویر ۱: محدوده‌ی مورد مطالعه [نگارندگان، ۱۳۹۳]



تصویر ۲: نمودار خوشه‌ای معیارهای اصلی و زیرمعیارهای مؤثر در آسیب‌پذیری شبکه‌ی معابر شهر در ANP

۰/۱۶۲ برآورد گردیده است، که نشانگر سازگاری لازم در قضاوت‌ها است.

ارزیابی آسیب‌پذیری کلی

برای تهیه‌ی نقشه‌ی آسیب‌پذیری کلی شبکه‌ی معابر پیش از زلزله پس از آنکه وزن‌های معیارها با استفاده از روش ANP مورد محاسبه قرار گرفت، هرکدام از وزن‌ها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در لایه‌های مربوط اعمال شد. برای ترکیب تمامی لایه‌ها، برای تهیه‌ی نقشه‌ی کلی آسیب‌پذیری منطقه‌ی مورد مطالعه، مدل‌سازی در محیط GIS صورت گرفت و در نهایت نقشه‌ی آسیب‌پذیری کلی استخراج گردید (تصویر ۴).

ارتباطی دارند. با توجه به اینکه نقش و اهمیت هر یک از شاخص‌ها و مقایسه‌ی زوجی بین آن‌ها و تأثیر هر یک از معیارها و زیرمعیارها بر روی معیارها و زیرمعیارهای شاخص‌های دیگر با استفاده از روش ANP امکان‌پذیر است، می‌توان از این روش به‌منزله‌ی روش مناسبی برای مدل‌سازی و ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه‌ی ارتباطی شهر در برابر زلزله استفاده کرد. بر مبنای این روش هر یک از زیرمعیارها در شاخص‌های اصلی بر اساس اهمیتی که دارد، در یکی از گروه‌های آسیب‌پذیری قرار می‌گیرد. در فرایند تجزیه و تحلیل شبکه‌ی ANP، اندازه‌گیری مقادیر و اهمیت نسبی مانند فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی با مقایسه‌های زوجی و به کمک طیف ۱ تا ۹ انجام می‌شود. عدد ۱ نشان‌دهنده‌ی اهمیت یکسان بین دو عامل و عدد ۹ نشان‌دهنده‌ی اهمیت شدید یک عامل نسبت به عامل دیگر است. از جمع‌بندی ۴۰ پرسشنامه‌ای که کارشناسان خبره برای وزن‌دهی به معیارها و زیرمعیارها تکمیل کرده بودند، جدول ۱ حاصل گردید.

در جدول ۱ میزان آسیب‌پذیری هر یک از زیر معیارها در معیار اصلی مشخص شد. وزن هر یک از زیرمعیارهای در ANP تحلیل شد و برای هر یک از معیارهای اصلی لایه‌ای در محیط GIS تهیه شد و در نهایت وزن‌های معیارهای اصلی در ANP تحلیل شد تا با اعمال وزن‌های حاصل از ANP نقشه‌ی آسیب‌پذیری کلی تهیه گردد (تصویر ۳).

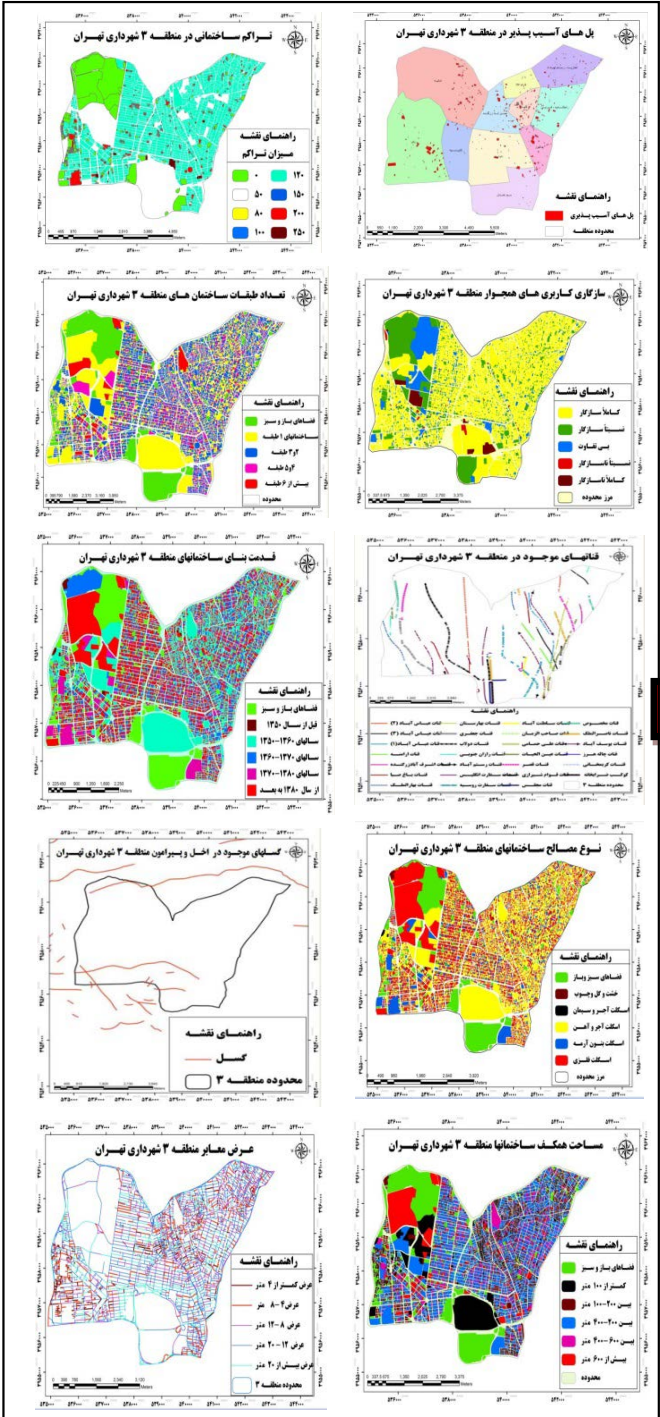
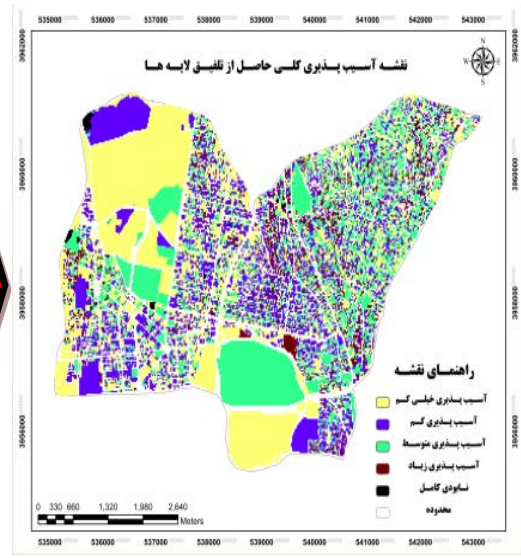
آنچه در محاسبه‌ی روش ANP دارای اهمیت است، بررسی میزان سازگاری آن است، این مکانیزم (سازوکار) نشان می‌دهد که تا چه اندازه می‌توان به اولویت‌های حاصل از اعضای گروه و یا اولویت‌های جداول ترکیب اعتماد کرد. در صورتی که CI کمتر از ۰/۱ باشد، باید با اعمال تغییراتی در ماتریس دوتایی، CI را در حد قابل قبول تنظیم کرد. به عبارت دیگر ماتریس مقایسه‌ی دودویی شاخص‌ها باید مجدداً تشکیل شود و سازگاری مقایسه‌ها مورد بررسی قرار گیرد. در تحقیق حاضر نرخ سازگاری با خطای



تصویر ۳: میزان سازگاری وزن معیارها و زیرمعیارها در ANP [نگارندگان، ۱۳۹۳]

جدول ۱: امتیازدهی و کدبندی به زیرمعیارها [نگارندگان، ۱۳۹۳]

عوامل و معیارهای اصلی	زیرمعیارها	آسیب پذیری خیلی کم ۱	آسیب پذیری کم ۳	آسیب پذیری متوسط ۵	آسیب پذیری زیاد ۷	آسیب پذیری خیلی زیاد ۹	عوامل و معیارهای اصلی	زیرمعیارها	آسیب پذیری خیلی کم ۱	آسیب پذیری کم ۳	آسیب پذیری متوسط ۵	آسیب پذیری زیاد ۷	آسیب پذیری خیلی زیاد ۹
پل‌ها	سنگ و سیمان						نوع مصالح	خشت و گل					
	پل‌های بتنی							آجر و سیمان					
	پل‌های فلزی							آجر و آهن					
	فاصله کمتر از ۵ متر							بتنی					
	فاصله ۵ تا ۱۰ متری							اسکلت فلزی					
مسیر قنات‌ها	فاصله ۱۰ تا ۲۰ متری						قدمت بنا	قبل از سال ۱۳۵۰					
	فاصله ۲۰ تا ۱۰۰ متری							۱۳۶۰ تا ۱۳۵۰					
	فاصله بیش از ۲۰ متری							۱۳۶۰ تا ۱۳۷۰					
	کمتر از ۵۰ متر							۱۳۷۰ تا ۱۳۸۰					
	بین ۵۰ تا ۱۰۰ متری							۱۳۸۰ تا ۱۳۷۰					
فاصله از گسل	بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ متری						مساحت همکف ساختمان‌ها	کمتر از ۱۰۰ متر					
	بین ۳۰۰ تا ۵۰۰ متری							۱۰۰ تا ۲۵۰ متر					
	بیش از ۵۰۰ متر							۲۵۰ تا ۵۰۰ متر					
	کاملاً سازگار							بیش از ۵۰۰ متر					
	نسبتاً سازگار							۱ طبقه					
سازگاری کاربری‌های شهری همجوار	بی تفاوت						تعداد طبقات	۲ و ۳ طبقه					
	نسبتاً ناسازگار							۴ و ۵ طبقه					
	کاملاً ناسازگار							۶ و بیشتر					
	کاملاً سازگار							تراکم کمتر از ۵۰					
	کمتر از ۴							تراکم ۵۰ تا ۱۰۰					
عرض معابر دسترسی	۸ تا ۴						تراکم ساختمانی	تراکم ۱۰۰ تا ۱۲۰					
	۱۲ تا ۸							تراکم ۱۲۰ تا ۱۵۰					
	۱۲ تا ۱۲							تراکم ۱۵۰ تا ۲۰۰					
								تراکم ۲۰۰ تا ۲۰۰					
								تراکم بیش از ۲۰۰					



تصویر ۴: نقشه‌ی آسیب‌پذیری کلی منطقه [نگارندگان، ۱۳۹۳]

فازی سازی نقشه‌ی آسیب‌پذیری کلی منطقه‌ی مورد مطالعه

معیارهای ارزیابی با معیارهای مختلف اندازه‌گیری ارائه می‌شوند، برای اینکه بتوان آن‌ها را به یک مقیاس مشترک تبدیل نمود، نیاز به استانداردسازی دارند [۳۱]. علاوه بر نظریه‌ی فازی چندین روش از جمله تابع انتقال مقیاس خطی، تابع مقدار و احتمالات تجدید نظر شونده می‌تواند برای استانداردسازی نتایج حاصل از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی مورد استفاده قرار گیرد [۲۶]. مجموعه‌های فازی انواع مختلفی چون سیگمونی‌دال، تابع

تخمین شاخص درجه‌ی آسیب‌پذیری منطقه‌ی مورد مطالعه

برای ارائه‌ی نقشه‌ی آسیب‌پذیری کلی منطقه‌ی مورد مطالعه در این پژوهش، پس از اینکه وزن معیارها در مدل ANP مورد تحلیل قرار گرفتند، برای ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه‌ی ارتباطی منطقه‌ی ۳ شهرداری تهران با سناریوهای مختلف زلزله، نقشه‌ی آسیب‌پذیری کلی فازی‌سازی شد و با سناریوهای مختلف زلزله مورد ارزیابی قرار گرفت.

آستانه‌ی خطی، S شکل و J شکل هستند. در پژوهش حاضر با توجه به اینکه با افزایش شدت زلزله در سناریوهای مختلف میزان آسیب پذیری شبکه‌ی ارتباطی شهر در برابر زلزله افزایش می‌یافته از تابع خطی زیر استفاده شده است:

$$F(x) = \sum w_i \mu(x_i) \quad \text{رابطه ی ۲:}$$

در این رابطه $F(x)$ برآورد نهایی خطر بر مبنای معیارهای آسیب پذیری مختلف است. w_i وزن هر یک از معیارهای ورودی به مدل ANP و $\mu(x_i)$ عضویت فازی هر یک از معیارها بر مبنای تابع خطی فازی است. لایه‌های اطلاعاتی فازی سازی شده از طریق اعمال ضرایب حاصل از مقایسه‌ی زوجی و وزن دهی شده ANP تلفیق شدند. نقشه‌ی آسیب پذیری کلی شبکه‌ی معابر منطقه استخراج گردید. نقشه‌ی آسیب پذیری کلی حاصل شده از تحلیل مدل ANP برای سناریو سازی باید استاندارد سازی (تنظیم داده‌های بین صفر و یک) شود. برای استاندارد سازی از فازی خطی استفاده شده است. نقشه‌ی فازی سازی شده از روش تحلیل ANP صرفاً برای نشان دادن میزان آسیب پذیری کلی شبکه‌ی معابر منطقه پیش از زلزله‌ی احتمالی است. نقشه‌ی آسیب پذیری کلی در واقع نقشه‌ی پایه است که سناریوهای زلزله در شدت‌های مختلف بر آن اعمال می‌شود. از این رو برای ارزیابی دقیق آسیب پذیری لازم است به طراحی سناریوهای زلزله در شدت‌های مختلف پرداخته شود.

مبنای طراحی سناریوهای زلزله

گسل‌های خطرناک و زلزله خیز در تهران و اطراف آن عبارتند از: گسل مشا (طول: ۲۰۰ کیلومتر)، گسل شمال تهران (طول: ۹۰ کیلومتر) و گسل جنوب ری (طول: ۲۰ کیلومتر). نزدیک ترین گسل زلزله خیز تهران به منطقه‌ی ۳ شهرداری تهران گسل شمال تهران است که در بخش شمالی شهر تهران قرار دارد. طول این گسل ۹۰ کیلومتر امتداد دارد. بخش باختری آن دور از شهر تهران است، اما بخش خاوری آن در محدوده‌ی شهر تهران قرار گرفته است که به منزله‌ی کانون زلزله انتخاب گردیده است. برای محاسبه‌ی بزرگی زلزله از روابط زیر استفاده شده است:

$$M = \log L/2 + 5.04 \quad \text{رابطه ی ۳ [۳۲]:}$$

M محاسبه‌ی بزرگی زلزله برحسب ریشتر و L طول گسل بر حسب Km است.

$$\text{رابطه ی ۴ [۳۳]:}$$

$$a = 1320 \exp(.58M) / (R+25)^{1.25}$$

در روابط بالا a شتاب حداکثر زمین برحسب سانتی متر بر مجذور ثانیه، R فاصله‌ی محل مورد نظر از گسل یا کانون زلزله برحسب کیلومتر و M بزرگی زمین لرزه برحسب ریشتر است. شتاب حداکثر زمین که با استفاده از روابط فوق به دست می‌آید، «شتاب افقی طرح» نامیده می‌شود و معمولاً برحسب g بیان می‌شود [۳۳]. نتایج محاسبه نشان می‌دهد که شدت زلزله‌ی احتمالی در منطقه‌ی ۳ شهرداری تهران به طور متوسط برابر با ۸ ریشتر است.

بر اساس محاسبات انجام شده، سناریوهای زلزله در منطقه‌ی ۳ شهرداری تهران در سه درجه‌ی ۶، ۷ و ۸ ریشتر طراحی شد. به این علت که محیط‌های شهری و روستایی معمولاً در زلزله‌های با شدت ۵ ریشتر آسیب نمی‌بینند. در این پژوهش ۶ مرکالی اصلاح شده مبنای طراحی سناریو قرار گرفته است. آخرین سناریوی طراحی شده ۸ مرکالی اصلاح شده است که نهایت شدت لرزه خیزی گسل‌های منطقه‌ی مورد مطالعه است.

طراحی سناریوهای زلزله برای ارزیابی آسیب پذیری در برابر شدت‌های مختلف زلزله

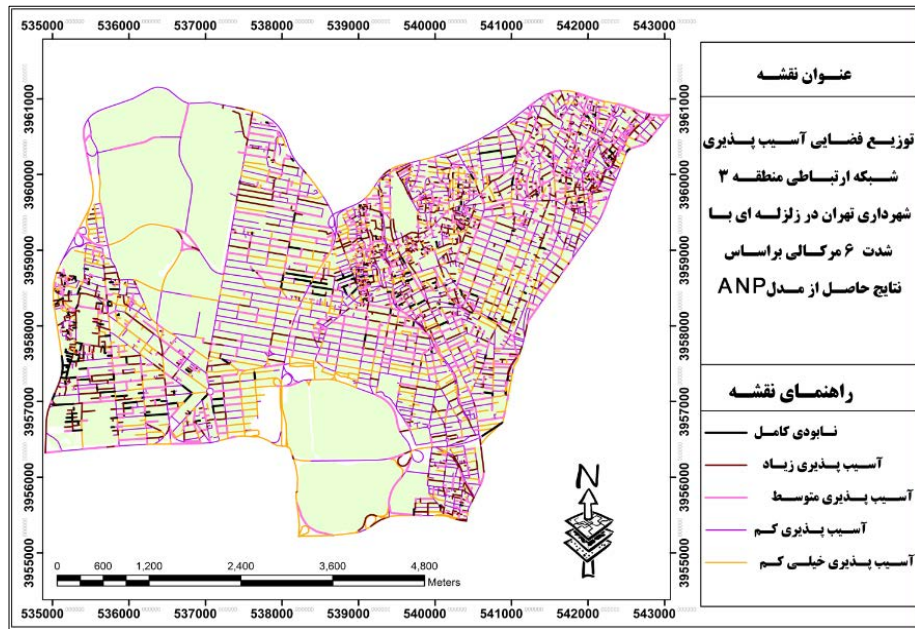
برای ارزیابی دقیق تر میزان آسیب پذیری منطقه لازم است تا با استفاده از روش‌های موجود از جمله روش تخمین شاخص متوسط درجه‌ی آسیب (μ_p) به طراحی سناریوهای زلزله با شدت‌های مختلف پرداخت. با استفاده از این شاخص، سناریوهای زلزله برای شدت‌های مختلف مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. به عبارت ساده‌تر برای درجه بندی میزان آسیب شبکه‌ی معابر شهری در شدت‌های مختلف زلزله‌های احتمالی، باید به ارزیابی شبکه‌ی معابر موجود در منطقه با شدت‌های مختلف زلزله پرداخت. تا از این طریق میزان آسیب وارده به هر یک از معابر شهری را مورد ارزیابی قرار داد. به منظور ارزیابی میزان آسیب پذیری شبکه‌ی معابر از رابطه‌ی زیر استفاده شده است [۱۶].

برای سنجش میزان آسیب پذیری با شدت‌های مختلف، ابتدا به طراحی سناریوی زلزله با شدت ۶ مرکالی پرداخته شده است (تصویر ۵).

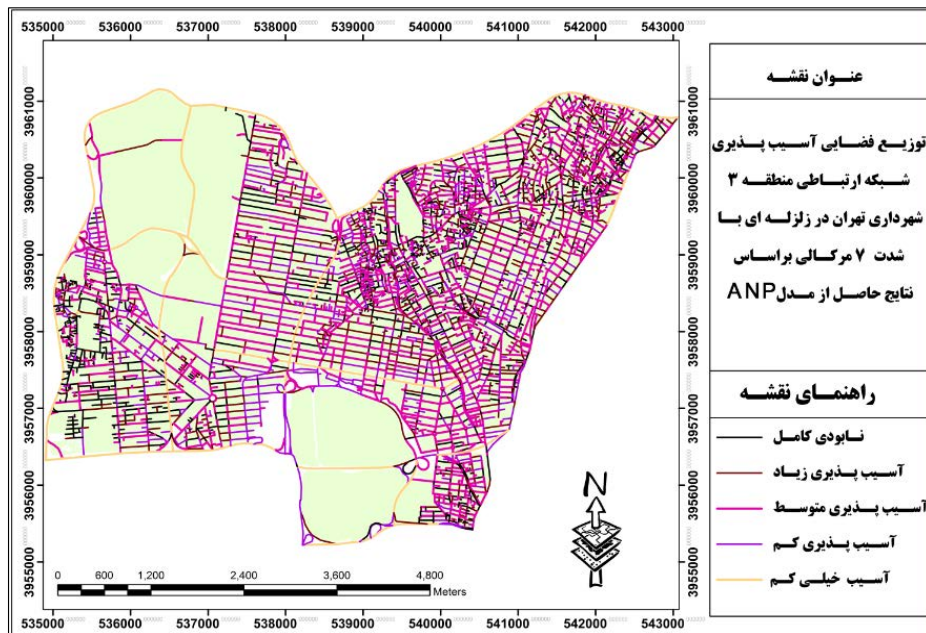
بر اساس داده‌های جدول ۲ آسیب پذیری شبکه‌ی معابر منطقه‌ی ۳ شهرداری تهران در زلزله‌ی با شدت ۶ مرکالی اصلاح شده، نشانگر آن است که ۰/۰۶ درصد شبکه‌ی معابر با آسیب پذیری خیلی زیادی مواجه می‌شوند. بیشترین تعداد این شبکه‌ی معابر در ناحیه‌ی ۱ شهرداری منطقه در قسمت غربی و جنوب غربی محله‌ی ده ونک، در ناحیه‌ی ۶ شهرداری منطقه در قسمت‌های شرقی محله‌ی کاووسیه و در ناحیه ۲ شهرداری منطقه در قسمت‌های مرکزی محله‌ی حسن‌آباد و زرگنده قرار دارند. ۰/۲۳ درصد شبکه‌ی معابر منطقه در طبقه‌ی دوم در دامنه‌ی آسیب پذیر زیاد قرار دارند. بیشترین تعداد این شبکه‌ی معابر در ناحیه‌ی ۱ شهرداری منطقه با ۰/۲۵ در قسمت غربی محله‌ی ده ونک، در ناحیه‌ی ۵ شهرداری منطقه با ۰/۲۴ در قسمت مرکزی محله‌ی قلهک، و در ناحیه‌ی ۳ شهرداری منطقه با ۰/۲۲ در قسمت‌های شرقی محله‌ی اختیاریه و رستم‌آباد است و کمترین شبکه‌ی معابر با دامنه‌ی آسیب پذیری خیلی زیاد در ناحیه‌ی ۶ با ۰/۱۶ قرار دارند. ۰/۱۹ درصد شبکه‌ی معابر در دامنه‌ی آسیب پذیری متوسط قرار دارند که بیشترین تعداد این شبکه‌ی معابر در ناحیه‌ی ۲ شهرداری منطقه در قسمت‌های مرکزی محله‌ی حسن‌آباد و زرگنده و در قسمت جنوبی درب دوم قرار دارند. ۰/۱۷ درصد معابر شهری با آسیب پذیری خیلی کم مواجه می‌شوند که بیشترین تعداد این شبکه‌ی معابر با ۰/۳۰ در ناحیه‌ی ۶ شهرداری منطقه در قسمت‌های شمال و غرب محله‌ی کاووسیه قرار دارند (تصویر ۶).

جدول ۲: توزیع آماری آسیب وارده به شبکه‌ی ارتباطی منطقه‌ی ۳ شهرداری تهران در زلزله‌ی با ۶ مرکالی [نگارندگان، ۱۳۹۳]

توزیع فضایی آسیب پذیری معابر در زلزله‌ای با شدت ۶ مرکالی	ناحیه‌ی ۱		ناحیه‌ی ۲		ناحیه‌ی ۳		ناحیه‌ی ۴		ناحیه‌ی ۵		ناحیه‌ی ۶		کل منطقه	
	تعداد معابر	درصد در ناحیه	تعداد معابر	درصد در ناحیه	تعداد معابر	درصد در ناحیه	تعداد معابر	درصد در ناحیه	تعداد معابر	درصد در ناحیه	تعداد معابر	درصد در ناحیه		تعداد معابر
نابودی کامل	۲۴	۰/۱۴	۱۵	۰/۰۶	۵	۰/۰۲	۲	۰/۰۳	۱۱	۰/۰۵	۳	۰/۰۸	۶۰	۰/۰۶
آسیب پذیری زیاد	۴۳	۰/۲۵	۵۳	۰/۲۱	۵۳	۰/۲۲	۱۴	۰/۱۸	۵۶	۰/۲۴	۶	۰/۱۶	۲۲۵	۰/۲۳
آسیب پذیری متوسط	۲۸	۰/۱۷	۵۴	۰/۲۲	۴۵	۰/۱۹	۱۲	۰/۱۵	۴۷	۰/۲۰	۵	۰/۱۲	۱۹۱	۰/۱۹
آسیب پذیری کم	۵۲	۰/۳۱	۸۳	۰/۳۳	۱۰۰	۰/۴۲	۳۷	۰/۴۷	۸۴	۰/۳۶	۱۳	۰/۳۴	۳۶۹	۰/۳۵
آسیب پذیری خیلی کم	۲۲	۰/۱۳	۴۶	۰/۱۸	۳۷	۰/۱۵	۱۳	۰/۱۷	۳۶	۰/۱۵	۱۲	۰/۳۰	۱۶۶	۰/۱۷
مجموعه	۱۶۹	۰/۱۷	۲۵۱	۰/۲۵	۲۴۰	۰/۲۳	۷۸	۰/۰۸	۲۳۴	۰/۲۳	۳۹	۰/۰۹	۱۰۱	۱/۰۰



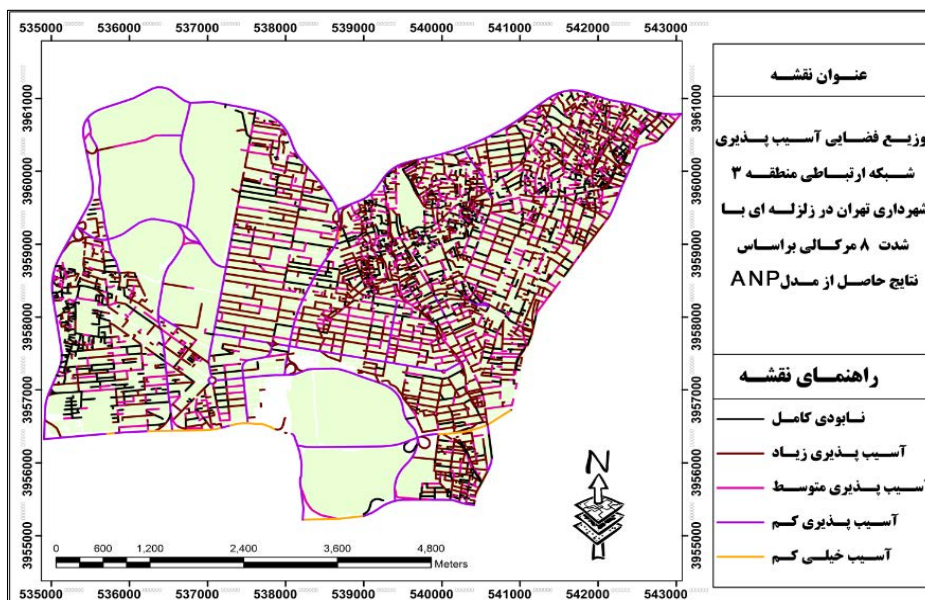
تصویر ۵: نقشه‌ی آسیب وارده به شبکه‌ی ارتباطی منطقه‌ی ۳ شهرداری تهران در زلزله‌ی با ۶ مرکالی



تصویر ۶: نقشه‌ی آسیب وارده به شبکه‌ی ارتباطی منطقه‌ی ۳ شهرداری تهران در زلزله‌ی با ۷ مرکالی [نگارندگان، ۱۳۹۳]

جدول ۳: توزیع آماری آسیب وارده به شبکه‌ی ارتباطی منطقه‌ی ۳ شهرداری تهران در زلزله‌ی با ۷ مرکالی [نگارندگان، ۱۳۹۳]

توزیع فضایی آسیب پذیری معیار در زلزله‌ای با شدت ۷ مرکالی	ناحیه‌ی ۱		ناحیه‌ی ۲		ناحیه‌ی ۳		ناحیه‌ی ۴		ناحیه‌ی ۵		کل منطقه	
	تعداد	درصد در ناحیه	تعداد	درصد در ناحیه	تعداد	درصد در ناحیه	تعداد	درصد در ناحیه	تعداد	درصد در ناحیه	تعداد	درصد در منطقه
نابودی کامل	۴۲	۰/۲۵	۴۳	۰/۱۶	۳۷	۰/۱۵	۹	۰/۱۱	۳۰	۰/۱۳	۳	۰/۰۸
آسیب پذیری زیاد	۷۸	۰/۴۶	۱۳۴	۰/۵۲	۱۳۲	۰/۵۵	۳۴	۰/۴۴	۱۴۲	۰/۶۱	۲۰	۰/۵۲
آسیب پذیری متوسط	۳۲	۰/۱۹	۵۱	۰/۲۰	۵۱	۰/۲۱	۲۶	۰/۳۴	۴۱	۰/۱۷	۸	۰/۲۰
آسیب پذیری کم	۱۳	۰/۰۸	۱۹	۰/۰۷	۲۰	۰/۰۹	۹	۰/۱۱	۲۱	۰/۰۹	۸	۰/۲۰
آسیب پذیری خیلی کم	۴	۰/۰۲	۴	۰/۰۵	-	-	-	-	-	-	-	-
مجموعه	۱۶۹	۰/۱۷	۲۵۱	۰/۲۵	۲۴۰	۰/۲۳	۷۸	۰/۰۸	۲۳۴	۰/۲۳	۳۹	۰/۰۹



تصویر ۷: نقشه‌ی آسیب وارده به شبکه‌ی ارتباطی منطقه‌ی ۳ شهرداری تهران در زلزله‌ی با ۸ مرکالی [نگارندگان، ۱۳۹۳]

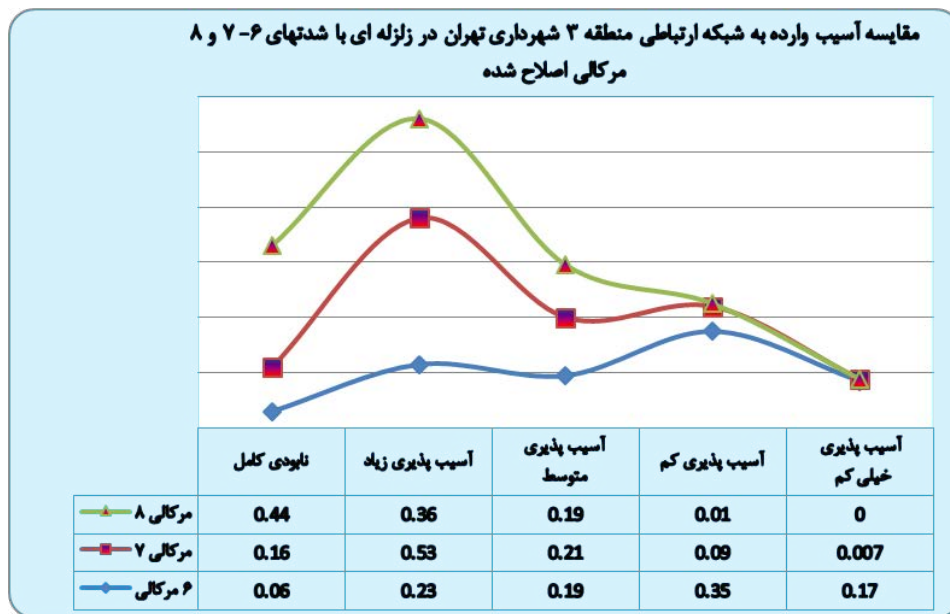
توزیع آماری جدول ۴ نشان می‌دهد که با افزایش شدت زلزله از ۷ مرکالی به ۸ مرکالی، شدت تخریب بسیار بالا می‌رود، به طوری که هیچ یک از معابر منطقه در دامنه‌ی آسیب پذیری خیلی کم قرار ندارند. فقط ۰/۰۱ شبکه‌ی معابر در طبقه‌ی آسیب پذیری کم قرار گرفته‌اند. ۰/۱۹ درصد شبکه‌ی معابر منطقه در دامنه‌ی آسیب پذیری متوسط قرار گرفته‌اند. ۰/۳۶ شبکه‌ی معابر منطقه در دامنه‌ی آسیب پذیری زیاد قرار دارد که به ترتیب در نواحی ۴، ۳، ۵ هستند. بیشترین تعداد این شبکه‌ی معابر در ناحیه‌ی ۴ شهرداری منطقه با ۰/۴۸ در قسمت‌های جنوبی محله‌ی سیدخندان و نیز در قسمت شمالی محله‌ی داودیه قرار دارند. ۰/۴۴ درصد شبکه‌ی معابر در دامنه‌ی نابودی کامل قرار دارند که به ترتیب در نواحی ۶، ۱، ۲، ۵، ۳ و ۴ واقع شده‌اند. بیشترین تعداد معابر آسیب پذیر در ناحیه‌ی ۶ شهرداری منطقه در قسمت جنوبی محله‌ی کاووسیه، در ناحیه‌ی ۱ در قسمت غربی محله‌ی ده ونک، در ناحیه‌ی ۲ در قسمت مرکزی محله‌ی حسن آباد و زرگنده و نیز در قسمت جنوبی محله‌ی درب دوم قرار دارند. کمترین معابر آسیب دیده در ناحیه‌ی ۴ شهرداری در قسمت غربی محله‌ی سیدخندان و نیز در قسمت مرکزی محله‌ی داودیه قرار دارند.

ارزیابی آسیب وارده به شبکه‌ی معابر منطقه در شدت‌های مختلف زلزله زمانی واضح تر است که بتوان تعداد معابر آسیب دیده

جدول ۳ حاکی از آن است که با افزایش شدت زلزله از ۶ به ۷ مرکالی، میزان آسیب پذیری بالا رفته و برخی از شبکه‌ی معابر مقاومت خود را از دست داده و در دامنه‌ی آسیب بالاتر قرار گرفته‌اند. نتایج جدول نشان می‌دهد که ۱۶ درصد شبکه‌ی معابر منطقه در دامنه‌ی نابودی کامل قرار دارند، که بیشترین تعداد این شبکه‌ی معابر در ناحیه‌ی ۱ شهرداری منطقه با ۰/۲۵ در قسمت غربی ده ونک، ۰/۱۶ در ناحیه‌ی ۲ شهرداری منطقه در قسمت مرکزی محله‌ی حسن آباد و زرگنده است. آنچه در نقشه‌ی سناریوی زلزله با شدت ۷ مرکالی اصلاح شده بیشتر نمود پیدا کرده است، افزایش ۰/۵۳ درصدی تعداد معابر آسیب پذیر در دامنه‌ی آسیب پذیری زیاد است که بیشترین تعداد این شبکه‌ی معابر در ناحیه‌ی ۵ شهرداری منطقه با ۰/۶۱ در قسمت شمال غربی محله‌ی احتشامیه و نیز در قسمت مرکزی محله‌ی قلهک، ۰/۵۵ در ناحیه‌ی ۳ شهرداری منطقه در قسمت شمال شرقی و غرب محله‌ی اختیاریه و رستم آباد، ۰/۵۲ در ناحیه‌ی ۲ شهرداری منطقه در قسمت مرکزی محله‌ی حسن آباد و زرگنده قرار دارند. ۰/۰۰۷ درصد معابر شهری با آسیب پذیری خیلی کم مواجه می‌شوند که بیشترین تعداد این شبکه‌ی معابر در ناحیه‌ی ۲ شهرداری منطقه در قسمت‌های شرقی محله‌ی امانیه واقع شده‌اند (تصویر ۷).

جدول ۴: توزیع آماری آسیب وارده به شبکه‌ی ارتباطی منطقه‌ی ۳ شهرداری تهران در زلزله‌ی با ۸ مرکالی [نگارندگان، ۱۳۹۳]

توزیع فضایی آسیب پذیری معابر در زلزله‌ای با شدت ۸ مرکالی	ناحیه‌ی ۱		ناحیه‌ی ۲		ناحیه‌ی ۳		ناحیه‌ی ۴		ناحیه‌ی ۵		ناحیه‌ی ۶		کل منطقه	
	تعداد معابر	درصد در ناحیه	تعداد معابر	درصد در ناحیه	تعداد معابر	درصد در ناحیه	تعداد معابر	درصد در ناحیه	تعداد معابر	درصد در ناحیه	تعداد معابر	درصد در ناحیه	تعداد معابر	درصد در منطقه
نابودی کامل	۸۸	۰/۵۲	۱۱۳	۰/۴۵	۹۵	۰/۴۰	۲۹	۰/۳۷	۱۰۳	۰/۴۴	۲۱	۰/۵۴	۴۴۹	۰/۴۴
آسیب پذیری زیاد	۴۷	۰/۲۸	۸۱	۰/۳۲	۱۰۰	۰/۴۱	۳۷	۰/۴۸	۸۴	۰/۳۶	۱۳	۰/۳۳	۳۶۲	۰/۳۶
آسیب پذیری متوسط	۲۶	۰/۱۵	۵۲	۰/۲۱	۴۵	۰/۱۹	۱۲	۰/۱۵	۴۷	۰/۲۰	۵	۰/۱۳	۱۸۷	۰/۱۹
آسیب پذیری کم	۷	۰/۰۴	۵	۰/۰۱	-	-	-	-	-	-	-	-	۱۲	۰/۰۱
آسیب پذیری خیلی کم	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
مجموعه	۱۶۹	۰/۱۷	۲۵۱	۰/۲۵	۲۴۰	۰/۲۳	۷۸	۰/۰۸	۲۳۴	۰/۲۳	۳۹	۰/۰۹	۱۰۱۱	۱۰۰



تصویر ۸: نمودار مقایسه‌ی آسیب وارده به شبکه‌ی ارتباطی در زلزله‌ی با شدتهای ۶، ۷ و ۸ مرکالی [نگارندگان، ۱۳۹۳]

میزان آسیب پذیری در دو دامنه‌ی تخریب کامل و آسیب پذیری زیاد است. بر این اساس در صورت مواجهه با زلزله‌ی ۸ مرکالی، ۰/۴۴ درصد شبکه‌ی معابر منطقه به صورت کامل تخریب خواهد شد. ۰/۳۶ درصد شبکه‌ی معابر منطقه آسیب بسیار سنگین خواهند دید. ۰/۱۹ درصد شبکه‌ی معابر منطقه با آسیب متوسط روبه‌رو خواهند شد. ۰/۰۱ درصد شبکه‌ی معابر منطقه دارای آسیب کم یا جزئی است که بیشتر این گروه از شبکه‌ی معابر منطقه در شمال بزرگراه شهید چمران، بزرگراه شهید مدرس و بزرگراه آیت‌الله صدر و در شرق خیابان پاسداران و خیابان شریعتی و در جنوب بزرگراه رسالت و بزرگراه همت و در غرب بزرگراه شهید چمران است.

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه عوامل متعددی بر موضوعات مکانی تأثیر می‌گذارد، استفاده از روش‌های تحلیل چند معیاره در تلفیق GIS می‌تواند ابزار قدرتمندی برای یکپارچه کردن اطلاعات با ساختارهای متفاوت و تصمیم‌گیری در این حیطه باشد. در پژوهش حاضر ۱۰ مؤلفه‌ی مهم و مؤثر در آسیب پذیری شبکه‌ی ارتباطی شهر با توجه به خصوصیات منطقه‌ی مورد مطالعه در

در سناریوهای طراحی شده با شدتهای مختلف زلزله را بیان کرد؛ به طوری که در شدتهای مختلف زلزله چه تعداد و چند درصد از شبکه‌ی معابر منطقه آسیب می‌بینند و در کدام دامنه‌ی آسیب پذیری قرار می‌گیرند (تصویر ۸).

سناریوهای طراحی شده‌ی زلزله در شدتهای مختلف در تصویر ۸ نشان می‌دهد که در شدت ۶ مرکالی اصلاح شده، دو دامنه‌ی آسیب پذیری خیلی کم و آسیب پذیری کم بیشترین فراوانی را دارد؛ به طوری که هر چه دامنه‌ی آسیب پذیری بالاتر رود نمودار میزان آسیب پذیری حالت نزولی به خود می‌گیرد. توزیع آماری میزان آسیب پذیری در زلزله‌ی ۶ مرکالی نشان می‌دهد که از دامنه‌ی آسیب پذیری متوسط به بعد میزان آسیب پذیری کاهش می‌یابد؛ این امر بیشتر به علت شدت پایین زلزله است. در شدت ۶ مرکالی اصلاح شده اکثراً معابری که عرضی کمتر از ۴ متر دارند و در میان بافت‌های فرسوده قرار گرفته‌اند در دو دامنه‌ی آسیب پذیری زیاد و نابودی کامل قرار گرفته‌اند. با افزایش شدت زلزله به ۷ مرکالی، میزان آسیب پذیری در دو دامنه‌ی آسیب پذیری زیاد و نابودی کامل به ترتیب ۰/۵۳ و ۰/۱۶ درصد افزایش می‌یابد. نمودار آسیب پذیری در شدت ۸ مرکالی حاکی از افزایش صعودی نمودار

ترکیب با هم در محیط GIS برای برآورد میزان آسیب پذیری ناشی از زلزله‌ی احتمالی مورد توجه قرار گرفت و نهایتاً نقشه‌ی آسیب پذیری شبکه‌ی معابر تهیه گردید. فازی سازی نقشه که پاسخی به عدم قطعیت‌ها و ابهامات موجود در عوامل و مسائل مربوط به آسیب پذیری است، کمک می‌کند که تئوری و واقعیت هر چه بیشتر به هم نزدیک شوند. طراحی سناریوهای زلزله در شدت‌های مختلف، در واقع شبیه سازی زلزله‌های احتمالی در شدت‌های مختلف است. نوآوری اصلی این پژوهش ارائه‌ی مدلی برای پیش بینی میزان آسیب پذیری شبکه‌ی ارتباطی شهر با استفاده از مدل Fuzzy ANP و GIS است. فرایند تحلیل شبکه‌ای ANP یکی از فن‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که در آن ساختار شبکه‌ای، جانشین ساختار سلسله مراتبی شده است که قادر است وزن معیارها را در ارتباط با هم به صورت شبکه‌ای ارزیابی کند. توانمندی این مدل در ارزیابی وزن معیارها به همراه توان بالای (GIS)، در تلفیق چند متغیره و امکان سناریوسازی، ارزیابی زلزله‌ی احتمالی در شدت‌های مختلف را امکان پذیر نموده است. چنان‌که در پژوهش حاضر با استفاده از ۱۰ معیار اصلی با زیرمعیارهای مؤثر در آسیب پذیری شبکه‌ی معابر شهر در سناریوهای مختلف زلزله، پهنه‌هایی از شبکه‌ی معابر شهر که پس از زلزله با بیشترین حجم تخریب روبه‌رو است، شناسایی شد. نتایج نقشه‌ی آسیب پذیری حاصل از وزن‌گذاری شاخص‌ها و طراحی سناریوهای زلزله در شدت‌های ۶، ۷ و ۸ مرکالی اصلاح شده نشان می‌دهد که:

میزان آسیب وارده به شبکه‌ی معابر شهری، در سناریوی ۶ مرکالی اصلاح شده نشان می‌دهد بیشترین تعداد شبکه‌ی معابر با آسیب پذیری خیلی زیاد در محله‌های ده ونک، قسمت‌های شرقی محله‌ی کاووسیه، حسن‌آباد و زرگنده؛ با دامنه‌ی آسیب پذیری زیاد در محله‌های ده ونک، قلهک، اختیاریه و رستم‌آباد؛ با دامنه‌ی آسیب پذیری متوسط محله‌های حسن‌آباد و زرگنده و قسمت جنوبی محله‌ی درب دوم و با دامنه‌ی آسیب پذیری کم و خیلی کم در ناحیه‌ی ۶ در قسمت‌های شمال و غرب محله‌ی کاووسیه قرار دارند. میزان آسیب وارده به شبکه‌ی معابر شهری، در سناریوی ۷ مرکالی اصلاح شده نشان می‌دهد که بیشترین تعداد شبکه‌ی معابر منطقه با دامنه‌ی نابودی کامل در ناحیه‌ی ۱ در قسمت غربی ده ونک، در ناحیه‌ی ۲ در قسمت مرکزی محله‌ی حسن‌آباد و زرگنده؛ با دامنه‌ی آسیب پذیری زیاد در ناحیه‌ی ۵ در قسمت شمال غربی محله‌ی احتشامیه و نیز در قسمت مرکزی محله‌ی قلهک، در ناحیه‌ی ۲ در قسمت مرکزی محله‌ی حسن‌آباد و زرگنده و با دامنه‌ی آسیب پذیری کم و خیلی کم در ناحیه‌ی ۲ در قسمت‌های شرقی محله‌ی امانیه قرار دارند. میزان آسیب وارده به شبکه‌ی معابر شهری، در سناریوی ۸ مرکالی اصلاح شده نشان می‌دهد که تعداد کمی از معابر آسیب پذیر در سه دامنه‌ی آسیب پذیری خیلی کم، کم و متوسط قرار گرفته‌اند. کمترین معابر آسیب دیده در ناحیه‌ی ۴ در قسمت غربی محله‌ی سیدخندان و نیز در قسمت مرکزی محله‌ی داودیه قرار دارند. بیشترین تعداد شبکه‌ی معابر که در طبقه‌ی آسیب پذیری زیاد قرار دارد به

ترتیب در نواحی ۴، ۳ و ۵ هستند. بیشترین تعداد شبکه‌ی معابر در دامنه‌ی نابودی کامل به ترتیب در نواحی ۶، ۲، ۵، ۳ و ۴ قرار گرفته‌اند که بیشترین تعداد این معابر در محله‌های کاووسیه، ده ونک، حسن‌آباد، زرگنده و درب دوم قرار دارند. با وجود اینکه می‌توان با تهیه‌ی نقشه‌های آسیب پذیری شبکه‌ی معابر شهر در برابر بحران‌های طبیعی و مصنوعی بخش مهمی از تلفات پس از بحران را کاهش داد، اما تا زمانی که عزم جدی مسئولین برای ایجاد بانک اطلاعاتی (ساختمان‌ها، تأسیسات، پل‌ها، معابر، گاز، برق، آب....) و تشویق فعالیت‌های پژوهشی در راستای کاهش خطرپذیری ناشی از بحران‌ها نباشد، این امر محقق نخواهد شد.

پی‌نوشت

1. Analytic Network Process
2. Chang and Nojima
3. Tsukaguchi and Li Y
4. Minami
5. Lee and Yeh
6. Pho Tanh Tung
7. ArsIk and salman
8. Biophysical Vulnerability
9. Social construction of Vulnerability Synthetic approach
10. Synthetic approach of Vulnerability
11. Thematic map

منابع

۱. کریمی صالح، محمد جعفر (۱۳۸۵). برنامه‌ریزی شهری در مقابله با سوانح طبیعی. اولین همایش مقابله با سوانح طبیعی، دانشکده فنی دانشگاه تهران، ص ۱۹۷.
2. Lantada, N., Pujades, L., & Barbat, A. (2009). Vulnerability Index and Spectrum Based Method for Urban Seismic Risk Evaluation. Journal of Nathazards, DOI 10.007/s11069-007-9212-4.
۳. آزادبخوه، امین؛ پورکرمانی، محسن؛ رادفر، شهباز (۱۳۸۸). لرزه زمین‌ساخت منطقه‌ی معدنی سنگ آهن گل‌گهر سیرجان. فصلنامه‌ی زمین‌شناسی کاربردی، شماره‌ی ۳، ۱۹۳، ۲۰۵.
۴. اهری، زهرا (۱۳۷۵). تحلیل و برنامه‌ریزی فضایی. مکانی سکونتگاه‌ها برای کاهش خطر زلزله. بنیاد مسکن انقلاب اسلامی.
5. National report of the Islamic republic of Iran on disaster reduction. (2005). World Conference on Disaster Reduction. Kobe, Hyogo, Japan.
6. Van Westen, C. (2006). Geoinformation Sciene Earth Observation for municipal risk management; The SLARLM project. International Institute for Geoinformation Science and Earth Obsevation, ITC, P.O. Box 6, 7500 AA Ensched, The Netherlands.
۷. شیعه، اسماعیل؛ حبیبی، کیومرث؛ ترابی، کمال (۱۳۸۹). بهار). بررسی آسیب‌پذیری شبکه‌های ارتباطی شهرها در مقابل زلزله با استفاده از روش IHWP و GIS. باغ نظر، شماره‌ی ۷.
8. Yung-Lung, L., Ming-Chin, H., Tsung-Cheng, H., & Cheng-An, T., (November 27~29, 2007). Urban Disaster Prevention Shelter Vulnerability Evaluation Considering Road Network Characteristics. Nd

مخاطرات محیطی و استخراج مؤلفه‌های تأثیرگذار در آن با استفاده از روش کپو. فصلنامه‌ی علمی و پژوهشی مدیریت بحران، ویژه‌نامه‌ی هفته‌ی پدافند غیرعامل، ۱-۱۸.

22. Yamin, F., Rahman, & A., Huq, S. (2005, October). Vulnerability, Adaptation and Climate Disasters: A Conceptual overview; IDS Institute of Development Studies Bulletin, Vol.36, No. 4.
23. Ford, J. (2002). Vulnerability: Concepts and issues; A literature Review of the Concept of Vulnerability, its Definition and Application in Studies Dealing With Human- Environment Interactions; part of PHD Scholarly Field Paper For course Geog*6100, University of Guelph.
24. Wisner, B. (2005). Tracking Vulnerability: History, Use, Potential and Limitations of a Concept, Invited Keynote Address.
25. SIDA & Stockholm University, Research Conference, January 12-14.
26. Boughton, G. (1998). The community: central to emergency risk management, Australian Journal of Emergency Management.
27. Stonich, S. (2000). The human dimensions of climate change: The political ecology of vulnerability, <http://www.isodarco.it/courses/candriai01/paper/candriai01stonich.html>.
28. M García-Melón, J Ferris-Oñate, J Aznar-Bellver, P Aragonés-Beltrán. Farmland appraisal based on the analytic network process. Journal of Global Optimization, 42 (2), 143 - 155.
۲۹. فرهودی، رحمت‌الله؛ حبیبی، کیومرث؛ زندی بختیاری، پروانه (۱۳۸۴)، پاییز). مکان‌یابی محل دفن مواد زائد جامد شهری با استفاده از منطق فازی (Fuzzy Logic) در محیط GIS (مطالعه‌ی موردی: شهر سنندج). نشریه‌ی هنرهای زیبا، شماره‌ی ۲۳.
۳۰. مهندسین مشاور شاران (۱۳۸۵). خلاصه‌ی گزارش طرح تفصیلی منطقه‌ی ۳. مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران (نهاد مشترک مسئول تهیه‌ی طرح‌های جامع و تفصیلی شهر تهران).
31. Rashed, K., & Weeks, J. (2003). Assessing vulnerability to earthquake hazards through spatial multicriteria analysis of urban areas. International Journal of Geographic Information Science. Vol, 17, no. 6: 547-576.
32. Campbell, K.W. (1981). Near source Attention of Peak Horizontal Acceleration, Bulletin, Seismological Society of America, 1981.
33. Mohajer Ashjai, A., & Nowroozi, A.A (1978). observed and probable intensity zoning of Iran Tectonophysics, Vol.49, 249-260.

International Conference on Urban Disaster Reduction.

9. Liu, Bin., & ET ai (2003, October). The Restoration Planning of Road Network in Earthquake Disasters, Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.4, 526 - 539.
10. Nojima, N., & Sugito, M., (2000). Simulation and Evaluation of Post-Earthquake Functional Performance of Transportation Network, 12 WCEE, 1927/7/A.
11. Chang, E., & Nojima, N. (1998). Measuring Lifeline System Performance: Highway Transportation Systems in Recent Earthquakes, Proc. of the 6th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Seattle, USA, 1998, Paper No.70, 12p
12. Tsukaguchi, H., & Li, Y. (1999). District and local distributor network to ensure disaster-resilient urban planning, Shanghai International Symposium on Urban Transportation Proceedings
13. Minami, Masaaki, & et al. (2003). Street Network Planning For Disaster Prevention Against Street Blockade. Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.4, 1750 - 1756.
14. Lee Y. L., & Yeh, K. Y. (2003). Street network reliability evaluation following the Chi-chi earthquake, The Network Reliability of Transport. Proceedings of the st International Symposium on Transportation Network Reliability. INSTR. edited by Michael G.H. Bell and Yasunori Iida, 273 - 288.
15. Pho Tanh, Tung (2004). Road vulnerability assessment for earthquakes. at the end of the graduate
۱۶. باغ‌وند، اکبر، (۱۳۸۵، خرداد). بررسی علل تنزیل عملکرد شبکه حمل و نقل شهری پس از وقوع زلزله و راهکارهای مقابله با آن. دومین سمینار ساخت و ساز در پایتخت، (۱۰ الف -۴۵).
17. Samadzadegan, F., & Zarrinpanjeh, N. (2008). Earthquake Destruction Assessment of Urban Roads Network Using Satellite Imagery and Fuzzy Inference Systems. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B8. Beijing, 409-414.
18. ArsIk, i., & salman, s. (2013). Modeling Earthquake Vulnerability of Highway Networks. Electronic Notes in Discrete Mathematics 41 (2013) 319 - 326.
19. Milutinovic Zoran, V., & Trenda filoski Goran, S. (2003). an Advanced Approach to Earthquake Risk-Scenarios with Applications to Diffevent European Tows. RISK- UE- Evk.4-CT-2000- 00014.
20. Fischer, III., Henry, S., Charls, K., & Charles, J. (1996). Redusing Seismic Vulnerability in low to modarate risk areas. Disaster Prevention and Management. Vol 5.

۲۱. امینی ورکی، سعید؛ مدیر، مهدی؛ شمسایی زفرقندی، فتح‌اله؛ علی قنبری نسب (۱۳۹۳). شناسایی دیدگاه‌های حاکم بر آسیب‌پذیری شهرها در برابر