جغرافیا (فصلنامه علمی ـ پژوهشی و بین المللی انجمن جغرافیای ایران)
سال هفدهم، شماره ۶۰، بهار ۱۳۹۸

ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه معابر شهری در برابر زلزله‌های احتمالی (مطالعه موردی: منطقه ۶ شهر تهران)

علیرضا بهرامی[۱]، مهدی بهرامپور[۲]، علی یزدانی[۳]

تاریخ وصول: ۱۳۹۶/۱۲/۱۳، تاریخ تایید: ۱۳۹۸/۰۲/۱۲

چکیده

زلزله بشر را، درطول زمان، با خسارات جبران ناپذیری مواجه ساخته است. تصمیم گیرندگان همواره سعی در مدیریت بحران وچالش های ناشی از آن داشته اند. بنابرین ارزیابی آسیب پذیری مناطق شهری و برنامه‌ریزی برای کاهش این آسیب‌ها امری ضروری است. این پژوهش با هدف ارزیابی منطقه شهری در برابر زلزله و با رویکرد مدیریت بحران در منطقه ۶ تهران انجام گردید. بدین منظور پس از بررسی‌های لازم ۱۱ معیار درجه محصوریت، تراکم ساختمانی، کیفیت ابنیه، تراکم جمعیتی، مصالح واسکلت واحد ساختمانی، دسترسی به مراکز درمانی، عرض راه، ارتفاع ساختمان، کاربری زمین، بیشینه شتاب افقی زمین و قدمت ابنیه به روش دلفی ارزش گذاری شدند. بعد از آن به تحلیل شاخص ها با استفاده از مدل سلسله مراتبی معکوس IHWP پرداخته و در نرم‌افزار GIS، معیارها همپوشانی شدند. نتایج حاصل از نقشه آسیب‌پذیری منطقه به زلزله نشان داد که ۴٫۸ درصد منطقه در کلاس آسیب-پذیری خیلی کم، ۱۹ درصد در کلاس آسیب‌پذیریکم، ۴۶٫۲ درصد در کلاس آسیب‌پذیری متوسط، ۲۵٫۴ درصد در کلاس آسیب-پذیری امتیاز زیاد و ۴٫۶ درصد در کلاس آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار دارد. با توجه به نقشه آسیب پذیری منطقه ۶ می‌توانیم در یابیم که مناطقی که به شبکه ارتباطی با عرض بیشتر و توزیع تراکم ساختمانی کم باعث احتمال کم تخریب که اکثرا این منطقه در حاشیه منطقه و یا در شمال منطقه ۶ قرار دارند. معابر موجود در شمال منطقه نسبت به بقیه محدوده مورد مطالعه دارای آسیب پذیری کمتری هستند. با حرکت از سمت شمال به جنوب منطقه، بر میزان آسیب پذیری افزوده می‌شود.

کلیدواژگان: زلزله، مدیریت بحران، روش دلفی، IHWP، GIS.

۱- دانشجو کارشناسی ارشد، گروه شهرسازی، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۲- استادیار، گروه شهرسازی، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، نویسنده مسئول: mehdi.bahrampour@gmail.com.
۳- استادیار، گروه شهرسازی، واحد رباط کریم، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

مقدمه

وقوع بلایای طبیعی نظیر زلزله، سیل، طوفان و ... در اغلب موارد تاثیرات مخربی بر سکونتگاه‌های انسانی باقی می‌گذارند و تلفات سنگینی بر ساکنان آن‌ها وارد ساخته و ساختمان‌ها و زیرساخت‌های این گونه مناطق را نابود و عوارض اجتماعی و اقتصادی پردامنه‌ای بر جوامع و کشورها تحمیل می‌کنند. در مناطق شهری اثرات زیان‌بار معمولدر اثر وقوع سوانح طبیعی شامل تلفیقی از ویرانی‌های کالبدی و اخلال عملکرد عناصر شهری است. کشور ایران از جمله کشورهای آسیب پذیر از بلایای طبیعی و به ویژه زلزله است(اصغری زمانی و همکاران، ۱۳۹۵). با توجه به سرعت وقوع، قدرت تخریب بالا و عدم امکان پیش بینی وقوع زمین لرزه، مفهوم مدیریت ریسک در خصوص زمین لرزه با تاکید بر کاهش آسیب-پذیری سرمایه ها و با هدف کاهش ریسک زمین لرزه مورد توجه قرار می گیرد. در این رهیافت، توجه به آسیب‌پذیری، کالبدی شهر به عنوان مشهودترین شکل آسیب پذیری ناشی از زمین لرزه، قابل کنکاش است. شناخت علل آسیب پذیری و نحوه تاثیر پذیری شهر از رخداد زمین لرزه، وابسته به شناخت دقیق علل و نحوه آسیب پذیری هر یک از عناصر تشکیل دهنده کالبد شهر است. از میان عناصر مختلف کالبدی شهر، نحوه استفاده از زمین (کاربری)، بافت شهری، الگوی توزیع فضاهای باز، نحوه همجواری و مکانیابی تاسیسات و زیرساختهای شهری، و شبکه ارتباطی را می‌توان به عنوان اثرگذارترین عوامل مدنظر قرار داد(امینی و همکاران، ۱۳۸۹؛ حمیدی، ۱۳۷۱: ۲۱۷؛ عزیزی و اکبری، ۱۳۷۸: ۲۷؛ Kameda، ۲۰۰۰: ۲۸۲۹) در این میان، آسیبِ پذیری شبکه ارتباطی به عنوان یکی از کالبد شهری، به دلیل تاثیر مستقیمی که بر عملکرد عناصر کلیدی کالبد سایر عناصر شهری می گذارد، حائز اهمیت است. به عنوان مثال، چنانچه فضاهای باز در شهر بخوبی توزیع شده باشند، اما شبکه ارتباطی امکان دسترسی مطلوب به این فضاها را فراهم نسازد، مطلوبیت عملکرد این فضاها به شدت کاهش می یابد. تفسیری مشابه در خصوص مکان گزینی سایر کاربری های شهری از جمله کاربری های آموزشی که خطر پذیری و مکان گزینیِ این گروه از کاربری ها به شدت متاثر از ظرفیت و ایمنی معابر تغذیه‌کننده می باشد، قابل ارائه است. از سوی دیگر، شبکه ارتباطی در نحوه عملکرد و واکنش بافت شهری نسبت به زمین لرزه و همچنین ساختار فضایی-کالبدی شهر اثرگذار است. در بسیاری از موارد، توزیع فضایی عناصر شهری، بر اساس ساختار و ظرفیت شبکه ارتباطی انتظام می یابد. به عنوان عنصری مجرد، نقش شبکه ارتباطی در آسیب پذیری شهر در برابر زمین لرزه را میتوان با رجوع به مراحل مدیریت بحران در دو فاز ۱ –زمان وقوع و بالفاصله بعد از آن و ۲ –زمان بازگرداندن شهر به حالت عادی مورد نظر قرار داد. بر این اساس، در فاز اول، شبکه ارتباطی باید نقش های ذیل را با کیفیت مطلوب ایفا کند. کلانشهر در معرض خطر تهران با وسعتی بیش از ۷۰۰ کیلومتر مربع و جمعیتی بالغ بر ۸ میلیون نفر (جمعیت روز بالای ۱۱میلیون نفر) به زنجیره ای متشکل از طرح‌ها و برنامه های پیشگیرانه جهت مدیریت ریسک خطر پذیری و نهایتاً مدیریت بحران کارآمد نیازمند است. شهرها به طرق مختلف تحت تأثیر و مواجه با خطرات طبیعی هستند که اغلب پیشگیری از وقوع آنها (مخصوصاً زلزله) غیر ممکن می باشد. لذا برنامه ریزان و مدیران شهری بایستی در فاز پیش از بروز بحران راهکارهایی بهینه برای تخلیه اضطراری، نجات و امداد رسانی در مناطق شهری را پیش بینی نمایند و برای این امر شبکه راه های اضطراری ایمن جهت تخلیه اضطراری ساکنان مناطق سانحه دیده شناسایی شده و اقدامات لازم در راستای بهینه ساختن آنها صورت گیرد. شناخت شهر، شناسایی مسیرهای درون شهری و تعیین مناطق ایمن برای اسکان اضطراری به هنگام بروز سوانح و از همه مهمتر شناسایی و بهینه ساختن مسیرهای تخلیه اضطراری و ثبت این اطلاعات بر روی نقشه های مورد استفاده در ستاد مدیریت بحران از مهم ترین بخشهای طرح های تخلیه اضطراری در مناطق شهری در فاز پیش از بروز زلزله می باشد. (گنجه ای و همکاران، ۱۳۹۱). مدیریت بحران به دنبال برنامه ریزی ساماندهی و انجام اقداماتی برای کاهش اثرات زلزله بر انسان‌ها و محیط می‌باشد که شامل سه مرحله آمادگی در برابر زلزله، امداد رسانی در زمان زلزله و اقدامات پس از زلزله است. در هنگام بروز

زلزله و حوادث مشابه، مراکز امداد نجات در شهر هستند که وظایف امداد رسانی به حادثه دیدگان را در زمان لازم به عهده دارند. تجهیز مراکز امداد و توزیع عادلانه و متناسب با سرانه‌ها و استانداردها موجود یکی از اقدامات مدیریتی مهمی است، که با استفاده از آن می‌توان سیستم شهری را در برابر حوادث محافظت و نتایج زیان بار انسانی و مادی ناشی از بروز این حوادث را به حداقل کاهش داد(احمدی، ۱۳۷۶). شناخت شهر، شناسایی مسیرهای درون شهری و تعیین مناطق ایمن برای اسکان اضطراری به هنگام بروز سوانح و از همه مهمتر شناسایی و بهینه ساختن مسیرهای تخلیه اضطراری و ثبت این اطلاعات بر روی نقشه های مورد استفاده در ستاد مدیریت بحران از مهم ترین بخشهای طرح های تخلیه اضطراری در مناطق شهری در فاز پیش از بروز زلزله می باشد(گنجه‌ای و همکاران، ۱۳۹۱). از آن‌جایی که مکان یابی دارای ماهیت مکانی است، سامانه‌های اطلاعات مکانی به عنوان ابزار توانمند مدیریت و تحلیل داده‌های مکانی، محیط مناسبی برای نیل به اهداف فوق محسوب می‌شوند. از طرفی امروزه روش‌های تصمیم‌گیری متنوعی وجود دارند که در تشخیص صحیح و فراگیر کمک فراوانی به طرحان و تصمیم‌گیرندگان می‌نماید. اگر این روش‌ها در تحلیل‌های مکانی GIS به کار گرفته شوند، می‌توان به طور جامع‌تر و فراگیرتر از دانش افراد خبره در تحلیل‌ها استفاده نمود. استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری و دانش کارشناسی به افزایش توانایی GIS در کمک به اتخاذ تصمیمات مکانی خواهد انجامید (تیموری، ۱۳۸۳). در این پژوهش سعی بر آن است مسیرها و محدوده های آسیب پذیر و یا امن با توجه به معیارهای ذکرشده مشخص و کارایی شبکه‌های ارتباطی در منطقه ۶ تهران به هنگام بروز زلزله بررسی گردد.

مبانی نظری

آسیب پذیری[۱]

آسیب پذیری حدی که یک شخص، گروه یا ساختار اجتماعی – اقتصادی محتمل است که تحت تأثیر خطر قرار گیرد(با ظرفیت مقابله با خطر، پیش بینی و احیا بعد از آن در ارتباط است). باید توجه داشت که دانشمندان و مهندسان این واژه را تحت شرایط خاصی به کار می‌برند و آن ساختار کالبدی است(Bhatti,2005).

آسیب پذیری جوامع نسبت به بحران در سه مرحله تکامل پیدا می کند که عبارت اند از:

علل زمینه ای: دسته ای از عوامل ریشه دار جامعه به کمک هم باعث بروز و تثبیت آسیب پذیری می شود . این عوامل عبارتند از فقر، محدودیت دست یابی به منابع، جهان بینی، نظام اقتصادی و شرایط جامعه .

فشار های محرک: فشار های محرک عبارتند از فرایند های انتقال دهنده علل منفی، که جامعه را به سوی شرایط نا امن سوق می دهند . این فرایند ها ممکن است ناشی از کمبود خدمات اساسی و مشروط و یا ناشی از فشار های عظیم اجتماعی و سیاسی باشد، مانند کمبود سازمان های محلی، عدم آموزش و مهارت زندگی و تنش های عظیم انفجار جمعیت، توسعه بی رویه ی شهری و تخریب محیط زیست .

شرایط غیر ایمن: با وجود زمینه های آسیب پذیری به ویژه جمعیت و فقر که جوامع را به سوی خطر بحران سوق می دهند، شکنندگی و حساسیت محیط فیزیکی از عوامل اصلی بحران یا تشدید آن به حساب می آیند. بی ثباتی اقتصادی، ناپایداری درآمد و عدم امنیت شغلی مردم، از شرایط ناامنی اجتماعی است. برای مثال محل های نا مناسب اسکان و احداث ساختمان های خطرناک ناشی از توان اقتصادی پایین از عوامل بروز بحران می باشند. ناپایداری ساسی و شرایط بروز کودتا، حرکت های مردمی و انقلاب ها از شرایط نا امن محسوب می شوند.

وقتی شرایط آسیب پذیری شکل گرفت حوادث و سوانحی مانند زلزله، طوفان، سیل، فوران آتشفشان، خشکسالی، سقوط بهمن، جنگ، اختلافات داخلی و حوادث تکنولوژیک تبدیل به بحران های عظیم می گردند (بیرودیان،

---

۱ Vulnerability

. (۲۰:۱۳۸۵)

آسیب پذیری شهری میزان خسارتی است که در صورت بروز سانحه به یک شهر و اجزا و عناصر آن برحسب ماهیت و کیفیت آنها وارد می شود . با توجه به ارتباط متقابل و وابستگی عناصر شهری به یکدیگر، آسیب پذیری شهری نیز در برگیرنده تمامی عوامل موجود در یک شـهر می شـود ؛ به عبارت دیگر سـوانح بر تمامی اجزای یک شـهر اثر می گذارد (ناطقی الهی ،۱۳۸۶).

پیشینه پژوهش

Lee و Yeh ۲۰۰۳ بعد از بررسی ۹۲۱ زلزله بزرگ دنیا به این نتیجه رسیدند که مهم‌ترین دلیل بسته شدن معابر در مواقع بروز زلزله، وجود عرض کمتر از ۴ متر معابر می‌باشد.

Liu و همکاران ۲۰۰۸ در پژوهشی به برنامه ریزی ترمیم شبکه ارتباطی بعد از بحران زلزله پرداختند که مشکل برنامه ریزی ترمیم شبکه ارتباطی پس از بحران زلزله، یک مساله بهینه یابی ترکیبی آسیب خطوط پیوسته (راهها) است. آنها در این مقاله الگوریتمی را برای محاسبه ظرفیت رفت و آمد شبکه ارتباطی با استفاده از معیارهای کنترل تقاضای گوناگون رفت و آمدها مانند ضابطه های رفت و آمد برای شبکه ارتباطی آسیب دیده پیشنهاد کردند.

ناگائی و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی به بررسی راهبرد تقویت ضد لرزه‌ای برای شبکه معابر شهری چهارچوبی برای یافتن راه‌های تقویت ضد لرزه‌ای، برای امکانات حمل و نقل شهری ارائه دادند. آن‌ها برای آزمون کارایی محاسبات و منطقی بودن روش، سناریوی آن در شهر کوبه ژاپن و حومه آن به کار برده‌اند.

سالکی ملکی و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیق خود به ارزیابی فضایی کارایی شبکه ارتباطی درون شهری برای امداد رسانی بعد از وقوع زلزله پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که باید تراکم ساختمانی و جمعیتی در معابر کم عرض کاهش یابد و از افزایش درجه محصوریت و ساختن ساختمان‌های مرتفع در مسیرهای آسیب پذیر جلوگیری به عمل آید.

ArsIk و Salman ۲۰۱۳ در پژوهشی با عنوان مدل‌سازی آسیب پذیری شبکه بزرگراه‌ها در برابر زلزله به ارائه روش‌های بهینه سناریوهای شکست برای پیدا کردن بهترین حالت ممکن شبکه ارتباطی بعد از وقوع زلزله برای پاسخ-گویی به نیازها پرداختند.

احد نژاد روشنی و همکاران (1394) به ارزیابی آسیب پذیری شبکه معابر شهری در برابر زلزله با رویکرد مدیریت بحران در منطقه ۱ شهر تبریز پرداختند بدین منظور ۳ معیار درجه محصوریت، تراکم و ویژگی‌های ساختمانی انتخاب که معیار تراکم شاما زیر معیار تراکم جمعیتی و ساختمانی و معیار ویژگی‌های ساختمانی شامل ۵ زیر معیار قدمت بنا، کیفیت بنا، نوع کاربری، سطح اشغال و نوع مصالح می‌باشد که با روش دلفی ارزش گذاری شدند. و با استفاده از نرم افزار IDRISI پس از تعیین وزن هر معیار همپوشانی گردید. نتایج این تحقیق حاکی از این بود که آسیب پذیری شبکه معابر بیشتر از حد متوسط و عمدتا زیاد و خیلی زیاد تبعیت می‌کند. و آسیب پذیری معابر در محلات اسکان غیر رسمی بیشتر به چشم می‌خورد. خطر پذیری بالای شهرها در برابر زلزله و عدم توجه کافی به نقش شبکه های ارتباطی در کاهش اثرات زلزله مهمترین ضرورت این پژوهش است.

اصغری زمانی و همکاران ۱۳۹۵ به ارزیابی سطح کارایی شبکه معابر به هنگام بروز حوادث غیر مترقبه در مناطق حاشیه نشین شمال شهر تبریز پرداختند. نتایج نهایی این پژوهش نشان داد که از بین ۱۶ شبکه ارتباطی در مناطق حاشیه نشـین شمال شهر تبریز تنها دو راه ارتباطی در طبقه آسیبپذیر قرار نگرفته‌اند. که از بین این دو راه ارتبـاطی، اتوبـان پاسـدارن دارای نقشی فرامنطقه‌ای بوده و مختص مناطق حاشیه‌نشین شمال شهر تبریز نیست.

فرقانی و همکاران ۱۳۹۵ به بررسی آسیب‌پذیری شبکهٔ معابر در زمان تخلیه اضطراری در زلزله‌های احتمالی منطقه ثامن مشهد پرداختند نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی نشان داد که در بین

شاخص‌های مطرح شده، شاخص ویژگی‌های سازه‌ای جداره درمجموع از دیگر شاخص‌ها تأثیرگذاری بیشتری را داشته است. همچنین نتایج حاصل از هم‌پوشانی شاخص‌ها نشان می‌دهد که معابر موجود در شمال منطقه نسبت به بقیهٔ محدودهٔ موردمطالعه، دارای آسیب‌پذیری بیشتری می‌باشند و با حرکت از شمال به جنوب منطقه، از میزان آسیب‌پذیری کاسته می‌شود.

روش تحقیق

پژوهش حاضر از لحاظ هدف شناسی کاربردی و از لحاظ روش‌شناسی توصیفی- تحلیلی می‌باشد بعد از مطالعات میدانی و کتابخانه ای مبانی نظری گردآوری شده و جهت تهیه نقشه‌های مورد نیاز از سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده گذیده است. مدلی که در پژوهش پیش رو از آن استفاده خواهد شد مدل IWHP (مدل تحلیل سلسله مراتبی معکوس) است.

مراحل مدل تحلیل سلسله مراتبی معکوس

مدل تحلیل سلسله مراتبی معکوس از پنج مرحله تشکیل شده است که در زیر به صورت اختصار این مراحل بیان می‌گردد.

مرحله اول: تعیین ماتریس داده ها و معرفی شاخص ها

مرحله دوم: به کار گیری روش پیمایشی دلفی جهت استنتاج فروض وزن دهی: برای این پژوهش تعداد بیست پرسشنامه دلفی تهیه شده و در اختیار کارشناسان امر قرار گرفت. هدف اصلی از تهیه و اجرای این پرسشنامه وزندهی و رتبه بندی سیزده شاخص انتخابی بوده است. همچنین روش انتخاب نمونه در اجرای پرسشنامه دلفی استفاده از روش هدفمند است.

مرحله سوم: وزن دهی به داده ها بر اساس مدل IHWP: برای وزن دهی به دادهها در مدل تحلیل سلسله مراتبی معکوس از فرمول زیر استفاده شده و سپس امتیازهای به دست آمده از هر یک از شاخص -ها در قطعات محدوده مورد مطالعه اعمال شد .محاسبه امتیاز لایه های انتخاب شده با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی معکوس به شکل روابط ریاضی زیر است (ترابی، ۱۳۸۸: ۹۵) :

$$j = D - (N - i)X$$

$$X = \frac{D}{N}$$

D: امتیاز بدست آمده از مدل دلفی، X: امتیاز اولیه هر شاخص، j: امتیاز بدست آمده برای دسته‌های مختلف هر شاخص، N: تعداد دسته های هر شاخص، i: رقم اختصاص داده شده برای دسته های مختلف هرشاخص

مرحله چهارم: تلفیق نقشه ها

مرحله پنجم: تهیه نقشه آسیب پذیری نهایی منطقه

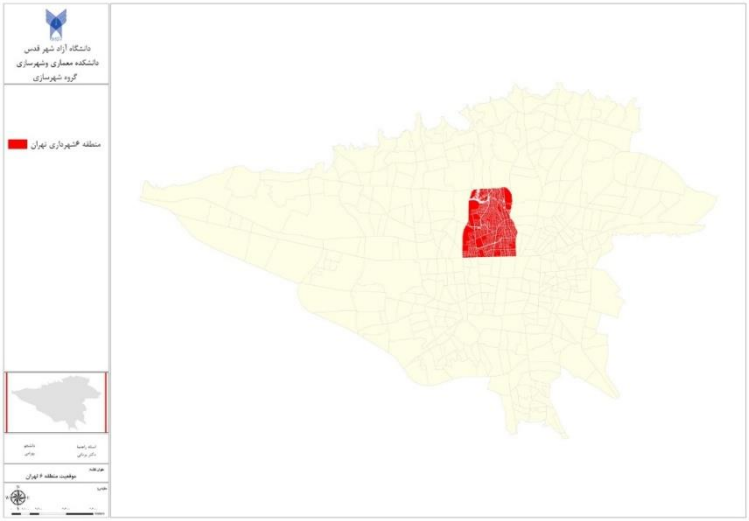
معرفی متغییرها و شاخص‌ها

شاخص‌ها و عوامل زیادی می‌توانند بر راههای مواصلاتی-ارتباطی و ضریب کارکرد آنها تاثیرگذار باشند. در این پژوهش از بین این عوامل ۱۱ شاخص مهم و تاثیرگذار انتخاب شده و در قالب مدل تحلیل سلسله مراتبی معکوس از آنها استفاده خواهد شد .شاخصهای یازدهگانه استفاده شده عبارتند از: شاخص های عرض راه و ارتفاع جداره (درجه محصوریت)، تراکم جمعیتی، تراکم ساختمانی، کاربری زمین کیفیت ابنیه، دسترسی به مراکز درمانی وامداد نجات،

عرض راه ها، ارتفاع ساختمان ها (تعداد طبقات)، کیفیت ابنیه، نوع اسکلت ابنیه، قدمت ابنیه (باغوند، ۱۳۸۵) و PGA (شتاب افقی زمین) (قدرتی امیری، ۱۳۸۶).

محدوده قلمرو پژوهش

منطقه شش شهرداری تهران از سمت شمال به بزرگراه همت، از سمت جنوب به محور انقلاب – آزادی، از سمت شرق به بزرگراه مدرس و خیابان مفتح و از سمت غرب به بزرگراه چمران و خیابان توحید محدود شده است. این منطقه با حدود ۲۱۷ هزار نفر جمعیت (معادل ۳/۶ درصد جمعیت شهر) و ۲۰ کیلومتر مربع مساحت (معادل ۳ درصد مساحت شهر)، یکی از مهمترین مناطق شهر تهران بشمار می آید. وجود کاربری های مهمی نظیر وزارتخانه ها، سفارتخانه ها، موسسات آموزش عالی، مراکز درمانی و بیمارستان های عمومی، شرکتهای بزرگ اقتصادی و غیره نشان دهنده اهمیت بالای این منطقه از دیدگاه شهری و کشوری است. چرا که خسارات وارده به این منطقه در صورت بروز حوادث احتمالی می‌تواند تبعات بسیار زیادی برای مدیریت شهری و حتی کشوری داشته باشد و زیان های اقتصادی، اجتماعی بیشماری را به شهروندان و مسئولین تحمیل کند. مجموعه این عوامل علت انتخاب این منطقه به عنوان محدوده مطالعاتی شده است. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را در شهر تهران نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت منطقه ۶ در شهر تهران منبع: نگارنده، ۱۳۹۶

یافته های پژوهش

تعیین وزن مولفه‌ها

بعد از مرحله تدوین شاخص های آسیب پذیری شهر از مبانی نظری تحقیق ،از آنجایی که هر کدام از این شاخص ها تاثیری نسبتا متفاوتی در آسیب پذیری شهر دارند، به همین جهت در تحقیق پیش رو از روش دلفی جهت رتبه بندی شاخص ها استفاده شد، در مدل دلفی با توجه به نظرات کارشناسی افراد متخصص (۳۵نفر)، شاخص های ذکر شده در دسته های مختلف با درجات مختلف اهمیت آن رتبه بندی شدند. بر این اساس با اهمیت ترین شاخص از نظر اهمیت آسیب پذیری در مقابل زلزله عدد۱۲ به خود اختصاص داده که شامل نسبت ارتفاع ساختمان به عرض معبر و کم اهمیت ترین شاخص عدد۲ مصالح و اسکلت واحد ساختمانی را به خود اختصاص داد. جدول ۱ نتایج حاصل از وزدهی مولفه‌ها را با استفاده از مدل دلفی نشان می‌دهد.

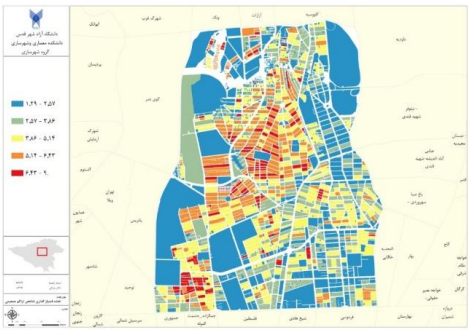
جدول ۱: وضعیت شاخص‌های یازده گانه در منطقه شش شهرداری تهران با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی معکوس

شاخص	طبقه بندی	x	i	متیاز
درجه محصوریت (امتیاز لایه۷)	کمتر از ۰,۳	۱,۰۰	۱	۱,۰۰
	۰,۳ تا ۰,۶	۱,۰۰	۲	۲,۰۰
	۰,۶ تا ۰,۹	۱,۰۰	۳	۳,۰۰
	۰,۹ تا ۱,۲	۱,۰۰	۴	۴,۰۰
	۱,۲ تا ۱,۵	۱,۰۰	۵	۵,۰۰
	۱,۵ تا ۲	۱,۰۰	۶	۶,۰۰
	بیشتر از ۲	۱,۰۰	۷	۷,۰۰
تراکم جمعیتی (امتیاز لایه)	کمتر از ۵۰	۱,۲۹	۱	۱,۲۹
	۵۰ تا ۱۰۰	۱,۲۹	۲	۲,۵۷
	۱۰۰ تا ۲۰۰	۱,۲۹	۳	۳,۸۶
	۲۰۰ تا ۳۰۰	۱,۲۹	۴	۵,۱۴
	۳۰۰ تا ۴۰۰	۱,۲۹	۵	۶,۴۳
	۴۰۰ تا ۵۰۰	۱,۲۹	۶	۷,۷۱
	بالای ۵۰۰	۱,۲۹	۷	۹,۰۰
تراکم ساختمانی (امتیاز لایه)	فاقد بنا	۰,۶۳	۱	۰,۶۳
	۱ تا ۶۰	۰,۶۳	۲	۱,۲۵
	۶۰ تا ۱۲۰	۰,۶۳	۳	۱,۸۸
	۱۲۰ تا ۱۸۰	۰,۶۳	۴	۲,۵۰
	۱۸۰ تا ۲۴۰	۰,۶۳	۵	۳,۱۳
	۲۴۰ تا ۳۶۰	۰,۶۳	۶	۳,۷۵
	۳۶۰ تا ۴۸۰	۰,۶۳	۷	۴,۳۸
	بیشتر از ۴۸۰	۰,۶۳	۸	۵,۰۰
درجه اهمیت کاربری	کم	۳,۳۳	۱	۳,۳۳
	متوسط	۳,۳۳	۲	۶,۶۷
	زیاد	۳,۳۳	۳	۱۰,۰۰
کیفیت ابنیه (امتیاز لایه)	فاقد بنا	۱,۶۰	۱	۱,۶۰
	نوساز و در دست احداث	۱,۶۰	۲	۳,۲۰
	قابل نگهداری	۱,۶۰	۳	۴,۸۰
	مرمتی	۱,۶۰	۴	۶,۴۰
	تخریبی	۱,۶۰	۵	۸,۰۰
دسترسی به مراکز درمانی (امتیاز لایه)	کمتر از ۵۰	۰,۷۰	۱	۰,۷۰
	۵۰ تا ۱۰۰	۰,۷۰	۲	۱,۴۰
	۱۰۰ تا ۲۰۰	۰,۷۰	۳	۲,۱۰
	۲۰۰ تا ۳۰۰	۰,۷۰	۴	۲,۸۰
	۳۰۰ تا ۴۰۰	۰,۷۰	۵	۳,۵۰
	۴۰۰ تا ۵۰۰	۰,۷۰	۶	۴,۲۰
	۵۰۰ تا ۶۲۵	۰,۷۰	۷	۴,۹۰
	۶۲۵ تا ۷۵۰	۰,۷۰	۸	۵,۶۰
	۷۵۰ تا ۱۰۰۰	۰,۷۰	۹	۶,۳۰

	بیشتر ۱۰۰۰	۰,۷۰	۱۰	۷,۰۰
مصالح ابنیه(امتیاز لایه)	فاقد بنا	۰,۵۰	۱	۰,۵۰
	بتن مسلح	۰,۵۰	۲	۱,۰۰
	اسکلت فلزی و بتنی	۰,۵۰	۳	۱,۵۰
	آجر و آهن	۰,۵۰	۴	۲,۰۰
	بلوک سیمانی	۰,۵۰	۵	۲,۵۰
	سایر	۰,۵۰	۶	۳,۰۰
قدمت ابنیه	فاقد بنا	۰,۴۰	۱	۰,۴۰
	کمتر از ۵ سال	۰,۴۰	۲	۰,۸۰
	۵ تا ۱۵ سال	۰,۴۰	۳	۱,۲۰
	۱۶ تا ۲۵ سال	۰,۴۰	۴	۱,۶۰
	۲۵ سال به بالا	۰,۴۰	۵	۲,۰۰
عرض راه	۴۵	۰,۴۶	۱	۰,۴۶
	۴۰	۰,۴۶	۲	۰,۹۲
	۳۵	۰,۴۶	۳	۱,۳۸
	۳۰	۰,۴۶	۴	۱,۸۵
	۲۴	۰,۴۶	۵	۲,۳۱
	۲۰	۰,۴۶	۶	۲,۷۷
	۱۵	۰,۴۶	۷	۳,۲۳
	۱۲	۰,۴۶	۸	۳,۶۹
	۱۰	۰,۴۶	۹	۴,۱۵
	۸	۰,۴۶	۱۰	۴,۶۲
	۶	۰,۴۶	۱۱	۵,۰۸
	۳	۰,۴۶	۱۲	۵,۵۴
	فاقد معبر	۰,۴۶	۱۳	۶,۰۰
درجه PGA	244.05-255.37	۰,۲۵	1	0.25
	255.37-260.69	۰,۲۵	2	0.5
	260.69-277.07	۰,۲۵	3	0.75
	بالای ۲۷۷,۰۷	۰,۲۵	4	1
ارتفاع ساختمان (تعداد طبقات)	فاقد بنا	۰,۸۰	۱	۰,۸۰
	۳ تا ۶ متر	۰,۸۰	۲	۱,۶۰
	۹ تا ۱۵ متر	۰,۸۰	۳	۲,۴۰
	۱۸ تا ۳۰ متر	۰,۸۰	۴	۳,۲۰
	بیشتر از ۳۰ متر	۰,۸۰	۵	۴,۰۰

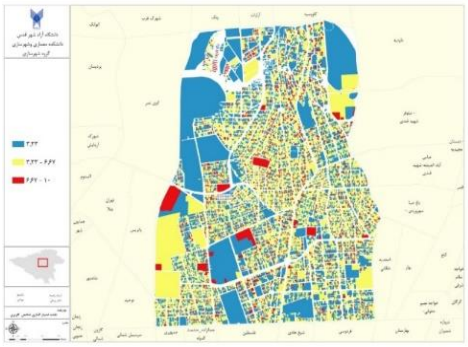
تهیه لایه اطلاعاتی

نتایج کلاس بندی مربوط به ۱۱ لایه اطلاعاتی بر اساس مدل سلسه مراتبی معکوس IHWP در شکل ۲ نشان داده شده است.

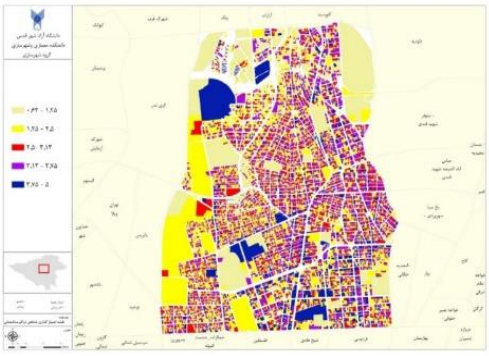


الف) درجه محصوریت

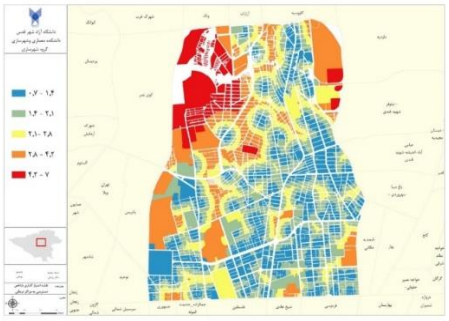
ب)تراکم جمعیتی



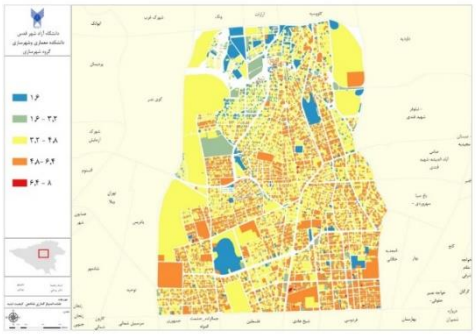
ج) تراکم ساختمانی



د) اهمیت کاربری‌ها



ه)کیفیت ابنیه



و) دسترسی به مراکز درمانی

ز) مصالح ساختمانی

ح) قدمت ابنیه

ط) عرض شبکه ارتباطی

ی) بیشینه شتاب

ک) تعداد طبقات

شکل ۲: امتیاز اهمیت لایه‌های بدست آمده با استفاده از مدل سلسله مراتبی معکوس منبع:نگارنده،۱۳۹۶

نقشه آسیب پذیری منطقه در مقابل زلزله

محدوده های مختلف آسیب پذیری در مقابل زلزله و نیز سطح تحت پوشش مربوط به هر طبقه در شکل ۱۳ نشان داده شده است. نقشه نهایی آسیب پذیری منطقه در مقابل زلزله به پنج کلاس مختلف خیلی کم، کم، متوسط، طیاد و خیلی زیاد از نظر خطرپذیری تقسیم‌بندی شد. که میزان آسیب پذیری درهر قطعه زمین منطقه نمایش داده شده است. کل قطعه های زمین منطقه در محیط GIS ۲۹۰۵۱ قطعه بوده است. شکل ۳ میزان آسیب‌پذیری منطقه را نسبت به زلزله نشان می‌دهد.

شکل ۳: نقشه نهایی آسیب پذیری منطقه ۶ شهرداری تهران منبع: نگارنده،۱۳۹۶

با توجه به شکل ۱۳ ۱۳۸۴ قطعه معادل ۴,۸ درصد قطعه ها امتیاز خیلی کم، ۵۵۲۰ قطعه معادل ۱۹ درصد امتیازکم،۱۳۴۳۴ قطعه معادل ۴۶,۲ درصد امتیاز متوسط، ۷۳۸۷ قطعه معادل ۲۵,۴ قطعه امتیاز زیاد و ۱۳۲۶ قطعه معادل ۴,۶ درصدامتیاز خیلی زیاد از نظر آسیب پذیری گرفته اند.

تحلیل بدنه شبکه ارتباطی منطقه شش شهرداری تهران

شبکه ارتباطی شهر، نقش مهمی در کاهش آسیب پذیری شهر در برابر زلزله دارد در صورتی که شبکه ارتباطی شهر بعد از وقوع زلزله آسیب نبیند و کارآیی خود را حفظ کند از تلفات زلزله به میزان زیادی کاسته خواهد شد زیرا امکان گریز از موقعیت‌های خطر ناک و دسترسی به مناطق امن فراهم خواهد بود وعبور و مرور وسایط نقلیه امدادی به راحتی صورت خواهد گرفت. بدین منظور نقشه آسیب پذیری بدنه ارتباطی مناطق امداد و نجات منطقه ۶ تهران تهیه گردید (شکل ۴). جدول ۲ نتایج وضعیت آسیب پذیری عرض معابر منطقه شش شهرداری تهران در رابطه با تقسیم بندی درجه آسیب پذیری نشان می‌دهد.

شکل ۴: نقشه آسیب پذیری بدنه شبکه ارتباطی مراکز امداد نجات منطقه ۶ تهران منبع: نگارنده، ۱۳۹۶

جدول ۲: وضعیت آسیب پذیری عرض معابر منطقه شش شهرداری تهران در رابطه با تقسیم بندی درجه آسیب پذیری

عرض راه	تعداد قطعات بدنه	درصد قطعات بدنه	درصد آسیب پذیری خیلی کم	درصد آسیب پذیری کم	درصد آسیب پذیری متوسط	درصد آسیب پذیری زیاد	درصد آسیب پذیری خیلی زیاد	جمع
فاقد معبر	5	0.0	20	0	40	40	0	100
۳	316	1.1	1.9	5.7	44.3	40.8	7.3	100
۶	1760	6.2	0.6	4.6	38.9	48.1	7.9	100
۸	2559	9.0	1.7	5.4	39.2	46.5	7.2	100
۱۰	4636	16.3	1.0	5.9	39.2	47.0	7.0	100
۱۲	5864	20.7	1.1	5.8	38.7	47.2	7.3	100
۱۵	1843	6.5	2.8	5.3	40.3	45.2	6.5	100
۲۰	5344	18.8	4.0	7.0	42.4	41.1	5.5	100
۲۴	544	1.9	4.8	8.6	41.5	40.3	4.8	100
۳۰	2823	9.9	3.9	10.5	45.0	36.3	4.3	100
۳۵	481	1.7	2.1	8.9	49.1	37.0	2.9	100
۴۰	1081	3.8	7.1	10.5	43.8	33.4	5.2	100
۴۵	1134	4.0	3.2	9.7	40.5	41.2	5.5	100
جمع	28390	100	*	*	*	*	*	

منبع: نگارنده، ۱۳۹۶

با توجه به نقشه آسیب پذیری بدنه شبکه‌های ارتباطی منطقه شش، مراکز امداد نجات دارای محصوریت بالایی دارند که دسترسی بهتری به شبکه ارتباطی دارند، از نظر آسیب پذیری در وضعیت بهتری قرار دارند. به عبارت دیگر این مراکز امداد نجات با توجه به تقسیم بندی نقشه آسیب پذیری به ۵ قسمت، یا رتبه «خیلی کم» و یا «کم» گرفته‌اند. البته بدنه این مراکز امداد نجات دارای تراکم‌های جمعیتی و ساختمانی کم بوده و از نظر کیفیت ابنیه نیز در وضعیت بهتری قرار داشته‌اند. این مسیرها، بزرگراه‌های موجود در مرز منطقه شش مانند بزرگراه مدرس و بزرگراه چمران و بزرگراه‌های موجود در داخل محدوده منطقه مانند بزرگراه کردستان می‌باشد. به طور کلی معابر موجود در شمال منطقه نسبت به بقیه محدوده مورد مطالعه دارای آسیب پذیری کمتری هستند. با حرکت از سمت شمال به جنوب منطقه، بر میزان آسیب پذیری افزوده می‌شود.

نتیجه گیری

مدیریت بحران و نحوه مواجهه با بلایای طبیعی و انسانی یکی از نیازهای عمده بشریت در عصر حاضر می‌باشد. در این بین نحوه برنامه ریزی و چگونگی مدیریت با بلایای طبیعی به علت پیش بینی ناپذیری بالای آن و وقایع غیر مترقبه آنها از اهمیت بالایی برخوردار است. در این بین کلان شهرها نیز بستر چالش‌های متعددی در این راستا می‌باشند. در این تحقیق سعی گردید با انتخاب شاخص‌های مهم در راستای مدیریت بحران در برابر زلزله در منطقه ۶ تهران به مطالعه و تهیه نقشه‌های حساسیت به خطر پرداخته شد. با توجه به نتایج بدست آمده مشخص گردید که به ترتیب بیش‌ترین آسیب پذیری منطقه از نطر زلزله مربوط به کلاس متوسط و سپس کلاس زیاد، کم، خیلی کم و خیلی زیاد می‌باشد. بدیهی است که قطعه هایی که دارای تراکم‌های ساختمانی و جمعیتی بالا، کیفیت ابنیه مرمتی، تخریبی، فاصله زیاد تا مراکز امدادی نسبت به سایر قطعه ها و درجه محصوریت بیشتری بوده اند، امتیاز آسیب پذیری بالای آورده و درنتیجه آسیب پذیر بیش‌تری را نشان می‌دهند. با توجه به نقشه آسیب پذیری منطقه متوجه می‌شویم که پهنه زیاد آسیب پذیری با طیف زیاد در مرکزمنطقه دارد که این عامل هم ناشی از تراکم زیاد جمعیتی و ساختمانی عرض کم معابر و پایین بودن کیفیت ابنیه به همین دلیل ما باید برنامه ریزی روی مرکز منطقه قرار دهیم. و هم چنین با توجه به نقشه آسیب پذیری منطقه ۶ می‌توانیم در یابیم که مناطقی که به شبکه ارتباطی با عرض بیشتر و توزیع تراکم ساختمانی کم باعث احتمال کم تخریب که اکثرا این منطقه در حاشیه منطقه و یا در شمال منطقه ۶ قرار دارند. معابر موجود در شمال منطقه نسبت به بقیه محدوده مورد مطالعه دارای آسیب پذیری کمتری هستند. با حرکت از سمت شمال به جنوب منطقه، بر میزان آسیب پذیری افزوده می‌شود. علت این امر این است که شمال منطقه نسبت به جنوب آن داری معابر با عرض کافی، ساختمان‌های مقاوم و با قدمت کم می‌باشد، به همین دلیل مراکز امداد نجات در شمال منطقه آسیب پذیری کمتری دارند. تراکم کاربری‌های فرامنطقه ای درجنوب منطقه مانند دانشگاه‌های تهران، امیر کبیر، وزارتخانه ها و کاربری‌های جاذب ترافیک تجاری به خصوص در بدنه خیابان‌های انقلاب و ولیعصر که هر دو نقش شهری دارند، باعث شده که جنوب منطقه در وضعیت آسیب پذیری بالایی در برابر زلزله قرار داشته باشد. همچنین خیابان کارگر به علت داشتن عرض کم و در انتها به بن بست رسیدن آن، تعدد تقاطع‌های چراغ دار و نبود تقاطع‌های غیر هم سطح، در وضعیت خوبی نداشته باشد. آسیب پذیری خیابان کارگر بعد از بزرگراه جلال آل احمد در بدنه شرقی آن مشهود است این عوامل باعث شده که بدنه شبکه معابر آسیب پذیری بالایی داشته باشدو دسترسی به مراکز امداد نجات با مشکل مواجه شده است. علت این امر استقرار کاربری‌های کم تراکم در بدنه غربی و عکس آن در بدنه شرقی است. هم چنین وجود کاربری‌های با مساحت زیاد، تراکم جمعیتی و ساختمانی کم و درجه محصوریت کمتر در بدنه بزرگراه‌ها باعث امتیاز پایین از نظر آسیب پذیری و نتیجه وضعیت بهتر آن‌ها شده است. این بزرگراه‌ها نقش حیاتی را به عنوان شریان حیاتی در مواقع بعد از زلزله بازی خواهند کرد و آسیب پذیری کمتر آن‌ها در این امر کمک زیادی در امر امداد رسانی بازی

خواهند کرد. در نتیجه مراکزامداد نجاتی که در حاشیه این بزرگراه‌ها قرار دارند با توجه به آسیب پذیری کمتر این بزرگراه‌ها و کم بودن احتمال تخریب در بدنه این بزرگراه‌ها، دسترسی بهتر و کارا به مراکز امداد نجات شهری موجود خواهد بود.

۱.احدنژاد روشنی، محسن؛ روستایی، شهریور؛ کاملی فر، محمد جواد، (۱۳۹۴)، ارزیابی آسیب پذیری شبکه معابر شهری در برابر زلزله با رویکرد مدیریت بحران مطالعه موردی: منطقه ۱ شهر تبریز، فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، ۲۴(۹۵): ۳۷-۵۰.

۲.اصغری زمانی، اکبر؛ بابایی اقدم، فریدون؛ میرآلانق، سید محمد، (۱۳۹۵)، ارزیابی سطح کارایی شبکه معابر به هنگام بروز حوادث غیر مترقبه در مناطق حاشیه نشین؛ مطالعه موردی: مناطق حاشیه نشین شمال شهر تبریز، نشریه پژوهش و برنامه ریزی شهری، شماره ۲۵، (۱۴۱-۱۵۸).

۳.امینی، الهام؛ فرح، حبیب و مجتهدزاده، غلام حسین، (۱۳۸۹)، برنامه‌ریزی کاربری زمین و مدیریت بحران زمین لرزه، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره ۳، (۱۶۱-۱۷۴).

۴.باغوند، اکبر و دیگران، (۱۳۸۵)، بررسی علل تنزل عملکرد شبکه حمل و نقل شهری پس از وقوع زلزله و راهکارهای مقابله با آن، دومین سمینار ساخت و ساز در پایتخت پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران.

۵.بیرودیان،نادر،(۱۳۸۵)، مدیریت بحران اصول ایمنی در حوادث غیر منتظره،جهاد دانشگاهی مشهد.

۶.ترابی، کمال، (۱۳۸۸)، بررسی نقش شبکه‌های ارتباطی در کاهش اثرات ناشی از زلزله-مورد مطالعه: منطقه ۶ تهران با تاکید بر ناحیه ۱، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران.

۷.حمیدی، ملیحه، (۱۳۷۱)، ارزیابی الگوهای قطعه‌بندی اراضی و بافت شهری در آسیب‌پذیری مسکن از سوانح طبیعی، مجموعه مقالات سمینارهای توسعه مسکن در ایران، تهران، صص. ۲۱۰-۲۲۴.

۸.عزیزی، محمد مهدی؛ اکبری، علیرضا، (۱۳۸۷)، ملاحضات شهرسازی در سنجش آسیب‌پذیری شهرها از زلزله، مجله علمی و پژهشی هنرهای زیبا، شماره ۳۴، (۲۵-۳۶).

۹.فرقانی، محمد علی؛ صادقی، زین‌العابدین؛ پوررمضان، سپیده؛ (۱۳۹۵)، آسیب‌پذیری شبکه معابر در زمان تخلیه اضطراری در زلزله‌های احتمالی منطقه ثامن مشهد، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره ۲، (۹۱-۱۰۸).

۱۰. قدرتی امیری، غلامرضا، (۱۳۸۶)، تحلیل خطر پذیری سازه‌ها دربرابر زلزله، پلی کپی دانشگاه علم و صنعت ایران.

۱۱. ناطق الهی، فریبرز، (۱۳۷۸)، مدیریت بحران زمین لرزه در ایران،پژوهشگاه زلزله شناسی و مهندسی زلزله،تهران.

12. ArsIk, i., & salman, s. (۲۰۱۳). Modeling Earthquake Vulnerability of Highway Networks. Electronic Notes in Discrete Mathematics ۴۱(۲۰۱۳) ۳۱۹– ۳۲۶.

13. Bhatti, Amjad(2005), Earthquake Relief and Recovery: Processes and Principles, Rural Development Policy Institute.

14. Kameda, Hiroyuki (2000), "Engineering management of lifeline system under earthquake risk" .in: proceedings of the 12th world conference on earthquake engineering, new Zealand society for earthquake Engineering Tupper hutt, 2827-2844.

15. Lee Y. L., & Yeh, K. Y. (۲۰۰۳). 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, ۲۷۳- .۲۸۸.

16. LIU, Yuling, OKADA ,Norio, TAKEUCHI ,Yukiko, 2008, Dynamic Route Decision Model-based Multi-agent Evacuation Simulation Case Study of Nagata Ward, Kobe. Journal of Natural Disaster Science, Volume 28, Number 2, pp91-98.