

نشریه مطالعات نواحی شهری دانشگاه شهید باهنر کرمان

سال دوم، شماره ۳، تابستان ۱۳۹۴

ارزیابی تأثیر ریزش آوار بر کارایی شبکه معابر در زلزله‌های احتمالی (مطالعه موردی: منطقه ثامن مشهد)*

دکتر محمدعلی فرقانی

استادیار گروه مدیریت، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران

دکتر زین‌العابدین صادقی

استادیار گروه اقتصاد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران

سپیده پور رمضان**

کارشناس ارشد مدیریت بحران، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران

چکیده

شهر مشهد، به‌واسطه قرار گرفتن چندین گسل فعال در اطراف و درون آن، از ریسک بالایی در برابر خطر زلزله برخوردار است. در این میان، آسیب به زیرساخت‌های آن به‌ویژه، شبکه معابر و بزرگراه‌ها، تأثیر نامطلوبی بر دسترسی به مناطق حادثه‌دیده می‌گذارد. این مقاله، میزان آسیب‌پذیری شبکه‌های ارتباطی منطقه ثامن مشهد و احتمال انسداد معابر این منطقه در اثر فروریزش ساختمان‌ها پس از زلزله را مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد. این مطالعه به روش مدل‌سازی با بیان ریاضیاتی انجام پذیرفت و مناطق بحرانی و دارای ریسک‌پذیری ناشی از محاسبه درجه محصوریت معابر منطقه، با استفاده از امکانات و توانایی‌های نرم افزار ArcGIS مشخص گردیدند. مدل‌سازی ریاضیاتی و درجه سازگاری معابر منطقه نشان داد که ۵۸/۲ درصد از معابر در صورت تخریب ساختمان‌های بدنه آنها، دارای سازگاری کاملاً نامناسب می‌گردند و با توجه به عدم رعایت تناسب ارتفاع ساختمان به عرض معبر، ۴۶/۳ درصد از آنها در موقعیت خطرناکی قرار خواهند گرفت؛ در نهایت، نتایج به‌دست آمده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، نشان می‌دهد که با محاسبه شاخص درجه محصوریت و معیار قرار دادن آن به طور صرف، اکثر مسیرهای موجود در زمان بروز حادثه بسته خواهند شد و کار دسترسی و امدادسانی را با مشکل مواجه خواهند ساخت؛ بنابراین، معابر این منطقه تا زمان پایان اصلاح و بازسازی، در صورت بروز فاجعه‌هایی چون زلزله و دیگر حوادثی که نیاز به امدادسانی فوری داشته باشند، نمی‌تواند نقش چندان مؤثری در کاهش آسیب‌پذیری و امدادسانی فوری ایفا نماید.

واژه‌های کلیدی: آسیب‌پذیری، منطقه ثامن مشهد، زلزله، شبکه معابر.

* دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۳/۱۰

پذیرش نهایی: ۱۳۹۴/۶/۲۵

sepidehpoorramezan@yahoo.com

** نشانی پست الکترونیک نویسنده مسئول:

۱- مقدمه

عواملی چون گرم شدن جهانی، تخریب محیطی و افزایش شهرنشینی، تعداد زیادی از مردم را در معرض تهدید سوانح طبیعی قرار می‌دهد. در سه دهه گذشته، نرخ سوانح از ۵۰ به ۴۰۰ در هر سال رشد کرده است و هنوز نیز انتظار می‌رود که در ۵۰ سال آینده پنج بار بیشتر افزایش یابد (کواکز و اسپنس، ۲۰۰۹). در سال ۲۰۱۰، ۲۰۷ میلیون نفر از سوانح آسیب دیدند و منجر به ۲۹۶۸۰۰ مرگ و زیان بالغ بر ۱۰۹ میلیارد دلار گردید (اسپیر، ۲۰۱۱). سوانح طبیعی، نیازمند بسیج فوری و اقدام مسئولان برای تأمین مواد و تجهیزات لازم و خدمات خواسته شده از سوی قربانیان است. تمرکز عملیات امداد سوانح «طراحی شیوه حمل و نقل کمک‌های اولیه، غذا، تجهیزات و نجات کارکنان از نقاط پیرامون منطقه سانحه و تخلیه و انتقال افراد آسیب‌دیده به مراکز بهداشت و پناهگاه‌های امن» می‌باشد (آپته، ۲۰۰۹).

زلزله، یکی از مهم‌ترین و ویرانگرترین مخاطرات بوده که بشر از دیرباز در پی یافتن راه‌حلی برای مقابله با آن است. عدم قطعیت در زمان، مکان و بزرگی یک فاجعه طبیعی؛ همچون زلزله و همچنین نحوه تأثیر آن بر منطقه حادثه دیده، چالش‌های جدی‌ای را برای آمادگی در برابر سوانح و کاهش مخاطرات مطرح نموده است. در میان عواملی که دارای عدم قطعیت هستند، وضعیت امداد و نجات دارای اهمیت ویژه‌ای برای اثربخشی فعالیت‌های پاسخ در زمان‌های بحرانی است. امداد و نجات، به عنوان بخش عمده مرحله مقابله، شامل جستجو، نجات، انتقال مجروحین تا نزدیک‌ترین و اولین مرکز درمانی، تغذیه اضطراری، تأمین سرپناه اضطراری، تخلیه اضطراری و غیره است (حسینی، ۱۳۸۷: ۳۰). جوامع مدرن، کاملاً وابسته به شبکه پیچیده‌ای از زیرساخت‌ها می‌باشند که انرژی، آب شیرین، ارائه خدمات حمل و نقل و ارتباطات و مدیریت دفع زباله‌های شهری را تأمین می‌کنند. این سیستم‌های زیرساخت، تأسیسات و امکانات اولیه‌ای می‌باشند که تداوم و رشد یک جامعه، وابسته به آنها است. ارزیابی خطر تأسیسات حیاتی، زیرساخت‌ها و امکانات ضروری به شرح زیر طرح‌ریزی می‌شود (اولیویرا و همکاران، ۲۰۰۸):

[خطر لرزه‌ای] = [خطرهای زمین‌لرزه] * [آسیب‌پذیری] * [عناصر در معرض خطر]
 آسیب به زیرساخت‌ها؛ به ویژه به بزرگراه‌ها و شبکه معابر، تأثیر نامطلوبی بر دسترسی به مناطق حادثه‌دیده می‌گذارد (بیسل^۶، ۲۰۱۳). برآورد قابل اطمینانی از نحوه کاهش خسارت در زلزله‌های آینده، می‌تواند باعث بالا بردن سطح آگاهی خطرلرزه‌ای؛ به‌ویژه در بین تصمیم‌گیرندگان شود و همچنین به فرموله کردن و اعمال سیاست‌ها و اقدامات کاهش خطر، به خصوص برای برنامه‌ریزی و آمادگی قبل از حوادث کمک نماید (آناگنستوپولوس و همکاران، ۲۰۰۸).

آسیب‌پذیری بافت شهری در زمین‌لرزه‌های مختلف، به طور گسترده مشاهده شده است و در طی دهه‌های اخیر مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. مفهوم آسیب‌پذیری، ابعاد بسیاری (جسمی، زیربنایی، اجتماعی و اقتصادی) دارد و ترکیب آنها، آسیب‌پذیری سیستمی را شکل می‌دهد (منونی و همکاران، ۲۰۱۱). آسیب‌پذیری، اصطلاحی است که برای نشان دادن وسعت و میزان خسارت احتمالی بر اثر وقوع مخاطرات محیطی به جوامع، سازه‌ها و فضاهای جغرافیایی استفاده می‌شود. بررسی و تحلیل آسیب‌پذیری ساختمان‌های موجود، در واقع یک نوع پیش‌بینی خسارت‌دیدگی آنها در مقابل بحران‌های احتمالی است (زهراپی و ارشاد، ۱۳۸۴).

امروزه آسیب‌پذیری شهرها و به خصوص بافت‌های قدیمی و فرسوده در برابر زلزله؛ به عنوان مسئله جهانی، پیش روی متخصصان رشته‌های گوناگون قرار گرفته است. بافت‌های مسکونی و شهری واقع در این بخش، بنا به خصلت تاریخی خود می‌تواند در برابر عدم تعادل ناشی از بروز زلزله، دچار نابسامانی‌های فیزیکی حاد شوند و بحران حیات شهری را به وجود آورند. اتصالات موجود در شبکه معابر ممکن است در طول حادثه، به دلیل فروریختن ساختمان‌ها و یا خسارت دیدن جاده‌ها با شکست مواجه گردند؛ بنابراین، برای توزیع اقلام امدادی به مناطق دارای تلفات و خسارات،

⁶ Bissell

دسترسی مناسب را ایجاد نمی‌کنند (سلمان و یوسل، ۲۰۱۴). آسیب‌پذیری بافت شهری، نسبت به زلزله‌های احتمالی به پارامترهای مختلفی از جمله، سطح لرزه‌شناسی و زمین‌شناسی مخاطرات، آسیب‌پذیری فیزیکی، شرایط اجتماعی و اقتصادی و ظرفیت پاسخگویی به شرایط اضطراری و مدیریت بحران مربوط می‌شود. به منظور بررسی این پارامترها و برآورد آسیب‌پذیری یکپارچه در هر بافت شهری، مطالعه اثرات آنها با استفاده از روش‌های مناسب امری ضروری می‌باشد (امینی حسینی و همکاران، ۲۰۰۹).

جاده‌ها عموماً با شکست زمین و گسل، تحت تأثیر قرار می‌گیرند. خسارت‌های بزرگراه‌ها (جاده‌ها)، شامل خسارت‌های سطحی و تخریب شیب‌های مجاور یا دیوارهای حائل می‌باشد؛ همچنین، تخریب زیرگذرها یا ساختمان‌ها، حتی اگر بزرگراه‌ها خسارت ندیده باشند، سدی از ترافیک را ایجاد می‌نماید. به گفته ATC-25 (۱۹۹۱)، نسبت خسارات بزرگراه‌ها در هنگام وقوع زلزله، صفر درصد برای MMI VI، یک درصد برای MMI VII، دو درصد برای MMI VIII، چهار درصد برای MMI IX و هشت درصد برای MMI X است. مطالعات (JICA, 2003)، خیابان‌ها را به چهار دسته راه‌های تخلیه یا فرار، راه‌های حمل و نقل اضطراری، راه‌هایی که فوراً برای شرایط اضطراری توسعه می‌یابند و دیگر راه‌ها طبقه‌بندی می‌کند و ترافیک (مانند حجم، جهت) و ویژگی‌های جاده (مانند کاربری زمین، خطر سقوط ساختمان‌ها و پل‌های موجود) را به عنوان مشخصه‌هایی برای ارزیابی مناسب وزن‌دهی عوامل، مدنظر قرار داده است (اولیویرا و همکاران، ۲۰۰۸).

در کشورهایی همچون ایران، تجربیات مخاطرات طبیعی نشان می‌دهد که مدیریت و تصمیم‌گیری پیش از وقوع زلزله و پس از آن، بسیار حائز اهمیت است. بسیاری از مناطق قدیمی شهری در ایران، از جاده‌ها و خیابان‌های باریک رنج می‌برند. این وضعیت نه تنها ممکن است برای حمل و نقل مشکلاتی را ایجاد نماید؛ بلکه بر فعالیت‌های پاسخگویی اضطراری پس از زلزله به علت انسداد جاده‌ها به وسیله آوار نیز تاثیر می‌گذارد. در زمین‌لرزه‌های منجیل (۱۹۹۰) و بم (۲۰۰۳)، تقریباً تمام جاده‌های

باریک در شهرها تا حدودی یا به طور کامل مسدود شدند و این خود سبب شد تا عملیات امداد و نجات و تخلیه به تأخیر افتد (امینی‌حسینی و همکاران، ۲۰۰۹).

در این راستا، در سال‌های اخیر، مطالعاتی در زمینه تخلیه و آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل صورت پذیرفته است. سالکی ملکی و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیق خود به ارزیابی فضایی کارایی شبکه ارتباطی دورن شهری برای امدادسانی بعد از وقوع زلزله پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که باید تراکم ساختمانی و جمعیتی در معابر کم‌عرض کاهش یابد و از افزایش درجه محصوریت و ساختن ساختمان‌های مرتفع در مسیرهای آسیب‌پذیر جلوگیری به عمل آید.

شیعه و همکاران (۱۳۸۹)، در مطالعه خود از طریق مدل‌های مختلف PGA، تلفیق اطلاعات و نقشه‌ها بر اساس مدل تحلیل سلسله‌مراتبی معکوس، میزان آسیب‌پذیری شبکه‌های ارتباطی منطقه شش تهران را ارزیابی نمودند و نتایج پژوهش آنها نشان می‌دهد که بدنه خیابان‌هایی با تراکم ساختمانی و جمعیتی بالا، کیفیت ابنیه پایین، فاصله زیاد تا مراکز امدادی نسبت به سایر قطعه‌ها و درجه محصوریت بیشتر، از میزان آسیب‌پذیری بالایی برخوردار بوده، تا حدی که به عنوان بخش‌های آسیب‌پذیر شناخته می‌شوند. نورائی و همکاران (۱۳۹۰)، در تحقیق خود بر روی کارایی شبکه‌های ارتباطی محلی، به این نتیجه دست یافتند که عرض معبر، آسیب‌پذیری ابنیه و... بیشترین تأثیر را بر میزان کارایی شبکه‌های ارتباطی در زمان بروز بحران دارا می‌باشند.

مهدوی‌نژاد و جوانرودی (۱۳۹۱)، در تحقیقی مشابه مناطق بحرانی، خیابان ولیعصر تهران را با استفاده از شاخص ریسک‌پذیری ناشی از بیشینه ارتفاع و کمینه عرض خیابان ولیعصر (عج) شمالی تعیین نمودند. نتایج مطالعات، بیانگر این نکته بود که این خیابان، با توجه به عدم رعایت تناسب ارتفاع ساختمان به عرض معبر، در ۳۱ درصد مناطق مورد بررسی، در وضعیت نامناسب قرار دارد و شبکه ارتباطی در صورت بروز فاجعه‌ای چون زلزله، نمی‌تواند نقش چندان مؤثری در کاهش آسیب‌پذیری ایفا نماید. مزروعی (۱۳۹۰)، در پایان‌نامه خود با عنوان «تعیین مسیرهای مناسب و قابل دسترس بعد از زلزله با

استفاده از نرم‌افزار GIS» به بررسی انسداد عرضی و طولی خیابان‌ها در اثر فروریزش ساختمان‌ها پرداخته است. او با مدل‌سازی ریاضیاتی، میزان کارایی مسیرهای اصلی شهر کاشان را پس از یک زلزله، برای امدادرسانی مدنظر قرار داده است.

احدنژاد و همکاران (۱۳۸۹)، با مدل‌سازی آسیب‌پذیری ساختمانی شهرها در برابر زلزله، با استفاده از روش AHP در محیط GIS در شهر زنجان، به این نتیجه دست یافتند که فرسودگی بافت و استفاده از مصالح کم‌دوام در ساخت‌وساز و عمر بالای ساختمان‌ها، سبب آسیب‌پذیری بالای منطقه می‌گردد. آنها همچنین با استفاده از امکانات تحلیلی و نمایشی سیستم اطلاعات جغرافیایی و ارائه سناریوهای زلزله در شدت‌های مختلف، به مدل‌سازی و ریزپهنه‌بندی آسیب وارده به ساختمان‌ها، تلفات انسانی و خسارات اقتصادی شهر زنجان در برابر زلزله پرداخته‌اند.

هاشمی و ال‌شیخ (۲۰۱۱)، به ارزیابی خسارت‌های ناشی از زلزله در تهران پرداخته‌اند. آنها مدلی را بر مبنای GIS تعریف و با مدل‌سازی ریاضیاتی توانستند مقدار آسیب وارده به ساختمان‌ها و تخریب شبکه معابر در اثر ریزش آنها و تلفات ناشی از زلزله را برآورد نمایند.

کریم‌زاده و همکاران (۲۰۱۴)، با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و GIS، به شبیه‌سازی وقوع زلزله در تبریز پرداختند. آنها در شبیه‌سازی خود، آسیب‌پذیری ساختمان‌ها، زیان‌های وارده بر انسان و منابع اولیه برای بازماندگان را با استفاده از توابع خسارت و تحلیل منطقی تخمین زدند.

زنگی‌آبادی و همکاران (۱۳۹۲)، در پژوهش خود بر روی آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر زلزله، هفت شاخص (دسترسی به مراکز درمانی، درجه محصوریت فضا، تراکم ساختمانی، تراکم جمعیتی، کاربری زمین، عمر ابنیه و کیفیت ابنیه) را مدنظر قرار داده‌اند و با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی معکوس و ترکیب لایه‌های اطلاعاتی با یکدیگر در محیط GIS، به این نتیجه دست یافتند که قطعات دارای درجه محصوریت بالا و تراکم‌های ساختمانی و جمعیتی بالا، دارای بیشترین آسیب‌پذیری بوده‌اند.

آنایا و همکاران (۲۰۱۲)، ویژگی‌های مشکلات مکان‌یابی مطالعه شده تا سال ۲۰۱۲ را در رابطه با طراحی شبکه حمل و نقل برای تصمیم‌گیری در مورد توزیع کمک‌های امدادی ارائه نمودند.

در پژوهش حاضر، هدف اصلی، مدل‌سازی آسیب‌پذیری و بررسی احتمال انسداد معابر در اثر فروریختن آوار ساختمانی است و سعی گردیده است تا با بهره‌گیری از نتایج و روش‌های کاربردی مطالعات قبلی و با استفاده از برداشت‌های مستقیم و داده‌های خام بلوکی، این هدف مورد بررسی قرار گیرد و در نهایت، میزان درجه ریسک‌پذیری معابر و سازگاری آنها در برابر زلزله‌های احتمالی برآورد گردد.

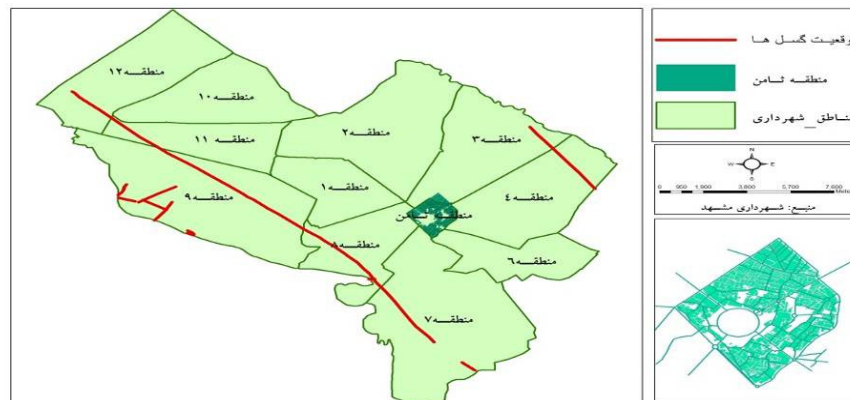
۲- داده‌ها و روش‌شناسی

۲-۱- بررسی منطقه مورد مطالعه

شهر مشهد، مرکز خراسان رضوی با ۲۷۶۶۲۵۸ هزار نفر جمعیت در سال ۱۳۹۰ و با متوسط رشد سالانه ۱/۷ درصد، در شمال شرق ایران و در طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۳۶ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۸ دقیقه واقع است. این شهر به عنوان دومین کلان‌شهر ایران، دارای ۱۳ منطقه است که منطقه ثامن به دلیل موقعیت خاص آن در بین سایر مناطق و بافت فرسوده آن، به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب گردیده است.

از بین گسل‌هایی که دشت مشهد را فرا گرفته‌اند، سه گسل جنوب مشهد، شمال مشهد و گسل شانندیز- سنگ‌بست، نزدیک‌ترین گسل‌ها به شهر مشهد می‌باشند. به‌طور کلی مشهد از شهرهایی است که خطر نسبی زلزله در آن در حد بالایی است؛ به‌طوری که طی سال‌های ۱۹۰۰-۱۹۹۰، مجموعاً نه زمین لرزه این شهر را لرزاندند است. از این تعداد، ۶ زلزله با شدت (۴-۴/۵ ریشتر)، دو زلزله با بزرگای (۵-۴/۵ ریشتر) و یک زلزله با بزرگای تنه‌ای بیش از ۶ ریشتر بوده است (حاتمی‌نژاد، ۱۳۸۰: ۸۰). مخرب‌ترین زمین‌لرزه سده‌های اخیر، در ۱۵ ربیع‌الثانی ۱۰۸۴ با بزرگی ۶/۶ ریشتر رخ داده است که در اثر آن، دو سوم مشهد از جمله گنبد مرقد امام رضا(ع)، سقف گنبدی مسجد

گوهرشاد و بسیاری از ساختمان‌ها ویران شد و ۴۰۰۰ تن کشته شدند (بربریان، ۱۹۹۴). همین امر ضرورت مطالعه منطقه ثامن را بیان می‌نماید.



شکل ۱- موقعیت منطقه ثامن در مناطق شهرداری مشهد

منطقه ثامن با حدود ۱۶۸۸۴ نفر جمعیت ساکن در سال ۹۰ و مساحت ۳۵۷۶۶۴۶ مترمربع از مناطق مهم و دارای شرایط خاص در بسیاری از ایام سال، مطرح است (آمارنامه شهر مشهد، ۱۳۹۰). این منطقه دارای بافت فرسوده تقریباً نامنظمی است که در تمامی نقاط شبکه، معابر نسبتاً باریک و فشرده‌ای را دارا است. به دلیل وجود حرم مطهر امام رضا(ع) تمام مسیرهای منتهی به منطقه، در اکثر روزهای سال از حجم ترافیک بالایی برخوردار است؛ لذا در صورت بروز زلزله و اختلال در هر یک از مسیرها، بار ترافیکی بالایی بر روی دیگر مسیرها قرار خواهد گرفت و در صورت نیاز به تخلیه اضطراری منطقه و کمک‌رسانی، مسیرهای بسیاری مسدود خواهند گشت؛ لذا، دانستن مسیرهای احتمالی که امکان مسدود شدن در اثر ریزش آوار را دارند و مسیرهای جایگزین آن امری ضروری است.

۲-۲- داده‌ها

کسب داده‌های اصلی، عمدتاً با بهره‌گیری از داده‌های بلوک‌های نواحی شهری و شبکه معابر شهرداری مشهد صورت گرفته است و اطلاعات مورد نیاز تحقیق، بر حسب اهداف تحقیق بوده است که از طریق نتایج تفصیلی سرشماری نفوس و مسکن

۱۳۹۱ شهر مشهد، نقشه ۱:۲۰۰۰ وضع موجود منطقه، لایه بلوک‌های آماری سال ۹۰ و شبکه معابر منطقه به دست آمده است.

۲-۳- روش‌شناسی

روش تحقیق در این پژوهش، ترکیبی از روش‌های تحقیق اسنادی، توصیفی و تحلیلی و پیمایشی بوده است. اطلاعات و داده‌های مورد استفاده، از طریق جداول توصیفی شیپ‌فایل‌های منطقه در Arc GIS استخراج گردید، سپس، مدل‌سازی عددی بر روی داده‌ها صورت گرفت تا آسیب‌پذیری منطقه ثامن در ارتباط با بحرانی همچون زلزله و درصد انسداد مسیرها در اثر زیرش احتمالی آوار، مورد ارزیابی قرار گیرد. بر طبق بسیاری از تحقیقات انجام شده، ارتفاع ساختمان‌های مجاور شبکه راه‌ها، با در نظر گرفتن میزان آسیب‌پذیری این سازه‌ها به همراه عرض معبر، از پارامترهای تأثیرگذار مهم در وضعیت انسداد راه‌ها در تخلیه اضطراری مناطق سانحه دیده به محل‌های اسکان اضطراری و ارائه خدمات امدادی است؛ در نتیجه، پارامتر ارتفاع ساختمان نسبت به عرض مسیر مجاور، می‌تواند جهت برآورد تأثیر این عامل در ایمنی شبکه راه‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد؛ بنابراین، پارامتر اصلی مورد مطالعه در این مقاله، درجه محصوریت معابر است.

با توجه به تلفیق روش و الگوریتم‌های استفاده شده با مباحث، شرح دقیق روش در ابتدای قسمت بحث آمده است.

۳- بحث

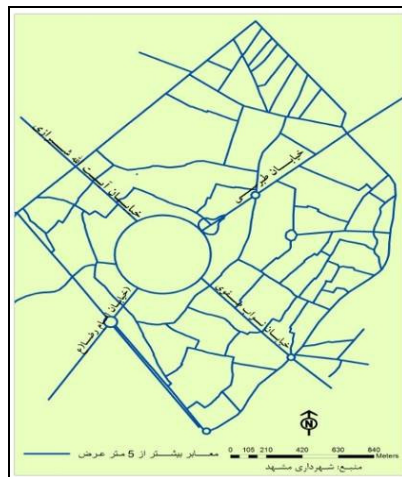
برآورد خسارت لرزه‌ای ساختمان‌ها با استفاده از تعیین منحنی شکست ساختمان‌ها بر اساس نوع مصالح ساختمانی، از دیگر عوامل مؤثر بر تأثیر ارتفاع ساختمان‌ها در انسداد معابر است. توجه به اهمیت انسداد راه‌ها در تخلیه اضطراری و اسکان موقت شاخص ارتفاع ساختمان نسبت به عرض مسیر مجاور، می‌تواند جهت برآورد تأثیر این

عامل در امنیت مسیرها مورد ارزیابی قرار گیرد و برآورد خسارت لرزه‌ای ساختمان‌ها با استفاده از منحنی شکست، به عنوان فعالیت‌های آتی پیشنهاد می‌گردد. برای محاسبه درجه محصوریت معابر در اثر ریزش ساختمان‌ها در زلزله، طبق تحقیقات بحرینی (۱۳۷۲)، چهار درجه ریسک می‌توان تعریف نمود:

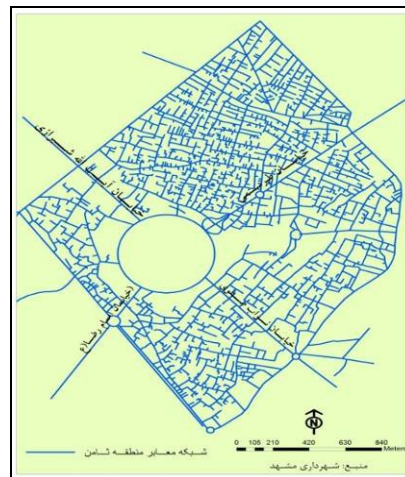
جدول ۱- شاخص ارتفاع ساختمان نسبت به عرض مسیر مجاور و درجه ریسک آنها

درجه ریسک	نسبت عرض مسیر به ارتفاع ساختمان‌ها (w/h)
۱- بسیار خطرناک	$w/h < 0.5$
۲- خطرناک	$0.5 \leq w/h < 1$
۳- متوسط	$1 \leq w/h < 2$
۴- کم‌خطر	$w/h \geq 2$

(مأخذ: بحرینی، ۱۳۷۲)



شکل ۳- شبکه معابر بالای ۵ متر عرض منطقه ثامن



شکل ۲- موقعیت شبکه معابر منطقه ثامن مشهد

برای محاسبه این نسبت و درجه ریسک، به ارتفاع ساختمان‌ها نیاز است به همین دلیل از لایه ارتفاعی ساختمان‌های منطقه استفاده گردید؛ سپس، این لایه، به همراه لایه شبکه معابر بالای ۵ متر منطقه در محیط Arc Map در نرم افزار Arc GIS وارد شدند و بر اساس خیابان‌های موجود، میانگین ارتفاع (H_E) و حداکثر ارتفاع (H_M) ساختمان‌ها برای هر طرف از خیابان‌ها محاسبه گردید. در مجموع، ۶۷ معبر در منطقه ثامن مورد

بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. شکل (۲) موقعیت شبکه معابر منطقه ثامن و (شکل ۳) معابر انتخاب شده را در قالب شماتیک نمایان می‌سازد. برای محاسبه عرض تله آوار در هر طرف خیابان‌های موردنظر، از رابطه زیر استفاده گردید:

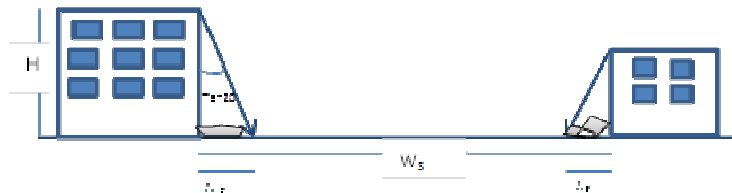
$$W_D = H_E * \tan 20 \quad \text{رابطه (۱):}$$

که در آن :

$$W_D = \text{عرض تله آوار}$$

$$H_E = \text{میانگین ارتفاع ساختمان‌ها در هر طرف خیابان}$$

$\tan 20$ = طبق مطالعات مختلفی که بر روی زاویه احتمالی برای ریزش ساختمان‌ها صورت گرفته است؛ این زاویه بیشترین احتمال را دارد (مزروعی، ۱۳۹۰).
با توجه به محاسبات فوق، می‌توان مدل توسعه‌یافته زیر را ارائه نمود. در این مدل، می‌توان فاصله انباشت مصالح تخریبی از ساختمان‌ها را در دو طرف یک خیابان فرضی محاسبه نمود. در این نمودار روابط (۲) حاکم است.



شکل ۴- مدل فاصله انباشت مصالح تخریبی از ساختمان‌ها در دو طرف خیابان‌ها

$$\begin{cases} 1) W_D + W'_D > W_S \\ 2) W_D + W'_D = W_S \\ 3) W_D + W'_D < W_S \end{cases} \quad \text{رابطه (۲):}$$

در این رابطه، اگر حالت یک رخ دهد، به این معنی خواهد بود که در هنگام تخریب ساختمان در خلال یک زلزله احتمالی، شبکه ارتباطی موردنظر کاملاً مسدود شده و

امکان امداد رسانی و استفاده از این معبر غیرممکن خواهد بود. این حالت، بدترین حالت ممکن خواهد بود. در صورتی که حالت ۲ اتفاق بیفتد نیز، معبر مورد نظر امکان مسدود شدن در زلزله‌های با بزرگای زیاد را خواهد داشت. این حالت نیز، نامناسب و به دور از شرایط مناسب، مورد نظر طراحان است؛ اما اگر حالت ۳ رخ دهد، امکان کمک‌رسانی از معبر مورد نظر، طی شرایطی برقرار خواهد بود؛ بدین معنی که جمع W_D و W_D باید به نحوی باشد که امکان عبور وسایل نقلیه‌ی امدادی وجود داشته باشد؛ بنابراین، برای سنجش عرض باقی‌مانده مفید پس از تخریب معبر، از طیف‌های زیر که در مطالعه آسیب‌پذیری ساختمان‌ها به وسیله مهدوی‌نژاد و جوانرودی (۱۳۹۱) به کار رفته است، استفاده می‌گردد.

جدول ۲- طیف‌های سازگاری مسیر پس از تخریب

ردیف	میزان سازگاری	عرض باقی مانده پس از تخریب
۱	بسیار مناسب	۹/۵ متر به بالا
۲	نسبتاً مناسب	۷/۵ تا ۹/۵ متر
۳	مناسب	۶/۵ تا ۷/۵ متر
۴	نسبتاً نامناسب	۵/۵ تا ۶/۵ متر
۵	کاملاً نامناسب	۵/۵ متر به پایین

لذا این مطالعه با بررسی میزان تله‌آوار ناشی از فرو ریزش احتمالی ساختمان‌های مجاور معابر منطقه ثامن مشهد، به مکان‌یابی نقاط بحران در شبکه معابر این منطقه پرداخته است.

برای محاسبه عرض قابل عبور پس از ریزش آوار، با استفاده از رابطه شماره (۱) مجموع عرض تله آوار در هر سمت از خیابان از عرض موجود و شناسایی شده آن کسر گردید. و در نهایت، عرض موجود با توجه به فرمول‌های ذکر شده در بالا مورد تحلیل قرار گرفت. جدول (۳)، نتایج به دست آمده برای تعدادی از خیابان‌ها را نشان می‌دهد.

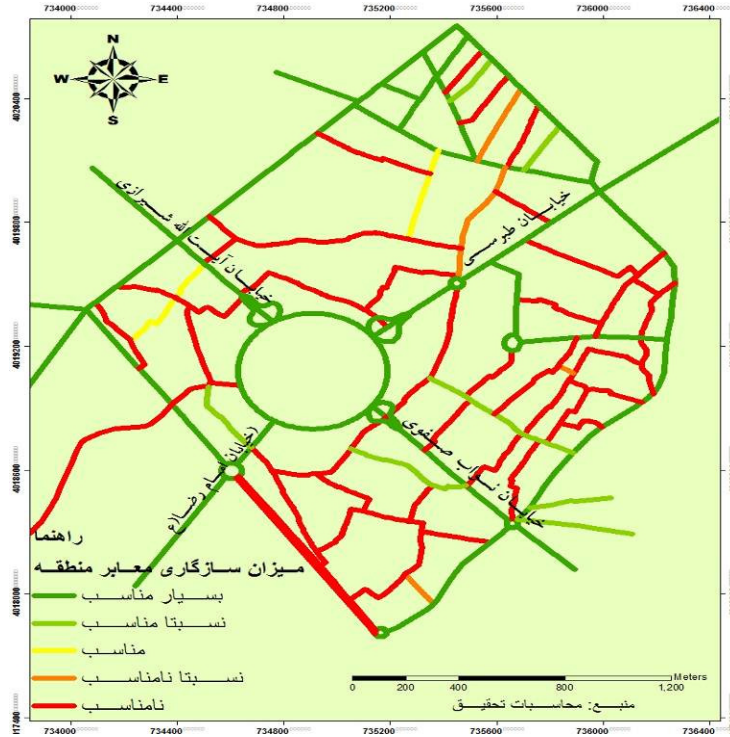
جدول ۳- نتایج به دست آمده از بررسی معابر منطقه ثامن

عرض قابل عبور پس از ریزش آوار	عرض تله آوار $W_D = H_E * \tan 20$	میانگین هر طرف (H_E)	بیشترین ارتفاع H_M	عرض معبر (W_S)	نام معبر
۲۵/۴۸	$۲/۳۷ = W_D$ $۲/۱۵ = W^D$	$۶/۵۱ = H_E$ $۵/۹۱ = H^E$	۱۲/۳۸	۳۰	خیابان کاشانی
۸/۲۷	$۱/۸۴ = W_D$ $۱/۸۹ = W^D$	$۵/۰۷ = H_E$ $۵/۲۲ = H^E$	۱۱/۶۷	۱۲	خیابان سالاری مقدم
۴/۳۰	$۱/۶۸ = W_D$ $۲/۰۲ = W^D$	$۴/۶۲ = H_E$ $۵/۵۵ = H^E$	۱۰/۵۴	۸	کوچه جوادیه
۲۳/۱۹	$۳/۲۳ = W_D$ $۳/۵۸ = W^D$	$۸/۹ = H_E$ $۹/۸۴ = H^E$	۲۶/۱۴	۳۰	خیابان شیرازی
۳۷/۱۷	$۴/۳۶ = W_D$ $۳/۴۷ = W^D$	$۱۲ = H_E$ $۹/۵۵ = H^E$	۱۹	۴۵	خیابان امام (رضاع)
۲۵/۲۸	$۲/۰۹ = W_D$ $۲/۶۳ = W^D$	$۵/۷۴ = H_E$ $۷/۲۴ = H^E$	۲۲/۸۷	۳۰	بلوار طبرسی

با تجزیه و تحلیل تمامی معابر مد نظر (۶۷ معبر) در منطقه ثامن و بر اساس طیف سازگاری در جدول (۲)، نتایج زیر برآورد گردید (جدول ۴):

جدول ۴- میزان سازگاری معابر منطقه پس از حادثه

میزان سازگاری	عرض باقی مانده پس از تخریب	تعداد معابر	ردیف
بسیار مناسب	۹/۵ متر به بالا	۱۷	۱
نسبتاً مناسب	۷/۵ تا ۹/۵ متر	۵	۲
مناسب	۶/۵ تا ۷/۵ متر	۲	۳
نسبتاً نامناسب	۵/۵ تا ۶/۵ متر	۴	۴
کاملاً نامناسب	۵/۵ متر به پایین	۳۹	۵

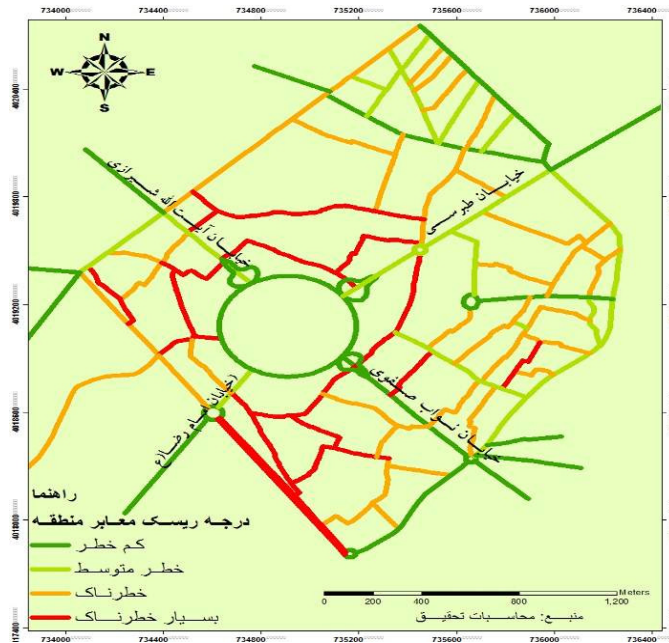


شکل ۵- میزان سازگاری معابر منطقه پس از یک حادثه

از سویی دیگر، برای اینکه درجه ریسک معابر منطقه مشخص گردد؛ نسبت عرض مسیر به بیشترین ارتفاع ساختمان‌ها، برای محاسبه درجه محصوریت تمامی معابر منطقه محاسبه گردید و نتایج زیر بر اساس جدول (۱) به دست آمد (جدول ۵) :

جدول ۵- درجه ریسک معابر منطقه نامن

درجه ریسک	درصد	تعداد معابر
بسیار خطرناک	۲۳/۸۱	۱۶
خطرناک	۴۶/۲۷	۳۱
خطر متوسط	۱۹/۴۰	۱۳
کم خطر	۱۰/۴۵	۷



شکل ۶- درجه ریسک معابر منطقه ثامن در حین یک حادثه

مشهد به‌عنوان 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؛ بر این اساس، بررسی‌های مربوط به آسیب‌پذیری لرزه‌ای این شهر، یکی از ضروریات مدیریت شهری مشهد است. باید دانست که زلزله یک پدیده چندوجهی و یا چندبعدی است و برخلاف آنچه غالباً در کشور ما مشاهده می‌شود، صرفاً به مقاوم‌سازی (آن هم اجرای ناقص آیین‌نامه ۲۸۰۰) محدود نمی‌شود. با وجود اینکه نقش برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای به دلیل ماهیت، گستردگی و نیز ارتباط کاری در کاهش تلفات ناشی از زلزله به نوبه خود بسیار اساسی و در عین حال پایدار است؛ متأسفانه باید گفت که در اغلب کشورهای در حال توسعه از قابلیت‌ها و ظرفیت‌های این دانش در کلیه سطوح شهری، منطقه‌ای و ملی غفلت می‌شود. همچنین شریان‌های ارتباطی که از مهم‌ترین فاکتورهای

کاهش آسیب‌پذیری شهرهای سانحه‌دیده در برابر زلزله می‌باشند، به صورت تخصصی مورد مطالعه قرار نگرفته‌اند.

هدف اصلی این پژوهش، مدل‌سازی آسیب‌پذیری و بررسی احتمال انسداد معابر در اثر فروریختن آوار ساختمانی بوده است تا بدین صورت، میزان کارایی شبکه معابر در زمان بروز بحران زلزله در سطح منطقه ثامن مشهد تعیین گردد. در این راستا بر اساس نظریات و دیدگاه‌های مختلف در مطالعات پیشین، شکل کلی برای بررسی و تحلیل میزان آسیب‌پذیری معابر مختلف بر اثر ریزش آوار ارائه گردید. بر اساس بررسی‌های به عمل آمده، مشخص گردید به هر میزان که عرض مسیرهای شبکه حمل و نقل بیشتر باشد، آسیب‌پذیری‌های مجاور تأثیر کمتر و ناچیزی بر روی امداد رسانی خواهند داشت؛ بنابراین باید در طرح‌های توسعه به بهبود این معابر؛ مخصوصاً در زمینه دو شاخص عرض معبر و آسیب‌پذیری ابنیه در اطراف این معابر توجه نمود؛ بدین صورت که معابر با عرض کمتر از شش متر در منطقه تعریض گردند و سایر معابر نیز، بسته به حجم سفر موجود و پیش‌بینی شده و عملکرد شبکه‌ای آن به عرض مناسب خود نزدیک گردند.

۴- نتیجه‌گیری

استفاده از مدل‌سازی ریاضیاتی و طیف‌بندی درجه ریسک معابر منطقه نشان داد که نسبت ارتفاع ساختمان به عرض معبر (درجه محصوریت) عامل مهمی در محاسبه انسداد احتمالی مسیر در زمان بروز بحران است. به کارگیری این شاخص بر روی ۶۷ معبر انتخابی در منطقه ثامن و استفاده از نتایج به دست آمده در سیستم اطلاعات جغرافیایی (شکل ۵)، نشان می‌دهد که به طور تقریبی ۵۸.۲ درصد از معابر مورد بررسی، در صورت تخریب ساختمان‌های بدنه آنها دارای عرض عبوری کمتر از ۵.۵ متر است و همین امر سبب می‌گردد که سازگاری آنها در وضعیت کاملاً نامناسب قرار گیرد و با توجه به عدم رعایت تناسب ارتفاع ساختمان‌ها به عرض معبر، ۴۶/۲۷ درصد از این معابر، درجه ریسک بالایی در زمان بروز بحرانی چون زلزله خواهند داشت (شکل ۶). از طرفی، همان‌گونه که در شکل (۶) نشان داده شده است، معابر اصلی منطقه (طبرسی،

آیت الله شیرازی، نواب صفوی، امام رضا) از موقعیت مناسب‌تری (به لحاظ شاخص درجه محصوریت) نسبت به معابر درونی برخوردار هستند و با کنترل سایر موارد، مانند حجم ورود به منطقه و برقراری امنیت، در صورت بروز بحرانی چون زلزله، کارایی لازم را خواهند داشت. در نهایت، باید علاوه بر استفاده از شاخص درجه محصوریت معابر، شاخص‌های دیگری از جمله آسیب‌پذیری و مقاومت ابنیه (به عوامل دیگری همچون سن و نوع مصالح بستگی دارد)، را مدنظر قرار داد و سناریوهای مختلف بروز زلزله را در نظر گرفت؛ چون با شدت‌های مختلف زلزله، آسیب‌پذیری‌های مختلفی نیز روی خواهند داد؛ همچنین، مطالعه زلزله‌های گذشته منطقه می‌تواند کمک بزرگی در تشخیص شدت و بزرگی زلزله در آینده نماید؛ بنابراین، در این تحقیق به این نتیجه بسنده نمودیم که عرض و ارتفاع ساختمان‌های مجاور مسیرها می‌تواند تأثیر مهمی در حمل و نقل و امدادسانی در زمان بروز حادثه بگذارد و این کاملاً در نتایج و محاسبات موجود، نمود خود را پیدا کرده است.

پیشنهادها

- لازم است به این نکته توجه نمود که تا زمان پایان بهسازی و بازسازی منطقه، بدنه خیابان‌ها، به‌ویژه در اطراف خیابان‌های اصلی (به لحاظ ایمنی و مقاوم‌سازی) در اولویت قرار گیرند.
- همچنین، در صورت بروز بحران زلزله، از مسیرهای اصلی برای امدادسانی فوری در سطح منطقه استفاده گردد و در بن‌بست‌ها و کوچه‌های باریک، از نیروی آموزش‌دیده انسانی برای انتقال مجروحین به سمت ماشین‌های امداد مستقر در مسیرهای اصلی استفاده شود.
- در نهایت امید است که دیگر محققان با مطالعات بیشتر و شناخت بهتر منطقه و ظرفیت‌ها و محدودیت‌های آن، بتوانند اطلاعات مفیدتری را گردآوری نموده و به نتایج جامع‌تری دست یابند.

فهرست منابع

۱. احدنژاد، محسن. قرخلو، مهدی. زیاری، کرامت‌اله. (۱۳۸۹). مدل‌سازی آسیب‌پذیری ساختمانی شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (نمونه موردی: شهر زنجان). جغرافیا و توسعه، شماره ۱۹، صفحات ۱۹۸-۱۷۱.
۲. آمارنامه شهرمشهد. (۱۳۹۰). معاونت برنامه‌ریزی و توسعه شهرداری مشهد.
۳. بحرینی، حسین. (۱۳۷۲). برنامه‌ریزی کاربری زمین در مناطق زلزله‌خیز (نمونه شهرهای لوشان، منجیل و رودبار). تهران: انتشارات مرکز مقابله با سوانح ایران.
۴. حاتمی‌نژاد، حسین. (۱۳۸۰). شهر و عدالت اجتماعی، ناهمگونی فضایی در محلات شهر مشهد. رساله دکتری دانشگاه شهید بهشتی تهران.
۵. حسینی، مازیار. (۱۳۸۷). مدیریت بحران. چاپ اول، تهران: مؤسسه نشر شهر.
۶. زهرایی، مهدی. ارشاد، لیلی. (۱۳۸۴). بررسی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های شهر قزوین. نشریه دانشکده فنی دانشگاه تهران، جلد ۳۹.
۷. زنگی‌آبادی، علی. رضایی، میثم. مؤمنی‌شهرکی، مهدی. میرزایی، سارا. (۱۳۹۲). ارزیابی آسیب‌پذیری بخش مرکزی کلان‌شهرهای ایران در برابر بحران زلزله با استفاده از مدل IHWP (مطالعه موردی: منطقه ۳ شهر اصفهان). مجله آمایش جغرافیایی فضا، شماره ۸، صفحات ۱۵۶-۱۳۷.
۸. سالکی ملکی، محمدعلی. ولی‌بیگی، مجتبی. قاسمی، معصومه. (۱۳۹۲). کارایی فضایی شبکه ارتباطی به‌منظور امدادسانی بعد از وقوع زلزله (مطالعه موردی: شهرک باغمیشه تبریز). فصلنامه امداد و نجات، شماره ۳، صفحات ۸۵-۷۰.
۹. شیعه، اسماعیل. حبیبی، کیومرث. ترابی، کمال. (۱۳۸۹). بررسی آسیب‌پذیری شبکه‌های ارتباطی شهرها در مقابل زلزله با استفاده از روش GIS، IHWP. (مطالعه موردی: منطقه شش شهرداری تهران). فصلنامه باغ نظر، شماره ۱۳، صفحات ۴۸-۳۵.
۱۰. مزروعی قمصری، جواد. (۱۳۹۰). تعیین مسیرهای مناسب و قابل دسترس بعد از زلزله با استفاده از نرم‌افزار GIS جهت مدیریت بحران شهرستان کاشان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مدیریت بحران به راهنمایی دکتر محمدعلی فرقانی، دانشگاه باهنر کرمان.

۱۱. مهدوی‌نژاد، محمدجواد. جوانرودی، کاوان. (۱۳۹۱). بررسی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله در شبکه‌های ارتباطی تهران بزرگ (مطالعه موردی: خیابان ولی‌عصر شمالی-میدان ولی‌عصر تا چهارراه پارک‌وی). دوفصلنامه مدیریت بحران، شماره ۱، صفحات ۲۱-۱۳.
۱۲. نورائی، همایون. رضایی، ناصر. عباسپور، رحیم‌علی. (۱۳۹۰). ارزیابی و تحلیل مکانی کارایی شبکه‌های ارتباطی محلی پس از زمین‌لرزه از منظر پدافند غیرعامل. مجله علوم و فناوری‌های پدافند غیرعامل، شماره ۳، صفحات ۱۶۰-۱۵۱.
13. Amini Hosseini, K., Hosseini, M., Jafari, M.K., Hosseinioon, S., (2009). **Recognition of Vulnerable Urban Fabrics in Earthquake Zones: A Case Study of the Tehran Metropolitan Area**. JSEE ,Vol. 10, No.4, pp:175-187. Available online at: <http://www.iiees.ac.ir/jsee>.
14. Anagnostopoulos, S., Providakis, C., Salvaneschi, P., Athanasopoulos, G. و Bonacina, G., (2008). **SEISMOCARE: An efficient GIS tool for scenario-type investigations of seismic risk of existing cities**. Soil Dynamics and Earthquake Engineering No.28, pp:73-84.
15. Anaya-Arenas, A., M. Renaud, J., Ruiz, A., (2012). **Relief distribution networks: A systematic review**. Technical Report 55, CIRRELT.
16. Apte, A., (2009). **Humanitarian Logistics: A new field of research and action**. Foundations and Trends in Operations Management, No.3 (1), pp:1-100.
17. Berberian, M., (1995). **Natural Hazards and the First Earthquake Catalogue of Iran**. Historical Hazard in Iran Prior to 1900, A UNESCO/IIEES publication during UN/IDNDR: International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, 603 (in English) + 66 (in Persian), Vol.1.
18. Bissell, R., (2013). **Preparedness and Response for Catastrophic Disasters**. CRC Press.
19. Hashemi, M., Alesheikh, A.A., (2011). **A GIS-based earthquake damage assessment and settlement methodology**. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, No.31, pp:1607-1617.
20. Karimzadeh, S., Miyajima, M., Hassanzadeh, R., Amiraslanzadeh, R., Kamel, B., (2014). **A GIS-based seismic hazard, building**

- vulnerability and human loss assessment for the earthquake scenario in Tabriz.** Soil Dynamics and Earthquake Engineering, No.66, pp:263–280.
21. Kovacs, G., Spens, K., (2009). **Identifying challenges in humanitarian logistics.** International Journal of Management, Vol.39, No.6, pp:506-528.
22. Menoni, S., Costa, L., Galderisi, A., Margottini, C., (2011). **Methodological framework for an Integrated multi-scale vulnerability and resilience assessment.** ENSURE, Del 4.1.1, ENSURE project, WP4, deliverable 4.1.1, 96 pp.
23. Oliveira, C.S., Roca, A., Goula, X., (2008). **ASSESSING AND MANAGING EARTHQUAKE RISK: Geo-scientific and Engineering Knowledge for Earthquake Risk Mitigation: developments, tools, techniques.** Springer, Vol.2. (www.springer.com)
24. Salman, F.S., Yücel, E., (2014). **Emergency facility location under random network damage: Insights from the Istanbul case.** Computers & Operations Research.
25. Sapir, G., (2011). **Disasters in numbers 2010.** CRED, Catholic University of Louvain, Brussels (Belgium).