

بررسی آسیب‌پذیری شبکه معابر در زمان تخلیه اضطراری در زلزله‌های احتمالی (مطالعه موردی: منطقه ثامن مشهد)

محمدعلی فرقانی (استادیار گروه مدیریت، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران)

forghani@uk.ac.ir

زین‌العابدین صادقی (استادیار گروه اقتصاد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران)

abed-sadeghi@yahoo.com

سپیده پوررمضان (کارشناس ارشد مدیریت بحران، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران، نویسنده مسئول)

sepidehpoorrmezan@yahoo.com

صص ۱۰۸ - ۹۱

DOI: 10.22067/geography.v14i2.47249

چکیده

اهداف: هدف اصلی این مقاله شناسایی و پهنه‌بندی محدوده منطقه ثامن مشهد از نظر آسیب‌پذیری شبکه معابر در زمان بروز حوادثی همچون زلزله می‌باشد. روش: این مطالعه براساس هدف، از نوع تحقیقات کاربردی و از نظر ماهیت و روش، از نوع تحقیقات توصیفی - موردی است. بنابراین ابتدا پارامترهای مؤثر در تعیین کارایی شبکه معابر در زمان بروز بلایایی، همچون زلزله با استفاده از نظرات کارشناسان تعیین گردیدند. سپس برای انتخاب بهینه‌ترین مسیر جهت تخلیه اضطراری در زلزله‌های احتمالی، از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی و قابلیت‌ها و تکنیک‌های هم‌پوشانی لایه‌های اطلاعاتی در نرم‌افزار Arc GIS استفاده شده است. یافته‌ها/نتایج: استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی نشان داد که در بین شاخص‌های مطرح‌شده، شاخص ویژگی‌های سازه‌ای جداره در مجموع از دیگر شاخص‌ها تأثیرگذاری بیشتری را داشته است. همچنین نتایج حاصل از هم‌پوشانی شاخص‌ها نشان می‌دهد که معابر موجود در شمال منطقه نسبت به بقیه محدوده مورد مطالعه، دارای آسیب‌پذیری بیشتری می‌باشند و با حرکت از شمال به جنوب منطقه، از میزان آسیب‌پذیری کاسته می‌شود.

نتیجه‌گیری: بیشتر معابر این منطقه به لحاظ دارا بودن بافت قدیمی و تراکم بالای جمعیتی و ساختار ساختمانی نامناسب، دارای بیشترین آسیب‌پذیری می‌باشند. بنابراین نیاز است تا زمان اصلاح شبکه معابر از مسیرهای اصلی منطقه به‌عنوان بهینه‌ترین مسیرها که دارای بهترین شرایط برای دسترسی به سایر مناطق هستند، استفاده کرد.

کلیدواژه‌ها: شبکه معابر، آسیب‌پذیری، تخلیه اضطراری، منطقه ثامن مشهد

۱. مقدمه

عواملی چون گرم‌شدن 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 سانحه در هر سال رشد کرده است و هنوز نیز انتظار می‌رود که در ۵۰ سال آینده این افزایش پنج برابر گردد (کواکز و اسپنز^۱، ۲۰۰۹، ص. ۵۰۷). در سال ۲۰۱۰، ۲۰۷ میلیون نفر از مردم جهان در سوانح آسیب دیدند که باعث ۲۹۶۸۰۰ مرگ و زبانی بالغ بر ۱۰۹ بلیون دلار شد (سایر^۲، ۲۰۱۱، ص. ۲). این سوانح طبیعی نیازمند بسیج فوری و اقدام مسئولان برای تأمین مواد و تجهیزات لازم و خدمات خواسته شده توسط قربانیان می‌باشند. تمرکز عملیات امداد سوانح بر روی «طراحی حمل‌ونقل کمک‌های اولیه، غذا، تجهیزات، و نجات کارکنان از نقاط پیرامون منطقه سانحه و تخلیه و انتقال افراد آسیب‌دیده توسط سانحه به مراکز بهداشت و پناهگاه‌های امن و سریع» می‌باشد (آپته^۳، ۲۰۰۹، ص. ۳۹). در کشورهای هم‌چون ایران، تجربیات مخاطرات طبیعی نشان می‌دهد که مدیریت و تصمیم‌گیری پیش از وقوع زلزله و پس از آن، بسیار حائز اهمیت است. بروز برخی از حوادث طبیعی و غیرطبیعی شرایطی را به وجود می‌آورند که بعضاً تخلیه سریع یک منطقه را اجتناب‌ناپذیر می‌سازند. حوادث طبیعی عمدتاً زمین‌لرزه‌ها (مانند زمین‌لرزه مهیبی که در دی‌ماه ۱۳۸۲ شهر بم را در هم کوبید)، گردبادها (مانند گردباد اندرو که در سال ۱۹۹۲ میلادی سواحل شرقی آمریکا را درنوردید)، سیلاب‌ها (مانند سیل سهمگین سال ۱۳۸۰ شمسی که بخشی از استان‌های شمال و شمال‌شرق ایران را تخریب

1. Kovacs & Spens
2. Sapir
3. Apte

کرد) و فوران‌های آتشفشان (مثل فوران کوه آتشفشانی اتنا در ایتالیا در سال‌های ۱۹۹۳ و ۲۰۰۱ میلادی که موجب تخلیه مناطق همجوار گردید) را شامل می‌شوند (طارقیان^۱، ۲۰۰۴، ص. ۲۶). در این راستا تخلیه جوامعی که دچار سانحه شده‌اند، می‌تواند یکی از مشکل‌ترین عملیات پاسخ باشد. تخلیه می‌تواند اجباری، پیشنهاد شده یا داوطلبانه صورت گیرد، و ممکن است در مقیاس، اهداف جابه‌جایی (افراد در مقابل اموال) و سطح کنترل توسط مسئولان متفاوت باشد. با در نظر گرفتن نوع سانحه، پیش‌آگاهی از سوانحی که ناگهان شروع خواهند شد، می‌تواند زمان کافی برای تخلیه پیش از رویداد باقی‌گذارند (کواکز و اسپنز، ۲۰۰۷، ص. ۱۰۲).

یک برنامه تخلیه، سیاست‌های تخلیه بهینه را برای جمعیت مناطق تحت ریسک و عدم اطمینان تعریف می‌کند. نیاز برای انجام برنامه‌ریزی جهت تخلیه، درسی است که از ناکامی تخلیه بعد از طوفان کاترینا در ایالات متحده آمریکا یاد گرفته شد، اگرچه طراحی زمان واقعی یا ارزیابی دوباره از این برنامه‌ریزی‌ها ممکن است بعد از خساراتی که سانحه ایجاد کرد، مورد نیاز باشد (آپته، ۲۰۰۹، ص. ۶۴). تکنیک‌ها و روش‌هایی برای شبیه‌سازی تخلیه افراد ساکن نزدیک به منطقه آسیب‌دیده با هدف اصلی شناسایی مشکلاتی که در لحظه تخلیه می‌تواند اتفاق افتد، به اجرا درآمده است. از جمله این مشکلات می‌توان ازدحام و تصادفات وسایل نقلیه را نام برد که سبب افزایش زمان تخلیه و تعداد مجروحان می‌شود. با وجود این، روش‌های متداول و ابتکاری برای تعریف مسیرهای تخلیه به‌طور کلی مبتنی بر مجاورت جغرافیایی و برای کوتاه‌ترین زمان مسافرت می‌باشند. چنین تکنیک‌هایی نه می‌گویند که ظرفیت مسیرها، تقاضای شدید برای حمل و نقل در طی تخلیه را ایفا نمی‌کنند و نه اینکه مسیرهای باریک در معرض تصادفات بالقوه می‌باشند (کامپس و باندیریا^۲، ۲۰۱۲، ص. ۵۰۴).

در نهایت، هدف اصلی این پژوهش شناسایی عوامل پهنه‌بندی محدوده منطقه ثامن مشهد از نظر آسیب‌پذیری شبکه معابر در زمان بروز حوادثی همچون زلزله است.

۲. پیشینه تحقیق

در سال‌های اخیر، مطالعاتی در زمینه تخلیه و آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل صورت پذیرفته است. سالکی ملکی، ولی‌بیگی، و قاسمی (۱۳۹۲) در تحقیق خود به ارزیابی فضایی

1. Tareghian
2. Campos & Bandeira

کارایی شبکه ارتباطی دورن شهری برای امداد رسانی 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، حبیبی، و ترابی (۱۳۸۹) نیز در مطالعه خود بر روی آسیب‌پذیری شبکه‌های ارتباطی شهرها با استفاده از مواردی، چون: دسترسی به مراکز درمانی، رابطه بین عرض خیابان و ارتفاع ساختمان‌ها، تراکم ساختمانی و جمعیتی منطقه و کیفیت ابنیه از طریق مدل‌های مختلف PGA، کاربری زمین تلفیق اطلاعات و نقشه‌ها که براساس مدل تحلیل سلسله‌مراتبی معکوس ترکیب شده است، میزان آسیب‌پذیری شبکه‌های ارتباطی منطقه شش تهران را ارزیابی کردند 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 است؛ تاحدی که به‌عنوان بخش‌های آسیب‌پذیر شناخته می‌شوند. کانتینهو رادریجز، ترالهاو، و آلمدیا^۱ (۲۰۱۲) مسئله مسیریابی - مکان‌یابی را با رویکردی چند هدفه به‌منظور طراحی برنامه‌های تخلیه شهری برای شهر کویمبرا در پرتغال به‌کار برده‌اند. آنها اهدافی، شامل ریسک مرتبط با مسیرها و مکان‌های سرپناه، طول مسیرهای تخلیه، زمان تخلیه از سرپناه به‌سوی مراکز درمانی در مواقع اضطراری را برای شهر کویمبرا در پرتغال به‌طور موردی در نظر گرفته‌اند و با استفاده از اهداف، به مدل‌سازی چندهدفه مسیریابی - مکان‌یابی برای دسترسی اثربخش به مسیرهای اضطراری پرداخته‌اند. آنها در بررسی خود دو مسیر (اولیه و پشتیبان) را در نظر گرفته‌اند که مسیر پشتیبان برای زمانی می‌باشد که مسیر اولیه، مسدود گشته و کارایی خود را از دست می‌دهد. آنها راهکارهایی را برای مسیریابی بهینه ارائه داده و با استفاده از گراف‌ها، جدول‌ها و نقشه‌های رنگی کدبندی‌شده در محیط GIS آنها را با هم مقایسه کرده‌اند و در نهایت به مسیرهای موردنظر دست یافته‌اند (کانتینهورادریجز، ترالهاو و آلمدیا، ۲۰۱۲، ص. ۲۱۶). هاشمی و ال‌شیخ (۲۰۱۱)، به ارزیابی خسارت‌های ناشی از زلزله در تهران پرداخته‌اند. آنها مدلی را بر مبنای GIS تعریف کردند و با مدل‌سازی ریاضیاتی توانستند مقدار آسیب وارده به ساختمان‌ها و تخریب شبکه معابر در اثر ریزش آنها و تلفات ناشی از

1. Countinho-Rodrigues, Tralhão & Alcada-Almeida

زلزله را برآورد نمایند. هان، یوان، چین، و هووانگ^۱ (۲۰۰۶) پیشنهاد می‌کنند که مشکل عمده در عملیات تخلیه این است که راه‌های خروجی منطقه تخلیه، اغلب به تعداد و ظرفیت محدودی می‌باشند که با افزایش ناگهانی ترافیک در طول تخلیه اضطراری در مقیاس بزرگ، کافی نیستند. استپانوف و اسمیت^۲ (۲۰۰۹) بیان می‌کنند که ظرفیت شبکه حمل‌ونقل به‌طور کلی نمی‌تواند تقاضای شدید برای حمل‌ونقل در طول تخلیه را تأمین نماید و حتی در تخلیه‌های کوچک در مقیاس محله‌ای، شبکه‌های حمل‌ونقل می‌تواند مانعی برای پاک‌سازی سریع جمعیت از یک منطقه آسیب‌دیده باشند. به‌منظور مدیریت مؤثرتر چنین شرایط اضطراری‌ای، تصمیم‌گیرندگان ممکن است از داشتن برنامه‌های تخلیه در محل برای حالاتی که به‌احتمال زیاد اتفاق می‌افتد بهره‌مند شوند، هرچند طراحی در زمان واقعی و یا ارزیابی مجدد برنامه‌های تخلیه ممکن است پس از رخ‌دادن سوانح موردنیاز باشد. بنابراین مطالعات انجام‌شده بر روی روش‌هایی برای بهبود برنامه‌ریزی و جنبه‌های عملیاتی فرایند تخلیه برای به حداکثر رساندن استفاده از شبکه حمل‌ونقل موجود تمرکز کرده‌اند.

۳. روش‌شناسی تحقیق

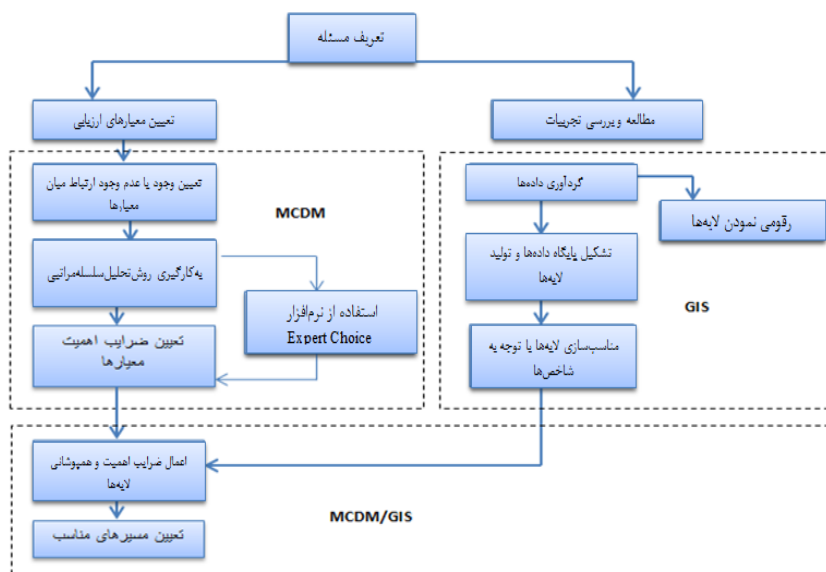
۳.۱. روش تحقیق

این مطالعه براساس هدف، از نوع تحقیقات کاربردی و از نظر ماهیت و روش، از نوع تحقیقات توصیفی - موردی است که براساس اطلاعات توصیفی سال ۱۳۹۰ شهرداری ثامن مشهد بررسی شده است. به‌طورکلی در این مطالعه به شاخص‌سازی، مدل‌سازی و تحلیل ارتباط بین پارامترهای مختلف مسیریابی تخلیه اضطراری برای منطقه ثامن مشهد پرداخته شده است. بنابراین در گام اول با مطالعات کتابخانه‌ای، به شناسایی عوامل مهم در این امر پرداخته شده است. به عبارتی در رابطه با ارزیابی کارایی شبکه معابر در تخلیه اضطراری، عنصر مهم و تأثیرگذار تشخیص جامع مجموعه معیارهای مؤثر در این زمینه است؛ به‌گونه‌ای که مطالعه حاضر تنها به چند عامل بسنده نکرده و دید نسبتاً جامعی را ایجاد می‌نماید. بدین‌منظور، با توجه به نتایج حاصل از مطالعات و تحقیقات پیشین و بهره‌گیری از نظرات کارشناسان، معیارها و زیرمعیارهایی برای بررسی کارایی شبکه معابر در تخلیه اضطراری برگزیده

1. Han, Yuan, Chin & Hwang

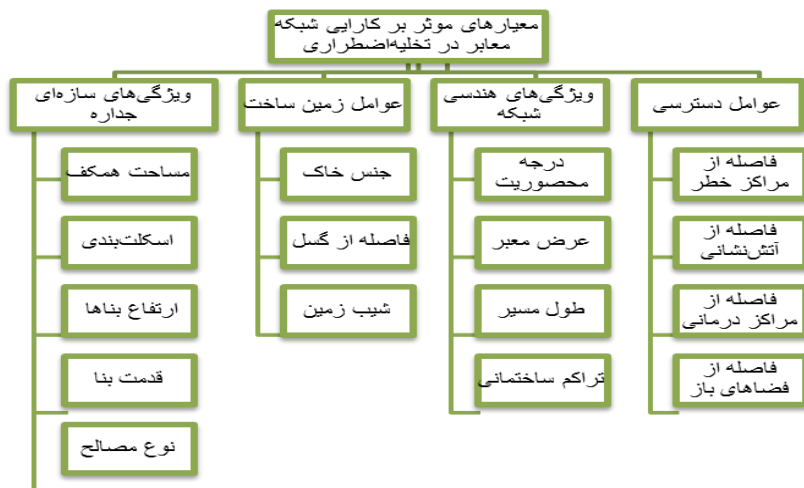
2. Stepanov & Smith

گردید (شکل ۲). در ادامه مطابق با روند بیان شده در شکل (۱) و با استفاده از روش تحقیق پیمایشی، مسیرهای آسیب‌پذیر با استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزار Arc GIS مدل‌سازی شده و با تلفیق لایه‌های اطلاعاتی موردنظر، مسیرهای بهینه برای امداد رسانی و تخلیه اضطراری در زمان حادثه‌ای چون زلزله شناسایی گردیدند.



شکل ۱- روند انجام پژوهش

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۳

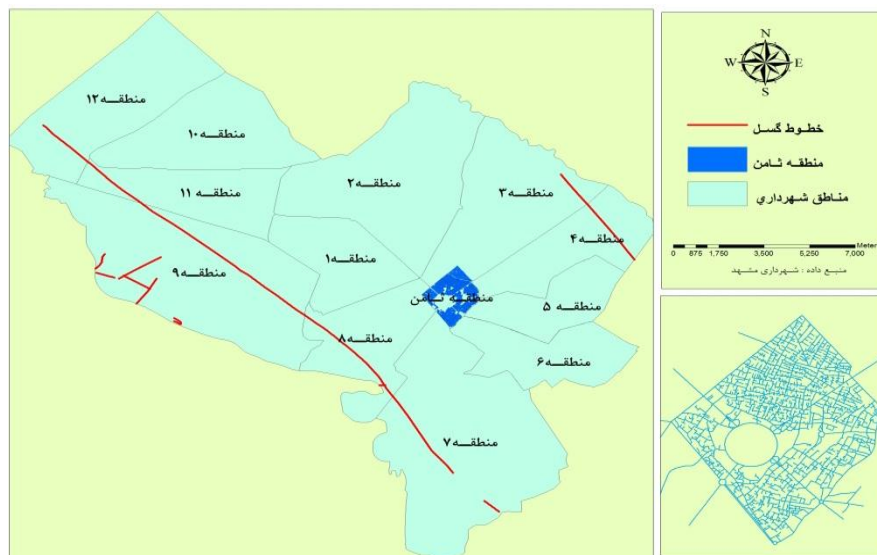


شکل ۲- معیارها و زیرمعیارهای مؤثر بر کارایی شبکه معابر در تخلیه اضطراری

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۳

۲.۳. معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه ثامن در مرکز شهر مشهد و در پیرامون حرم مطهر امام‌رضا(ع) قرار گرفته است و دارای بافت قدیمی مذهبی - سنتی است. مساحت این منطقه ۳۶۰ هکتار است که ۶۹ هکتار آن اراضی حریم حرم مطهر می‌باشد. بیشتر هتل‌ها، هتل آپارتمان‌ها و مهمان‌پذیرهای مشهد در این منطقه واقع شده‌اند و دارای شرایط مناسبی برای زائرپذیری می‌باشد. نکته قابل توجه این است که این منطقه هر ساله پذیرای بیش از ۲۰ میلیون نفر زائر و گردشگر خارجی می‌باشد (خبرگزاری حوزه نمایندگی ولی فقیه در امور حج و زیارت، ۱۳۹۴) و از طرفی نیز، دارای بافت متراکم و فرسوده‌ای در بیشتر نقاط است که این موضوع، این نگرش را ایجاد خواهد کرد که بروز بحرانی همچون زلزله، تخریب‌های گسترده‌ای را در پی داشته باشد. این مسئله زمانی تشدید می‌گردد که سرعت امداد رسانی به دلیل ناکارآمدی معابر و بافت ساختمانی منطقه کاهش یابد. بنابراین ضروری است تا ضمن تحلیل شبکه ارتباطی به‌عنوان مؤثرترین عنصر در مرحله امداد رسانی، نقاط آسیب‌پذیر آن نیز شناسایی شوند تا در مواقع بحران از مسیرهای جایگزین و دارای کارایی بالا استفاده گردد. شکل (۳) نمای کلی از منطقه مورد نظر و موقعیت گسل‌ها نسبت به این منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۳- محدوده مورد مطالعه در این پژوهش

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۳

۴. مبانی نظری

۴.۱. تخلیه اضطراری

برنامه‌ریزی تخلیه یک فرایند پیچیده متشکل از چند مرحله متوالی است. پس از تشخیص یک حادثه، تصمیم‌گیرندگان، تهدید بالقوه برای مناطق خاص را ارزیابی می‌کنند و سپس دستور تخلیه برای این مناطق را (اگر خطر قابل توجه باشد و هیچ پناهگاهی در محل وجود نداشته باشد) صادر می‌کنند. نوع سانحه و تخلیه کلی یا جزئی به محل‌های امداد، طولانی یا موقتی بودن تخلیه را تعیین خواهند کرد (آپته، ۲۰۰۹، ص. ۳۰). هشدار تخلیه با جمعیتی ارتباط برقرار می‌کند که باید برای تخلیه تصمیم بگیرند و به درک آنها از خطر بستگی دارد. پس از آن، جمعیت از طریق یک شبکه حمل و نقل به مناطق تعیین شده امن منتقل می‌گردند. وضعیت زیرساخت تعیین خواهد کرد که چه حالتی از حمل و نقل استفاده شود، اما تخلیه نیز به ناوگان موجود از وسایل نقلیه، ظرفیت آنها و نیز شرایط محیطی تخلیه‌شوندگان بستگی دارد. در نهایت تخلیه‌شوندگان به مناطق خارج از منطقه خطر می‌رسند و باید این تخلیه مورد قبول آنها باشد تا آن را با خیال راحت به انجام برسانند (استپانوف و اسمیت، ۲۰۰۹، ص. ۴۳۶). زمان تخلیه ممکن است از چند ساعت تا هفته‌ها یا حتی ماه تغییر کند که این نیز به ابعاد سانحه بستگی دارد. برنامه‌ریزی برای شناسایی اولویت‌ها و تعیین مسیر بهینه انتقال افراد از مناطق بحران‌زده به مناطق امن، متأثر از عوامل مختلفی اعم از ساختار شهر، بافت شهر، فرم شهر، کاربری اراضی شهر، تراکم، تأسیسات و زیرساخت‌های شهری، شبکه ارتباطی شهر و... است. بنابراین تعیین اولویت برای مسیرهای مختلف موجود به منظور انتقال افراد در بخش‌های مختلف شهر به نزدیک‌ترین محل امن، مستلزم تعریف شاخص‌های مرتبط با مسئله تخلیه اضطراری می‌باشد.

۴.۲. آسیب‌پذیری

آسیب‌پذیری به میزان خسارت ناشی از سطح مشخصی از خطر (مثلاً ناشی از رخداد زلزله‌ای با اندازه معین) به یک یا چند عنصر که در معرض ریسک قرار دارند، اطلاق می‌گردد (عباس‌نژاد و حسن‌زاده، ۲۰۰۸، ص. ۲۱۰). شناسایی و تشخیص تهدیدات، این امکان را به وجود خواهد آورد که جوامع و اماکن و اموالی را که در مقابل یک سانحه خسارت‌آفرین

و یا ویرانگر آسیب‌پذیر هستند، با دقت قابل‌قبولی شناسایی کرده و میزان آسیب‌پذیری آنها تخمین زده شود (کارت^۱، ۱۹۹۴، ص. ۶۴).

۳.۴. شبکه حمل‌ونقل اضطراری

معمولاً بعد از وقوع حوادث بزرگ، شبکه حمل‌ونقل در اثر تخریب پل‌ها و دیگر حوادث جاده‌ها، ریزش ساختمان‌های مجاور راه‌ها، گسلش، زمین‌لغزش، روانگرایی، فرونشست زمین و... یا هجوم یا رهاشدن خودروها، دچار اختلال می‌گردد و مشکلاتی در دسترسی سریع نیروهای امداد و نجات به مناطق آسیب‌دیده ایجاد می‌شود. از دیدگاه مدیریت بحران، راه‌های اضطراری را می‌توان به دو گروه راه‌های اضطراری اولیه و ثانویه تقسیم کرد. راه‌های اضطراری اولیه مسیر بین مراکز بحران (در سطوح ملی تا ناحیه‌ای) با مبادی ورودی شهر، نظیر خطوط حمل‌ونقل جاده‌ای یا فرودگاهی می‌باشند. راه‌های اضطراری ثانویه مسیرهای ارتباطی بین مراکز واکنش اضطراری، مراکز امدادی، آتش‌نشانی، امنیتی و درمانی می‌باشند (حسینی^۲، ۲۰۰۸، ص. ۳۰).

با توجه به اهمیت مسائل تخلیه اضطراری در هنگام وقوع بلایا، طرح اتخاذشده برای تخلیه منطقه موردنظر می‌باید مناسب‌ترین و بهترین از بین دیگر گزینه‌ها بوده و بتواند باعث نجات جان بیشترین تعداد نفرات در هنگام وقوع فاجعه شود. بدین ترتیب در مطالعه حاضر، به بررسی نقاط آسیب‌پذیر شبکه حمل‌ونقل منطقه ثامن براساس معیارهای ذکرشده پرداخته شده است تا براساس نتایج حاصل از آنها، بتوان الگوهای مناسب برای تخلیه و امدادسانی به موقع را طراحی کرد.

۵. یافته‌های تحقیق

۵.۱. طبقه‌بندی داده‌ها

با توجه به مطالعات صورت‌گرفته، تاکنون هیچ طبقه‌بندی علمی و جامعی بر مبنای استانداردهای پذیرفته‌شده بین‌المللی در زمینه تعیین مسیرهای بهینه برای تخلیه اضطراری در ایران صورت نگرفته است. در این پژوهش، چهار گروه شاخص کمی و کیفی برای

1. Karter
2. Hoseini

ارزش دهی به مسیرها با توجه به نظرات خبرگان و کارشناسان در چهار لایه نهایی در نظر گرفته شدند (شکل ۲).

برخی از شاخص‌ها از اهمیت زیادی نسبت به دیگر شاخص‌ها برخوردارند و نقش تعیین‌کننده‌ای در آسیب‌پذیری دارند. با توجه به اینکه نقش و اهمیت هریک از شاخص‌ها و مقایسه زوجی بین آنها با استفاده از روش سلسله‌مراتبی AHP امکان‌پذیر است، می‌توان از این روش به‌عنوان روشی مناسب جهت مدل‌سازی و ارزیابی آسیب‌پذیری فیزیکی شهرها در برابر زلزله استفاده کرد. برای تولید ماتریس مقایسه زوجی شاخص‌ها ابتدا باید هرکدام از معیارهای مربوطه با زیرمعیارهایشان به‌صورت نقشه وزن‌گذاری شده تولید شوند تا در هنگام مقایسه زوجی و استخراج وزن‌ها، اهمیت هرکدام از شاخص‌ها، مورد استفاده قرار بگیرد (جدول ۱). بر مبنای این روش، هریک از زیرشاخص‌ها در شاخص‌های اصلی براساس اهمیتی که دارند، در یکی از گروه‌های آسیب‌پذیری قرار می‌گیرد. سپس ماتریس مقایسه دوتایی شاخص‌های اصلی ترسیم می‌گردد.

جدول ۱- ماتریس معیارها و زیرمعیارها و کدبندی آنها بر اساس میزان آسیب‌پذیری

مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۳

عوامل و معیارهای اصلی	عوامل و زیرمعیارهای ۱	عوامل و زیرمعیارهای ۲	آسیب‌پذیری خیلی کم	آسیب‌پذیری کم	آسیب‌پذیری متوسط	آسیب‌پذیری زیاد	آسیب‌پذیری خیلی زیاد
ویژگی‌های سازه‌ای جداره	نوع مصالح	آجر و خشت				■	
		چوب و آجر و آهن		■			
		بتن و فولاد	■				
	قدمت بنا	از سال ۴۵-۵۵	■				
		از سال ۵۵-۷۵		■			
		از سال ۷۵-۹۰			■		
	اسکلت‌بندی	بدون اسکلت-بندی				■	
		دارای اسکلت-بندی		■			
	ارتفاع بنا (متر)	کمتر از ۹		■			

ادامه جدول ۱

عوامل و معیارهای اصلی	عوامل و زیرمعیارهای ۱	عوامل و زیرمعیارهای ۲	آسیب‌پذیری خیلی کم ۱	آسیب‌پذیری کم ۳	آسیب‌پذیری متوسط ۵	آسیب‌پذیری زیاد ۷	آسیب‌پذیری خیلی زیاد ۹
عوامل و ویژگی‌های سازه‌ای جداره	ارتفاع بنا (متر)	کمتر از ۹	■				
		بین ۹-۱۲			■		
		بین ۱۲-۱۵				■	
		بیشتر از ۱۵					■
مساحت همکف (m ²)	مساحت همکف (m ²)	کمتر از ۱۰۰					■
		۱۰۰-۲۵۰				■	
		۲۵۰-۵۰۰					■
		بیشتر از ۵۰۰			■		
ساخت	فاصله از گسل (متر) پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه	۰-۲۰۰۰					■
		۲۰۰۰-۳۰۰۰				■	
		۳۰۰۰-۴۰۰۰			■		
		۴۰۰۰-۵۰۰۰				■	
زمین	نوع خاک (عمق ۳۰-۴۰)	ماسه‌ای					■
		سیلتی			■		
		سیلتی - رسی				■	
		رسی		■			
عوامل	شیب (درصد)	۰-۳					■
		۳-۶				■	
		۶-۹					■
		۹-۱۵				■	
عوامل و ویژگی‌های هندسی شبکه	درجه محصوریت (متر)	کمتر از ۰/۵					■
		۰/۵-۱				■	
		۱-۲					■
		بیشتر از ۲					■
	عرض معبر (متر)	کمتر از ۵					■
		۵-۹				■	
		۹-۱۳					■
		۱۳-۲۱				■	
طول مسیر (متر)	کمتر از ۱۰۰					■	

ادامه جدول ۱

عوامل و معیارهای اصلی	عوامل و زیرمعیارهای ۱	عوامل و زیرمعیارهای ۲	آسیب پذیری خیلی کم ۱	آسیب پذیری کم ۳	آسیب پذیری متوسط ۵	آسیب پذیری زیاد ۷	آسیب پذیری خیلی زیاد ۹	
ویژگی‌های هندسی شبکه	تراکم ساختمانی (%)	۱۰۰-۲۰۰	■					
		۲۰۰-۵۰۰		■				
		بیشتر از ۵۰۰			■			
	تراکم ساختمانی (%)	بسیار بالا					■	
		بالا					■	
		متوسط			■			
		پایین				■		
	عوامل دسترسی	فاصله از مراکز خطر (متر)	بسیار پایین	■				
			زیر ۵۰۰				■	
			۱۰۰۰-۵۰۰				■	
۱۵۰۰-۱۰۰۰					■			
فاصله از مراکز درمانی (متر)		۲۰۰۰ به بالا					■	
		۵۰۰-۱					■	
		۱۰۰۰-۵۰۱			■			
		۱۵۰۰-۱۰۰۱				■		
فاصله از ایستگاه‌های آتش‌نشانی (متر)		۲۰۰۰-۱۵۰۱					■	
		بالای ۲۰۰۰					■	
	زیر ۱۲۰۰					■		
	۲۰۰۰-۱۲۰۰			■				
فاصله از فضاهای باز بی‌کالبد (متر)	۳۰۰۰-۲۰۰۰			■				
	۳۰۰۰ به بالا					■		
	۰-۱۰۰					■		
	۱۰۰-۳۰۰					■		
	۳۰۰-۵۰۰				■			
	۵۰۰-۷۰۰					■		
	۷۰۰ به بالا					■		

۲.۵. یافته‌های حاصل از تجزیه و تحلیل

۲.۵.۱. وزن‌دهی به معیارها و زیرمعیارها

بعد از تعیین زیرمعیارها و کدبندی آنها، باید به محاسبه وزن‌های هریک از معیارها پرداخت. در این پژوهش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی^۱ شامل سه گام اصلی: الف) تولید ماتریس مقایسه دوتایی، ب) محاسبه وزن‌های معیار و ج) تخمین نسبت سازگاری بوده است که با استفاده از نرم‌افزار Excel محاسبات مربوطه انجام پذیرفت که با نتایج به دست آمده در نرم‌افزار Expert Choice هم‌خوانی‌های لازم را داشت. جدول (۲) نتایج حاصل از بررسی‌ها و وزن‌های به دست آمده برای هر معیار و زیرمعیارهای مربوط به آنها را نشان می‌دهد (ضریب ناسازگاری CR در این بررسی ۰,۰۵ بوده است که نشانگر سازگاری قابل قبول می‌باشد).

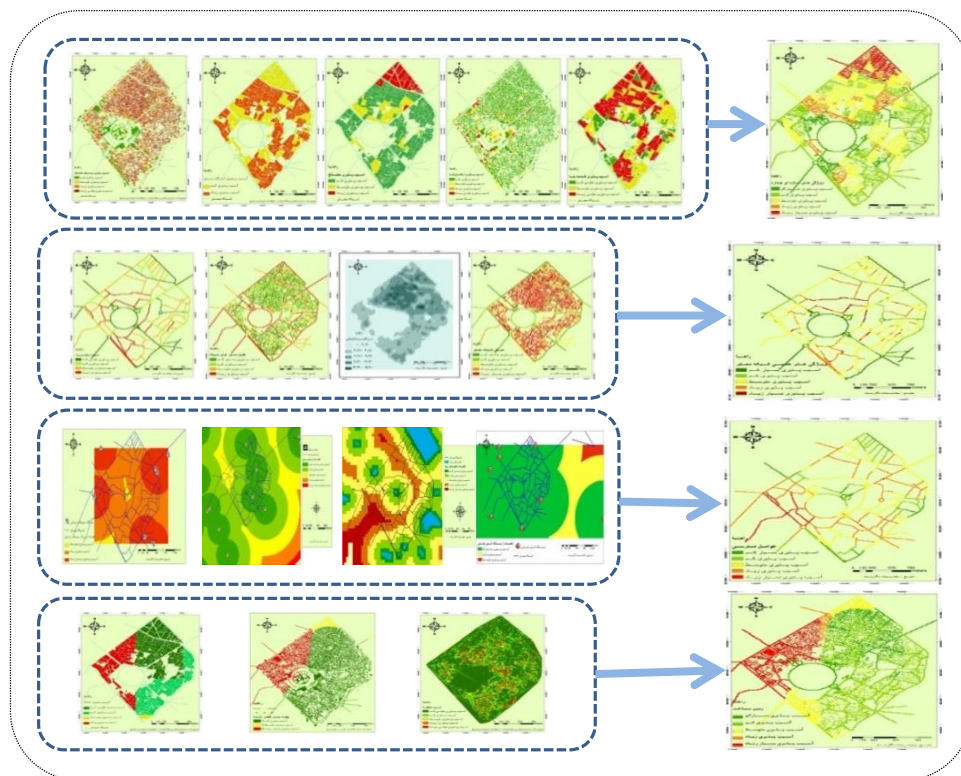
جدول ۲- وزن نهایی معیارها و زیرمعیارها

مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۳

اولویت	وزن نسبی	معیارهای فرعی	وزن نسبی	معیارهای اصلی
۱	۰/۴۹	نوع مصالح	۰/۳۷	ویژگی‌های سازه‌ای جداره
۲	۰/۲۱	قدمت بنا		
۴	۰/۱۱	ارتفاع بناها		
۳	۰/۱۳	اسکلت‌بندی		
۵	۰/۰۶	مساحت همکف		
۱	۰/۵۰	درجه محصوریت	۰/۲۵	ویژگی‌های هندسی شبکه
۲	۰/۲۷	تراکم ساختمانی		
۳	۰/۱۲	عرض مسیر		
۴	۰/۱۱	طول مسیر		
۱	۰/۵۵	فاصله از مراکز خطر	۰/۲۰	عوامل دسترسی به شبکه
۲	۰/۲۳	فاصله از مراکز درمانی		
۴	۰/۱۰	فاصله از آتش‌نشانی		
۳	۰/۱۲	فاصله از فضاهای باز		
۲	۰/۲۷	جنس خاک	۰/۱۸	زمین ساخت
۱	۰/۵۹	فاصله از گسل		
۳	۰/۱۴	شیب زمین		

۲.۲.۵. تهیه لایه‌های اطلاعاتی

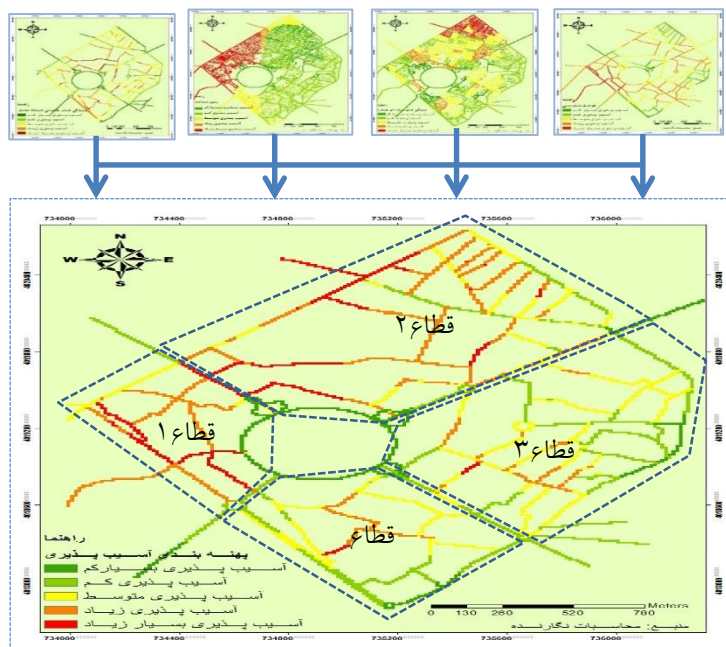
پس از اینکه نقشه‌های موردنظر در رابطه با زیرمعیارها تبدیل به رستر و ریکلاسیفای شدند، نقشه‌های مربوطه برای هر معیار با استفاده از مدل هم‌پوشانی **Weighted Sum**، در **Raster Calculator** با یکدیگر تلفیق شده و وزن‌های به‌دست آمده بر روی آنها اعمال گردید و نقشه آسیب‌پذیری کلی برای هر معیار به‌دست آمد. در ادامه، نقشه‌های مربوطه به هر معیار که از هم‌پوشانی زیرمعیارهای آن حاصل می‌گردد، نمایش داده شده‌اند (شکل ۴).



شکل ۴- نقشه معیارها و زیرمعیارها و هم‌پوشانی آنها

مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۳

درنهایت، برای ایجاد نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری منطقه ثامن در برابر زلزله نیاز است که معیارهای کلی مدنظر در این تحقیق با یکدیگر تلفیق گردند تا به یک نقشه کلی و واحد دست یابیم (شکل ۵).



شکل ۵- پهنه‌بندی آسیب‌پذیری منطقه ثامن مشهد

مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۳

۶. بحث و نتیجه‌گیری

برنامه‌ریزی تخلیه بخش مهم و عمده‌ای از برنامه‌های اضطراری در مناطق آسیب‌پذیر به بلایا می‌باشد. در واقع مسیری می‌تواند در امر امدادسانی و پناه مؤثر باشد که خود کمترین آسیب را ببیند. هدف از این تحقیق، تعیین میزان کارایی شبکه ارتباطی در زمان بروز بحران زلزله در سطوح منطقه‌ای بوده است که با مطالعه موردی منطقه ثامن مشهد انجام شد. در این راستا براساس نظریات و دیدگاه‌های صاحب‌نظران در این زمینه، شکل کلی برای بررسی و تحلیل میزان آسیب‌پذیری معابر مختلف در سطح این منطقه ارائه گردید که در آن چهار شاخص عمده و زیرشاخص‌های تأثیرگذار طبق جدول (۱) در ۵ پهنه‌بندی آسیب‌پذیری بسیار کم، آسیب‌پذیری کم، آسیب‌پذیری متوسط، آسیب‌پذیری زیاد و آسیب‌پذیری بسیار زیاد تقسیم بندی گردیدند. علاوه بر این، استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی نشان داد که در بین شاخص‌های مطرح‌شده، شاخص ویژگی‌های سازه‌ای جداره در مجموع نسبت به سه شاخص دیگر، بیشترین تأثیرگذاری را به همراه داشته است و فاصله از گسل، فاصله از مراکز خطر،

درجه محصوریت و نوع مصالح به ترتیب بیشترین تأثیر را بر میزان کارایی شبکه ارتباطی در زمان بروز بحران زلزله گذاشته و خواهند داشت. در نهایت، نتایج به‌کارگیری این شاخص‌ها در منطقه ثامن و تلفیق آنها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی نشان می‌دهد که شکل (۵) به‌طور کلی معابر موجود در شمال منطق (قطاع ۲) نسبت به بقیه محدوده مورد مطالعه، دارای آسیب‌پذیری بیشتری می‌باشند. با حرکت از شمال به جنوب منطقه، از میزان آسیب‌پذیری کاسته می‌شود؛ زیرا جنوب منطقه نسبت به شمال آن دارای معابر با عرض کافی، ساختمان‌های مقاوم‌تر و با قدمت کمتر و دسترسی‌های مناسب‌تری می‌باشد. وجود تراکم ساختمانی بالا و به‌تبع آن تراکم جمعیتی بالا در قطاع ۲ آسیب‌پذیری این منطقه را در زمان بحران‌هایی مانند وقوع زلزله افزایش خواهد داد. در نتیجه خیابان‌های قطاع‌های ۱ و ۲ که از نظر شاخص‌های آسیب‌پذیری بالاترین امتیاز (به ترتیب $49/78$ و $55/12$ درصد آسیب‌پذیری بالا در هر قطاع) را کسب کرده بودند (از جمله خیابان‌های آزادی، خیابان آیت‌الله شیرازی، رجایی و...) دارای کمترین کارایی و در مقابل، بیشتر خیابان‌های قطاع‌های ۳ و ۴ به دلیل برخورداری از حداقل امتیازها (به ترتیب $10/94$ و $10/45$ درصد آسیب‌پذیری بالا در هر قطاع) در شاخص‌های ذکر شده، بالاترین کارایی را در زمان بروز بحران زلزله خواهند داشت. بنابراین باید در طرح‌های توسعه، اولاً به بهبود این معابر به‌خصوص در زمینه شاخص‌های عرض معبر، آسیب‌پذیری ابنیه توجه کرد؛ بدین صورت که معابر با عرض کمتر از ۸ 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 بر طبق آیین‌نامه طراحی راه‌های شهری نزدیک گردند. همچنین نوسازی و بازسازی بدنه خیابان‌ها، به‌ویژه در اطراف مسیرهای اصلی و پرتردد در اولویت اقدام قرار گیرد. علاوه بر این، در حد امکان از ایجاد بلوک‌های ساختمانی بزرگ که از نفوذپذیری بافت می‌کاهد، جلوگیری گردد. دوم اینکه تا زمان اصلاح شبکه، در صورت بروز بحران زلزله از مسیرهای اصلی و با آسیب‌پذیری پایین که در شکل (۵) نشان داده شده‌اند، برای امداد رسانی در سطح منطقه استفاده گردد و برای معابر درونی منطقه جهت دسترسی سریع به مسیرهای اصلی و تعیین شده، تمهیدات ویژه دیگری نظیر استفاده از خودروهای کوچک‌تر برای وارد شدن به منطقه و استفاده از نیروی انسانی کارآمد و آموزش دیده جهت انتقال افراد به خارج از منطقه، در نظر گرفته شود. لازم به ذکر است اگرچه از شاخص‌های مذکور برای

تعیین آسیب‌پذیری منطقه ثامن استفاده گردید، ولی می‌توان در سایر تحقیقات مشابه نیز از این شاخص‌ها برای تعیین مسیر بهینه در زمان‌های اضطراری استفاده کرد. ضمن اینکه پیشنهاد می‌گردد جهت ادامه کار، علاوه بر شناخت و تحلیل جزئیات کالبدی بیشتر، مطالعه و تحقیق جامعی نیز بر معیارهای غیرکالبدی مؤثر در آسیب‌پذیری، مثل رفتار انسانی شامل عرضه و تقاضای سفر و... صورت پذیرد تا بتوان با فراهم‌ساختن زمینه شناخت این عوامل تا حد امکان از آسیب‌های ناشی از زمین‌لرزه و سایر بلایای طبیعی کاست.

کتابنامه

۱. حسینی، م. (۱۳۸۷). مدیریت بحران. تهران: مؤسسه نشر شهر.
۲. خبرگزاری حوزه نمایندگی ولی فقیه در امور حج و زیارت، ۱۳۹۴/۰۱/۳۰، <http://hajj.ir/14/> 57256
۳. سالکی ملکی، م؛ ولی‌بیگی، م؛ و قاسمی، م. (۱۳۹۲). کارایی فضایی شبکه ارتباطی به‌منظور امداد رسانی بعد از وقوع زلزله (مطالعه موردی: شهرک باغمیشه تبریز). فصلنامه امداد و نجات، ۳(۵)، ۷۰-۸۵.
۴. شیعه، ا؛ حبیبی، ک؛ و ترابی، ک. (۱۳۸۹). بررسی آسیب‌پذیری شبکه‌های ارتباطی شهرها در مقابل زلزله، با استفاده از روش GIS, IHWP (مطالعه موردی: منطقه شش شهرداری تهران). فصلنامه باغ نظر، ۱۳(۷)، ۳۵-۴۸.
۵. طارقیان، ح. (۱۳۸۳). مدل‌سازی تخلیه اضطراری با رویکرد شبیه‌سازی موازی. مجله دانش و توسعه، ۱۵(۱)، ۲۵-۴۷.
۶. عباس‌نژاد، ا؛ حسن‌زاده، ر. (۱۳۸۷). مدیریت خطر زمین‌لرزه. چاپ اول. کرمان: مرکز مطالعات مدیریت بحران شهرداری.
۷. کارتر، د. ن. (۱۳۷۳). مدیریت سوانح و حوادث غیرمترقبه. ترجمه مرکز مطالعات و پژوهش‌های ارتش بیست میلیونی نیروی مقاومت بسیج سپاه پاسداران انقلاب اسلامی.
8. Apte, A. (2009). Humanitarian logistics: A new field of research and action. *Technology, Information and Operations Management*, 3(1), 1-100
9. Campos, V., & Bandeira, R. (2012). A method for evacuation route planning in disaster situations. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 54, 503-512.
10. Coutinho-Rodrigues, J., Tralhão, L., & Alçada-Almeida, L. (2012). Solving a location-routing problem with a multiobjective approach: the design of urban evacuation plans. *Journal of Transport Geography*, 22, 206-218.
11. Han, L., Yuan, F., Chin, S., & Hwang, H. (2006). Global optimization of emergency evacuation assignments. *Interfaces*, 36(6), 502-513.

12. Hashemi, M. Alesheikh, A. A. (2011). A GIS-based earthquake damage assessment and settlement methodology. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31, 1607–1617.
13. Kovacs, G., & Spens, K. (2007). Humanitarian logistics in disaster relief operations. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 37(2), 99-114.
14. Kovacs, G., & Spens, K. (2009). Identifying challenges in humanitarian logistics. *International Journal of Management*, 39(6), 506-528.
15. Sapir, G., & Vos, f., & Below, R. (2011). Annual Disaster statistical review 2011: The Numbers and Trends. *Center For Research On The Epidemiology Of Disasters-CRED, Institute Of Health And Society (IRSS), Catholic. Research Report of University of Louvain, Brussels (Belgium)*. This document is available on http://www.cred.be/sites/default/files/ADSR_2011.PDF
16. Stepanov, A., & Smith, J. (2009). Multi-objective evacuation routing in transportation networks. *European Journal of Operational Research*, 1498, 435-446.