



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال بیستم، شماره‌ی ۷۱
پاییز ۱۳۹۹، صفحات ۱۰۱-۷۵

فرشید اسمعیلی کاخکی^۱
زهرا ناجی عظیمی^{۲*}
علیرضا پویا^۳
احمد توکلی^۴

ارایه یک رویکرد جدید جهت مکان‌یابی اسکان اضطراری پس از زلزله در شهر مشهد

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۰۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۱۰

چکیده

زلزله به‌عنوان یکی از بلاایای طبیعی می‌تواند موجب خرابی‌ها و تلفات گسترده‌ای شود. ایران نیز به‌علت وجود گسل‌های فراوان و نیز فقدان برنامه منسجم جهت توسعه شهری و همچنین نادیده گرفتن استانداردهای ساخت و ساز در معرض بیش‌ترین خطرات ناشی از زلزله بوده است. شهر مشهد به‌عنوان دومین کلان‌شهر ایران به‌واسطه تراکم جمعیت ناشی از ورود گردشگران و همچنین وجود بافت فرسوده گسترده همواره در معرض آسیب‌های ناشی از زلزله بوده است. در این مقاله یک مدل تلفیقی جهت اسکان اضطراری زلزله‌زدگان در شهر مشهد ارائه شده است. مدل پیشنهادی براساس ترکیب سیستم داینامیک، رابطه کوبورن و اسپنس، GIS و مدل مکان‌یابی-تخصیص است. در ابتدا تعداد ساختمان‌های تخریب شده در اثر زلزله با استفاده از مدل‌سازی سیستم داینامیک تخمین زده می‌شود. در مرحله بعد با استفاده از رابطه تخمین تلفات کوبورن و اسپنس و با استفاده از خروجی سیستم داینامیک تعداد تلفات ناشی از زلزله احتمالی تخمین زده می‌شود. در مرحله سوم با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مکان‌های

۱- دانش‌آموخته دکتری مدیریت، گروه مدیریت دانشگاه فردوسی مشهد.

* ۲- گروه مدیریت، دانشگاه فردوسی مشهد. (نویسنده مسئول).

۳- گروه مدیریت، دانشگاه فردوسی مشهد.

۴- گروه مدیریت، دانشگاه فردوسی مشهد.

مستعد اسکان اضطراری در شهر مشهد بر اساس معیارهای موجود در این زمینه انتخاب می‌شوند و در مرحله پایانی با استفاده از یک مدل مکان‌یابی-تخصیص مکان‌های اسکان اضطراری انتخاب شده و جمعیت نیازمند اسکان به آن‌ها تخصیص می‌یابند. این روش به ازای هر سناریوی محتمل زلزله در شهر مشهد بر اساس بزرگی زلزله، نوع گسل فعال شده و همچنین شتاب و طول گسل اجرا می‌شود. با توجه به دوره بازگشت زلزله در شهر مشهد، مدل ارائه شده، اسکان اضطراری شهر مشهد در چهار سال آینده را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که بیش‌ترین مکان اسکان اضطراری مورد نیاز جهت پوشش جمعیت بازمانده ۲۳۱ و کم‌ترین تعداد ۹۳ است.

کلید واژه‌ها: سیستم داینامیک، مساله مکان‌یابی، تخصیص، رابطه تخمین تلفات کوبورن و اسپنس، زلزله.

مقدمه

در طی قرن بیستم بیش از ۱۱۰۰ زلزله مخرب در نقاط مختلف کره زمین رخ داده که بر اثر آن بیش از ۱۵۰۰۰۰۰ نفر جان خود را از دست داده‌اند که ۹۰ درصد آن‌ها عمدتاً ناشی از ریزش ساختمان‌هایی بوده که از اصول مهندسی و ایمنی کافی برخوردار نبوده‌اند (Absalan & Kongi, 2014: 101). کشور ایران به عنوان بخشی از کمربند آلپ-همیالیا همواره از لرزه‌خیزی بالایی در طول تاریخ برخوردار بوده است به گونه‌ای که بخش‌های مختلف کشور توسط زمین‌لرزه‌های ویرانگر متعددی پیوسته تخریب شده است و این پدیده تاکنون، به عنوان مهم‌ترین بلائی طبیعی کشور، تلفات و خسارات سنگینی را به بار آورده است. در بیش‌تر بخش‌های ایران، لرزه‌خیزی در ارتباط مستقیم با تجدید فعالیت گسل‌هاست و بیش‌ترین میزان لرزه‌خیزی در امتداد گسل‌های فعال روی داده است (Ahadnejad et al., 2009: 19). شهر مشهد به عنوان دومین شهر ایران در ناحیه‌ای بین کوه‌های چین‌خورده کپه‌داغ از سمت شمال و شمال‌شرق و کوه‌های چین‌خورده بینالود از سمت جنوب‌غرب قرار گرفته است. بررسی زمین‌لرزه‌های منطقه حکایت از فعالیت‌های شدید در قرن‌های گذشته به ویژه در قرن هجدهم میلادی و برقراری آرامش نسبی بعد از آن دارد (Barbarian & Ghoreishi, 1990: 72). وجود گسل‌های توانمند و فعال در دو طرف دشت و در فاصله اندک از شهر مشهد نشان‌دهنده پتانسیل زیاد خطر زمین‌لرزه در این منطقه است. شهر مشهد از شرق و جنوب‌شرقی با یک گسل به طول حدود ۱۰۰ کیلومتری تقریباً ۲۰ کیلومتر و از جنوب و جنوب‌غربی با گسلی به طول حدود ۹۰ کیلومتر کم‌تر از ۲ کیلومتر فاصله دارد. در سال ۱۳۸۵ در مجموعه شهری مشهد ۲۷۵ ریزلرزه و زمین‌لرزه اتفاق افتاده است که از این تعداد ۳ زلزله بالای ۴/۵ ریشتر بوده و مهم‌ترین آن‌ها زمین‌لرزه مشهد با قدرت ۶/۶ در مقیاس ریشتر بوده است (Akbari et al., 2012: 3). وجود چنین مسئله‌ای و همچنین وجود بافت‌های قدیمی در مناطق مختلف شهری که پایداری اندک در برابر مخاطرات طبیعی از مشخصه‌های اصلی این‌گونه بافت‌هاست موجب تشدید آسیب‌پذیری مناطق مختلف شهری شده است (Khakpoor et al., 2013: 22). روند رو به رشد و فزاینده شهرنشینی و جمعیت شهری به عنوان عاملی برای خسارات زیاد به هنگام بروز بلاهای طبیعی و به ویژه زلزله است.

گسترش شبکه‌های ارتباطی و زیرساخت‌های شهری از یک طرف و بدون برنامه‌بودن رشد و توسعه شهر از سوی دیگر زمینه ایجاد خسارات زیاد در زمان وقوع زلزله را فراهم می‌آورد (Abdollahi, 2003). این در حالی است که طی دوره زمانی ۱۳۹۰-۱۲۷۰، جمعیت در شهر مشهد ۶۰ برابر (از ۴۵۰۰۰ نفر به ۲۷۰۰۰۰۰ نفر) و مساحت آن ۴۰ برابر (از ۷۵۰ هکتار به ۳۰۰۰۰ هکتار) شده و در آن ۲۲۴۵ هکتار بافت فرسوده وجود دارد. با توجه به این که این شهر قطب گردشگری مذهبی کشور محسوب می‌شود هر ساله بیش از ۲۰ میلیون زائر و گردشگر به آن وارد می‌شوند که باعث تراکم بیش‌تر جمعیتی در این شهر می‌گردند؛ بنابراین در صورت احتمال وقوع زلزله خسارات زیاد و غیرقابل جبرانی برجا خواهد ماند و ریسک سرمایه مالی و انسانی زیادی در میان خواهد بود و در صورت بحران، این شرایط می‌تواند فاجعه انسانی را به بار آورد. یکی از مهم‌ترین اقدامات مدیریت پس از بحران، جانمایی مراکز اسکان اضطراری و پوشش جمعیتی هر یک از آن‌هاست. هدف اصلی این پژوهش، ارائه یک مدل تلفیقی جدید جهت تخمین جمعیت نیازمند اسکان در هر سناریوی محتمل زلزله، مکان‌یابی اسکان اضطراری و تخصیص آسیب‌دیدگان به این مکان‌ها در شهر مشهد است. در این تحقیق هر سناریو بر اساس مشخصات گسل‌های مهم شهر مشهد مانند بزرگی، شتاب و طول گسل تدوین شده است.

پیشینه پژوهش

در این بخش مروری بر تحقیقات موجود در حوزه مکان‌یابی و تخصیص جمعیت در شرایط اضطراری و بحران انجام شده و پس از جمع‌بندی این پژوهش‌ها مواردی که در این تحقیقات امکان بهبود دارند مشخص شده است: Akgun et al (2015) مدل مکان‌یابی ارائه دادند که با توجه به مکان‌های اسکان اضطراری موجود در شهر از میر ترکیه ریسک ناشی از زلزله را حداقل می‌کرد. در این تحقیق مکان‌های اسکان از قبل مشخص شده بودند و از روش سلسله‌مراتبی عیب‌یابی^۵ استفاده شد. این روش قطعی بوده و فقط هزینه حمل‌ونقل افراد به مراکز اسکان را حداقل می‌کند. محدودیت مدل نیز تعداد مراکز اسکان بود که از قبل تعیین شدند. (Barzinpoor & Esmaei (2014) یک مدل تخصیص چند هدفه جهت مدیریت اقدامات پس از زلزله در شهر تهران ارائه نمودند. حداکثر کردن پوشش جمعیتی، حداقل کردن تعداد مراکز اسکان اضطراری، حداقل کردن تعداد مراکز توزیع اقلام، حداقل کردن هزینه تجهیز مکان‌های اسکان اضطراری همچنین حداقل کردن هزینه کمبود از اهداف این مدل هستند. مدل در حالت قطعی و به ازای تعداد مشخص افراد نیازمند خدمت‌رسانی اجرا شده است. (Bayram et al (2015) یک مدل تخصیص جهت حداقل کردن زمان تخلیه جمعیت به سمت مراکز اسکان اضطراری برای کلیه بحران‌ها در شهر استانبول ترکیه طراحی نمودند. در این مدل تعداد مراکز اسکان اضطراری و نیز تعداد جمعیتی که این مراکز بایستی پوشش دهند از پیش تعیین شده بود. محدودیت‌های این مدل عبارتند از: حداکثر جریان ترافیک شهری و تعداد

مراکز اسکان اضطراری که از پیش تعیین شده‌اند. (Bozorgi et al (2013) مسئله چندهدفه جهت پشتیبانی مدیریت بحران پس از زلزله در شهر تهران را مطرح کردند. هدف این مدل حداقل نمودن تعداد مراکز اسکان در شهر تهران و همچنین کمبود امکانات امدادی جمعیت آسیب‌دیده است. این مدل با تعداد مراکز واجد شرایط موجود در شهر تهران اجرا شده است. برای حل مدل نیز از نرم‌افزار لینگو استفاده شده است. (Chang et al (2007) یک مدل تخصیص احتمالی جهت اسکان آسیب‌دیدگان ناشی از سیل در شهر تایپه کشور تایوان ارائه نمودند. در این مدل با توجه به مراکز اسکان موجود در شهر مراکز جمعیتی به ازای احتمالات مختلف در خصوص گستره سیل به مراکز اسکان تخصیص می‌یافتند. در نهایت با استفاده از روش تقریب میانگین حالات^۶ تخصیص بهینه جمعیت به مراکز اسکان سیل‌زدگان مشخص می‌شود. (Chanta & Sangsawang (2012) یک مدل تخصیص جهت انتخاب پناهگاه‌های اسکان اضطراری سیل‌زدگان در شهر بانگوک تایلند مطرح نمودند که هدف آن حداقل کردن مسافت طی شده بین مراکز جمعیتی و مراکز اسکان است. این مدل در حالت قطعی با استفاده از روش محدودیت‌های اپسیلون‌دار^۷ حل شد. (Chen et al (2013) یک روش سلسله مراتبی را جهت انتخاب مراکز اسکان اضطراری پس از زلزله در شهر پکن استفاده کردند. در این روش در هر مرحله مراکز اسکان از حیث یک معیار مشخص مورد ارزیابی قرار می‌گیرد تا بهترین مکان‌های اسکان انتخاب شوند. در مرحله پایانی نیز این مراکز اسکان، جمعیت آسیب‌دیده را مطابق نتایج یک مدل تخصیص قطعی پوشش می‌هند. (Das & Hanoka (2013) جهت حداقل کردن ترافیک حمل و نقل بین مراکز اسکان اضطراری و مراکز جمعیتی در زلزله بنگلادش از یک مدل شبکه‌ای با عرضه و تقاضا در شرایط عدم اطمینان استفاده نمودند. در این تحقیق ظرفیت مراکز اسکان محدود در نظر گرفته شده است. (Dekle et al (2005) برای انتخاب مکان‌های اسکان اضطراری در شهر فلوریدا آمریکا از روش انتخاب دورترین نقطه^۸ استفاده شده است. در این روش یک نقطه به طور تصادفی انتخاب شده و سپس دورترین نقطه نسبت به آن مشخص می‌شود. این روند تکرار شده و سپس هر کدام از این نقاط به همراه سایر نقاطی که به آن‌ها نزدیک‌تر هستند در یک خوشه قرار می‌گیرند؛ به عبارت دیگر هر کدام از نقاطی که در مرحله اول انتخاب شد به عنوان یک مرکز اسکان برای نقاط جمعیتی است که در نزدیک‌ترین فاصله نسبت به آن قرار دارند. در این روش ظرفیت مکان‌های اسکان نامحدود در نظر گرفته شده است. (Dessouky et al (2013) جهت تسهیل امدادسانی پس از زلزله با استفاده از یک مدل مکان‌یابی مراکزی را جهت توزیع اقلام دارویی مشخص کردند. در این مدل هدف حداقل کردن مجموع فاصله بین این مراکز تا مراکز جمعیتی است. در این مدل تابع هدف موزون است و تقاضای هر مرکز جمعیتی به عنوان وزن تابع هدف در نظر گرفته می‌شود. تقاضای امدادسانی در این مسئله ثابت فرض شده است. (Feng & Wen (2005) جهت تخصیص اقلام امدادی در هنگام زلزله در تایوان از یک مدل تخصیص^۲ مرحله‌ای استفاده کردند. در این مدل در مرحله اول تعداد مراکز توزیع اقلام امدادسانی مشخص شده و در مرحله دوم این اقلام به نقاط تقاضا

6- Sample average approximation

7- Epsilon-constraint approach

8- Pick-the-Farthest Algorithm

تخصیص می‌یافت. هدف مدل در مرحله دوم حداقل کردن وسائط نقلیه مورد نیاز جهت حمل این اقلام است. محدودیت‌های مدل نیز ترافیک موجود در مسیرهای بین مراکز امداد رسانی و نقاط تقاضا و نیز تعداد وسائط نقلیه موجود می‌باشد. این مدل با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل شده است.

Hong et al (2012) جهت تخصیص اقلام دارویی و درمانی به مراکز جمعیتی پس از زلزله در کارولینای جنوبی از یک مدل تخصیص استفاده کردند که هدف آن حداقل کردن مسافت طی شده است. محدودیت‌های مدل نیز تعداد مراکز امداد رسانی موجود در شهر است. این مسئله در حالت قطعی حل شده است. (Verma & Gaukler (2012) جهت تعیین تعداد مراکز اسکان اضطراری پس از زلزله در کالیفرنیا یک مسئله تخصیص مطرح کردند. هدف این مسئله حداقل کردن هزینه حمل و نقل و محدودیت مدل نیز تعداد مراکز اسکان است. برای حل این مسئله از روش تقریب میانگین نمونه استفاده شده است. این روش جهت حل مسائل بهینه‌سازی تصادفی با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو به کار می‌رود؛ یعنی ابتدا نمونه‌ای به شکل تصادفی انتخاب شده و بر اساس این نمونه تصادفی بهترین مقدار برای تابع هدف تعیین شده و این فرآیند تکرار می‌شود.

Zhao et al (2015) یک مدل چندهدفه برای انتخاب مکان‌های اسکان اضطراری مطرح نمودند. مکان‌های اولیه که مکان‌های نهایی اسکان از بین آن‌ها انتخاب می‌شود با استفاده از GIS تولید شده‌اند که بر اساس معیارهایی نظیر نزدیکی به مراکز امداد رسانی و شریان‌های اصلی شهری برگزیده شده‌اند. حداقل کردن مکان‌های اسکان اضطراری و ترافیک موجود در راه‌های اصلی اهداف این مسئله هستند. این مسئله با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل شده است. (Lin et al (2012) با استفاده از یک مسئله مکان‌یابی، مکان‌های مناسب تولید شده توسط GIS جهت دفن زباله شهری را ارزیابی نموده و بهترین مکان‌ها را انتخاب نمودند. این مسئله با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل شده است. (Bozorgi-Amiri et al (2013) یک مدل مکان‌یابی-تخصیص ارائه نمودند که با استفاده از یک روش ترکیبی حل شده است. ظرفیت تسهیلات در این مسئله نامحدود در نظر گرفته شده است. فضای موجود جهت انتخاب مکان‌ها پیوسته بوده و داده‌های اولیه با استفاده از GIS به وجود آمدند. (Klici et al (2015) یک مدل مکان‌یابی-تخصیص با تقاضای تصادفی مطرح نمودند که با استفاده از روش هارویتز^۹ حل شده است. این روش برای حل مسائلی به کار می‌رود که عدم اطمینان موجود به شکل بازه‌ای است. هارویتز معیاری است که از طریق آن بهترین مقدار در بین بازه‌های موجود انتخاب می‌شود. (Kedchaikulart & Lohatepanon (2015) برای حل مسئله P میانگین^{۱۰} که در مکان‌یابی به کار می‌رود از رویکرد جدیدی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک استفاده کردند. در این رویکرد جمعیت اولیه مورد نیاز جهت الگوریتم ژنتیک با استفاده از GIS ایجاد شد. (Marcelin et al (2016) یک مدل مکان‌یابی-تخصیص با استفاده از GIS به منظور تعیین مراکز توزیع اقلام ضروری ارائه دادند. هدف این مدل حداقل کردن فاصله بین مراکز جمعیتی و مراکز توزیع است. این مدل همچنین در پی افزایش عدالت توزیعی اقلام ضروری پس

9- Hurwicz

10- P-Median

از زلزله است. (Perez et al (2016) یک مدل مکان‌یابی-تخصیص به منظور تعیین پناهگاه‌های اسکان اضطراری و تخصیص بازماندگان ناشی از زلزله به این پناهگاه‌ها ارائه دادند. در این مدل متناسب با نیاز آسیب‌دیدگان ناشی از زلزله دو نوع پناهگاه تعریف شده است. پناهگاه نوع اول خدمات عادی و پناهگاه نوع دوم خدمات درمانی ارائه می‌دهد. هدف این مدل حداقل کردن مسافت طی شده توسط جمعیت آسیب‌دیده است. (Murray et al (2017) یک مدل مکان‌یابی-تخصیص به منظور تعیین پناهگاه‌های اسکان اضطراری و تخصیص پناهجویان به آن‌ها ارائه دادند. در این تحقیق یک روش جهت پیش‌بینی تقاضای اسکان اضطراری متناسب با مدت زمانی که از بحران گذشته است ارائه شده است. هدف مدل حداقل کردن مسافت طی شده توسط پناهجویان بوده است. این مدل با استفاده از الگوریتم‌های ابتکاری حل شده است. (Celik et al (2017) یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط جهت مکان‌یابی-تخصیص مراکز توزیع اقلام ضروری پس از زلزله و تخصیص این اقلام به افراد آسیب‌دیده ارائه دادند. در این مدل تقاضا غیر قطعی در نظر گرفته شده است.

در تحقیق حاضر کلیه مکان‌های مستعد اسکان اضطراری در شهر مشهد با استفاده از GIS و بر اساس معیارهای موجود شناسایی شده اند و پس از آن جمعیت متقاضی اسکان بر اساس یک مدل تخصیص سناریو محور به این مکان‌ها تخصیص پیدا می‌کنند؛ بنابراین مکان‌های اسکان اضطراری اولیه توسط GIS انتخاب و مکان‌های اسکان نهایی توسط مدل ریاضی تخصیص مشخص می‌شوند. جمعیت متقاضی اسکان نیز با استفاده از تلفیق مدل‌سازی سیستم‌دینامیک و رابطه تخمین خسارت کوبورن و اسپنس مشخص می‌شوند. رابطه تخمین خسارت کوبورن و اسپنس تعداد تلفات زلزله به ازای هر سناریو را محاسبه می‌کند در شرایطی که یکی از مهم‌ترین ورودی‌های این رابطه یعنی تخمین تعداد ساختمان‌های تخریب شده توسط مدل‌سازی سیستم‌دینامیک انجام می‌گیرد. با در نظر گرفتن کل جمعیت شهر و نیز میزان تلفات ناشی از زلزله، جمعیت متقاضی اسکان به ازای هر سناریو تعیین می‌گردد.

مبانی نظری

مفاهیم مورد استفاده در این تحقیق که در مقوله اسکان اضطراری مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از: مدیریت بحران و اسکان اضطراری، مسئله مکان‌یابی، GIS و مدل‌سازی سیستم دینامیک. در این قسمت به تشریح این مفاهیم پرداخته می‌شود:

۱- مدیریت بحران و اسکان اضطراری

مدیریت بحران دربرگیرنده یک سری عملیات و اقدامات پیوسته و پویا می‌باشد و به طور کلی بر اساس تابع کلاسیک مدیریت که شامل موارد برنامه‌ریزی، سازماندهی، تشکیلات، رهبری و کنترل است، استوار می‌باشد (Nategh, 2000: 4). در حقیقت مدیریت بحران مجموعه مفاهیم نظری و تدابیر عملی در ابعاد برنامه‌ریزی جهت مقابله با سوانح هنگام، قبل و بعد از سانحه است. این اصطلاح به نحوه مدیریت سانحه و عواقب آن نیز

می‌پردازد (Aysan & Yan, 2003). به طور کلی وظیفه مدیریت بحران، کنترل بحران در زمان بسیار کوتاه با استفاده از بهترین اصول و روش‌ها می‌باشد و به طور خلاصه می‌توان گفت رابطه بحران با مدیریت بحران عبارتست از بهینه‌سازی شرایط برای مقابله با بحران و به حداقل رساندن خسارات ناشی از بحران (Rezvani, 2000). مکان‌یابی مراکز امداد و اسکان نیز جزئی از فرآیند مدیریت پس از بحران است که در قالب ایجاد سرپناه برای افراد تعریف می‌شود. سرپناه پس از سانحه فرآیندی از سکونت‌دهی افراد بی‌خانمان به حساب می‌آید که به طور معمول در اقدامی سه مرحله‌ای که مشتمل بر سرپناه اضطراری، مسکن موقت و مسکن دائمی می‌باشد تأمین می‌گردد. در این شیوه از سکونت، سرپناه‌های اضطراری به منظور تأمین پناهگاه‌های بی‌خطر پس از مدت کوتاهی از حادثه احداث می‌گردند (Hataminejad & Janbabanejad, 2006: 3). پس از پایان یافتن این مرحله از سکونت، نوبت به برپاسازی سایت‌های اسکان موقت می‌باشد. اسکان موقت مرحله‌ای از فرآیند اسکان می‌باشد که به سکونت‌دهی حادثه‌دیدگان بلایا در مساکن خالی موجود توسط بخش خصوصی، یا در درون چادر بر روی اراضی بایر و یا خانه‌های قابل جابجایی یا سرپناه دادن به افراد در محل‌های عمومی نظیر مدارس و ... اشاره می‌نماید که بلافاصله بعد از مرحله امدادرسانی و اسکان اضطراری و در مرحله سامان‌دهی مورد توجه قرار می‌گیرد. مدت زمان این شیوه اسکان بر حسب شرایط، نوع بحران و امکانات از ۶ ماه تا ۲ سال تخمین زده می‌شود. این شیوه از اسکان را می‌توان مجموعه‌ای از فعالیت‌ها اعم از جمع‌آوری و شناسایی افراد مصیبت‌زده و بی‌خانمان، نقل و انتقال افراد به سرپناه‌ها و ایجاد شرایط زندگی امن و بهداشتی تا زمان بازگشت آنان به موطن اصلی و یا زیستگاه اولیه‌شان دانست (Alidoosti et al., 1997). پس از گذراندن دو مرحله یادشده و (در برخی موارد نادیده انگاشتن مرحله دوم) افراد بی‌خانمان می‌توانند زندگی عادی خود را از سرگیرند.

۲- مسئله مکان‌یابی

مسئله مکان‌یابی تسهیلات از جمله مسائل بهینه‌سازی کلاسیک به‌شمار می‌رود که دارای کاربردهای زیادی به ویژه در حوزه صنایع خدماتی است. نمونه این کاربردها را می‌توان در مکان‌یابی بعضی از نقاط مثل پمپ بنزین، مراکز درمانی و اورژانس، انبار و ایستگاه‌های پلیس مشاهده نمود (Salimifard, 2010: 5). ریشه و سرچشمه مسائل مکان‌یابی به قرن نوزدهم در کشور آلمان باز می‌گردد و نخستین مسئله مکان‌یابی صنعتی در سال ۱۸۷۸ میلادی در این کشور ارائه شده است. اصل حاکم بر مکان‌یابی، تعیین مکانی بهینه بر مبنای حداقل هزینه یا فاصله و زمان سفر است. هدف عمده ارزیابی مکان برای استفاده خاص از زمین، برای این است که مطمئن شویم در آنجا توسعه و گسترش فعالیت‌های انسان با توجه به امکانات و محدودیت‌ها، با محیط‌زیست طبیعی سازگاری و هماهنگی دارد (Ghazban, 1995). به طور کلی روش‌های مکان‌یابی به دو دسته تقسیم می‌شوند: مدل‌های مکان‌یابی گسسته و مدل‌های مکان‌یابی پیوسته (Taherkhani, 2007: 3). در مدل‌های گسسته گزینه‌ها مشخص و محدودند و از میان

گزینه‌های موجود یک یا چند گزینه انتخاب می‌شود. از این رو مجموعه‌ای از شاخص‌ها و معیارها انتخاب می‌گردند و سپس با استفاده از روش‌هایی ویژه‌ای ارزش‌گذاری و ترکیب می‌شوند و آنگاه بهترین گزینه از میان گزینه‌ها مشخص می‌گردد. در این حالت لازم است ماتریس جغرافیایی ساخته شود که در ستون آن‌ها شاخص‌ها و معیارها قرار می‌گیرند و گزینه‌ها در سطر قرار دارند. در روش پیوسته گزینه‌ای از قبل وجود ندارد و کل فضا به صورت یکپارچه در نظر گرفته می‌شود. برای تعیین محل‌های مناسب مجموعه‌ای از معیارها مشخص می‌گردند. با استفاده از روش‌های چندمعیاره داده‌های مکانی صورت‌بندی ریاضی می‌شوند و با یکدیگر ترکیب می‌گردند و تصمیم‌گیری مکانی بر همین اساس صورت می‌گیرد. در اینجا می‌تواند تعداد زیادی گزینه وجود داشته باشد (Faraji, 2003: 1). در این تحقیق انتخاب مکان‌های اولیه جهت اسکان اضطراری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، مکان‌یابی پیوسته است چرا که کلیه نقاط موجود در شهر مشهد از حیث میزان تناسب جهت اسکان اضطراری مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

۳- GIS

در سال‌های اخیر مطالعه و اجرای پروژه‌های مکان‌یابی به‌عنوان یکی از فاکتورهای کلیدی در موفقیت و توسعه پایدار پروژه‌ها و طرح‌ها مطرح است (Poordeihimi, 2001: 33). اهمیت این پژوهش‌ها و بررسی‌ها به حدی است که مطالعات مکان‌یابی علاوه بر مقیاس محلی و ملی، در سطح بین‌المللی نیز مورد توجه زیاد پژوهشگران قرار گرفته است. در جوامع امروز که همواره با تعدد معیارها در تصمیم‌گیری‌ها و همچنین کمبود زمان مواجه هستیم، مکان‌یابی جایگاه ویژه‌ای پیدا نموده است. قابلیت‌های بالای سیستم‌های اطلاعات مکانی GIS در مدیریت و تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی منجر به ارایه محیط بسیار کارآمدی برای اجرای مراحل مختلف تحلیل‌هایی از قبیل مکان‌یابی شده و از مزیت‌های این روش (نسبت به سایر روش‌ها) این است که در هر مرحله از تصمیم‌گیری با تغییر دادن ارزش (وزن) هر یک از داده‌های ورودی، مطابق با نظر کارشناسی، در کم‌ترین زمان ممکن تحلیل‌ها به روز شده و نتیجه به‌صورت نقشه گرافیکی قابل مشاهده است. این امر در درک بهتر کارشناسان از تغییراتی که در محیط مورد مطالعه ایجاد می‌شود تاثیر بسزایی دارد (Nejadghomi, 2005: 1).

به‌طور کلی مراحل اجرای یک پروژه مکان‌یابی در GIS به‌ترتیب شامل موارد زیر می‌گردد (Zebardast, 2005: 21):

- جمع‌آوری اطلاعات
- استانداردسازی اطلاعات
- رستر ساختن از هر یک از لایه‌های وکتور موجود در کل محدوده مطالعاتی (شامل: درون‌یابی، ایجاد حریم و بررسی پراکندگی تراکم هر عارضه)
- طراحی الگوریتم مراتب کار
- ساخت نقشه‌های نشانگر بر اساس فاکتورهای محدود کننده

- مدل‌سازی و تهیه نقشه‌های مکان‌یابی بر اساس وزندهی به فاکتورهای مختلف
 - بهینه‌سازی مدل اجرا شده و کنترل مجدد وزندهی جهت بهینه‌سازی مکان‌یابی انجام شده

۴- مدل‌سازی سیستم دینامیک

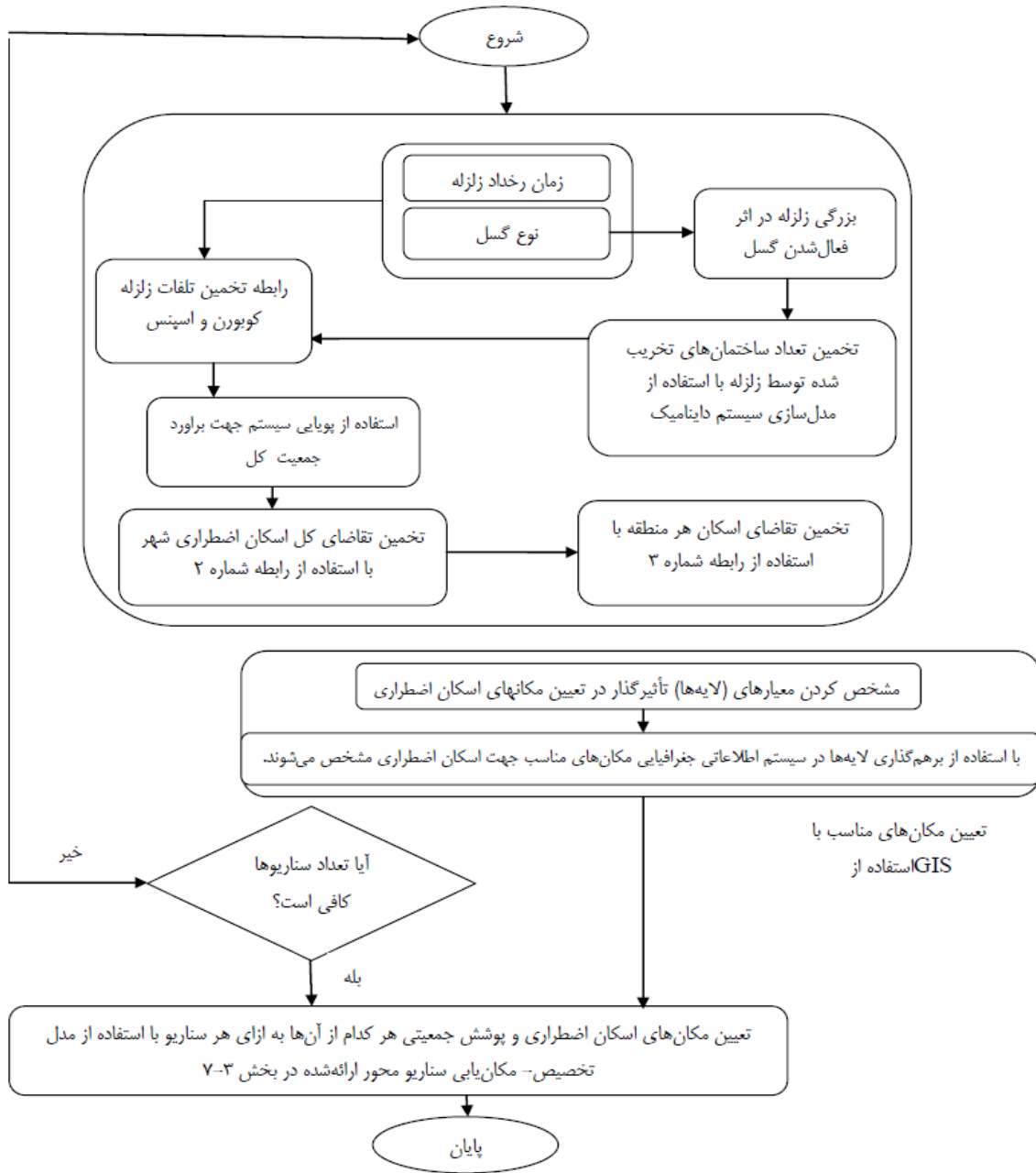
سیستم دینامیک ابزار بسیار کارایی در مطالعه‌ی بازخوردهای سیستم‌های پیشرفته است. سیستم‌های اقتصادی-اجتماعی بدون تعادل و غیر پایدار هستند، بنابراین الگوریتم‌هایی که در سیستم‌های پایدار استفاده می‌شوند در اینجا چندان کارآمد نیستند (Forrester, 1969). استفاده از سیستم دینامیک و تمرکز بر پویایی‌ها و روابط حاصله میان عوامل راه حل بهتری برای شبیه‌سازی مسائل پیچیده و حالات توأم با عدم قطعیت است. فارستر ابداع‌کننده‌ی این روش اعتقاد دارد در سیستم‌های اقتصادی-اجتماعی سیستم‌ها اغلب در حالت عدم تعادل قرار دارند و عوامل بیرونی متعددی بر آن‌ها تاثیرگذار هستند و باید به دنبال نوعی مدل‌سازی بود که بتوان این مشکل را حل و به کل سیستم به شکل مجتمع نگاه کرد. همچنین بایستی روابط اجزای داخلی و تاثیر عوامل را همگی در یک زمان مشخص در نظر داشت.

از سویی دیگر سیستم دینامیک به دستیابی فهم واقعی‌تر و موثرتری از سیستم مورد نظر کمک می‌کند. این روابط توسط چرخه‌های بازخور میان اجزای سیستم و شناخت الگوی رفتاری آن‌ها در خلال زمان مشخص می‌شود. این روش مدل‌سازی همچنین ابزار محبوبی برای مدل‌سازی پیش‌بینی‌های اقتصادی و نوسانات بوده است (Nejadghomi, 2005:1). مفهوم رفتار سیستم‌های بازخورد به صورت جامع در مورد سیستم‌های فیزیکی گرفته تا سیستم‌های اقتصادی-اجتماعی به کار می‌رود. ایده‌ی سیستم‌های بازخوردی اولین بار در سیستم‌های مهندسی و توسعه به کار گرفته شده است. درک سیستم‌های بازخوردی هم اکنون در سیستم‌های اقتصادی نیز کاربرد سودمندی پیدا کرده است که یکی از ابزارهای سودمند و مقبول این کار سیستم دینامیک است. سیستم دینامیک در زمینه‌های گوناگون و گسترده‌ی وسیعی چون سیاست شرکت‌های تجاری، رفتار دیابت به‌عنوان یک سیستم طبی، رشد و رکود مناطق شهری، نمایش دادن تعاملات درونی جمعیت، صنعتی سازی، منابع طبیعی و غذا در جهان کاربرد دارد (Forrester, 1969).

مواد و روش‌ها

عدم اطمینان فراوانی که در وقوع زلزله و خسارات متعاقب آن وجود دارد منجر به استفاده از رویکردهای مختلفی در مواجهه با این پدیده شده است که وجه اشتراک آن‌ها عدم قطعیت موجود در این روش‌ها است. در این پژوهش در خصوص تعداد افراد نیازمند اسکان عدم اطمینان وجود دارد. در ابتدا بر اساس ویژگی‌های زمین‌شناسی مرتبط با زلزله و زمان رخداد آن (شب یا روز)، سناریوهای محتمل در خصوص زلزله مشهد تدوین می‌شود. ویژگی‌های

زمین‌شناسی که در هر سناریو در نظر گرفته شده است عبارتند از: بزرگی، شتاب و طول گسل. در هر سناریو با استفاده از رابطه تخمین خسارت کوبورن و اسپنس و مدل‌سازی سیستم داینامیک تعداد تلفات جانی زلزله تعیین گردیده است. رابطه تخمین خسارت کوبورن و اسپنس جهت محاسبه تلفات ناشی از زلزله به ازای هر سناریو مورد استفاده قرار گرفته است در شرایطی که مهم‌ترین ورودی این رابطه یعنی تعداد ساختمان‌های تخریب شده توسط مدل‌سازی سیستم‌داینامیک تخمین زده شده است. مدل سیستم‌داینامیک با تمرکز بر ۲ زیرسیستم جمعیتی و ساخت‌وساز ایجاد شده است. بر مبنای تعداد تلفات تخمین زده شده و جمعیت کل شهر، جمعیت نیازمند اسکان مربوط به هر مرکز جمعیتی مشخص شده است. سپس مکان‌های اولیه مستعد اسکان اضطراری در شهر مشهد با استفاده از GIS انتخاب شد. این مکان‌ها بر مبنای تلفیق لایه‌های GIS مربوط به معیارهای اصلی در انتخاب مکان‌های اسکان برگزیده شدند. این معیارها عبارتند از: دسترسی به شاهراه‌های اصلی شهر، نزدیکی به نقاطی که تراکم جمعیت بیش‌تری دارند، فاصله بیش‌تر تا بافت فرسوده شهری، فاصله بیش‌تر تا گسل‌های مهم موجود در شهر و نزدیکی به مراکز امدادی و درمانی. این لایه‌ها توسط خبرگان تحقیق تعیین شده‌اند. تعداد ۲۵۷ مکان در مشهد مستعد اسکان اضطراری شناخته شدند که با توجه به استاندارد ۸ متر مربعی فضای مورد نیاز برای هر فرد، ظرفیت اسکان نیز مشخص شد. این مکان‌ها شامل پارک‌ها، فضای سبز، مدارس نوسازی شده است که استانداردهای احداث مکان‌های اسکان اضطراری را دارا می‌باشند. از طرفی کل شهر مشهد به ۱۴۲ مرکز جمعیتی تقسیم شده است که در این فرایند به مکان‌های اسکان اضطراری تعیین شده تخصیص می‌یابند. این ۱۴۲ مرکز جمعیتی بر مبنای تقسیمات شهری انتخاب شده‌اند. همچنین خبرگان این پژوهش شامل ۹ نفر از متخصصان مدیریت بحران استانداری خراسان رضوی با تجربه کافی و تحصیلات لیسانس و فوق‌لیسانس در مدیریت و مهندسی عمران هستند. جهت مدل‌سازی سیستم داینامیک شهری از نرم‌افزار Vensim PLE و جهت حل مدل تخصیص - مکان‌یابی از نرم‌افزار Matlab و تابع Intlinprog استفاده شده است. با توجه به اینکه آخرین زلزله شدید به وقوع پیوسته شهر مشهد در سال ۱۶۷۳ میلادی رخ داده است و با در نظر گرفتن دوره بازگشت ۳۵۰ ساله زلزله، ۴ سال آینده یعنی سال ۲۰۲۳ زمان وقوع زلزله محتمل در نظر گرفته شده است. از این‌رو کلیه نتایج مدل ارائه‌شده (پویایی سیستم و مکان‌یابی - تخصیص) در این مقاله متناسب با شرایط سال ۲۰۲۳ می‌باشد. شکل (۱) فرآیند کلی روش پیشنهادی را نشان می‌دهد:



شکل ۱: فرایند کلی روش پیشنهادی

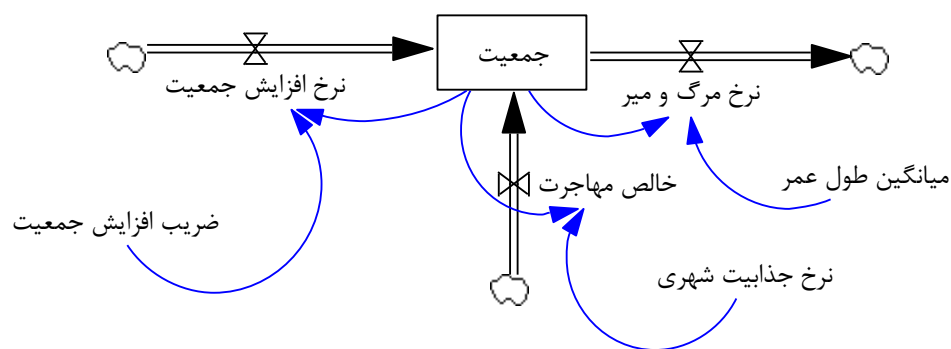
Figure 1: Overall process of proposed method

مدل‌سازی سیستم دینامیک شهر

مدل‌سازی سیستم دینامیک شهری با تمرکز بر دو زیر سیستم جمعیت و ساخت‌وساز تدوین شده است.

زیرسیستم جمعیتی

این زیرسیستم مهم‌ترین زیرسیستم شهری است که روند تغییرات جمعیت شهری پیش و پس از زلزله را نشان می‌دهد. متغیر جمعیت یک متغیر انباشت است که تحت تأثیر متغیرهای تولد و مرگ و میر به‌طور طبیعی دچار تغییر می‌شود. نرخ مهاجرت نیز متغیری است که جمعیت را متناسب با نرخ جذابیت شهری افزایش می‌دهد. بدیهی است که این نرخ (نرخ مهاجرت) مدت کوتاهی پس از زلزله بایستی صفر در نظر گرفته شود. با استفاده از این زیرسیستم جمعیت کل شهر مشهد در سال ۲۰۲۳ تخمین زده می‌شود. فرض اساسی در این زیرسیستم این است که مقادیر ثابت این مدل (ضریب افزایش جمعیت، میانگین طول عمر و نرخ جذابیت شهری) در طی ۴ سال شبیه‌سازی تغییر نکرده و ثابت باشد. (شکل ۲) زیرسیستم جمعیتی را نشان می‌دهد:

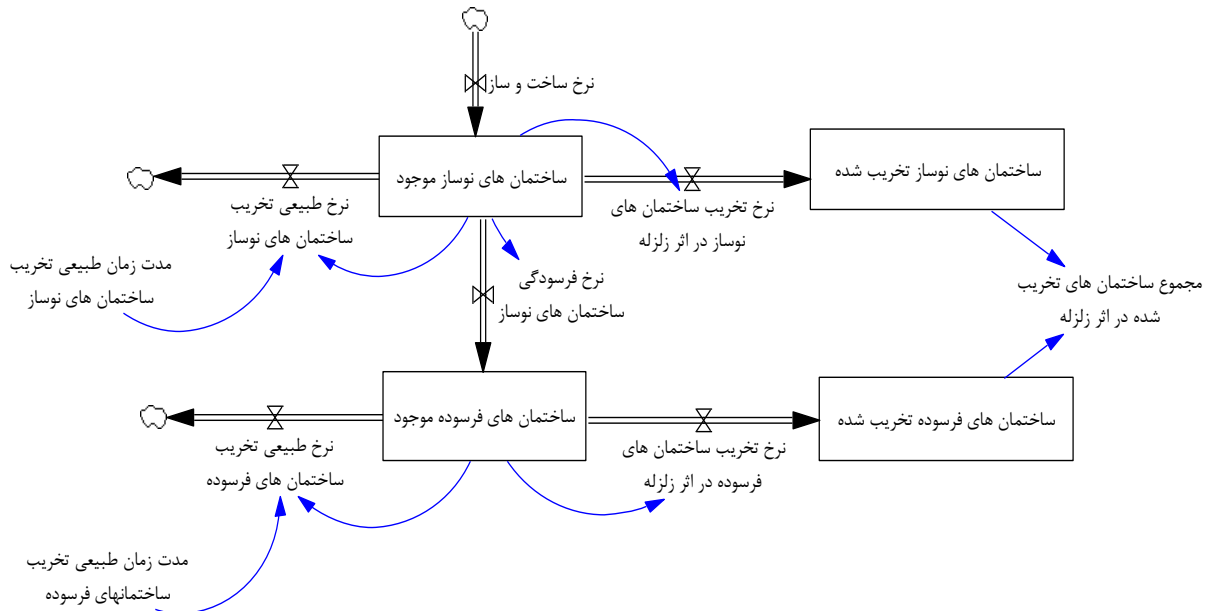


شکل ۲: زیرسیستم جمعیتی

Figure 2: Population subsystem

زیرسیستم ساخت‌وساز و تخریب شهری

این زیرسیستم شامل ۲ نوع ساختمان است که عبارتند از: ساختمان‌های نوساز (زیر ۱۰ سال ساخت) و ساختمان‌های موجود در بافت فرسوده شهری. در این زیرسیستم روند طبیعی ساخت‌وساز و همچنین تخریب ساختمان‌های موجود در این ۲ نوع ساختمان نشان داده می‌شود. در این مدل فرض شده است ساخت‌وسازی در بافت فرسوده انجام نشده و صرفاً نرخ تخریب وجود دارد. از طرفی با توجه به این که ساختمان‌های با عمر کم‌تر از ۱۰ سال نوساز تلقی می‌گردند، در طی مدت شبیه‌سازی هر ساله تعدادی از این ساختمان‌ها فرسوده خواهند شد. همانند زیرسیستم جمعیتی در این زیرسیستم نیز فرض می‌شود کلیه مقادیر ثابت موجود در مدل (مدت زمان طبیعی تخریب ساختمان‌های نوساز، مدت زمان طبیعی تخریب ساختمان‌های فرسوده) و همچنین متغیر جریان نرخ ساخت‌وساز در طی دوره شبیه‌سازی تغییر نکند. (شکل ۳) زیرسیستم ساخت‌وساز و تخریب را نشان می‌دهد.



شکل ۳: زیرسیستم ساخت‌وساز و تخریب
 Figure 3: Destruction-Building subsystem

جدول (۱) روابط موجود در مدل سیستم دینامیک را نشان می‌دهد:

جدول ۱- روابط موجود در مدل‌سازی سیستم دینامیک

Table 1- The equation in system dynamics model

متغیر	رابطه
ساختمان‌های نوساز موجود	نرخ ساخت‌وساز - نرخ تخریب ساختمان‌های نوساز در اثر زلزله - نرخ طبیعی تخریب ساختمان‌های نوساز
ساختمان‌های موجود در بافت فرسوده	- نرخ تخریب ساختمان‌های موجود در بافت فرسوده در اثر زلزله - نرخ طبیعی تخریب ساختمان‌های موجود در بافت فرسوده
ساختمان‌های نوساز تخریب‌شده	نرخ تخریب ساختمان‌های نوساز در اثر زلزله - نرخ برداشت آوار ساختمان‌های نوساز
ساختمان‌های تخریب‌شده در بافت فرسوده	نرخ تخریب ساختمان‌های موجود در بافت فرسوده - نرخ برداشت آوار ساختمان‌های موجود در بافت فرسوده
نرخ طبیعی تخریب ساختمان‌های نوساز	ساختمان‌های نوساز موجود / زمان طبیعی تخریب ساختمان‌های نوساز
کل جمعیت	نرخ خالص مهاجرت + نرخ افزایش جمعیت - نرخ مرگ‌ومیر
نرخ افزایش جمعیت	ضریب افزایش جمعیت * جمعیت کل
نرخ خالص مهاجرت	جمعیت کل * ضریب جذابیت شهری
نرخ مرگ‌ومیر	جمعیت کل / متوسط طول عمر
نرخ فرسودگی ساختمان‌ها	۰.۱ * ساختمان‌های نوساز موجود

مدل تخمین خسارت کوبورن و اسپنس

در تحقیق حاضر برای برآورد تلفات انسانی ناشی از زلزله در شهر مشهد از رابطه تخمین خسارت کوبورن و اسپنس استفاده شده است. از آنجا که این روش برگرفته از ملاحظات آماری خسارات زلزله در سراسر جهان و از جمله ایران است برای شهر مشهد نیز می‌تواند کاربرد داشته باشد. ایده فوق‌الذکر به صورت رابطه زیر تدوین شده است (Coburn & Spence, 2001):

$$K_S = D_5 * M_1 * M_2 * M_3 * (M_{4d} + (1 - M_{4d}) * M_5) \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در رابطه فوق:

K_S : تعداد تلفات انسانی،

D_5 : تعداد ساختمان‌های فروریخته،

M_1 : متوسط تعداد افراد در هر ساختمان،

M_2 : وضعیت ساختمان از نظر تعداد افراد ساکن در هنگام وقوع زلزله.

M_3 : افراد گرفتار در زیر آوار پس از زلزله،

M_{4d} : نسبت افرادی که بلافاصله پس از زلزله در اثر ریزش آوار جان خود را از دست می‌دهند.

M_5 : نسبت افرادی که بلافاصله پس از زلزله جان خود را از دست نمی‌دهند،

تخمین تقاضای اسکان اضطراری

تعداد کل افراد متقاضی اسکان و همچنین تعداد افراد متقاضی اسکان در هر منطقه با استفاده از روابط ۲ و ۳ محاسبه می‌شود:

رابطه (۲) تعداد تلفات زلزله که خروجی رابطه تخمین خسارت کوبورن و اسپنس است - کل جمعیت = تعداد

افراد متقاضی اسکان اضطراری

رابطه (۳) تعداد افراد متقاضی اسکان هر منطقه = تعداد کل جمعیت متقاضی اسکان * درصد جمعیت منطقه

تعداد کل جمعیت در ۴ سال آینده از طریق زیرسیستم جمعیتی سیستم دینامیک به دست می‌آید. از طرفی فرض می‌شود که نسبت جمعیت هر منطقه به جمعیت کل در طی مدت شبیه‌سازی تغییری نکرده و ثابت فرض می‌شود.

پارامترهای مورد استفاده در مدل

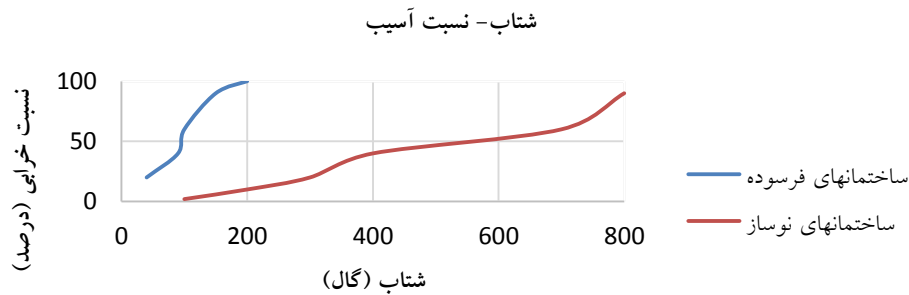
این مدل تلفیقی در شهر مشهد اجرا شده است. جدول (۲) مشخصات گسل‌های مهم شهر مشهد را نشان می‌دهد:

جدول ۲- مشخصات گسل‌های شهر مشهد

Table 2- The characteristics of important fault of Mashhad

گسل	طول گسل	بزرگی	شتاب گسل
جنوب	بیش‌تر از ۱۰۰	۷/۳	۰/۶۷
کشف رود	۶۲	۶/۸	۰/۶۳
شان‌دیز	۸۵	۷/۲	۰/۴۳
بینالود	۱۰۰	۷/۴	۰/۲۱
شمال نیشابور	۸۰	۷/۴	۰/۰۷
نیشابور	۵۰	۷/۴	۰/۰۱۷
توس	۶۰	۶/۸	۰/۵۲
فریمان	بیش‌تر از ۱۰۰	۷/۲	۰/۶۵

نرخ تخریب ساختمان‌ها متناسب با ماکزیمم شتاب گسل در شکل (۴) نشان داده شده است:



شکل ۴: آسیب‌پذیری ساختمان‌های مسکونی نسبت به حداکثر شتاب

Figure 4: Vulnerability of buildings to maximum speed

پارامترهای ثابت مورد استفاده در مدل سیستم دینامیک به شرح جدول (۳) است:

جدول ۳- مقادیر ثابت مورد استفاده در مدل

Table 3- Fixed value in model

مقدار ثابت	متغیر
۱/۷ درصد در سال	ضریب افزایش جمعیت
۲۷ نفر در روز	شاخص جذابیت
۲۵۹۲۰ روز	متوسط طول عمر
۱۸۲۵۰ روز	زمان طبیعی تخریب ساختمان‌های نوساز
۱۵ ساختمان در روز	مجموع توانایی آواربرداری شهر
۷۳۰۰ روز	زمان طبیعی تخریب ساختمان‌های موجود در بافت فرسوده

با توجه به این که پارامترهای موجود در مدل تخمین خسارت کوبورن و اسپنس به تفکیک نوع ساختمان موجود است و از آنجا که در مدل تعداد تلفات به ازای کلیه ساختمان‌های موجود در شهر محاسبه می‌شود (اعم از فرسوده و نوساز) از میانگین وزنی مقادیر شاخص‌های موجود در جدول فوق استفاده شده است. وزن مورد استفاده نیز به شکل زیر محاسبه می‌گردد:

$$\text{رابطه (۴)} \quad \text{کل مساحت های ساختمان فرسوده شهری} = \frac{\text{کل مساحت مسکونی شهر}}{\text{وزن ساختمان های فرسوده}}$$

$$\text{رابطه (۵)} \quad \text{کل مساحت های ساختمان نوساز شهری} = \frac{\text{کل مساحت مسکونی شهر}}{\text{وزن ساختمان های نوساز}}$$

با توجه به مساحت بافت فرسوده و نوساز شهری در مشهد، اوزان فوق و پارامترهای مورد استفاده در رابطه تخمین خسارت کوبورن و اسپنس مطابق جداول (۴) و (۵) است:

جدول ۴- پارامترهای مورد استفاده در رابطه تخمین خسارت زلزله کوبورن و اسپنس

Table 4- The parameter used in Coburn and Spence equation

نوع سازه		پارامتر
ساختمان فرسوده شامل خشتی، سیمانی و تمام چوب	ساختمان نوساز شامل بتن مسلح و فولادی	
۵۵	۱۵	M_3
۶۰	۳۰	$M_4 d$
۵۵	۳۵	M_5

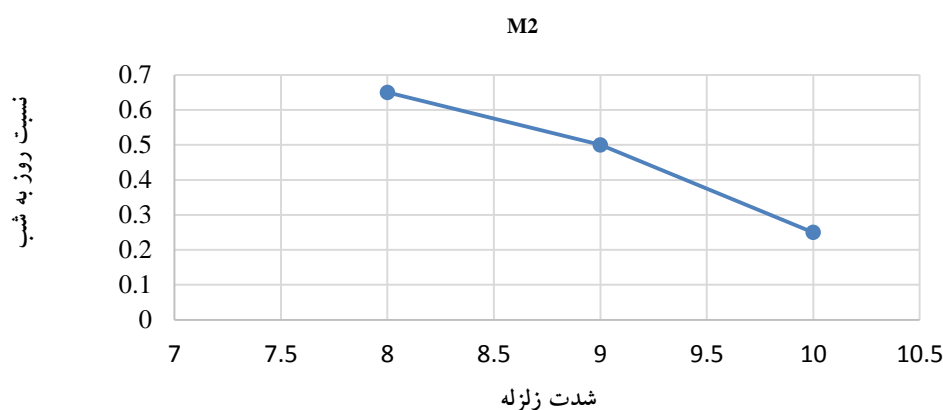
جدول ۵- مقادیر متوسط ضرایب مورد استفاده در رابطه تخمین خسارت زلزله کوبورن و اسپنس

Table 5- The average value used in Coburn and Spence equation

پارامتر	وزن بافت فرسوده=۷ درصد، وزن بافت نوساز=۹۳ درصد
M_3	۱۷/۸
$M_4 d$	۳۲/۱
M_5	۳۶/۴

متغیر D_5 خروجی مدل سیستم دینامیک است. مجموع ساختمان‌های فروریخته و آسیب‌دیدیده (ساز و فرسوده) D_5 را تشکیل خواهند داد. M_1 نیز بر اساس سالنامه‌های آماری موجود می‌باشد. در هنگام شب، وقتی که همه ساکنان در خانه‌هایشان هستند مقدار M_2 برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود و در روز نیز بر مبنای نموداری که در شدت‌های

مختلف زلزله در ایران تهیه شده است می‌توان مقدار M_2 را تعیین نمود. با توجه به نمودار زیر که در شدت‌های زیر ۸ ریشتر وجود نداشته، در کلیه ۶ سناریو مربوط به روز مقدار این پارامتر برابر با $0/6$ در نظر گرفته شده است. نمودار مورد استفاده مطابق شکل (۵) است:

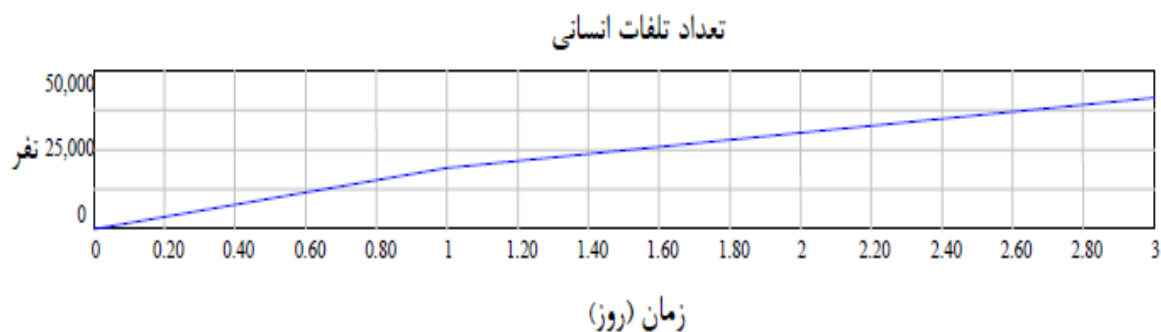


شکل ۵: نسبت تعداد تلفات زلزله در شدت‌های مختلف، روز هنگام به شب هنگام

Figure 5: The proportion of casualty in day to night

اعتبارسنجی مدل سیستم دینامیک

داده‌ها و اطلاعات آماری مربوط به زلزله سال ۱۳۸۱ بم جهت اعتبارسنجی مدل سیستم‌دینامیک مورد استفاده قرار گرفته است. تعداد تلفات انسانی محاسبه شده توسط این مدل تقریباً مشابه نتایج واقعی این زلزله است. اجرای مدل از زمان وقوع زلزله تا ۳ روز پس از آن است و میانگین تلفات انسانی این ۳ روز به‌عنوان خروجی مدل در نظر گرفته شده است. (شکل ۶) این اعتبارسنجی را نشان می‌دهد:



شکل ۶: اعتبارسنجی مدل سیستم دینامیک

Figure 6: The validation of system dynamics model

سناریوهای زلزله در مشهد

در این تحقیق هر سناریوی زلزله بر اساس ۵ شاخص نوع گسل فعال شده، طول گسل فعال شده، شتاب گسل فعال شده، بزرگی زلزله و نیز زمان وقوع آن (شب یا روز) تعیین می‌شود. منظور از بزرگی زلزله حداکثر بزرگی است که در اثر فعالیت گسل مربوطه اتفاق می‌افتد. سناریوهای مورد استفاده جهت تخمین تلفات انسانی که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است مطابق جدول (۶) می‌باشد:

جدول ۶- سناریوهای وقوع زلزله در مشهد

Table 6- The earthquake scenarios in Mashhad

شماره سناریو	نام گسل	M_2	نرخ خرابی ساختمان‌های فرسوده بر اساس شتاب زلزله	نرخ خرابی ساختمان‌های نوساز بر اساس شتاب زلزله	بزرگی	شتاب زلزله	هنگام وقوع زلزله
۱	جنوب مشهد	۰/۷	۰/۹۱	۰/۶۵	۷/۳	۶۷۰	روز
۲	جنوب مشهد	۱	۰/۹۱	۰/۶۵	۷/۳	۶۷۰	شب
۳	کشف رود	۰/۶۵	۰/۷۱	۰/۴۲	۶/۸	۱۳۰	روز
۴	کشف رود	۱	۰/۷۱	۰/۴۲	۶/۸	۱۳۰	شب
۵	شاندیز	۰/۶۸	۰/۹	۰/۵۱	۷/۲	۴۳۰	روز
۶	شاندیز	۱	۰/۹	۰/۵۱	۷/۲	۴۳۰	شب
۷	بینالود	۰/۶۹	۰/۸۱	۰/۲۴	۷/۴	۲۱۰	روز
۸	بینالود	۱	۰/۸۱	۰/۲۴	۷/۴	۲۱۰	شب
۹	شمال نیشابور	۰/۵۹	۰/۴	۰/۱۱	۷/۳	۷۰	روز
۱۰	شمال نیشابور	۱	۰/۴	۰/۱۱	۷/۳	۷۰	شب
۱۱	طوس	۰/۹۱	۰/۹	۰/۶۱	۶/۸	۵۲۰	روز
۱۲	طوس	۱	۰/۹	۰/۶۱	۶/۸	۵۲۰	شب

مدل تخصیص - مکان‌یابی جهت تخصیص جمعیت متقاضی اسکان به مکان‌های اسکان اضطراری

جهت تخصیص جمعیت متقاضی اسکان اضطراری به مکان‌های اسکان از مدل تخصیص-مکان‌یابی زیر استفاده می‌شود که تعداد مکان‌های اسکان اضطراری و همچنین مجموع فواصل بین مراکز اسکان و مراکز جمعیتی پوشش داده‌شده توسط آن‌ها را نیز حداقل می‌کند. پارامترهای مورد استفاده در مدل به شرح زیر است:

J: مجموعه مکان‌های اسکان اضطراری

I: مجموعه مراکز جمعیتی

d_{ij} : فاصله مرکز جمعیتی i ام تا مکان اسکان j ام

cap_j : ظرفیت مکان اسکان اضطراری j ام

m : تعداد مراکز جمعیتی موجود

n : تعداد مکان‌های اسکان اضطراری موجود

I: حداکثر فاصله مجاز بین مراکز جمعیتی و مکان‌های اسکان اضطراری

S: مجموعه سناریوهای ممکن

Z^S : مقدار بهینه تابع هدف به ازای سناریوی S ام

w_i^S : میزان جمعیت متقاضی اسکان در منطقه i ام به ازای سناریوی S ام

اگر مرکز جمعیتی i ام در سناریوی S ام به مکان اسکان j ام تخصیص یابد

در غیر صورت این

$$Y_{ij}^S = \begin{cases} 1, \\ 0, \end{cases}$$

$$X_j^S = \begin{cases} 1, \\ 0, \end{cases}$$

اگر مکان اسکان j ام در سناریوی S ام انتخاب گردد

در غیر این صورت

با توجه به تعاریف فوق مدل تخصیص-مکان‌یابی سناریو محور این تحقیق به ازای یک سناریوی محتمل که با s نشان داده شده است به شکل زیر است. در ادامه به ازای هر سناریو، جواب بهینه مساله در آن سناریو با حل مدل زیر به دست می‌آید:

$\min z^S = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{w_i^S d_{ij} y_{ij}^S}{\sum_{i=1}^m w_i^S \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n d_{ij}} + \frac{\sum_{j=1}^n X_j^S}{n}$	رابطه (۵)
s.t.	
$\sum_{j \in N_i} y_{ij}^S = 1 \quad \forall i \in I, N_i = \{j d_{ij} \leq I\}$	رابطه (۶)
$\sum_{i=1}^m w_i^S y_{ij}^S \leq cap_j X_j^S \quad \forall j \in J$	رابطه (۷)
$X_j^S, y_{ij}^S \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J$	رابطه (۸)

در این مدل تابع هدف شماره ۵ تعداد مکان‌های اسکان اضطراری انتخاب شده و همچنین مجموع مسافت طی شده بین مراکز جمعیتی و مکان‌های اسکان را به ازای سناریوی جاری حداقل می‌کند. ضرائب به کار رفته در تابع هدف جهت هم مقیاس سازی اجزای این تابع است. محدودیت شماره ۶ هر مرکز جمعیتی را به یک مکان اسکان اضطراری تخصیص می‌دهد. محدودیت شماره ۷ محدودیت مربوط به ظرفیت هر مکان اسکان اضطراری است و محدودیت ۸ نیز ۰ و ۱ بودن متغیرها را نشان می‌دهد.

نتایج محاسباتی

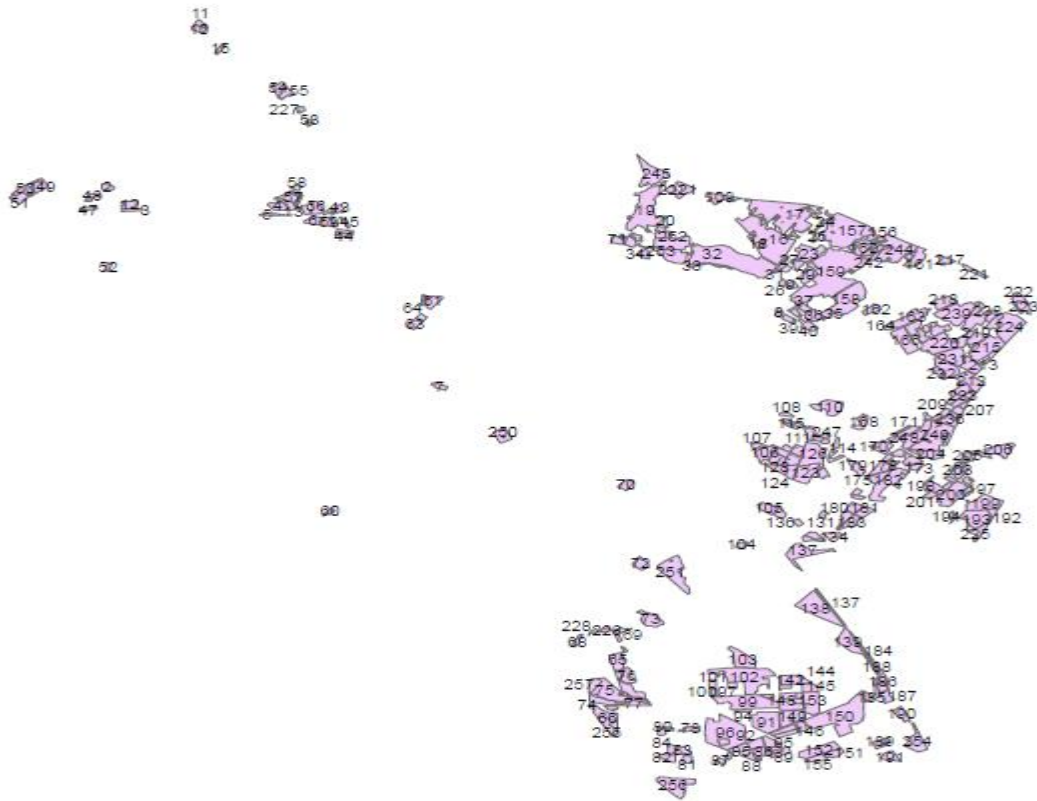
نتایج این پژوهش شامل تعیین تعداد افراد نیازمند اسکان در هر سناریوی محتمل زلزله، تعیین مکان‌های اسکان اضطراری و همچنین تخصیص جمعیتی بازماندگان ناشی از زلزله به این مکان‌هاست.

تعیین مکان‌های مستعد برای اسکان اضطراری

جهت انتخاب مکان‌های مناسب جهت اسکان اضطراری در شهر مشهد ابتدا معیارهای تأثیرگذار در انتخاب این مکان‌ها شناسایی شدند که این معیارها مطابق دستورالعمل اجرایی خدمات امدادی حوادث و سوانح مصوب سازمان هلال احمر عبارتند از:

۱. دسترسی به راه‌های مواصلاتی اصلی در شهر
۲. نزدیکی به نقاطی که تراکم جمعیتی بیش‌تری دارند
۳. فاصله بیش‌تر تا بافت فرسوده موجود در شهر
۴. نزدیکی به فضای سبز یا زمین‌های بایر یا سالن‌های ورزشی مستعد اسکان اضطراری
۵. فاصله بیش‌تر از گسل‌های موجود در شهر مشهد به خصوص گسل جنوب مشهد که خطرناک‌ترین گسل این شهر است
۶. نزدیکی به مراکز درمانی و امدادسانی شهری

ابتدا کلیه لایه‌های GIS مربوط به این معیارها تهیه شد و سپس کلیه نقاط و فضای شهری مشهد بر اساس این معیارها رتبه‌بندی شدند. در نهایت از طریق ادغام و برهم‌گذاری این لایه‌ها تعداد ۲۵۷ نقطه شهری در مشهد که در معیارهای گفته‌شده در رتبه بالاتری قرار دارند انتخاب شدند. این مراکز دارای مساحت متفاوت و به تبع آن ظرفیت اسکان متفاوتی خواهند بود. ظرفیت اسکان با توجه به استاندارد ۸ متر مربع به ازای هر نفر قابل محاسبه است. این نقاط که خروجی نرم‌افزار GIS هستند مطابق شکل (۷) می‌باشند:



شکل ۷: مکان‌های اولیه مستعد جهت اسکان اضطراری

Figure 7: The initial location for emergency location

جدول (۷) ظرفیت هر کدام از این مکان‌های اسکان اضطراری را نشان می‌دهد:

جدول ۷- ظرفیت مکان‌های اسکان اضطراری اولیه

Table 7- The capacity of initial location

۲۵۷		۵	۴	۳	۲	۱	شماره
۶۶۷۷۱/۵۳	۳۰۰۰۴/۹۱	۷۴۳۸۱/۵۰	۲۹۵۷۸/۱۷	۳۳۵۲۰/۶۳	۲۰۰۰۹/۲۳	مساحت (مترمربع)
۶۶۷۷		۳۰۰۰۰	۷۴۳۸	۲۹۵۷	۳۳۵۲	۲۰۰۰	ظرفیت اسکان (نفر)

تخمین تقاضای اسکان به ازای هر سناریو

با استفاده از خروجی مدل سیستم دینامیک و مدل تخمین خسارت کوبورن و اسپنس میزان تلفات زلزله به ازای هر سناریو محاسبه گردیده است و با استفاده از رابطه شماره ۲ تقاضای اسکان به ازای هر سناریو و در هر منطقه محاسبه شده است. واحد مربوط به تلفات و تقاضای اسکان به ازای هر سناریو بر حسب نفر می‌باشد. نتایج مطابق جدول (۸) می‌باشد:

جدول ۸- میزان تلفات و تقاضای اسکان اضطراری

Table 8- The casualty and demand for emergency location

منطقه	سناریو	تلفات	تقاضا	منطقه	سناریو	تلفات	تقاضا	منطقه	سناریو	تلفات	تقاضا	منطقه	سناریو	تلفات	تقاضا
۱	۱	۱۹۹۵۳/۵۴	۱۱۳۵۴۰/۳۱۳	۲	۱	۷۳۶۵۶/۰۹	۴۱۹۱۲/۰۳	۳	۱	۵۷۵۵۰/۱۵	۳۲۷۴۷/۳۷	۴	۱	۴۱۷۱۹/۹۳	۲۳۷۳۹/۶۱
	۲	۳۳۲۸۲/۹۰	۱۰۱۴۱۹/۵۳۰		۲	۱۲۲۸۵/۹/۸	۳۷۴۳۷/۷/۹		۲	۹۵۹۹۴/۷۸	۲۹۲۵۱/۴/۹		۲	۶۹۵۸۹/۶۶	۲۱۲۰۵/۳/۳
	۳	۱۷۵۵۹/۱۷	۱۱۷۱۴۲/۴۳۰		۳	۶۴۷۳۳/۷۴	۴۳۲۴۱/۷		۳	۵۰۵۰۶/۶۱	۳۳۷۸۶/۳		۳	۳۶۶۷۱/۸۴	۲۴۴۹۲/۷/۶
	۴	۲۹۳۳۱/۹۶	۱۰۵۴۷۰/۵۶۵		۴	۱۰۷۹۰/۶/۲	۳۸۹۳۳/۱/۸		۴	۸۴۳۱۱/۰۲	۳۰۴۱۹/۸/۹		۴	۶۱۱۱۹/۷۳	۲۲۰۵۲/۳/۴
	۵	۱۹۱۱۱/۸۲	۱۱۵۸۷۶/۹۵۲		۵	۷۰۵۴۸/۹/۸	۴۲۷۷۱/۲/۵		۵	۵۵۱۲۲/۴۵	۳۳۴۱۸/۷/۱		۵	۳۹۹۶۰/۰۲	۲۴۲۲۶/۲/۸
	۶	۳۱۸۵۳/۰۵	۱۰۲۸۴۹/۳۳۳		۶	۱۱۷۵۸/۱/۷	۳۷۹۶۵/۵/۸		۶	۹۱۸۷۰/۸	۲۹۶۶۳/۸/۷		۶	۶۶۶۰۰/۰۶	۲۱۵۰۴/۲/۸
	۷	۱۳۹۹۱/۲۸	۱۲۰۳۶۱/۶۲۰		۷	۵۱۶۴۷/۱/۴	۴۴۳۳۰/۰/۳		۷	۴۰۳۵۳/۷۷	۳۴۷۱۴/۷/۸		۷	۲۹۲۵۳/۷۳	۲۵۱۶۵/۸/۴
	۸	۲۳۳۱۸/۸۱	۱۱۱۳۳۸/۲۶۳		۸	۸۶۰۷۸/۵/۷	۴۱۱۱۵/۷/۸		۸	۶۷۲۵۶/۲۸	۳۲۱۲۵/۲/۳		۸	۴۸۷۵۶/۲۱	۲۳۲۸۸/۶
	۹	۷۶۶۵/۲۷۳	۱۲۶۱۶۱/۱۷۶		۹	۲۸۲۹۵/۴۲	۴۶۶۶۴/۹/۹		۹	۲۲۱۰۸/۳۳	۳۶۴۶۱/۰/۴		۹	۱۶۰۲۶/۹۶	۲۶۴۳۱/۷/۶
	۱۰	۱۲۷۷۵/۴۸	۱۲۱۹۲۶/۹۹		۱۰	۴۷۱۵۹/۱/۵	۴۵۰۰۷/۸/۷		۱۰	۳۶۸۴۷/۱/۴	۳۵۱۶۶/۲/۶		۱۰	۲۶۷۱۱/۶۶	۲۵۴۹۳/۱/۴
	۱۱	۱۹۷۷۲/۴۵	۱۱۵۱۹۲/۳۳		۱۱	۷۲۹۸۷/۶۱	۴۲۵۲۱/۸/۵		۱۱	۵۷۰۲۷/۸۴	۳۳۲۳۳/۸/۵		۱۱	۴۱۳۴۱/۲۹	۲۴۰۸۵/۰/۲
	۱۲	۳۲۹۵۴/۱۲	۱۰۱۷۴۴/۱۳		۱۲	۱۲۱۶۴/۶/۱	۳۷۵۵۹/۰/۹		۱۲	۹۵۰۴۶/۴۹	۲۹۳۴۶/۲/۶		۱۲	۶۸۹۰۲/۲۱	۲۱۲۲۴/۰/۴
۵	۱	۱۷۸۶۳/۸۰۴	۱۰۱۶۴۹/۱۸۹۲	۶	۱	۴۷۶۶۵/۹۱	۲۷۱۲۳/۰/۱	۷	۱	۳۸۹۴۷/۹۷	۲۲۱۶۱/۷/۳	۸	۱	۱۵۹۶۲/۸۴	۹۰۸۳۲/۲۵
	۲	۲۹۷۹۷/۱۷۵	۹۰۷۹۷/۸۲۰۷۲		۲	۷۹۵۰۷/۶۶	۴۲۲۲۷/۵/۴		۲	۶۴۹۶۴/۳۱	۱۹۷۹۵/۹		۲	۲۶۶۲۳/۳۳	۸۱۱۳۵/۶۲
	۳	۱۵۷۰۲/۲۹۲	۱۰۴۸۷۴/۱۵۵۱		۳	۴۱۸۹۸/۳۵	۲۷۹۸۳/۵		۳	۳۴۲۳۴/۴	۲۲۸۶۴/۸/۲		۳	۱۴۰۳۱/۳۴	۹۳۷۱۳/۹۴
	۴	۲۶۱۷۰/۴۸۶	۹۴۴۲۴/۵۸۹۱۹		۴	۶۹۸۳۰/۵۹	۲۵۱۹۵/۲/۷		۴	۵۷۰۵۷/۳۴	۲۰۵۸۶/۶/۱		۴	۲۳۳۸۵/۵۷	۸۴۳۷۷/۴۵
	۵	۱۷۱۱۰/۲۳۷	۱۰۳۳۳۳/۵۳۸		۵	۴۵۶۵۵/۱۷	۲۷۶۷۹/۰/۴		۵	۳۷۳۰۳/۳۰	۲۲۶۱۶/۰/۶		۵	۱۵۷۸۹/۴۶	۹۲۶۹۴/۳۶
	۶	۲۸۵۱۷/۰۷۵	۹۲۰۷۷/۸۸۰۲۹		۶	۷۶۰۹۱/۹۸	۲۴۵۶۹/۱		۶	۶۲۱۷۳/۴۱	۲۰۰۷۴/۹/۸		۶	۲۵۴۸۲/۴۵	۸۲۲۷۹/۴۷
	۷	۱۲۵۲۵/۹۷۶	۱۰۷۷۵۶/۰۹۸۲		۷	۳۳۴۲۳/۵/۱	۲۸۷۵۲/۵/۱		۷	۲۷۳۰۵/۳۵	۲۳۴۹۳/۱/۷		۷	۱۱۱۹۳/۰۳	۹۶۲۸۹/۳
	۸	۲۰۸۷۶/۶۲۶	۱۰۹۹۷۸/۰۴۷۴۸		۸	۵۵۷۰۵/۷/۲	۲۶۶۰۷/۷/۲		۸	۴۵۵۱۵/۵۸	۲۱۷۴۰/۷		۸	۱۸۶۵۵/۰۵	۸۹۱۰۶/۶۱

جدول ۸- میزان تلفات و تقاضای اسکان اضطراری

Table 8- The casualty and demand for emergency location

منطقه	سناریو	تلفات	تقاضا	منطقه	سناریو	تلفات	تقاضا	منطقه	سناریو	تلفات	تقاضا
	۹	۶۸۶۲/۷۸۷۳	۱۱۳۱۷۶/۵۵۷۷		۹	۱۸۳۱۱/۱۴	۳۰۱۹۸/۵		۹	۱۴۹۶۱/۷۱	۲۴۶۷۴۹/۵
	۱۰	۱۱۴۳۷/۵۰۳	۱۰۹۱۵۷/۵۳۲۳		۱۰	۳۰۵۱۸/۶۴	۲۹۱۲۶۴/۵		۱۰	۲۴۹۳۳/۲۴	۲۳۷۹۸۷/۱
	۱۱	۱۷۰۰۱/۶۷۷	۱۰۳۱۲۸/۱۹۰۵		۱۱	۴۷۲۳۳/۳	۲۷۵۱۷۶/۵		۱۱	۳۸۵۹۳/۵	۲۲۴۸۴/۸
	۱۲	۲۹۵۰۲/۸۲۱	۹۱۰۹۲/۰۱۳۳۷		۱۲	۷۸۷۲۲/۲۴	۲۴۳۰۶/۴		۱۲	۶۴۳۲۲/۵۵	۱۹۷۸۰۰/۴
۱	۱	۴۶۹۸۵/۳۹۴	۲۶۷۳۵۷/۷۹۲۴	۱۰	۱	۴۴۸۶۵/۳۷	۲۵۵۲۹۴/۴	۱۱	۱	۳۲۵۳۳/۸۵	۱۸۵۱۴۷/۹
	۲	۷۸۳۷۲/۵۵۶	۲۳۸۱۱۶/۵۱۳		۲	۷۴۸۳۳/۳۲	۲۲۸۰۴۰/۹		۲	۵۴۲۷۳/۷۷	۱۶۵۳۸۲/۸
	۳	۴۱۳۰۰/۱۸۳	۲۷۵۸۳۹/۸۳۷۸		۳	۳۹۴۳۳/۶۸	۲۶۳۳۹۳/۷		۳	۲۸۶۰۰/۷۸	۱۹۱۰۲۱/۸
	۴	۶۸۱۳۳/۶۳۸	۲۴۸۳۵۵/۶۴۲۸		۴	۶۵۷۲۷/۸	۲۳۱۷۱۴۹/۶		۴	۴۷۶۶۷/۹۷	۱۷۱۹۸۸/۷
	۵	۴۵۰۰۳/۳۶۱	۲۲۲۸۳۸/۷۷۵۲		۵	۴۲۹۷۲/۷۷	۲۶۰۵۲۸/۱		۵	۳۱۱۶۶/۲۷	۱۸۸۹۴۳/۵
	۶	۷۵۰۰۵/۶۳۷	۲۴۲۱۸۳/۳۲۶۹		۶	۷۱۶۲۱/۳۲	۲۳۱۲۵۵/۸		۶	۵۱۹۴۲/۱۴	۱۶۷۷۱۴/۳
	۷	۳۲۹۴۵/۸۳۳	۲۸۳۴۲۰/۱۹۰۲		۷	۳۱۴۵۵/۲۹	۲۷۰۶۳۲		۷	۲۲۸۱۵/۳۱	۱۹۶۲۷۱/۳
	۸	۵۴۵۰۹/۷۲۲	۲۶۲۲۷۷/۵۰۱۸		۸	۵۲۴۳۲/۱۵	۲۵۰۴۴۴/۳		۸	۳۸۰۲۵/۵۲	۱۸۱۶۳۰/۴
	۹	۱۸۰۴۹/۷۱۷	۲۶۷۶۷۷/۰۸۷۹		۹	۱۷۲۳۵/۶	۲۸۴۲۴۵/۶		۹	۱۲۴۹۹/۶۱	۲۰۶۱۴۴/۳
	۱۰	۳۰۰۸۲/۹۳۱	۲۸۷۱۰۶/۲۴۳۶		۱۰	۲۸۷۲۵/۵۶	۲۷۴۵۱۰/۸		۱۰	۲۰۸۳۲/۷۳	۱۹۸۸۲۳/۹
	۱۱	۴۶۵۵۸/۹۶۶	۲۷۱۲۴۷/۸۶۳۱		۱۱	۶۴۳۵۵/۱۸	۲۵۹۰۰۸/۹		۱۱	۳۲۲۴۲/۵۴	۱۸۷۸۴۱/۸
	۱۲	۷۷۵۹۷/۳۴۸	۲۳۹۵۹۰/۲۹۸۸		۱۲	۷۴۰۹۷/۰۴	۲۲۸۱۷۷۹/۸		۱۲	۵۲۷۳۷/۶۲	۱۶۵۹۱۷/۶
	۹	۶۱۳۲/۲۱۸	۱۰۱۱۳/۲/۹		۹	۶۱۳۲/۲۱۸	۱۰۱۱۳/۲/۹		۹	۶۱۳۲/۲۱۸	۱۰۱۱۳/۲/۹
	۱۰	۱۰۲۲۰/۳۹	۹۷۵۴۱/۶		۱۰	۱۰۲۲۰/۳۹	۹۷۵۴۱/۶		۱۰	۱۰۲۲۰/۳۹	۹۷۵۴۱/۶
	۱۱	۱۵۸۱۷/۹۶	۹۲۱۵۳/۸۷		۱۱	۱۵۸۱۷/۹۶	۹۲۱۵۳/۸۷		۱۱	۱۵۸۱۷/۹۶	۹۲۱۵۳/۸۷
	۱۲	۲۶۳۶۳/۳	۸۱۳۹۸/۵۱		۱۲	۲۶۳۶۳/۳	۸۱۳۹۸/۵۱		۱۲	۲۶۳۶۳/۳	۸۱۳۹۸/۵۱
	۱	۶۷۷۳/۱۴۳	۳۸۵۴۰/۷۶		۱	۶۷۷۳/۱۴۳	۳۸۵۴۰/۷۶		۱	۶۷۷۳/۱۴۳	۳۸۵۴۰/۷۶
	۲	۱۱۲۹۷/۷۴	۳۴۴۲۶/۴۱		۲	۱۱۲۹۷/۷۴	۳۴۴۲۶/۴۱		۲	۱۱۲۹۷/۷۴	۳۴۴۲۶/۴۱
	۳	۵۹۵۳/۵۹۶	۳۹۷۳۳/۴۸		۳	۵۹۵۳/۵۹۶	۳۹۷۳۳/۴۸		۳	۵۹۵۳/۵۹۶	۳۹۷۳۳/۴۸
	۴	۹۹۲۲/۶۶	۳۵۸۰۱/۵۲		۴	۹۹۲۲/۶۶	۳۵۸۰۱/۵۲		۴	۹۹۲۲/۶۶	۳۵۸۰۱/۵۲
	۵	۶۴۸۷/۴۲۵	۲۹۳۳۰/۸۶		۵	۶۴۸۷/۴۲۵	۲۹۳۳۰/۸۶		۵	۶۴۸۷/۴۲۵	۲۹۳۳۰/۸۶
	۶	۱۰۸۱۲/۳۸	۳۴۹۱۱/۷۵		۶	۱۰۸۱۲/۳۸	۳۴۹۱۱/۷۵		۶	۱۰۸۱۲/۳۸	۳۴۹۱۱/۷۵
	۷	۴۷۴۹/۲۸۱	۴۰۸۵۶/۲۲		۷	۴۷۴۹/۲۸۱	۴۰۸۵۶/۲۲		۷	۴۷۴۹/۲۸۱	۴۰۸۵۶/۲۲
	۸	۷۹۱۵/۴۶۹	۳۷۸۰۸/۵۶		۸	۷۹۱۵/۴۶۹	۳۷۸۰۸/۵۶		۸	۷۹۱۵/۴۶۹	۳۷۸۰۸/۵۶
	۹	۲۶۰۱/۹۴۳	۴۲۹۱۱/۴۱		۹	۲۶۰۱/۹۴۳	۴۲۹۱۱/۴۱		۹	۲۶۰۱/۹۴۳	۴۲۹۱۱/۴۱
	۱۰	۴۳۳/۵۸۲	۴۱۳۸۷/۵۸		۱۰	۴۳۳/۵۸۲	۴۱۳۸۷/۵۸		۱۰	۴۳۳/۵۸۲	۴۱۳۸۷/۵۸
	۱۱	۶۷۱۱/۶۷۲	۳۹۱۰۱/۵۳		۱۱	۶۷۱۱/۶۷۲	۳۹۱۰۱/۵۳		۱۱	۶۷۱۱/۶۷۲	۳۹۱۰۱/۵۳
	۱۲	۱۱۱۸۶/۱۳	۳۴۵۳۷/۹۶		۱۲	۱۱۱۸۶/۱۳	۳۴۵۳۷/۹۶		۱۲	۱۱۱۸۶/۱۳	۳۴۵۳۷/۹۶

مکان‌یابی - تخصیص سناریو محور

در این مرحله با استفاده از مدل ریاضی ارائه شده در بخش ۳/۷ مکان‌یابی و تخصیص بهینه به ازای هر سناریو مشخص گردیده است. این مدل ریاضی در نرم‌افزار MATLAB 2017 کدنویسی شده و به ازای هر کدام از

سناریوهای ارائه شده در بخش ۳.۶ اجرا شده است. شایان ذکر است که به ازای هر تعداد سناریوی دیگر که در این تحقیق در نظر گرفته نشده است نیز می‌توان از مدل ذکر شده استفاده نمود. نتایج حاصله در جدول (۹) گزارش شده است:

جدول ۹- تخصیص بهینه به ازای هر سناریو

Table 9- The optimum allocation in each scenario

منطقه	۱										
	سناریو	۱	۲	۳	۴	۵			...		۱۲
تقاضای اسکان اضطراری	۱۱۳۵۴۰	۱۰۱۴۱۹	۱۱۷۱۴۲	۱۰۵۴۷۰	۱۱۵۸۶۸						۱۰۱۷۴۸
مراکز اسکان اضطراری	۶۳، ۶۴، ۶۵، ۲۵۰، ۲۵۶	۶۳، ۶۴، ۶۵، ۷۰، ۲۵۰، ۲۵۶	۶۳، ۶۴، ۶۵، ۲۵۰، ۲۵۶	۶۳، ۶۴، ۶۵، ۷۰، ۷۳، ۲۵۰، ۲۵۶	۶۳، ۶۴، ۶۵، ۲۵۶						۶۳، ۶۴، ۶۵، ۷۲، ۲۵۰، ۲۵۶
				/	/						
				/	/						
منطقه	۱۲										
	سناریو	۱	۲	۳	۴	۵			...		۱۲
تقاضای اسکان اضطراری	۳۸۵۴۰	۳۴۴۳۶	۳۹۷۶۳	۳۵۸۰۱	۳۹۳۳۰						۳۴۵۳۷
مراکز اسکان اضطراری	۵۸، ۵۹، ۶۰، ۶۱، ۶۲	۴۳، ۴۴، ۴۵، ۵۸، ۵۹، ۶۰، ۶۱، ۶۲	۵۸، ۵۹، ۶۰، ۶۱	۴۳، ۴۴، ۴۵، ۵۸، ۵۹، ۶۰، ۶۱، ۶۲	۵۸، ۵۹، ۶۰، ۶۱، ۶۲						۴۳، ۴۴، ۴۵، ۵۸، ۵۹، ۶۰، ۶۱، ۶۲

نتیجه گیری

در این تحقیق به منظور تعیین اسکان اضطراری بهینه پس از زلزله در شهر مشهد در سال ۲۰۲۳ از یک رویکرد تلفیقی جدید استفاده شده است؛ به عبارت دیگر با استفاده از نتایج این تحقیق پس از وقوع هر سناریوی محتمل زلزله تعداد افراد نیازمند اسکان در هر منطقه و مکان اسکانی که این افراد را پوشش می‌دهند تعیین شده است. این مدل تلفیقی در ۳ مرحله انجام می‌شود. در مرحله اول با استفاده از تلفیق رابطه تخمین خسارت کوبورن و اسپنس و مدل‌سازی سیستم دینامیک تعداد تلفات زلزله به ازای هر سناریو محاسبه می‌شود که با در نظر گرفتن کل جمعیت، تقاضای اسکان اضطراری قابل محاسبه است. در مرحله دوم با استفاده از برهم‌گذاری لایه‌ها در GIS مکان‌های اسکان اضطراری در سطح شهر مشهد شناسایی می‌شوند و در مرحله پایانی با استفاده از یک مدل مکان‌یابی-تخصیص جمعیت نیازمند اسکان به مکان‌های اسکان تخصیص پیدا می‌کنند به طوری که مجموع مسافت طی شده و تعداد مکان‌های اسکان اضطراری حداقل شوند. در این تحقیق ۱۲ سناریو در خصوص زلزله محتمل شهر مشهد در نظر گرفته شده است که با توجه به مشخصات این مدل تلفیقی به ازای هر سناریوی محتمل دیگر نیز قابلیت اجرا دارد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که سناریوهای شماره ۲ و ۱۲ خطرناک‌ترین و مهلک‌ترین سناریوهای

ممکن در خصوص وقوع زلزله در شهر مشهد هستند به عبارت دیگر فعالیت دو گسل جنوب مشهد و طوس بیش‌ترین تلفات انسانی را در بر خواهد داشت. از طرفی فعالیت گسل شمال نیشابور نسبت به تمامی سناریوهای ممکن کم‌ترین تلفات انسانی را در پی خواهد داشت. نکته‌ی دیگر قابل ذکر ارتباط مستقیم بین حجم بافت فرسوده و میزان تلفات انسانی است. برای مثال مناطق ۳ و ۴ که بیش‌ترین حجم بافت فرسوده را به خود اختصاص داده‌اند بیش‌ترین میزان تلفات انسانی را نیز دارند. منطقه ۱۱ نیز که کم‌ترین میزان بافت فرسوده را دارند کم‌ترین میزان تلفات انسانی را دارا هستند. از طرفی در تمامی سناریوهای مورد بررسی وقوع، زلزله در شب نسبت به روز به میزان قابل توجهی حجم تلفات را افزایش می‌داد که با توجه به اقامت بیش‌تر افراد در منازل مسکونی در شب هنگام قابل انتظار است. نکته حائز اهمیت دیگر نحوه گسترش شهر مشهد می‌باشد چراکه گسل جنوب مشهد یکی از فعال‌ترین و خطرناک‌ترین گسل‌های موجود است بنابراین در توسعه حریم شهر بایستی به این امر توجه شود. با توجه به این‌که در مدل‌سازی سیستم‌دینامیک شهری بر روی ۲ زیرسیستم ساخت‌وساز و جمعیت تمرکز شده است می‌توان با اضافه‌کردن سایر زیرسیستم‌های شهری به این مدل در تحقیقات آتی بر جامعیت مدل ارائه شده افزود. همچنین در صورتی که مدل‌های مسیریابی نیز به مدل مکان‌یابی - تخصیص سناریومحور این تحقیق افزوده شود، علاوه بر تعیین مکان‌های اسکان اضطراری هر مرکز جمعیتی، مسیریابی بهینه نیز جهت حمل‌ونقل مواد اضطراری بین پایگاه‌ها انجام خواهد گرفت. با توجه به میزان فعالیت و خطر ناشی از گسل‌های موجود در جنوب شهر مشهد پیشنهاد می‌گردد تا از توسعه ساخت‌وساز در این قسمت از شهر جلوگیری شود و از طرفی در جهت مقاوم‌سازی و نوسازی بافت فرسوده موجود در مناطق ۳، ۴ و ۶ نیز اهتمام لازم به عمل آید چراکه در صورت زلزله احتمالی تلفات انسانی زیادی خواهند داشت. این کار از طریق اعطای تسهیلات نوسازی بافت فرسوده و یا ارائه زمین‌های جایگزین توسط شهرداری ممکن است. با توجه به این‌که در این تحقیق تعداد ۲۵۷ مکان اسکان اضطراری به طور بالقوه مشخص شده و متناسب با شدت و محل وقوع زلزله در سناریوهای مختلف تعدادی از آن‌ها انتخاب می‌شود، پیشنهاد می‌گردد آماده‌سازی مکان‌هایی که اهمیت بیش‌تری دارند یا به عبارت دیگر در بیش‌تر سناریوهای محتمل زلزله انتخاب می‌شوند توسط سازمان مدیریت بحران استانداری انجام گیرد.

References

- Absalan, A., Kongi, A., (2015), "The research report of crisis management system in the smart city Mashhad", *Mashhad: IT Organizations Mashhad Municipality*. [In Persian].
- Ahadnejad, M., (2014), "The modeling of the city vulnerability with AHP and GIS in Zanjan", *Geography and Development Iranian Journal*, 19: 13-49. [In Persian].
- Barbarian, M., Gharashi, M., (1990), "The deep research on seismic hazard in Mashhad fault", *Tehran: Geological Survey of Iran, Report*, 72. [In Persian].
- Akbari, M., Abbaszadeh, Gh., Amini, A., (2014), "The vulnerability of Mashhad based on global experiments", *Journal of Sustainable Development*, 3: 7-23. [In Persian].
- Khakpoor, B., Hayati, S., Kazemi, M., Rabbani, Gh., (2014), "The city vulnerability assessment with fuzzy AHP", *Journal of Environmental Control*, 22: 21-38. [In Persian].
- Forrester, J. W., (1969), *"Urban dynamics"*, The M.I.T. press: Cambridge, Massachusetts. .
- Akgün, I., Gümüşbuğa, F., Tansel, D., (2015), "Risk based facility location by using fault tree analysis in disaster management", *Omega*, 52:168-179.
- Barzinpour, F., Esmaeili, V., (2014), "A multi-objective relief chain location distribution model for urban disaster management", *Int. J. Adv. Manuf. Technol*, 70 (5-8):1291-1302.
- Bayram, V., Tansel, B., Yaman, H., (2015), "Compromising system and user interests in shelter location and evacuation planning", *Transp. Res. Part B: Methodol*, 72: 146-163.
- Bozorgi-Amiri, M. S., Jabalameli, S. M., Al-e-Hashem, A., (2015), "Multi-objective robust stochastic programming model for disaster relief logistics under uncertainty", *OR Spectr*, 35 (4): 905-933.
- Chang, M. S., Tseng, Y. L., Chen, J.W., (2007), "A scenario planning approach for the flood emergency logistics preparation problem under uncertainty", *Transp. Res. Part E: Logist. Transp. Rev*, 43 (6): 737-754.
- Chanta, S., Sangsawang, O., (2012), "Shelter-site selection during flood disaster", *Lect. Notes Manag. Sci*, 4 : 282-288.
- Chen, Z., Chen, X., Li, Q., Chen, J., (2013), "The temporal hierarchy of shelters: a hierarchical location model for earthquake-shelter planning", *Int. J. Geogr. Inf. Sci*, 27 (8): 1612-1630.
- Das, R., Hanaoka, S., (2013), "Robust network design with supply and demand uncertainties in humanitarian logistics", *J. East. Asia Soc. Transp. Stud*, 10:954-969.
- Dekle, J., Lavieri, M. S., Martin, E., Emir-Farinas, H., Francis, R. L., (2005), "A Florida county locates disaster recovery centers", *Interfaces*, 35 (2): 133-139.
- Dessouky, M., Ordonez, F., Jia, H., Shen, Z., (2013), *"Rapid distribution of medical supplies Patient Flow"*, Springer: Newyork.
- Feng, C. M., Wen, C. C., (2005), "A bi-level programming model for allocating private and emergency vehicle flows in seismic disaster areas", *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 5 (5): 1408-1423.
- Hong, J. D., Xie, Y., Jeong, K. Y., (2012), "Development and evaluation of an integrated emergency response facility location model", *J. Ind. Eng. Manag*, 5 (1) : 4-16.
- Verma, A., Gaukler, G. M., (2015), "Pre-positioning disaster response facilities at safe locations: an evaluation of deterministic and stochastic modeling approaches", *Comput. Oper. Res*, 62: 197-209.
- Ye, F., Zhao, Q., Xi, M., Dessouky, M., (2015), "Chinese national emergency warehouse location research based on VNS algorithm", *Electron. Notes Discret. Math*, 47: 61-68.

- Lin, Y. H., Batta, R., Rogerson, P. A., Blatt, A., Flanigan, M., (2012), "Location of temporary depots to facilitate relief operations after an earthquake", *Socio-Econ. Plan. Sci.*, 46 (2): 112-123.
- Bozorgi-Amiri, A., Jabalameli, M. S., Al-e-Hashem, S. M., (2013), "A multi-objective robust stochastic programming model for disaster relief logistics under uncertainty", *OR Spectr.*, 35 (4): 905-933.
- Kilci, F., Kara, B. Y., Bozkaya, B., (2016), "Locating temporary shelter areas after an earthquake: a case for Turkey", *Eur. J. Oper. Res.*, 243 (1): 323-332.
- Kedchaikulrat, L., Lohatepanont, M., (2015), "Multi-objective location selection model for Thai red cross's relief warehouses", *The Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 10: 14-26.
- Marcelin, J. M., Horner, M. W., Ozguven, E. E., Kocatepe, A., (2016), "How does accessibility to post-disaster relief compare between the aging and the general population? A spatial network optimization analysis of hurricane relief facility locations", *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, 15: 61-72.
- Pérez-Galarce, F., Canales, L. J., Vergara, C., Candia-Véjar, A., (2016), "An optimization model for the location of disaster refuges", *Socio-Econ. Plan. Sci.*, 59: 56-66.
- Murray, P. M., Mahmassani, H. S., (2017), "Model of household trip Chain sequencing in an emergency evacuation", Presented at 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, 9-10 May 2017, Washington, D. C.
- Celik, E., Nezir, A., Aleve, T., (2017), "A stochastic location and allocation model for critical items to response large-scale emergencies: A case of Turkey", *An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications*, 7: 1-15.
- Ramezankhani, A., Najafiyazdi, M., (2008), "A system dynamics approach on post-disaster management: a case study of Bam earthquake", *System dynamics conference, Bahonar University Kerman: Iran, 3 desember 2004.*
- Coburn, A., Spence, R., (2002), "*Earthquake protection*", John Wiley and Sons: West Sussex, England.
- Earthquake Research and Environmental Centre of Tehran and International cooperation agency of Japan (Jaika), (2002), Micro-size earth quake of Tehran, final report Tehran: Jeology organization of Iran.