

اولویت بندی بازسازی مناطق شهری تهران در برابر زلزله به کمک مدل فازی و GIS

تاریخ دریافت مقاله: ۹۰/۰۵/۰۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۰/۰۵/۱۹

امیرحسین راهنما* (دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم های اطلاعات مکانی، دانشگاه صنعتی خواجه
نصیرالدین طوسی)
محمد طالعی^۱ (عضو هیات علمی گروه سیستم های اطلاعات مکانی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین
طوسی)

چکیده

تعیین میزان آسیب پذیری فیزیکی و انسانی در برابر زلزله از اهمیت بالایی برخوردار است و طبقه بندی واحدهای مکانی شهری از نظر درجهی آسیب پذیری در برابر زلزله، جهت شناسایی نواحی خطرناک امری ضروری به نظر می رسد. در این مقاله، آسیب پذیری انسانی و پهنه بندی خطر زلزله شهر تهران، پس از تعیین شاخص های موثر در آسیب پذیری انسانی، با استفاده از قوانین استنتاج فازی و مدل های هم پوشانی فازی نقشه های معیار در GIS، تعیین گردیده است. پارامترهای در نظر گرفته شده در آسیب پذیری انسانی مناطق شهری تهران، شامل فاصله از گسل، فاصله از نزدیک ترین خیابان اصلی برای هر ناحیه، تراکم جمعیت در منطقه، تراکم جمعیت زیر پنج سال، میانگین تعداد واحدهای ساختمانی منطقه، فاصله از خطوط انتقال برق و در نهایت فاصله از ایستگاه های سوخت رسانی می باشند. در این تحقیق، با لحاظ نمودن فازی بودن مفهوم پارامترهای فوق، استفاده از مدل فازی و روش Sugeno به عنوان یکی از روش های استنتاج فازی، بر روش های دیگر ترجیح داده شد. در مرحله بعد، نقشه آسیب پذیری انسانی شهر تهران در مدل رستری با در نظر گرفتن پارامترهای فوق، تعیین شده و سپس با بصری سازی، اولویت بازسازی مناطق مختلف شهر تهران، تعیین گردید. نتایج بررسی ها نشان می دهد اولویت بازسازی مناطق شمالی تهران بیش از سایر مناطق است.

واژه های کلیدی:

خطر زلزله، آسیب پذیری انسانی، GIS، منطق فازی

* نویسنده رابط: Amirhoseinrahnama36336@gmail.com

¹Taleai@kntu.ac.ir

۱- مقدمه

حوادث طبیعی به طور متوسط سالانه بیش از ۱۵۰ هزار نفر تلفات انسانی و بیش از ۱۴۰ میلیارد دلار خسارت مالی بر کشورها و به ویژه کشورهای در حال توسعه در بردارد (شمسی پور و همکاران، ۱۳۸۹- ص ۱). هر ساله حوادث متعددی نیز در نقاط مختلف کشور ایران به وقوع می پیوندد که پیامدهای ناخوشایندی از جمله خسارات مالی و جانی، ازدست رفتن خانه ها و ویران شدن شهرها و روستاها را به همراه دارد. کاهش آسیب ها و تلفات انسانی ناشی از مخاطرات طبیعی به دلیل تمرکز ساختمانی، کمبود فضاهای باز، همچنین عدم رعایت استانداردهای جهانی در ساخت و سازها، تراکم و توزیع نامناسب جمعیت، عدم تناسب زیر ساخت ها و کاربری های شهری و آموزش ناکافی شهروندان و ... با توجه به دخیل بودن معیارهای مختلف، از پیچیدگی زیادی برخوردار است (زنگی آبادی و همکاران، ۱۳۸۵- ص ۱۱۶). امروزه بسیاری از شهرهای کشور به دلیل افزایش جمعیت، مهاجرت های بی رویه و توسعه افقی شهر، عدم خدمات رسانی و ارائه ی تسهیلات شهری مناسب به هسته های قدیمی شهر و تمرکز فعالیت های اقتصادی و اجتماعی در این بخش باعث شده است بافت قدیمی از نظر امنیتی، اجتماعی و اقتصادی با مشکلاتی روبرو شده و به مرور زمان دچار فرسودگی شوند که این فرآیند شهرها را از درون می پوساند. (اسدیان، ۱۳۹۰- ص ۱)

زلزله از دیرباز جزء پر خطر ترین مخاطرات طبیعی بوده و همواره از ریسک بالایی برخوردار بوده است. ریسک زلزله، خسارت قابل انتظاری است که در اثر آن به عناصری از جامعه یا محیط آسیب هایی وارد می گردد (سیلاوی، ۱۳۸۵- ص ۱). بنابر این، برآورد ریسک ناشی از زلزله کاربرد وسیعی در مهار افزایش تلفات انسانی، تخریب ساختمان ها و طراحی توسعه ی شهری و ... دارد.

بنابر این تعریف ریسک ناشی از زلزله، سه عنصر مستقل را درون خود جای داده است: احتمال وقوع زلزله، عناصر درون محیط ریسک ناشی از زلزله و آسیب پذیری عناصر سازنده ی محیط درون ریسک ناشی از زلزله (همان جا، صص ۳۰۲).

- **احتمال وقوع زلزله:** نتیجه ی برآورد احتمال وقوع زلزله با استفاده از روش های آماری یا احتمالاتی (همان جا، ص ۲).

- **عناصر درون محیط ریسک ناشی از زلزله:** تمامی موجودات و اشیائی که درون محیط وقوع زلزله، پتانسیل آسیب پذیری را دارا هستند. مهم ترین عناصر درون محیط، انسان ها و اشیائی است که به نحوی با انسان ها در ارتباط هستند. ساختمان های مسکونی،

ادارات، مراکز آموزشی، مراکز بهداشتی- درمانی، راه ها، مراکز خرید، تفریحگاه ها و در معرض آسیب پذیری بوده و نتیجه آن، به خطر افتادن جان انسان ها می باشد(همان جا، ص ۲).

تا به حال در زمینه‌ی مدیریت زلزله در دو جنبه‌ی فیزیکی، انسانی و اجتماعی تجزیه و تحلیل های گوناگونی صورت گرفته است. آقا طاهر آسیب پذیری شهر تهران را در مقابل زمین لرزه با استفاده از سه منبع داده مکانی عبارت از پهنه‌بندی ریسک زمین‌لرزه، پهنه‌بندی شرایط سازه‌ای ساختمان ها و پهنه‌بندی جمعیتی، تعیین کرده است. در این تحقیق به منظور ایجاد شرایطی برای تطابق روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی با مقوله عدم قطعیت موجود در داده ها و روش تحلیل، با تزریق مفاهیم منطق فازی، نتایج مدل سازی بهبود داده شده است (آقاطاهر، ۱۳۸۴- صص ۷۰-۷۵). این روش مبتنی بر وزن دهی داده ها بر اساس مدل^۱ AHP در سه سناریوی مختلف بوده و پس از وزن دهی، تلفیق داده ها صورت می گیرد. مدل استفاده شده در این روش از سلايق افراد تاثیر پذیر بوده و معیارهای آسیب پذیری به صورت کلی در نظر گرفته شده است. (همانجا، صص ۴۲-۴۸)

سیلاوی در پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد خود با در نظر گرفتن جنبه‌های انسانی و فیزیکی با استفاده از مدل فازی^۲ شهودی و روش سلسله مراتبی، آسیب پذیری شهر تهران را بررسی کرده است. (سیلاوی، ۱۳۸۵- صص ۷۹-۱۰۰) در این تحقیق، با استفاده از روش های مبتنی بر دانش کارشناسی و دخالت عدم قطعیت های ناشی از ابهام در مفاهیم و ناسازگاری نظرات، به کمک تئوری فازی شهودی و همچنین تعریف سناریوهای روز و شب موضوع آسیب پذیری در برابر زلزله مدلسازی شده است. همچنین وی از ریاضیات بازه ها برای مدل سازی و ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای استفاده نموده است. (همان جا، صص ۳۵-۴۰) همچنین امیری نیز با استفاده از تئوری عدم قطعیت شهود و همچنین مجموعه های زبر^۳، در دو سناریوی روز و شب، آسیب پذیری انسانی شهر تهران را مورد بررسی قرار داده است که پیچیدگی زیاد روش مورد استفاده از معایب تحقیق صورت گرفته می باشد (امیری، ۱۳۸۷- صص ۴۷-۵۵)

احدنزاد روشتی (احدنزاد روشتی، ۱۳۸۹- صص ۸۰-۸۸) آسیب پذیری اجتماعی شهر زنجان در برابر زلزله را با در نظر گرفتن عواملی هم چون توزیع جمعیت در گروه های سنی مختلف و تراکم آن در مناطق مختلف شهری، کیفیت مسکن، اشتغال، سواد و تعداد معلولان ارزیابی

¹ Analytical Hierarchy Process (AHP)

² Fuzzy

³ Rough Sets

نموده است. وی معیارهای آسیب پذیری اجتماعی را در قالب چهار شاخص جمعیت، مسکن، اقتصادی- اجتماعی و فاصله فیزیکی تعریف و به وسیله روش تحلیل سلسله مراتبی، معیارها را وزن دهی نموده است. پس از تعیین اهمیت شاخص ها، لایه های مورد استفاده تلفیق شده و در نهایت آسیب پذیری شهر زنجان تعیین گردیده است.

زبردست (Zebardast, 2007) نیز با استفاده از شاخص های اجتماعی و اقتصادی و با استفاده از روش AHP، به آسیب پذیری اجتماعی در برابر زلزله ی منطقه ۶ شهر تهران پرداخته و مناطق آسیب پذیر در این منطقه را مشخص نموده است. در روش مورد استفاده روشتی و زیر دست، با توجه به استفاده از تکنیک وزن دهی سلسله مراتبی، نتیجه ی کار از سلاقی افراد مشارکت کننده در فرایند وزن دهی و تعیین معیارها، تاثیر پذیر بوده و همچنین استفاده از روش ساده ترکیب وزن دار جهت تلفیق معیارها، در عمل از کیفیت کار کاسته است. پیشگاهی فرد (پیشگاهی فرد، ۱۳۹۰- ص ۹۱) در مقاله خود با توجه به معیارهای فاصله از گسل، کیفیت ابنیه، تراکم جمعیت، نزدیکی به معابر، نزدیکی به فضاهای باز، درمانی، ایستگاه آتش نشانی، اماکن نظامی و انتظامی، پمپ بنزین و همچنین توپوگرافی، مناطق پر خطر در هنگام زلزله را در منطقه ی ۸ شهر تبریز مورد بررسی قرار داده است.

جایکا (آژانس همکاری های بین المللی ژاپن)^۱ در بررسی آسیب پذیری شهر انسانی و فیزیکی شهر تهران در برابر زلزله، روابط آسیب پذیری فیزیکی و انسانی ناشی از زلزله را بررسی نموده است. این روابط در زیر بررسی گشته است:

روابط آسیب پذیری سازه ای (فیزیکی)

میزان آسیب پذیری سازه ای، از طریق ایجاد روابط بین شاخص های ارزیابی آسیب پذیری سازه ای و میزان آسیب پذیری هر یک از آن ها محسوب می شود:

$$(۱) \quad V_{ph} = \sum_1^n W_i \delta_i$$

در این رابطه V_{ph} میزان آسیب پذیری سازه ای هر پلاک ساختمانی، W_i وزن هر شاخص و δ_i میزان آسیب پذیری هر شاخص سازه ای و n تعداد شاخص هاست.

¹ Japan International Cooperation Agency

روابط آسیب پذیری انسانی

میزان آسیب پذیری انسانی (کشته و زخمی)، تابعی از آسیب پذیری فیزیکی و وضعیت برنامه ریزی و طراحی شهری است. رابطه ۲ چگونگی محاسبه ی آسیب پذیری انسانی ناشی از تلفیق دو دسته شاخص های سازه ای و برنامه ریزی را نشان می دهد.

$$(۲) \quad V_{ht} = \Phi \times V_{ph} + \varphi \times V_{hu}$$

V_{ht} میزان نهایی آسیب پذیری انسانی هر پلاک ساختمانی، V_{ph} میزان آسیب پذیری سازه ای ناشی از تأثیر شاخص های سازه ای در هر پلاک ساختمانی، V_{hu} میزان آسیب پذیری انسانی ناشی از تأثیر شاخص های برنامه ریزی در هر پلاک ساختمانی و Φ و φ به ترتیب ضرایب اهمیت شاخص های سازه ای و برنامه ریزی نسبت به یکدیگر است. V_{hu} از رابطه ی ۳ قابل محاسبه است.

$$(۳) \quad V_{hu} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_j W_i(g_{ij})$$

که در آن W_j ، ضریب اهمیت شاخص j ، W_i ضریب اهمیت زیر شاخص i و g_{ij} امتیاز گزینه j را در پیوند با شاخص یا زیر شاخص i مشخص می کند. (حاتمی نژاد، ۱۳۸۷-ص ۳)

در ارتباط با مدلسازی و ارزیابی آسیب پذیری شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش های چند معیاری، تحقیقات وسیعی در خارج از کشور نیز صورت گرفته است که برخی از آن ها، به شرح زیر می باشد:

ابرت و همکارانش (Ebert et al, 2008)، آسیب پذیری اجتماعی شهر تگوسیگالپا^۱ در کشور هندوراس را با استفاده از نمونه برداری زمینی و اندازه گیری های مکانی ارزیابی نموده است. ابرت در این مقاله از تلفیق سنجش از دور و سیستم اطلاعات مکانی با آنالیز روی داده ای مفهومی و دید ریز بینانه سعی بر بهینه سازی آسیب پذیری اجتماعی داشته است.

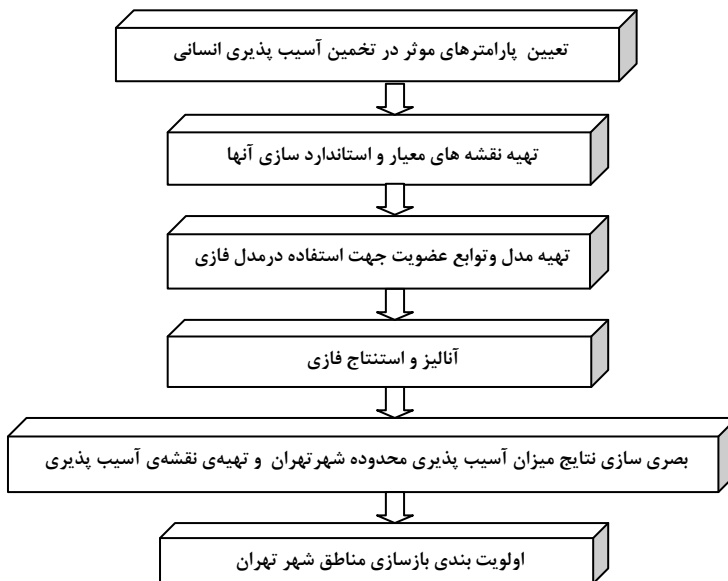
کاتر (Cutter et al, 2003) بوسیله ی مدل های آماری، آسیب پذیری اجتماعی مناطقی از ایالات متحده ی امریکا را در برابر مخاطرات طبیعی مدل سازی نموده است. روش ابرت و کاتر به دلیل تلفیق لایه ها و وزن دهی ساده به معیارها و همچنین آنالیزهای آماری ساده عملاً از کیفیت مناسبی برخوردار نیست. همچنین مهمت (Servi Mehmet, 2004) در رساله ی ارشد خود به ارزیابی آسیب پذیری در برابر زلزله با استفاده از تحلیل های مکانی چند معیاری^۲ در دو سناریو به تحلیل ریزبینانه آسیب پذیری در مقیاس ساختمانی و تحلیل آسیب پذیری در هنگام

¹ Tegucigalpa

² Multi Criteria Spatial Analysis

وقوع زلزله پرداخته است. در این پایان نامه، معیارهای آسیب پذیری تحت نظرات افراد خبره وزن دهی شده که دخالت مستقیم سلايق در کار او مشهود می باشد. وی همچنین کم تر به مطالعه‌ی تحلیلی روابط و ساختارهای درونی جامعه و نقش مردم در امداد رسانی پس از زلزله پرداخته است.

در پژوهش حاضر، سعی گردیده است برخی کمبودهای مطالعات قبلی رفع گردیده و تا حد امکان از پیچیدگی تصمیم گیری جلوگیری به عمل آید. به عنوان مثال استفاده از مجموعه های زبر و ثئوری عدم قطعیت شهود در ارزیابی آسیب پذیری، از پیچیدگی زیادی برخوردار است. در پژوهش های قبلی از جمله سیلاوی، امیری و آقاپاھر، در بحث آسیب پذیری انسانی، تنها از معیار تراکم جمعیت با مشتقات آن استفاده گردیده و کم تر به منابع خطر در درون شهرها از قبیل پمپ های بنزین و گاز، ایستگاههای سوخت رسانی، خطوط فشار قوی و عدم دسترسی مناسب به خیابان های اصلی و همچنین نزدیکی به گسل ها پرداخته شده است. در این پژوهش، با دید جزئی تری به معیارهای آسیب پذیری پرداخته شده است. همچنین در روش های قبلی که از مدل فازی استفاده گردیده است تنها معیارها وزن دهی شده اند که در این پژوهش علاوه بر آن، قوانین نیز وزن دهی گشته اند. همچنین در پژوهش حاضر با فرض موجود بودن اولویت بازسازی ساختمان ها تحت معیارهای فیزیکی، اولویت بازسازی مناطق تحت معیارهای آسیب پذیری انسانی، تعیین گردید. در شکل ۱، فلوچارت مراحل تحقیق به نمایش در آمده است.

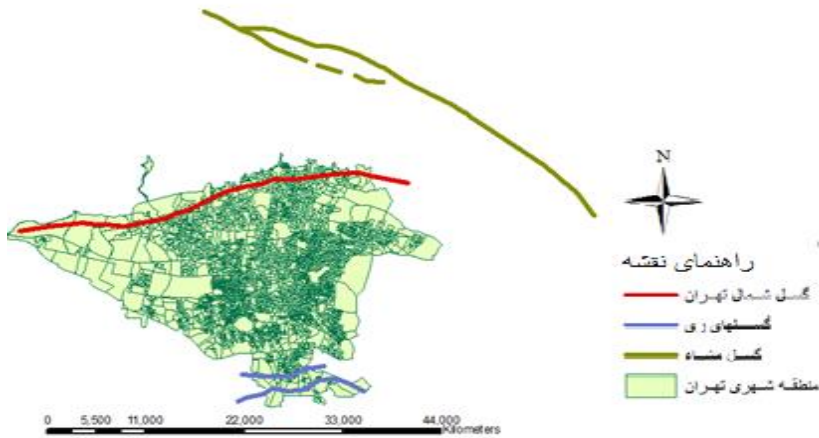


شکل ۱- فلوچارت مراحل پژوهش

۲- مواد و روش تحقیق

۲-۱- منطقه مطالعه موردی

تهران به عنوان پایتخت ایران به دلیل تمرکز مراکز دولتی و همچنین تراکم زیاد جمعیت ساکن در این شهر و از جهتی قرار گرفتن چندین گسل فعال در اطراف آن، از ریسک بالایی در مقابل خطر زمین لرزه برخوردار است. به دلیل تراکم زیاد انسانی در تهران، تعیین آسیب پذیری انسانی در برابر زلزله از امور ضروری است. از میان گسل های فعال در منطقه، گسل های مشا، شمال تهران، شمال ری و جنوب ری از اهمیت بیش تری برخوردارند. در این مقاله، آسیب پذیری محتمل ناشی از فعال شدن گسل های فوق مورد بررسی قرار می گیرد. گسل مشا در شمال و شمال شرق استان تهران و در اطراف آن با طولی بیش از ۲۰۰ کیلومتر کشیده شده است و گسل شمال تهران بیش از ۹۰ کیلومتر امتداد دارد. گسل جنوب ری با طولی در حدود ۲۰ کیلومتر با فاصله ای حدود ۳ تا ۵ کیلومتر به موازات گسل شمال ری قرار گرفته است (سیلاوی، ۱۳۸۵- صص ۲۰-۲۲) از طرفی سابقه ی زلزله در ایران حائز این نکته می باشد که مدت زیادی از آخرین فعالیت لرزه ای شهرهای بزرگ ایران سپری شده و با توجه به دوره بازگشت آن ها، بروز زلزله در این شهرها محتمل است. شهر تهران و محدوده ی آن نیز تا کنون هشت بار به وسیله زلزله هایی با بزرگی بیش از ۷ ریشتر با خاک یکسان شده اند که از مهم ترین آن ها می توان به زلزله های سال ۸۸۵، ۹۵۸، ۱۱۱۷، ۱۶۶۵ و ۱۸۳۰ اشاره کرد. از آخرین زلزله ویران گر تهران ۱۷۳ سال می گذرد و این در حالی است که دوره بازگشت آن ۱۵۰ سال برآورد شده است. بنابراین شناسایی دقیق مسأله در تهران به عنوان پایتخت و کلان شهر اول کشور از اهمیت حیاتی برخوردار است. (زنگی آبادی و همکاران، ۱۳۸۵- ص ۱۱۷) برآوردهای کارشناسان نشان می دهد که حداقل تلفات انسانی در زلزله ی محتمل تهران با بزرگی بیش از ۷ ریشتر برابر با یک میلیون نفر کشته و دو میلیون نفر زخمی خواهد بود. (زنگی آبادی و همکاران، ۱۳۸۵- ص ۱۲۱) در شکل ۲، گسل های محدوده ی تهران به صورت شماتیک ارائه شده است.



شکل ۲- شهر تهران به همراه گسل های محدوده این شهر
(منبع: سیلاوی و مولف)

۲-۲- پارامترهای موثر در آسیب پذیری مناطق شهر تهران در برابر زلزله

به دلیل اینکه محیط شهری، بستر مورد نظر تعیین ریسک می باشد و عناصر درون آن را انسان ها تشکیل می دهند. آسیب پذیری مربوط به جان و سلامتی انسان ها، آسیب پذیری انسانی را تشکیل می دهند. از آنجا که آسیب پذیر بودن انسان ها وابسته به آسیب پذیری فیزیکی نیز می باشد، تعیین آسیب پذیری فیزیکی قبل از انسانی صورت می گیرد (سیلاوی، ۱۳۸۵- ص ۲۳).

در واقع آسیب پذیری انسانی تابع آسیب پذیری فیزیکی می باشد. در ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای شهر تهران در اکثر پژوهش ها مانند سیلاوی، آقا طاهر و امیری، شاخص هایی نظیر شدت زمین لرزه ی برآورد شده، شیب زمین، درصد ساختمان های ضعیف و قدمت ساختمان ها برای آسیب پذیری فیزیکی و در زمینه ی آسیب پذیری انسانی نیز، تراکم ادارات دولتی، آسیب پذیری فیزیکی ساختمان ها، تراکم بیمارستان ها و مراکز خطرناک صنعتی، تراکم جمعیت خردسال، جمعیت سالخورده، جمعیت ساکن در حوزه و جمعیت محصل در سناریوی روز، در نظر گرفته شده است (همان جا، ص ۲۹).

در پژوهش حاضر با اولویت قرار دادن شاخص آسیب پذیری انسانی در مقایسه با آسیب پذیری فیزیکی، که در مطالعات قبلی بیش تر به آن پرداخته شده است، برای یافتن اولویت بازسازی مناطق، پارامترهای مربوط به آسیب پذیری فیزیکی ساختمان ها، با فرض اولیه ایده آل بودن ساختمان ها در نظر گرفته نشده و در تابع آسیب پذیری انسانی مدل پیشنهادی این تحقیق، مقدار تابع آسیب پذیری فیزیکی صفر منظور شده است. دلیل این کار قطعی نبودن دخالت معیار فیزیکی ساختمان ها در آسیب پذیری لرزه ای در سناریوی روز شهر تهران می باشد. نسبتی از جمعیت شهر در معابر و مترو و به طور کلی در فضای باز و خارج از فضای سازه های ساختمانی می باشند. دلیل دیگر در اولویت قرار دادن آسیب پذیری انسانی در مقایسه با دخالت معیار فیزیکی، این است که معیار تراکم واحدها و تراکم جمعیت معیاری مهم تر از معیار فیزیکی ساختمان ها تشخیص داده شد؛ سازه ای قدیمی با تراکم جمعیت کم کم خطر تر از سازه ای نوساز با تراکم جمعیت بالاست، خصوصاً در زلزله های با شدت بالا که برای شهر تهران پیش بینی شده است. همچنین به دلایل فنی انتظار نمی رود حتی سازه های نوساز فلزی و بتنی در برابر زلزله ی تهران موثر و مطمئن باشند. بنابراین، در این مقاله پس از محاسبه ی آسیب پذیری انسانی، مناطق با آسیب پذیری انسانی بالا در اولویت بازسازی هستند. لذا با پایه قرار دادن اولویت های مشخص شده، در مرحله بعد می توان با لحاظ نمودن شاخص آسیب پذیری فیزیکی مناطق، در راستای مدیریت مناسب اقدام نمود.

فاصله از چهار گسل مهم مذکور تهران، تراکم جمعیت زیر پنج سال، تراکم جمعیت ساکن (نسبت جمعیت به مساحت)، فاصله از خطوط انتقال فشار قوی برق، فاصله از ایستگاه های سوخت رسانی (بنزین و گاز) و فاصله از نزدیک ترین خیابان اصلی برای هر زون^۱ و میانگین تعداد واحدهای ساختمانی در هر زون، به عنوان معیارهای تعیین شاخص آسیب پذیری انسانی در این تحقیق، در نظر گرفته شد (نمودار ۱).

^۱Zone

۲-۳-۱- فازی سازی^۱ پارامترها به روش Sugeno

فازی سازی به معنای تعریف توابع عضویت برای پارامترها میباشد که شامل دومرحله فازی سازی ورودی ها و فازی سازی خروجی ها می باشد و به دو روش Mamdani و Sugeno قابل انجام است. مدل Sugeno یا مدل Takagi-Sugeno-Kang در سال ۱۹۸۵ توسط سه فرد ذکر گردیده معرفی گردید. این روش در دو بخش فازی سازی و ساخت پایگاه قوانین فازی، مشابه روش Mamdani بوده و تفاوت آن ها در توابع عضویت خروجی^۲ می باشد. به عبارتی، فازی سازی شامل خروجی ها نمی گردد و فقط ورودی ها فازی سازی می گردند. توابع عضویت خروجی مدل Sugeno توابع خطی و یا توابع ثابت می باشد که استفاده از توابع ثابت به مدل Z-Order در روش Sugeno معروف است. در مقاله‌ی حاضر به دلیل سادگی و ملموس بودن فرایندها، از این مدل استفاده شده است. برای هر پارامتر، توابع عضویت متناسب با خصوصیات و شرایط پارامترها تعریف می گردد. در مقاله‌ی حاضر، برای هر یک از معیارها سه تابع عضویت در نظر گرفته شده است. متغیرهای زبانی مربوط به معیارهای فاصله شامل دور، نه دور نه نزدیک و نزدیک بوده و مربوط به معیارهای تراکم شامل زیاد، نه زیاد نه کم و کم، می باشند. برای معیارهای فاصله از توابع عضویت گوسی و برای معیارهای تراکم از توابع عضویت مثلثی استفاده گردیده است. نمودار ۲ تابع عضویت گوسی تعریف شده برای معیار فاصله از گسل ری را نمایش می دهد. (Sugeno, M-1997) و (Yager, R-1994) و (Zadeh, L.A-1988)

۲-۳-۲- ایجاد پایگاه قوانین فازی

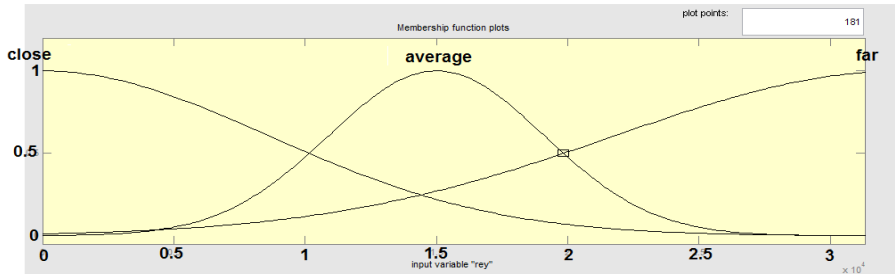
پایگاه قوانین فازی به صورت ترکیب خطی از پارامترها به وسیله‌ی عملگرهای فازی And و Or ساخته شده و در این مقاله برای عملگر And، از روش کمینه و برای عملگر Or از روش بیشینه استفاده شده است. لازم به ذکر است خروجی Sugeno میانگین وزن دار^۳ خروجی تمام قوانین است و نیازی به عملیات غیرفازی سازی ندارد. در این مقاله علاوه بر تعیین وزن معیارها به کمک اخذ نظرات پنج کارشناس زلزله، قوانین نیز براساس اهمیت و طبق نظر کارشناسی، وزن دهی گشته و تعداد شصت و دو قانون برای ایجاد پایگاه قوانین فازی تعریف گردید. لازم به ذکر است که شرط عدم اشتراک قوانین، به کمک قوانین متمم رعایت گردیده است.

¹Fuzzification

² Output Membership Functions

³Weighted Average

جدول ۱ و نمودار ۲، نمونه ای از قوانین و توابع عضویت مورد استفاده را ارائه می کند.



نمودار ۲- توابع عضویت گوسی تعریف شده برای معیار فاصله از گسل ری

جدول ۱- نمونه ای از قوانین فازی مورد استفاده

وزن قانون	خروجی	تابع عضویت مورد استفاده	ورودی (نقشه ی معیار)
(0.9)	(output1=1)	نزدیکی به گسل ری نزدیکی به خطوط انتقال فشار قوی نزدیکی به ایستگاه های سوخت رسانی دوری به خیابان های اصلی زیاد بودن تعداد واحدها بالا بودن میزان تراکم جمعیت کل بالا بودن میزان تراکم جمعیت زیر پنج سال	گسل ری خطوط انتقال فشار قوی ایستگاه های سوخت رسانی خیابان های اصلی تعداد واحدها تراکم جمعیت کل تراکم جمعیت زیر پنج سال
(0.9)	(output1=1)	نزدیکی به گسل شمال تهران نزدیکی به خطوط انتقال فشار قوی نزدیکی به ایستگاه های سوخت رسانی دوری به خیابان های اصلی زیاد بودن تعداد واحدها بالا بودن میزان تراکم جمعیت کل بالا بودن میزان تراکم جمعیت زیر پنج سال	گسل شمال تهران خطوط انتقال فشار قوی ایستگاه های سوخت رسانی خیابان های اصلی تعداد واحدها تراکم جمعیت کل تراکم جمعیت زیر پنج سال
(1)	(output1=1)	نزدیکی به خطوط انتقال فشار قوی	خطوط انتقال فشار قوی
(1)	(output1=.85)	نزدیکی به گسل مشاء	گسل مشاء
(1)	(output1=.9)	نزدیکی به گسل ری بالا بودن میزان تراکم جمعیت کل بالا بودن میزان تراکم جمعیت زیر پنج سال	گسل ری تراکم جمعیت کل تراکم جمعیت زیر پنج سال

۲-۳-۳- استنتاج فازی به روش Sugeno

استنتاج فازی در مدل Sugeno به صورت زیر است:

اگر فرض گردد استنتاج فازی با دو ورودی $Input1=X$ و $Input2=Y$ و خروجی $Z=aX+bY+c$ انجام بگیرد؛ در حالت خاص Z-Order که در این مقاله نیز استفاده گشته است $Z=c$ و $a=0$ و $b=0$ می گردد. اگر به تعداد N قانون در استنتاج دخیل باشد، خروجی هر قانون (Z_i) بوسیله وزن مخصوصی نرمال می گردد:

$$w_i = AndMethod(F_1(X), F_2(Y))$$

که F_1, F_2 توابع عضویت ورودی های $Input1$ و $Input2$ می باشند. مقدار نهایی خروجی

Z_i به صورت زیر به دست می آید:

$$Z_{final} = \frac{\sum_i^n w_i Z_i}{\sum_i^n w_i}$$

در این مقاله، خروجی هر واحد تصمیم گیری (پیکسل های نقشه‌ی نهایی) آسیب پذیری، عددی در بازه صفر تا یک می باشد؛ بدین معنا که هر چه عدد به سمت یک رفته، درجه آسیب پذیری آن پیکسل در برابر زلزله بیش تر می شود. در شکل ۳ نحوه‌ی استنتاج فازی به روش Sugeno به تصویر کشیده شده است. (Sugeno, M-1997)

$$\left\{ \begin{array}{l} Rule(1) \rightarrow 0.5 \wedge 0.7 \xrightarrow{MIN} 0.5 \times 0.9 = 0.45 \\ Rule(2) \rightarrow 0.6 \wedge 0.7 \xrightarrow{MIN} 0.6 \times 0.8 = 0.48 \\ \vdots \\ Rule(n) \rightarrow x_1 \wedge x_2 \wedge \dots \wedge x_n \xrightarrow{MIN} x_n \times Weight = y \\ \Rightarrow Max(0.45, 0.48, \dots, y) = 0.9 \rightarrow Value For Pixel1 = 0.9 \end{array} \right.$$

شکل ۳- استنتاج فازی به روش Sugeno

منبع: (تشنه لب، سیستم های کنترل فازی)

۳- مدلسازی خطر زلزله

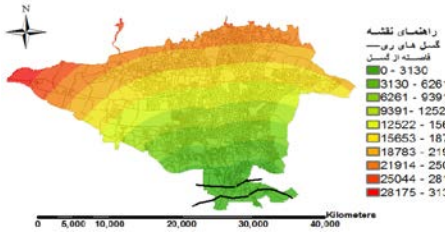
۳-۱- تهیه نقشه های معیار استاندارد بر اساس هر یک از پارامترها برای محدوده ی شهر

تهران

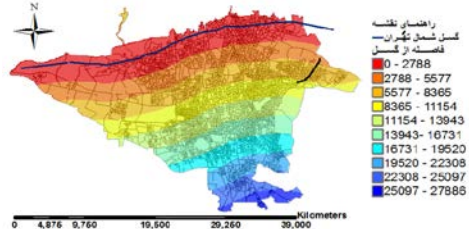
داده های جمعیتی مورد استفاده در این مقاله بر اساس داده های مرکز آمار ایران (سال ۱۳۸۵) به دست آمده است. تمام شاخص های انتخاب شده برای انجام یک تصمیم گیری چند معیاره ی مکانی، نظیر تعیین آسیب پذیری مناطق شهری می باید به صورت یک لایه نقشه مورد استفاده قرار گیرند. بدین منظور می باید از روش هایی استفاده کرد که با دادن یک مقیاس عددی به مقادیر گوناگون یک شاخص، مقادیر مشخص و قابل قبولی را به دست آورد. تئوری فازی همان طور که اشاره گردید، یک روش مرسوم در رابطه با همگون سازی لایه های اطلاعاتی مربوط به شاخص ها می باشد و تابعی است با مقادیر نرمال شده. از نه معیار استفاده شده در این مقاله، شش معیار، مربوط به فواصل می باشند که مدل مورد استفاده تابع گوسی می باشد. دلیل این کار افزایش دقت کار برای مقادیر فاصله با توان زیاد بوده که در صورت عدم استانداردسازی دقت تابع e^{-x} به شدت کاهش می یابد. دلیل استفاده از این مدل برای معیارهای فاصله، تطبیق خوب تابع e^{-x} با مفهوم فاصله بوده و طبق نرمال سازی داده ها، مقدار بیشینه ی تابع برابر $e^0 = 1$ و مقدار کمینه ی آن برابر e^{-1} می باشد. برای سه معیار مربوط به تراکم نیز از تابع مثلثی $g(X) = (X - X_{min}) / (X_{max} - X_{min})$ استفاده گردید.

نقشه های معیار بر اساس هر یک از پارامترهای فوق برای محدوده ی شهر تهران به صورت نه نقشه ی رستری بر اساس نه پارامتر آسیب پذیری انسانی با استفاده از ابزار Spatial Analysis در محیط ArcGis با ابعاد $389 * 250$ با قدرت تفکیک ۱۲۵ مترمربع به دست آمد. این نقشه ها به صورت طبقه بندی شده در زیر نمایش داده شده است. طبقه بندی در محیط ArcGis و به وسیله ابزار Reclassify انجام گرفت. هدف از طبقه بندی، بصری سازی و ایجاد تمایز بین کلاس های مختلف بوده است. در شکل های ۴ تا ۸ تصاویر طبقه بندی شده در ده کلاس به ترتیب بر اساس مقدار فاصله از گسل های ری، مقدار فاصله از گسل شمال تهران، مقدار فاصله از نزدیک ترین خط انتقال قدرت، مقدار فاصله از گسل مشاء و مقدار فاصله از خیابان اصلی و در شکل های ۹ تا ۱۲ تصاویر طبقه بندی شده در ده کلاس به ترتیب بر اساس میانگین تراکم جمعیت زیر پنج سال (نسبت مساحت بر جمعیت)، فراوانی میانگین تعداد

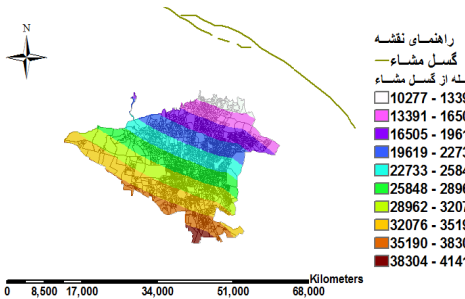
واحدهای ساختمانی، میانگین تراکم جمعیت کل و مقدار فاصله از نزدیک ترین ایستگاه سوخت رسانی در هر یک از زون ها را برای محدوده‌ی شهر تهران، مشاهده می کنید.



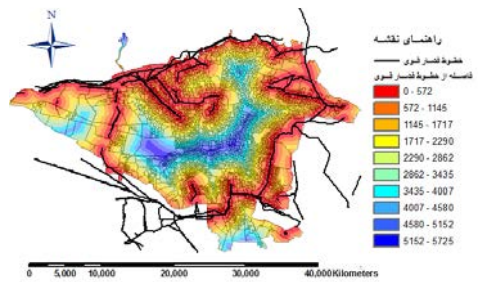
شکل ۵- تصویر طبقه بندی شده‌ی شهر تهران بر اساس مقدار فاصله از گسل های ری بر



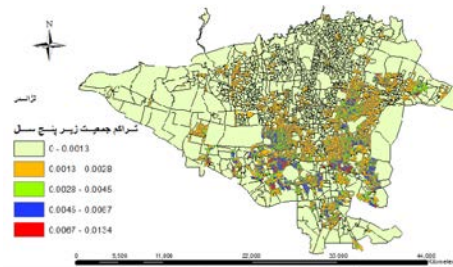
شکل ۴- تصویر طبقه بندی شده‌ی شهر تهران بر اساس مقدار فاصله از گسل شمال تهران بر حسب متر



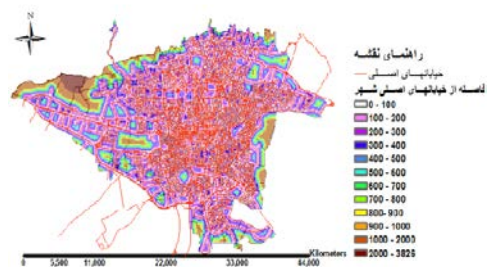
شکل ۷- تصویر طبقه بندی شده‌ی شهر تهران بر اساس مقدار فاصله از گسل مشاء برحسب متر



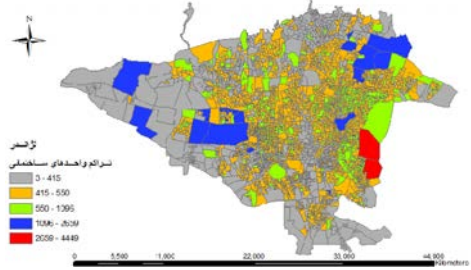
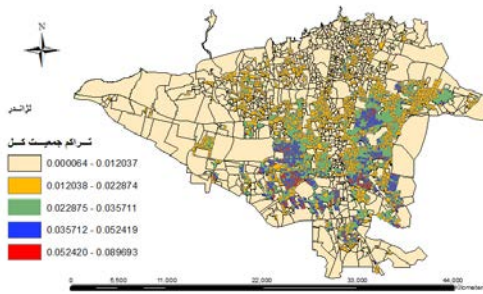
شکل ۶- تصویر طبقه بندی شده‌ی شهر تهران بر اساس مقدار فاصله از خطوط انتقال قدرت بر



شکل ۹- تصویر طبقه بندی شده‌ی شهر تهران براساس میانگین تراکم جمعیت زیر پنج سال بر حسب نفر بر متر مربع

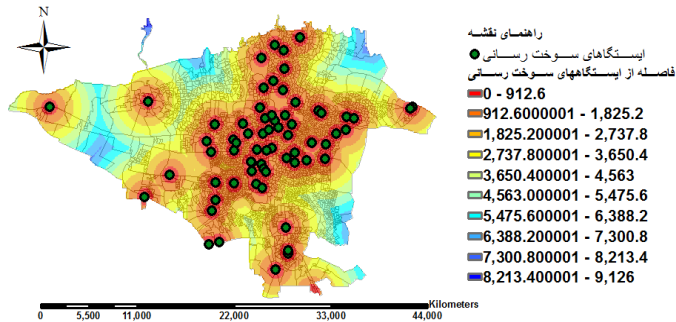


شکل ۸- تصویر طبقه بندی شده‌ی شهر تهران بر اساس مقدار فاصله از خیابان های اصلی شهر بر حسب متر



شکل ۱۱- تصویر طبقه بندی شده‌ی شهر تهران بر اساس میانگین تراکم جمعیت تهران بر حسب نفر بر متر مربع

شکل ۱۰- تصویر طبقه بندی شده‌ی شهر تهران بر اساس فراوانی میانگین تعداد واحدهای ساختمانی



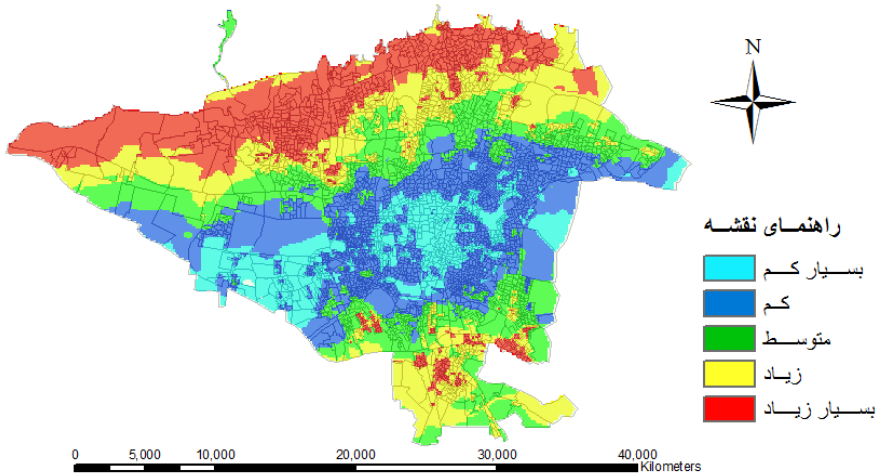
شکل ۱۲- تصویر طبقه بندی شده‌ی شهر تهران بر اساس مقدار فاصله از ایستگاههای سوخت رسانی بر حسب متر

۳-۲- تحلیل فازی بر روی نقشه های معیار

پس از تهیه‌ی نقشه های معیار و استاندارد سازی و همچنین رستری نمودن آن ها، نه پارامتر آسیب پذیری به کمک نرم افزار Matlab، فازی سازی شده و برای هر یک از پارامترهای فوق طبق توضیحات و مدل های انتخابی شرح داده شده در قسمت های بالا، توابع عضویت مخصوص به خود در نظر گرفته شد. پایگاه قوانین فازی نیز به روش Sugeno به منظور تعیین آسیب پذیری مناطق شکل گرفت و نتایج استنتاج فازی به صورت نقشه‌ی آسیب پذیری در برابر زلزله، برای بصری سازی از نرم افزار Matlab خروجی گرفته شد.

۳-۳- نتایج

در شکل ۱۳ نقشه‌ی آسیب پذیری شهر تهران پس از اجرای مدل استنتاج فازی Sugeno روی نقشه‌های معیار ورودی، با دقت ۱۲۵ متر مربع مشاهده می‌شود.



شکل ۱۳- نقشه‌ی آسیب پذیری شهر تهران با دقت ۱۲۵ متر مربع

منبع (مؤلف)

بعد از تهیه‌ی نقشه‌ی آسیب پذیری محدوده‌ی شهر تهران با غیر فازی سازی آسیب پذیری به پنج کلاس با متغیرهای زبانی بسیار بالا، بالا، متوسط، کم و بسیار کم که با رنگ‌های متفاوتی نمایش داده شده است (شکل ۱۵)، اولویت بازسازی مناطق شهر تهران به دست آمد. در شکل ۱۵، اولویت بازسازی با مناطقی است که با رنگ قرمز و زرد مشخص شده است. همانطور که از نقشه‌ی آسیب پذیری قابل استنباط است نواحی شمال تهران به دلیل نزدیک بودن به دو گسل مشاء و شمال تهران و همچنین نواحی جنوب تهران به دلیل نزدیکی به دو گسل ری از آسیب پذیری بالایی برخوردارند. نتایج نشان داد که مناطق شمال تهران از بالاترین درجه آسیب پذیری برخوردار بوده و همچنین مناطق جنوب و جنوب شرق تهران به علت تراکم زیاد جمعیت و همچنین تعداد متعدد واحدهای ساختمانی این مناطق، آسیب پذیر در برابر زلزله می‌باشند. هم چنین نواحی با تراکم کم واحدها و جمعیت در نواحی مرکزی و غرب تهران از آسیب پذیری کم تری بعد از وقوع زلزله برخوردارند.

همچنین مقایسه‌ی نتایج به دست آمده در این تحقیق با نتایج آسیب پذیری ارائه شده توسط سیلاوی حاکی از هم خوانی نتایج در بیش تر مناطق می باشد. هر چند به دلیل در اولویت قرار دادن شاخص آسیب پذیری فیزیکی در تحقیقات قبل و عدم لحاظ نمودن همچنین برخی معیارهای ارزیابی از قبیل خطوط انتقال فشار قوی و ایستگاه های سوخت رسانی، در پاره‌ای از موارد تفاوت هایی وجود دارد. همچنین در روش سیلاوی و امیری به دلیل عدم در نظرگرفتن معیار فاصله از گسل در بررسی آسیب پذیری لرزه ای به صورت مستقیم، نواحی شمال تهران از درجه‌ی آسیب پذیری کم تری نسبت به مدل حاضر برخوردار است. (سیلاوی.ط-۱۳۸۵)

۴- یافته های تحقیق و پیشنهادات

در این مقاله بعد از بررسی پارامترهای موثر بر آسیب پذیری در برابر زلزله برای محدوده‌ی شهر تهران با استفاده از قوانین فازی، نقشه‌ی آسیب پذیری با در اولویت قرار دادن شاخص انسانی تهیه و ارائه گردید. دلیل این کار، قطعی نبودن دخالت معیار فیزیکی ساختمان ها در آسیب پذیری لرزه ای در سناریوی روز شهر تهران می باشد. دلیل دیگر این بوده است که معیار تراکم واحدها و تراکم جمعیت معیاری مهم تر از معیار شرایط فیزیکی ساختمان ها تشخیص داده شده و از جهتی شدت زلزله‌ی پیش بینی شده برای شهر، به غیر از موارد معدودی، حاکی از عدم مقاومت سازه‌های اکثر ساختمان ها می باشد. بر اساس مدل سازی و نتایج تحقیق و با طبقه بندی تصویر خروجی آسیب پذیری، مناطق تهران براساس میزان درجه‌ی آسیب پذیری انسانی برای بازسازی، اولویت بندی گردید. پیشنهاد می شود به بررسی گسترده‌تر عوامل موثر در آسیب پذیری در برابر زلزله پرداخته شود. برای نمونه پارامترها و شاخص های زمین شناسی و نوع و مقاومت خاک می توانند برای بررسی مناسب باشند. پیشنهاد می گردد برای کاهش آسیب پذیری در برابر زلزله موارد زیر رعایت گردد:

الف) قبل از زلزله

- بهبود و بازسازی سازه‌های ضعیف شهری
- به دلیل تراکم زیاد جمعیت در مدارس و ادارات، ساختمان مدارس و ادارات تقویت و بازسازی گردند.
- تقویت و بازسازی مناطقی که از در آسیب پذیری بالایی برخوردار هستند.

- تقویت و بازسازی ساختمان های مراکز امداد رسانی که دارای سازه های ضعیف هستند (از قبیل بیمارستان ها و مراکز درمانی - ایستگاه های آتش نشانی، مراکز راهنمایی و رانندگی و نیروی انتظامی).
- تقویت سازه ای و یا بازسازی مناطق نزدیک به گسل و دارای تراکم بالای جمعیت
- تقویت و محافظت از سازه های نزدیک به خطوط فشار قوی داخل شهر
- تأسیس و توسعه مراکز مدیریت بلایای طبیعی برای مناطق ۲۲ گانه، ناحیه ها و حوزه های جمعیتی با امکانات امداد رسانی (شامل مراکز انبار و توزیع کالاهای اضطراری، مراکز راهداری و فضاهای تخلیه سازی).
- تأسیس و توسعه شبکه راه اضطراری (شامل شبکه راه تخلیه سازی).
- بهبود سامانه ی مدیریت و کنترل برای تأسیسات خطرناک.

ب) بعد از زلزله

- گردآوری اطلاعات در مورد ابعاد آسیب دیدگی گزارش شده توسط ستاد منطقه ای حوادث غیر مترقبه (شامل توانایی هریک از ستادها و پشتیبانی های بیش تر مورد نیاز) جهت امداد رسانی مکانیزه
- بازنگری و طرح عملیات اضطراری بر اساس نتایج شبیه سازی و اطلاعات اولیه آسیب دیدگی.
- درخواست تهیه ی چادر و مسکن موقت
- بازنگری و طرح عملیات اضطراری بر اساس نتایج شبیه سازی و اطلاعات اولیه آسیب دیدگی.
- درخواست برای اجرای عملیات پشتیبانی اضطراری (امداد رسانی، کمک های اولیه، کنترل ترافیک، مواد و وسایل امداد رسانی اضطراری و اقدامات ایمنی)
- تصمیم گیری، صدور و اعلان فرمان تخلیه سازی فوری و معرفی حوزه های خسارت دیده، براساس اطلاعات گردآوری شده در مورد بلایا.
- صدور فرمان انجام فعالیت های امداد رسانی فوری مردمی به تمام ستادهای مردمی حوادث غیر مترقبه.
- صدور فرمان برداشتن موانع موجود در شبکه راه اضطراری از پیش تعیین شده برای بخش های راهداری ستادهای شهری، منطقه ای و ناحیه ای.
- درخواست تهیه ی چادر و مسکن موقت

منابع و مآخذ:

- ۱- آقاپاھر، ر. ۱۳۸۴. برآورد آسیب پذیری در تهران با استفاده از سیستمهای اطلاعات مکانی (GIS)، پایان نامه ی کارشناسی ارشد، دانشکده ی فنی تهران. ۸۰ صفحه
- ۲- احدنژاد روشتی، م. ۱۳۸۹. ارزیابی آسیب پذیری اجتماعی شهرها در برابر زلزله نمونه موردی (شهر زنجان)، مجله مطالعات و پژوهشهای شهری و منطقه ای، ۲ (۷)، ۷۱-۹۰
- ۳- اسدیان، ف. ۱۳۹۰. نقش الگوی مشارکت مردمی در بهسازی و نوسازی بافت های فرسوده شهری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی مطالعه موردی: محله عامری اهواز، مجله ی آمایش، ۴ (۱۲)، ۱۳۹-۱۶۳
- ۴- امیری، ع. ۱۳۸۷. ارزیابی ریسک لرزه ای شهر تهران با به کارگیری تئوریهای عدم قطعیت شهود و زبر، پایان نامه ی کارشناسی ارشد، دانشکده ی فنی تهران. ۱۱۲ صفحه
- ۵- پیشگاهی فرد، ز. ۱۳۹۰. سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و نقش آن در مکان یابی مناطق مخاطره آمیز شهری جهت استفاده در مدیریت بحران (مطالعه موردی: منطقه ۸ شهرداری تبریز)، مجله ی آمایش، ۴ (۱۳)، ۹۱-۱۰۴
- ۶- حاتمی نژاد، ح. فتحی، ح. ۱۳۸۷. ارزیابی میزان آسیب پذیری لرزه ای در شهر، نمونه موردی: منطقه ی ۱۰ شهرداری تهران، مجله ی پژوهشهای جغرافیای انسانی، (۶۸)، ۱-۲۰
- ۷- زنگی آبادی، ع، تبریزی، ن. ۱۳۸۵. زلزله ی تهران و ارزیابی فضایی آسیب پذیری مناطق شهری، مجله پژوهش های جغرافیایی، تابستان (۵۶)، ۱۱۵-۱۳۰
- ۸- سیلاوی، ط. ۱۳۸۵. ارزیابی آسیب پذیری شهر تهران با به کارگیری مدل هایفازی شهودی، پایان نامه ی کارشناسی ارشد، دانشکده ی فنی تهران، ۱۲۰ صفحه
- ۹- شمسی پور، ع. شیخی، م. ۱۳۸۹. پهنه بندی مناطق حساس و آسیب پذیری محیطی در ناحیه ی غرب فارس، با روش طبقه بندی فازی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی، مجله ی پژوهش های جغرافیایی، (۷۳)، ۵۳-۶۸
- ۱۰- وانگ، لی، (ترجمه) تشنه لب، م. ۱۳۷۸. سیستمهای فازی و کنترل فازی، انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۵۴۴ صفحه

11-Cutter, S., B. Boruff, and W. Shirley. 2003. Social Vulnerability to Environment Hazards, *Journal of social science quarterly* 34(2), 242-261.

- 12-Ebert, A., N. Kerle, and A. Stein. 2008. Urban Social Vulnerability Assessment with Physical Proxies and Spatial Metrics Derived from Air- and Spaceborne Imagery and GIS Data, *Journal of NatHazards*,48(2), 275-294.
- 13-Japan International Cooperation Agency (JICA). 2000. The Study on Seismic Microzoning of the Greater Tehran area in the Islamic Republic of Iran, Final Report, Centre for Earthquake and Environmental Studies of Tehran (CEST), Tehran Municipality
- 14-Servi Mehmet. 2004. Assessment of Vulnerability to Earthquake Hazards Using Spatial Multicriteria Analysis, Msc Thesis in Middle East Technical University, Turkey.
- 15- Sugeno, M., Fuzzy measures and fuzzy integrals: a surve. 1977. (M.M. Gupta, G. N. Saridis, and B.R. Gaines, editors) *Fuzzy Automata and Decision Processes*, pp. 89-102, North-Holland, NY
- 16- Yager, R. and D. Filev, Generation of Fuzzy Rules by Mountain Clustering. 1994. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 3(2),209-219
- 17- Zadeh, L.A. 1988. *Fuzzy Logic. Computer*, 4(1), 83-93
- 18-Zebardast, E. 2007. Mapping Social Vulnerability to Earthquake Hazards by Using Analytic Hierarchy Process(AHP) and GIS in Tehran City, *Proceedings of Mapasia 2007 conference*, Kuala lumpur, Malasia.