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

تاریخ دریافت مقاله: ۹۰/۰۵/۰٤ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۰/۰۵/۱۹

امیرحسین راهنما [*] **(دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم های اطلاعات مکانی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی)**
محمد طالعی [1] **(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 طبقه‌بندی 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 نظرگرفتن 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

[1] Taleai@kntu.ac.ir

Archive of SID

www.SID.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- ص۱۱۶). امروزه بسیاری از شهرهای کشور به دلیل افزایش جمعیت، مهاجرت های بی رویه و توسعه افقی شهر، عدم خدمات رسانی و ارائه‌ی 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 توسعه‌ی 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 سازنده‌ی محیط درون ریسک ناشی از زلزله (همان جا، صص ۲و۳).

– **احتمال وقوع زلزله:** نتیجه‌ی 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، انسان‌ها و اشیائی است که به نحوی با انسان ها در ارتباط هستند. ساختمان های مسکونی،

Archive of SID

www.SID.ir

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 جنبه ی 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 AHP[1] در سه سناریوی مختلف بوده و پس از وزن دهی، تلفیق داده ها صورت می گیرد. مدل استفاده شده در این روش از سلایق افراد تاثیر پذیر بوده و معیارهای آسیب پذیری به صورت کلی در نظر گرفته شده است. (همانجا، صص ۴۲-۴۸)

سیلاوی در پایان نامه ی کارشناسی ارشد خود با در نظر گرفتن جنبه های انسانی و فیزیکی با استفاده از مدل فازی[2] 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[3]، 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- ص۴۷-۵۵)

احدنژاد روشتی (احدنژاد روشتی، ۱۳۸۹- ص۸۰-۸۸) 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

Archive of SID

www.SID.ir

نموده است. وی معیارهای آسیب پذیری اجتماعی را در قالب چهار شاخص جمعیت، مسکن، اقتصادی- اجتماعی و فاصله فیزیکی تعریف و به وسیله‌ی 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 استفاده‌ی روشتی و زبر دست، با توجه به استفاده از تکنیک وزن دهی سلسله مراتبی، نتیجه‌ی کار از سلایق 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- ص۹۱) 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 همکاری‌های بین‌المللی ژاپن)[1] 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 هریک از آن ها محسوب می شود:

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

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

Archive of SID

www.SID.ir

روابط آسیب پذیری انسانی

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

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

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.

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

که در آن W_j ، ضریب اهمیت شاخص j ، W_i ضریب اهمیت زیر شاخص i و g_{ij} امتیاز گزینهٔ 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[1] 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 داده‌ای مفهومی و دید ریز بینانه سعی بر بهینه سازی آسیب پذیری اجتماعی داشته است.

کاتر (Cutter et al, 2003) بوسیله‌ی مدل های آماری، آسیب پذیری اجتماعی مناطقی از ایالات متحده‌ی 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 عملا از کیفیت مناسبی برخوردار نیست. همچنین مهمت (Servi Mehmet, 2004) در رساله‌ی ارشد خود به ارزیابی آسیب پذیری در برابر زلزله با استفاده از تحلیل های مکانی چند معیاری[2] در دو سناریو به تحلیل ریزبینانه آسیب پذیری در مقیاس ساختمانی و تحلیل آسیب پذیری در هنگام

[1] Tegucigalpa
[2] Multi Criteria Spatial Analysis

Archive of SID

www.SID.ir

وقوع زلزله پرداخته است. در این پایان نامه، معیارهای آسیب پذیری تحت نظرات افراد خبره وزن دهی شده که دخالت مستقیم سلایق 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 تئوری عدم قطعیت شهود در ارزیابی آسیب پذیری، از پیچیدگی زیادی برخوردار است. در پژوهش های قبلی از جمله سیلاوی، امیری و آقاطاهر، 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، ایستگاهای 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

Archive of SID

www.SID.ir

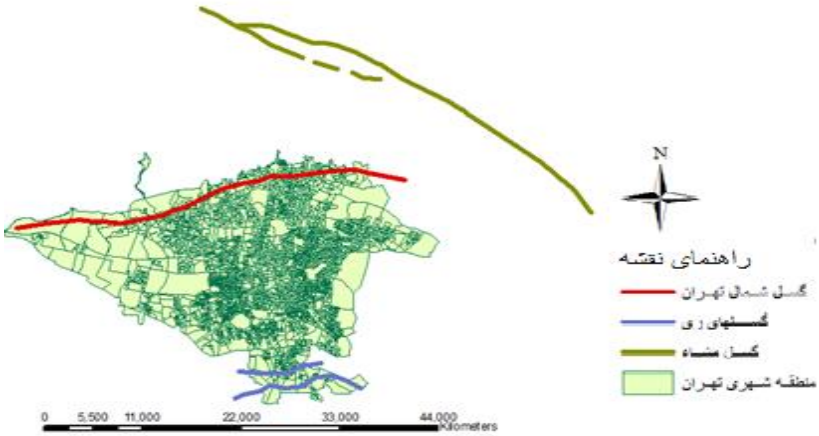
۲- مواد و روش تحقیق

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 دورهٔ بازگشت آن ها، بروز زلزله در این شهرها محتمل است. شهر تهران و محدوده‌ی آن نیز تا کنون هشت بار به وسیلهٔ 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 زلزلهٔ ویران گر تهران ۱۷۳ سال می گذرد و این در حالی است که دورهٔ 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 محدوده‌ی تهران به صورت شماتیک ارائه شده است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل۲- شهر تهران به همراه گسل های محدوده این شهر
(منبع: سیلاوی و مولف)

۲-۲- پارامترهای موثردرآسیب پذیری مناطق شهر تهران دربرابر زلزله

به دلیل اینکه محیط شهری، بستر مورد نظر تعیین ریسک می باشد و عناصر درون آن را انسان‌ها 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 انسان‌ها وابسته به آسیب پذیری فیزیکی نیز می باشد، تعیین آسیب پذیری فیزیکی قبل از انسانی صورت می گیرد (سیلاوی، ۱۳۸۵- ص ۲۳).

در واقع آسیب‌پذیری انسانی تابع آسیب‌پذیری 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 ساختمان‌ها، تراکم بیمارستان‌ها 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).

Archive of SID

www.SID.ir

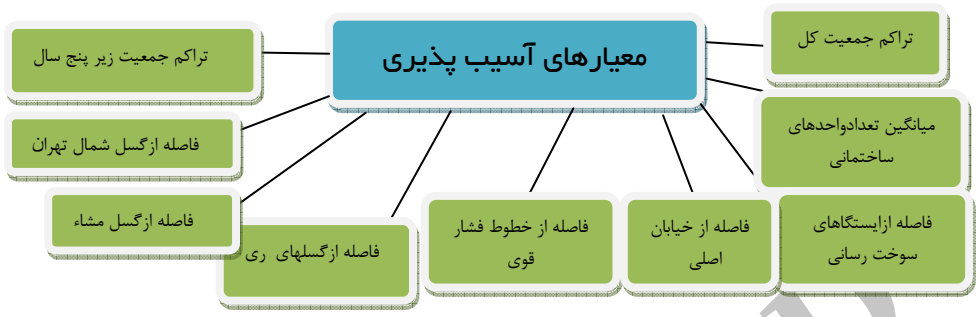
در پژوهش حاضر با اولویت قرار دادن شاخص آسیب پذیری انسانی در مقایسه با آسیب پذیری فیزیکی، که در مطالعات قبلی بیش تر به آن پرداخته شده است، برای یافتن اولویت بازسازی مناطق، پارامترهای مربوط به آسیب پذیری فیزیکی ساختمان ها، با فرض اولیه ایده آل بودن ساختمان ها در نظر گرفته نشده و در تابع آسیب پذیری انسانی 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، خصوصا 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 وگاز) و فاصله از نزدیک ترین خیابان اصلی برای هر زون[1] 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).

[1]Zone

Archive of SID

www.SID.ir



نمودار ۱- معیارهای آسیب پذیری مورد استفاده

۲-۳- تصمیم سازی فازی

تئوری فازی که برای اولین بار توسط زاده بیان شد، برای رفع ابهام پدیده های مبهم، تئوری مناسبی است. به عبارت دیگر، این تئوری به طور دقیق به پدیده های غیر واضح و نامشخص، یک درجه‌ی عضویت براساس تابع عضویت تعریف شده، که همواره عددی بین صفر و یک است (وانگ لی، ۱۳۷۸ فصل ۱و۲). در این پژوهش به دلیل ابهام در مفهوم متغیرهای زبانی[1] در تعریف معیارهایی مانند مفهوم دوری از گسل و یا تراکم زیاد واحدها، از این تئوری استفاده گردید. لازم به ذکر است در این مقاله نه تنها مفاهیم به صورت فازی تعریف گردید، بلکه تصمیم گیری نهایی برای به دست آوردن آسیب پذیری مناطق نیز بر مبنای سیستم استنتاج فازی انجام گردید.

سیستم های استنتاج فازی، سیستم های مبتنی بر دانش یا قواعد می‌باشند؛ قلب یک سیستم فازی یک پایگاه دانش است که از قواعد اگر ـ آنگاه فازی تشکیل شده است. لازم به ذکر است سیستم های استنتاج فازی عموماً از دو مدل Mamdani و یا Sugeno پیروی میکنند. استنتاج فازی[2]، خود شامل سه بخش مهم فازی سازی[3]، پایگاه قوانین فازی و استنتاج بر اساس آن هاست که در قسمت بعد بدان اشاره می گردد (همان جا ، فصل ۲و۳).

[1] Linguistic variables
[2]Fuzzy Inference
[3]Fuzzifying

Archive of SID

www.SID.ir

۲-۳-۱-فازی سازی[1] 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 Sugeno و Mamdani قابل انجام است. مدل Sugeno یا مدل Takagi-Sugeno-Kang در سال ۱۹۸۵توسط 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[2] 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 مقاله ی 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[3] 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.

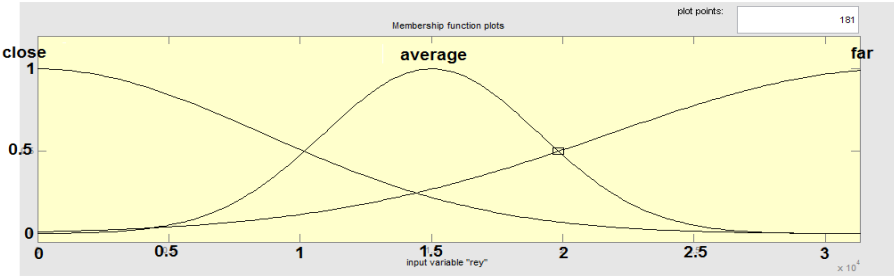
---

[1] Fuzzification
[2] Output Membership Functions
[3] Weighted Average

Archive of SID

www.SID.ir

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 خیابآن 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 خیابآن 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 خیابآن 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

Archive of SID

www.SID.ir

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:

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

که F_1, F_2 توابع عضویت ورودی های Input1 وInput2 می باشند. مقدار نهایی خروجی Z_i به صورت زیر به دست می آید:

$$Z_{final} = \sum_i^n w_i z_i / \sum_i^n w_i$$

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)

$$\begin{cases} Rule(1) \rightarrow 0.5 \ \wedge \ 0.7 \xrightarrow{MIN} 0.5\times 0.9 = 0.45 \\ Rule(2) \rightarrow 0.6 \ \wedge \ 0.7 \xrightarrow{MIN} 0.6\times 0.8 = 0.48 \\ \vdots \\ \vdots \\ Rule(n) \rightarrow x_1 \ \wedge \ x_2 \ \wedge \cdots \wedge \ x_n \xrightarrow{MIN} x_6 \times Weight = y \end{cases}$$
$$\Rightarrow Max(0.45, 0.48, \cdots, y) = 0.9 \rightarrow Value \ \ For \ \ Pixel\,1 = 0.9$$

شکل ۳- استنتاج فازی به روش Sugeno

منبع: (تشنه لب، سیستم های کنترل فازی)

Archive of SID

www.SID.ir

۳- مدلسازی خطر زلزله

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

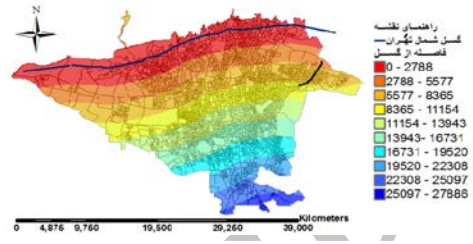
داده های جمعیتی مورد استفاده در این مقاله بر اساس داده های مرکز آمار ایران (سال ۱۳۸۵) به دست آمده است. تمام شاخص های انتخاب شده برای انجام یک تصمیم گیری چند معیاره‌ی مکانی، نظیر تعیین آسیب پذیری مناطق شهری می باید به صورت یک لایه نقشه مورد استفاده قرار گیرند. بدین منظور می باید از روش هایی استفاده کرد 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 بیشینه‌ی 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 $\mathbf{g(X)} = (\mathbf{X} - \mathbf{X_{min}})/(\mathbf{X_{max}} - \mathbf{X_{min}})$ 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 ۳۸۹*۲۵۰ 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. درشکل 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

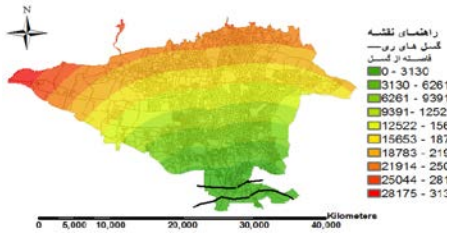
Archive of SID

www.SID.ir

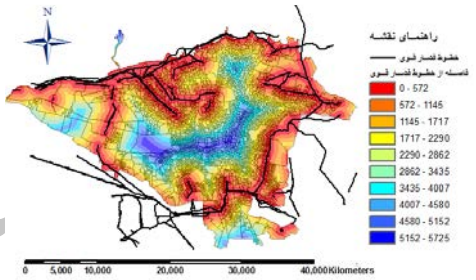
واحدهای ساختمانی، میانگین تراکم جمعیت کل و مقدار فاصله از نزدیک ترین ایستگاه سوخت رسانی در هر یک از زون ها را برای محدوده‌ی شهر تهران، مشاهده می کنید.



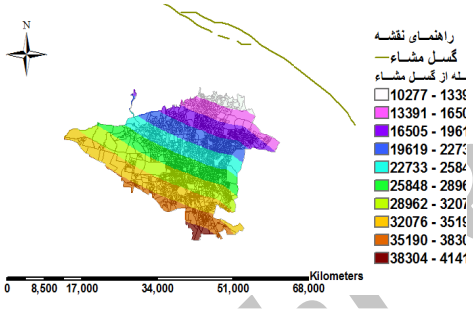
شکل ۴-تصویر طبقه بندی شده‌ی شهر تهران بر اساس مقدار فاصله از گسل شمال تهران بر حسب متر



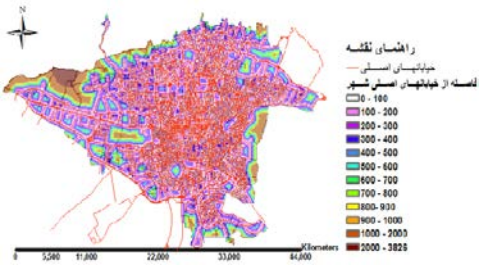
شکل ۵-تصویر طبقه بندی شده‌ی شهر تهران بر اساس مقدار فاصله از گسل های ری بر



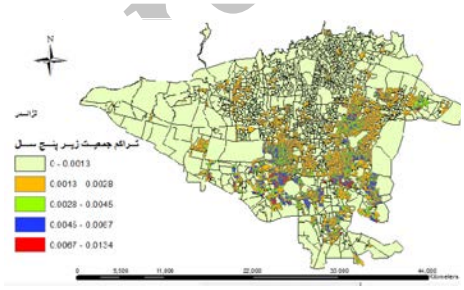
شکل ۶-تصویر طبقه بندی شده‌ی شهر تهران بر اساس مقدار فاصله ازخطوط انتقال قدرت بر



شکل۷-تصویر طبقه بندی شده‌ی شهر تهران بر اساس مقدار فاصله از گسل مشاء برحسب متر

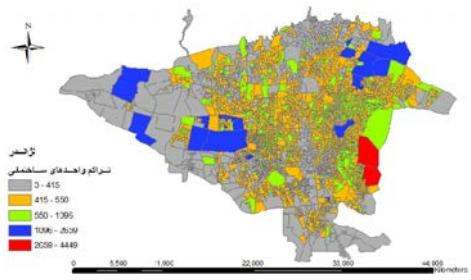


شکل ۸- تصویر طبقه بندی شده‌ی شهر تهران بر اساس مقدار فاصله از خیابان های اصلی شهر بر حسب متر

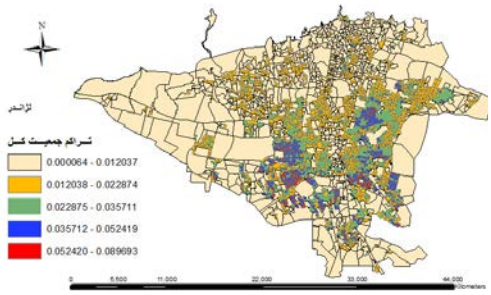


شکل ۹- تصویرطبقه بندی شده‌ی شهرتهران براساس میانگین تراکم جمعیت زیر پنج سال بر حسب نفر بر متر مربع

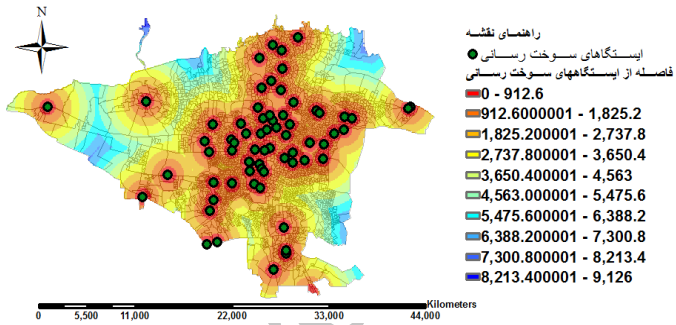
www.SID.ir



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



شکل۱۱- تصویر طبقه بندی شده‌ی شهرتهران بر اساس میانگین تراکم جمعیت تهران برحسب نفر بر متر مربع



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

۳-۲- تحلیل فازی بر روی نقشه های معیار

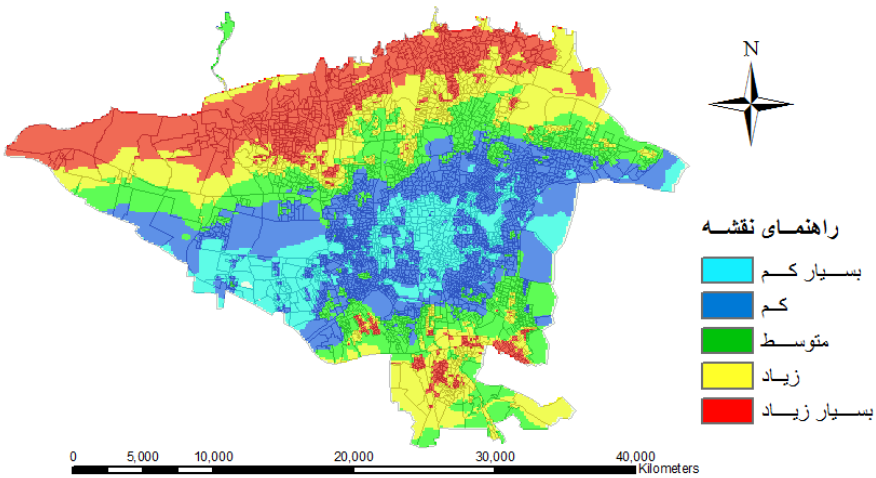
پس از تهیه‌ی نقشه های معیار و استاندارد سازی و همچنین رستری نمودن آن ها، نه پارامتر آسیب پذیری به کمک نرم افزارMatlab، فازی سازی شده و برای هر یک از پارامترهای فوق طبق توضیحات و مدل های انتخابی شرح داده شده در قسمت های بالا، توابع عضویت مخصوص به خود درنظرگرفته شد. پایگاه قوانین فازی نیز به روش Sugeno 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.

Archive of SID

www.SID.ir

۳-۳- نتایج

در شکل۱۳ نقشه‌ی آسیب پذیری شهر تهران پس از اجرای مدل استنتاج فازی Sugeno روی نقشه های معیار ورودی، با دقت ۱۲۵ متر مربع مشاهده می شود.



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

منبع(مولف)

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 رنگ های 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 نقشه ی 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 می باشند. 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.

Archive

www.SID.ir

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

دراین 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 سازهای 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.

Archive of SID

www.SID.ir

- تقویت و بازسازی ساختمان های مراکز امداد رسانی که دارای سازه‌های ضعیف هستند (از قبیل بیمارستان‌ها و مراکز درمانی - ایستگاه‌های آتش‌نشانی، 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، ناحیه‌ها و حوزه‌های جمعیتی با امکانات امدادرسانی (شامل مراکز انبار و توزیع کالاهای اضطراری، مراکز راهداری و فضاهای تخلیه‌سازی).
- تأسیس و توسعه شبکه راه اضطراری (شامل شبکه راه تخلیه‌سازی).
- بهبود سامانه ی مدیریت و کنترل برای تأسیسات خطرناک.

ب)بعد از زلزله

- گردآوری اطلاعات در مورد ابعاد آسیب‌دیدگی گزارش شده توسط ستاد منطقه‌ای حوادث غیر مترقبه (شامل توانایی هریک از ستادها و پشتیبانی‌های بیش تر مورد نیاز) جهت امداد رسانی مکانیزه
- بازنگری و طرح عملیات اضطراری بر اساس نتایج شبیه‌سازی و اطلاعات اولیه آسیب‌دیدگی.
- درخواست تهیه ی چادر و مسکن موقت
- بازنگری و طرح عملیات اضطراری بر اساس نتایج شبیه‌سازی و اطلاعات اولیه آسیب‌دیدگی.
- درخواست برای اجرای عملیات پشتیبانی اضطراری (امداد رسانی، کمک‌های اولیه، کنترل ترافیک، مواد و وسایل امدادرسانی اضطراری و اقدامات ایمنی)
- تصمیم‌گیری، صدور و اعلان فرمان تخلیه‌سازی فوری و معرفی حوزه‌های خسارت دیده، براساس اطلاعات گردآوری شده در مورد بلایا.
- صدور فرمان انجام فعالیت‌های 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 بخش‌های راهداری ستادهای شهری، منطقه‌ای و ناحیه‌ای.
- درخواست تهیه‌ی چادر و مسکن موقت

Archive of SID

www.SID.ir

منابع و مآخذ:

۱- آقاطاهر، 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، مجله‌ی 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 کارگیریمدل هایفازی شهودی، پایان نامه‌ی 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.

Archive of SID

www.SID.ir

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.

Archive of SID

www.SID.ir