جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره بیست و هفت، پاییز ۱۳۹۷

صص ۷۳- ۵۷

DOI: 10.22067/geo.v0i0.69540

ارزیابی تاب‌آوری محیط شهری در برابر مخاطرات طبیعی با تأکید بر زمین‌لرزه با استفاده از منطق فازی و GIS (مطالعه موردی: شهر ارومیه)

عبدالمجید احمدی[1]– استادیار گروه ژئومورفولوژی دانشگاه بزرگمهر قائنات، قائنات، ایران

سعید فتحی – دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور و GIS دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

ابراهیم اکبری – دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور و GIS دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۹/۲۸ تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۶/۱۹

چکیده

تاب‌آوری شـــهری مفهومی نســـبتاً جدید و پیچیده بوده که دارای ابعاد اقتصـــادی، اجتماعی و فرهنگی و کالبدی است و می‌تواند برای هر اجتماع و هر نوع بی‌نظمی اعم از طبیعی، انسان‌ساخت یا ترکیبی از آن دو مورداستفاده قرار گیرد. در پژوهش حاضر به بررسی میزان تاب‌آوری شهر ارومیه در برابر خطر زمین‌لرزه با بهره‌گیری از روش فازی و GIS پرداخته‌شـده اسـت و بدین منظور تعداد ۱۰ معیار شـامل تراکم جمعیت، تراکم سـاختمان‌ها، تعداد طبقات سـاختمان‌ها، کاربری زمین، دسـترسـی به فضاهای باز، دسترسی به مراکز درمانی، دسـترسـی به مراکز امدادرسانی، فاصله از معابر، فاصله از خطوط فشارقوی برق و فاصله از گسل به‌عنوان معیارهای موردمطالعه تعیین‌شـــده‌اند. نتایج تحقیق نشـــان از این موضـــوع دارد که ۳۸ درصـــد از مساحت شهر دارای تاب‌آوری متوسط تا پائین بوده و در منطقه خطر قرار دارند و همچنین منطقه ۱ شهری با ۷۰ درصـد مسـاحت دارای بیشـترین تاب‌آوری و منطقه ٤ با ۳۵ درصـد مسـاحت دارای کم‌ترین میزان تاب‌آوری در برابر زمین‌لرزه است.

کلیدواژه‌ها: تاب‌آوری شهری، زمین‌لرزه، GIS، منطق فازی، ارومیه.

۱- مقدمه

کلان‌شـــهرهای امروزی، در نقاط مختلف دنیا به دلایل متعدد همواره در معرض آسـیب ناشـی از مخاطرات طبیعی قرار دارند. این مخاطرات که آسـیب‌های جانی و مالی فراوانی را با خود به همراه دارند، نیازمند پیشـگیری‌ها و اقدامات فوری می‌باشـند (سـاسـان پور و مصـطفی وند، ۱۳۸۹). زمین‌لرزه یکی از فجایع طبیعی عمده است که موجب خسارات

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۳۵۷۹۲۰۷۹۱ Email: majid.ahmadi@buqaen.ac.ir

مختلف فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی در سرتاسر جهان در هرسال می‌شود (Delavar et al., 2017). در خلال قرن گذشته، بیش از هزار مورد زمین‌لرزه ویرانگر در چندین کشور در سرتاسر جهان رخ‌داده و میلیون‌ها نفر انسان را کشته و خسارات مادی عظیمی بر جای گذاشته است و مهم اینکه، مرگ‌آفرینی زمین‌لرزه در مناطق شهری بسیار بالا بوده است (Paknejhad et al., 2013). میزان زیادی از خسارات این رویداد مرتبط با زمان و مکان زمین‌لرزه است اما در بعضی موارد، عامل اصلی مرگ‌ومیر می‌تواند ناشی از عوامل زیر باشد: (Zangy Abadi., 2005)

- نبود آگاهی از نقاط آسیب‌پذیر شهری
- سازه‌های ناکارآمد و غیر مقاوم
- ضعف مدیریت بحران و کمک‌رسانی پس از زمین‌لرزه و فقدان سازمان‌دهی اولیه در این موارد.

با توجه به اینکه شهرها به علت جمعیت بالا، تراکم ساختمان‌ها و امکانات زیرساختی آسیب‌پذیری بیشتری در برابر فجایع دارند، اهمیت ارزیابی آسیب‌پذیری کالبدی لرزه‌ای در مناطق شهری دارای نمود بیشتری است (Montoya., 2005). با گسترش کالبد و اقتصاد جوامع شهری، به‌تدریج نیاز به کاهش مخاطرات، نه‌تنها به عاملی اطمینان‌بخش در کنترل ریسک مخاطرات بدل شده است، بلکه دیگر اقدامات مهم و مدیریتی در جهت تهیه برنامه و پیگیری طرح‌های بازدارنده از بروز آسیب‌پذیری بیشتر اهمیتی روزافزون یافته است (صیامی و همکاران، ۱۳۹۳). یک چهارچوب کاری ساده برای ارزیابی ریسک زمین‌لرزه، محاسبه خطر لرزه‌ای برای مکان‌های موردنظر و ارتباط دادن آن با آسیب‌پذیری ابنیه، زیرساخت‌ها، جوامع در معرض خطر و امکانات است (Banica et al., 2017). در این میان، ارزیابی کالبدی و ساختاری محیط شهری ازنظر تاب‌آوری در برابر مخاطرات و علی‌الخصوص خطر زمین‌لرزه اهمیت بسیار زیادی دارد و امروزه در مطالعات مختلف علمی به مفهومی اساسی درزمینه آسیب‌پذیری شهری در برابر مخاطرات تبدیل گشته است. مفهوم تاب‌آوری شهری اخیراً در پاسخ به نیاز به تفکر درباره نحوه رویارویی با تغییرات زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی متولدشده است و مطمئناً پیچیدگی چهارچوب تاب‌آوری شهری به علت همپوشانی بخش‌های مختلف مؤثر در تحلیل سیستم شهری، عناصر آن و پویایی آن‌هاست (Olazbal., 2012). مفهوم تاب‌آوری از زمان مطالعه هالینگ[1] در سال ۱۹۷۳ به‌طور فزاینده‌ای مورد شناسایی و اقبال قرارگرفته و امروزه به‌دفعات در زمینه‌های مختلف ازجمله مخاطرات و فجایع مورداستفاده قرار می‌گیرد (Mayunga., 2007). طبق تعریف هالینگ، تاب‌آوری معیاری است از توانایی سیستم برای جذب تغییرات، درحالی‌که هنوز مقاومت قبلی را دارا می‌باشد. تاب‌آوری یک واژه نسبتاً جدید در واژه‌شناسی فجایع است و بنابراین تعریف جامعی از آن‌که مقبولیت همگانی داشته باشد وجود ندارد (Bastamnia et al., 2016). تاب‌آوری به‌عنوان یک مفهوم می‌تواند برای هر اجتماع و هر نوع بی‌نظمی اعم از طبیعی، انسان‌ساخت یا ترکیبی از آن دو مورداستفاده قرار گیرد (Abhas., 2013). سازمان‌ها

1 Holling

و نهادهای بین‌المللی مختلف تعاریف متعددی را برای اصطلاح تاب‌آوری ارائه نموده‌اند. دفتر استراتژی‌های بین‌المللی سازمان ملل متحد برای کاهش فجایع، تعریفی بدین شرح ارائه داده است: تاب‌آوری توانایی یک سیستم یا جامعهٔ در معرض خطر برای مقاومت، تحمل، انطباق و بازیابی از اثرات یک مخاطره به‌طور آنی و مؤثر از طریق حفظ و بازسازی ساختارهای اساسی است (UNISDR., 2011). آژانس توسعهٔ بین‌المللی ایالات‌متحده نیز تاب‌آوری را به معنای توانایی مردم، خانوارها، جوامع، کشورها و دستگاه‌ها برای تسکین، تعدیل و بازیابی پس از عوارض حاصله به‌منظور تقلیل آسیب‌پذیری و تسهیل توسعه همگانی تعریف می‌کند (Bujones et al., 2013). یک شهر تاب آور شبکه‌ای پایدار از سیستم‌های فیزیکی و جوامع انسانی است. سیستم‌های فیزیکی، اجزای ساختاری و زیست‌محیطی شهر هستند که شامل راه‌ها، ابنیه، زیرساخت‌ها و تأسیسات مخابراتی و انرژی و نیز آبراهه‌ها، خاک، توپوگرافی، زمین‌شناسی و سایر عوامل طبیعی است. درمجموع، سیستم فیزیکی به‌عنوان بدنه شهر و استخوان‌ها و عضلات آن مطرح است. در خلال یک فاجعه، سیستم‌های فیزیکی باید قادر به بقا و عملکرد تحت شرایط حاد باشند. جوامع انسانی، اجزای اجتماعی و سازمانی شهر تشکیلات رسمی و غیررسمی و مؤسسات کوچک و بزرگ فعال در شهر را دربرمی گیرد. درمجموع، جوامع شهری در نقش مغز شهر بوده که فعالیت‌های آن را با توجه به نیازها انجام می‌دهد و از تجارب آن نیز می‌آموزد (Godschalk., 2003). یک شهر تاب آور شهری است که قادر به مواجهه با اثرات فجایع در حال و آینده باشد و بتواند شدت و گسترهٔ آن‌ها را محدود نماید (Shah & Ranghieri., 2012). در گزارش ارائه‌شده انجمن جهانی تاب‌آوری و انطباق شهری یک شهر تاب آور شهری تعریف‌شده است که آمادگی لازم برای کشش و بازیابی از هر نوع شوک را داشته باشد به‌نحوی‌که عملکردها، ساختارها و هویت آن حفظ شود و نیز قابلیت انطباق و توسعه در مواجهه با تغییر مداوم را دارا باشد (ICLEI., 2015). در جامعه علمی اجماعی وجود دارد مبنی بر اینکه تاب‌آوری، مفهومی چندجانبه و دارای ابعاد اجتماعی، اقتصادی، نهادی و کالبدی است (رضایی و همکاران، ۱۳۹۳) (جدول ۱). بنابراین از جنبه‌های مختلفی می‌توان آن را بررسی کرد. در پژوهش حاضر نیز از بعد کالبدی به مسئله موردنظر پرداخته‌شده است.

جدول ۱- ابعاد تاب‌آوری شهری (رفیعیان و همکاران، ۱۳۸۹)

ابعاد	تعریف	شاخص‌ها
اجتماعی	از تفاوت ظرفیت اجتماعی، در واکنش مثبت نشان دادن، انطباق با تغییرات و حفظ رفتار سازگارانه و بازیابی یافتن از سوانح به دست می‌آید.	آگاهی، دانش، مهارت، نگرش، سرمایه اجتماعی، شبکه‌های اجتماعی، ارزش‌های جامعه، درک محلی از خطر، خدمات مشاوره‌ای، سلامتی و رفاه، کیفیت زندگی، سن، دسترسی، زبان، نیازهای ویژه، دل‌بستگی به مکان، تمایل به حفظ معیارهای فرهنگی.
اقتصادی	واکنش و سازگاری افراد و جوامع به‌طوری‌که آن‌ها را قادر به کاهش خسارت‌های بالقوه ناشی از سوانح سازد.	میزان خسارت‌ها، ظرفیت یا توانایی جبران خسارت‌ها و توانایی برگشت به شرایط شغلی و درآمدی مناسب، دسترسی به خدمات مالی، پس‌انداز، بیمه، احیای دوباره فعالیت‌های اقتصادی بعد از سانحه.

ادامه جدول ۱

ابعاد	تعریف	شاخص‌ها
نهادی	حاوی ویژگی‌های مرتبط با تقلیل خطر، برنامه‌ریزی و تجزیه سوانح قبلی است و به‌وسیله ظرفیت جوامع برای کاهش خطر، اشتغال افراد محلی در تقلیل خطر تحت تأثیر قرار می‌گیرد.	بستر، زیرساخت، روابط و عملکرد نهادها، ویژگی‌های فیزیکی نهادها نظیر تعداد نهادهای محلی، دسترسی به اطلاعات، نیروهای آموزش‌دیده و داوطلب، قوانین و مقررات، نحوه مدیریت یا واکنش به سوانح مثل ساختار سازمانی، ظرفیت، رهبری.
کالبدی	ارزیابی واکنش جامعه و ظرفیت بازیابی بعد از سانحه مانند پناهگاه‌ها، واحدهای مسکونی و زیرساختی مثل خطوط لوله، جاده‌ها و وابستگی آن‌ها به زیرساخت‌های دیگر.	خطوط لوله، شبکه حمل‌ونقل، کاربری زمین، ظرفیت پناهگاه، نوع مسکن، کیفیت و قدمت بنا، مالکیت، ارتفاع ساختمان‌ها، فضاهای باز و سبز، تراکم محیط ساخته‌شده، دسترسی، ویژگی‌های جغرافیایی.

مطالعات مختلفی در ارتباط با بررسی ابعاد تاب‌آوری شهری صورت گرفته است. از مطالعات خارجی انجام‌گرفته می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: (Soofi., 2016) در پایان‌نامه خود با عنوان دستیابی به تاب‌آوری شهری از طریق طراحی شهری و مبانی برنامه‌ریزی، منطقه شرق لندن را موردبررسی قرار داده است. وی عناصر مورفولوژیکی منطقه موردمطالعه شامل معابر، فضاهای باز، شکل ساختمان‌ها و الگوهای تراکم را مدنظر قرار داده و بدین نتیجه دست‌یافته است که نیاز به تغییر در فرایند برنامه‌ریزی و طراحی شهری از طریق توسعه ظرفیت‌های نوآورانه و سازگار وجود دارد و طرح‌های بلندمدت باید به‌صورت انعطاف‌پذیری لحاظ گردند. (Rashed & Weeks., 2002) در پژوهش خود به ارزیابی آسیب‌پذیری ایالت لوس‌آنجلس در برابر خطر زمین‌لرزه با استفاده از تحلیل مکانی چندمعیاره پرداخته‌اند و با طراحی چهارچوبی مفهومی بر اساس عدم قطعیت، روشی مبتنی بر GIS که از ترکیب تکنیک‌های تحلیل چندمعیاره مکانی و منطق فازی تشکیل‌شده است را ارائه نموده‌اند که می‌تواند بر درک مخاطره و شناخت آن اثرگذار باشد. (Villagra et al., 2014) در پژوهشی به بررسی رابطه فضاهای باز شهری با میزان ظرفیت سازگاری پس از وقوع زمین‌لرزه در دو شهر از کشور شیلی با رویکردی مبتنی بر GIS اقدام نموده و شاخص‌های مکانی مختلفی را مورد مقایسه قرار داده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که شبکه منظم و متراکم شهری می‌تواند بر ظرفیت شهر و درنتیجه تاب‌آوری آن اثر زیادی داشته باشد. (Banica et al., 2017) در مقاله‌ای با عنوان تحلیل چندمعیاری آسیب‌پذیری شهری در مقابل زمین‌لرزه به بررسی شهر لاسی در رومانی پرداخته‌اند. آن‌ها شاخص‌های کالبدی و اجتماعی را برای مطالعه انتخاب کرده و با روش PCA و AHP به وزن دهی لایه‌های مختلف پرداخته‌اند و شاخص آسیب‌پذیری را برای مناطق مختلف به دست آورده‌اند.

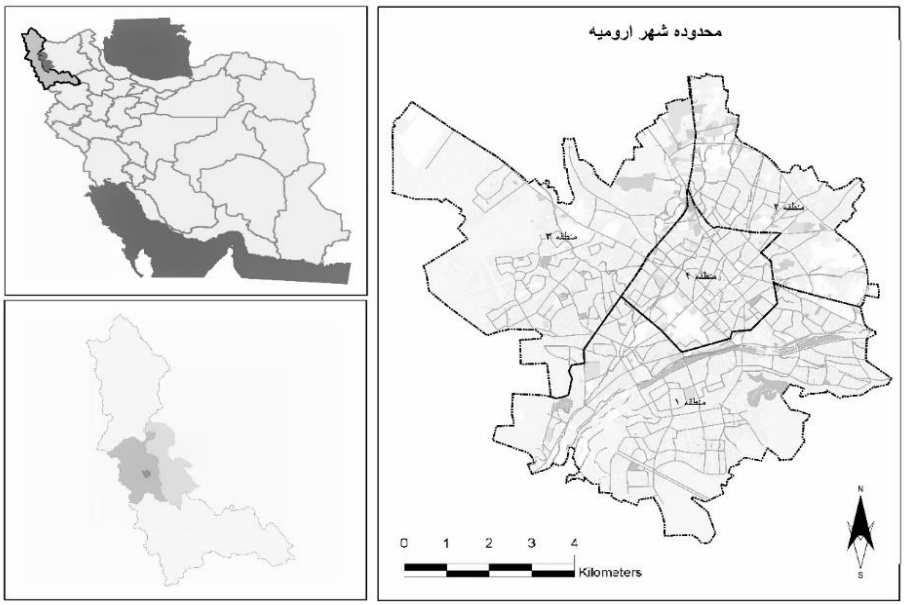
از مطالعات داخلی انجام‌شده نیز می‌توان موارد مختلفی را نام برد: رضایی (۱۳۸۹) در رساله دکترای خود تعداد ٤ محله از کلان‌شهر تهران را ازلحاظ ابعاد اجتماعی، اقتصادی، نهادی و کالبدی موردبررسی قرار داده است و بدین

نتیجه رسیده که تاب‌آوری کل خانوارهای شهر تهران ۵۳/۳۸ درصد می‌باشد و در وضعیت مناسبی قرار ندارد و مناطق ۸ و ۱۷ از وضعیت بدتری نسبت به مناطق ۱ و ۲ برخوردار هستند. پاک‌نژاد و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهش خود به تعیین مناطق آسیب‌پذیر در برابر زلزله با استفاده از GIS در شهر چالوس پرداخته و نتیجه گرفته‌اند که عناصر منطقه‌ای، قدمت ابنیه، نوع مصالح، کیفیت زیرساخت‌ها، تعداد طبقات، فاصله از گسل و میزان آسیب‌پذیری رابطه معناداری وجود دارد. دلاور و همکاران (۲۰۱۷) در مقاله خود با عنوان یک مدل تصمیم‌گیری فازی مبتنی بر GIS برای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای در مناطق با داده‌های ناکافی، از روشی ترکیبی با بهره‌گیری از AHP، منطق فازی و تکنیک تاپسیس در محیط برداری بهره گرفته‌اند و با آزمایش روش خود در یکی از مناطق شهر تبریز در مجاورت گسل نتیجه گرفته‌اند که می‌تواند روشی مؤثر و کارآمد برای ارزیابی آسیب‌پذیری کالبدی در برابر زمین‌لرزه باشد. منصورنعیمی و همکاران (۱۳۹٤) در پژوهشی به ریز پهنه‌بندی خطر زلزله با مدل تحلیل سلسله‌مراتبی فازی در منطقه یک کلان‌شهر اهواز پرداخته و تعداد ۱۹ معیار را بدین منظور بکار گرفته‌اند و با تعریف توابع عضویت فازی برای معیارهای مذکور، نتیجه گرفته‌اند که درمجموع ۳۷ درصد منطقه با خطرپذیری بسیار زیاد و زیاد و ۱۸ درصد با خطرپذیری متوسط مواجه می‌باشد و اکثر پهنه‌های در معرض خطر در شمال، شرق و مرکز منطقه قرار دارند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه موردمطالعه

شهر ارومیه واقع در شهرستان ارومیه در مختصات جغرافیایی بین ٤٤ درجه و ۵۸ دقیقه و ۳۵ ثانیه تا ٤۵ درجه و ۷ دقیقه و ۱۱ ثانیه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۲۹ دقیقه و ۱٦ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۳٦ دقیقه و ٤ ثانیه عرض شمالی واقع‌شده است. مساحت این شهر در حدود ۸۵ کیلومترمربع و ارتفاع متوسط آن ۱۳۸۱ متر می‌باشد. جمعیت این شهر مطابق سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۰ برابر با ٦٦۷٤۹۹ نفر بوده که از این نظر دهمین شهر پرجمعیت ایران می‌باشد. مهاجرپذیری بالا و نبود مطالعات پیشین در رابطه با ظرفیت‌های تاب‌آوری در این شهر از ضرورت‌های بررسی این موضوع می‌باشد. محدوده مطالعاتی پژوهش در شکل ۱ نشان داده‌شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه موردمطالعه

۲-۲- روش کار

تحقیق حاضر کاربردی و از نوع توصیفی – تحلیلی می‌باشد که از روش‌های اسنادی و کتابخانه‌ای در آن استفاده‌شده است. از منطق فازی برای تجزیه‌وتحلیل معیارها و شاخص‌های موجود بهره گرفته‌شده است. تئوری منطق فازی متمرکز بر ارائه و مدیریت اطلاعات مبهم می‌باشد. یک مجموعه فازی اساساً مجموعه‌ای است که دارای اعضایی با درجات عضویت بین ۰ و ۱ است (صدری کیا و همکاران، ۲۰۱۷). در ارتباط با به‌کارگیری منطق فازی باید اشاره کرد که در تحلیل تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره، تئوری فازی معمول‌ترین روش برای بحث و بررسی عدم قطعیت‌ها شناخته‌شده است (ساسان پور و مصطفی وند، ۱۳۸۹). در این روش از مجموعه‌ای از توابع که برای اختصاص درجات عضویت به هر یک از معیارها بکار می‌روند، استفاده می‌شود. توابع فازی بکار رفته در این تحقیق عبارت‌اند از: تابع Small، تابع Large و تابع Linear که بر اساس نوع و ماهیت پارامترهای موردنظر مورداستفاده قرارگرفته‌اند. در نهایت از عملگر فازی گاما جهت تلفیق معیارهای وزن‌دار استفاده شده است. این عملگر حالت کلی عملگر ضربی و جمعی فازی است و در مواقعی که حالت افزایشی یا کاهشی در داده‌ها مدنظر باشد، مورداستفاده قرار می‌گیرد. شکل ۲ فرایند انجام پژوهش را نشان می‌دهد.

شکل ۲- فرایند انجام پژوهش

۳- نتایج و بحث

۳-۱- معیارهای موردبررسی

جهت بررسی تاب‌آوری محدوده موردمطالعه، معیارهای زیر برای فرایند موردنظر انتخاب‌شده‌اند:

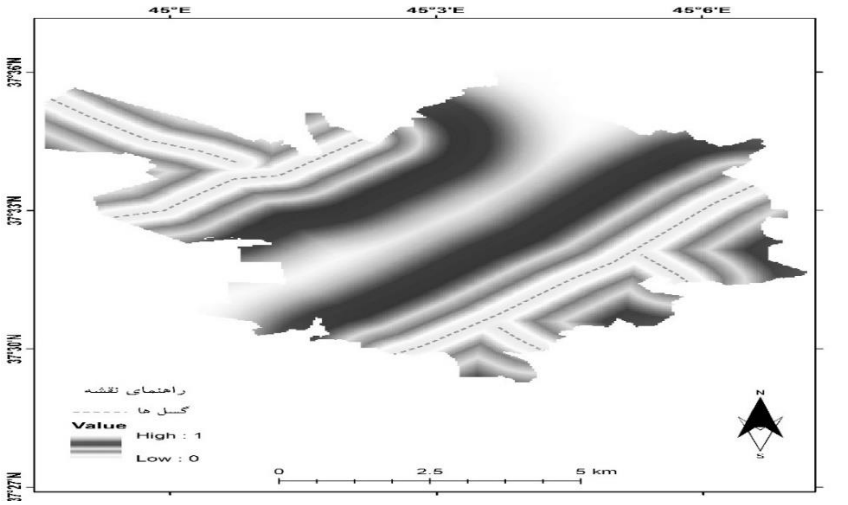
کاربری اراضی: میزان تاب‌آوری کاربری‌های مختلف شهری در برابر خطر زمین‌لرزه متفاوت است و نوع کاربری زمین نقش تعیین‌کننده‌ای در مقاومت آن در شرایط بحرانی ایفا می‌کند. بر همین اساس، با استفاده از نقشه کاربری اراضی شهری نسبت به وزن دهی به انواع کاربری‌ها بر اساس اهمیت آن‌ها اقدام شده است و بدین منظور سه گروه تاب‌آوری پائین، تاب‌آوری متوسط و تاب‌آوری بالا در نظر گرفته‌شده است (جدول ۲). کاربری‌های موجود پس از نرمال‌سازی به لایه‌های رستری تبدیل‌شده و مورد تجزیه‌وتحلیل قرارگرفته‌اند (شکل ۳).

جدول ۲- تاب‌آوری کاربری‌های شهری

گروه	درجه	کاربری‌ها
تاب‌آوری بالا	۱	اداری-انتظامی، اراضی باغی و زراعی، اراضی بایر، پارک‌ها و فضای سبز، گردشگری، دامداری، فرهنگی، مذهبی، ورزشی.
تاب‌آوری متوسط	۲	آموزشی، آموزش عالی، بهداشتی-درمانی، حمل‌ونقل و انبار، نظامی.
تاب‌آوری پائین	۳	تأسیسات و تجهیزات، تجاری، کارگاهی-صنعتی، مسکونی.

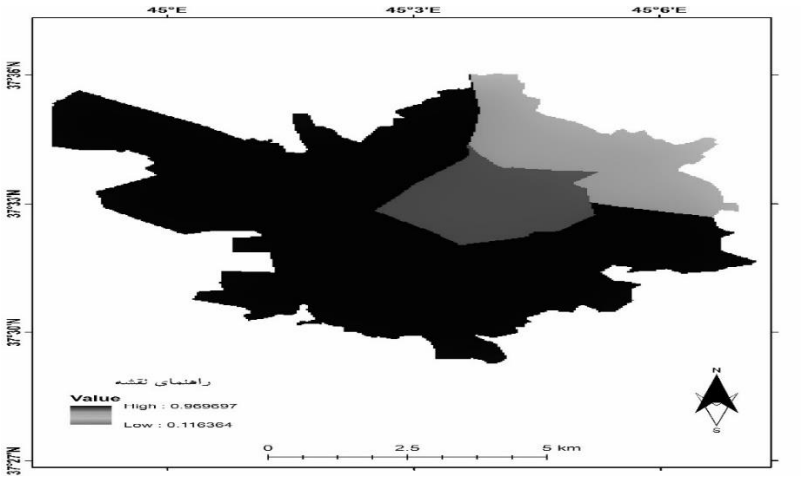
شکل ۳- نقشه نرمال‌سازی شده کاربری اراضی

خطوط گسل: گسل‌ها یکی از نمودهای عینی عوامل تکتونیکی هستند که وجود یا عدم وجود آن‌ها را می‌توان در رابطه با خطر لرزه‌ای مناطق مختلف موردبررسی قرارداد. فاصله از عامل گسل نقش اساسی در میزان تاب‌آوری در برابر خطر زمین‌لرزه دارد، به‌نحوی‌که نزدیکی به آن موجب ریسک لرزه‌ای و آسیب بالا و فاصله گرفتن از آن موجب تقلیل مخاطره و درنتیجه تاب‌آوری بالاتر خواهد شد. بر همین اساس، شبکه گسلی محدوده موردمطالعه با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و با بهره‌گیری از عملیات رقومی‌سازی استخراج‌شده و با توجه به خطی بودن پدیده گسل، از میان توابع فازی، تابع Linear برای آن تعریف‌شده است و مفهوم این تابع این است که نواحی منطبق بر خطوط گسل دارای بیشترین درجه عضویت بوده و بنابراین کم‌ترین میزان تاب‌آوری را دارند (شکل ٤).



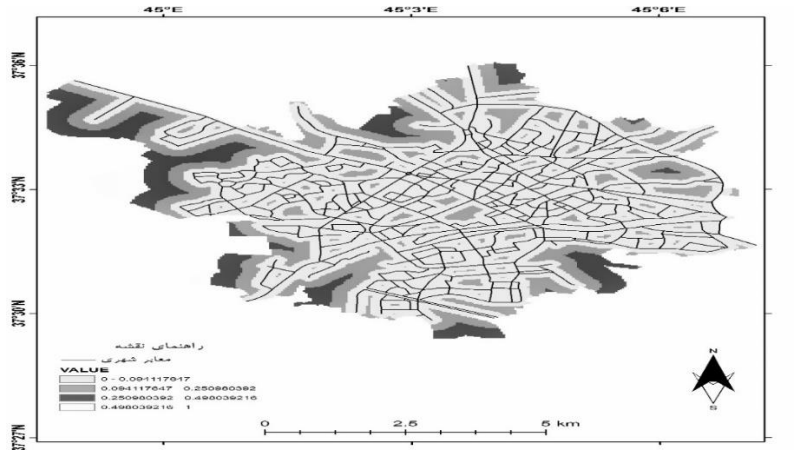
شکل ٤- نقشه نرمال‌سازی شده شبکه گسلی

تراکم جمعیت: مشـــخص‌کننده بار جمعیتی در موقع زلزله می‌باشـــد و درنتیجه با افزایش آن، ســـرعت پناه‌گیری، خدمات‌رســـانی و امدادرســـانی پایین می‌آید و بالعکس (صـیامی و همکاران، ١٣٩٤). مناطق شـهری به سـه کلاس ازنظر تراکم جمعیت تقســـیم شـــد: کمتر از ٩٠ نفر در هکتار، بین ٩٠ تا ١٨٠ نفر در هکتار و بیش از ١٨٠ نفر در هکتار. لایه رسـتری معیار موردنظر تهیه‌شـده و تابع Small برای آن تعریف‌شـده اسـت. از تابع مذکور زمانی اسـتفاده می‌شـود که رابطه معکوس بین فاصـله و ارزش پیکسـل‌ها وجود داشـته باشـد و به‌عبارتی‌دیگر هرقدر پیکسـل‌ها از مقدار کم‌تری برخوردار باشـند، درجه عضـویت بیشـتری دریافت خواهند نمود و بر همین اسـاس باید گفت که مناطق دارای تراکم جمعیت پایین‌تر دارای تاب‌آوری بالاتری بوده و مناطق متراکم‌تر تاب‌آوری کم‌تری دارند (شکل ٥).



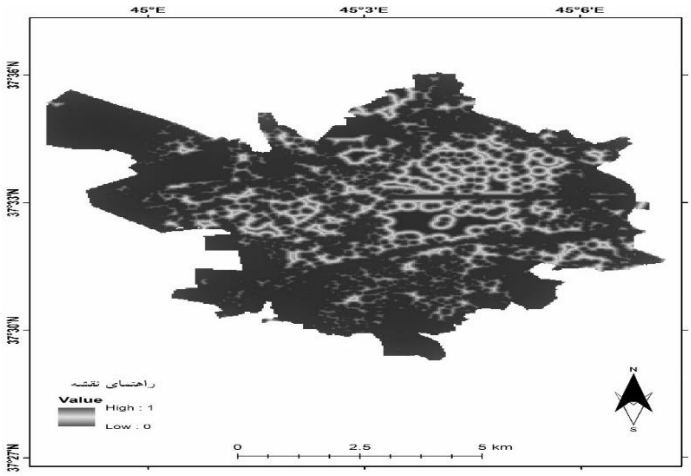
شکل ٥- نقشه نرمال‌سازی شده تراکم جمعیت

دسـترسـی به معابر: لایه رسـتری معابر و شـریان‌های ارتباطی شهر بر اساس تابع فاصله اقلیدسی ایجادشده و تابع فازی Linear برای آن تعریف‌شده است (شکل ٦).



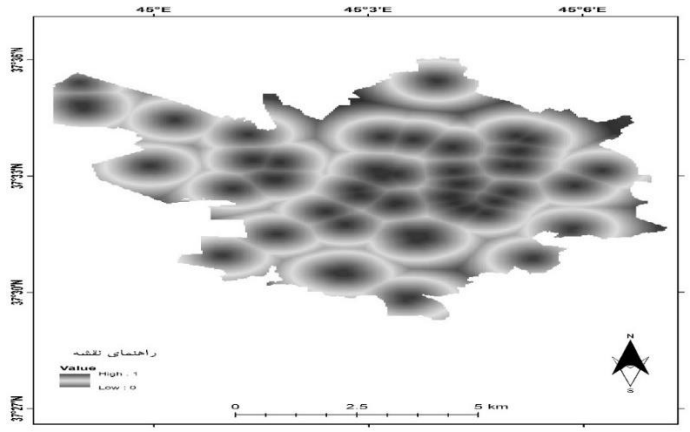
شکل ٦- نقشه نرمال‌سازی شده دسترسی به معابر ارتباطی

دسترسی به فضای باز: منظور از فضاهای باز کلیهٔ اراضی بایر و ساخته نشده و نیز فاقد کاربری خاص است. بر این اساس، فضاهای مذکور از نقشه کاربری اراضی شهری استخراج‌شده‌اند. وجود این فضاهای باز می‌تواند خسارات زلزله را کاهش داده و امکان اسکان موقت پس از وقوع فاجعه را فراهم سازد. لایه رستری معیار مذکور بر اساس تابع فاصله اقلیدسی و تابع فازی Linear تهیه‌شده است (شکل ۷).



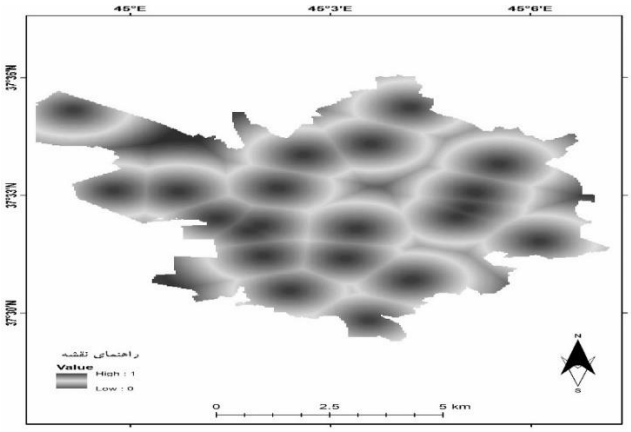
شکل ۷- نقشه نرمال‌سازی شده دسترسی به فضاهای باز شهری

دسترسی به مراکز درمانی: منظور از مراکز درمانی، کلیه بیمارستان‌ها، درمانگاه‌ها، مراکز اورژانس و ایستگاه‌های سلامت واقع در محدوده شهری است که نقشی کلیدی در کنترل عوارض پس از وقوع خطر دارند و خدمات نجات و بستری مصدومان ناشی از زلزله را بر عهده‌دارند. دسترسی مناسب و سریع به مراکز درمانی موجب افزایش تاب‌آوری در برابر خطر خواهد شد. لایه رقومی این مراکز به‌صورت نقطه‌ای وارد فرایند پردازش شده است و لایه رستری آن نیز به‌وسیله تابع فاصله اقلیدسی تهیه‌شده و تابع فازی Linear برای آن اعمال‌شده است (شکل ۸).



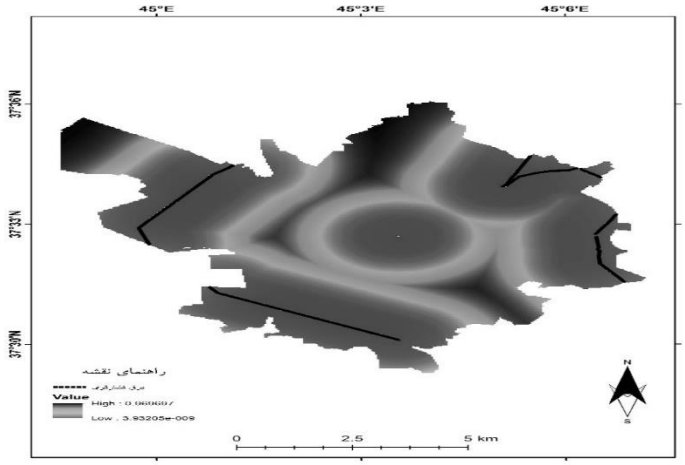
شکل ۸- نقشه نرمال‌سازی شده دسترسی به مراکز درمانی

دسترسی به مراکز امدادرسانی: دسترسی آسان و سریع به این مراکز موجب سرعت بخشیدن به عملیات امدادرسانی می‌شود. هرچه قدر فاصله تا این مراکز بیشتر باشد، زمان بیشتری بین مبدأ و مراکز درمانی طی می‌گردد و درمان به مخاطره می‌افتد (حبیبی، ۱۳۸۷). ایستگاه‌های آتش‌نشانی، مراکز هلال‌احمر و مراکز مدیریت بحران واقع در محدوده شهر به‌عنوان مراکز امدادرسان مدنظر قرارگرفته شده‌اند. لایه رستری این معیار به‌وسیله تابع فاصله اقلیدسی تولید و تابع فازی Linear برای آن در نظر گرفته‌شده است (شکل ۹).



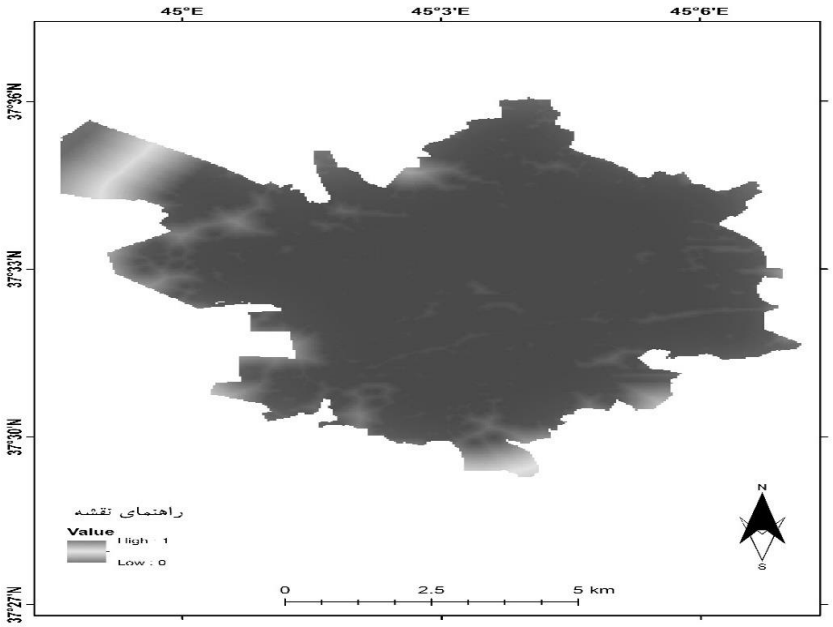
شکل ۹- نقشه نرمال‌سازی شده دسترسی به مراکز امدادی

نزدیکی به خطوط فشار قوی برق: خطوط جریان پرفشار برق یکی از معیارهای مهم در تعیین تعداد افراد در معرض خطر است و مسافت نزدیک‌تر به این خطوط به معنای خطر بیشتر و تاب‌آوری کمتر می‌باشد. معیار مذکور به‌وسیله فاصله اقلیدسی رسترسازی شده و با تعریف تابع Large برای مقادیر درجه عضویت برای پیکسل‌ها مشخص شده است (شکل ۱۰).



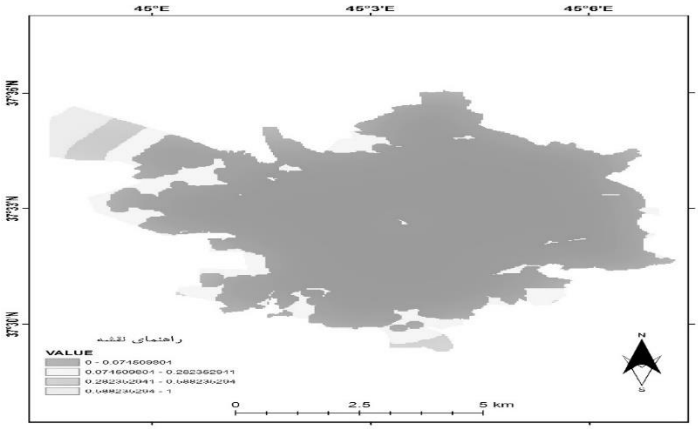
شکل ۱۰- نقشه فاصله از خطوط برق فشار قوی

تعداد طبقات ســـاختمانی: دارای رابطه عکس با تاب‌آوری اســـت و هر چه تعداد طبقات ســـاختمان‌ها علیرغم کیفیت آن‌ها بیشـتر باشـد، تاب‌آوری کاهش می‌یابد. تعداد طبقات اگر با اصـول ایمنی نباشد، قطعاً آسیب را بالا خواهد برد. حتی اگر افزایش ارتفاع با رعایت ضـوابط و محاسـبات مناسـب انجام شـود، به‌هنگام تخلیه، جسـتجو و نجات با سـختی همراه اسـت. لذا افزایش تعداد طبقات یک عامل منفی محسـوب می‌شـود و آسیب‌پذیری را بالا برده (وارثی و مهام، ۱۳۹۱) و تاب‌آوری در مقابل زلزله را کاهش خواهد داد. رسـترسـازی این معیار نیز به‌وسـیله تابع فاصله اقلیدسی صورت گرفته و تابع فازی Small برای آن تعریف‌شده است (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- نقشه نرمال‌سازی شده تعداد طبقات ساختمان‌ها

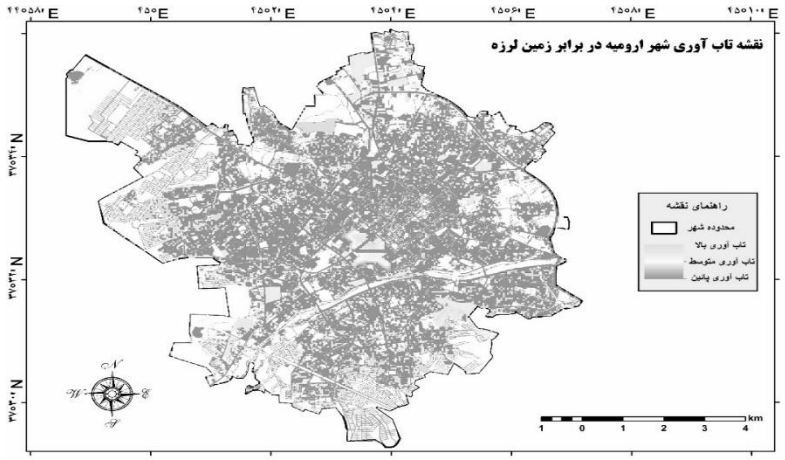
تراکم ســاختمانی: شـاخص مهمی اسـت که با بیشـتر شـدن آن احتمال تخریب و آسیب‌پذیری بیشتر می‌شود. از میان رفتن فضـــای ســـبز و باغ‌ها و تبدیل آن‌ها به مجموعه‌های پرتراکم علاوه بر اینکه ســـبب افت کیفیت زیســـتی و نابودی منابع زیســـت‌محیطی می‌گردد، توزیع نامناســب فضــاهای باز را نیز باعث می‌گردد و موجب می‌شــود که برای اســـتقرار آســـیب دیدگان زلزله به‌صـــورت اســـکان موقت، در برخی مناطق کمبودهای جدیدی به وجود آید و انتقال زلزله‌زدگان به فواصـل بسـیار دور از منزلشـان لازم آید (صـیامی و همکاران، ۱۳۹٤). درجه محصـوریت معابر، یکی از معیارهای بسـیار مهم اسـت و با بالا رفتن درجه محصـوریت و ریختن آوار در خیابان در اثر زلزله و یا مشـکلات سایر بلایای طبیعی، تعداد انسـداد بیشـتر خواهد شد و در نتیجه در سرعت و نحوه گریز و پناه و امدادرسانی به هنگام بحران تأثیرگذار خواهد بود (وارثی و مهام، ۱۳۹۱). لایه مذکور رسـترسـازی شده و با تابع Linear به‌صورت فازی تبدیل‌شده است و دوری از محدوده‌های متراکم دارای تاب‌آوری بیشتری خواهد بود (شکل ۱۲).



شکل ۱۲- نقشه نرمال‌سازی شده تراکم ساختمان‌ها

۳-۲- تلفیق معیارها

پس از انجام مراحل آماده‌سازی داده‌ها، رسترسازی و تعریف توابع عضویت فازی برای هر یک از معیارها، درنهایت باید معیارهای وزن‌دار و نرمال‌سازی شده را با یکدیگر تلفیق نمود. برای تلفیق لایه‌های وزن‌دار روش‌های مختلفی وجود دارد که در اینجا از یکی از انواع توابع تلفیق فازی تحت عنوان روش گاما استفاده‌شده است که بدین منظور لایه‌ها با تابع Gamma 0.9 روی‌هم قرارگرفته و عمل همپوشانی با ترکیب وزن‌های فازی صورت گرفته است. نتیجه تلفیق معیارها در شکل ۱۲ قابل‌مشاهده است. این نقشه محدوده شهر ارومیه را ازنظر میزان تاب‌آوری در برابر خطر زلزله در سه کلاس تاب‌آوری پائین؛ تاب‌آوری متوسط و تاب‌آوری بالا تقسیم نموده است. جدول ۳ مساحت محدوده‌های پرخطر نسبت به زمین‌لرزه را نشان می‌دهد. منظور از محدوده‌های پرخطر مناطقی از شهر می‌باشد که دارای درجه تاب‌آوری متوسط به پائین هستند و بر اساس پارامترهای موردمطالعه، حساسیت بیشتری را نسبت به خطر زمین‌لرزه دارا می‌باشند.



شکل ۱۲- نقشه تاب‌آوری کالبدی شهر ارومیه در برابر خطر زمین‌لرزه

جدول ۳- مساحت مناطق شهری با تاب‌آوری متوسط به پایین

نام منطقه شهری	مساحت منطقه	مساحت محدوده پرخطر	درصد محدوده پرخطر
منطقه ۱	۳۳ کیلومترمربع	۱۰ کیلومترمربع	۳۰ درصد
منطقه ۲	۱۳ کیلومترمربع	۵/۵ کیلومترمربع	٤۲ درصد
منطقه ۳	۳۰ کیلومترمربع	۹/٤ کیلومترمربع	۳۱ درصد
منطقه ٤	۱۰ کیلومترمربع	٦/۵ کیلومترمربع	٦۵ درصد

بر اساس جدول ۳ ملاحظه می‌شود که مساحت قابل‌توجهی از شهر جزو محدوده‌های پرخطر محسوب شده و دارای تاب‌آوری متوسط به پائین در مقابل زمین‌لرزه هستند. به‌طور دقیق، ۳۷/۸ درصد از کل محدوده شهر با وسعت ۳۱/۵ کیلومترمربع در زمره مناطق پرخطر قرار می‌گیرد که بر همین اساس، ٦۵ درصد از منطقه ٤ که شامل هسته مرکزی و بافت تاریخی شهر با جمعیت بالا و متراکم است و مناطق ۲ و ۳ و ۱ نیز به ترتیب با ٤۲، ۳۱ و ۳۰ درصد از مساحت خود از این نظر در رده‌های بعدی جای می‌گیرند. نکته قابل‌ذکر دیگر در این زمینه این است که قسمت‌های قابل‌توجهی از مناطق ۱ و ۲ که جزو مناطق حاشیه‌ای محسوب می‌شوند نیز در دسته مناطق پرخطر جای گرفته‌اند.

٤- جمع‌بندی

تاب‌آوری شهری به‌عنوان یک مفهوم پیچیده در شهرهای امروزی مطرح است که این قابلیت را دارد تا با شرایط، بحران‌ها و چالش‌های جدید تغییر کند. این مفهوم دارای ابعاد مختلف اقتصادی، اجتماعی-فرهنگی، زیست-محیطی و زیرساختی بوده و همواره سطح زندگی کنونی و آتی مردم شهرنشین را به اشکال گوناگون تحت‌الشعاع خود قرار داده است. وضعیت نامناسب کالبد شهر، مانند شبکهٔ معابر ناکارآمد، کمبود و توزیع نامناسب فضاهای باز، تراکم شهری بالا، ناسازگاری کاربری‌ها و ساختمان‌های فرسوده در افزایش آسیب‌پذیری و درنتیجه میزان خسارات ناشی از زمین‌لرزه‌ها و افزایش زمان بهبود شهر اثرگذار است (سلمانی مقدم و همکاران، ۱۳۹۳).

هدف تحقیق حاضر بررسی ابعاد ساختاری و کالبدی شهر ارومیه ازنظر تاب‌آوری در برابر خطر زمین‌لرزه است که بدین منظور تعداد ۹ معیار شامل تراکم جمعیت، تراکم ساختمانی، تعداد طبقات ساختمان، کاربری‌های شهری، دسترسی به مراکز درمانی، دسترسی به مراکز امدادرسانی، دسترسی به فضاهای باز، فاصله از معابر و فاصله خطوط برق فشارقوی به‌عنوان معیارهای موردمطالعه انتخاب‌شده و با به‌کارگیری منطق فازی و توابع عضویت آن و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) اقدام به تولید لایه‌های وزن‌دار از معیارهای مذکور شده است. نتایج بررسی‌ها منجر به تولید نقشه میزان تاب‌آوری محدوده شهری به زمین‌لرزه شده است و نتایج حاکی از این است که حدود ۳۸ درصد از وسعت محدوده شهری دارای تاب‌آوری متوسط تا پائین بوده و از این نظر می‌توان آن‌ها را محدوده‌های

پرخطر نـامیـد. از میان مناطق چهارگانه شـــهری نیز منطقه ٤ دارای کم‌ترین تاب‌آوری با ۳۵ درصـــد و منطقه ۱ با ۷۰ درصـد دارای بیشـترین تاب‌آوری درزمینهٔ ریسـک زمین‌لرزه می‌باشـد. نتایج پژوهش، اهمیت و ضـرورت بازنگری و توجه به ابعاد سـاختاری و جمعیتی مناطق شـهری و لزوم برنامه‌ریزی‌های جامع زمانی و مکانی به‌منظور ارتقای سـطح تاب‌آوری در برابر مخاطرات محیطی و علی‌الخصـوص خطر زمین‌لرزه را آشـکار می‌سـازد و بر این اسـاس می‌توان گفت که ارتقای سطح تاب‌آوری در محدوده موردمطالعه یکی از نیازهای اساسی مدیریت شهری است.

منابع

احدنژاد روشتی، محسن؛ قرخلو، مهدی و زیاری، کرامت اله؛ ۱۳۸۹. مدل‌سازی آسیب‌پذیری ساختمانی شهرها در برابر زلزله با اسـتفاده از روش فرایند سـلسـله مراتبی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی؛ نمونه موردی: شهر زنجان. *فصلنامه جغرافیا و توسعه*. پاییز ۱۳۸۹. شماره ۱۹. صص ۱۷۱-۱۹۸.

حبیبی، کیومرث؛ پوراحمد، احمد؛ مشـکینی، ابوالفضـل؛ عسـگری، علی و نظری عدلی، سـعید؛ ۱۳۸۷. تعیین عوامل سـازه- ای/سـاختمانی مؤثر در آسـیب‌پذیری بافت کهن شهری زنجان با استفاده از GIS و FUZZY LOGIC؛ نشریه هنرهای زیبا، بهار ۱۳۸۷، شماره ۳۳، صص ۲۷-۳٦.

رضـایی، محمدرضا؛ رفیعیان، مجتبی و حسینی، سید مصطفی؛ ۱۳۹٤. سنجش و ارزیابی تاب‌آوری کالبدی اجتماع‌های شـهری در برابر زلزله؛ مطالعهٔ موردی: محله‌های شـهر تهران. *نشـریه پژوهش‌های انسـانی*. سـال ۱۳۹٤. شماره ٤. صص ٦۰۹-٦۲۳.

رفیعیان، مجتبی؛ رضـایی، محمدرضا؛ عسگری، علی؛ پرهیزگار، اکبر و شایان، سیاوش؛ ۱۳۹۰. تبیین مفهومی تاب‌آوری و شاخص سازی آن در مدیریت سوانح اجتماع‌محور (CBDM)، *نشریه برنامه‌ریزی و آمایش فضا*. زمستان ۱۳۹۰. شماره ٤. صص ۱۹-٤۱.

سـاسـان پور، فرزانه و موسـی وند، جعفر؛ ۱۳۸۹. تأثیر عوامل انسـان‌ساخت در تشدید پیامدهای مخاطرات طبیعی در محیط‌های کلان‌شـــهری با کاربرد منطق فازی و ســـیســـتم اطلاعات جغرافیایی. *نشـــریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*. سال ۱۳۸۹. شماره ۱٦. صص ۲۹-۵۰.

صـیامی، قدیر؛ تقی نژاد، کاظم و اهدی کلاکی، علی؛ ۱۳۹٤. آسـیب‌شـناسی لرزه‌ای پهنه‌های شهری با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی معکوس (IHWP) و GIS؛ مطالعه موردی: شهر گرگان. *فصلنامه مطالعات برنامه‌ریزی شهری*. سال سوم، شماره نهم، بهار ۱۳۹٤. صص ٤۳-٦۳.

منصـور نعیمی، ابراهیم؛ رنگزی، کاظم و کابلی زاده، مصطفی؛ ۱۳۹٤. ریز پهنه‌بندی خطر زلزله با مدل FAHP؛ منطقه موردمطالعه: منطقه یک کلان‌شهر اهواز. اولین همایش ملی علوم زمین و توسعه شهری تبریز. سال ۱۳۹٤.

وارثی، حمیدرضـا؛ اکبری مهام، امیر؛ ۱۳۹۱. بررسـی مقاومت سـاختمان‌های مسـکونی شـهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: شهر همدان). *نشریه هفت حصار*. شماره اول. سال اول. پاییز ۱۳۹۱. صص ٤٥-٦٠.

Abhas K, Jha., Miner, T, W., & Stanton-Geddes, Zuzana., 2013. Building Urban Resilience: Principles, Tools and Practice. International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank.

an earthquake: The cases of two Chilean cities. Journal of Applied Geography. 2010. 48, 64-78.

Banica, A., Rosu, L., Muntele, L., & Grozavu, A., 2017. Towards Urban Resilience: A Multi-Criteria Analysis of Seismic Vulnerability in Lasi City. (Romania). Sustainability 2017, 9, 270.

Bastamnia, A., Rezaie, MR., Tazesh, Y., & Dastoorpoor, M., 2016. Evaluation of Urban Resilience to Earthquake A Case Study: Dehdasht City. International Journal of Ecology & Development. Year 2016; Volume 31, Issue No. 4.

Bujones, A, K., Jaskiewicz, K., Linakis, L., & McGirr, M., 2013. A Framework for Resilience in Fragile and Conflict-Affected Situations. Columbia University SIPA 2013.

Delavar, m, R., Sadrykia, M., & Zare, M., 2017. A GIS-Based Fuzzy Decision Making Model for Seismic Vulnerability Assessment in Areas with Incomplete Data. International Journal of Geo-Information. 2017, 6, 119.

Godschalk, D, R., 2003. Urban Hazard Mitigation: Creating Resilient Cities. Natural Hazards Review, Vol. 4, No. 3. 136-143.

ICLEI., 2013. The Strategic Use of Spatial Data for Urban Resilience, ICLEI Resilient Cities. Bonn, Germany. May, 2013.

Mayunga, J, S., 2007. Understanding and Applying the Concept of Community Disaster Resilience: A capital-based approach. Summer Academy for Social Vulnerability and Resilience Building. 22-28 July 2007, Munich, Germany.

Olazabal, M., Chelleri, L., Waters, J. J., & Kunath, A., 2012. Urban resilience: Towards an integrated approach. 1st International Conference on Urban Sustainability & Resilience, London, UK.

Paknejhad, H., Ilanlu, M., Ardakani, A., Ebrahimi, G, M., & Soltani, Y, A., 2013. Identifying the urban vulnerable areas against the earthquake with GIs Case study: radio darya st.chalous. International Journal of Advanced Studies in Humanities and Social Science. Volume 1, Issue 4, 2013. 255-263.

Rashed, T., & Weeks, J., 2003. Assessing vulnerability to earthquake hazards through spatial multicriteria analysis of urban areas. International Journal of Geographical Information Science.

Shah, F., & Ranghieri, F., 2012. A Workbook on Planning for Urban Resilience in the Face of Disasters. The World Bank. Washington, D.C.

Soofi, S, Y., 2016. Achieving Urban Resilience: Through Urban Design and Planning Principles. Master's thesis, Oxford Brookes University. Oxford. UK.

UNISDR., 2011. Annual Report: UNISDR secretariat Work Programme. United Nations. 2010-2011.

Villagra, P., Rojas, C., Ohno, R., Xue, M., & Gomez, K., 2014. A GIS-base exploration of the relationships between open space systems and urban form for the adaptive capacity of cities after

Zangy abady A., 2005. Tehran and evaluation of earthquake risk in urban areas, Journal of Geographical Research, No. 56, Summer 84.