

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

صص ۵۷-۷۳

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^۱ - استادیار گروه ژئومورفولوژی دانشگاه بزرگمهر فائانات، فائانات، 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 شهری مفهومی نسبتاً جدید و پیچیده بوده که دارای ابعاد اقتصادی، 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 پرداخته شده است و بدین منظور تعداد ۱۰ معیار شامل تراکم جمعیت، تراکم ساختمان‌ها، تعداد طبقات ساختمان‌ها، کاربری زمین، دسترسی به فضاهای باز، دسترسی به مراکز درمانی، دسترسی به مراکز امداد رسانی، فاصله از معابر، فاصله از خطوط فشارقوی برق و فاصله از گسل به عنوان معیارهای موردمطالعه تعیین شده‌اند. نتایج تحقیق نشان از این موضوع دارد که ۳۸ درصد از مساحت شهر دارای تاب‌آوری متوسط تا پائین بوده و در منطقه خطر قرار دارند و همچنین منطقه ۱ شهری با ۷۰ درصد مساحت دارای بیشترین تاب‌آوری و منطقه ۴ با ۳۵ درصد مساحت دارای کم‌ترین میزان تاب‌آوری در برابر زمین‌لرزه است.

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

۱- مقدمه

کلان‌شهرهای امروزی، در نقاط مختلف دنیا به دلایل متعدد همواره در معرض آسیب ناشی از مخاطرات طبیعی قرار دارند. این مخاطرات که آسیب‌های جانی و مالی فراوانی را با خود به همراه دارند، نیازمند پیشگیری‌ها و اقدامات فوری می‌باشند (ساسان پور و مصطفی وند، ۱۳۸۹). زمین‌لرزه یکی از فجایع طبیعی عمده است که موجب خسارات

مختلف فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی در سرتاسر جهان در هر سال می‌شود (Delavar et al., 2017). در خلال قرن گذشته، بیش از هزار مورد زمین‌لرزه ویرانگر در چندین کشور در سرتاسر جهان رخ داده 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، به تدریج نیاز به کاهش مخاطرات، نه تنها 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 مورد نظر 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 از نظر تاب‌آوری در برابر مخاطرات و علی‌الخصوص خطر زمین‌لرزه اهمیت بسیار زیادی دارد و امروزه در مطالعات مختلف علمی به مفهومی اساسی در زمینه 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 متولد شده 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^۱ در سال ۱۹۷۳ به‌طور فزاینده‌ای مورد شناسایی و اقبال قرار گرفته و امروزه به‌دفعات در زمینه‌های مختلف از جمله مخاطرات و فجایع مورد استفاده 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 مورد استفاده قرار گیرد (Abbas., 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 جامعه 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 توسعه بین‌المللی ایالات متحده 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 تاب‌آور 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 آبراه‌ها، خاک، توپوگرافی، زمین‌شناسی و سایر عوامل طبیعی است. در مجموع، 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 دربرمی‌گیرد. در مجموع، 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 تاب‌آور شهری است که قادر به مواجهه با اثرات فجایع در حال و آینده باشد و بتواند شدت و گستره آن‌ها را محدود نماید (Shah & Ranghieri., 2012). در گزارش ارائه‌شده انجمن جهانی تاب‌آوری و انطباق شهری یک شهر تاب‌آور شهری تعریف شده است که آمادگی لازم برای کشش و بازیابی از هر نوع شوک را داشته باشد به‌نحوی که 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 اجتماعی 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 پرداخته شده است.

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

ابعاد	تعریف	شاخص‌ها
اجتماعی	از تفاوت ظرفیت اجتماعی، در واکنش مثبت نشان دادن، انطباق با تغییرات و حفظ رفتار سازگاران 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 به‌طوری که 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 به وسیله 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 آموزش دیده و داوطلب، قوانین و مقررات، نحوه مدیریت یا واکنش به سوانح مثل ساختار سازمانی، ظرفیت، رهبری.
کالبدی	ارزیابی واکنش جامعه و ظرفیت بازبایی بعد از سانحه مانند پناهگاه‌ها، واحدهای مسکونی و زیرساختی مثل خطوط لوله، جاده‌ها و وابستگی آن‌ها به زیرساخت‌های دیگر.	خطوط لوله، شبکه حمل و نقل، کاربری زمین، ظرفیت پناهگاه، نوع مسکن، کیفیت و قدمت بنا، مالکیت، ارتفاع ساختمان‌ها، فضاهای باز و سبز، تراکم محیط ساخته شده، دسترسی، ویژگی‌های جغرافیایی.

مطالعات مختلفی در ارتباط با بررسی ابعاد تاب‌آوری شهری صورت گرفته است. از مطالعات خارجی انجام گرفته 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 مورد بررسی قرار داده است. وی عناصر مورفولوژیکی منطقه مورد مطالعه شامل معابر، فضاهای باز، شکل ساختمان‌ها و الگوهای تراکم را مدنظر قرار داده و بدین نتیجه دست یافته است که نیاز به تغییر در فرایند برنامه‌ریزی و طراحی شهری از طریق توسعه ظرفیت‌های نوآورانه و سازگار وجود دارد و طرح‌های بلندمدت باید به صورت 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 تشکیل شده 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 مترکم شهری می‌تواند بر ظرفیت شهر و در نتیجه 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.

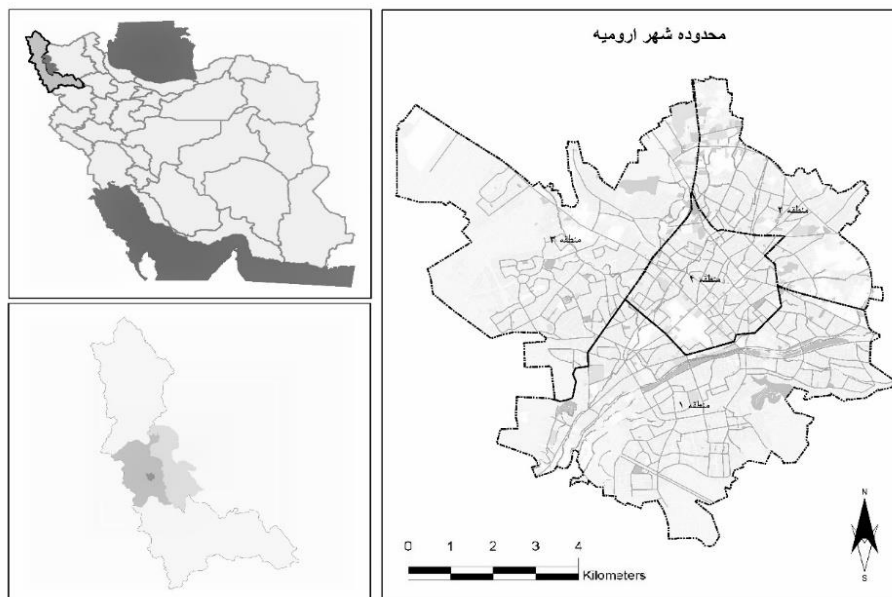
از مطالعات داخلی انجام شده نیز می‌توان موارد مختلفی را نام برد: رضایی (۱۳۸۹) در رساله دکتری خود تعداد ۴ محله از کلان‌شهر تهران را از لحاظ ابعاد اجتماعی، اقتصادی، نهادی و کالبدی مورد بررسی قرار داده است و بدین

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. منصورنعمی و همکاران (۱۳۹۴) 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 در مجموع 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 مورد مطالعه

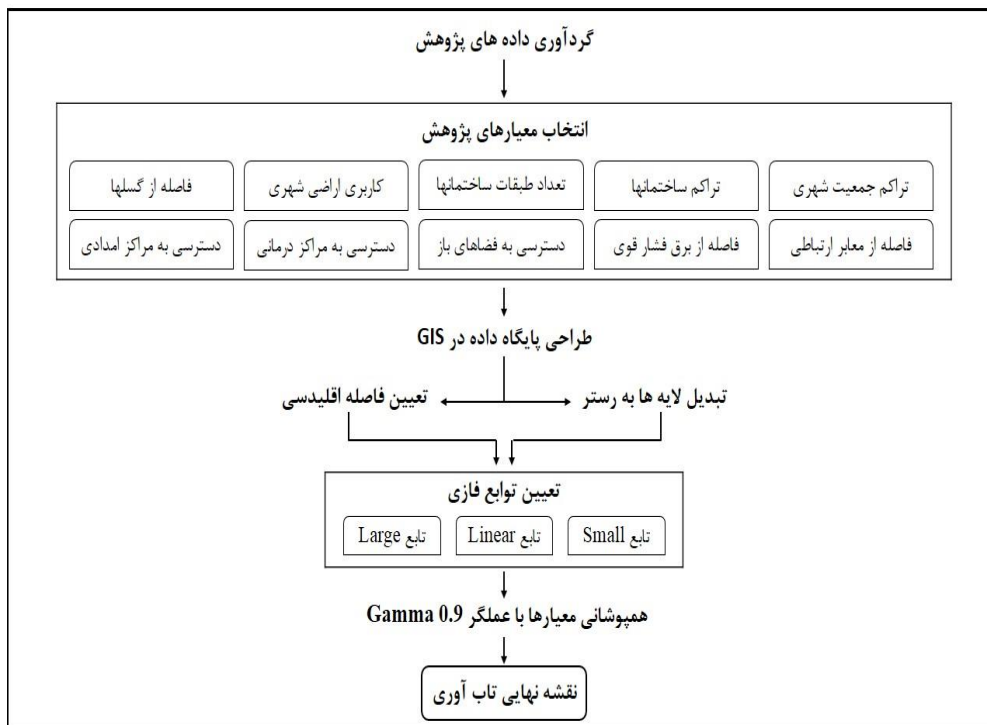
شهر ارومیه واقع در شهرستان ارومیه در مختصات جغرافیایی بین ۴۴ درجه و ۵۸ دقیقه و ۳۵ ثانیه تا ۴۵ درجه و ۷ دقیقه و ۱۱ ثانیه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۲۹ دقیقه و ۱۶ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۳۶ دقیقه و ۴ ثانیه عرض شمالی واقع شده است. مساحت این شهر در حدود ۸۵ کیلومتر مربع و ارتفاع متوسط آن ۱۳۸۱ متر می‌باشد. جمعیت این شهر مطابق سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۰ برابر با ۶۶۷۴۹۹ 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 داده شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

۲-۲- روش کار

تحقیق حاضر کاربردی و از نوع توصیفی - تحلیلی می باشد که از روش های اسنادی و کتابخانه ای در آن استفاده شده است. از منطق فازی برای تجزیه و تحلیل معیارها و شاخص های موجود بهره گرفته شده است. تئوری منطق فازی متمرکز بر ارائه و مدیریت اطلاعات مبهم می باشد. یک مجموعه فازی اساساً مجموعه ای است که دارای اعضایی با درجات عضویت بین ۰ و ۱ است (صدری کیا و همکاران، ۲۰۱۷). در ارتباط با به کارگیری منطق فازی باید اشاره کرد که در تحلیل تصمیم گیری های چندمعیاره، تئوری فازی معمول ترین روش برای بحث و بررسی عدم قطعیت ها شناخته شده است (ساسان پور و مصطفی وند، ۱۳۸۹). در این روش از مجموعه ای از توابع که برای اختصاص درجات عضویت به هر یک از معیارها بکار می روند، استفاده می شود. توابع فازی بکار رفته در این تحقیق عبارتند از: تابع Small، تابع Large و تابع Linear که بر اساس نوع و ماهیت پارامترهای مورد نظر مورداستفاده قرار گرفته اند. در نهایت از عملگر فازی گاما جهت تلفیق معیارهای وزن دار استفاده شده است. این عملگر حالت کلی عملگر ضربی و جمعی فازی است و در مواقعی که حالت افزایشی یا کاهششی در داده ها مدنظر باشد، مورداستفاده قرار می گیرد. شکل ۲ فرایند انجام پژوهش را نشان می دهد.



شکل ۲- فرایند انجام پژوهش

۳- نتایج و بحث

۳-۱- معیارهای موردبررسی

جهت بررسی تاب‌آوری محدوده مورد مطالعه، معیارهای زیر برای فرایند مورد نظر انتخاب شده‌اند:

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 گرفته شده است (جدول ۲). کاربری‌های موجود پس از نرمال‌سازی به لایه‌های رستری تبدیل شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند (شکل ۳).

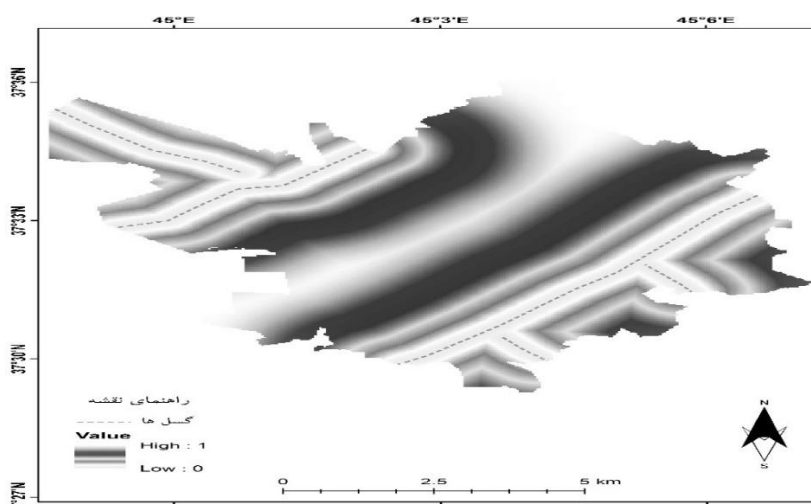
جدول ۲- تاب‌آوری کاربری‌های شهری

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.



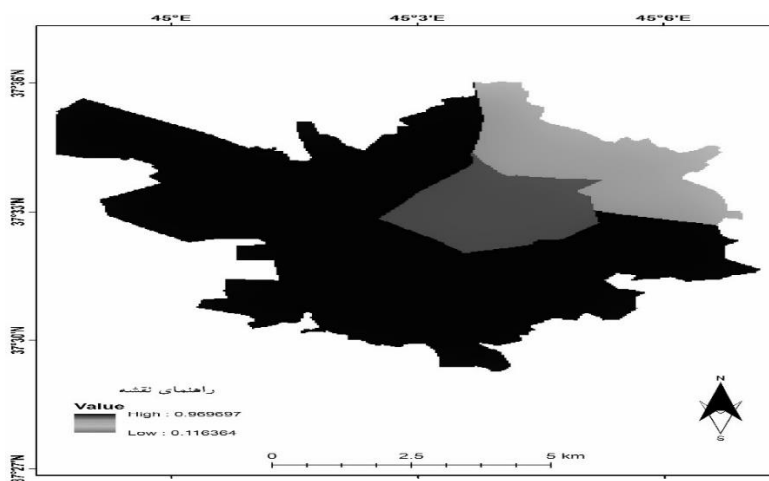
شکل ۳- نقشه نرمالسازی شده کاربری اراضی

خطوط گسل: گسل‌ها یکی از نمودهای عینی عوامل تکتونیکی هستند که وجود یا عدم وجود آن‌ها را می‌توان در رابطه با خطر لرزه‌ای مناطق مورد بررسی قرارداد. فاصله از عامل گسل نقش اساسی در میزان تاب‌آوری در برابر خطر زمین‌لرزه دارد، به نحوی که نزدیکی به آن موجب ریسک لرزه‌ای و آسیب بالا و فاصله گرفتن از آن موجب تقلیل مخاطره و در نتیجه تاب‌آوری بالاتر خواهد شد. بر همین اساس، شبکه گسلی محدوده مورد مطالعه با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و با بهره‌گیری از عملیات رقومی‌سازی استخراج شده و با توجه به خطی بودن پدیده گسل، از میان توابع فازی، تابع Linear برای آن تعریف شده 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 ۴).



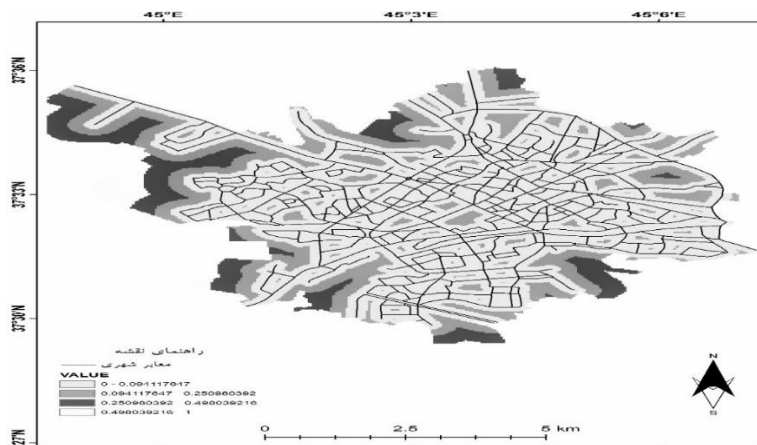
شکل ۴- نقشه نرمالسازی شده شبکه گسلی

تراکم جمعیت: مشخص‌کننده بار جمعیتی در موقع زلزله می‌باشد و در نتیجه با افزایش آن، سرعت پناه‌گیری، خدمات‌رسانی و امداد رسانی پایین می‌آید و بالعکس (صیامی و همکاران، ۱۳۹۴). مناطق شهری به سه کلاس از نظر تراکم جمعیت تقسیم شد: کمتر از ۹۰ نفر در هکتار، بین ۹۰ تا ۱۸۰ نفر در هکتار و بیش از ۱۸۰ نفر در هکتار. لایه رستری معیار مورد نظر تهیه شده و تابع Small برای آن تعریف شده است. از تابع مذکور زمانی استفاده می‌شود که رابطه معکوس بین فاصله و ارزش پیکسل‌ها وجود داشته باشد و به عبارتی دیگر هر قدر پیکسل‌ها از مقدار کم‌تری برخوردار باشند، درجه عضویت بیشتری دریافت خواهند نمود و بر همین اساس باید گفت که مناطق دارای تراکم جمعیت پایین‌تر دارای تاب‌آوری بالاتری بوده و مناطق متراکم‌تر تاب‌آوری کم‌تری دارند (شکل ۵).



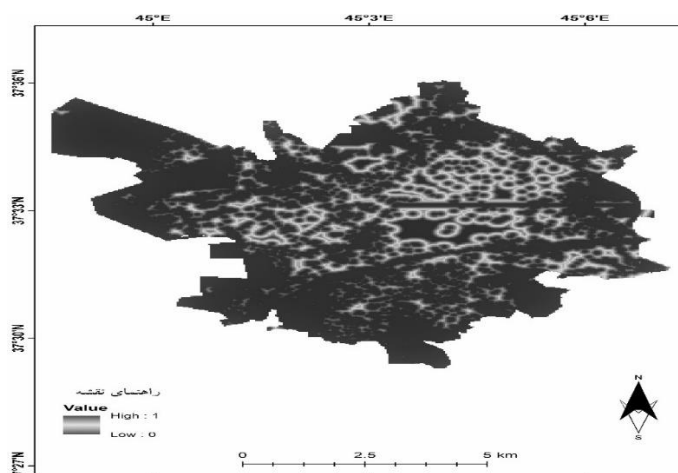
شکل ۵- نقشه نرمال‌سازی شده تراکم جمعیت

دسترسی به معابر: لایه رستری معابر و شریان‌های ارتباطی شهر بر اساس تابع فاصله اقلیدسی ایجاد شده و تابع فازی Linear برای آن تعریف شده است (شکل ۶).



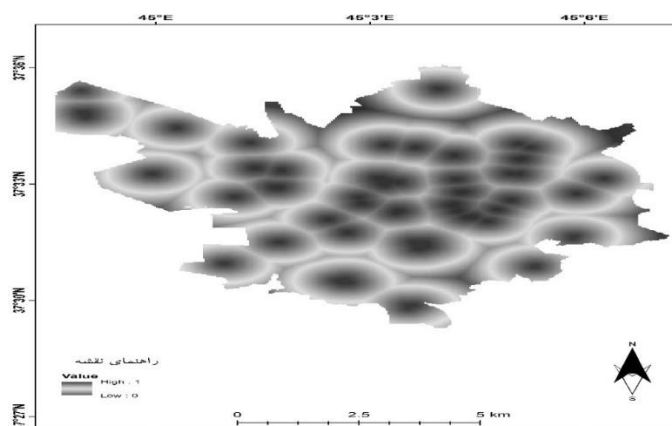
شکل ۶- نقشه نرمال‌سازی شده دسترسی به معابر ارتباطی

دسترسی به فضای باز: منظور از فضاهای باز کلیه اراضی بایر و ساخته نشده و نیز فاقد کاربری خاص است. بر این اساس، فضاهای مذکور از نقشه کاربری اراضی شهری استخراج شده‌اند. 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 تهیه شده است (شکل ۷).



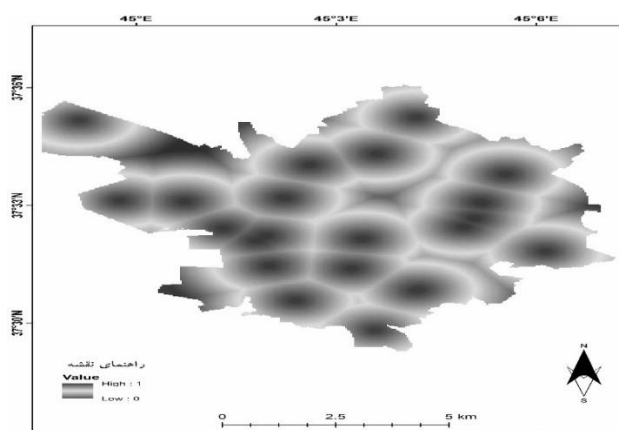
شکل ۷- نقشه نرمال‌سازی شده دسترسی به فضاهای باز شهری

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 عهده دارند. دسترسی مناسب و سریع به مراکز درمانی موجب افزایش تاب‌آوری در برابر خطر خواهد شد. لایه رقومی این مراکز به صورت نقطه‌ای وارد فرایند پردازش شده است و لایه رستری آن نیز به وسیله تابع فاصله اقلیدسی تهیه شده و تابع فازی Linear برای آن اعمال شده است (شکل ۸).



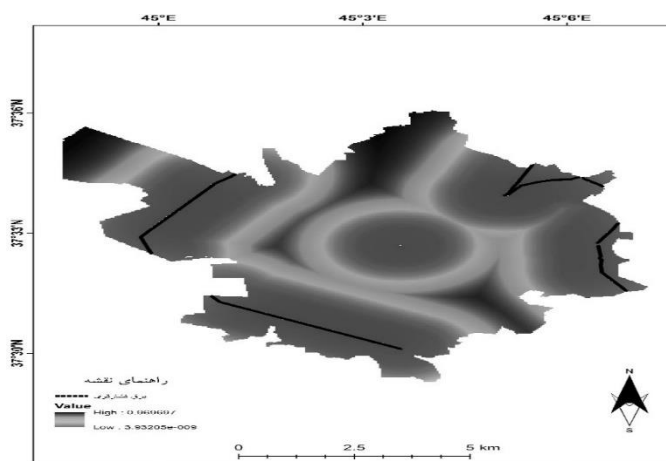
شکل ۸- نقشه نرمال‌سازی شده دسترسی به مراکز درمانی

دسترسی به مراکز امداد رسانی: دسترسی آسان و سریع به این مراکز موجب سرعت بخشیدن به عملیات امداد رسانی 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 امداد رسان مدنظر قرار گرفته شده‌اند. لایه رستری این معیار به‌وسیله تابع فاصله اقلیدسی تولید و تابع فازی Linear برای آن در نظر گرفته شده است (شکل ۹).



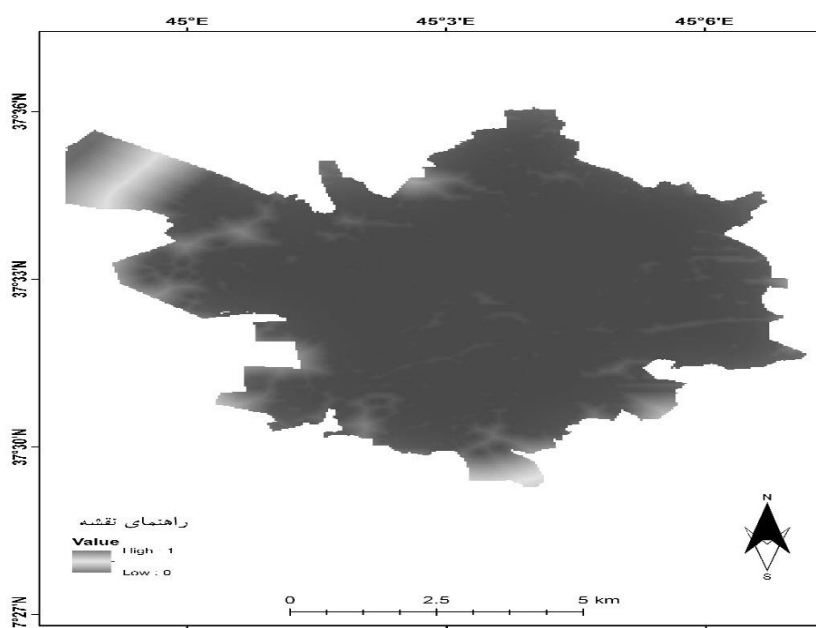
شکل ۹- نقشه نرمال‌سازی شده دسترسی به مراکز امدادی

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 رستری‌سازی شده و با تعریف تابع Large برای مقادیر درجه عضویت برای پیکسل‌ها مشخص شده است (شکل ۱۰).



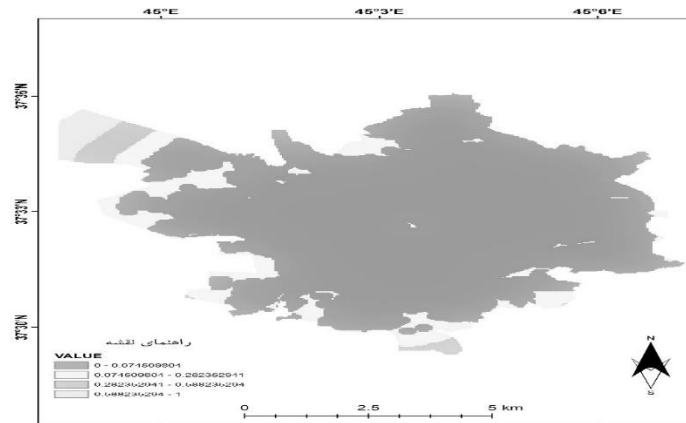
شکل ۱۰- نقشه فاصله از خطوط برق فشار قوی

تعداد طبقات ساختمانی: دارای رابطه عکس با تاب‌آوری است و هر چه تعداد طبقات ساختمان‌ها علیرغم کیفیت آن‌ها بیشتر باشد، تاب‌آوری کاهش می‌یابد. تعداد طبقات اگر با اصول ایمنی نباشد، قطعاً آسیب را بالا خواهد برد. حتی اگر افزایش ارتفاع با رعایت ضوابط و محاسبات مناسب انجام شود، به‌هنگام تخلیه، جستجو و نجات با سختی همراه است. لذا افزایش تعداد طبقات یک عامل منفی محسوب می‌شود و آسیب‌پذیری را بالا برده (وارثی و مهام، ۱۳۹۱) و تاب‌آوری در مقابل زلزله را کاهش خواهد داد. رسترسازی این معیار نیز به‌وسیله تابع فاصله اقلیدسی صورت گرفته و تابع فازی Small برای آن تعریف شده است (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- نقشه نرمال‌سازی شده تعداد طبقات ساختمان‌ها

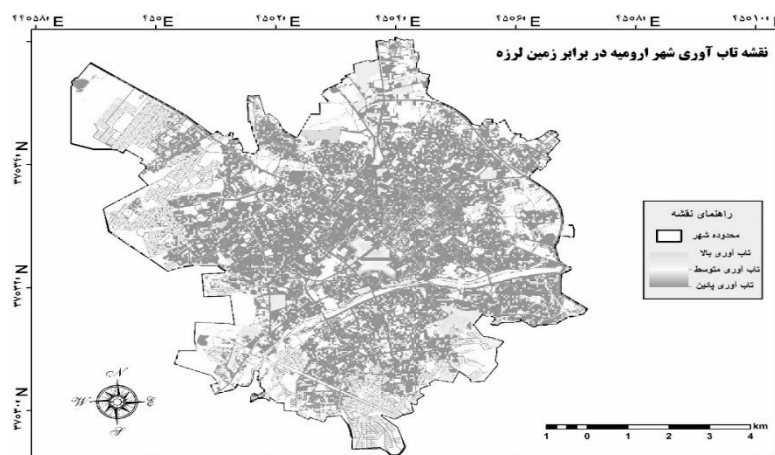
تراکم ساختمانی: شاخص مهمی است که با بیشتر شدن آن احتمال تخریب و آسیب‌پذیری بیشتر می‌شود. از میان رفتن فضای سبز و باغ‌ها و تبدیل آن‌ها به مجموعه‌های پرتراکم علاوه بر اینکه سبب افت کیفیت زیستی و نابودی منابع زیست‌محیطی می‌گردد، توزیع نامناسب فضاهای باز را نیز باعث می‌گردد و موجب می‌شود که برای استقرار آسیب دیدگان زلزله به‌صورت اسکان موقت، در برخی مناطق کمبودهای جدیدی به وجود آید و انتقال زلزله‌زدگان به فواصل بسیار دور از منزلشان لازم آید (صیامی و همکاران، ۱۳۹۴). درجه محصوریت معابر، یکی از معیارهای بسیار مهم است و با بالا رفتن درجه محصوریت و ریختن آوار در خیابان در اثر زلزله و یا مشکلات سایر بلایای طبیعی، تعداد انسداد بیشتر خواهد شد و در نتیجه در سرعت و نحوه گریز و پناه و امدادسانی به‌هنگام بحران تأثیرگذار خواهد بود (وارثی و مهام، ۱۳۹۱). لایه مذکور رسترسازی شده و با تابع Linear به‌صورت فازی تبدیل شده 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، در نهایت 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 استفاده شده است که بدین منظور لایه‌ها با تابع $\text{Gamma } 0.9$ روی هم قرار گرفته و عمل همپوشانی با ترکیب وزن‌های فازی صورت گرفته است. نتیجه تلفیق معیارها در شکل ۱۲ قابل مشاهده است. این نقشه محدوده شهر ارومیه را از نظر 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 کیلومتر مربع	۱۰ کیلومتر مربع	۳۰ درصد
منطقه ۲	۱۳ کیلومتر مربع	۵/۵ کیلومتر مربع	۴۲ درصد
منطقه ۳	۳۰ کیلومتر مربع	۹/۴ کیلومتر مربع	۳۱ درصد
منطقه ۴	۱۰ کیلومتر مربع	۶/۵ کیلومتر مربع	۶۵ درصد

بر اساس جدول ۳ ملاحظه می‌شود که مساحت قابل توجهی 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 کیلومتر مربع در زمره مناطق پرخطر قرار می‌گیرد که بر همین اساس، ۶۵ درصد از منطقه ۴ که شامل هسته مرکزی و بافت تاریخی شهر با جمعیت بالا و تراکم است و مناطق ۲ و ۳ و ۱ نیز به ترتیب با ۴۲، 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 قابل توجهی از مناطق ۱ و ۲ که جزو مناطق حاشیه‌ای محسوب می‌شوند نیز در دسته مناطق پرخطر جای گرفته‌اند.

۴- 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 شبکه معابر ناکارآمد، کمبود و توزیع نامناسب فضاهای باز، تراکم شهری بالا، ناسازگاری کاربری‌ها و ساختمان‌های فرسوده در افزایش آسیب‌پذیری و در نتیجه 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 از نظر 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 امداد رسانی، دسترسی به فضاهای باز، فاصله از معابر و فاصله خطوط برق فشارقوی به‌عنوان معیارهای مورد مطالعه انتخاب شده 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

پرخاطر نامید. از میان مناطق چهارگانه شهری نیز منطقه ۴ دارای کم‌ترین تاب‌آوری با ۳۵ درصد و منطقه ۱ با ۷۰ درصد دارای بیشترین تاب‌آوری در زمینه ریسک زمین‌لرزه می‌باشد. نتایج پژوهش، اهمیت و ضرورت بازنگری و توجه به ابعاد ساختاری و جمعیتی مناطق شهری و لزوم برنامه‌ریزی‌های جامع زمانی و مکانی به منظور ارتقای سطح تاب‌آوری در برابر مخاطرات محیطی و علی‌الخصوص خطر زمین‌لرزه را آشکار می‌سازد و بر این اساس می‌توان گفت که ارتقای سطح تاب‌آوری در محدوده مورد مطالعه 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 استفاده از روش فرایند سلسله 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؛ مشکینی، ابوالفضل؛ عسگری، علی و نظری عدلی، سعید؛ ۱۳۸۷. تعیین عوامل سازه-ای/ساختمانی مؤثر در آسیب‌پذیری بافت کهن شهری زنجان با استفاده از GIS و FUZZY LOGIC؛ نشریه هنرهای زیبا، بهار ۱۳۸۷، شماره ۳۳، صص ۲۷-۳۶.
- رضایی، محمدرضا؛ رفیعیان، مجتبی و حسینی، سید مصطفی؛ ۱۳۹۴. سنجش و ارزیابی تاب‌آوری کالبدی اجتماع‌های شهری در برابر زلزله؛ مطالعه موردی: محله‌های شهر تهران. نشریه پژوهش‌های انسانی. سال ۱۳۹۴. شماره ۴. صص ۶۰۹-۶۲۳.
- رفیعیان، مجتبی؛ رضایی، محمدرضا؛ عسگری، علی؛ پرهیزگار، اکبر و شایان، سیاوش؛ ۱۳۹۰. تبیین مفهومی تاب‌آوری و شاخص‌سازی آن در مدیریت سوانح اجتماع‌محور (CBDM)، نشریه برنامه‌ریزی و آمایش فضا. زمستان ۱۳۹۰. شماره ۴. صص ۱۹-۴۱.
- ساسان پور، فرزانه و موسی وند، جعفر؛ ۱۳۸۹. تأثیر عوامل انسان‌ساخت در تشدید پیامدهای مخاطرات طبیعی در محیط‌های کلان‌شهری با کاربرد منطق فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. سال ۱۳۸۹. شماره ۱۶. صص ۲۹-۵۰.
- صیامی، قدیر؛ تقی نژاد، کاظم و اهدی کلاکی، علی؛ ۱۳۹۴. آسیب‌شناسی 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 ۱۳۹۴. صص ۴۳-۶۳.
- منصور نعیمی، ابراهیم؛ رنگزی، کاظم و کابلی زاده، مصطفی؛ ۱۳۹۴. ریز پهنه‌بندی خطر زلزله با مدل FAHP؛ منطقه مورد مطالعه: منطقه یک کلان‌شهر اهواز. اولین همایش ملی علوم زمین و توسعه شهری تبریز. سال ۱۳۹۴.

وارثی، حمیدرضا؛ اکبری مهم، امیر؛ ۱۳۹۱. بررسی مقاومت ساختمان‌های مسکونی شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: شهر همدان). نشریه هفت حصار. شماره اول. سال اول. پاییز ۱۳۹۱. صص ۴۵-۶۰.

- 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.
- Bastammia, 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.

