

Earthquake Risk Zoning for locating Safe Areas at the time of Natural Hazards Events Using Artificial Intelligence Algorithms and GIS (Case Study: District “One” of Ahvaz City)

Kazem Rangzan^{1*}, Mostafa Kabolizade², Danya Karimi³, Ebrahim Mansour Naeemi⁴

¹ Associate Professor of Remote Sensing and GIS, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

² Assistant Professor of Remote Sensing and GIS, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

³ M.A. Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

⁴ B.S. Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

Abstract

Since locating temporary housing at the time of earthquake disaster is done regardless of standard criteria by relief organizations, it may pose many complications, especially in large cities. To avoid such problems, a written action plan is needed for zoning seismic prone areas in settlements such as Ahvaz city, in terms of hazardous areas, safe areas for temporary housing after the disaster, and identifying the optimal routing to reach safe areas. In this study, the above-mentioned objectives have been studied using Fuzzy inference, Fuzzy hierarchical analysis and GIS in district “one” of Ahvaz metropolitan city. For this purpose, the most important data has been collected and used to locate high-risk as well as secure areas and also identifying the optimal routes to reach safe areas. Based on the results, Fuzzy Inference System shows 85% whereas, the Fuzzy hierarchical analysis exhibits 41% agreement with expert’s choice. This results showed the higher capability of fuzzy inference system as compared to hierarchical analysis. To identify safe locations for temporary housing post to earthquake disaster, after reviewing the type and land-use of the proposed areas using two models, in Fuzzy Inference System Model, 25 sites and in the Fuzzy hierarchical analysis, 18 sites of temporary housing were determined. In terms of optimal routing, the results showed that, both Genetic and Dijkstra algorithm are appropriate and applicable.

Key words: Fuzzy Inference; Fuzzy Hierarchical Analysis; Genetic Algorithm; Dijkstra Algorithm, Zoning, Optimal Routing.

* kazem.rangzan@scu.ac.ir

پهنه‌بندی خطرپذیری زلزله و مکان‌یابی مناطق امن در زمان مخاطرات طبیعی با استفاده

الگوریتم‌های هوش مصنوعی و GIS

(مطالعه موردی: منطقه یک شهرداری کلان‌شهر اهواز)

کازم رنگزن*: دانشیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران
مصطفی کابلی‌زاده: استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران
دانا کریمی: دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران
ابراهیم منصورنعمی: دانش آموخته کارشناسی گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران

وصول: ۱۳۹۴/۹/۱۹ پذیرش: ۱۳۹۵/۲/۵، صص ۶۶-۴۹

چکیده

با توجه به اینکه مکان‌گزینی برای اسکان موقت پس از بروز سانحه زلزله را سازمان امدادسانی بدون در نظر گرفتن استانداردهای لازم انجام می‌دهد؛ از این رو، این کار با مشکلات زیادی به‌ویژه در کلان‌شهرها همراه خواهد بود. برای پیشگیری از وقوع مشکلات و برای داشتن برنامه عملیاتی مدون پس از وقوع بحران زلزله، لازم است مناطق زلزله‌خیزی همچون کلان‌شهر اهواز به‌لحاظ مناطق خطرپذیر، مناطق امن برای اسکان موقت پس از بحران و همچنین مسیریابی بهینه برای رسیدن به مناطق امن، پهنه‌بندی و بررسی دقیق شود. در این پژوهش، اهداف یادشده با استفاده از سیستم استنتاج فازی، تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و همچنین GIS در منطقه یک کلان‌شهر اهواز مطالعه و نتایج حاصل مقایسه شده است. به همین منظور، مؤثرترین داده‌ها برای یافتن محل‌های پرخطر زلزله، امن و مسیریابی گردآوری و استفاده شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، سیستم استنتاج فازی در خصوص پهنه‌بندی خطر به میزان ۸۵٪ منطبق بر نظر کارشناسان، و تحلیل سلسله‌مراتبی فازی تنها به میزان ۴۱٪ منطبق بر نظر کارشناسان بود که این نتایج قابلیت و دقت بالاتر سیستم استنتاج فازی را در مقایسه با تحلیل سلسله‌مراتبی نشان می‌دهد. برای یافتن مناطق امن برای اسکان موقت پس از زلزله، نیز بعد از بررسی مساحت‌ها و نوع کاربری‌های پهنه‌های پیشنهادی با دو مدل، در مدل سیستم استنتاج فازی تعداد ۲۵ سایت اسکان موقت و در مدل تحلیل سلسله‌مراتبی فازی ۱۸ پهنه اسکان موقت استخراج و شناسایی شد. همچنین، در زمینه مسیریابی نتایج نشان داد، برای محدوده مورد مطالعه، هر دو مدل الگوریتم ژنتیک و دایجسترا مناسب و قابل به‌کارگیری است.

واژه‌های کلیدی: سیستم استنتاج فازی، تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم دایجسترا، پهنه‌بندی، مسیریابی

بهینه

مقدمه

سرعت شهرنشینی در شهرهای کشورهای در حال توسعه منجر شده است تا نصف جمعیت جهان در حال حاضر در مناطق شهری مستقر شوند. بیشتر این مناطق با تراکم جمعیتی بالا، در برابر وقوع بحران‌هایی همچون زلزله آسیب‌پذیرند. در مورد شهرهای زلزله‌خیز مناسب‌ترین اقدام، جداسازی انسان از منطقه خطر است. به‌همین دلیل شناسایی قبلی و برنامه‌ریزی در شناسایی پهنه‌های خطرپذیر، مناطق امن و همچنین مسیریابی پهنه برای رسیدن به سایت‌های اسکان موقت لازم و ضروری است. با توجه به اینکه مکان‌گزینی برای اسکان موقت پس از بروز سانحه زلزله را سازمان امداد رسانی بدون در نظر گرفتن استانداردهای لازم انجام می‌دهد؛ از این‌رو، این کار مشکلات زیادی را به‌ویژه در کلان‌شهرها به‌همراه خواهد داشت. برای پیشگیری از وقوع مشکلات و داشتن برنامه عملیاتی مدون پس از وقوع بحران زلزله، لازم است مناطق زلزله‌خیزی همچون کلان‌شهر اهواز به‌لحاظ مناطق خطرپذیر، مناطق امن برای اسکان موقت پس از بحران و همچنین مسیریابی پهنه برای رسیدن به مناطق امن پهنه‌بندی و بررسی دقیق شود (گیوه‌چی و عطار، ۱۳۹۱). از جمله مطالعات صورت گرفته در خصوص بحران‌های طبیعی همچون زلزله در مناطق شهری می‌توان به مطالعه Bhatti (۲۰۰۵)، Gibson (۱۹۹۷)، Garcia-Magarino و Gutierrez (۲۰۱۳) و Hany Abulnour (۲۰۱۳) اشاره نمود. شرایط خاص کلان‌شهر اهواز و مشکلات آن نظیر جمعیت میلیونی، وجود بافت‌های فرسوده، ساختمان‌های با مصالح غیرمسلح سنگین، معابر باریک، بالابودن سطح آب‌های زیرزمینی و وجود تأسیسات و کاربری‌های خطرزا و ...، تدوین معیارها و ضوابطی را برای پهنه‌بندی مناطق در معرض خطر، به‌ویژه در

حریم گسل‌ها، امری انکارناپذیر می‌گرداند. به‌منظور شناسایی مناطق خطرپذیر و سنجش میزان خطرپذیری، در دهه‌های گذشته مطالعات گوناگونی انجام شده است که هر یک از زاویه‌ای قابل بررسی و توجه است. از جمله مطالعات صورت گرفته در این زمینه عبارت‌اند از: پژوهش ابوئی اشکذری در سال ۱۳۹۱ که در پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان مدیریت بحران زلزله با استفاده از GIS در یزد به‌وسیله تحلیل شبکه و منطق فازی، اقدام به محاسبه میزان آسیب‌پذیری معیارها در هر یک از قطعات محدوده مورد نظر کرد. پیشگاهی‌فرد و همکاران در سال ۱۳۹۱ در مقاله‌ای با عنوان مدل‌سازی تعیین مناطق خطرپذیر با استفاده از مدل AHP در محیط GIS در تبریز، اقدام به تفکیک سطوح خطرپذیر در شهر کردند. Tudes and Yigiter در سال ۲۰۱۰ برای مدیریت بحران در شهر آدنا در ترکیه به امکان‌سنجی مناطق خطرپذیر از لحاظ ژئومورفولوژیکی پرداخت و در نهایت به کلاسه‌بندی شهر از نظر مناطق مساعد اقدام کرد. Qiang در سال ۲۰۰۴ اقدام به تهیه نقشه آسیب‌پذیری شهر Yuci در چین کرد. به‌تازگی، روش‌های هوش مصنوعی به گستردگی در شاخه‌های مختلف علوم به‌کار گرفته می‌شوند که این به‌دلیل قابلیت این روش‌ها در ایجاد رابطه غیرخطی بین شاخص‌های ورودی و خروجی است. هدف این مقاله، پهنه‌بندی خطرپذیری زلزله، تعیین مناطق امن برای اسکان موقت پس از بحران و همچنین مسیریابی پهنه برای رسیدن به مناطق امن با استفاده از سیستم استنتاج فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی فازی برای منطقه یک شهرداری کلان‌شهر اهواز واقع در استان خوزستان و مقایسه نتایج دو روش است.

داده‌ها و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی خوزستان و اهواز: استان خوزستان

با مساحتی معادل ۶۴۷۴۶ کیلومتر مربع در جنوب غرب ایران واقع شده است. این استان بین ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۴۷ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است. بر اساس آخرین تقسیمات کشوری سال ۱۳۹۱، این استان شامل ۲۷ شهرستان، ۶۷ بخش و ۷۶ شهر ۱۴۴ دهستان است. جمعیت آن در سال ۱۳۹۰ معادل ۴۵۳۱۷۲۰ نفر بوده است. کلان‌شهر اهواز مرکز استان

خوزستان در موقعیت جغرافیایی بین ۳۱ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۳۳ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۴۷ دقیقه طول شرقی با ارتفاع متوسط ۱۸ متر از سطح دریا واقع شده است. وسعت محدوده قانونی شهر معادل ۲۲۲ کیلومتر مربع و وسعت محدوده خدماتی شهر معادل ۳۰۰ کیلومتر مربع بوده است که رودخانه کارون آن را به دو بخش شرقی و غربی تقسیم می‌کند. جمعیت این شهر نیز در آخرین سرشماری (۱۳۹۰) معادل ۱۱۲۲۰۲۱ نفر بوده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

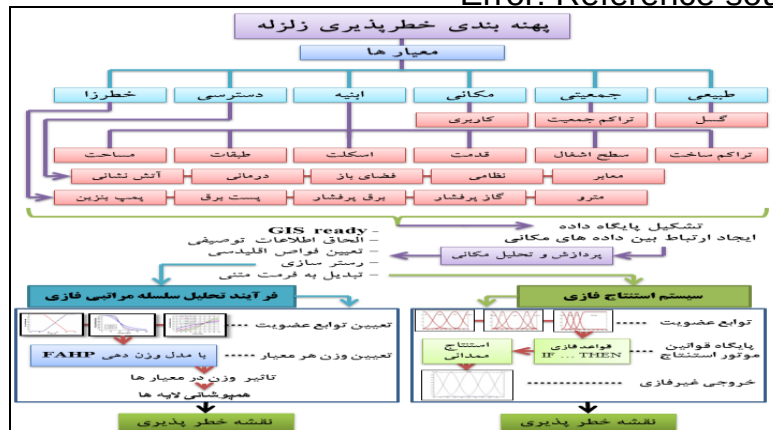
"ویژگی‌های توپوگرافی و ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه:

شهر اهواز به استثنای ارتفاعات کارون (با حداکثر ۱۰۰ متر ارتفاع) و رودخانه کارون (با حداکثر ۶ متر عمق) از خصوصیات عمومی اراضی جلگه‌ای با شیب بسیار ملایم حدود ۶۰ سانتیمتر در هر کیلومتر از شمال به جنوب تبعیت می‌کند. شهر اهواز در دو سوی رودخانه کارون یعنی در نیمه شرقی و غربی آن واقع شده است. ارتفاع بخش غربی از حداقل ۱۰ متر تا حداکثر ۲۰ متر نسبت به سطح دریا تغییر می‌کند. در بخش شرقی کارون مرتفع‌ترین قسمت آن با ۱۰۰ متر ارتفاع قرار دارد که به صورت محوری در امتداد جنوب شرقی به شمال غربی آن واقع شده است. این

ارتفاعات بخش شرقی منطقه کارون را به دو قسمت شمالی و جنوبی تقسیم کرده است. دامنه‌های شمالی این کوه دارای ۳۰ متر ارتفاع است که از ارتفاع آن بین جاده بهبهان، شهرک نفت و فرودگاه تدریجاً کاسته می‌شود و در منطقه فرودگاه به ۱۷ متر می‌رسد. در قسمت‌های مختلف شهر به علت فرسایش و شکستگی، بستر رود کارون ارتفاع کمتری نسبت به اراضی مجاور خود می‌یابد. به طور کلی به جز در موارد اندک، اختلاف سطح قابل ملاحظه‌ای نسبت به وسعت و گستردگی شهر اهواز در آن دیده نمی‌شود. شهر اهواز به طور کلی پستی و بلندی قابل ملاحظه‌ای به جز کوه کارون ندارد و عامل توپوگرافی نتوانسته است عامل شکل دهنده به شهر و یا محدود

کننده توسعه آن باشد (مهندسین مشاور فجر توسعه، ۱۳۹۱).
به دو روش سیستم استنتاج فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی فازی را نشان می‌دهد.

Error! Reference source not found.



شکل ۲- روند پهنه‌بندی به دو روش سیستم استنتاج فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی فازی

تحمل داده‌های غیردقیق فازی را به شکل مطلوبی داراست.

- منطق فازی بر مبنای تجربه مخصصان عمل می‌کند (کیا، ۱۳۹۱).

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی:

این فرایند یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است؛ زیرا این شیوه امکان فرموله کردن مسئله را به صورت سلسله‌مراتبی فراهم می‌کند و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسئله دارد. این فرایند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت می‌دهد و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها وجود دارد. در این روش، پس از تشکیل سلسله‌مراتب فازی، با توجه به میزان اهمیت هر معیار یا گزینه، یک عدد فازی به آن اختصاص می‌یابد و ماتریس‌های مقایسه زوجی برای هر سطح از سلسله‌مراتب ایجاد می‌شود که این ماتریس‌ها امکان مقایسه زوج معیارها، وزن‌دهی به معیارها و در

سیستم استنتاج فازی: منطق فازی در شرایط بی‌اطمینانی قادر است به بسیاری از مفاهیم، متغیرها و سیستم‌هایی که نادقیق و مبهم هستند، صورت‌بندی ریاضی ببخشد و زمینه را برای استدلال، استنتاج و کنترل و تصمیم‌گیری در این شرایط فراهم آورد. پر واضح است که بسیاری از تصمیمات و اقدامات در شرایط بی‌اطمینانی است و حالت‌های واضح نامبهم، بسیار نادر و کمیاب هستند (رضایی و رنجبران، ۱۳۸۸). از مهم‌ترین ویژگی‌های منطق فازی این موارد است:

- در منطق فازی، استدلال‌های دقیق به عنوان موارد مرزی استدلال‌های تقریبی تلقی می‌شوند.
- در منطق فازی هر چیزی درجه‌پذیر است و هر سیستم منطقی می‌تواند فازی شود.
- در منطق فازی، دانش، مجموعه‌ای از محدودیت‌های تغییرپذیر تعبیر می‌شود و استنتاج فرایند گسترش محدودیت‌های تغییرپذیر در نظر گرفته می‌شود (کابلی‌زاده، ۱۳۹۲).
- منطق فازی بسیار انعطاف‌پذیر است و توان

نهایت انتخاب مؤثرترین معیار را فراهم می‌آورد.

داده‌های مورد استفاده، شامل نقشه موقعیت گسل‌ها، نقشه خطوط پرفشار انتقال نیرو، نقشه خطوط پرفشار گاز، نقشه کاربری اراضی، نقشه خطوط مترو، نقشه راه‌های ارتباطی درون‌شهری، اطلاعات جمعیتی و نقشه‌های ممیزی املاک است که مؤثرترین شاخص‌ها برای یافتن محل‌های پرخطر زلزله هستند.

بحث و نتایج

۱) آماده‌سازی داده‌ها: ۱-۱) نقشه کاربری اراضی منطقه یک اهواز: این نقشه از شهرداری مرکزی اهواز تهیه و مراحل آماده‌سازی بر روی آن اعمال شد. این نقشه شامل سه دسته کاربری‌های پرخطر، با خطر متوسط و کم خطر است که بر اساس نظر کارشناسان و با توجه به مطالعات پیشین، نقشه رستر کاربری از نظر خطرپذیری تهیه شد.

۱-۲) مساحت قطعات تفکیکی: هرچه مساحت قطعات بیشتر باشد، آوار ناشی از تخریب آن کمتر خواهد بود و برعکس هرچه مساحت قطعات کمتر باشد، آسیب‌پذیری افزایش خواهد یافت. در این پژوهش، مساحت قطعات از نقشه کاربری استخراج شد.

۱-۳) تراکم جمعیتی: این شاخص به معنی جمعیت در واحد سطح و مشخص‌کننده بار جمعیتی در موقع زلزله است و با افزایش میزان این شاخص، آسیب‌پذیری ناشی از زلزله افزایش خواهد یافت. با داشتن مساحت بلوک‌ها و اطلاعات جمعیتی، تراکم جمعیتی محاسبه شد.

۱-۴) ویژگی‌های ابنیه: این شاخص از مهم‌ترین ویژگی‌های مورد استفاده در مدیریت بحران است. هرچه مقاومت و کیفیت ساختمان بهتر و بالاتر باشد، خطرپذیری زلزله کمتر خواهد بود. این ویژگی‌ها از شهرداری اهواز تهیه شد. این ویژگی‌ها شامل: نوع

اسکلت سازه، قدمت بنا، سطح اشغال، تعداد طبقات و تراکم ساختمانی است.

۱-۵) نوع اسکلت سازه: هرچه مقاوم‌سازی اسکلت ساختمان‌ها بیشتر باشد، آسیب‌پذیری ناشی از زلزله کمتر خواهد بود.

۱-۶) قدمت بنا: هرچه قدمت بنا بیشتر باشد، آسیب‌پذیری بالاتر خواهد بود (حبیبی و همکاران، ۱۳۸۷).

۱-۷) سطح اشغال: اینکه چه میزان از عرصه زیر ساخت رفته باشد، رابطه مستقیمی با آسیب‌پذیری دارد و هرچه سطح اشغال بیشتر باشد، آسیب‌پذیری بیشتر خواهد بود.

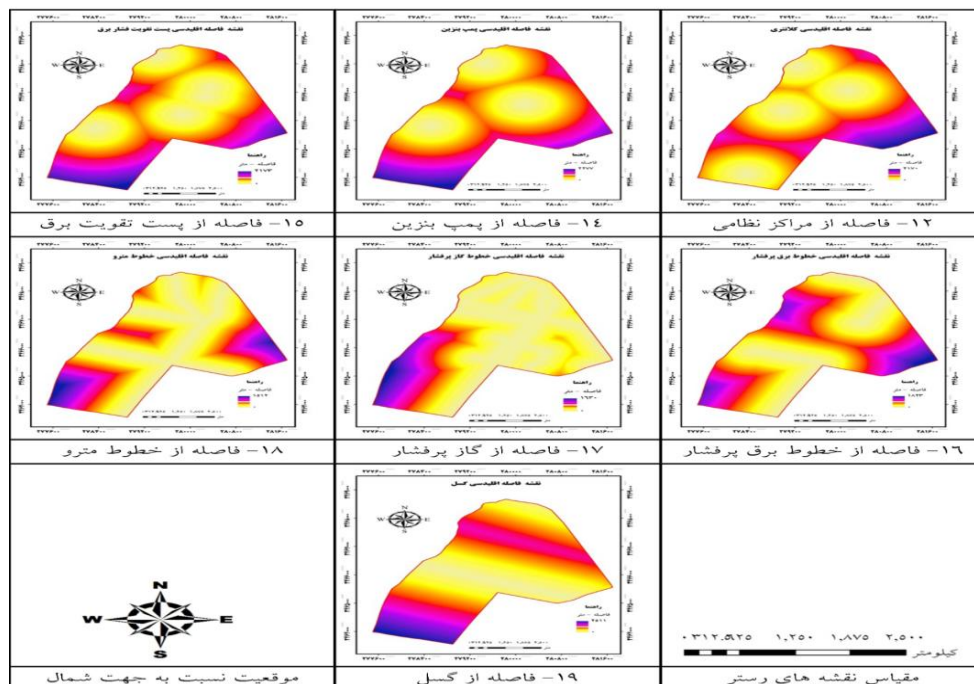
۱-۸) تعداد طبقات: هرچه ارتفاع ساختمان‌ها و به عبارتی طبقات آنها بیشتر باشد، خطرپذیری بالاتر خواهد بود (حبیبی و همکاران، ۱۳۸۷).

۱-۹) تراکم ساختمانی: نسبت سطح زیربنای ساختمان به مساحت قطعه را تراکم ساختمانی می‌گویند که هرچه تراکم ساختمانی بیشتر باشد، آسیب‌پذیری بالاتر خواهد بود.

۱-۱۰) دسترسی به معابر ارتباطی: این نقشه از سازمان حمل و نقل شهری تهیه شد که اطلاعات آن شامل سرعت حرکت، طول معبر و نوع آن است. این نقشه در ابتدا به منظور سنجش میزان دسترسی ساختمان‌ها به معابر استفاده شد. بدین منظور، به لحاظ دسترسی به معابر در زمان بحران، نقشه نهایی معابر تهیه شد. در مرحله بعد برای تعیین بهترین مسیر سرویس‌دهی سایت‌های اسکان موقت، آماده‌سازی و استفاده شد.

۱-۱۱) دسترسی به فضاهای باز: چگونگی پراکنش و الگوی فضای باز، عامل مهمی در افزایش کارایی بافت به هنگام وقوع زلزله است. در این پژوهش با استفاده از نقشه کاربری زمین انواع کاربری‌های بایر، زراعی، فضاهای سبز و زمین‌های بازی با مساحت

برق و مترو شهری است. موقعیت پمپ بنزین و پست تقویت فشار برق، از نقشه کاربری استخراج و لایه فاصله تهیه شد. خطوط مترو از سازمان حمل و نقل شهری، خطوط انتقال برق پرفشار از سازمان آب و برق و خطوط گاز پرفشار از اداره گاز شهری تهیه شد. ۱۴-۱) گسل‌ها: موقعیت گسل‌ها با استفاده از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری استخراج و با استفاده از GPS نیز به صورت زمینی صحت‌سنجی و در نهایت فاصله از آنها تعیین شد. شکل ۳ نقشه‌های رستری شده تعدادی از معیارهای به کار گرفته‌شده در پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل ۳- نقشه‌های رستری‌شده معیارهای پژوهش

بیش از یک هکتار انتخاب و میزان فاصله از آنها محاسبه شد.

۱۲-۱) دسترسی به مراکز درمانی و امداد و نجات: هرچه فاصله تا این مراکز بیشتر باشد، درمان به مخاطره خواهد افتاد (حبیبی و همکاران، ۱۳۸۷). این مراکز شامل بیمارستان‌ها، آتش‌نشانی‌ها و مراکز کلانتری است که این واحدها از نقشه کاربری اراضی استخراج و لایه فاصله تهیه شد.

۱۳-۱) تأسیسات و تجهیزات خطرزا: این عوامل از موارد مهم تشدیدکننده آسیب‌ها و تلفات و شامل پمپ بنزین، خطوط انتقال برق پرفشار، پست تقویت فشار

بدین منظور، در این بخش با استفاده از سیستم استنتاج فازی که یکی از سیستم‌های هوش محاسباتی است، پهنه‌بندی خطرپذیری زلزله صورت گرفت. برای پهنه‌بندی با توجه به نظر کارشناسی، معیارها و زیرمعیارهای زیر در نظر گرفته شده است: شاخص طبیعی (موقعیت گسل‌ها)، شاخص

۲) پهنه‌بندی خطرپذیری زلزله:

۲-۱) پهنه‌بندی خطرپذیری زلزله با استفاده از سیستم استنتاج فازی:

پژوهش حاضر به دنبال بهره‌گیری از فناوری‌های نوین در زمینه هوش محاسباتی و مقایسه نتایج به دست آمده با مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است.

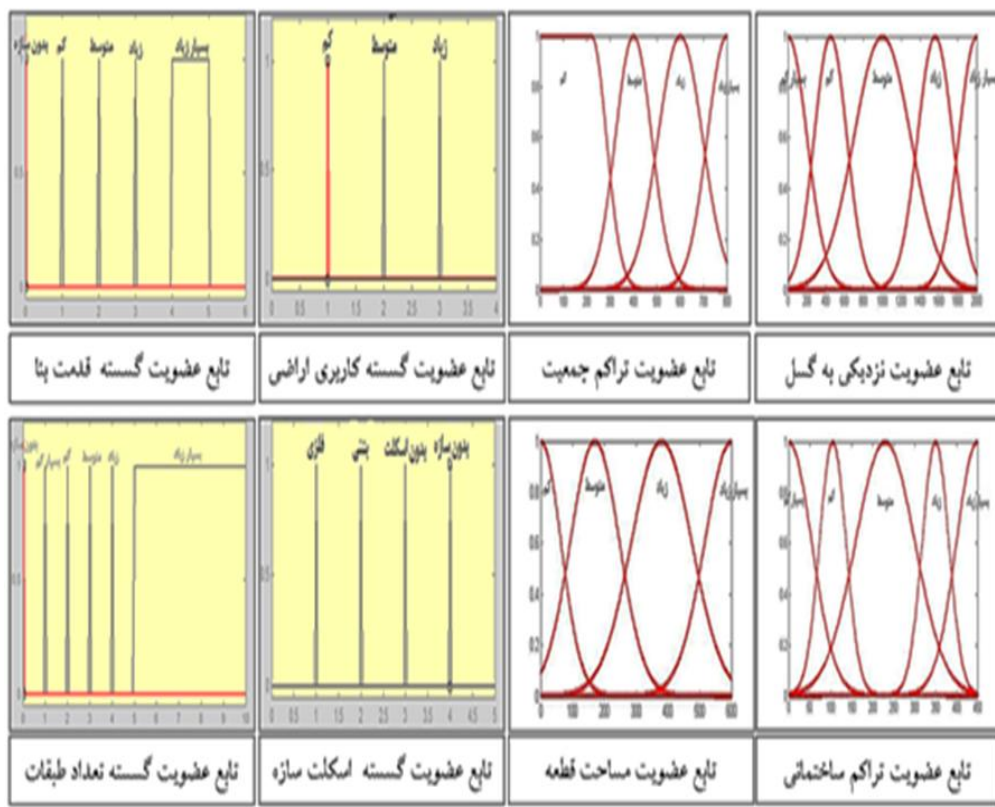
جمعیتی (تراکم جمعیت)، خصوصیات مکانی (کاربری اراضی)، شاخص‌های کالبدی ابنیه (تراکم ساختمانی، سطح اشغال، تعداد طبقات، قدمت بنا، نوع اسکلت سازه، مساحت قطعه)، شاخص‌های دسترسی به تأسیسات و مراکز حیاتی (مراکز درمانی، مراکز نظامی، آتش‌نشانی، فضاهای باز و خالی، دسترسی به معابر)، موقعیت و حریم تأسیسات خطرزا (پمپ بنزین و گاز، پست برق، خطوط انتقال برق پرفشار، خطوط انتقال گاز پرفشار، مترو)

برای ایجاد سیستم استنتاج فازی ابتدا متغیرهای زبانی و محدوده‌های استاندارد معیارها تعریف شد. سپس طبق نظر کارشناسان در مورد معیارهای مختلف تأثیرگذار در خطرپذیری زلزله، تابع عضویت فازی مناسب برای هر معیار تعریف شد. با توجه به حجم محاسبات، نوع معیارها و تعداد بازه‌های مورد نیاز

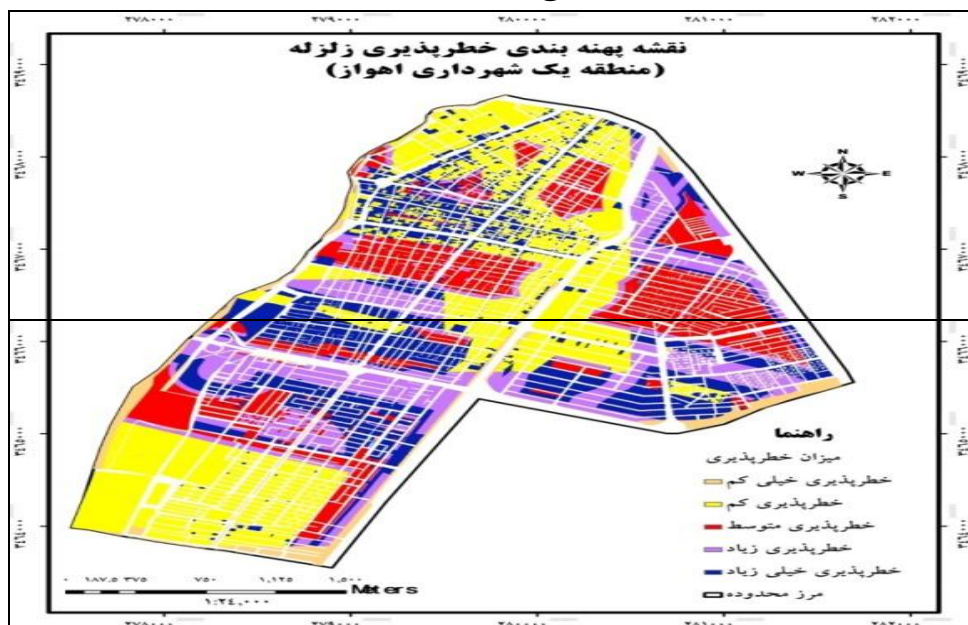
برای هر معیار به‌منظور پهنه‌بندی خطرپذیری زلزله، از دو نوع تابع عضویت گوسی و فازی گسسته استفاده شد. تابع فازی گسسته برای معیارهایی استفاده شد که ارزش ورودی آنها ناپیوسته (مانند اسکلت سازه‌های ساختمانی) است. همچنین برای سایر معیارها که ارزش پیکسلی پیوسته دارند، از تابع عضویت گوسی استفاده شد. در مرحله بعد، طبق نظر کارشناسان، قوانین مناسب برای پهنه‌بندی خطرپذیری تعریف شد. در نهایت غیرفازی‌سازی انجام و خروجی نهایی تهیه شد. جدول ۱ محدوده استاندارد و متغیرهای زبانی تعدادی از معیارها و شکل ۴ چند نمونه توابع عضویت مربوط به شاخص‌های ورودی را نشان می‌دهند. پس از اتمام فرایند سیستم استنتاج فازی خروجی نهایی در شکل ۵ نشان داده شده است.

جدول ۱- محدوده استاندارد و متغیر زبانی معیارها؛ منبع: نگارنده بر اساس نظر کارشناسان

نوع شاخص	معیارها	متغیر زبانی	توضیح
ابنیه	اسکلت سازه	بسیار کم	اسکلت فلزی کمترین خطر را دارد.
		کم	
		متوسط	
		زیاد	
		کم	افزایش فاصله باعث افزایش خطرپذیری می‌شود.
		متوسط	
دسترسی امدادی	مراکز درمانی	زیاد	
		خیلی زیاد	
		کم	
وردی‌ها	نزدیکی به پست تقویت فشار برق	کم	هرچه فاصله نزدیک‌تر باشد، خطرپذیری بیشتر است.
		متوسط	
		زیاد	
		خیلی زیاد	
		کم	هرچه فاصله نزدیک‌تر باشد، خطرپذیری بیشتر است.
		متوسط	
طبیعی	گسل	زیاد	
		خیلی زیاد	
		کم	



شکل ۴- توابع عضویت فازی معیارها



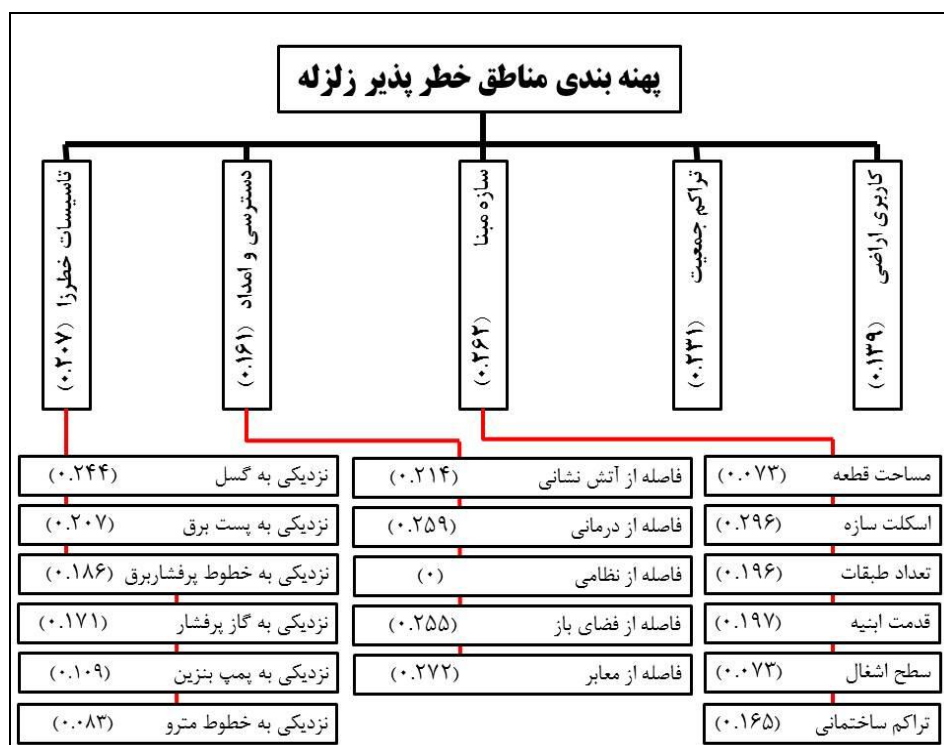
شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی خطرپذیری زلزله در منطقه یک شهرداری اهواز با استفاده از سیستم استنتاج فازی

۲-۲) پهنه‌بندی خطرپذیری زلزله با استفاده از
تحلیل سلسله‌مراتبی فازی:

در این بخش معیارها به ۵ دسته کاربری اراضی،
تراکم جمعیت، سازه مبنای، دسترسی مبنای و تأسیسات

نظر کارشناسان صورت گرفت. شکل ۶ تقسیم‌بندی معیارها و زیرمعیارها و وزن محاسبه‌شده برای هر یک و جدول ۲ نوع توابع تعریف‌شده برای هر معیار را نشان می‌دهند.

خطرزا تقسیم شدند. برای داده‌های گسسته (مانند لایه کاربری اراضی، نوع اسکلت و عمر ابنیه) با استفاده از نظر کارشناسان در محدوده صفر تا یک، هر یک از معیارها امتیازدهی شدند. وزن‌دهی معیارها نیز طبق



شکل ۶- وزن نهایی معیارها و زیرمعیارهای پهنه‌بندی خطرپذیری زلزله

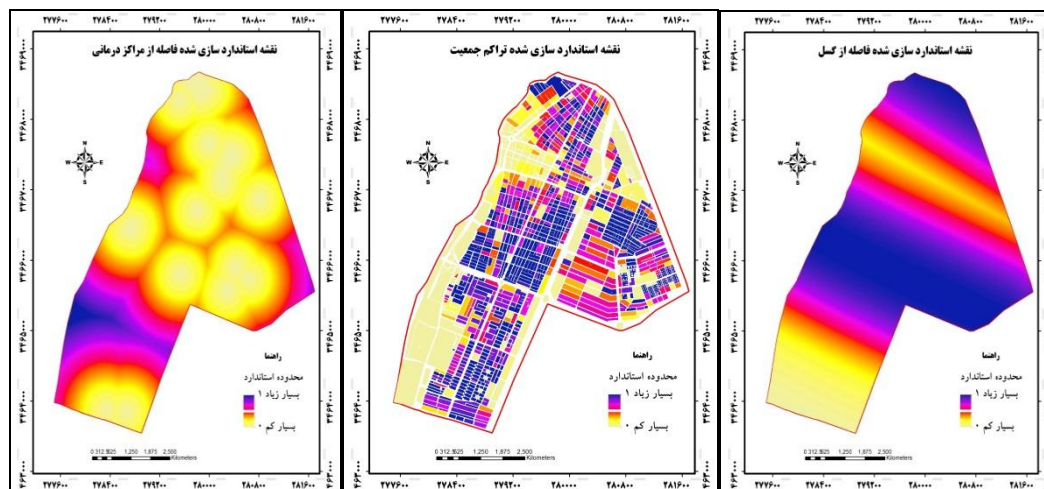
جدول ۲- توابع عضویت تعریف‌شده در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی

نوع تابع عضویت	خطوط مترو شهری	نزدیکی به گسل	نزدیکی به برق پرفشار	نزدیکی به گاز پرفشار	نزدیکی به پست برق	نزدیکی به پمپ بنزین	فاصله از معابر	فاصله از فضاهای باز	فاصله از درمانی	فاصله از آتش‌نشانی	سطح ارتفاع ابنیه	تعداد طبقات	تراکم ساختمانی	قدمت ابنیه	اسکلت سازه	تراکم جمعیتی	مساحت قطعات	کاربری اراضی
Liner افزایشی							*	*	*	*	*	*	*	*	*			
small	*	*	*	*	*	*											*	
Large															*			

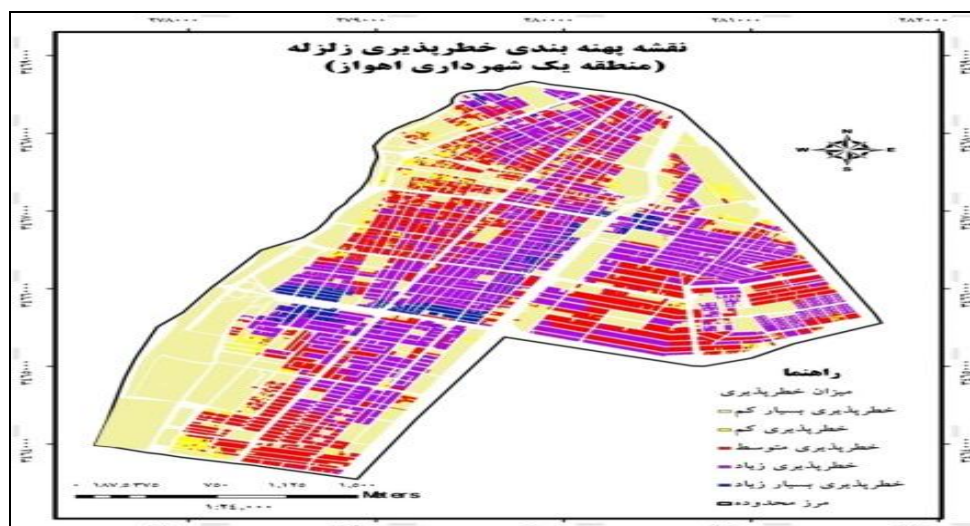
اساس توابع تعریف‌شده در جدول ۲ تهیه و در شکل

تعدادی از نقشه‌های استاندارد شده معیارها بر

۷ نشان داده شده‌اند. نقشه نهایی پهنه‌بندی خطرپذیری زلزله در شکل ۸ نمایش داده شده است.



شکل ۷- نقشه‌های استاندارد شده معیارهای پهنه‌بندی خطرپذیری زلزله



شکل ۸- پهنه‌بندی خطرپذیری زلزله با مدل تحلیل سلسله‌مراتبی فازی

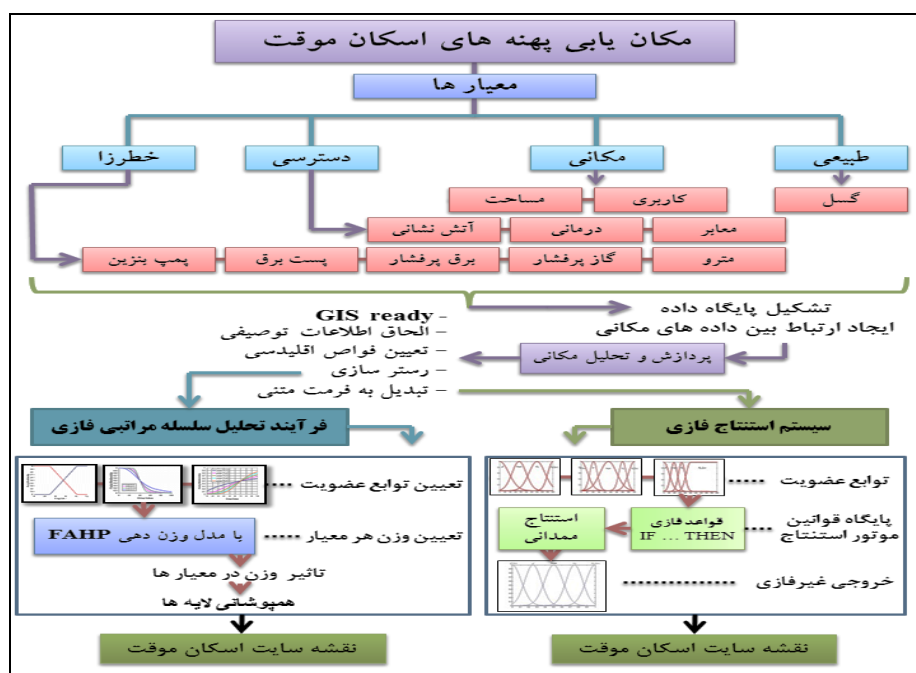
مجموع، با توجه به نتایج تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، خطرپذیری زیاد و بسیار زیاد با مجموع ۳۷٪ (۲/۸۴ کیلومترمربع) و خطرپذیری متوسط با ۱۸٪ معادل ۱/۳۹ کیلومترمربع از منطقه و در سیستم استنتاج فازی خطرپذیری بسیار زیاد، زیاد و متوسط در مجموع با ۶۰٪ معادل ۴/۴۸ کیلومترمربع از مساحت ۷/۶ کیلومتر مربع کل منطقه، نشان از خطرپذیری بودن متوسط و رو به بالای منطقه دارد. در این بین پهنه‌های

مقایسه نتایج دو روش سیستم استنتاج فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی فازی برای پهنه‌بندی خطرپذیری: با توجه به مشاهدات میدانی، نظر کارشناسان و استانداردهای آیین‌نامه‌های موجود، نتایج به سه کلاس منطق، نزدیک و دور از نظر کارشناسان دسته‌بندی شد. بر اساس نتایج به دست آمده، سیستم استنتاج فازی به میزان ۸۵٪، ولی مدل تحلیل سلسله‌مراتبی فازی تنها به میزان ۴۱٪ منطبق بر نظر کارشناسان است. در

مکانی (کاربری اراضی، مساحت قطعه)، شاخص دسترسی به تأسیسات و مراکز حیاتی (مراکز درمانی، آتش‌نشانی، دسترسی به معابر)، موقعیت و حریم تأسیسات خطرزا (پمپ بنزین و گاز، پست برق، خطوط انتقال برق پرفشار، خطوط انتقال گاز پرفشار، مترو). برای انجام این پهنه‌بندی نیز از دو روش سیستم استنتاج فازی و تحلیل سلسله‌مراتب فازی استفاده و نتایج دو روش مقایسه شد. شکل ۹، روند اجرای مکان‌یابی پهنه‌های اسکان موقت را نشان می‌دهد.

خطرپذیری بسیار کم و کم، بیشتر در اراضی بایر و زراعی منطقه هستند.

۳) مکان‌یابی پهنه‌های اسکان موقت زلزله‌زدگان: به دلیل اینکه پس از زلزله در کنار احتمال رخداد پس‌لرزه‌ها، تعدادی از مساکن نیز تخریب می‌شوند، نیاز به تعیین محل‌های امن و مقاوم برای اسکان موقت پس از بحران، امری حیاتی و حایز اهمیت فراوان است. برای تعیین پهنه‌های امن برای اسکان موقت، طبق نظر کارشناسان، معیارها و زیرمعیارهایی تعیین شد: شاخص طبیعی (موقعیت گسل‌ها)، خصوصیات

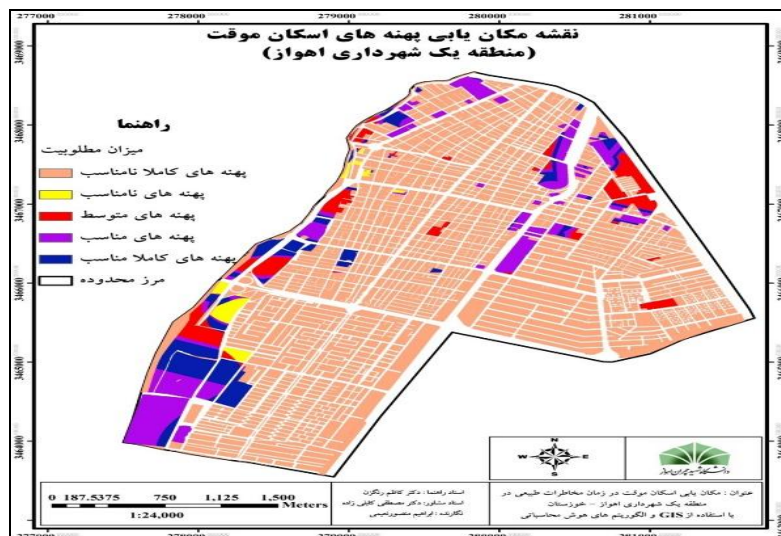


شکل ۹- روند اجرای مکان‌یابی پهنه‌های اسکان موقت

ارزش ورودی آنها ناپیوسته است. برای سایر معیارها که ارزش پیکسلی پیوسته دارند، نیز از تابع عضوی گوسی استفاده شد. در مرحله بعد طبق نظر کارشناسان، قوانین مناسب برای پهنه‌بندی مناطق امن تعریف شد. در نهایت غیرفازی‌سازی با استفاده از غیرفازی‌سازی ثقلی انجام و خروجی نهایی تهیه شد که

۱-۳) مکان‌یابی پهنه‌های اسکان موقت با استفاده از سیستم استنتاج فازی: برای انجام این کار نیز ابتدا طبق نظر کارشناسان، متغیرهای زبانی معیارها و محدوده‌های استاندارد آنها تعریف شد. سپس از دو نوع تابع عضویت گوسی و فازی گسسته استفاده شد. تابع فازی گسسته برای معیارهایی استفاده شد که

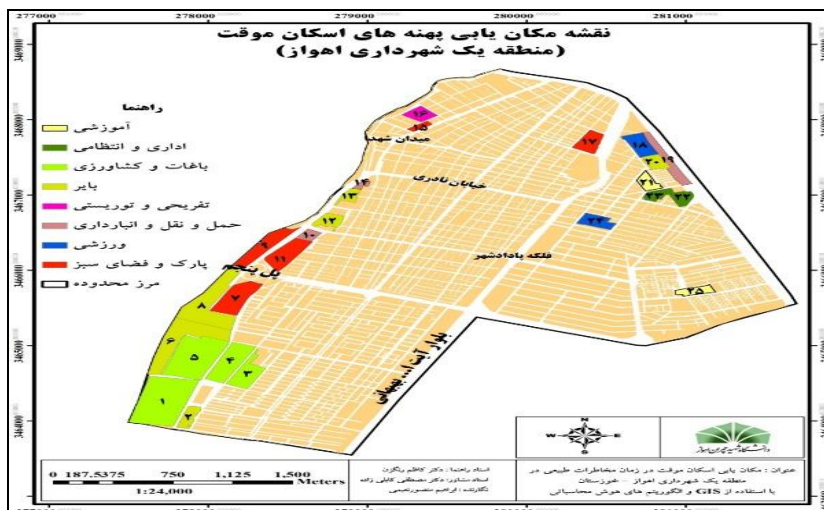
در شکل ۱۰ نمایش داده شده است.



شکل ۱۰- نقشه پهنه‌های اسکان موقت منطقه یک شهرداری اهواز

استفاده از اطلاعات و نقشه‌های موجود، ۲۵ پهنه برای اسکان موقت انتخاب شدند که نتیجه آن در شکل ۱۱ نمایش داده شده است.

همان گونه که در شکل ۱۰ دیده می‌شود، پهنه‌های شناسایی شده در ۵ کلاس کاملاً مناسب تا کاملاً نامناسب قرار گرفته‌اند. از این رو، با بازدید میدانی و با

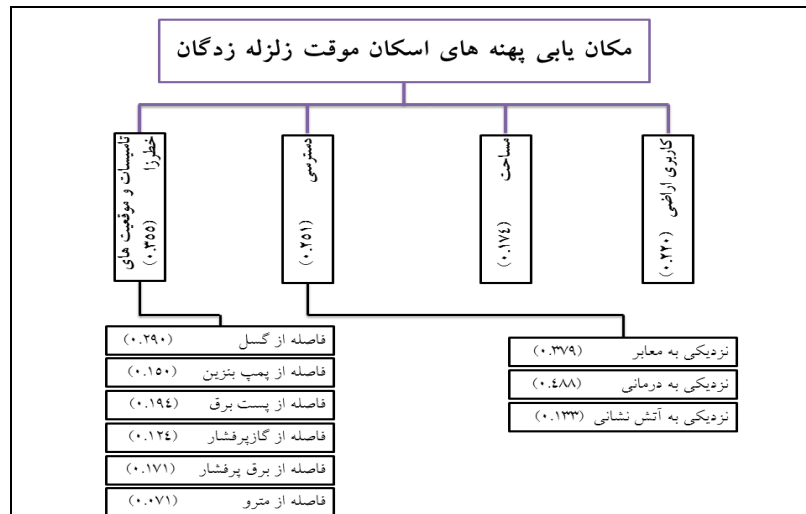


شکل ۱۱- نقشه سایت‌های اسکان موقت زلزله‌زدگان منطقه یک شهرداری اهواز

از نظر کارشناسان در محدوده صفر تا یک، هر یک از معیارها امتیازدهی شدند. وزن‌دهی معیارها نیز طبق نظر کارشناسان صورت گرفت. شکل ۱۲ تقسیم‌بندی معیارها و زیرمعیارها و وزن محاسبه شده برای هر یک

(۲-۳) مکان‌یابی پهنه‌های اسکان موقت با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی فازی: برای انجام این کار از ۱۱ معیار استفاده شد که بعد از آماده‌سازی لایه‌ها، برای داده‌های گسسته (مانند لایه کاربری اراضی) با استفاده

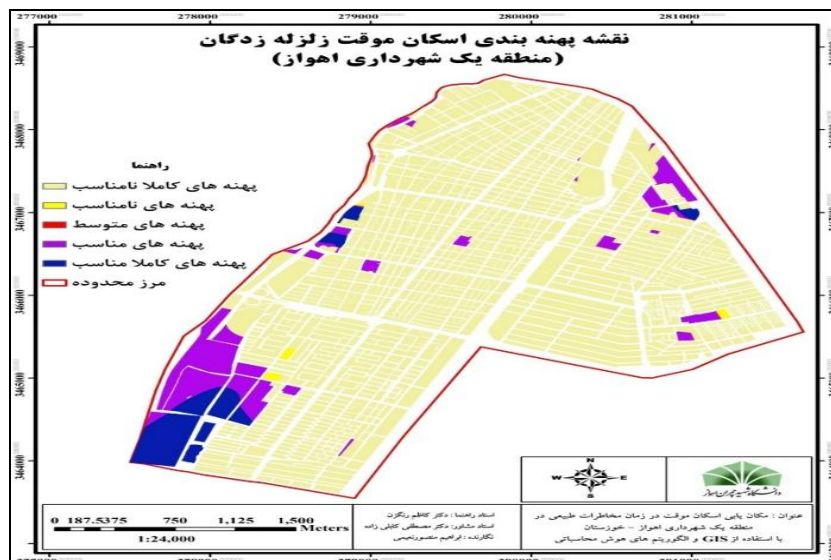
را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲- وزن معیارهای مکان‌یابی پهنه‌های اسکان موقت زلزله‌زدگان

مناسب، متوسط، نامناسب و کاملاً نامناسب (شکل ۱۳) به‌دست آمد.

در آخرین مرحله، نقشه مربوط به پهنه‌های اسکان موقت منطقه مورد مطالعه در ۵ کلاس کاملاً مناسب،



شکل ۱۳- نقشه پهنه‌های اسکان موقت زلزله‌زدگان منطقه یک شهرداری اهواز

پهنه‌های پیشنهادی با دو مدل، در مدل سیستم استنتاج فازی، تعداد ۲۵ سایت اسکان موقت به مساحت ۱۲۸۳۶۲۸ مترمربع و در مدل تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، ۱۸ پهنه اسکان موقت به مساحت ۱۰۴۳۳۳۱

مقایسه نتایج مکان‌یابی پهنه‌های اسکان موقت زلزله‌زدگان حاصل از دو روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و سیستم استنتاج فازی: بعد از بررسی مساحت‌ها و نوع کاربری‌های

مترمربع استخراج و شناسایی شدند. بیش از نیمی از پهنه‌های انتخابی در دو مدل، کاربری اراضی بایر و مزارع دارند که در جنوب، جنوب غرب و شمال شرق منطقه واقع شده‌اند. پهنه‌های پیشنهادی مدل تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، در دو کلاس کاملاً مناسب و مناسب و پهنه‌های پیشنهادی مدل سیستم استنتاج فازی، در ۴ کلاس کاملاً مناسب، مناسب، متوسط و نامناسب قرار دارند.

۴) آنالیز پیداکردن نزدیک‌ترین سایت اسکان موقت و مرکز تسهیلات: پیداکردن نزدیک‌ترین سایت اسکان موقت و پیداکردن بیمارستان از آنالیزهای مهم در آنالیز شبکه است. در این پژوهش، نخست پیداکردن نزدیک‌ترین سایت اسکان موقت و دوم پیداکردن نزدیک‌ترین بیمارستان به هر یک از سایت‌ها انجام شد.

۴-۱) پیداکردن نزدیک‌ترین سایت اسکان موقت به موقعیت حادثه با آنالیز شبکه GIS (دایجسترا): در این مرحله با مشخص کردن ۴ نقطه حادثه‌دیده به‌عنوان نمونه و موقعیت سایت‌های اسکان موقت در مدل تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و تعریف ضریب مقاومت طول مسیر برای معابر شبکه، نزدیک‌ترین سایت اسکان موقت به موقعیت هر نقطه شناسایی شد. شکل ۱۴، نقشه کوتاه‌ترین مسیر دسترسی به سایت‌های اسکان موقت را نشان می‌دهد؛ بدین ترتیب که نقشه دو مسیر پیشنهادی را نشان می‌دهد که از نظر طول، کوتاه‌ترین مسیر دسترسی به هر یک از ۴ نقطه حادثه‌دیده، خارج از محدوده اسکان موقت است. جدول ۳ طول هر مسیر را نمایش می‌دهد.

۴-۲) پیداکردن نزدیک‌ترین سایت اسکان موقت به موقعیت حادثه با الگوریتم ژنتیک: الگوریتم ژنتیک

از جمله الگوریتم‌های هوش مصنوعی است و با توجه به نظریه شکل‌گیری آن و بر خلاف الگوریتم دایجسترا از روش احتمالاتی برای یافتن بهترین مسیر استفاده می‌کند. الگوریتم ژنتیک، شیوه جست‌وجویی در علم رایانه برای یافتن راه‌حل تقریبی برای بهینه‌سازی و مسائل جست‌وجو است. الگوریتم ژنتیک، نوع خاصی از الگوریتم‌های تکامل است که از شیوه‌های زیست‌شناسی فرگشتی مانند وراثت و جهش استفاده می‌کند. در واقع الگوریتم‌های ژنتیک از اصول انتخاب طبیعی داروین برای یافتن فرمول بهینه برای پیش‌بینی یا تطبیق الگو استفاده می‌کنند. الگوریتم‌های ژنتیک اغلب گزینه خوبی برای شیوه‌های پیش‌بینی بر مبنای رگرسیون هستند. در هوش مصنوعی الگوریتم ژنتیک (یا GA) یک شیوه برنامه‌نویسی است که از تکامل ژنتیکی به عنوان یک الگوی حل مسئله استفاده می‌کند. مسئله‌ای که باید حل شود، دارای ورودی‌هایی است که طی یک فرایند الگوریتمی شده از تکامل ژنتیکی به راه‌حل‌ها تبدیل می‌شود؛ سپس راه‌حل‌ها به‌عنوان کاندیداها به وسیله تابع ارزیاب (Fitness Function)، ارزیابی می‌شوند و چنانچه شرط خروج مسئله فراهم شده باشد، الگوریتم خاتمه می‌یابد. الگوریتم ژنتیک به طور کلی، یک الگوریتم مبتنی بر تکرار است که اغلب بخش‌های آن به صورت فرایندهای تصادفی انتخاب می‌شوند.

در این بخش از پژوهش، از الگوریتم مذکور برای یافتن نزدیک‌ترین سایت اسکان موقت نسبت به موقعیت افراد آسیب‌دیده استفاده شد. با توجه به نوع شبکه‌برداری پژوهش و وسعت آن، الگوریتم ژنتیک ۵۰ بار تکرار شد. خروجی حاصل از این الگوریتم نتایجی مشابه مسیرهای پیشنهادی الگوریتم دایجسترا

را نشان می‌دهد که شکل ۱۴ نقشه کوتاه‌ترین مسیر دسترسی به دو سایت اسکان موقت را برای هر ۴ زونیک و دایجسترا نمایش می‌دهد. جدول ۳- طول مسیر، مسیرهای پیشنهادی با الگوریتم زونیک و دایجسترا

موقعیت	مسیر	دایجسترا (متر)	زونیک (متر)
موقعیت ۱	مسیر اول	۱۲۳۴,۷	۱۲۳۴,۷
	مسیر دوم	۱۶۸۴	۱۶۸۴
موقعیت ۲	مسیر اول	۱۳۹۹	۱۳۹۹
	مسیر دوم	۱۴۳۰,۲	۱۴۳۰,۲
موقعیت ۳	مسیر اول	۱۳۳۶,۵۵	۱۳۳۶,۵۵
	مسیر دوم	۱۵۴۲,۸	۱۵۴۲,۸
موقعیت ۴	مسیر اول	۱۲۳۸,۶	۱۲۳۸,۶
	مسیر دوم	۱۳۰۴,۴	۱۳۰۴,۴



شکل ۱۴- نقشه کوتاه‌ترین مسیر دسترسی به سایت‌های اسکان موقت

زونیک و دایجسترا در آنالیز شبکه GIS برای مسیریابی پهنه قابلیت استفاده در محدوده مورد نظر را دارد. ۴-۳) آنالیز یافتن نزدیک‌ترین مراکز درمانی به سایت اسکان موقت: دسترسی به مراکز درمانی به‌ویژه بیمارستان‌ها از مهم‌ترین ویژگی‌های یک مکان برای انتخاب شدن به عنوان سایت اسکان موقت است. در

نتایج حاصل از مسیریابی بین موقعیت‌های حادثه‌دیده به نزدیک‌ترین سایت‌های اسکان موقت نشان داد که مسیریابی با الگوریتم زونیک و آنالیز شبکه GIS نتایج مشابهی در پیدا کردن پهنه‌ترین مسیر شبکه معابر را دارد. با توجه به نوع شبکه معابر شهری و وسعت شبکه محدوده مورد مطالعه در دو الگوریتم

و مسیریابی شد. شکل ۱۵، نقشه نزدیکترین مسیر سایت‌های اسکان موقت به بیمارستان‌ها، موقعیت ۱۰ نقطه از سایت‌های اسکان موقت و مسیرهای شناسایی شده را نشان می‌دهد.

این بخش از پژوهش با استفاده از سایت‌های اسکان موقت حاصل از تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و نقشه موقعیت مراکز درمانی و همچنین تعریف ضریب مقاومت زمان برای معابر شبکه، نزدیک‌ترین مراکز درمانی به هر یک از سایت‌های اسکان موقت شناسایی



شکل ۱۵- نقشه نزدیک‌ترین مسیر سایت‌های اسکان موقت به بیمارستان‌ها

از نزدیک‌ترین مراکز درمانی به سایت‌های اسکان موقت بر اساس ۱۰ موقعیت انتخابی سایت‌های اسکان موقت نشان می‌دهد، مسیر اول موقعیت ۴ و ۹ با ۳۴ ثانیه تا مراکز درمانی، مسیر اول موقعیت ۷ با ۴۵ ثانیه، مسیر اول موقعیت ۶ با ۴۸ ثانیه و مسیر اول موقعیت ۱۰ با ۵۴ ثانیه در رتبه‌های اول تا چهارم سریع‌ترین دسترسی سایت‌های اسکان موقت به مراکز درمانی قرار دارند. همچنین موقعیت‌های ۹، ۶ و ۸ در هر سه مسیر با ۲ دقیقه و ۲۰ ثانیه، ۲ دقیقه و ۲۶ ثانیه و ۲ دقیقه و ۲۸ ثانیه در رتبه‌های اول تا سوم سریع‌ترین دسترسی به مراکز درمانی قرار دارند.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر تلاشی بود برای رسیدن به مدلی برای

نتایج حاصل از آنالیز شبکه معابر شهری تحت پوشش سایت‌های اسکان موقت بر اساس سایت‌های مکان‌یابی شده در سیستم استنتاج فازی نشان می‌دهد، معابر در فاصله ۵۰۰ متری $\frac{4}{7}$ کیلومترمربع و تا فاصله ۱۰۰۰ متری $\frac{5}{1}$ کیلومترمربع را پوشش می‌دهد. بر این اساس، در این مدل، تنها $\frac{0}{8}$ کیلومترمربع تحت پوشش نیستند. همچنین در مدل تحلیل سلسله‌مراتبی فازی $\frac{1}{0.6}$ کیلومترمربع خارج از پوشش شبکه دسترسی به سایت‌های اسکان موقت است و در فاصله ۵۰۰ متری $\frac{3}{4}$ کیلومترمربع و در فاصله ۱۰۰۰ متری معادل ۶ کیلومترمربع تحت پوشش خواهند بود. نتایج نشان می‌دهد که محدوده خارج از پوشش در هر دو مدل شامل محدوده جنوب شرقی منطقه است که نزدیک به ۹۰٪ همپوشانی فضایی دارد. نتایج حاصل

منابع

ابویی‌اشکذری، ع، (۱۳۹۱). مدیریت بحران زلزله با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) - نمونه موردی: شهریزد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، با راهنمایی دکتر کاظم رنگزن، دانشگاه شهید چمران اهواز پیشگاهی فرد؛ ز و اقبالی، ن و فرجی راد، ع و بیگ بابایی، بشیر، (۱۳۹۱). مدل‌سازی تعیین مناطق خطر پذیر با استفاده از مدل AHP در محیط GIS جهت مدیریت بحران شهری - مطالعه موردی: منطقه ۸ شهرداری تبریز، فصلنامه علمی - پژوهشی فضای جغرافیایی، سال دوازدهم، شماره ۳۷.

حبیبی، ک و پوراحمد، ا و مشکینی، ا و عسگری، ع و نظری عدلی، س، (۱۳۸۷). تعیین عوامل سازه‌ای مؤثر در آسیب‌پذیری بافت کهن شهری زنجان با استفاده از GIS و Fuzzy Logic، نشریه هنرهای زیبا، شماره ۳۳.

رضایی، ع و رنجبران، س، (۱۳۸۸). آموزش کاربردی الگوریتم ژنتیک و فازی در نرم‌افزار متلب، انتشارات کتاب پدیده.

کابلی‌زاده، م، (۱۳۹۲). بازسازی سه‌بعدی اتوماتیک ساختمان در مناطق شهری با استفاده از منطق فازی و منحنی‌های فعال هندسی، رساله دکتری گرایش فتوگرامتری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

کیا، م، (۱۳۹۱). محاسبات نرم در متلب، انتشارات دانشگاهی کیان (کیان‌رایانه سبز).

گیوه چی، س و عطار، م. (۱۳۹۱). کاربرد مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در مکان‌یابی اسکان موقت پس از زلزله - مطالعه موردی: منطقه ۶ شیراز، دوفصلنامه علمی پژوهشی مدیریت بحران، شماره ۲.

مهندسین مشاور فجر توسعه. (۱۳۹۱). مطالعات بافت فرسوده و توانمند سازی محلات شهر اهواز «لشکر آباد، کوی علوی، کوی سیاحی».

کاهش آسیب‌پذیری ناشی از زلزله با به‌کارگیری فناوری‌های نوینی همچون الگوریتم‌های هوش مصنوعی و GIS.

در این مقاله دو مدل سیستم استنتاج فازی و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی برای پهنه‌بندی خطرپذیری زلزله و تعیین مناطق امن برای اسکان موقت در منطقه یک شهرداری کلان‌شهر اهواز استفاده شدند. برای اجرای دو مدل داده‌های مؤثر بر خطرپذیری زلزله و تعیین مناطق امن گردآوری و استفاده شدند. معماری بهینه سیستم استنتاج فازی، به‌کارگیری دو نوع تابع عضویت گوسی و فازی گسسته بود. تابع فازی گسسته برای معیارهایی استفاده شد که ارزش ورودی آنها ناپیوسته است (مانند اسکلت سازه‌های ساختمانی). همچنین برای سایر معیارها که ارزش پیکسلی پیوسته دارند، از تابع عضویت گوسی استفاده شد. در مرحله دوم کار، مدل تحلیل سلسله‌مراتبی فازی با استفاده از همان داده‌های ورودی مدل قبل، به‌عنوان ورودی و خروجی‌های مدل اجرا شد. نتایج نشان داد، مدل سیستم استنتاج فازی در زمینه پهنه‌بندی خطرپذیری زلزله به میزان ۸۵٪ ولی مدل تحلیل سلسله‌مراتبی فازی تنها به میزان ۴۱٪ منطبق بر نظر کارشناسان است. در خصوص تعیین محل‌های امن برای اسکان موقت پس از زلزله، بعد از بررسی مساحت‌ها و نوع کاربری‌های پهنه‌های پیشنهادی دو مدل، در مدل سیستم استنتاج فازی تعداد ۲۵ سایت اسکان موقت و در مدل تحلیل سلسله‌مراتبی فازی ۱۸ پهنه اسکان موقت استخراج و شناسایی شدند. همچنین، در زمینه مسیریابی نیز نتایج نشان داد، برای محدوده مورد مطالعه، هر دو مدل الگوریتم ژنتیک و دایجسترا مناسب و قابل به‌کارگیری هستند.

- Bhatti, A., (2005). "Earthquake Relief and Recovery". Rural Development Policy Institue. Avalilable at www.Springerlink.com
- Garcia-Magarino, I., Gutierrez, C., (2013). "Agent-oriented modeling and development of a system for crisis management", contents lists available at Sciverse ScienceDirect, Expert Systems with Applications. 40. journal homepage: www.elsevier.com/locate/eswa.
- Gibson, G., (1997). "An Introduction to Seismology." Disaster Prevention & management, MCB University Press, vol. 6.
- Hany Abulnour, A., (2013). "The post-disaster temporary dwelling: Fundamentals of provision, design and construction". Housing and Building National Research Center, HBRC Journal, <http://dx.doi.org/10.1016/j.hbrcj.2013.06.001>, 1-15.
- Tudes, S. and Yigiter, N., (2010). Preparation of land use planning model using GIS based on AHP. Case study Adna-Turkey. Bull Eng. Geology Environment. Vol 69. P 235-245.
- Qiang, W., Siyuan, Y., Xiong, W., and Peipei, C. (2004). Risk assessment of earth fractures by constructing an intrinsic vulnerability map, a specific vulnerability map, and a hazard map, using Yuci City, Shanxi, China as an example. Environment geology. Vol 46. P 104-112