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)

***D. Karimi**

****M. Kabolizadeh**

*****K. Rangzan**

******E. Mansour Naeemi**

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 II S in district oee of vvv az metropolita city. For tii s rrr oose, the most imoortant3aata. has been collected and used to locate high-risk as well as secure areas and also identifying the optimal routs to reach safe areas. Based on the results, Fuzzy Inference System shows 85% hh ereas,. the . zzzy ii erarcii cal anayysis eiii bits %%%arr eement with expert s choice. Tii s 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.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

Keywords: Fuzzy Inference; Fuzzy Hierarchical Analysis; Genetic Algorithm; Dijkstra Algorithm, Zoning, Optimal Routing

جغرافیـــا و برنامـــه‌ریـــزی محیطـــی
سـال ۲۷، پیـاپی ٦۳، شـماره ۳، پـاییز ۱۳۹۵

پهنه‌بندی خطرپذیری زلزله و مکان‌یابی مناطق امن در زمان مخاطرات طبیعی با استفاده الگوریتم‌های هوش مصنوعی و GIS (مطالعهٔ موردی: منطقه یک شهرداری کلان‌شهر اهواز)

کاظم 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
دانیا کریمی: دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران
ابراهیم منصورنعیمی: دانش آموخته کارشناسی گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران

وصـول: ۱۳۹٤/۹/۱۹ پـذیرش: ۱۳۹۵/۲/۵ ، صص ٦٦- ٤۹

چکیده

با توجه به اینکه مکان‌گزینی برای اسکان موقت پس از بروز سانحهٔ زلزله را سازمان امدادرسانی بدون درنظرگرفتن استانداردهای لازم انجام می‌دهد؛ ازاین‌رو، این کار با مشکلات زیادی به‌ویژه در کلان‌شهرها همراه خواهد بود. برای پیشگیری از وقوع مشکلات و برای داشتن برنامهٔ 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. به‌همین 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 به‌میزان ٤۱٪ 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 زمینهٔ مسیریابی نتایج نشان داد، برای محدودهٔ 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

***نویسنده مسؤول:** kazem.rangzan@scu.ac.ir

مقدمه

سرعت شهرنشینی در شهرهای کشورهای در حال توسعه منجر شده است تا نصف جمعیت جهان در حال حاظر 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 منطقهٔ خطر است. به‌همین دلیل شناسایی قبلی و برنامه‌ریزی در شناسایی پهنه‌های خطرپذیر، مناطق امن و همچنین مسیریابی بهنیه برای رسیدن به سایت‌های اسکان موقت لازم و ضروری است. با توجه به اینکه مکان‌گزینی برای اسکان موقت پس از بروز سانحهٔ زلزله را سازمان امدادرسانی بدون درنظرگرفتن استانداردهای لازم انجام می‌دهد؛ از این‌رو، این کار مشکلات زیادی را به‌ویژه در کلان‌شهرها به‌همراه خواهد داشت. برای پیشگیری از وقوع مشکلات و داشتن برنامهٔ 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 (گیوه‌چی و عطار، ۱۳۹۱). از جمله مطالعات صورت گرفته در خصوص بحرانهای طبیعی همچون زلزله در مناطق شهری می توان 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، ساختمان-های 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 صورت‌گرفته در این زمینه عبارت‌اند از: پژوهش ابوئی اشکذری در سال ۱۳۹۱ که در پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد با عنوان مدیریت بحران زلزله با استفاده از GIS در یزد به‌وسیلهٔ تحلیل شبکه و منطق فازی، اقدام به محاسبهٔ میزان آسیب‌پذیری معیارها در هر یک از قطعات محدودهٔ 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 ۲۰۰٤ اقدام به تهیهٔ نقشهٔ 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 رابطهٔ 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 بهینه 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 مقایسهٔ نتایج دو روش است.

داده‌ها و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی خوزستان و اهواز: استان خوزستان

بـــا مســـاحتی معـــادل ٦٤٧٤٦ کیلـــومتر مربـــع در جنوب‌غرب ایران واقع شده است. این اسـتان بـین ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ٤ دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ٤٧ درجه و ۳۹ دقیقـه ۵۰ درجـه و ۳۹ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قـرار گرفتـه است. بر اساس آخرین تقسیمات کشوری سال ۱۳۹۱، این استان شامل ۲۷ شهرسـتان، ٦٧ بخـش و ٧٦ شـهر ١٤٤ دهستان است. جمعیت آن در سال ۱۳۹۰ معـادل ٤٥٣١٧٢٠ نفر بوده است. کلان‌شهر اهواز مرکز اسـتان خوزستان در موقعیت جغرافیایی بـین ۳۱ درجـه و ۱۳ دقیقـه تـا ۳۱ درجـه و ۳۳ دقیقـه عـرض شـمالی و ٤٨ درجه و ۳۲ دقیقه تا ٤٨ درجه و ٤٧ دقیقه طـول شـرقی با ارتفاع متوسط ۱۸ متر از سطح دریا واقع شـده اسـت. وسعت محدودهٔ قانونی شهر معادل ۲۲۲ کیلومتر مربع و وسعت محدودهٔ خدماتی شهر معادل ۳۰۰ کیلومتر مربـع بوده است که رودخانهٔ کارون آن را به دو بخش شـرقی و غربی تقسیم می‌کند. جمعیت این شهر نیز در آخـرین سرشماری (۱۳۹۰) معادل ۱۱۲۲۰۲۱ نفر بوده است.

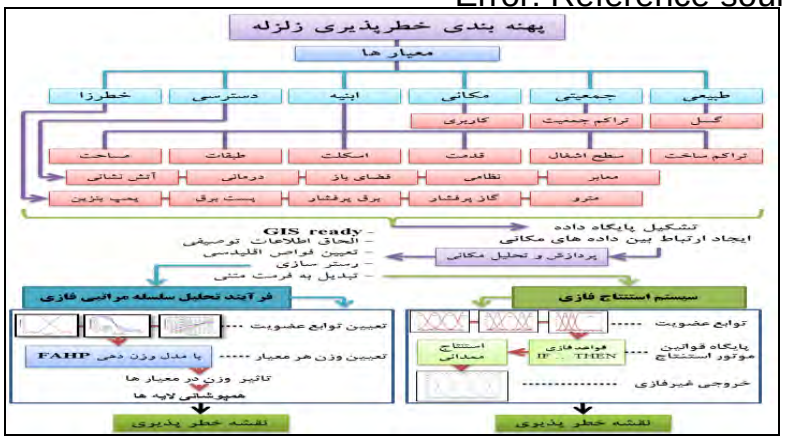
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه

"ویژگی های توپـوگرافی و ژئومورفولـوژی منطقـه مورد مطالعه:

شهر اهواز به استثنای ارتفاعات کارون (با حداکثر ۱۰۰ متر ارتفاع) و رودخانه کارون (با حداکثر ٦ متر عمـق) از خصوصیات عمومی اراضی جلگه‌ای با شیب بسـیار ملایم حدود ٦۰ سانتیمتر در هر کیلـومتر از شـمال بـه جنوب تبعیت می‌کند. شهر اهواز در دو سوی رودخانه کارون یعنی در نیمـه شـرقی و غربـی آن واقـع شـده است. ارتفاع بخش غربی از حداقل ۱۰ متر تا حـداکثر ۲۰ متر نسبت به سطح دریا تغییـر مـی‌کنـد. در بخـش شرقی کارون مرتفع ترین قسمت آن با ۱۰۰ متر ارتفاع قرار دارد که بـه صـورت محـوری در امتـداد جنـوب شـرقی بـه شـمال غربـی آن واقـع شـده اسـت. ایـن ارتفاعات بخش شرقی منطقه کارون را بـه دو قسـمت شمالی و جنوبی تقسیم کرده است. دامنه‌هـای شـمالی این کوه دارای ۳۰ متر ارتفاع است که از ارتفاع آن بین جاده بهبهان، شهرک نفت و فرودگاه تدریجاً کاسته می شود و در منطقـه فرودگـاه بـه ۱۷ متـر مـی رسـد. در قسـمت‌هـای مختلـف شـهر بـه علـت فرسـایش و شکستگی، بستر رود کارون ارتفاع کمتـری نسـبت بـه اراضی مجاور خود می‌یابد. به طـور کلـی بـه جـز در موارد انـدک، اختلاف سطح قابـل ملاحظـه‌ای نسـبت به وسعت و گستردگی شهر اهـواز در آن دیـده نمـی شود. شهر اهواز به طـور کلـی پسـتی و بلنـدی قابـل ملاحظه‌ای به جز کوه کارون ندارد و عامل توپـوگرافی نتوانسته است عامل شکل دهنده به شهر و یـا محـدود

کننـده توسـعه آن باشـد (مهندسـین مشـاور فجـر توسعه،۱۳۹۱)."

Error! Reference source not found.



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

سیسـتم اسـتنتاج فـازی: منطـق فـازی در شـرایط بی‌اطمینانی قادر است به بسیاری از مفـاهیم، متغیرهـا و سیستم‌هایی که نـادقیق و مـبهم هسـتند، صـورت‌بنـدی ریاضی ببخشـد و زمینـه را بـرای اسـتدلال، اسـتنتاج و کنترل و تصمیم‌گیری در ایـن شـرایط فـراهم آورد. پـر واضح است کـه بسـیاری از تصـمیمات و اقـدامات در شرایط بی‌اطمینانی است و حالت‌هـای واضـح نـامبهم، بسیار نادر و کمیاب هستند (رضایی و رنجبران، ۱۳۸۸).

از مهم‌ترین ویژگـی‌هـای منطـق فـازی ایـن مـوارد است:

- در منطق فازی، استدلال‌های دقیق به‌عنوان مـوارد مرزی استدلال‌های تقریبی تلقی می‌شوند.
- در منطق فازی هر چیزی درجه‌پذیر اسـت و هـر سیستم منطقی می‌تواند فازی شود.
- در منطـــق فـــازی، دانـــش، مجموعـــه‌ای از محدودیت‌های تغییرپـذیر تعبیـر مـی‌شـود و اسـتنتاج، فرایند گسترش محدودیت‌های تغییرپذیر درنظر گرفتـه می‌شود (کابلی‌زاده،۱۳۹۲).
- منطق فازی بسـیار انعطـاف‌پـذیر اسـت و تـوان تحمل داده‌های غیردقیـق فـازی را بـه‌شـکل مطلـوبی داراست.
- منطـق فـازی برمبنـای تجربـهٔ مخصصـان عمـل می‌کند (کیا،۱۳۹۱).

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی:

این فرایند یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی‌شـده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است؛ زیرا این شـیوه امکـان فرمولـه‌کـردن مسـئله را بـه‌صـورت سلسـله‌مراتبـی فـراهم مـی‌کنـد و همچنـین امکـان درنظرگرفتن معیارهـای مختلـف کمّـی و کیفـی را در مسـئله دارد. ایـن فراینـد گزینـه‌هـای مختلـف را در تصمیم‌گیری دخالت می‌دهد و امکان تحلیـل حساسـیت روی معیارهـا و زیرمعیارهـا وجـود دارد. در ایـن روش، پس از تشکیل سلسله‌مراتب فـازی، بـا توجـه بـه میـزان اهمیـت هـر معیـار یـا گزینـه، یـک عـدد فـازی بـه آن اختصاص می‌یابد و ماتریس‌های مقایسهٔ زوجی برای هـر سطح از سلسله‌مراتب ایجاد می‌شود که ایـن مـاتریس‌هـا امکان مقایسهٔ زوج معیارهـا، وزن‌دهـی بـه معیارهـا و در

نهایت انتخاب مؤثرترین معیار را فراهم می‌آورد.

داده‌های مورد استفاده، شامل نقشهٔ موقعیت گسل‌ها، نقشهٔ خطوط پرفشار انتقال نیرو، نقشهٔ خطوط پرفشار گاز، نقشهٔ کاربری اراضی، نقشهٔ خطوط مترو، نقشهٔ 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) نقشهٔ کاربری اراضی منطقه یک اهواز: این نقشه از شهرداری مرکزی اهواز تهیه و مراحل آماده‌سازی بر روی آن اعمال شد. این نقشه شامل سه‌دسته کاربری‌های پرخطر، با خطر متوسط و کم‌خطر است که بر اساس نظر کارشناسان و با توجه به مطالعات پیشین، نقشهٔ رستر کاربری از نظر خطرپذیری تهیه شد.

۲-۱) 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 نقشهٔ کاربری استخراج شد.

۳-۱) تراکم جمعیتی: این شاخص به معنی جمعیت در واحد سطح و مشخص‌کنندهٔ 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.

٤-۱) 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.

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

٦-۱) قدمت بنا: هرچه قدمت بنا بیشتر باشد، آسیب‌پذیری بالاتر خواهد بود (حبیبی و همکاران، ۱۳۸۷).

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

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

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

۱۰-۱) 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 به‌منظور سنجش میزان دسترسی ساختمان‌ها به معابر استفاده شد. بدین‌منظور، به‌لحاظ دسترسی به معابر در زمان بحران، نقشهٔ نهایی معابر تهیه شد. در مرحلهٔ بعد برای تعیین بهترین مسیر سرویس‌دهی سایت‌های اسکان موقت، آماده‌سازی و استفاده شد.

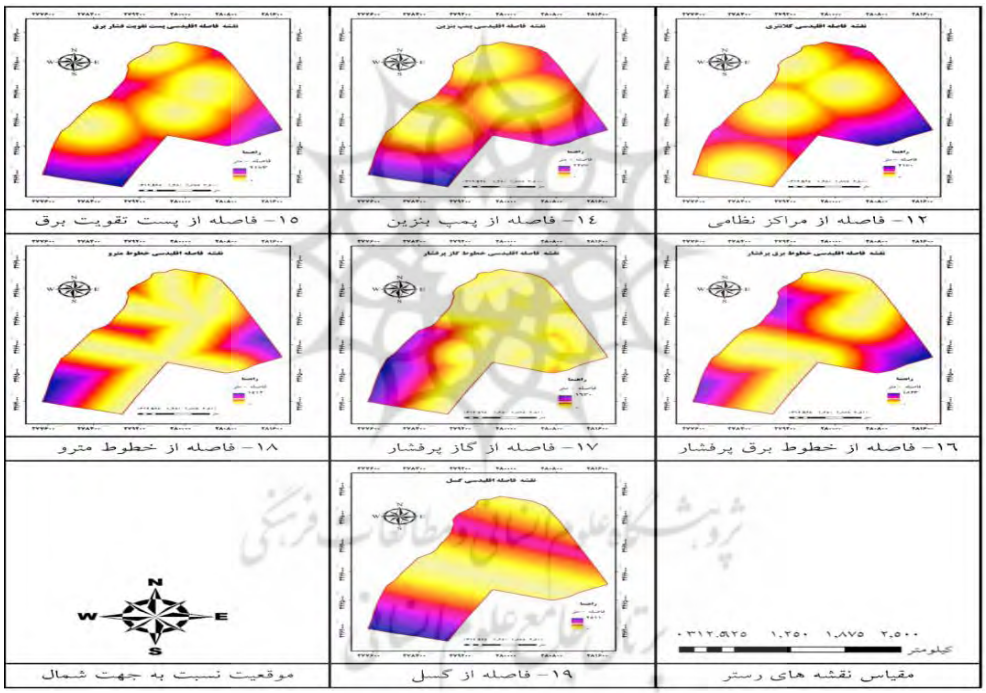
۱۱-۱) دسترسی به فضاهای باز: چگونگی پراکنش و الگوی فضای باز، عامل مهمی در افزایش کارایی بافت به هنگام وقوع زلزله است. در این پژوهش با استفاده از نقشهٔ کاربری زمین انواع کاربری‌های بایر، زراعی، فضاهای سبز و زمین‌های بازی با مساحت

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 نقشهٔ کاربری اراضی استخراج و لایهٔ فاصله تهیه شد.

۱۳-۱) تأسیسات و تجهیزات خطرزا: این عوامل از موارد مهم تشدیدکنندهٔ آسیب‌ها و تلفات و شامل پمپ بنزین، خطوط انتقال برق پرفشار، پست تقویت فشار برق و مترو شهری است. موقعیت پمپ بنزین و پست تقویت فشار برق، از نقشهٔ کاربری استخراج و لایهٔ 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 ادارهٔ گاز شهری تهیه شد.

۱۴-۱) گسل‌ها: موقعیت گسل‌ها با استفاده از نقشهٔ ۱/۱۰۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری استخراج و با استفاده از GPS نیز به‌صورت زمینی صحت‌سنجی و در نهایت فاصله از آنها تعیین شد. شکل ۳ نقشه‌های رستری‌شده تعدادی از معیارهای به‌کار گرفته‌شده در پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل ۳- نقشه‌های رسترسازی‌شده معیارهای پژوهش

۲) پهنه‌بندی خطرپذیری زلزله:

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

پژوهش حاضر به‌دنبال بهره‌گیری از فناوری های نوین در زمینهٔ هوش محاسباتی و مقایسهٔ نتایج به‌دست‌آمده با مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است. بدین‌منظور، 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:

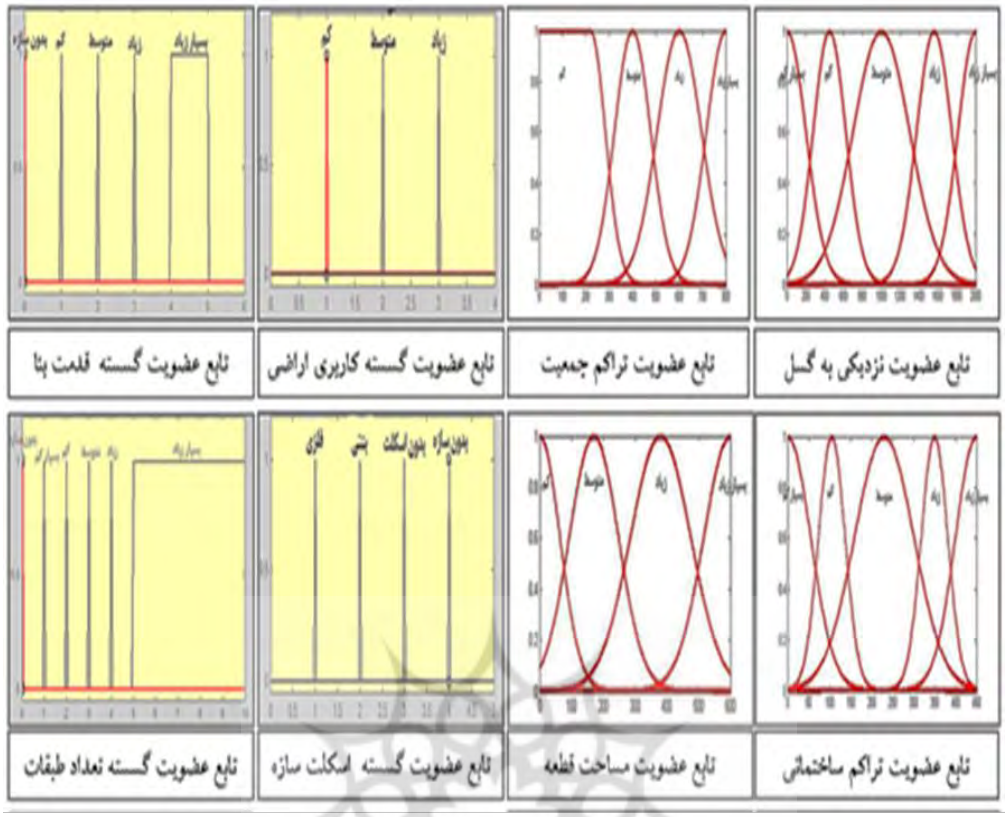
شاخص طبیعی (موقعیت گسل‌ها)، شاخص

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)

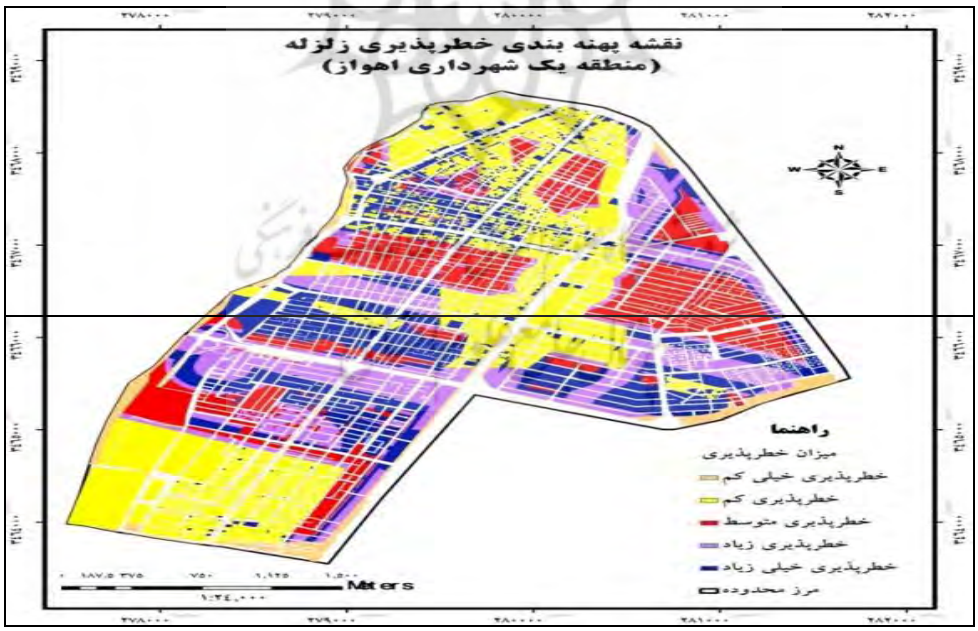
برای ایجاد سیستم استنتاج فازی ابتدا متغیرهای زبانی و محدوده‌های استاندارد معیارها تعریف شد. سپس طبق نظر کارشناسان در مورد معیارهای مختلف تأثیرگذار در خطرپذیری زلزله، تابع عضویت فازی مناسب برای هر معیار تعریف شد. با توجه به حجم محاسبات، نوع معیارها و تعداد بازه‌های مورد نیاز برای هر معیار به‌منظور پهنه‌بندی 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 عضوی گوسی استفاده شد. در مرحلهٔ بعد، طبق نظر کارشناسان، قوانین مناسب برای پهنه‌بندی خطرپذیری تعریف شد. در نهایت غیرفازی‌سازی انجام و خروجی نهایی تهیه شد. جدول ۱ محدودهٔ استاندارد و متغیرهای زبانی تعدادی از معیارها و شکل ٤ 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- محدودهٔ استاندارد و متغیر زبانی معیارها؛ منبع: نگارنده بر اساس نظر کارشناسان

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



شکل ٤- توابع عضویت فازی معیارها

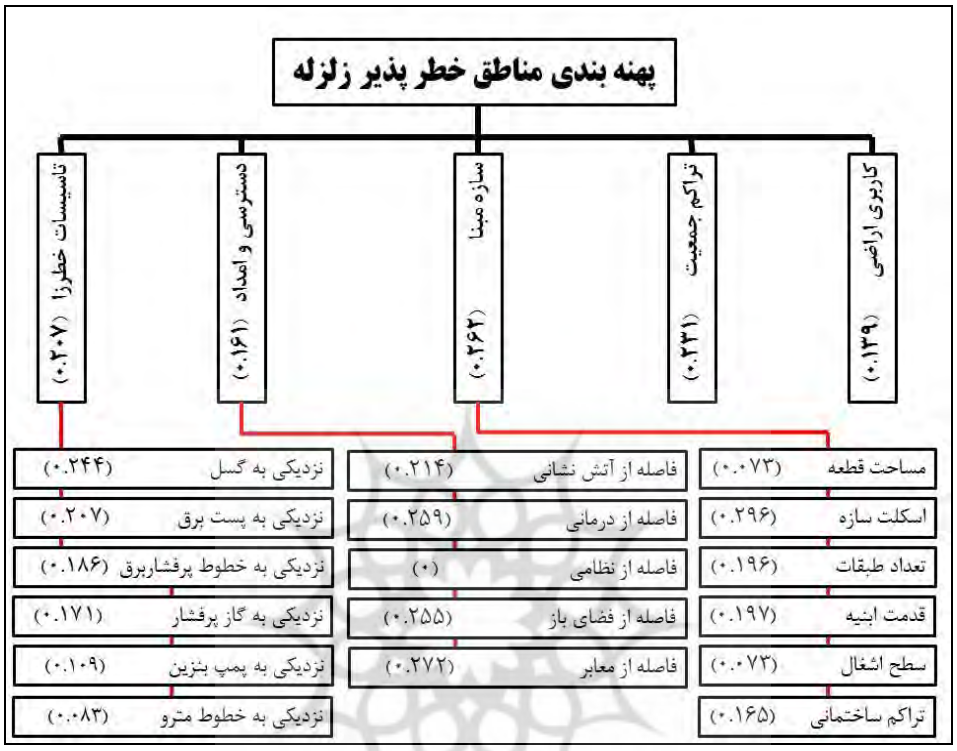


شکل ۵- نقشهٔ پهنه‌بندی خطرپذیری زلزله در منطقه یک شهرداری اهواز با استفاده از سیستم استنتاج فازی

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

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

خطرزا تقسیم شدند. برای داده‌های گسسته (مانند لایهٔ 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 نظر کارشناسان صورت گرفت. شکل٦ تقسیم‌بندی معیارها و زیرمعیارها و وزن محاسبه‌شده برای هر یک و جدول ۲ نوع توابع تعریف‌شده برای هر معیار را نشان می‌دهند.



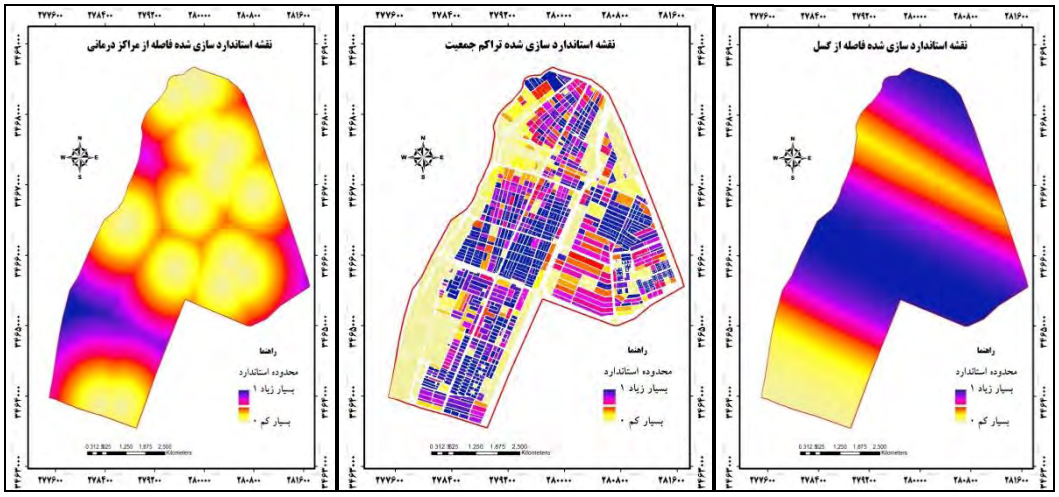
شکل ٦- وزن نهایی معیارها و زیرمعیارهای پهنه‌بندی خطرپذیری زلزله

جدول ۲- توابع عضویت تعریف‌شده در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی

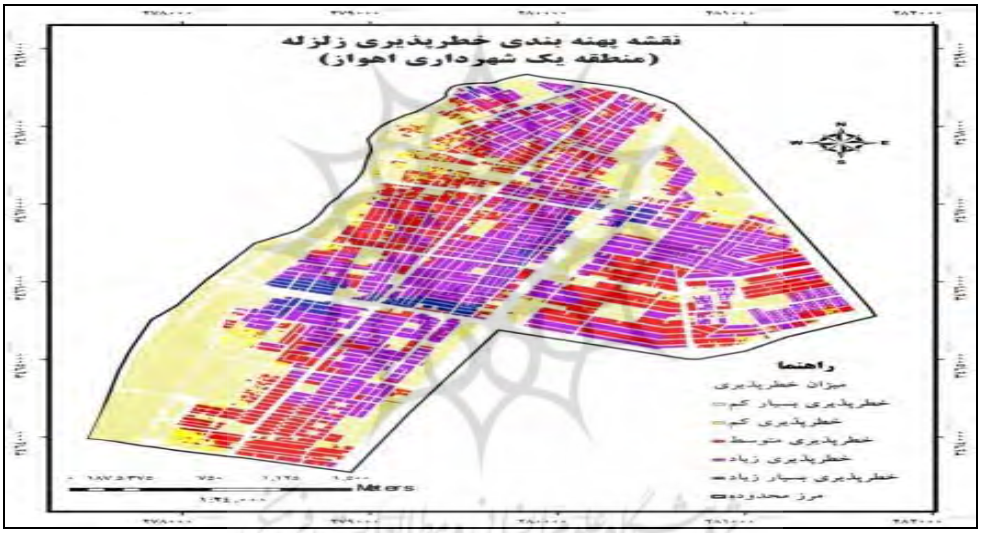
نوع تابع عضویت	کاربری اراضی	مساحت قطعات	تراکم جمعیتی	اسکلت سازه	قدمت ابنیه	تراکم ساختمانی	تعداد طبقات	سطح اشغال ابنیه	فاصله از آتش نشانی	فاصله از درمانی	فاصله از فضاهای باز	فاصله از معابر	نزدیکی به پمپ بنزین	نزدیکی به پست برق	نزدیکی به گاز پرفشار	نزدیکی به برق پرفشار	نزدیکی به گسل	خطوط مترو شهری
افزایشی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

تعدادی از نقشه های استانداردشده معیارها بر اساس توابع تعریف‌شده در جدول ۲ تهیه و در شکل

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



شکل ۷- نقشه‌های استانداردشده معیارهای پهنه‌بندی خطرپذیری زلزله



شکل ۸- پهنه‌بندی خطرپذیری زلزله با مدل تحلیل سلسله‌مراتبی فازی

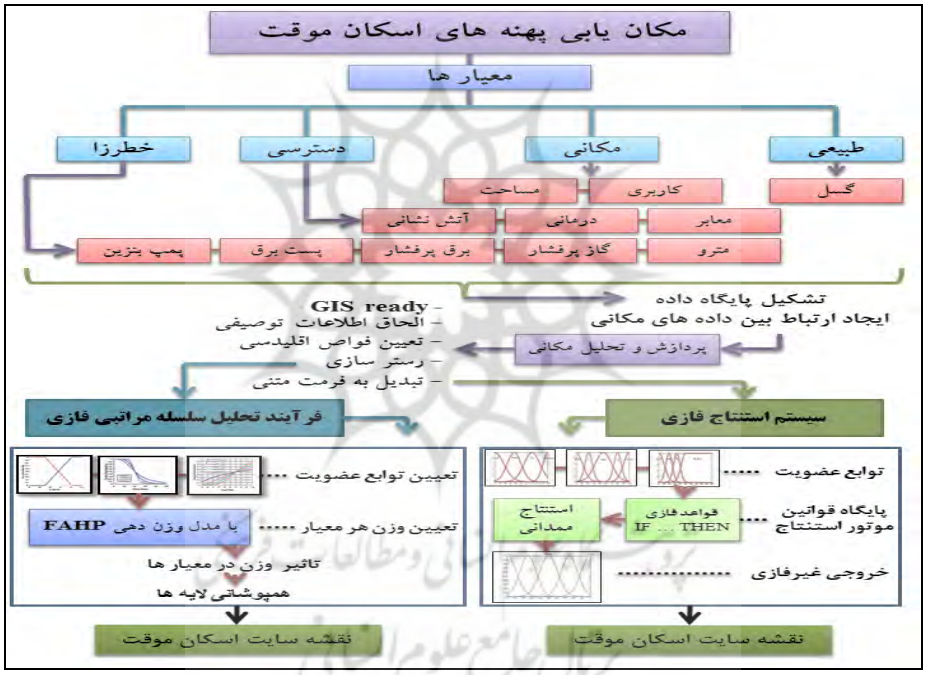
مقایسهٔ نتایج دو روش سیستم استنتاج فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی فازی برای پهنه‌بندی خطرپذیری:

با توجه به مشاهدات میدانی، نظر کارشناسان و استانداردهای آیین‌نامه‌های موجود، نتایج به سه کلاس منطبق، نزدیک و دور از نظر کارشناسان دسته‌بندی شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، سیستم استنتاج فازی به میزان ۸۵٪، ولی مدل تحلیل سلسله‌مراتبی فازی تنها به‌میزان ٤١٪ منطبق بر نظر کارشناسان است. در مجموع، باتوجه به نتایج تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، خطرپذیری زیاد و بسیار زیاد با مجموع ۳۷٪ (۲/۸٤ کیلومترمربع) و خطرپذیری متوسط با ۱۸٪ معادل ۱/۳۹ کیلومترمربع از منطقه و در سیستم استنتاج فازی خطرپذیری بسیاز زیاد، زیاد و متوسط در مجموع با ٦۰٪ معادل ٤/٤٨ کیلومترمربع از مساحت ۷/٦ کیلومتر مربع کل منطقه، نشان از خطرپذیربودن متوسط و رو به بالای منطقه دارد. در این بین پهنه‌های

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

۳) مکان‌یابی پهنه‌های اسکان موقت زلزله‌زدگان:

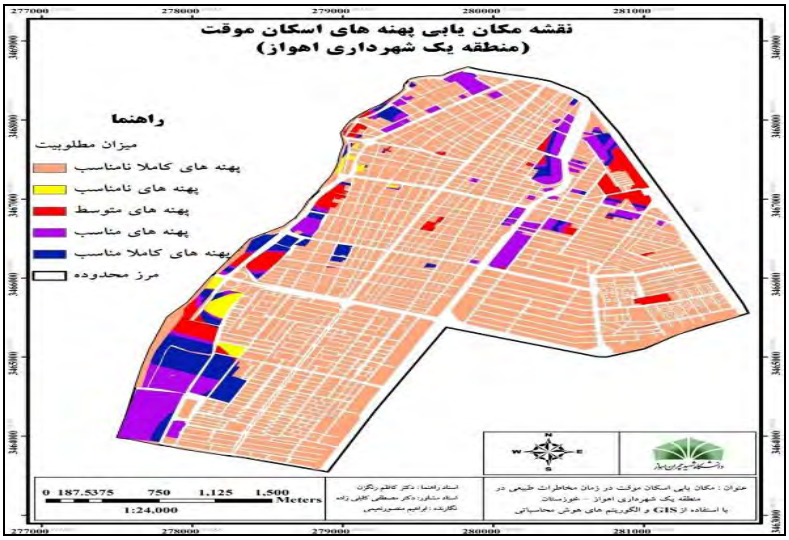
به‌دلیل اینکه پس از زلزله در کنار احتمال رخداد پس‌لرزه‌ها، تعدادی از مساکن نیز تخریب می‌شوند، نیاز به تعیین محل‌های امن و مقاوم برای اسکان موقت پس از بحران، امری حیاتی و حایز اهمیت فراوان است. برای تعیین پهنه‌های امن برای اسکان موقت، طبق نظر کارشناسان، معیارها و زیرمعیارهایی تعیین شد: شاخص طبیعی (موقعیت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



شکل ۹- روند اجرای مکان‌یابی پهنه‌های اسکان موقت

۳-۱) 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 ارزش ورودی آنها ناپیوسته است. برای سایر معیارها که ارزش پیکسلی پیوسته دارند، نیز از تابع عضوی گوسی استفاده شد. در مرحلهٔ بعد طبق نظر کارشناسان، قوانین مناسب برای پهنه‌بندی مناطق امن تعریف شد. در نهایت غیرفازی‌سازی با استفاده از غیرفازی‌ساز ثقلی انجام و خروجی نهایی تهیه شد که

در شکل ۱۰ نمایش داده شده است.



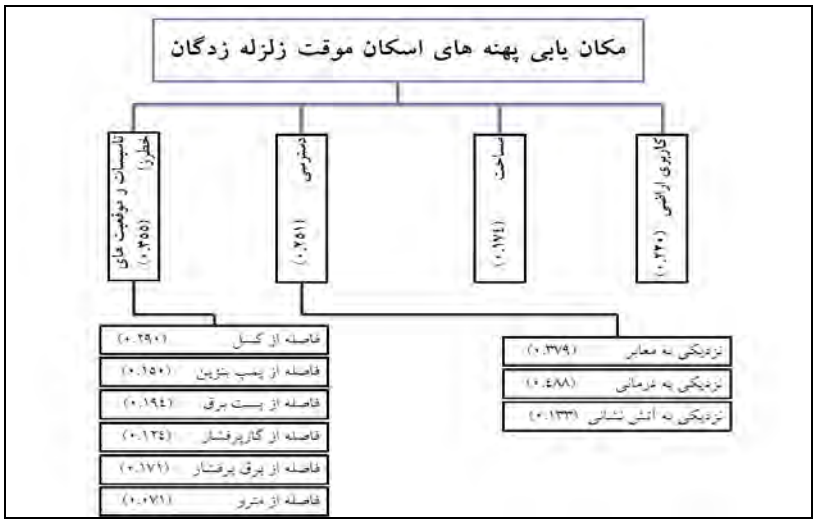
شکل ۱۰- نقشهٔ پهنه‌های اسکان موقت منطقه یک شهرداری اهواز

همان‌گونه که در شکل ۱۰ دیده می‌شود، پهنه‌های شناسایی‌شده در ۵ کلاس کاملاً مناسب تا کاملاً نامناسب قرار گرفته‌اند. از این‌رو، با بازدید میدانی و با استفاده از اطلاعات و نقشه‌های موجود، ۲۵ پهنه برای اسکان موقت انتخاب شدند که نتیجهٔ آن در شکل ۱۱ نمایش داده شده است.

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

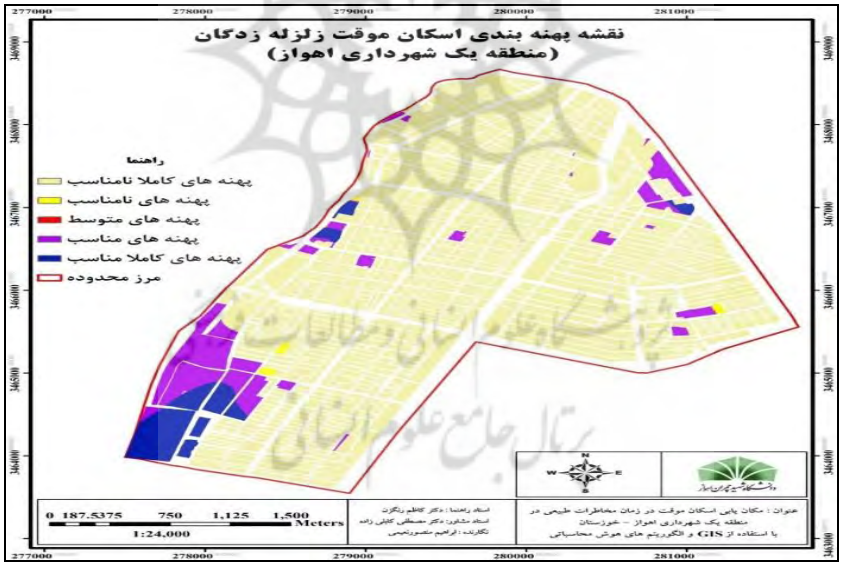
۳-۲) مکان‌یابی پهنه‌های اسکان موقت با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی فازی: برای انجام این کار از ۱۱ معیار استفاده شد که بعد از آماده‌سازی لایه‌ها، برای داده‌های گسسته (مانند لایهٔ کاربری اراضی) با استفاده از نظر کارشناسان در محدودهٔ صفر تا یک، هر یک از معیارها امتیازدهی شدند. وزن‌دهی معیارها نیز طبق نظر کارشناسان صورت گرفت. شکل ۱۲ تقسیم‌بندی معیارها و زیرمعیارها و وزن محاسبه‌شده برای هر یک

را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲- وزن معیارهای مکان‌یابی پهنه‌های اسکان موقت زلزله‌زدگان

در آخرین مرحله، نقشهٔ مربوط به پهنه‌های اسکان موقت منطقهٔ مورد مطالعه در ۵ کلاس کاملاً مناسب، مناسب، متوسط، نامناسب و کاملاً نامناسب (شکل ۱۳) به‌دست آمد.



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

مقایسهٔ نتایج مکان‌یابی پهنه‌های اسکان موقت زلزله‌زدگان حاصل از دو روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و سیستم استنتاج فازی:

بعد از بررسی مساحت‌ها و نوع کاربری‌های پهنه‌های پیشنهادی با دو مدل، در مدل سیستم استنتاج فازی، تعداد ۲۵ سایت اسکان موقت به مساحت ۱۲۸۳٦۲۸ مترمربع و در مدل تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، ۱۸ پهنه اسکان موقت به مساحت ۱۰٤۳۳۳۱

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 ٤ کلاس کاملاً مناسب، مناسب، متوسط و نامناسب قرار دارند.

٤) 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.

٤-١) پیداکردن نزدیک‌ترین سایت اسکان موقت به موقعیت حادثه با آنالیز شبکه GIS (دایجسترا): در این مرحله با مشخص‌کردن ٤ نقطهٔ 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 ١٤، نقشهٔ کوتاه‌ترین مسیر دسترسی به سایت‌های اسکان موقت را نشان می‌دهد؛ بدین‌ترتیب که نقشه دو مسیر پیشنهادی را نشان می‌دهد که از نظر طول، کوتاه‌ترین مسیر دسترسی به هر یک از ٤ نقطهٔ حادثه‌دیده، خارج از محدودهٔ اسکان موقت است. جدول ٣ طول هر مسیر را نمایش می‌دهد.

٤-٢) پیداکردن نزدیک‌ترین سایت اسکان موقت به موقعیت حادثه با الگوریتم ژنتیک: الگوریتم ژنتیک از جمله الگوریتم‌های هوش مصنوعی است و با توجه به نظریهٔ شکل‌گیری آن و بر خلاف الگوریتم دایجسترا از روش احتمالاتی برای یافتن بهترین مسیر استفاده می‌کند. الگوریتم ژنتیک، شیوهٔ جست‌وجویی در علم رایانه برای یافتن راه‌حل تقریبی برای بهینه‌سازی و مسائل جست وجو 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 پیش بینی یا تطبیق الگو استفاده می‌کنند. الگوریتم‌های ژنتیک اغلب گزینهٔ خوبی برای شیوه‌های پیش‌بینی بر مبنای رگرسیون هستند. در هوش مصنوعی الگوریتم ژنتیک (یا GA) یک شیوهٔ برنامه‌نویسی است که از تکامل ژنتیکی به‌عنوان یک الگوی حل مسئله استفاده می‌کند. مسئله‌ای که باید حل شود، دارای ورودی‌هایی است که طی یک فرایند الگوبرداری شده از تکامل ژنتیکی به راه‌حل‌ها تبدیل می‌شود؛ سپس راه‌حل‌ها به‌عنوان کاندیداها به‌وسیلهٔ تابع ارزیاب (Fitness Function)، ارزیابی می شوند و چنانچه شرط خروج مسئله فراهم شده باشد، الگوریتم خاتمه می‌یابد. الگوریتم ژنتیک به‌طورکلی، یک الگوریتم مبتنی بر تکرار است که اغلب بخش‌های آن به‌صورت 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 ٥٠ بار تکرار شد. خروجی حاصل از این الگوریتم نتایجی مشابه مسیرهای پیشنهادی الگوریتم دایجسترا

را نشان می‌دهد که شکل ١٤ نقشهٔ کوتاه‌ترین مسیر دسترسی به دو سایت اسکان موقت را برای هر ٤ موقعیت حادثه‌دیدهٔ انتخابی با استفاده از الگوریتم ژنتیک و دایجسترا نمایش می‌دهد.

جدول ٣- طول مسیر، مسیرهای پیشنهادی با الگوریتم ژنتیک و دایجسترا

موقعیت	مسیر	دایجسترا (متر)	ژنتیک (متر)
موقعیت ١	مسیر اول	١٢٣٤,٧	١٢٣٤,٧
	مسیر دوم	١٦٨٤	١٦٨٤
موقعیت ٢	مسیر اول	١٣٩٩	١٣٩٩
	مسیر دوم	١٤٣٠,٢	١٤٣٠,٢
موقعیت ٣	مسیر اول	١٣٣٦,٥٥	١٣٣٦,٥٥
	مسیر دوم	١٥٤٢,٨	١٥٤٢,٨
موقعیت ٤	مسیر اول	١٢٣٨,٦	١٢٣٨,٦
	مسیر دوم	١٣٠٤,٤	١٣٠٤,٤

شکل ١٤- نقشهٔ کوتاه‌ترین مسیر دسترسی به سایت‌های اسکان موقت

نتایج حاصل از مسیریابی بین موقعیت‌های حادثه‌دیده به نزدیک‌ترین سایت‌های اسکان موقت نشان داد که مسیریابی با الگوریتم ژنتیک وآنالیز شبکه GIS نتایج مشابهی در پیداکردن بهینه‌ترین مسیر شبکهٔ معابر را دارد. با توجه به نوع شبکهٔ معابر شهری و وسعت شبکهٔ محدودهٔ مورد مطالعه در دو الگوریتم ژنتیک و دایجسترا در آنالیز شبکه GIS برای مسیریابی بهینه قابلیت استفاده در محدودهٔ مورد نظر را دارد.

٤-٣) آنالیز یافتن نزدیک‌ترین مراکز درمانی به سایت اسکان موقت: دسترسی به مراکز درمانی به‌ویژه بیمارستان‌ها از مهم‌ترین ویژگی‌های یک مکان برای انتخاب‌شدن به‌عنوان سایت اسکان موقت است. در

این بخش از پژوهش با استفاده از سایت‌های اسکان موقت حاصل از تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و نقشهٔ موقعیت مراکز درمانی و همچنین تعریف ضریب مقاومت زمان برای معابر شبکه، نزدیک‌ترین مراکز درمانی به هر یک از سایت‌های اسکان موقت شناسایی و مسیریابی شد. شکل ۱۵، نقشهٔ نزدیکترین مسیر سایت‌های اسکان موقت به بیمارستان‌ها، موقعیت ۱۰ نقطه از سایت‌های اسکان موقت و مسیرهای شناسایی‌شده را نشان می‌دهد.

شکل ۱۵- نقشهٔ نزدیک‌ترین مسیر سایت‌های اسکان موقت به بیمارستان‌ها

نتایج حاصل از آنالیز شبکهٔ معابر شهری تحت پوشش سایت‌های اسکان موقت بر اساس سایت‌های مکان‌یابی‌شده در سیستم استنتاج فازی نشان می‌دهد، معابر در فاصلهٔ ۵۰۰متری ٤/۷ کیلومترمربع و تا فاصلهٔ ۱۰۰۰متری ۵/۱ کیلومترمربع را پوشش می‌دهد. بر این اساس، در این مدل، تنها ۰/۸ کیلومترمربع تحت پوشش نیستند. همچنین در مدل تحلیل سلسله‌مراتبی فازی ۱/۰٦ کیلومترمربع خارج از پوشش شبکهٔ دسترسی به سایت‌های اسکان موقت است و در فاصلهٔ ۵۰۰متری ، ۳/٤ کیلومترمربع و در فاصلهٔ ۱۰۰۰متری معادل ٦ کیلومترمربع تحت پوشش خواهند بود. نتایج نشان می‌دهد که محدودهٔ خارج از پوشش در هر دو مدل شامل محدودهٔ جنوب شرقی منطقه است که نزدیک به ۹۰٪ همپوشانی فضایی دارد. نتایج حاصل از نزدیک‌ترین مراکز درمانی به سایت‌های اسکان موقت بر اساس ۱۰ موقعیت انتخابی سایت‌های اسکان موقت نشان می‌دهد، مسیر اول موقعیت ٤ و ۹ با ۳٤ ثانیه تا مراکز درمانی، مسیر اول موقعیت ۷ با ٤۵ ثانیه، مسیر اول موقعیت ٦ با ٤۸ ثانیه و مسیر اول موقعیت ۱۰ با ۵٤ ثانیه در رتبه‌های اول تا چهارم سریع‌ترین دسترسی سایت‌های اسکان موقت به مراکز درمانی قرار دارند. همچنین موقعیت‌های ۹، ٦ و ۸ در هر سه مسیر با ۲ دقیقه و ۲۰ ثانیه، ۲ دقیقه و ۲٦ 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

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 عضوی گوسی استفاده شد. در مرحلهٔ 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 زمینهٔ پهنه‌بندی خطرپذیری زلزله به میزان ۸۵٪ ولی مدل تحلیل سلسله‌مراتبی فازی تنها به‌میزان ٤١٪ منطبق بر نظر کارشناسان است. در خصوص تعیین محل‌های امن برای اسکان موقت پس از زلزله، بعد از بررسی مساحت‌ها و نوع کاربری‌های پهنه‌های پیشنهادیِ 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 زمینهٔ مسیریابی نیز نتایج نشان داد، برای محدودهٔ مورد مطالعه، هر دو مدل الگوریتم ژنتیک و دایجسترا مناسب و قابل به‌کارگیری هستند.

منابع

ابویی‌اشکذری، ع، (۱۳۹۱). مدیریت بحران زلزله با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)- نمونهٔ موردی: شهریزد، پایان‌نامهٔ 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، شماره۳۷.

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، نشریهٔ هنرهای زیبا، شمارهٔ 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، رسالهٔ 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 مدل های تصمیم گیری چند معیاره در مکان یابی اسکان موقت پس از زلزله ° مطالعه موردی : منطقه ٦ 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».

Bhatti, A., (2005). "Earthquake Relief and Rcovery". 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 Preventation & 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

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی