



## پهنه‌بندی خطرپذیری زلزله با استفاده سیستم استنتاج فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

### فازی

کاظم رنگزن<sup>۱</sup>، مصطفی کابلی زاده<sup>۱</sup>، ابراهیم منصورنعمی<sup>۳\*</sup>

۱. دانشیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز
۲. استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز
۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

مشخصات مقاله	چکیده
<p>پیشینه مقاله:                      دریافت: ۷ مرداد ۱۳۹۳                      پذیرش: ۹ بهمن ۱۳۹۳                      دسترسی اینترنتی: ۲۳ شهریور ۱۳۹۴</p> <p>واژه‌های کلیدی:                      زلزله                      خطرپذیری                      استنتاج فازی                      فرآیند تحلیل سلسله مراتبی - فازی</p>	<p>هدف تحقیق، ریزپهنه‌بندی خطرپذیری زلزله در منطقه یک شهرداری اهواز با استفاده از دو مدل سیستم استنتاج فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی است. برای انجام تحقیق، لایه ۱۹ معیار (تراکم جمعیت، کاربری اراضی، تراکم ساختمانی، سطح اشغال، قدمت، طبقات، اسکلت، فاصله از مراکز درمانی، مراکز آتش نشانی بیرونی، تاسیسات نظامی، نزدیکی به گسل، ایستگاه برق، مترو، گاز پرفشار و پمپ بنزین) انتخاب و در محیط ArcGIS<sup>®</sup> 10.1 به فرمت رستر تبدیل و لایه‌ها استاندارد گردید. سپس محدوده متغیرهای زبانی و توابع عضویت فازی برای آن‌ها در محیط برنامه‌نویسی متلب نوشته شد. نتایج نشان داد که در ارزیابی دو مدل، سیستم استنتاج فازی عملکرد بهتری نسبت به مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی داشته است. همچنین بر اساس نتایج سیستم استنتاج فازی، وجود مناطق با خطرپذیری بسیار زیاد، زیاد و متوسط که در مجموع ۶۰٪ معادل ۴/۴۸ کیلومتر مربع از کل مساحت ۷/۶ کیلومتر مربع منطقه، نشان از خطرپذیر بودن متوسط رو به بالای منطقه دارد. همچنین پهنه‌های خطرپذیر کم و بسیار کم با ۴۰٪ از وسعت منطقه (۳/۱۲ کیلومتر مربع) بیشتر شامل اراضی بایر، و مزارع در غرب و جنوب غرب منطقه می‌باشند.</p>

\*پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: [ebi1368@live.com](mailto:ebi1368@live.com)

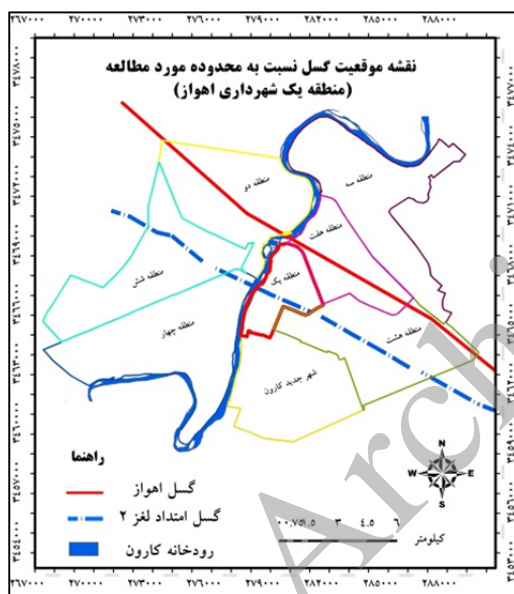
## مقدمه

شهر اثر ماندگار تاریخی و در عین حال واحد جغرافیایی و اجتماعی تکامل پذیر است که به عنوان یک منبع توسعه نیازمند مدیریتی پویا در تمامی ابعاد آن می باشد (۷، ۱۰ و ۱۵). سرعت شهرنشینی در شهرهای کشورهای در حال توسعه منجر به این گردیده است که نصف جمعیت جهان در حال حاضر در مناطق شهری مستقر شوند. بیشتر این مناطق با تراکم جمعیتی بالا، در برابر وقوع بحرانها آسیب پذیر می باشند (۲). زلزله یکی از ناملايمات اساسی طبیعی عصر حاضر است که همواره در مدت بسیار کوتاهی اتفاق می افتد و تاکنون فجایع بزرگی را رقم زده است. از یک سو پایداری و ایمنی در مقابل پدیده های طبیعی همیشه فکر بشر را به خود مشغول کرده است و از سویی دیگر با وجود پیشرفت های شگرف فناوری در سده های گذشته در بیشتر مناطق جهان خطر و ترس از زلزله همچنان به قوت پیش باقی است (۱۱ و ۱۷). در واقع آنچه که زلزله را به عنوان تهدید مطرح می کند، عدم آمادگی بشر در مقابله با آن است. زلزله همیشه به عنوان پدیده ای تکرار پذیر در طول تاریخ وجود داشته و در آینده نیز وجود خواهد داشت. وقوع چنین حادثه ای در بیشتر موارد تأثیرات ویران کننده ای بر سکونت گاه های انسانی بر جای گذاشته و تلفات سنگینی بر ساکنان آنها تحمیل کرده است (۱۱). یک واقعیت اساسی در مورد این سوانح این است که در مواجهه با چنین سوانحی در لحظه وقوع کار چندانی نمی توان انجام داد، در حالی که اثرات آنها را با برنامه ریزی از قبل می توان خنثی نمود یا به حداقل رساند (۲۵). چیزی که بیش از همه اهمیت دارد، نجات دادن جان انسانها در برابر این رخداد طبیعی است. رشد شهری باعث تسهیلات زیادی می شود، ولی در عین حال عوامل بحرانها هم بیشتر شده و تسهیلات محیطی تبدیل به ضرر می شود (۲۴). با وجود گسل های فراوان در فلات ایران، وقوع زلزله در این قسمت از جهان را امری طبیعی می توان قلمداد کرد (۸). به طوری که در گزارش دفتر برنامه ریزی سازمان ملل متحد در سال ۲۰۰۳، کشور ایران رتبه نخست را در تعداد زلزله های با شدت بالای ۵/۵ ریشتر در

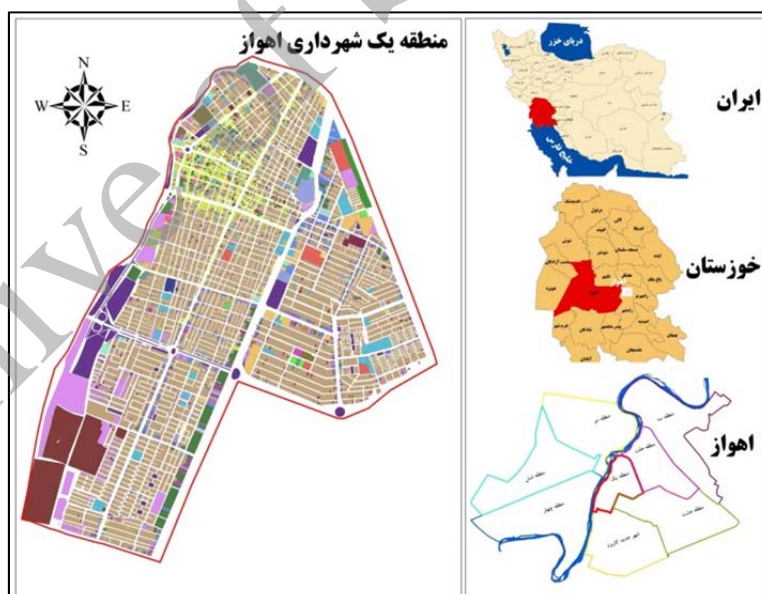
سال و یکی از بالاترین رتبه ها را در زمینه آسیب پذیری ناشی از وقوع زلزله به خود اختصاص داده است (۱۹). بر پایه آمارهای رسمی در ۲۵ سال گذشته، ۶٪ تلفات انسانی کشور ما ناشی از زلزله بوده است. به منظور شناسایی مناطق خطرپذیر و سنجش میزان خطرپذیری، در دهه های گذشته مطالعات گوناگونی انجام شده است که هر یک از زاویه ای قابل بررسی و توجه می باشند. از جمله مطالعات صورت گرفته در این زمینه، می توان به مطالعات ریز پهنه بندی لرزه ای شهر تهران در سال ۱۳۸۰ توسط آژانس همکاری های بین المللی ژاپن (جایکا) و مرکز مطالعات زلزله و زیست محیطی تهران بزرگ (۱) و آیین نامه ۲۸۰۰ (۱۲) در رابطه با طراحی ساختمانها در برابر زلزله توسط مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن اشاره کرد. همچنین ابوتی اشکذری (۱) در مطالعه خود با استفاده از ۱۵ معیار و تعیین ضریب هر معیار به کمک فرآیند تحلیل شبکه ای میزان آسیب پذیری ناشی از برآیند معیارها برای هر یک از قطعه های موجود در محدوده مورد بررسی را محاسبه نمود. خاکپور و همکاران (۶) در مطالعه ای در مشهد نقشه پهنه بندی محدوده های آسیب پذیر را تهیه نمودند. دونوسکا و همکاران (۲۳)، در پژوهشی با بکارگیری معیارهای مختلف محیطی و اقتصادی و نرم افزار ArcGIS® 10.1 و تکنیک تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به مکان یابی مناطق کم خطر به لحاظ مخاطرات طبیعی در منطقه پولوگو کشور مقدونیه پرداخته اند. تودیس و ایگیتیر (۲۶) جهت مدیریت صحیح بحران در شهر آندار ترکیه با استفاده از AHP در محیط GIS به امکان سنجی مناطق خطرپذیر از لحاظ ژئومورفولوژیکی پرداخته و در نهایت به کلاس بندی شهر از لحاظ مناطق مساعد اقدام نمودند.

شرایط خاص کلان شهر اهواز و مشکلات آن نظیر: جمعیت میلیونی، وجود بافت های فرسوده و وجود تاسیسات و کاربری های خطرزا، تدوین معیارها و ضوابطی جهت پهنه بندی مناطق در معرض خطر، به ویژه در حریم گسلها را امری انکارناپذیر می گرداند. با توجه به مطالب بیان شده، در پژوهش حاضر به مسئله مدیریت بحران قبل از حادثه با استفاده از GIS و الگوریتم های هوش مصنوعی پرداخته خواهد شد. شناخت

شهر با مساحت تقریبی ۱۰۰۰ هکتار و جمعیتی حدود ۱۱۸۰۰۰ نفر به عنوان مرکز تجاری شهر شناخته می‌شود. خصوصیات لرزه‌خیزی منطقه، تابع ویژگی‌های لرزه زمین ساخت زاگرس می‌باشد. طول گسل اهواز حدوداً ۱۰۰ کیلومتر در امتداد شمال غربی- جنوب شرقی (NW-SE) به وسیله ۳ گسل امتداد لغز F1، F2 و F3 قطع شده که مهم‌ترین آن‌ها برای مسأله لرزه‌خیزی شهر اهواز گسل F2 می‌باشد. این گسل در امتداد رودخانه کارون قرار گرفته و در محدوده پل نادری با گسل رانده اهواز تقاطع پیدا می‌کند. گسل امتداد لغز اهواز از جمله گسل‌های فعال است که تاکنون تعدادی زمین‌لرزه در محدوده این گسل و یا در روی امتداد آن رخ داده است (شکل ۲) (۲۱).



شکل ۲. موقعیت منطقه نسبت به گسل



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

متغیرهای مختلف موثر در شناسایی مناطق آسیب‌پذیری شهری در برابر زلزله، تجزیه و تحلیل آن‌ها و در نهایت دستیابی به مدیریت بحران زلزله با توجه به محدوده مورد مطالعه هدف اصلی و عمده این تحقیق می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

کلان‌شهر اهواز مرکز استان خوزستان، در موقعیت جغرافیائی ۴۷° ۴۸' تا ۳۲° ۴۸' طول شرقی و ۳۱° ۲۳' تا ۱۳° عرض شمالی (۱۴ و ۲۲) به وسیله رودخانه کارون به دو قسمت شرقی و غربی تقسیم می‌شود و دارای ۸ منطقه شهری می‌باشد (۲۰). منطقه یک شهر اهواز، هسته اولیه و تاریخی

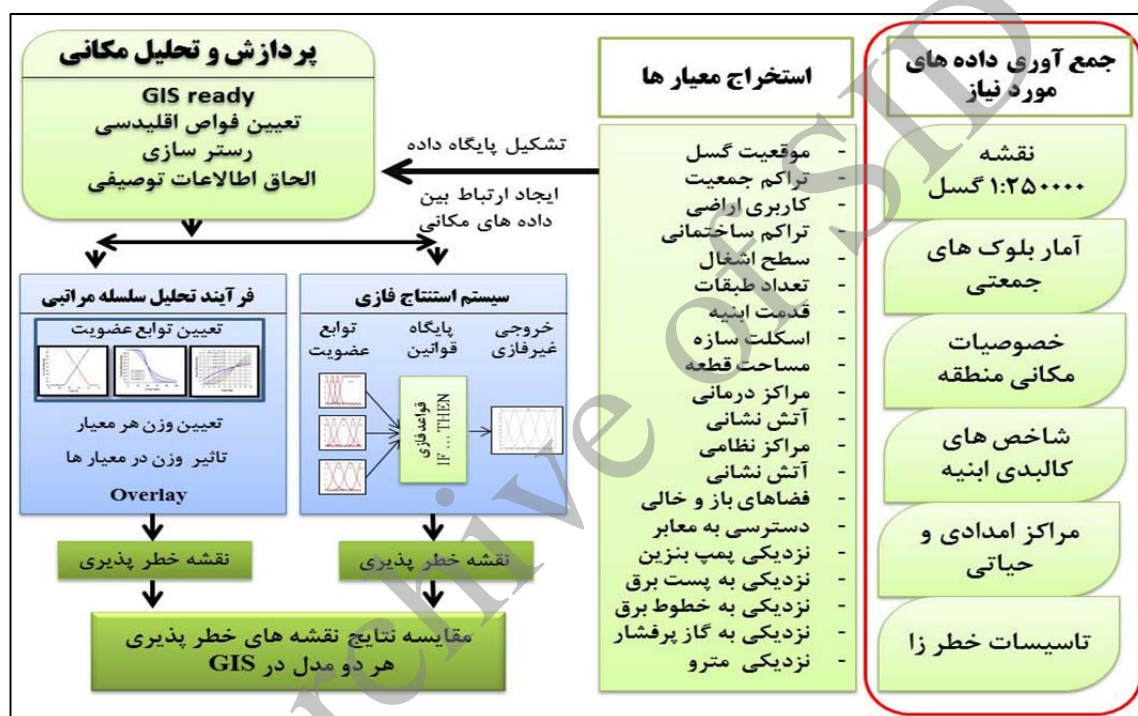
در گام بعد در مدل سیستم استنتاج فازی برای هر یک از معیارها متغیر زبانی و تابع عضویت تعریف گردید در ادامه معیارهای فازی شده در محیط برنامه‌نویسی متلب با توجه به پایگاه قوانین تجمیع گردید و در قالب یک ماتریس برای مدل‌سازی فضایی، نتایج وارد محیط نرم‌افزار ArcGIS® 10.1 شد. همچنین به منظور ارزیابی و بررسی عملکرد مدل استنتاج فازی معیارها از طریق مقایسه زوجی و نظرات کارشناسان، با

### روش تحقیق

در تحقیق حاضر ابتدا عوامل موثر در ریز پهنه‌بندی خطرپذیری زلزله از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و دریافت نظرات کارشناسان شناسایی شدند. سپس داده‌های مورد نیاز از منابع مختلف مانند شهرداری اهواز، مرکز آمار ایران و اسناد و مقالات و سایر نهادهای دخیل در این زمینه جمع‌آوری شدند.

معیارهای مورد استفاده، جهت ریز پهنه‌بندی خطر زلزله را نشان می‌دهد. شناخت و پهنه‌بندی مناطق در معرض خطر تخریب زلزله هنگامی حاصل می‌شود که در مرحله نخست پارامترهای دخیل در لرزه‌زایی و محرک‌های آن به طور کامل شناخته شود و ثانیاً تمام این پارامترها با همدیگر در یک مدل منسجم مورد ارزیابی قرار گیرند (۹).

استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)، وزن هر کدام از معیارها و زیرمعیارها مشخص شد. پس از فازی‌سازی معیارها و زیرمعیارها با استفاده از توابع عضویت فازی در محیط نرم‌افزار ArcGIS<sup>®</sup> 10.1، وزن هر کدام از معیارها در نقشه فازی شده آن ضرب شد. در نهایت برای مدل‌سازی فضایی و پهنه‌بندی از عملگرهای فازی جهت همپوشانی لایه‌ها و معیارها استفاده شد. شکل ۳ روند پیشنهادی تحقیق و



شکل ۳. مراحل انجام تحقیق

می‌باشد. در مرحله بعد با توجه به نیاز هر یک از مدل‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر، ورودی‌ها به فرمت مورد نیاز تبدیل گردیدند. در ادامه نوشتار به صورت مختصر کاربرد هر معیار مراحل آماده‌سازی هر یک به صورت مختصر بیان می‌شود.

#### اهمیت و کاربرد معیارهای پژوهش

به منظور ریزپهنه‌بندی خطر زلزله در محدوده مورد مطالعه با نظر کارشناسان و مطالعه اسناد و مقالات ۱۹ معیار انتخاب شد که هر یک به صورت مستقیم و غیر مستقیم در

#### آماده‌سازی داده‌ها

از آنجا که داده‌ها از منابع مختلف جمع‌آوری شدند در مرحله نخست نیاز به یک سری پیش‌پردازش‌های اولیه دارند. انتخاب روش آماده‌سازی و پردازش اطلاعات بستگی به نوع داده‌ها، نحوه عملکرد مدل‌ها و همچنین دقت و فرمت خروجی دارد. از همین رو این آماده‌سازی در چند مرحله شامل زمین مرجع کردن، تعریف سیستم مختصات واحد برای تمامی ورودی‌ها، ترسیم و ویرایش عوارض و تبدیلات نقشه‌ها از فرمت DGN به فرمت استاندارد Shapfile و تعریف توپولوژی

افزایش خطر زلزله مؤثر می‌باشد.

می‌کند. در ارتباط با آسیب‌پذیری، کاربری‌ها را می‌توان به سه دسته کاربری‌های پرخطر، کاربری‌های با خطر متوسط و کاربری‌های با خطر کم به شرح زیر تقسیم‌بندی کرد.

### کاربری زمین

بسته به نوع کاربری، احتمال آسیب‌پذیری نیز تغییر

جدول ۱. خطرپذیری کاربری اراضی شهری

میزان خطرپذیری	نوع کاربری
کم خطر	اداری، فضای سبز، زمین خالی - بایر، ورزشی، فرهنگی هنری، جهانگردی - توریستی، مذهبی، انبار
خطر متوسط	مسکونی، آموزشی عالی، نظامی، مختلط مسکونی - تجاری، در دست احداث، درمانی - بهداشتی، آموزشی، حمل و نقل، تعمیرگاهی
پرخطر	مجموع‌های مسکونی، تاسیسات شهری، تجاری، صنایع کارگاهی، تجهیزات شهری، ساختمان‌های مخروبه و تخریبی

### مساحت قطعه‌های تفکیکی

عکس دارد. به عبارت دیگر با افزایش مقاومت و کیفیت ساختمان‌ها میزان خطرپذیری کاهش می‌یابد. از جمله ویژگی‌هایی که در پژوهش حاضر مورد استفاده قرار گرفت شامل اسکلت سازه (بیشترین تأثیر را در پایداری ساختمان در برابر زلزله دارد)، قدمت ابنیه (قدمت بیشتر ساختمان سبب افزایش آسیب‌پذیری آن می‌شود حتی در صورت رعایت تمام موازین مقاوم‌سازی)، سطح اشغال بنا (سطح اشغال و اینکه چه میزان از عرضه به زیر ساخت رفته باشد از عوامل مؤثر بر میزان آسیب‌پذیری می‌باشد که با میزان آسیب‌پذیری رابطه مستقیم دارد)، تعداد طبقات (افزایش تعداد طبقات اگر با رعایت اصول ایمنی نباشد؛ آسیب‌پذیری را بالا خواهد برد، لذا افزایش تعداد طبقات همواره یک عامل منفی محسوب می‌شود)، تراکم ساختمانی (نمایانگر میزان بارگذاری بر روی قطعه زمین است و با سطح اشغال و تعداد طبقات در ارتباط می‌باشد و با افزایش آن، میزان آسیب‌پذیری نیز افزایش می‌یابد). هر یک از معیارها از اطلاعات ممیزی استخراج گردید و به یک لایه رستر تبدیل گردید.

تفکیک زمین به قطعه‌های کوچک‌تر به نوعی باعث از بین رفتن فضاها بازمفید، به وجود آمدن معابر باریک و بالا رفتن تراکم ساختمانی و جمعیتی در محدوده شده و ترکیب این عوامل، آسیب‌پذیری را افزایش می‌دهند (۳). از نقشه‌های ممیزی شهر مساحت قطعه‌های ساختمانی استخراج و در ۵ دسته کلاس‌بندی گردید و به یک لایه رستری تبدیل شد.

### تراکم جمعیتی

این شاخص، مشخص کننده بار جمعیتی در موقع زلزله می‌باشد و در نتیجه با افزایش آن، سرعت پناه‌گیری، خدمات‌رسانی و امداد‌رسانی پایین می‌آید، از این‌رو تراکم جمعیتی با میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای رابطه مستقیم دارد. جمعیت هر بلوک محدوده مورد مطالعه از سرشماری ۱۳۸۵ استخراج شد و با توجه به مساحت هر بلوک تراکم جمعیتی از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$[۱] \quad \text{تراکم جمعیتی} = \frac{\text{جمعیت}}{\text{مساحت}}$$

### دسترسی به معابر ارتباطی

عرض معبر روبرو از دو جهت حائز اهمیت می‌باشد. از یک سو هر چه عرض معبر بیشتر باشد، امکان عبور ترافیک بیشتری فراهم خواهد شد. از سوی دیگر با افزایش عرض

### ویژگی‌های ابنیه

از مهم‌ترین معیارهای مورد استفاده در مدیریت بحران، ویژگی‌های ساختمان‌ها می‌باشند که با میزان خطرپذیری رابطه

## گسل

موقعیت و فاصله قرارگیری گسل نسبت به محدوده مورد مطالعه نیز به عنوان یک عامل طبیعی مهم مورد توجه قرار گرفت. موقعیت گسل منطقه از نقشه ۱:۲۵۰۰۰ توپوگرافی سازمان نقشه برداری استخراج شده و در نرم افزار ArcGIS® 10.1 فاصله اقلیدسی برای آن تعریف گردید.

## روش سیستم استنتاج فازی

در یک سیستم فازی ابتدا ورودی‌ها در فضای اعداد حقیقی با استفاده از یک فازی‌ساز به مجموعه اعداد فازی تبدیل می‌شوند. سپس مجموعه قوانین فازی ذخیره شده در پایگاه قوانین وارد موتور استنتاج فازی می‌شوند تا تصمیم‌گیری بر مبنای این قوانین انجام گیرد. در نهایت خروجی فازی سیستم با استفاده از یک غیرفازی‌ساز به صورت عدد حقیقی ارائه می‌شود. در ادامه هر یک از بخش‌های سیستم استنتاج فازی شرح داده می‌شود (۱۶ و ۱۸).

## روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)

روش تحلیل سلسله مراتبی یکی از پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که اولین بار در سال ۱۹۸۰ توسط ساعتی (Saaty) جهت تخصیص منابع کمیاب و نیز نیازهای برنامه‌ریزی برای ارتش معرفی شد. به طور خلاصه مدل Fuzzy AHP دارای ۷ مراحل است (۱۳). مرحله ۱) رسم نمودار سلسله مراتبی، مرحله ۲) تعریف اعداد فازی به منظور انجام مقایسه‌های زوجی. برای انجام مقایسه‌ها نیاز به تعریف اعداد فازی و مقیاس‌های فازی می‌باشد. در جدول ۵ نمونه‌ای از این جداول آورده شده است. مرحله ۳) تشکیل ماتریس مقایسه زوجی با بکارگیری اعداد فازی. ماتریس مقایسه زوجی ( $\tilde{A}$ ) حاوی اعداد فازی تعریف شده می‌باشد و به صورت زیر خواهد بود.

معبر، نسبت ارتفاع جداره‌ها به عرض (درجه محصوریت) کمتر می‌گردد و احتمال بسته شدن معبر بر اثر فرو ریختن ساختمان‌ها کاهش می‌یابد. تمام معابر محدوده مورد مطالعه با توجه به نوع معبر فاصله اقلیدسی برای آن ترسیم شد و مورد استفاده قرار گرفت.

## دسترسی به فضاهای باز

الگوی فضاهای باز و چگونگی پراکنش و توزیع آن‌ها در کل سطح بافت بخش‌های مسکونی عامل مهمی در افزایش کارایی بافت به هنگام وقوع زلزله می‌باشد (۴) در این پژوهش با استفاده از نقشه کاربری اراضی تمامی کاربری‌های بایر، زراعی، فضاهای سبز و زمین‌های بازی که مساحتی بیش از یک هکتار دارند انتخاب شدند و فاصله اقلیدسی برای آن‌ها تعریف گردید.

## دسترسی به مراکز درمانی و امداد و نجات

دسترسی آسان و سریع به این مراکز موجب سرعت بخشیدن به عملیات امداد رسانی می‌شود. هر چه فاصله تا این مراکز بیشتر باشد، زمان بیشتری بین مبدأ و مراکز درمانی طی می‌گردد و درمان به مخاطره می‌افتد (۵). در پژوهش حاضر این مراکز شامل بیمارستان‌ها، درمانگاه‌ها، آتش‌نشانی‌ها و مراکز کلانتری می‌باشند. هر یک از این پارامترها به عنوان یک معیار از نقشه کاربری اراضی استخراج گردید و فاصله اقلیدسی برای آن تعریف گردید.

## تأسیسات و تجهیزات خطرزا

بعد از وقوع زلزله، از عوامل مهم تشدید کننده و افزایش دهنده آسیب‌ها و تلفات، تأسیسات و تجهیزات خطرزا می‌باشند. در پژوهش حاضر این تأسیسات و تجهیزات شامل پمپ بنزین، خطوط انتقال برق پرفشار، خطوط لوله گاز پرفشار، پست تقویت فشار برق و مترو شهری می‌باشد که از نقشه کاربری اراضی طرح جامع راهبردی سال ۹۰ شهر استخراج گردید و فاصله اقلیدسی برای هر یک تعریف گردید.

می‌آید:

$$V(S_i \geq S_j) = hgt(S_i \cap S_j) = \mu_{S_i}(d) \quad [8]$$

$$= \begin{cases} 1 & \text{if } m_i \geq m_j \\ 0 & \text{if } l_j \geq u_i \\ \frac{l_j - u_i}{(m_i - u_i) - (m_j - u_j)} & \text{otherwise} \end{cases}$$

مرحله ۶) محاسبه وزن معیارها و گزینه‌ها در ماتریس‌های مقایسه زوجی. برای محاسبه وزن نرمال نشده معیار باید میزان بزرگی یک عدد فازی مثلثی با سایر اعداد فازی مثلثی محاسبه شود و در نهایت حداقل میزان بزرگی، نشان‌دهنده وزن نرمال نشده معیار است. بدین منظور از رابطه زیر استفاده می‌شود.

[۹]

$$d'(A_i) = \text{Min } V(S_i \geq S_k) \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad k \neq i$$

مرحله ۷) محاسبه بردار وزن نهایی. بردار وزن نهایی از نرمال کردن بردار وزن معیارها به دست می‌آید.

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^t \quad [10]$$

### نتایج

#### پیاده‌سازی سیستم استنتاج فازی

سیستم‌های فازی یکی از مهم‌ترین سیستم‌های هوش مصنوعی هستند که می‌توانند دانش و آگاهی افراد خیره را در قالب یک فرمول‌بندی نسبتاً ساده ریاضی انجام دهند. جالب‌ترین کاربرد منطق فازی، تفسیری است که این علم از ساختار تصمیم‌گیری‌های موجودات هوشمند، و در رأس آن‌ها هوش انسانی دارد. جهت ایجاد سیستم استنتاج فازی در اولین گام می‌بایست متغیرهای زبانی، مقادیر زبانی و محدوده‌های استاندارد تعیین گردند. جدول ۲ به دلیل حجم زیاد معیارها تنها تعدادی از معیارهای مورد نظر و محدوده‌های استاندارد هر معیار را در تعیین میزان خطرپذیری زلزله نمایش می‌دهد. در ادامه با توجه به محدوده‌های تعیین شده توابع عضویت مناسب برای هر متغیر زبانی پارامترها تعریف گردید. در تعریف توابع به هر متغیر زبانی ورودی، بین ۳ تا ۵ مقدار زبانی نسبت داده شده است که تمام امکانات محتمل برای هر متغیر را بیان

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad [2]$$

اگر کمیته تصمیم‌گیرنده دارای چندین تصمیم‌گیرنده باشد، درایه‌های ماتریس مقایسه زوجی جامع که در روش تحلیلی سلسله مراتبی فازی بکار می‌رود، یک عدد فازی مثلثی است که مؤلفه اول آن حداقل نظرسنجی‌ها، مؤلفه دوم آن میانگین نظرسنجی‌ها و مؤلفه سوم آن حداکثر نظرسنجی‌ها می‌باشد. مرحله ۴) محاسبه  $S_i$  برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی  $S_i$  که خود یک عدد فازی مثلثی است از رابطه ۳ به دست می‌آید.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \times \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad [3]$$

در این رابطه  $i$  بیانگر شماره سطر و  $j$  بیان‌کننده شماره ستون می‌باشد. در این رابطه اعداد فازی مثلثی ماتریس‌های مقایسه زوجی هستند.

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j) \quad [4]$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i) \quad [5]$$

$$\left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \left( \frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad [6]$$

در روابط بالا  $l_i$  و  $m_i$  و  $u_i$  به ترتیب مؤلفه‌های اول تا سوم اعداد فازی هستند.

[۷]

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \times \left( \frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) = \left( \frac{\sum_{j=1}^m l_j}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{\sum_{j=1}^m m_j}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{\sum_{j=1}^m u_j}{\sum_{i=1}^n l_i} \right)$$

مرحله ۵) محاسبه درجه بزرگی  $S_i$ ‌ها نسبت به همدیگر. به طور کلی درجه بزرگی  $S_i$  نسبت به  $S_j$  از معادله زیر به دست

گردید. در این تحقیق با توجه به حجم محاسبات، نوع معیارها و تعداد بازه‌های مورد نیاز برای هر معیار جهت پهنه‌بندی خطر زلزله از دو نوع تابع عضویت گوسی و فازی گسسته استفاده شد. تابع فازی گسسته برای معیارهایی (مانند اسکلت سازه‌های ساختمانی، کاربری اراضی) مورد استفاده قرار گرفت که ارزش ورودی آن‌ها غیر پیوسته می‌باشد. همچنین برای سایر معیارها که دارای ارزش پیکسلی پیوسته می‌باشند از تابع عضویت گوسی استفاده شد.

می‌کنند. پنج کلاس هم به متغیر خروجی نسبت داده شده است که عبارتند از: خطرپذیری بسیار زیاد، خطرپذیری زیاد، خطرپذیری متوسط، خطرپذیری کم و خطرپذیری بسیار کم. همانطور که پیش از این بیان شد هدف از تعریف تابع عضویت برای معیارها، وزندهی تدریجی و پیوسته به معیارهاست. لذا با توجه به دامنه تغییرات هر معیار، نکات و فواصل تعیین شده در آیین‌نامه‌ها و نظرات کارشناسان در مورد معیارهای مختلف تاثیرگذار در خطرپذیری زلزله (مطابق با جدول ۳) تابع عضویت فازی مناسب برای هر معیار تعریف

جدول ۲. محدوده استاندارد و متغیر زبانی معیارها

نوع پارامتر	معیارها	محدوده استاندارد	متغیر زبانی	توضیح
ابنیه	اسکلت سازه	فضای باز	بسیار کم	اسکلت فلزی
		اسکلت فلزی	کم	کمترین خطر
		اسکلت بتنی	متوسط	را دارد.
		بدون اسکلت	زیاد	
دسترسی امدادی	مراکز درمانی	۰-۱۰۰۰ متر	کم	افزایش فاصله باعث
		۱۸۰۰-۱۰۰۰ متر	متوسط	افزایش خطرپذیری
		۱۸۰۰-۳۰۰۰ متر	زیاد	می‌شود.
وردی‌ها	تأسیسات خطرزا	۰-۲۰۰ متر	کم	هر چه فاصله
		۲۰۰-۵۰۰ متر	متوسط	نزدیک‌تر باشد
		۵۰۰-۸۰۰ متر	زیاد	خطرپذیری بیشتر
طبیعی	گسل	بیشتر از ۸۰۰ متر	خیلی زیاد	است.
		۲۰۰-۰ متر	خیلی کم	هر چه فاصله
		۲۰۰-۶۰۰ متر	کم	نزدیک‌تر باشد
		۶۰۰-۱۲۰۰ متر	متوسط	خطرپذیری بیشتر
		۱۲۰۰-۱۸۰۰ متر	زیاد	است.
		بیشتر از ۱۸۰۰ متر	خیلی زیاد	

مقادیر زبانی در میزان خطرپذیری بستگی دارد این قواعد به تجربه و دانش افراد خبره و نیز نوع خطرپذیری هم وابسته هستند. قواعد تعریف شده براساس محدوده متغیرهای زبانی و با استفاده از توابع ترسیم شده در محیط برنامه‌نویسی متلب

پس از تعریف متغیرهای زبانی و محدوده استاندارد هر معیار در قالب توابع عضویت فازی، قوانین فازی خطرپذیری زلزله با توجه به نظرات کارشناسان در پایگاه قوانین تعریف گردید تعیین قواعد فازی به مشاهدات دقیق و بررسی اثر

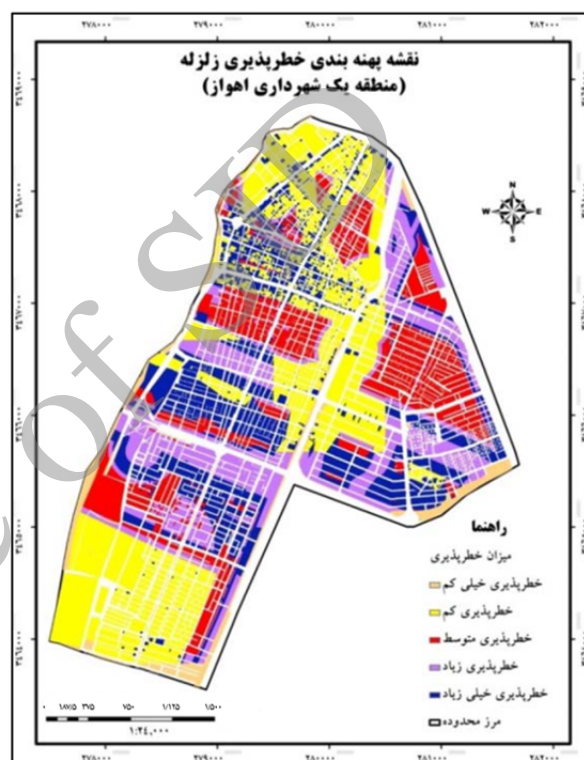


همان طور که در تشریح این مدل در بالا آمده است ابتدا با نظرسنجی از کارشناسان جداول ماتریس مقایسه زوجی پارامترهای پژوهش در دو دسته معیارها و زیرمعیارها تشکیل گردید. معیارها به ۵ دسته کاربری اراضی، تراکم جمعیت، سازه مبنای، دسترسی مبنای و تاسیسات خطرزا تقسیم گردیدند که هر یک شامل چند زیرمعیار می‌باشد. بعد از آماده کردن لایه‌های مورد نظر، لازم است که برای اعمال توابع عضویت و به منظور استانداردسازی، لایه‌ها به صورت رستر درآیند که این کار با استفاده از تابع فاصله اقلیدوسی انجام گرفته است.

در این تحقیق برای استانداردسازی داده‌های کمی از ابزار Fuzzy membership در محیط ArcGIS<sup>®</sup> 10.1 استفاده شده است. همچنین 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 شده، سپس تبدیل به یک لایه رستر شده‌اند. در ادامه پس از استانداردسازی داده‌ها، با توجه به اینکه هر یک از زیرمعیارها تأثیر متفاوتی در تعیین میزان خطرپذیری زلزله دارند، وزن‌دهی به لایه‌ها ضرورت می‌یابد.

برای اینکار از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده شده است. در این روش ابتدا اعداد فازی و مقیاس‌های فازی مورد استفاده تعیین شده و سپس ماتریس‌های زوجی از معیارهای مرتبط ایجاد شد. لایه‌ها به صورت دو به دو با استفاده از اعداد فازی، توسط تصمیم‌گیرندگان مقایسه و در جداول مربوطه به صورت اعداد فازی وارد شدند. به دلیل حجم زیاد محاسبات و تعداد زیاد ماتریس‌های زوجی شکل ۵، تقسیم‌بندی معیارها و زیرمعیارها و وزن محاسبه شده برای هر یک را نشان می‌دهد.

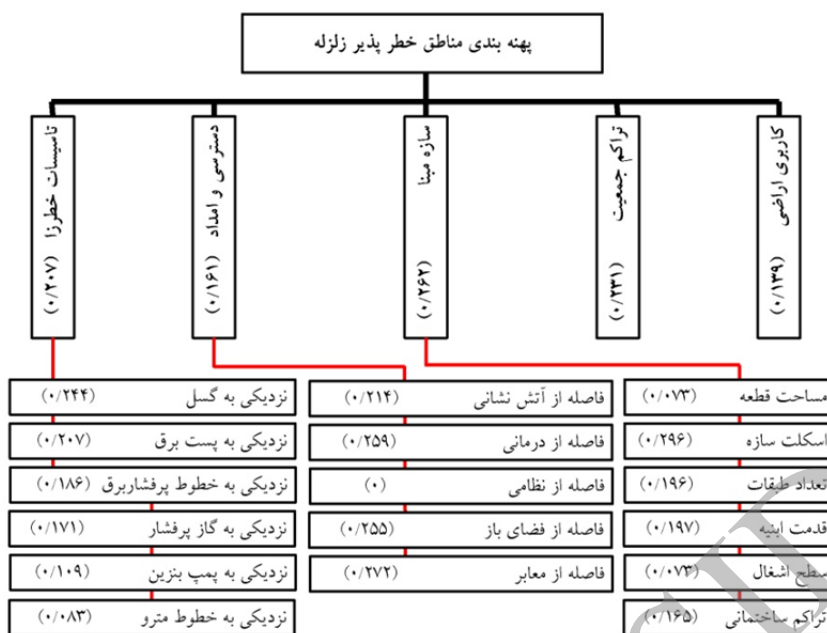
پیاپی‌سازی گردیدند. پس از اجرای مدل و اعمال غیرفازی‌سازی بر روی آن نقشه خروجی با فرمت متنی وارد ArcGIS<sup>®</sup> 10.1 گردید و به رستر تبدیل شد. شکل ۴ نقشه خروجی استنتاج فازی برای ریزپهنه‌بندی خطرپذیری زلزله را نشان می‌دهد. که در ۵ کلاس خطر پذیری بسیار کم تا بسیار زیاد طبقه‌بندی گردید.



شکل ۴. پهنه‌بندی خطرپذیری زلزله با سیستم استنتاج فازی

#### پیاپی‌سازی مدل FAHP

در پژوهش حاضر جهت سنجش نتایج به دست آمده و ارزیابی نحوه عملکرد مدل هوش محاسباتی (سیستم استنتاج فازی) از یکی از مدل‌های پرکاربرد در حوزه تصمیم‌گیری چندمعیاری، فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده شد.

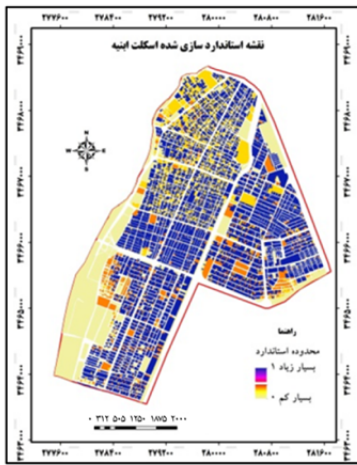


شکل ۵. امتیازات محاسبه شده برای معیارها و زیرمعیارهای در مدل FAHP

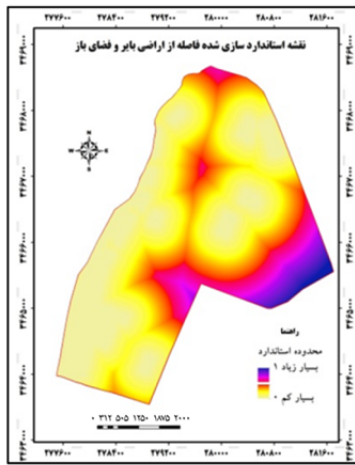
جدول ۳، سه نوع تابع عضویت *small*، *liner* و *large* تعریف شده برای هر ۱۹ معیار را نشان می‌دهد. شکل ۶ نقشه‌های استاندارد شده را نشان می‌دهد. بعد از تعریف توابع عضویت برای لایه‌ها، هر یک از لایه‌ها در وزن محاسبه شده ضرب گردیدند و در نهایت با استفاده از عملگر  $\Gamma$  بر روی هم قرار گرفتند. شکل ۸ نقشه خروجی خطرپذیری زلزله در منطقه مورد مطالعه را در ۵ کلاس خطرپذیری بسیار زیاد تا خطرپذیری بسیار کم نشان می‌دهد.

جدول ۳. توابع عضویت تعریف شده در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی

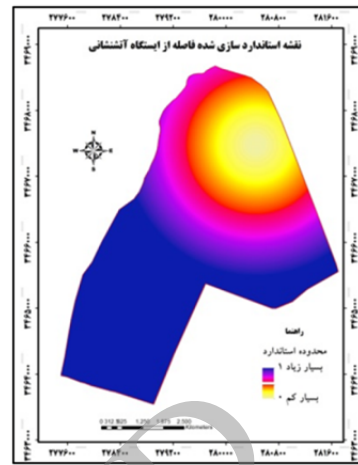
نوع تابع عضویت	کاربری اراضی	مساحت قطعات	تراکم جمعیتی	اسکلت سازه	قدمت ابنیه	تراکم ساختمانی	تعداد طبقات	سطح اشغال ابنیه	فاصله از آتش نشانی	فاصله از درمانی	فاصله از فضاهای باز	فاصله از معابر	نزدیکی به پمپ بنزین	نزدیکی به پست برق	نزدیکی به گاز پرفشار	نزدیکی به برق پرفشار	نزدیکی به گسل	نزدیکی به مترو شهری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



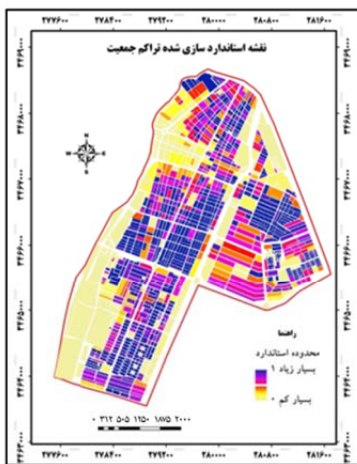
اسکلت ابنیه



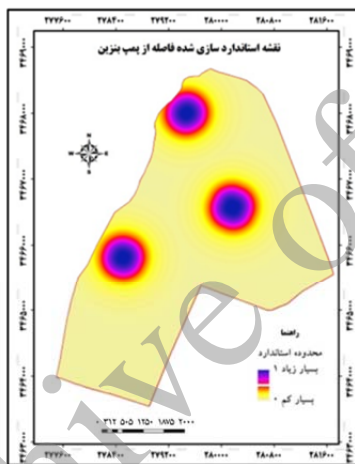
فضای باز و بایر



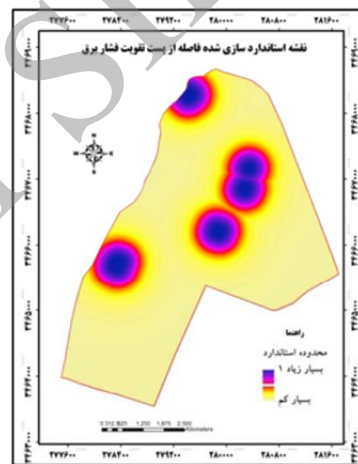
ایستگاه آتش نشانی



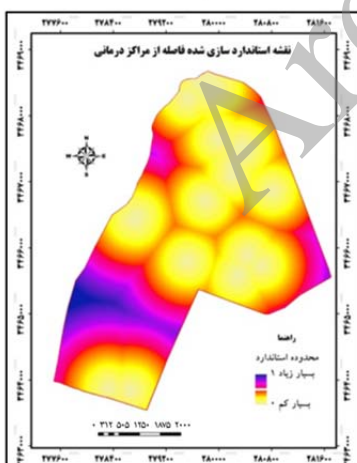
تراکم جمعیت



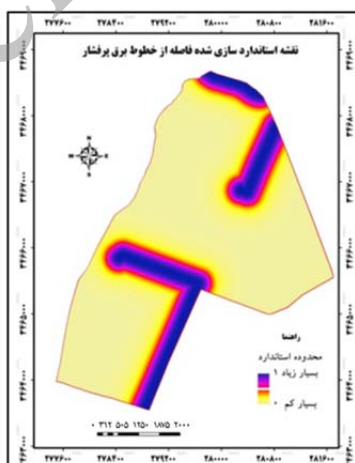
پمپ بنزین



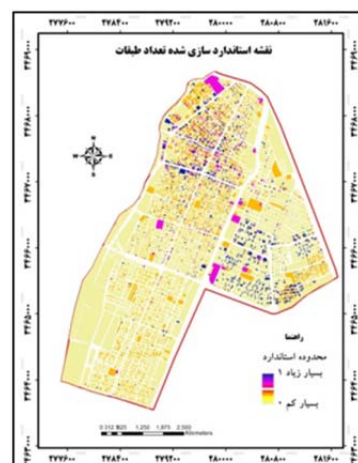
پست تقویت فشار برق



مراکز درمانی

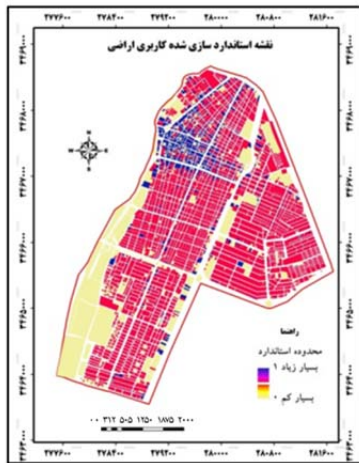


خطوط برق پر فشار

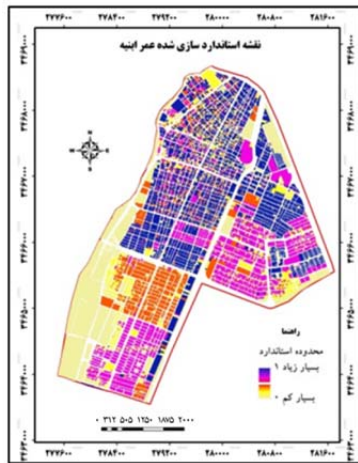


طبقات ابنیه

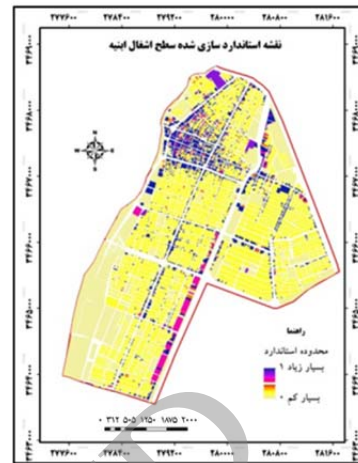
شکل ۶. نقشه‌های استاندارد شده فازی



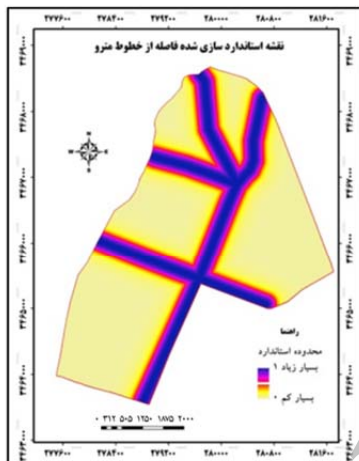
کاربری اراضی



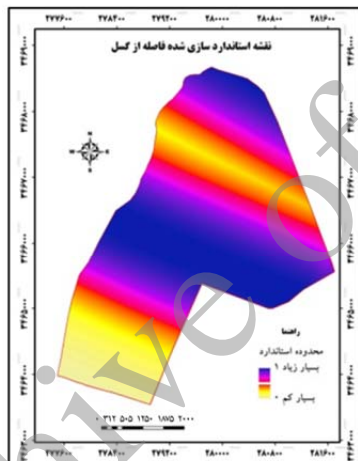
عمر ابنیه



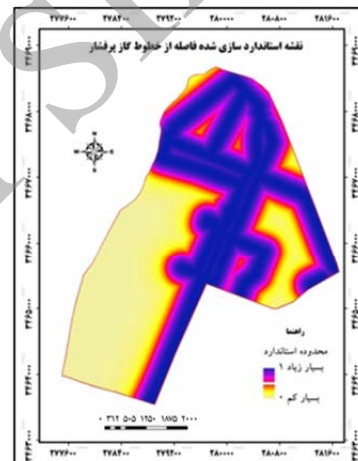
سطح اشغال ابنیه



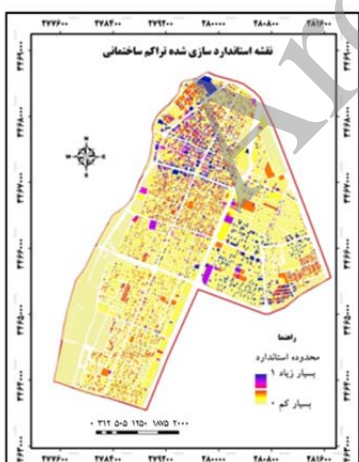
خطوط مترو شهری



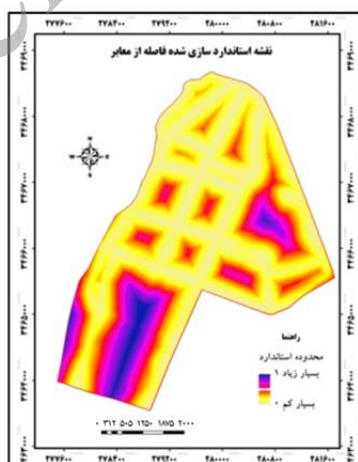
گسل



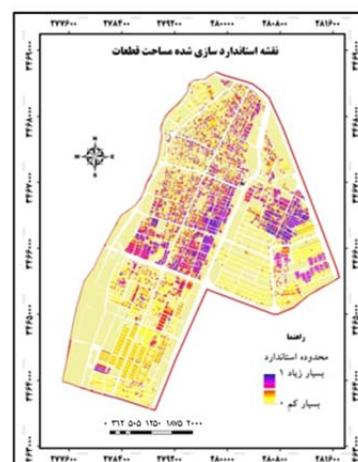
خطوط گاز پرفشار



تراکم ساختمانی



معابر



مساحت قطعات

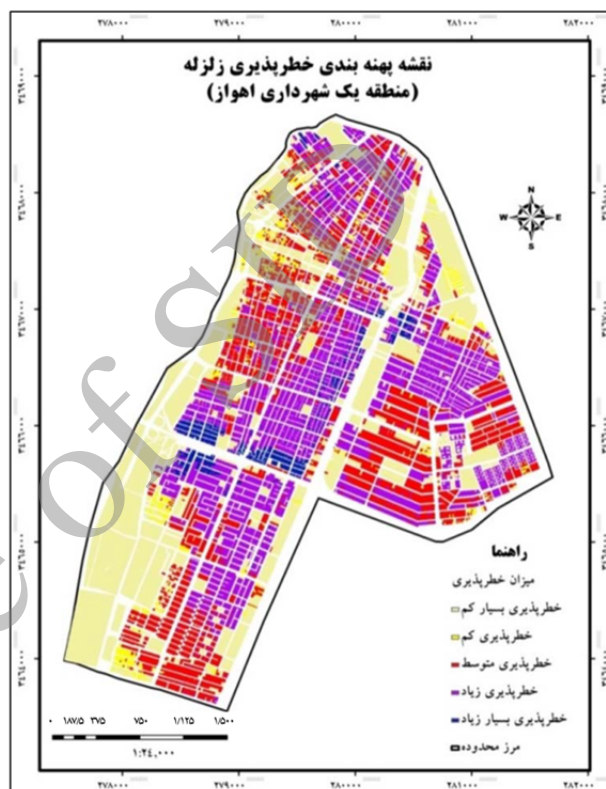
ادامه شکل ۶. نقشه‌های استاندارد شده فازی

تصادفی ۲۵ عارضه با کاربری‌های مختلف از منطقه انتخاب گردید. سپس وضعیت هر عارضه از نظر ۱۹ معیار مورد استفاده در پژوهش در اختیار ۵ کارشناس قرار گرفت تا بر اساس وضعیت موجود هر عارضه میزان خطرپذیری هر یک برآورد شود (جدول ۴).

در ادامه نتایج دو مدل استفاده شده در پژوهش با توجه به نظر کارشناسان در سه کلاس نتایج منطق، نزدیک و دور از نظر کارشناس دسته‌بندی شد. بر اساس نتایج به دست آمده سیستم استنتاج فازی با ۸۵٪، ۱۰٪ و ۵٪ به ترتیب نتایج منطق، نزدیک و دور از نظر کارشناس را به دست آورد. همچنین نتایج فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی ۴۱٪ منطق، ۳۵٪ نزدیک و ۲۴٪ دور از نظر کارشناس بوده است. نتایج به دست آمده در ارزیابی نتایج دو مدل با بررسی‌ها و مشاهدات میدانی از محدوده مورد مطالعه نیز قابل تأیید هستند.

از ویژگی‌های برتر سیستم استنتاج فازی در پژوهش حاضر تعریف قوانین در محدوده‌های مختلف و تعریف شروط و محدودیت‌های متنوع به صورت جزء به جزء و به صورت کلی می‌باشد. به عبارتی دیگر مثلاً در سیستم استنتاج فازی قادر بودیم فاصله بسیار کم از گسل را در قالب یک قانون و به صورت مطلق و دارای وزنی بالاتر برای خطر پذیری بسیار زیاد تعریف کنیم در حالی که در سایر فواصل، فاصله از گسل را در قوانین دیگر و در صورت تحقق عوامل دیگر به صورت جداگانه تأثیر دهیم که در این صورت وزن تأثیرپذیری گسل به مراتب کمتر از حالت اول می‌باشد، در حالی که در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی لایه گسل دارای وزنی ثابت است که در تمام شرایط از وزن تمامی لایه بیشتر و در تمام موقعیت‌ها تأثیر بیشتر خواهد داشت.

نقشه ریزپهنه‌بندی خطرپذیری زلزله از طریق عملگر گاما با رویهم گذاری معیارهای مؤثر به دست آمد. در نهایت برای طبقه‌بندی خطرپذیری زلزله منطقه مورد مطالعه، نقشه نهایی منطقه یک شهرداری اهواز، در پنج کلاس طبقه‌بندی شد (شکل ۷).



شکل ۷. نقشه پهنه‌بندی خطرپذیری زلزله با مدل FAHP

کلاس ۵ با توجه به پتانسیل بیشتر در ایجاد خطر زلزله، به عنوان پرخطرترین کلاس و دیگر کلاس‌ها، به ترتیب در درجه اهمیت پایین‌تر قرار گرفتند.

### ارزیابی نتایج سیستم استنتاج فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی

به منظور ارزیابی نتایج به دست آمده در دو مدل سیستم استنتاج فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی به صورت

جدول ۴. نتایج دو مدل بر اساس ارزیابی کارشناسان

تحلیل سلسله مراتبی فازی			سیستم استنتاج فازی			
دور	نزدیک	منطبق	دور	نزدیک	منطبق	
۸	۱۰	۷	۰	۵	۲۰	کارشناس اول
۵	۱۱	۹	۱	۲	۲۲	کارشناس دوم
۴	۱۰	۱۱	۱	۱	۲۳	کارشناس سوم
۶	۶	۱۳	۱	۳	۲۱	کارشناس چهارم
۷	۷	۱۱	۳	۲	۲۰	کارشناس پنجم
۳۰	۴۴	۵۱	۶	۱۳	۱۰۶	مجموع
٪۲۴	٪۳۵	٪۴۱	٪۵	٪۱۰	٪۸۵	درصد

## بحث

پدیده زلزله منجر به از هم گسیختگی شالوده شهر و قطع ارتباط بین عناصر شهری می‌شود. آمادگی و برنامه‌ریزی دقیق برای تخمین میزان آسیب‌پذیری، کنترل و کاهش عواقب نامطلوب زلزله، تعیین‌کننده درجه بحران است. از این رو تعیین میزان آسیب‌پذیری شهرها در برابر این پدیده بر روی مقیاسی از صفر (بدون آسیب‌پذیری) تا یک (آسیب‌پذیری کامل) که بتواند شناخت و دید واقعی به ساکنین و مسئولین شهرها بدهد، از الزامات مدیریت بحران است. ماهیت نامشخص متغیرهای مورد مطالعه، وجود عناصر نایقینی در تحلیل بحران زلزله، ناتوانی در تعیین مرز دقیق آسیب‌پذیری نواحی و عوارض موجب عدم قطعیت و نایقینی در تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری می‌گردد که با رویکرد به فناوری‌های نوین مانند GIS و الگوریتم‌های هوش محاسباتی امتیازها و قابلیت‌های فراوانی را به منظور مدیریت مناسب و کارآمد بحران می‌توان به دست آورد. در این پژوهش تلاش گردید مدلی از فرآیند برنامه‌ریزی پیش از وقوع بحران به ویژه زلزله، با استفاده از توابع تحلیل فضایی GIS و تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی و الگوریتم‌های هوش محاسباتی به ویژه سیستم استنتاج فازی ارائه گردد. از مهم‌ترین دلایل استفاده از تئوری فازی در این پژوهش، نخست نگاه فازی به مسأله آمادگی پیش از بحران در قالب مسأله آسیب‌پذیری که می‌تواند پاسخی به عدم قطعیت‌ها

و ابهام‌های موجود در عوامل و مسائل مربوط به بحران باشد و استفاده از این منطق در نزدیک‌سازی تئوری و واقعیت مؤثر است. دوم؛ نقشه آسیب‌پذیری تولید شده قابلیت تطبیق‌پذیری با تغییرات را داشته باشد تا بتواند به عنوان مبنای تصمیم‌سازی برای برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران بکار رود. در این پژوهش نتایج حاصل از پهنه‌بندی خطرپذیری زلزله با سیستم استنتاج فازی نشان می‌دهد که ۳۲٪ معادل ۲/۴۲ کیلومترمربع از مساحت منطقه دارای خطرپذیری کم و ۲۲٪ معادل ۱/۷ کیلومتر مربع دارای خطرپذیری بسیار زیاد می‌باشند. همچنین پهنه‌های با خطرپذیری زیاد و متوسط با ۱۹٪، و پهنه‌های بسیار کم با ۸٪ در رتبه بعدی قرار دارند. در این پهنه‌بندی قسمت‌های نزدیک به گسل در پهنه‌های دارای آسیب‌پذیری بسیار زیاد می‌باشد و بخش‌های جنوبی و شمالی منطقه در پهنه‌های خطرپذیری کم قرار دارند که این امر به ویژه در جنوب منطقه به دلیل دوری از محدوده‌های خطرزا، دوری از گسل، و نزدیکی به اراضی بایر می‌باشد. همچنین بخش‌های مرکزی منطقه به دلیل تمرکز کاربری‌های تجاری، نزدیکی به موقعیت‌های خطرزا مانند خطوط مترو و تراکم ساختمانی بالا و ارتفاع ساختمان‌ها اکثراً در پهنه‌های بسیار خطرپذیر قرار گرفته‌اند. نتایج حاصل از پهنه‌بندی خطرپذیری با مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی نیز ۳۶٪ معادل ۲/۷ کیلومترمربع از مساحت منطقه را در پهنه‌های خطرپذیری بسیار کم قرار داد که بخش زیادی از این پهنه‌ها شامل اراضی بایر حاشیه شرقی

- در بوستان‌های تهران برای آسیب‌دیدگان زلزله محتمل تهران. فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، ۲(۱): ۴۳-۴۹.
۳. بحرینی، ح. ۱۳۷۵. تحلیل فضاهای شهری، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۱۶۴ صفحه.
۴. حبیبی، ف. ۱۳۷۱. نقش فرم شهر در به حداقل رساندن خطرات ناشی از زلزله. مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین‌المللی بلایای طبیعی در مناطق شهری، انتشارات دفتر مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران، تهران.
۵. حبیبی، ک. ا. پوراحمد، ا. مشکینی، ع. عسگری و س. نظری عدلی. ۱۳۸۷. تعیین عوامل سازهای موثر در آسیب‌پذیری بافت کهن شهری زنجان با استفاده از GIS و Fuzzy Logic. نشریه هنرهای زیبا، ۳۳(۳۳): ۲۷-۳۶.
۶. خاکپور، ب. ع.، م. ج. زمردیان، س. صادقی و ا. مقدمی. ۱۳۹۰. تحلیل میزان آسیب‌پذیری فیزیکی - کالبدی منطقه ۹ شهر مشهد از دیدگاه زلزله‌خیزی. جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ۸(۱۶): ۱-۳۴.
۷. رهنمایی، م. ت. ۱۳۶۷. روند مطالعات شهری و جایگاه جغرافیای شهری در ایران. تحقیقات جغرافیایی، ۱۱: ۷۱-۹۴.
۸. زمردیان، م. ج. ۱۳۹۱. ژئومورفولوژی ایران: فرآیندهای ساختمانی و دینامیک‌های درونی. اشارات فردوسی، مشهد. ۲۸۴ صفحه.
۹. شهابی، ه.، م. ح. قلی‌زاده و ه. نیری. ۱۳۹۰. پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه با روش تحلیل چند معیاره فضایی. جغرافیا و توسعه، ۹(۲۱): ۶۵-۸۰.
۱۰. شیعه، ا. ۱۳۸۲. لزوم تحول مدیریت شهری در ایران. جغرافیا و توسعه، ۱(۱): ۳۷-۶۲.
۱۱. شیعه، ا.، ک. حبیبی و ک. ترابی. ۱۳۸۹. بررسی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی معکوس (IHWP) و GIS، مطالعه موردی منطقه ۶ شهرداری تهران. مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام، ۲۵ تا ۲۷ فروردین، زاهدان.
۱۲. عشیری، ا. و م. موسی‌نژاد. ۱۳۸۸. آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله: استاندارد ۸۴-۲۸۰۰، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران. ۱۲۶ صفحه.
۱۳. عطائی، محمد. ۱۳۸۹. تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی. انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود. ۳۴۸ صفحه.

منطقه و مزارع جنوب منطقه می‌باشد. در این مدل خطرپذیری زیاد با ۲۸٪، خطرپذیری متوسط با ۱۸٪، خطرپذیری بسیار زیاد با ۹٪ و خطرپذیری بسیار کم با ۹٪ از مساحت کل (۷/۶ کیلومتر مربع) در رتبه بعدی قرار دارند. همچنین با توجه به شکل ۸ ملاحظه می‌شود که اکثر پهنه‌های با خطر بسیار زیاد و زیاد در شمال، شرق و مرکز منطقه قرار دارند، که وجود تراکم کاربری‌های تجاری، تراکم ساختمانی بالا و همچنین ابنیه فاقد استحکام لازم در شمال، و وجود خطوط مترو، گاز پرفشار، برق پرفشار، و پست‌های برق و عبور گسل در شرق و مرکز منطقه از علل خطرپذیری بالا می‌باشد. در مجموع نتایج دو مدل ارائه شده می‌توان گفت که با توجه به نتایج فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی، خطرپذیری بسیار زیاد و زیاد با مجموع ۳۷٪ (۲/۸۴ کیلومتر مربع) و خطرپذیری متوسط با ۱۸٪ معادل ۱/۳۹ کیلومتر مربع از منطقه و در سیستم استنتاج فازی خطرپذیری بسیار زیاد، زیاد و متوسط در مجموع با ۶۰٪ معادل ۴/۴۸ کیلومتر مربع از مساحت ۷/۶ کیلومتر مربع کل منطقه، نشان از خطرپذیر بودن متوسط رو به بالای منطقه دارد. در این بین پهنه‌های خطرپذیر بسیار کم و کم بیشتر اراضی بایر و زراعی در منطقه می‌باشند.

#### تقدیر و تشکر

این مقاله از پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان "مکانیابی اسکان موقت در زمان مخاطرات طبیعی در منطقه یک شهرداری اهواز- خوزستان با استفاده از GIS و الگوریتم‌های هوش مصنوعی" استخراج شده است و تحت حمایت شهرداری کلانشهر اهواز می‌باشد.

#### منابع مورد استفاده

۱. ابویی اشکذری، ع. ۱۳۹۱. مدیریت بحران زلزله با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) - نمونه موردی: شهر یزد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS. دانشگاه شهید چمران اهواز. ۱۱۲ صفحه.
۲. امامی، ا. و س. کشانی. ۱۳۹۱. تامین اردوگاه‌های اسکان موقت

- سیاحی.
۲۱. مهندسین مشاور معماری و شهرسازی عرصه. ۱۳۹۰. طرح راهبردی توسعه و عمران (جامع) شهر اهواز، مطالعات محیط انسان ساخت و کالبدی (بخش کالبدی- فضایی)، مرحله اول، مقطع دوم، ویرایش دوم. ۱۰۰ صفحه.
۲۲. وزارت تعاون. ۱۳۹۱. مرکز آمار و اطلاعات راهبردی، استان خوزستان در یک نگاه (وضعیت اشتغال و بیکاری). ۱۴۵ صفحه.
23. Donevska KR, Gorsevski PV, Jovanovski M, Peševski I. 2012. Regional non-hazardous landfill site selection by integrating fuzzy logic, AHP and geographic information systems. *Environmental Earth Sciences*, 67(1): 121-131.
24. Li D-F. 2005. Multiattribute decision making models and methods using intuitionistic fuzzy sets. *Journal of Computer and System Sciences*, 70(1): 73-85.
25. Office of the United Nations Disaster Relief Co-ordinator; Expert Group Meeting on Vulnerability Analysis (1979 : Geneva, Switzerland). 1980. Natural disasters and vulnerability analysis : report of Expert Group Meeting (9-12 July 1979). Office of the United Nations Disaster Relief Co-ordinator. 300 pp.
26. Tudes S, Yigiter ND. 2010. Preparation of land use planning model using GIS based on AHP: case study Adana-Turkey. *Bulletin of engineering geology and the environment*, 69(2): 235-245.
۱۴. عفتی، م. و م.ع. رجبی. ۱۳۹۰. ارائه روشی نوین جهت شناسایی نقاط حادثه‌خیز جاده‌ای با استفاده از GIS و استنتاج فازی؛ مطالعه موردی محور کوهین- لوشان. فصلنامه علوم و فنون نقشه‌برداری، ۱(۲): ۱-۱۶.
۱۵. فرجی، ا. و م. قرخلو. ۱۳۸۹. زلزله و مدیریت بحران شهری (مطالعه موردی: شهر بابل). جغرافیا، ۸(۲۵): ۱۴۳-۱۶۴.
۱۶. کابلی‌زاده، م. ۱۳۹۲. بازسازی سه بعدی اتوماتیک ساختمان در مناطق شهری با استفاده از منطق فازی و منحنی‌های فعال هندسی. رساله دکتری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین توسی. ۱۱۵ صفحه.
۱۷. کوبرن، آ. و ر. اسپنس. ۱۳۸۹. ایمن‌سازی در برابر زلزله. ترجمه: فریدون غضنجان، سحر درخشمان، بابک امیدوار. انتشارات دانشگاه تهران. ۵۲۱ صفحه.
۱۸. کوره‌پزان دزفولی، ا. ۱۳۸۷. اصول تئوری مجموعه‌های فازی و کاربردهای آن در مدل‌های مسایل مهندسی آب. ویرایش اول، چاپ دوم. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر. ۲۷۲ صفحه.
۱۹. محمدی، ا. ح. صادقی و م. خیرخواه. ۱۳۹۱. برنامه‌ریزی برای اسکان موقت در هنگام بحران زلزله با استفاده از منطق فازی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی AHP- مورد مطالعاتی غرب تهران. نشریه گزارش، ۳۲: ۷۲-۷۳.
۲۰. مهندسین مشاور فجر توسعه. ۱۳۹۱. مطالعات بافت فرسوده و توانمندسازی محلات شهر اهواز- لشکرآباد، کوی علوی، کوی





## The Zoning of Earthquake risk by using fuzzy inference system and fuzzy analytic hierarchy process

K. Rangzan<sup>1</sup>, M. Kaboulizade<sup>2</sup>, E. Mansour Naeimi<sup>3\*</sup>

1. Assoc. Prof College of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz

2. Assis. Prof College of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz

3. MSc. Graduated of Remote Sensing and Geographic Information System, College of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 29 July 2014

Accepted 29 January 2015

Available online 14 September 2015

#### Keywords:

Earthquake

Risk

Fuzzy inference

Fuzzy analytic hierarchy process (FAHP)

### ABSTRACT

The present research was performed with the aim of microzonation risk of earthquake using fuzzy inference system model and fuzzy analytic hierarchy process in district 1 of Ahvaz Municipality. In this study 19 criteria (population, land use, building density, occupancy level, historical background, floors, structures, distance from health centers, outdoor fireplaces and military facilities, proximity to faults, electrical, subway, high-pressure gas and petrol stations) were selected and converted into raster format in ArcGIS<sup>®</sup>10.1 environment to generate the standard layers. Linguistic variables limitation and fuzzy membership functions were then written using MATLAB program. The results indicated that, the fuzzy inference system has better performance than fuzzy analytic hierarch process model. In addition, based on the results of the fuzzy inference system, existence of areas with a very high, high, and a medium rate of risk showed 60% (4.48 Km<sup>2</sup>) of total area (7.6 Km<sup>2</sup>). This indicated the existence of the medium up to a high rate of risk in mentioned district. Furthermore the area with low and very low rate of risk was 40% of area (3.12 Km<sup>2</sup>) which is mostly consisted of arid lands and farms in the west and southwest of the district.

\* Corresponding author e-mail address: [ebi1368@live.com](mailto:ebi1368@live.com)