ارزیابی خطر زمین‌لرزه در حوزه‌ی شهری ایذه با استفاده از مدل‌های چندمعیاری WLC و AHP در محیط GIS

سیده معصومه موسوی *- دانش آموخته جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران؛ mosavi14@yahoo.com
موسی عابدینی -دانشیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
اباذر اسمعلی عوری - دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت:۹۳/۴/۳۱
تاریخ پذیرش:۹۳/۱۲/۱۱

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی و تحلیل خطر وقوع زمین‌لرزه در محدوده‌ی حوزه‌ی شهری ایذه واقع در شمال شرق استان خوزستان با استفاده از مدل‌های چندمعیاری است. ویژگی‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل فاصله از خطوط گسل، طول گسل، ویژگی‌های لرزه‌ای مانند بزرگای زمین‌لرزه، وضعیت ساختاری سازندهای زمین‌شناسی و عمق آب زیرزمینی است. ابتدا پنج لایه‌ی ذکرشده در محیط نرم‌افزار ArcGIS نسخه‌ی ۱۰ تهیه و طبقه‌بندی گردیدند. سپس با استفاده از روش مقایسه‌ی زوجی و نظرهای کارشناسی وزن‌دهی شدند و در مرحله‌ی بعد وارد مدل‌ها گردیدند. خروجی حاصل از این اعمال شامل دو نقشه‌ی پهنه‌بندی به روش‌های WLC و AHP است. نتایج حاصل از مدل‌ها نشان می‌دهد که بر اساس مدل AHP92/10 درصد، و بر اساس مدل WLC، ۱۶/۵۸ درصد از محدوده‌ی مورد مطالعه در طبقه‌ی خطر بسیار بالای زمین‌لرزه قرار دارد. ارزیابی مدل‌ها، با توجه به مشاهدات میدانی و داده‌های به کار گرفته شده، بیانگر این است که مدل WLC دارای کارایی بهتری نسبت به مدل AHP در پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه در محدوده‌ی مورد مطالعه است.

واژه‌های کلیدی: *زمین‌لرزه، حوزه‌ی شهری ایذه، مدل‌های AHP و GIS ،WLC*

Evaluation Seismic hazard in Izeh urban catchment with using models, Multi-criteria: WLC and AHP. in GIS

1-Seyedeh Masomeh Mousavi*[1] Mousa Abedini[2] Abazar Esmeali Ouri[3]

Abstract

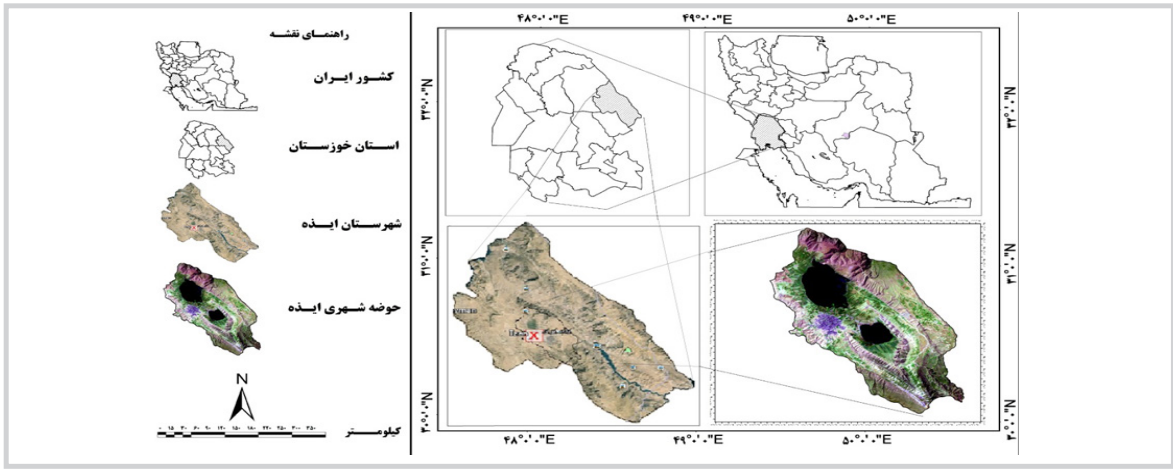
The purpose of this study is to assess earthquake risk analysis of Izeh urban catchment area located in the North East of Khuzestan province using the Multi-criteria models. The parameters used in this study include: the distance from the fault lines, seismic attributes such as magnitude of the earthquake, the geological structure and depth to the water table. In the first stage, five layers of the sesmic charachteristics were produced and classified by GIS 10 software. Then, the pairwise comparison method was employed, and the experts' opinions were weighted. The results of this study are two zoning map based on WLC and AHP methods. The results of the model indicate that the model based on the AHP and WLC, 10.92 and 16.58 Percents of the class area are at very high risk of earthquakes. By evaluating the models according to field observations; it is indicated that WLC model has better performance than AHP model for the seismic hazard zoning in the study area.

Keywords: *Earthquakes, Izeh urban catchment, models WLC, AHP, GIS.*

1 MSc Student of physical Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran; Email:mosavi14@yahoo.com
2 Associate Prof., Department of Geography, University of Mohaghegh Ardabil, Ardabil, Iran.
3 Associate Prof., Department of Watershed Management, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

مقدمه

زمین‌لرزه‌ها همواره جزء مهم‌ترین مخاطرات طبیعی هستند که هر ساله تعداد بسیار زیادی از مردم جهان گرفتار آثار نامطلوب آن می‌شوند. برای کاهش تلفات جانی و اقتصادی و تبعات اجتماعی آن‌ها ضروری است که بر اساس دانش کنونی و آخرین فناوری‌های قابل اعتماد از خطر وقوع زمین‌لرزه در نقاط مختلف شناختی دقیق به دست آورد. قدم اول و مهم در تجزیه و تحلیل خطر لرزه‌ای، راهبرد کاهش استقرار جمعیت در مناطق پرخطر است [۱]. آنچه حائز اهمیت است، وضعیت اسفبار شهرها و کلان‌شهرهایی است که بر روی خطوط گسل یا در مجاورت آن‌ها ساخته شده‌اند و در معرض خطر زلزله قرار دارند. هر چند پیش‌بینی دقیق این مخاطره‌ی بزرگ طبیعی به صورت ۱۰۰ درصد قطعی ممکن نیست، ولی تعیین احتمالی مکان رخداد یک زلزله امکان‌پذیر است. تلاش دانشمندان این علم در مسیر تحقق این هدف ادامه دارد. ژئودزی و ژئودینامیک به‌منزله‌ی علوم مرتبط با هندسه و دینامیک زمین از طریق پایش تغییرات هندسه‌ی پوسته (تغییر شکل‌های پوسته‌ای) و فیزیک پوسته (تغییرات شتاب گرانی) امکان به‌کارگیری هندسه و فیزیک مرتبط با جرم زمین را به‌منزله‌ی پیش‌نشانگرهای زلزله پدید می‌آورند. زلزله، ناشی از آزاد شدن انرژی ذخیره شده در پوسته به صورت تنش پوسته‌ای در طی سالیان متمادی است. تنش پوسته‌ای ناشی از تغییر شکل و کرنش پوسته تحت تأثیر نیروهای تکتونیکی است. بنابراین پایش تغییر شکل پوسته‌ای می‌تواند کرنش پوسته‌ای را مشخص نماید. با در اختیار داشتن کرنش و آگاهی از ژئولوژی پوسته، میزان تنش پوسته مشخص گردیده است که با اطلاع از ژئولوژی پوسته می‌تواند ملاک مؤثری در تشخیص زمان عبور تنش از توان مقاومت پوسته و پیش‌بینی زمان محتمل شکستن پوسته (وقوع زلزله) باشد [۲]. مدل‌های آماری MSC و M ۸ در کمربند لرزه‌خیز اقیانوس آرام در پیش‌بینی میان‌مدت به کار رفته‌اند؛ در فاصله‌ی سال‌های ۱۹۹۷-۱۹۹۲ پنج زلزله با بزرگی بالاتر از ۸ ریشتر در منطقه‌ی مورد مطالعه رخ داده‌اند. تمام پنج زمین‌لرزه‌ی فوق توسط مدل‌های MSc و M ۸تشخیص داده شده‌اند که در این بین چهار مورد از زمین‌لرزه‌ها با صحت بالایی پیش‌بینی شدند [۳]. گسترش علوم زمینی و تلفیق آن با ریاضیات موجب شناخت دقیق‌تر شرایط محیطی و در نتیجه آگاهی بیشتر از مقاومت محیط طبیعی در برابر زمین‌لرزه می‌شود [۴]. در ارتباط با موضوع پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه تا کنون پژوهش‌های زیادی در سطح جهان و کشور ایران صورت گرفته است، ولی در حوزه‌ی شهری ایذه مطالعات جامعی صورت نگرفته است. در زیر به برخی از تحقیقات صورت گرفته اشاره خواهیم نمود. اسفندیاری و همکاران [۵] به مدل‌سازی آسیب‌پذیری شهرهای اردبیل در برابر زلزله با استفاده از روش تاپسیس در محیط GIS[1] پرداختند و به این نتیجه رسیدند که میزان آسیب وارده در منطقه‌ی ۳ بیشتر از سایر مناطق است، به‌طوری‌که ۴/۳۷ درصد از مساحت منطقه در پهنه‌ی خطر بالا قرار دارد. قهرودی تالی و همکاران [۶] به بررسی پتانسیل تخریب زمین‌لرزه با استفاده از مدل‌های چندشاخصه در منطقه‌ی یک تهران پرداختند و به این نتیجه رسیدند که حداکثر پتانسیل لرزه‌خیزی در بخش شمالی منطقه‌ی یک قرار گرفته است؛ دلایل این امر عبارت‌اند از برون‌زدگی‌های آبرفت‌های قدیمی‌تر روی آبرفت‌های جدیدتر، حضور گسل‌های اصلی و لرزه‌زا، حداکثر ضریب خمیدگی و حضور شبکه‌های آبرفتی اصلی. شهابی و همکاران [۷] خطر زمین‌لرزه را در استان کردستان با استفاده از روش‌های تحلیل چندمعیاره‌ی فضایی بررسی کردند و به این نتیجه دست یافتند که ۲۶/۲۳ درصد از مساحت منطقه‌ی مورد مطالعه در پهنه‌ی با خطر بالای زمین‌لرزه قرار دارد. فرج‌زاده اصل و همکاران [۸] به ارزیابی آسیب‌پذیری مساکن شهری در برابر زلزله در منطقه‌ی ۹ شهرداری تهران با استفاده از روش‌های مبتنی بر GIS و مدل تاپسیس فازی پرداختند؛ نتایج نشانگر آسیب‌پذیر بودن منطقه‌ی ۹ تهران در برابر زلزله و کارایی روش‌های به کار برده در منطقه‌ی مورد مطالعه بوده است. شیعه [۹] در تحقیقی به بررسی آسیب‌پذیری منطقه‌ی ۶ شهر تهران در برابر زلزله با استفاده از روش تحلیل معکوس (IHWP) و GIS پرداخته است و به این نتیجه رسیده است که مناطق با تراکم جمعیت بالا، تراکم ساختمانی بالا و فاصله‌ی زیاد تا مراکز امداد نسبت به سایر قطعه‌ها امتیاز آسیب‌پذیری بالاتری دارند. احدنژاد و همکاران [۱۰] به مدل‌سازی آسیب‌پذیری شهر زنجان در مقابل زلزله با استفاده از روش AHP[2] در محیط GIS پرداختند. یافته‌هایشان نشان می‌دهد که منطقه‌ی ۳ شهر زنجان به دلیل فرسودگی بافت و مصالح کم‌دوام آسیب‌پذیری بالایی دارد. قبادی و چرچی [۱۱]، طی تحقیقی گسل‌های موجود در محدوده‌ی شهرستان ایذه را شناسایی و وضعیت لرزه‌خیزی آن‌ها را به دو روش قطعی و احتمالی تعیین کردند. نتایج پژوهش بیانگر این است که از میان گسل‌های مورد مطالعه که ۸ گسل فشاری، سه گسل امتداد لغز و یک گسل کششی است، بزرگ‌ترین زمین‌لرزه‌ی محتمل با بزرگی ۷/۴ ریشتر و شتاب افقی حداکثر *0/33g* محاسبه شد و به لحاظ خطر زمین‌لرزه این شهرستان با خطر لرزه‌خیزی بالایی مواجه است. مهم‌ترین تفاوت‌های میان این تحقیق و پژوهش کنونی در این است که در تحقیق پیش‌گفته تنها به بررسی وضعیت گسل‌ها در برابر زمین‌لرزه پرداخته شده است و سایر عوامل مؤثر در لرزه‌خیزی منطقه بررسی نشده است؛ از سوی دیگر مدل‌سازی به صورتی که در آن پهنه‌ها به لحاظ میزان خطر به نمایش گذاشته شود، صورت نگرفته است. راشد و ویک [۱۲] میزان آسیب‌پذیری ناشی از زلزله را در شهر کراچی پاکستان با استفاده از روش AHP و GIS مدل‌سازی کردند. کینگ چن و همکاران [۱۳] و صفاری و همکاران [۱۴] در پژوهشی به بررسی شاخص‌های مورفوتکتونیکی و زمین‌لرزه در مناطق استان خوزستان پرداختند. نتایج کارشان بیانگر این است که مناطق ایذه، مرغاب، باغملک، صیدون، دالون، جایزان و بهبهان پهنه‌های با فعالیت تکتونیکی زیاد هستند. آن‌ها ترکیب ارزیابی مدل چندمعیاره و GIS را در ریسک سوانح طبیعی مطالعه کردند. در این پژوهش از مدل‌های MCE[3] شامل تاپسیس و WLC



تصویر۱: موقعیت جغرافیایی حوضه‌ی آبخیز شهر ایذه. [نگارندگان]

استفاده کردند. تانگ و ون [۱۵] با استفاده از هوش مصنوعی و GIS خطر زمین‌لرزه را در شهر دیانگ چین ارزیابی کردند. شهر ایذه طی چند سال اخیر از رشد قابل توجهی برخوردار بوده است ولی در توسعه‌ی فیزیکی خود به دلیل قرارگیری در میان کمربند چین‌خورده‌ی زاگرس، دارای گسل‌های فعال و طولانی است و علاوه بر آن با سازندهای نامناسب هم مواجه است. این عوامل سبب شدند که این شهر در گستره‌ی آینده‌ی خود در برخی مناطق با خطر بالای زمین‌لرزه مواجه باشد. هدف از این پژوهش این است که با استفاده از مدل‌های چندمعیاری مناسب، اطلاعات طبقه‌بندی شده‌ی معتبر و تجزیه و تحلیل این داده‌ها، نواحی با خطر بسیار بالا تا کم خطر را در توسعه‌ی آینده‌ی این شهر مشخص نماید. مدل‌های فضایی چندمعیاری، دارای ساختاری تحلیلی بر مبنای مکان هستند، که می‌توانند به طور نامحدود متغیرهای مؤثر در رخداد زمین‌لرزه را با ارائه‌ی وزن‌های درون‌گروهی و بین‌گروهی بررسی نمایند؛ از سوی دیگر این مدل‌ها توان هم دیده‌بانی همه‌ی عناصر و عوامل مؤثر در برآورد توان لرزه‌خیزی را به صورت یکجا دارا هستند و نتایج مطلوب و منطقی را به صورت مکانی بر روی نقشه به نمایش می‌گذارند. با توجه به هدف این پژوهش که ارزیابی خطر زمین‌لرزه است، به نظر می‌رسد که این مدل‌ها توانایی و کارایی لازم را در ارتباط با هدف مذکور داشته باشند.

محدوده‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی آبخیز شهر ایذه با وسعت ۳۴۸/۱۱ کیلومتر مربع در بین طول *49° 47′ 35″* تا *50° 44′ 2″* شرقی و عرض *31° 42′ 37″* تا *31° 57′ 46″* شمالی در شرق استان خوزستان واقع شده است (تصویر ۱) [۱۶]. منطقه‌ی مورد مطالعه از لحاظ زمین‌شناسی ناحیه‌ای بر اساس تقسیم‌بندی Stocklin (۱۹۶۸) در ناحیه‌ی زاگرس چین‌خورده یا زاگرس خارجی و بر پایه‌ی تقسیم‌بندی لرزه‌ی زمین‌ساختی Berberian (۱۹۹۵) در زون لرزه‌ی زمین‌ساختی زاگرس قرار دارد [۱۷]. این منطقه به دلیل داشتن گسل‌های طولانی و راندگی‌ها به لحاظ تکتونیکی یک منطقه‌ی فعال است. سازندهای عمده‌ی موجود در منطقه به لحاظ زمانی از کرتاسه‌ی زیرین تا عهد حاضر گسترش دارند. قدیم‌ترین آن سازند داریان - فهلیان است و علاوه بر آن سازندهای کژدمی، ایلام - سروک، گورپی، پابده، آسماری، گچساران، بختیاری و رسوبات رودخانه‌ای و دریاچه‌ای عصر حاضر به ترتیب قدمت در این محدوده قرار دارند [۱۶].

مواد و روش‌ها

با توجه به ماهیت موضوع، روش تحقیق به صورت استنادی، تجربی، مشاهدات میدانی و «توصیفی- تحلیلی» است. داده‌های مورد نیاز به شیوه‌ی کتابخانه‌ای جمع‌آوری شدند. موادی که در این پژوهش به کار گرفته شد، مشتمل بر معیارهای فاصله از خطوط گسل، طول گسل، ویژگی‌های برداشت شده از یک نقطه‌ی کانونی لرزه‌ای مانند بزرگای زمین‌لرزه، وضعیت ساختاری سازندهای زمین‌شناسی و عمق آب زیرزمینی است که برای تعیین پهنه‌ی پرخطر در برابر خطر وقوع خطر زمین‌لرزه، به کار گرفته شدند. این معیارها از داده‌های زیر استخراج گردیدند: ۱. نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ (ایذه، کی مقصودی، شهرک شیوند، باغ ملک) برای تعیین مرز منطقه‌ی مورد مطالعه؛ ۲. نقشه‌های زمین‌شناسی (کوه آسماری، دهدز) برای تهیه‌ی نقشه‌ی خطوط گسل و سازندهای زمین‌شناسی؛ ۳. تصویر ماهواره‌ای محدوده‌ی مورد مطالعه از سنجنده $Landsat^7\ ETM^+$؛ ۴. داده‌های پیزومتری دشت ایذه، برای تعیین عمق آب زیرزمینی منطقه؛ ۵. آمار زلزله‌های ۶۰ سال اخیر منطقه. برای تهیه‌ی نقشه‌ی فراوانی وقوع زمین‌لرزه‌ها، از بولتن پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله تهیه شد و زلزله‌های بالای ۳ ریشتر را پس از ویرایش کردن به یک فایل برداری تبدیل کردیم [۲]، سپس با استفاده از تابع Interpolation از طریق عمل درون‌یابی به روش معکوس وزنی فاصله (IDW) ۴ نقشه‌ی بزرگای زمین‌لرزه بر حسب ریشتر تهیه شد. ۶. نقشه‌ی واحدهای توپوگرافی منطقه برای تعیین طول. نرم‌افزارهای مورد استفاده عبارتند از: ۱. نرم‌افزار ArcGIS۱۰ ، Arc View؛ ۲. نرم‌افزار Excel۲۰۱۰ ؛ ۳. نرم‌افزار Idrisi Kilimanjaro؛ ۴. نرم‌افزار Google Earth برای به‌روز کردن نقشه‌ها.

مدل‌ها

در دهه‌های اخیر توجه محققان بسیار زیادی معطوف به مدل‌های چندمعیاره (MCDM)[۵] برای تصمیم‌گیری‌ها در شرایط واقعی شده است. در این پژوهش از دو روش ترکیب خطی وزنی (WLC)[۶] و روش سلسله‌مراتبی (AHP) که از شناخته‌شده‌ترین و متداول‌ترین مدل‌های چندمعیاری هستند، استفاده شده است. علت به‌کارگیری این روش‌ها این است که در مدل AHP عوامل مؤثر در پهنه‌بندی زمین‌لرزه به طرز منطقی وزن‌دهی می‌شود و عوامل بر حسب اهمیتشان اولویت‌بندی می‌شوند و از طرفی امتیازدهی کلاس‌های مختلف هر عامل ساده است و مراحل کار را می‌توان چندین بار تکرار کرد تا به نتیجه‌ی مطلوب دست یافت و در نهایت عوامل زیادی در مدلی که به دست می‌آید، دخیل هستند که این سبب افزایش دقت کار می‌شود. از دیگر مزایای این مدل امکان انجام مقایسه‌ی زوجی عوامل مؤثر با استفاده از روش مقایسه‌ی زوجی است که اعمال مدل نهایی در واحدهای همگن به طرز ساده‌تری انجام می‌گیرد. فرایند سلسله‌مراتبی اجزای یک شبکه را به صورت سلسله‌مراتبی سازماندهی می‌کند که این نوع سازماندهی با تفکر انسان تطابق دارد که اجزا در سطوح مختلف طبقه‌بندی می‌شوند. مدل ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) یک روش ساده و انعطاف‌پذیر برای حل مسائل وسیع است که دارای نگرش شبکه‌ای است. این روش تحلیل جزء به جزء عوامل را طی فرایند تصمیم‌گیری نهایی فراهم می‌سازد. از سوی دیگر پردازش آن نیاز به فرایندهای پیچیده ندارد.

مدل ترکیب خطی وزن‌دار (WLC)

این مدل یکی از روش‌های متداول در ارزیابی چندمعیاری فازی است که کاربرد وسیعی در محیط GIS پیدا کرده است و یک روش تلفیقی خطی وزن‌دار است. این روش بر مبنای مفهوم میانگین وزنی استوار است. تحلیل‌گر مستقیماً بر مبنای «اهمیت نسبی» هر معیار مورد بررسی، وزن‌هایی به معیارها می‌دهد. سپس از طریق ضرب کردن وزن نسبی در مقدار آن خصیصه یک مقدار نهایی برای هر آلترناتیو به دست می‌آید. پس از آن که مقدار نهایی هر آلترناتیو مشخص شد. آلترناتیوی که بیشترین مقدار را داشته باشد مناسب‌ترین آلترناتیو برای هدف مورد نظر خواهد بود [۱۸]. روش ترکیب خطی وزنی مبتنی بر GIS شامل مراحل زیر است:
۱. مجموعه‌ای از معیارهای ارزیابی (لایه‌های نقشه) و همچنین مجموعه‌ای از گزینه‌های ممکن را مشخص می‌نماییم.۲. هر لایه نقشه‌ی معیار را به صورت استاندارد در می‌آوریم .۳. تعیین وزن‌های معیار، بدین‌گونه که به طور مستقیم وزنی از اهمیت نسبی به نقشه‌ی معیار اختصاص می‌دهیم.۴. لایه‌های نقشه‌ی استاندارد شده‌ی وزنی را ایجاد می‌کنیم (با ضرب لایه‌های نقشه‌ی استاندارد شده در وزن متناظر بر آن‌ها) [۱۹]. به طور رسمی در قاعده‌ی تصمیم‌گیری برای ارزیابی هر گزینه[۷] از رابطه‌ی ۱ استفاده می‌شود.

رابطه‌ی ۱: $AI = \sum J\ WJXij$

که در آن Xij، معرف نمره‌ی گزینه‌ی i در ارتباط با صفت j و WJ مشتمل بر یک وزن استاندارد شده است، به گونه‌ای که وزن $\Sigma WJ = ۱$ اهمیت نسبی هر صفت را به نمایش می‌گذارد. با تعیین ارزش حداکثر AJ =i اولویت‌دارترین گزینه انتخاب می‌گردد. در رابطه‌ی ۱ مانند معادل رگرسیون تناسب به صورت خطی تعیین می‌شود. در تحقیق حاضر عملیات WLC در محیط Idrisi Kili-manjaro با استفاده از تابع MCE انجام شد.

معیارهای ارزیابی و استانداردسازی معیارها به روش فازی

در ارزیابی چندمعیاری برای دستیابی به یک هدف معین باید سنجه‌ها یا شاخص‌هایی را تعریف و تعیین کرد که بر مبنای آن‌ها بتوان به یک هدف معین دست یافت. این شاخص‌ها یا سنجه‌ها را معیار ارزیابی می‌نامند. در پژوهش حاضر معیارهای ارزیابی پتانسیل خطر زمین‌لرزه شامل ۵ معیار فاصله از خطوط گسل، طول گسل، ویژگی‌های برداشت شده از یک نقطه‌ی کانونی لرزه‌ای مانند بزرگای زمین‌لرزه، وضعیت ساختاری سازندهای زمین‌شناسی و عمق آب زیرزمینی در منطقه است. پس از رقومی کردن این لایه‌ها، چون هر نقشه‌ی معیار دارای دامنه و مقیاس اندازه‌گیری متفاوتی است، برای تحلیل و ارزیابی چندمعیاری باید مقیاس اندازه‌گیری آن‌ها را متناسب و همخوان کرد. برای همسان‌سازی مقیاس‌های اندازه‌گیری و تبدیل آن‌ها به واحدهای قابل مقایسه از فرایند استانداردسازی معیارها استفاده می‌شود. در سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی برای استاندارد کردن معیارها چند رویکرد مختلف شامل روش‌های قطعی۸، احتمالاتی۹ و فازی۱۰ وجود دارد که در این پژوهش برای استانداردسازی داده‌ها از روش فازی استفاده شده است. در ارتباط با به‌کارگیری روش فازی باید اشاره کرد که در تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره‌ی تئوری فازی معمول‌ترین روش برای بحث و بررسی و عدم قطعیت‌ها شناخته شده است. در واقع روشی است برای برگرداندن طیف متنوع و گسترده‌ای از اطلاعات – داده‌های عینی، اطلاعات کمی، نظرها و قضاوت‌های ذهنی و عینی به یک زبان طبیعی که توصیف اثرات محیط را فراهم می‌آورد [۲۰]. استانداردسازی داده‌ها، همه‌ی مقادیر و ارزش‌های لایه‌های نقشه‌ای را به دامنه‌ی یکسانی، مثلاً بین صفر تا یک یا صفر تا ۲۵۵، تبدیل می‌کند. در دامنه‌ی بین ۰ و ۱، اگر $\mu_A\ (x)=1$ باشد در آن صورت یک عنصر x مشخصاً به A تعلق دارد. به همین ترتیب اگر $\mu_A\ (x)=0$ باشد، در آن صورت عنصر x مشخصاً به A تعلق ندارد. درجه بالای ارزش عضویت یک عنصر به معنای نسبت بالای تعلق آن به مجموعه است [۲۱]. در واقع، هر عدد فازی در عطف به یک واژه‌ی زبانی و یک مجموعه‌ی فازی مطرح می‌شود. با تبدیل ارزش‌های زبانی به اعداد فازی، انجام عملیات حسابی و منطقی بر روی آن‌ها، روال مشخصی به خود می‌گیرد. در منطق فازی عضویت هر پیکسل نقشه در ارزیابی خطر زمین‌لرزه در مقیاس ۰ تا ۲۵۵ مشخص شد. بیشترین ارزش یعنی عدد ۲۵۵ به حداکثر خطر و کمترین ارزش صفر به حداقل خطر تعلق گرفت.

جدول ۱: مقادیر ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی [۱۵]

ترجیحات (قضاوت شفاهی)	کاملاً مرجع یا کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت قوی	کمی مرجع یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان	ترجیحات بین فواصل قوی
مقدار عددی	۹	۷	۵	۳	۱	۲/۴/۶/۸

مدل تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)

این مدل برای اولین‌بار توسط توماس ال ساعتی در دهه‌ی ۱۹۷۰ ابداع شد. اساس روش تصمیم‌گیری بر مقایسات زوجی بنا نهاده شده است [۲۲]. فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی شامل سه عنصر هدف، تعدادی معیار و گزینه‌هاست. هدف در این تحلیل اولویت‌بندی موضوعی و یا انتخاب بهینه‌ی سناریوهای مدیریتی است. برای رسیدن به هدف به تعدادی گزینه بر حسب معیارهای مؤثر امتیاز داده می‌شود و وزن نسبی و وزن نهایی گزینه‌ها مشخص می‌گردد [۲۳]. مراحل اصلی تحلیل سلسله‌مراتبی: ۱. ساخت ماتریس مقایسه‌ی زوجی؛ ۲. مقایسه‌ی زوجی گزینه‌ها؛ ۳. تعیین وزن گزینه‌ها؛ ۴. محاسبه‌ی نرخ ناسازگاری [۲۲]. در مقایسه‌ی زوجی بر حسب هر معیاری میزان ارجحیت گزینه‌ها به صورت دوتایی مقایسه می‌شود و ارجحیت آن‌ها به صورت عبارتی مشخص می‌گردد و به ازای هر عبارت عددی به ارجحیت گزینه‌ها تخصیص داده می‌شود. مقادیر ارجحیت گزینه‌ها طبق جدول ۱ است.

بحث و یافته‌ها

برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه پس از تهیه‌ی داده‌های مورد نیاز شامل فاصله از خطوط گسل، طول گسل، ویژگی‌های لرزه‌ای مانند بزرگای زمین‌لرزه، وضعیت ساختاری سازندهای زمین‌شناسی و عمق آب زیرزمینی، این داده‌ها وارد محیط نرم‌افزار Arc map10 گردیدند، سپس ویرایش و طبقه‌بندی شدند؛ تصاویر (۲ تا ۶).

محاسبه‌ی وزن یا مقدار اثربخشی هر یک از معیارهای مؤثر در زمین‌لرزه

ایجاد ماتریس مقایسه‌ی دوتایی

در این مرحله با استفاده از روش مقایسه‌ی زوجی برای انجام مقایسه، ماتریسی به ابعاد ۵×۵ ایجاد شد و معیارهای مختلف دو به دو با هم مقایسه گردید و مقادیر مربوط بر اساس غربال ساعتی اختصاص یافت (جدول ۲).

بر اساس روش ساعتی برای محاسبه مقادیر بردار ویژه‌ی ستون‌ها در جدول ۲ با هم جمع شده است و هر سلول بر جمع ستون مربوط تقسیم شده است؛ بدین ترتیب جدول ۲ نرمال شده است. سپس میانگین سطرهای جدول نرمال شده به‌منزله‌ی وزن نسبی (نهایی) محاسبه شده است. عدد حاصل برای شاخص سازگاری (CR) در ماتریس حاصل برابر با ۰/۰۴ است که نشان‌دهنده‌ی سطح قابل قبولی از نتایج وزن‌دهی است. شاخص (CR) شاخص پایندگی از یک ماتریس مقایسه‌ی دو به دو است که به صورت تصادفی ایجاد شده است و میزان آن به تعداد عناصر و میزان ارزش آن‌ها وابسته است. این شاخص به گونه‌ای تعیین می‌شود که اگر CR<0/10 باشد، در آن صورت این نسبت نشانگر سطح قابل قبولی از پایندگی در مقایسه‌ی دو به دو است و در صورتی که این شاخص CR>0/10 باشد، در آن صورت ارزش‌های نسبت بیانگر قضاوت‌های ناپاینده هستند [۱۸].

همان‌گونه که در تصویر ۷ مشاهده می‌شود دو عامل طول گسل و فاصله از گسل به ترتیب با داشتن وزن‌های ۰/۴۵۲ و ۰/۲۶۲ مهم‌ترین معیارهای تأثیرگذار در فرایند وقوع زمین‌لرزه در منطقه محسوب می‌شوند.

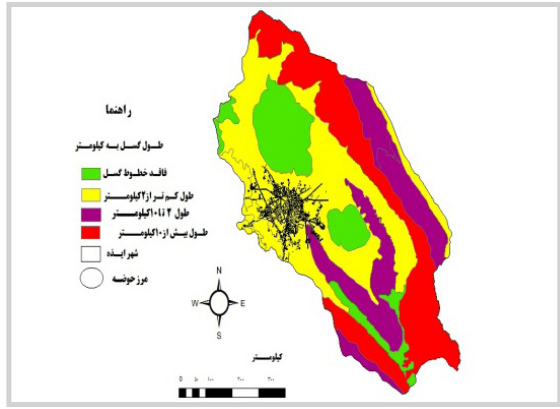
تحلیل هر یک از عوامل به کار برده شده در پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه

عامل معیار سازندهای زمین‌شناسی در تحلیل وقوع زمین‌لرزه: تنوع لیتولوژیکی در سازندهای سنگی منطقه از دیدگاه لرزه‌خیزی حائز اهمیت است، زیرا که وجود سنگ‌های کربناته‌ی سازندهای آسماری و ایلام - سروک و داریان با داشتن رفتاری شکننده و گسترش سازند شیلی گورپی با دارا بودن رفتاری شکل‌پذیر به ترتیب در افزایش و کاهش اثرات تخریبی زمین‌لرزه‌ها نقش اساسی دارند. شکل‌پذیری در سازند گورپی که با استهلاک انرژی زلزله همراه است، شدت خطر ناشی از وقوع احتمالی زمین‌لرزه را کاهش می‌دهد. ولی سازندهای سخت همچون ایلام - سروک و آسماری به دلیل شکنندگی خود خسارات زیادی را به بار خواهند آورد [۱۱].

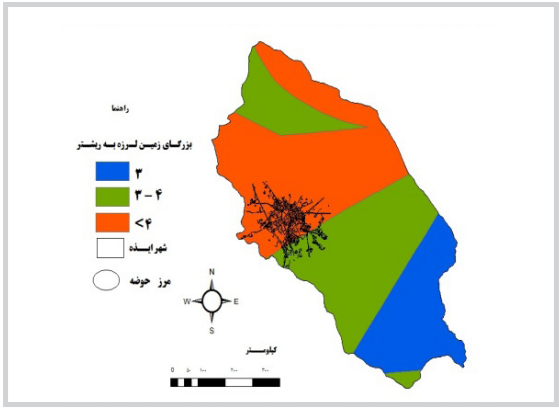
عامل طول گسل در تحلیل وقوع زمین‌لرزه: هر چه طول گسل بیشتر باشد، خطر رخداد زمین‌لرزه‌های بزرگ در آن بیشتر است [۴]. گسل‌های شمال تا شمال شرق حوزه با درازای بیش از ۱۵ کیلومتر در زمره‌ی گسل‌های اصلی هستند، بنابراین مناطق شمال تا شمال شرق حوزه‌ی مناطق با خطر بالا هستند.

عامل بزرگای زمین‌لرزه شدت مطلق۱۱ در تحلیل زمین‌لرزه: این منطقه سابقه‌ی لرزه‌خیزی زیادی دارد و یکی از عواملی که در گذشته سبب ویرانی شهر ایذه شده رخ دادن زلزله بوده است. یاقوت حموی در این خصوص می‌نویسد: ایذج (ایذه‌ی کنونی) شهر و ولایتی است میانه‌ی اهواز و اصفهان که در آن زلزله بسیار است [۲۴]. دامنه‌ی زمین‌لرزه‌های رخ داده شده در حوزه و اطراف آن بین ۳ تا ۴ ریشتر است که محدوده‌ی شهر ایذه هم بر روی پهنه‌ی زلزله‌های بالای ۴ ریشتر واقع شده است.

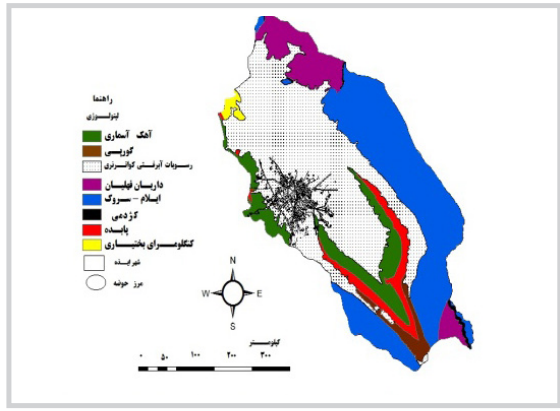
عامل سطح آب‌های زیرزمینی در تحلیل خطر زمین‌لرزه: حضور آب در لایه‌های خاکی که بیشتر دارای جنسی رسی هستند، دارای



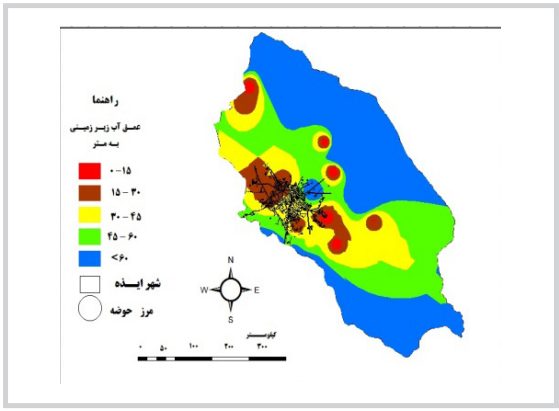
تصویر ۲: نقشه‌ی طبقه‌بندی شده‌ی طول گسل



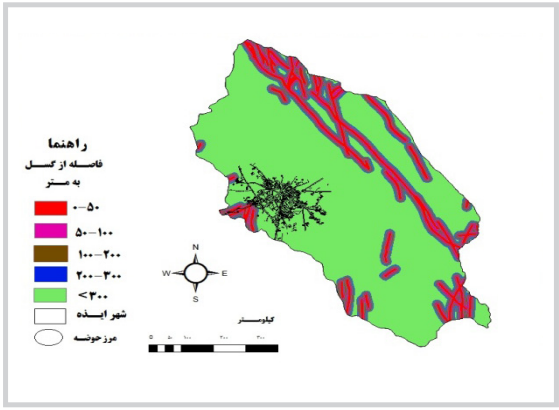
تصویر ۳: نقشه‌ی طبقه‌بندی شده‌ی بزرگای زمین‌لرزه



تصویر ۴: نقشه‌ی طبقه‌بندی‌شده‌ی سازندهای



تصویر ۵: نقشه‌ی طبقه‌بندی‌شده‌ی عمق آب زیرزمینی



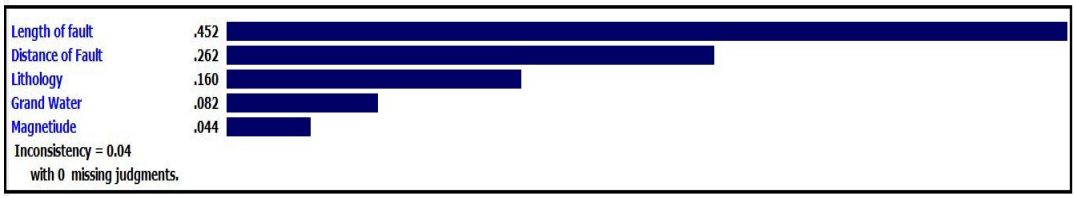
تصویر ۶: نقشه‌ی طبقه‌بندی‌شده‌ی فاصله از گسل

اهمیت فوق‌العاده است، زیرا خاک‌های ریزدانه دارای تراوایی پایین هستند و چون قدرت زهکشی خوبی ندارند، آب موجود در خاک یک فشار منفی در خاک ایجاد می‌نماید. در صورتی که فشار آب بین منفذی بیشتر از وزن طبقات فوقانی باشد، پدیده‌ی آبگونی[۱۲] یا روان شدن زمین در مناطق ماسه‌ای بر اثر ارتعاشات ناشی از زمین‌لرزه رخ می‌دهد، که نهایتاً سبب واژگونی در سطح زمین می‌گردد [۲۵]. با خروج آب از آبخوان توسط بهره‌برداری زیاد انسان یا یک گسل یا شکستگی در هنگام وقوع زمین‌لرزه به تدریج فشار آب افت می‌کند که موجب کاهش فشار هیدروستاتیک بین ذرات تشکیل‌دهنده‌ی رسوبات می‌گردد. کم شدن فشار هیدروستاتیک موجب نشست زمین در محل خواهد شد [۲۶]. حداقل عمق آب زیرزمینی مربوط به نواحی مرکزی در قسمت هموار دشت در حدود ۱۲ متر و حداکثر عمق در حدود ۱۵۰ متر مربوط به نواحی کوهستانی است. عمق آب زیرزمینی در محدوده‌ی شهر ایذه در حدود ۲۰ متر است. با توجه به سازندهای این نواحی که اغلب رسوبات آبرفتی است، احتمال رخ دادن پدیده‌ی آبگونی یا روان شدن زمین در مناطق ماسه‌ای بر اثر ارتعاشات ناشی از زمین‌لرزه در این مناطق وجود دارد.

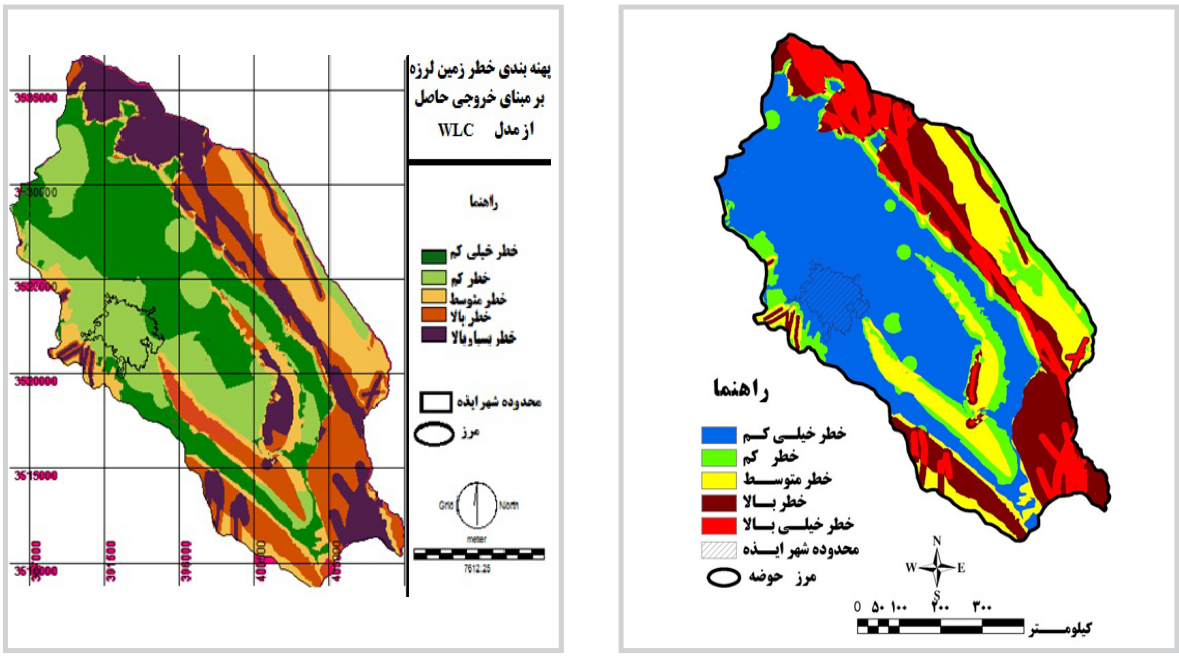
عامل فاصله از گسل در وقوع زمین‌لرزه: بین گسل و زلزله رابطه‌ی نزدیکی برقرار است و قسمت اعظم زلزله‌ها بر روی گسل‌ها متمرکزند [۲۷]. تجربیات زلزله‌های گذشته و اخیر نشان می‌دهد که جنبش زمین در نزدیک گسل با حرکات زمین در مناطق دور از گسل متفاوت است. در مناطق نزدیک گسل حرکات زمین شدیداً تحت تأثیر مکانیزم شکست، جهت گسترش گسلش نسبت به ساختگاه و تغییر مکان ماندگار زمین قرار دارد [۲۸]. منطقه‌ی مورد مطالعه به لحاظ تکتونیکی یک منطقه‌ی فعال محسوب می‌شود که گسل‌های زیاد در نواحی شمال تا شمال شرق و غرب حوزه و چندراندگی هم در قسمت جنوب شرق حوزه دیده می‌شود. برخی از مناطق شهری ایذه در حوالی ترمینال مسافربری این شهر در واقع بر روی خط گسل قرار دارد. از میان عوامل به کار برده شده برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه، عامل طول گسل بیشترین اهمیت را

جدول ۲: وزن‌دهی به معیارهای مؤثر در وقوع خطر زمین‌لرزه

	Length of fault	Distance of Fault	Lithology	Grand Water	Magnetiude
Length of fault		2.0	4.0	5.0	7.0
Distance of Fault			2.0	4.0	5.0
Lithology				3.0	4.0
Grand Water					3.0
Magnetiude	Incon: 0.04				



تصویر ۷: محاسبه‌ی وزن نسبی معیارهای مؤثر در زمین‌لرزه



تصویر ۸: نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه در حوضه‌ی آبخیز شهر ایذه به روش (AHP) و (WLC).

دارا است، زیرا زلزله‌های شدید اکثراً در طول گسل‌های سراسری بزرگ رخ می‌دهند. سازندهای منطقه به لحاظ مقاومت در برابر زمین‌لرزه به دو صورت عمل می‌کنند. سازندهای شیلی گورپی، پابده و کژدمی حالت پلاستیکی دارند و در هنگام زمین‌لرزه به عنوان یک عامل کاهنده در سرعت و قدرت زمین‌لرزه عمل می‌کنند، ولی سازندهای آهکی فهلیان، ایلام سروک و آسماری با توجه به جنس سخت خود حالتی شکننده در هنگام وارد آمدن فشار دارند که در هنگام وقوع زمین‌لرزه می‌توانند ریزش نمایند. بنابراین مناطقی که بر روی این سازندها قرار دارند، در هنگام زمین‌لرزه در معرض خطر بیشتری قرار دارند. یافته‌های حاصل از نقشه‌ی پهنه‌بندی به روش سلسله‌مراتبی (AHP) نشان می‌دهد که ۳۸/۲۳ کیلومتر مربع از حوزه‌ی مورد مطالعه در معرض خطر خیلی بالا و ۵۹/۳۴ کیلومتر مربع در معرض خطر بالا قرار دارد. این نواحی عمدتاً مربوط به نواحی شمال شرقی و جنوب شرقی و غرب حوزه است، جایی که در آن گسل‌های با طول بیش از ۷ کیلومتر سازندهای سخت آهکی قرار دارند. محدوده‌ی شهر ایذه در حال حاضر به روی پهنه‌ی با خطر کم قرار دارد (تصویر ۸). بر اساس نقشه‌ی زمین‌لرزه خروجی حاصل از مدل WLC؛ ۵۷/۷۳ کیلومتر مربع از منطقه در طبقه‌ی خطر بسیار بالای زمین‌لرزه قرار دارد (جدول ۳).

نتیجه‌گیری

داشتن شناخت دقیق از ویژگی‌های هر حوزه‌ی شهری، تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی برای پایش مخاطرات طبیعی، استفاده از قابلیت‌های طبیعی شهر، مکانی‌یابی بهینه و سرانجام مدیریت و تصمیم‌گیری در امور شهری را امکان‌پذیر می‌سازد. نقشه‌های پهنه‌بندی در شبکه‌های هشدار و عملیات امداد و نجات می‌توانند کارایی بسیاری داشته باشند. این نقشه‌ها که با توجه به خطرپذیری هر منطقه با رنگ‌های مختلف از یکدیگر

جدول ۳: پهنه‌های در معرض خطر زمین‌لرزه

مدل تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)				مدل خطی وزین (WLC)			
نام مخاطره	طبقات خطر	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد	نام مخاطره	طبقات خطر	مساحت (کیلومترمربع)	درصد
زمین‌لرزه	خطر خیلی کم	۱۵۶/۳۵	۴۴/۹۱	زمین‌لرزه	خطر خیلی کم	۱۲۱/۴۳	۳۴/۸۸
	خطر کم	۴۰/۲۲	۱۱/۵۵		خطر کم	۳۰/۷۰	۸/۸۲
	خطر متوسط	۵۳/۴۳	۱۵/۳۴		خطر متوسط	۶۳/۶۷	۱۸/۲۹
	خطر بالا	۵۹/۳۴	۱۷/۴۶		خطر بالا	۷۴/۴۰	۲۱/۳۷
	خطر خیلی بالا	۳۸/۲۳	۱۰/۹۲		خطر خیلی بالا	۵۷/۷۳	۱۶/۵۸

متمایز خواهند شد، این امکان را به مسئولان می‌دهند تا نسبت به برنامه‌ریزی عملیات امداد و نجات و ارسال هشدارهای مناسب در فرصت کوتاه اقدام نمایند. در این پژوهش به بررسی خطر زمین‌لرزه در حوزه‌ی شهری ایذه با استفاده از مدل‌های فازی چندمعیاره پرداخته شد. یافته‌های حاصل از نقشه‌ی پهنه‌بندی به روش سلسله‌مراتبی (AHP) نشان می‌دهد که ۱۰/۹۲ درصد از حوزه‌ی مورد مطالعه در معرض خطر خیلی بالا قرار دارد. این نواحی عمدتاً مربوط به نواحی شمال شرقی و جنوب شرقی و غرب حوزه است. تحلیل و بررسی نقشه‌ی مدل WLC نشان می‌دهد که ۱۶/۵۸ درصد از محدوده در طبقه‌ی با خطر بسیار بالا قرار دارد که بیشتر شامل نواحی شمالی و جنوبی شرقی و غرب حوزه است. از مقایسه‌ی نقشه‌های خروجی حاصل از این مدل‌ها می‌توان به این نتیجه دست یافت که نواحی شمالی، جنوب شرقی و غرب محدوده‌ی مورد مطالعه، مناطق با خطر بالا در مواجهه با خطر زمین‌لرزه هستند که عمده‌ترین علل آن وجود گسل‌های با طول بیش از ۱۰ کیلومتر، گسل‌های امتدادلغز در تاقدیس پیون در شمال منطقه و وجود چند گسل در ارتفاعات آهکی در غرب منطقه، وجود راندگی‌های گسلی در مناطق جنوب شرقی حوزه و سازندهای شکننده‌ی آهکی است. از مزایای روش AHP این است که در آن عوامل مؤثر در پهنه‌بندی مخاطرات به طرز منطقی وزن‌دهی شده و عوامل بر حسب اهمیتشان اولویت‌بندی می‌شوند و از طرفی امتیازدهی کلاس‌های مختلف هر عامل ساده است و مراحل کار را می‌توان چندین بار تکرار کرد تا به نتیجه‌ی مطلوب دست یافت و در نهایت عوامل زیادی در مدلی که به دست می‌آید دخیل هستند که این سبب افزایش دقت کار می‌شود. از دیگر مزایای این مدل امکان انجام مقایسه‌ی عوامل مؤثر با استفاده از روش مقایسه‌ی زوجی است که اعمال مدل نهایی در واحدهای همگن به طرز ساده‌تری انجام می‌گیرد. مهم‌ترین ایراد این روش این است که بیشتر تابع نظر کارشناس است. روش WLC با توجه به سهولت استفاده‌ای که دارد در بعد گسترده‌ای از زمینه‌های مربوط به جهان واقعی به کار گرفته می‌شود. از مهم‌ترین مزیت‌های آن این است که تصمیم‌گیری به طور مستقیم بر حسب وزن صورت می‌گیرد. ارزیابی و تحلیل مدل‌ها نشان می‌دهد که مدل WLC دارای کارایی بهتری نسبت به روش AHP در منطقه‌ی مورد مطالعه است. عمده‌ترین دلایل آن عبارتند از: ۱. با توجه به خروجی حاصل از مدل‌ها در مدل WLC می‌توان مشاهده کرد که مخاطره آمیزترین پهنه‌ها در طول گسل‌های اصلی قرار دارند؛ ۲. این مدل با توجه به ترکیب خطی آن، عوامل و اولویت طبقات مختلف در پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه را به صورت منطقی دخالت می‌دهد، بدین مفهوم که مجموعه‌ی فاکتورها و طبقات را حتی اگر به برترین وزن‌ها تعلق نداشته باشند، در تصمیم‌گیری به میزان نقششان لحاظ می‌کند؛ ۳. از دیگر مزیت‌های این مدل نسبت به مدل AHP این است که فازی نمودن لایه‌های مؤثر در خطر زمین‌لرزه موجب افزایش دقت در شناسایی مناطق دارای پتانسیل ذاتی خطر زمین‌لرزه می‌شود. مشاهدات میدانی از محدوده‌ی مورد مطالعه هم بیانگر این است که پهنه‌هایی که در مدل WLCبه‌منزله‌ی پهنه‌های پرخطر تا کم‌خطر معرفی شده‌اند، با توجه به وضعیت توپوگرافی، نوع گسل‌ها و سایر موارد به واقعیت نزدیک‌تر است.

پی‌نوشت

1 .Geographical Information System
2 .Analytical Hierarchy Process
3 .Muiliti – Criteria Evaluation
4 .Inverse distance weighted
5 .Multiple Criteria Decision Making
6 .Weighted Linear combination
7 .AI
8 .Deterministic
9 .Probabilistic
10 .Fuzzy
11 .Magnitude
12 .Liquefaction

منابع

1. Kolat, C. Ulusay, R., Lutfi Suzen, M (2012). Development of geotechnical micro zonation model for Yenisehir (Bursa, Turkey) located at a seismically active region Original. *Engineering Geology*, Vol.127, 24, 36-53.

2. www.iiees.ac.ir

۳. صدر افشاری، سحر؛ فیض‌اله‌پور، مهدی (۱۳۸۹). استفاده از روش‌های نوین پیش‌بینی زمین‌لرزه با استفاده از تحلیل‌های آماری، *همایش کاربرد جغرافیای طبیعی در برنامه‌ریزی محیطی*، خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خرم‌آباد.

4. Masashi, M. and Saburoh. M. (2003). GIS based inte-

grated seismic hazard mapping for a large metropolitan area, proceeding of earthquake engineering spin, 302-225

۵. اسفندیاری درآباد، فریبا؛ غفاری گیلانده، عطا؛ لطفی، خداداد (۱۳۹۲). مدل‌سازی ضریب آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش تاپسیس در محیط GIS، مطالعه‌ی موردی: شهر اردبیل، (*پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*)، شماره‌ی ۲، ۴۳-۷۹.

۶. قهرودی تالی، منیژه؛ پور موسوی، موسی؛ خسروی، سمیه (۱۳۹۱). بررسی پتانسیل تخریب لرزه‌خیزی با به‌کارگیری مدل‌های چندشاخصه: مطالعه‌ی موردی منطقه یک شهر تهران. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، شماره‌ی ۳، ۵۷-۶۸.

۷. شهابی، هیمن؛ قلی‌زاده، محمد حسین؛ نیری، هادی (۱۳۹۰). پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه با روش تحلیل چند معیاره‌ی فضایی. *جغرافیا و توسعه*، شماره‌ی ۲۱، ۶۵ -۸۰.

۸. فرج زاده اصل، منوچهر؛ احدنژاد، محسن؛ امینی، جمال (۱۳۹۰). ارزیابی آسیب‌پذیری مساکن شهری در برابر زمین‌لرزه، مطالعه‌ی موردی: منطقه‌ی ۹ شهرداری تهران. *مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای*، سال سوم، شماره‌ی ۹، ۱۹-۳۶.

۹. شیعه، اسماعیل (۱۳۸۹). بررسی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش سلسله‌مراتبی معکوس (IHWP) و GIS، مطالعه‌ی موردی منطقه‌ی ۶ شهرداری تهران. مجموعه *مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام*، زاهدان، ۲۵-۲۷ فروردین.

۱۰.احدنژاد، محسن؛ فرخلو، مهدی؛ زیاری، کرامت‌الله (۱۳۸۹). مدل‌سازی آسیب‌پذیری ساختمانی شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی، نمونه موردی: شهر زنجان. *جغرافیا و توسعه*، شماره‌ی ۹، ۱۷۱- ۱۹۸.

۱۱. قبادی، محمد حسین؛ چرچی، عباس (۱۳۸۹). ارزیابی مقدماتی خطر زلزله در شهرستان ایذه، استان خوزستان. *یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی*، شماره‌ی ۷، ۳۵- ۴۵.

12. Rashed, k. and weeks, j. (2003). Assessing vulnerability to Earthquake Hazard through spatial international. *journal of geographic information science multi criteria Analysis of urban Areas,* vol.17, no.6, 547-576.

13. Keping, Ch., et al. (2001). MCE-RISK: Integrating multi critical Evaluation and GIS for risk decision-making in natural hazard. *Environmental modeling & software,* 16 (4), 387- 397.

۱۴. صفاری، امیر؛ حبیبی، علیرضا؛ غریب رضا، محمدرضا (۱۳۹۲). شاخص‌های مورفوتکتونیک و زمین‌لرزه، مطالعه‌ی موردی: مناطق پرخطر استان خوزستان. *دومین کنفرانس بین‌المللی مخاطرات محیطی*، تهران، دانشگاه خوارزمی.

15. Tang, A., Wen, A. (2009). An Intelligent Simulation system for Earthquake Disaster Assessment. *computers &Geosciences*, vol. 35, Issue 5, 871- 879.

۱۶. موسوی، معصومه (۱۳۹۲). *تحلیل فضایی مخاطرات ژئومورفولوژیکی در توسعه‌ی فیزیکی حوضه‌ی آبخیز شهر ایذه با بهره‌مندی از مدل‌های چند معیاره* (MCDM). پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.

۱۷. علایی طالقانی، محمود (۱۳۸۴). *ژئومورفولوژی ایران*. تهران، نشر قومس

۱۸. کرم، عبدالامیر (۱۳۸۳). کاربر مدل ترکیب خطی وزین (WLC) در پهنه‌بندی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش (مطالعه‌ی موردی منطقه سر خون در چهار محال و بختیاری). *جغرافیا و توسعه*، شماره‌ی ۸،۱۲۰-۱۳۷.

19. Keping, Ch., et al. (2001). MCE-RISK: Integrating multi critical Evaluation and GIS for risk decision-making in natural hazard. *Environmental modeling & software*, 16 (4), 387- 397.

20. Kuswandari, R, (2004). Assessment of Different Methods for measuring the sustainability of forest Management, International Instituting for Geo Information science and Earth observation, Enscheda, Netherlands.

۲۱. مالچفسکی، یاچک (۱۹۹۹). *سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چند معیاری*. ترجمه اکبر پرهیزگار؛ عطا، غفاری گیلانده، تهران، انتشارات سمت.

۲۲. قدسی پور، حسین (۱۳۹۰). *فرایند تحلیل سلسله مراتبی* AHP. چاپ نهم، تهران، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران).

۲۳. فیروزیان، علی (۱۳۸۵). وزن‌دهی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر رضایت مشتریان در صنعت خودرو با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی. *نشریه فرهنگ مدیریت*، شماره‌ی ۱۳، ۵۰-۵۳.

۲۴. امانی، منصور (۱۳۷۸). *ایذه در گذر زمان ایذه قبل از اسلام*. اهواز، نشر آیات.

۲۵. خانلری، غلامرضا (۱۳۷۷). *زمین‌شناسی ایران*. همدان، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا.

۲۶. قبادی، محمدحسین (۱۳۸۴). *زمین‌شناسی مهندسی*. اهواز، انتشارات دانشگاه شهید چمران.

۲۷. نگارش، حسین (۱۳۸۴). زلزله، شهرها و گسل‌ها، *فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی*، شماره‌ی ۵، ۶۰-۴۸.

۲۸. قائم‌قامیان، محمدرضا؛ خلیلی، بهنام (۱۳۸۵). تأثیر نوع گسل، بزرگای زلزله و اثر فاصله برای گسلش ناهمگن بر حرکات توانمند در حوزه‌ی نزدیک گسل. *پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله*، شماره‌ی ۸، ۱۲- ۶.