Journal of New Ideas in The Geographical Sciences
https://sanad.iau.ir/journal/ntigs
ISSN: 2981-1473
Volume 1, Issue 2, Jan 2024, P.116

IAU Mahshahr Branch

Received: 19/11/2023 Accepted:20/01/2024

Zoning of Earthquake Risk Zones in Kermanshah County Using FAHP Model

Dr Maryam Bayati Khatibi[1]
Professor of Geomorphology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, Tabriz University

Yousef Amirian
MSc Students of GIS, Tabriz University

Abstract

Earthquake is one of the natural disasters on earth that causes a lot of economic and human losses every year. Although this natural hazard cannot be predicted with current science, use of technology and technological progress, makes it possible to plan properly to reduce damages. These measures are the result of recognizing and examining the potential areas of the earth where there is a possibility of earthquake risk, and by taking advantage of it and analyzing them, the necessary preparation for earthquake prevention or control can be obtained. In this purpose, the geographic information system plays a significant role in the integration of related maps. In this research, the impact of various factors on the occurrence of earthquakes and the zoning of earthquake risk in Kermanshah county has been investigated. In order to achieve this, the fuzzy hierarchical analysis method was used to obtain the weight of each of the studied criteria and the degree of their impact, and by obtaining the small values of the weight of each criterion, a fuzzy weight map of the criteria was prepared and finally a risk map. The acceptability of different areas of Kermanshah county has been obtained. The results show that 15.6% of Kermanshah county is at risk of earthquake with "high" degree and 16.7% with "very high" degree. Also, 18.2 percent of the villages in Kermanshah county are at risk of earthquake with "very high" degree and 17.7 percent with "high" degree, and in the urban area of Kermanshah, the risk of earthquake with "very high" degree is equal to 6.3%. And it covers 18.1% of the area of Kermanshah city with "high" grade.

Keywords: Zoning, Earthquake, Fuzzy Hierarchical Analysis, Geographic Information System, Kermanshah County

1. Corresponding Author: m_bayati@tabrizu.ac.ir

نشریه علمی اندیشه‌های نو در علوم‌جغرافیایی، دوره۱، شماره۲، زمستان ۱۴۰۲، صفحات۳۸-۱۹
شاپا: ۱۴۷۳-۲۹۸۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۸ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۱۰/۳۰

پهنه‌بندی مناطق خطرپذیری زلزله
شهرستان کرمانشاه با استفاده از مدل FAHP

دکتر مریم بیاتی خطیبی[۱]
استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم‌محیطی، دانشگاه تبریز، ایران
یوسف امیریان
دانشجوی کارشناس ارشد GIS، دانشگاه تبریز، ایران

چکیده
زمین لرزه از جمله بلایای طبیعی در زمین است که هر ساله خسارات زیادی اقتصادی و جانی به همراه دارد. این مخاطره طبیعی با علم کنونی قابل پیش بینی نیست اما با استفاده از تکنولوژی و پیشرفت فناوری امکان برنامه ریزی مناسب جهت کاهش خسارات وجود دارد. این تدابیر حاصل شناخت و بررسی استعداد مناطقی از زمین است که امکان خطر زمین لرزه وجود دارد و می توان با بهره گیری از آن و تجزیه و تحلیل آنها، آمادگی لازم جهت پیشگیری و یا کنترل زلزله را بدست آورد. در این هدف، سیستم اطلاعات جغرافیایی در تلفیق نقشه های مرتبط نقش بسزایی دارد. در این پژوهش میزان تاثیر عوامل مختلف در ایجاد زمین لرزه بررسی و پهنه بندی خطر وقوع زلزله در شهرستان کرمانشاه انجام شده است. برای رسیدن به این مهم از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی برای بدست آوردن وزن هر یک از معیار های مورد مطالعه و میزان تاثیر آنها استفاده شده و با بدست آمدن مقادیر کمی هر یک از وزن معیارها، نقشه وزنی فازی معیارها تهیه و در نهایت نقشه خطر پذیری مناطق مختلف از شهرستان کرمانشاه بدست آمده است. نتایج نشان می دهد که که ۱۵/٦ درصد از شهرستان کرمانشاه در معرض خطر زلزله با درجه "زیاد" و ۱٦/۷ درصد با درجه "خیلی زیاد" قرار دارد. همچنین ۱۸/۲ از روستاهای شهرستان کرمانشاه با درجه "خیلی زیاد" و ۱۷/۷ درصد با درجه "زیاد" در معرض خطر زلزله قرار دارند و در مناطق بافت شهری کرمانشاه نیز میزان خطر وقوع زلزله با درجه "خیلی زیاد" برابر ٦/۳ درصد و با درجه "زیاد" برابر ۱۸/۱ درصد از مساحت شهر کرمانشاه را پوشش می دهد.

کلمات کلیدی: پهنه بندی، زمین لرزه، تحلیل سلسله مراتبی فازی ، سامانه اطلاعات جغرافیایی، شهرستان کرمانشاه

۱.نویسنده مسئول m_bayati@tabrizu.ac.ir

مقدمه

مخاطرات طبیعی حوادثی هستند که باعث ایجاد آسیب قابل توجهی به محیط طبیعی و پدیده های انسان ساخت می شوند. زلزله یکی از مهمترین مخاطرات طبیعی است که همه ساله در بسیاری از مناطق و شهر و روستاها اتفاق میافتد و خسارات جانی و مالی عمده ای به ساکنین زمین تحمیل کرده است. عوامل مؤثر در میزان خسارت و شدت تخریب را می توان به صورت زیر دسته بندی نمود.

- شدت و بزرگی زمین لرزه
- فاصله کانون عمقی زلزله از سطح زمین (ژرفای زمین لرزه)
- فاصله کانون زلزله تا مناطق مسکونی
- تراکم جمعیت در مناطق زلزله زده
- مدت زمان وقوع زمین لرزه
- زمان و ساعت وقوع زلزله از شبانه روز
- نوع امواج تولیدی توسط زلزله
- میزان شتاب ایجاد شده توسط زمین لرزه

از میان این موارد شدت و بزرگی زمین لرزه از اهمیت زیادی برخوردار است. تفاوت شدت و بزرگی زلزله را می توان در ماهیت مقیاس های اندازه گیری آن ها جستجو کرد. برای یک زمین لرزه، میزان بزرگی با میزان انرژی آزاد شده با مقیاس ریشتر بیان می شود. در صورتی که میزان شدت یک زمین لرزه با مقدار آثار مخربی که بر روی تاسیسات، بناها و میزان تلفات انسانی که می گذارد، مشخص می شود. شدت زمین لرزه مقیاسی دوازده گانه به نام مرکالی دارد. شدت یک زلزله ای که درجه یک داشته باشد، خسارت و خرابی سطحی خواهد داشت اما زلزله ای با شدت ۱۲ یعنی آخرین درجه، بالاترین خسارت و خرابی های فاجعه آمیز خواهد داشت. تفاوت شدت و بزرگی زلزله در این است که میزان امواج منتشر شده از مرکز زمین لرزه با مقیاس ریشتر و با بزرگی زلزله بیان می شود در صورتی که شدت خرابی این پدیده طبیعی با مقیاس مرکالی سنجیده می شود. بنابراین مهمترین تفاوت آن ها با توجه به اختلاف در این دو، در مقیاس اندازه گیری آن ها است. در تفاوت این دو می توان گفت، ریشتر به نوع ساخت و ساز بستگی ندارد، اما مقیاس مرکالی به نوع ساخت و ساز وابسته است. در حال حاضر در میزان اندازه زمین لرزه نمی توانیم دخالتی داشت باشیم اما با تدابیری پیشگیرانه و با درایت در ساخت و سازها در محل مناسب، می‌توان از خسارات جانی و مالی شدت زمین لرزه کم کرد. جهت کاهش هزینه ها و خسارات و نیز حفظ جان انسان ها لازم و ضروری است که از دانش و تکنولوژی رشته های مختلف موجود استفاده کنیم. در مرحله نخست شناخت مناطق پرخطر و کاهش استقرار جمعیت در آن مناطق از مهمترین اقدام اولیه می باشد. مطالعه و تحلیل وضعیت ناگوار بسیاری از شهرها که بر روی خطوط گسل و یا در مجاورت آنها ساخته شده اند و در معرض زمین لرزه قرار دارند از اهمیت ویژه ای برخوردار است. هر چند پیش بینی قطعی ممکن نیست اما تعیین احتمالات مکانی پیش آمد زمین لرزه امکان پذیراست. از روش های پیش بینی و تعیین احتمالات، تهیه نقشه پهنه بندی زمین لرزه مناطق مختلف است که با استفاده از داده های متنوع و مرتبط

انجام می‌پذیرد. در مرحله دوم با توجه به اهمیت سازه و تاسیسات مهم و استقرار آنها و قرارگیری شریان های حیاتی شهری در مکان های مناسب و امن لازم و ضروری است. این مکان های امن با استفاده از نقشه های پهنه بندی ایجاد شده با بهره گیری از لایه های اطلاعاتی و مکان یابی صحیح به دست می آیند.

پیشینه تحقیق

در چند دهه اخیر پژوهشگران زیادی از مدل‌های متنوعی نظیر تلفیق مدل های چند معیاره[1](MCDM) با بهره گیری از تکنیک‌های سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی جهت به دست آوردن پهنه بندی مخاطرات زمین لرزه استفاده نموده‌اند(Othman et al, 2012). روش تحلیل سلسه مراتبی[2](AHP) یکی از معروفترین مدل های چند معیاری است که با استفاده از آن برای پهنه بندی، معبارهای موثر در مطالعه وزن دهی می شود و براساس اهمیت آنها و بیشترین تاثیر آنها روی موضوع مورد مطالعه اولویت بندی می شود. مزایای این مدل محاسبه وزن معیارها با استفاده از مقایسات زوجی است که بصورت ماتریس مربعی حاصل می شود. برای بدست آوردن وزن های دقیق تر معیارها می-توان از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی [3](FAHP) بهره برد. در این روش با تفسیر بهتر و دقیق تر داده ها، وزن های دقیق تری از معیارها با استفاده از مقایسات زوجی بدست می‌آید. در ادامه به تعدادی ازپژوهش‌های داخلی مرتبط با موضوع پرداخته شده است.

غلامی‌راد و بهروزی‌بان‌بیدی(۱۴۰۲) در مقاله ای با عنوان استقرار سکونتگاه های روستایی استان کرمانشاه در ارتباط با گسلها با استفاده از Gis پرداخته اند. در این تحقیق ابتدا نقشه‌های پایه تهیه گردید، سپس استقرارسکونتگاه‌ها در رابطه با لایه گسل تحلیل و از آزمون همبستگی پیرسون، جهت تعیین میزان همبستگی عوامل طبیعی با پراکنش سکونتگاه‌ها استفاده شد. نتایج حاصل از روش ضریب همبستگی نشان می‌دهد که بین عامل طبیعی گسل و توزیع سکونتگاه‌ها رابطه معنی داری در ناحیه مورد مطالعه وجود دارد و پراکنش سکونتگاه‌های روستایی مورد مطالعه در رابطه با قابلیت‌ها و محدودیت های محیطی - اکولوژیکی انتظام نیافته‌اند.

ماجدی وحسین زاده(۱۳۹۷) درمقاله‌ای باعنوان پهنه‌بندی مناطق زلزله خیز با استفاده از مدل ahp در محیط gis در شهرستان کرمانشاه پرداخته است. دراین تحقیق، ابتدا پس از بررسی ادبیات پژوهش و مطالعات کتابخانه ای، ۸ عامل شامل: شیب دامنه، ارتفاع از سطح دریا، بارندگی، فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از شبکه زهکشی، کاربری اراضی و سنگ شناسی به عنوان عوامل مؤثر در وقوع زمین لرزه های منطقه تشخیص داده شدند. سپس لایه های اطلاعاتی این عوامل در محیط gis تهیه شده و وزن کلاس‌های هر کدام از عوامل با روش تحلیل سلسله مراتبی (ahp) تعیین می‌گردد. آنگاه با تلفیق نقشه‌های لایه‌های اطلاعاتی در محیط gis، اقدام به تهیه نقشه نهایی در ٤ کلاس خیلی پرخطر، پرخطر، باخطرمتوسط و کم‌خطر می

1. Multiple Criteria Decision Making
2. Analytic Hierarchy Process
3. Fuzzy Analytic Hierarchy Process

شود. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد؛ روش ahp به دلیل برخورداری از متغیرهای بیشتر و کلاس‌بندی اصولی و بدون اعمال نظر مستقیم کارشناسان نسبت به روش ها دیگر برتر بوده و از دقت بیش تری برخوردار است.

صفایی‌پور وهمکاران(۱۳۹۵) در مقاله‌ای با عنوان پهنه بندی زمین لغزش با استفاده از مدلAHP در محیط GIS در روستای دره گز قلندران شهر دهدز پرداخته اند. نتایج بدست آمده از مدل وزن دهیAHP ، وتطبیق آن با لغزش های روی داده در حوضه مورد نظر بیانگر آن است که پارامترحساسیت سازندها به فرسایش با بیشترین وزن (۰/۲۱۹) و کاربری اراضی (۰/۱۷۳)و کم ترین ارتفاع (۰/۰۵۲) کم ترین وزن بدست آوردند و سایر شاخص ها به ترتیب شامل ، بارش، ارتفاع می باشد و کمترین وزن متعلق به لایه آبراه ها می باشد. پس از هم پوشانی لایه ها نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش در ٤گروه بسیار زیاد،زیاد، متوسط،کم، خیلی کم تهیه شد.

جلالیان ودادگر(۱۳۹٤) در مقاله‌ای با عنوان پهنه بندی آسیب پذیری سکونتگاه‌های روستایی در برابر زلزله با مدل AHP در محیط GIS در بخش چورزق شهرستان طارم پرداخته اند. برای این کار، ابتدا پارامترهای موثر شامل: وجود گسل، جنس زمین، شیب، زمین لغزش و تراکم جمعیت انتخاب شده و سپس لایه های اطلاعاتی آنها در محیط GIS تهیه و کلاس‌بندی شد. وزن دهی به معیارها با استفاده از منطق فازی و مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) صورت گرفته و نقشه نهایی پهنه بندی خطر زلزله در چهار کلاس پهنه‌های با خطر پائین، خطر متوسط، خطر بالا و خطر خیلی بالا به دست آمد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که بخش عمده ای از محدوده شهرستان طارم و سکونتگاه های روستایی منطقه در پهنه‌های با خطر بالا (٤٥,٧١ درصد) و خیلی بالا (١٤,٧١ درصد) قرار گرفته است. با توجه به پهنه های خطر بالقوه، ضروری است تا محل مناسبی برای اسکان اضطراری در منطقه مکان یابی و تجهیز شود.

حاتمی‌فرد وهمکاران(۱۳۹۱) در مقاله‌ای با عنوان پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل AHP و تکنیک GIS در شهرستان خرم آباد پرداخته‌اند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که در بین عوامل موثر، زیرمعیارهای فاصله از جاده، فاصله از آبراهه و تراکم آبراهه به ترتیب با اوزان ۰/۲۰٤۳، ۰/۱۷۱۷ و ۰/۱٥٤٥ به عنوان مهمترین عوامل در ایجاد زمین لغزش درمنطقه مطالعاتی شناسایی شده‌اند. براساس مدل ارائه شده، حدود۲٥/٥۱درصد(۱٦۰۳/۸ کیلومترمربع) از مساحت شهرستان خرم‌آباد دارای خطر وقوع بسیار زیاد (٦/۱۷ درصد) و خطر وقوع زیاد (۱۹/۳٤ درصد) است. نتایج حاصل از ارزیابی دقت و صحت مدل تهیه شده، روند صعودی شاخص زمین لغزش از پهنه خطر خیلی کم به سمت پهنه خیلی زیاد را نشان داده و نشان دهنده دقت لازم مدل مزبور است.

مواد و روش تحقیق

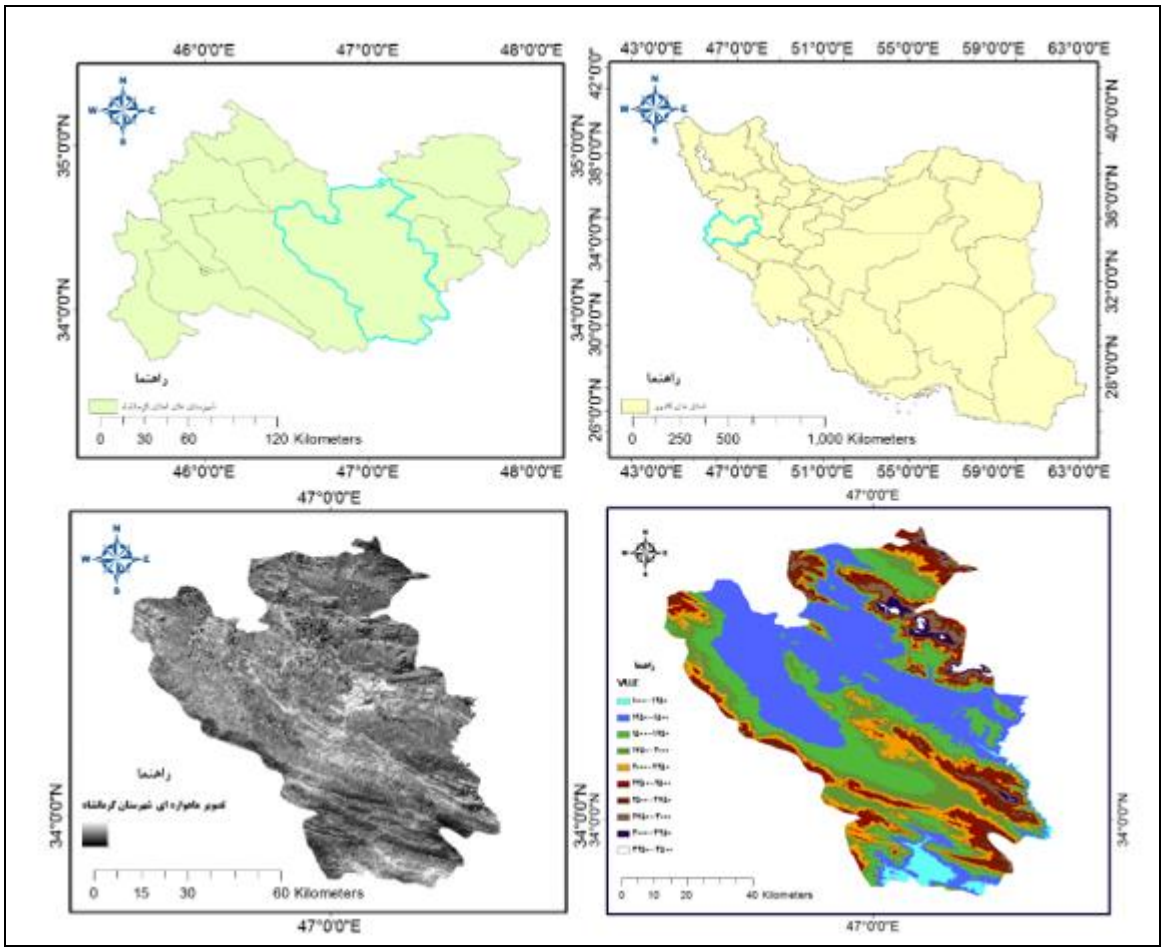
از آنجا که هدف این مقاله شناسایی مکان های زلزله خیز و پهنه بندی نقاط پر خطر و کم خطر است بنابراین معیارهای تاثیرگذار در وقوع زلزله مد نظر می باشد. توجه به این نکته دارای اهمیت است که در زلزله خیزی هر منطقه معیارهای زیادی دخالت دارند. در این مقاله از پنج معیار با توجه به دسترس بودن این لایه ها و نیز بیشترین تاثیر داشتن این لایه ها در وقوع زلزله انتخاب و استفاده شد. این لایه عبارتند از شیب، فاصله از گسل، سنگ شناسی، فاصله از زلزله ها و بزرگی زلزله‌ها. نقشه ها از نرم افزار ArcMap از مجموعه نرم افزار ArcGIS10.8 و همچنین با بهره گیری از نرم افزار ENVI5.3 ترسیم

شده است. برای استخراج معیار شیب از لایه های مدل رقومی زمین[1](DEM)، فاصله از گسل با استفاده لایه گسل، نقشه سنگ شناسی از لایه زمین شناسی و نقشه فاصله از زلزله و بزرگی آنها از داده های آماری زلزله های استان کرمانشاه در ده سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۲ از داده های سازمان زمین شناسی آمریکا[2]و انطباق با بولتن موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران بهره گرفته شده است. در مرحله بعد برای بدست آوردن میزان اهمیت هر یک از معیارها در وقوع زمین لرزه و همچنین وزن دهی به معیارهای انتخاب شده، از مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) و نرم افزار Expert Choice استفاده شده است.

محدوده مورد مطالعه

استان کرمانشاه به مرکز شهرکرمانشاه در میانه ضلع غربی کشور قرار گرفته و از شمال به استان کردستان، از جنوب به استانهای لرستان و ایلام و از شرق به استان همدان و از غرب با ۳۳۰ کیلومتر مرز مشترک با کشور عراق همسایه است. ارتفاع متوسط آن از سطح دریاهای آزاد در حدود ۱۲۰۰ متر است. استان کرمانشاه با مساحت ۲٤٦٤۰ کیلومتر مربع، هفدهمین استان ایران از نظر وسعت به‌شمار می‌رود و ۱/۵ درصد مساحت کشور را به خود اختصاص داده است. شهرستان کرمانشاه بزرگترین شهرستان استان کرمانشاه از نظر وسعت با مساحت ۵۸۷۰ کیلومتر مربع می‌باشد که بیش از ۲۲ درصد مساحت استان را تشکیل می دهد. استان کرمانشاه در مسیر کوههای زاگرس و بر روی یال غربی آن قرار گرفته است سلسله کوههای زاگرس در این منطقه به صورت مجموعه ای از رشته کوههای موازی و دشتهای مرتفع کوهستانی در بین آنها شکل گرفته است و به همین علّت عمده ترین گذرگاه های زاگرس در این استان قرار دارند. استان کرمانشاه از لحاظ شکل ظاهری زمین از دو قسمت تشکیل می شود قسمت اول منطقه ای است کوهستانی و مرتفع با ارتفاعات طاقدیسی و دشتهای ناودیسی که عمده ارتفاعات استان را شامل می گردد و قسمت دوم فضایی است مرکب از کوه های فرسایش یافته و اراضی نسبتاً مسطح واقع بین این کوه ها که قصر شیرین، نفت شهر و سومار را شامل می گردد. این استان در معرض جبهه های مرطوب مدیترانه ای قرار داشته، برخورد این جبهه ها با ارتفاعات زاگرس موجب ریزش برف و باران می گردد. متوسط میزان بارندگی در مناطق مختلف استان بین ۳۰۰ تا ۸۰۰ میلی متر در نوسان است. به طور کلی متوسط میزان بارندگی در سطح استان را ٤۰۰ تا ۵۰۰ میلی متر می توان در نظر گرفت. استان کرمانشاه را به دو منطقه گرمسیر و سردسیر می توان تقسیم نمود و بر اساس این تقسیم بندی مناطقی از قبیل قصر شیرین، سرپل ذهاب، گیلانغرب، سومار، نفت شهر و ثلاث باباجانی و قسمت جنوب شهر کرمانشاه گرمسیر و سایر مناطق استان سردسیر تلقی می گردد. استان کرمانشاه دارای ده دشت تقریبا وسیع است که دشت کرمانشاه با وسعت تقریبی ۱۱۰۰ کیلومترمربع در منطقه مورد مطالعه ما قراردارد. این دشت ارتفاعی برابر ۱۳۵۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است و شرایط را برای کشاورزی و دامپروری فراهم نموده است. بر اساس آخرین تغییرات در سال ۱۳۹۰ استان کرمانشاه از ١٤ شهرستان، ۳۵ شهر، ۳۱ بخش و ٨٤ دهستان تشکیل شده‌است. منطقه مطالعاتی این مقاله شهرستان کرمانشاه می باشد. شکل(۱) موقعیت استان و شهرستان کرمانشاه را در نقشه نشان می‌دهد.

1. Digital Elevation Model
2. USGS(https://earthquake.usgs.gov



شکل ۱: موقعیت استان و شهرستان و شهر کرمانشاه در نقشه ایران

مآخذ: نویسندگان،۱۴۰۲

بحث ویافته‌ها

روش های مختلفی برای ارزیابی مخاطرات طبیعی با استفاده از پهنه بندی و تلفیق لایه ها وجود دارد. این روش عبارت است از روش ابتکاری، آماری و قطعی. ازاین روش ها برای تجزیه و تحلیل ها استفاده می شوند. یکی از روش های ابتکاری که بطور گسترده از آن برای تصمیم گیری در زمینه اهداف چندگانه مورد استقاده قرار می گیرد روش تحلیل سلسله مراتبی است که توسط توماس ال ساعتی ابداع و توسعه داده شد. این روش بر پایه مقایسه زوجی بین معیار ها و زیر معیارهای موثر در تصمیم ها استوار است. دراین روش راهکاری مناسب برای تصمیم گیری درمورد مسائل پیچیده که عوامل متعددی در آن دخیل هستند، ارائه می‌دهد که این روش به (AHP) معروف است. در این روش عناصر هر سطح نسبت به عنصر دیگر مقایسه و درجه اهمیت آنها توسط اساتید خبره تعیین می‌گردد و سپس با محاسبه وزن های بدست آمده، وزن نهایی گزینه ها هم مشخص می‌گردد(رنجبر و روغنی، ۱۳۸۸). این مقایسه های زوجی بر مبنای مقیاس ۹ کمیتی ارائه شده بصورت ضریبی از این اعداد خواهند بود به طوری که اگر دو معیار با هم مقایسه گردد ترجیح یک معیار بر دیگری بصورت ضریبی از این اعداد خواهد بود که در جدول(۱) زیر ارائه شده است.

جدول۱- مقیاس اهمیت نسبی ۹ نقطه ای و معادل فازی مثلثی آن

درجه اهمیت	مقدار عددی	مقدار اعداد فازی
اهمیت برابر	۱	(۱و۱و۱)
اهمیت متوسط	۳	(٤و۳و۲)
اهمیت قوی	٥	(٦و٥و٤)
اهمیت خیلی قوی	۷	(۸و۷و٦)
اهمیت فوق العاده	۹	(۹و۹و۹)
درجه اهمیت بین فواصل	۲ و ٤ و ٦ و ۸	(۳و۲و۱) و (٥و٤و۳) و (۷و٦و٥) و (۹و۸و۷)

فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی(FAHP)

روش تحلیل سلسله مراتبی فازی بر اساس نظریه مجموعه فازی توسط پروفسور لطفی زاده در سال ۱۹٦٥ بنیانگذاری شده است(zadeh, 2015). چند دهه بعد ادغام روش تحلیل سلسله مراتبی با مجموعه های فازی انجام شد بطور قابل ملاحظه ای گسترش یافت و AHP را برای حالتی بسط داده شد که به سیستم فازی امکان تعمیم وجود داشته باشد (Chang,1996:650). در روش FAHP بعد از ایجاد ساختار سلسله مراتبی، برای مساله هایی که باید حل شود، اهمیت نسبی عوامل متناظر با معیارها از مقایسه نسبی فازی استفاده می شود(شجاعیان و همکاران،۱۳۹: ۱۳۹۳). منطق فازی اجازه می دهد که دو حالت صحیح و غلط، طیفی از اعداد بین صفر و یک در نظر گرفته شود که به طور نسبی صحیح یا غلط باشند و این قواعد در نظریه مجموعه ها این شرایط را دارد که توابعی را تعریف کرد که به ازای هر مقدار در بازه دارای دو حالت صحیح یا غلط باشد. در رابطه با مجموعه های فازی، فازی سازی های مختلفی انجام شده که می توان به فازی سازی خطی، مثلثی، ذوزنقه ای، گوسین و S شکل اشاره کرد. در روش FAHP مقیاس اهمیت نسبی برای اعداد بصورت مثلثی نسبت می دهیم که می توان برای اعداد بصورت جدول(۱) نمایش داد(کریمی ونجفی،۱۸: ۱۳۹٤). روند محاسبه و بدست آوردن وزن معیارها با روش FAHP بصورت فرمول‌های زیر بدست می‌آیند. ماتریس مقایسات زوجی را به صورت ماتریس $\tilde{x}$ با ابعاد $m\times n$ در نظر می گیریم.

$$\bar{x}=\begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \Rightarrow \bar{x}=\left[x_{ij}\right], 1\le i\le m \ , \ 1\le j\le n$$ رابطه (۱)

حال اگر به ازای هر عدد معادل فازی آن در جدول(۱) در نظر بگیریم ماتریس را به صورت زیر نمایش می دهیم.

$$\Rightarrow \ \bar{t}_{ij}=\left[(a_{ij},b_{ij},c_{ij})\right]$$ رابطه (۲)

برای محاسبه میانگین هندسی سطری هر کدام از مولفه های ماتریس از فرمول زیر استفاده می کنیم.

$$\bar{z}_i = \sqrt[n]{\bar{t}i1 \times \bar{t}_{i2} \times \cdots \times \bar{t}_{in}} = \left(\prod_{j=1}^{n} \bar{t}_{ij}\right)^{\frac{1}{n}} \quad , \quad 1 \le i \le m$$ رابطه (۳)

نرمال کردن میانگین هندسی وزن فازی بدست آمده را با رابطه زیر می توان انجام داد.

$$\overline{w}_i = \bar{z}_i \otimes (\bar{z}_1 \oplus \bar{z}_2 \oplus \cdots \oplus \bar{z}_m)^{-1}$$ رابطه (۴)

لازم به ذکراست که برای محاسبه معکوس اعداد فازی با توجه به مثلثی بودن از رابطه زیر بهره می گیریم.

$$(m,n,p)^{-1} = \left(\frac{1}{p}, \frac{1}{n}, \frac{1}{m}\right)$$ رابطه (۵)

حال میانگین حسابی هر کدام از وزن های مثلثی فازی بدست آمده را محاسبه می کنیم و وزن را بصورت یک عدد بدست می آوریم.

$$w_i = \frac{l_i + m_i + u_i}{3} \quad , \quad 1 \le i \le m$$ رابطه (۶)

حال اگر مجموع وزن ها برابر ۱ نبود به شکل زیر عمل می کنیم و اعداد بدست آمده وزن مورد نظر است.

$$\overline{w}_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^{m} w_i} \quad , 1 \le i \le m$$ رابطه (۷)

در ادامه یافته های این پژوهش تجزیه و تحلیل داده ها، در چند مرحله انجام شد.

مرحله اول: ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی با هدف مشخص و تعریف معیارها است. معیار ها بر اساس حساسیت و اثر گذاری آنها در زمین لرزه در پنج کلاس طبقه بندی می شود که عبارتند از شیب، فاصله از گسل، سنگ شناسی، فاصله از زلزله ها و لایه بزرگی زلزله ها.

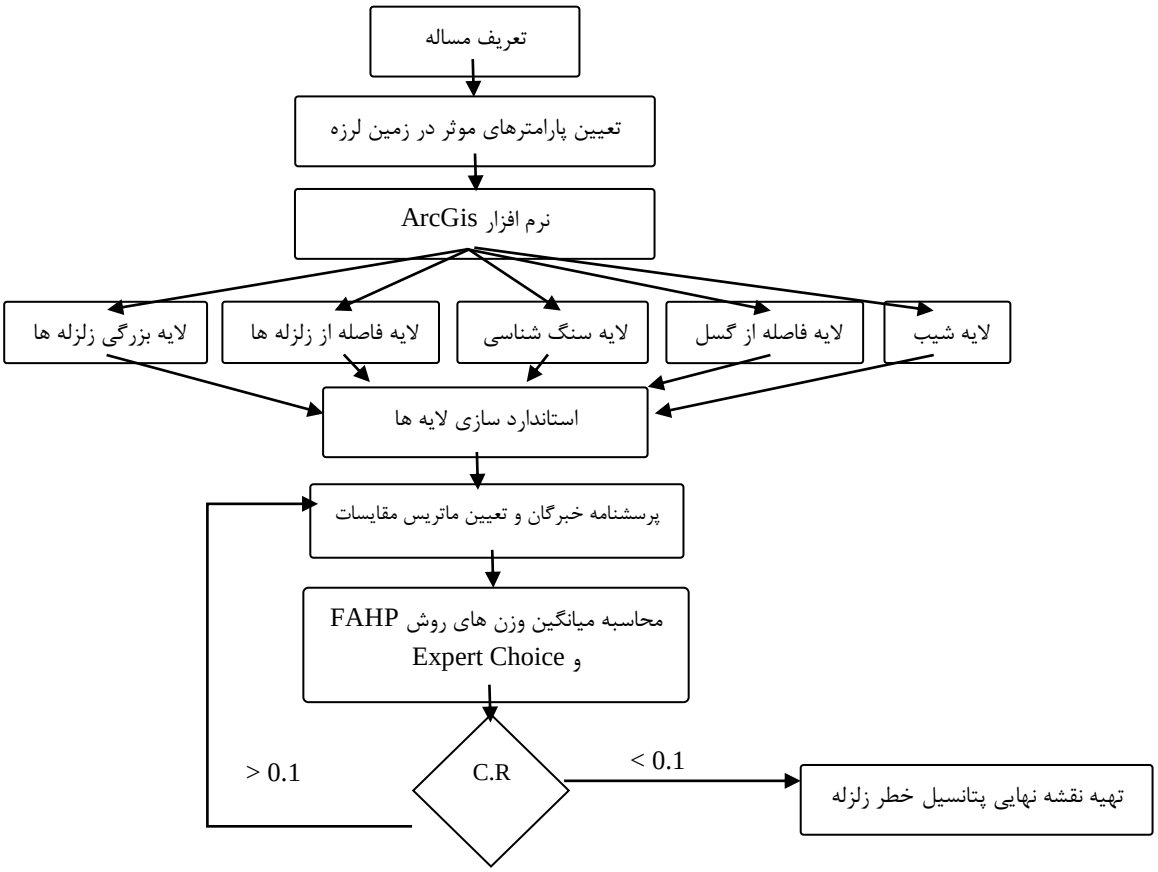
مرحله دوم: ارزیابی میزان اهمیت و وزن نسبی هر یک از معیارها در فرایند تصمیم گیری توسط چند تن از اساتید و نیز با محاسبه میانگین ضرایب اختصاص یافته از مقالات علمی پژوهشی مندرج در منابع، ضرایب از ۱ تا ۹ اختصاص یافت. بعد از مشخص شدن ماتریس مقایسه، وزن نهایی هر یک از معیارها بدست آمد که در این مرحله نخست با استفاده از روشFAHP وزن های مورد نظر بدست آمد و درگام بعدی با استفاده از نرم افزار Expert Choice وزن‌ها محاسبه گردید.

مرحله سوم: استاندارد سازی لایه های مورد نظر در کلاس بندی بر حسب تاثیر آن با افزایش شاخص که با استفاده از نرم افزار ArcMap انجام شد.

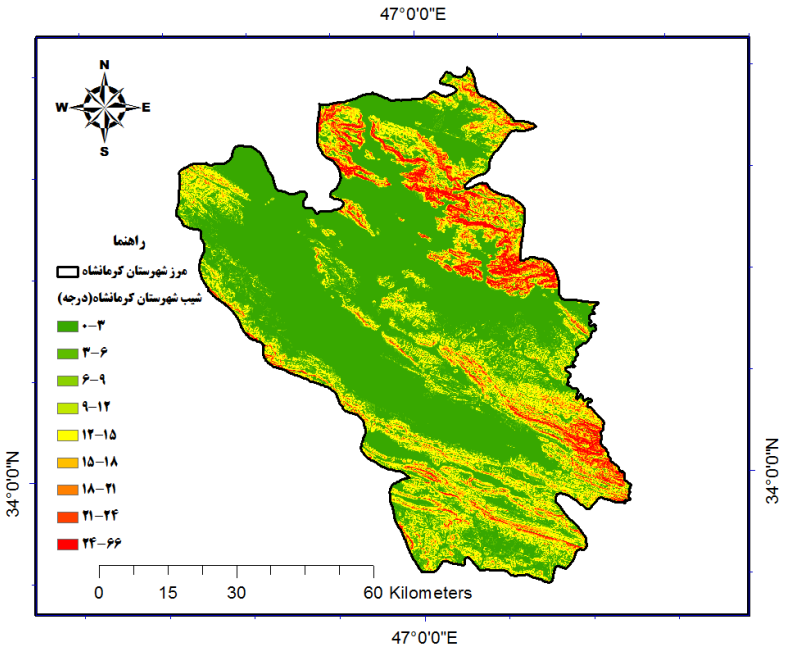
مرحله چهارم: لایه‌های کلاس‌بندی را درمیانگین وزن های بدست آمده از روش FAHP و نرم افزار Expert Choice ضرب نموده و همپوشانی لایه‌ها با استفاده ازعملگر جمع جبری بدست می آوریم. بدین صورت نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لرزه شهرستان کرمانشاه بدست آمد. روند انجام این مراحل بصورت نمودار در شکل(۲) نشان داده شده است.

لایه شیب

شیب منطقه نقش موثری در میزان تخریب، تاثیر پذیری در نوسانات و میزان فرسایش در وقوع زمین لرزه دارد. اگر منطقه ای دارای میزان شیب زیاد باشد سرعت و میزان تخریب در زمان زمین لرزه بسیار بیشتر از مناطقی خواهد بود که فاقد شیب است. زمین لرزه که در مناطق شیب دار اتفاق می افتد پدیده ای دیگر به نام زمین لغزش را پدید می آورد و خسارت در آن مناطق را چندین برابر خواهد کرد. بنابراین شیب فاکتور و معیار بسیار مهم در میزان خسارت در پتانسیل زمین لرزه ایفا می‌کند. برای کلاس بندی نمودن لایه با توجه به اینکه با افزایش میزان شیب، میزان خطر پذیری زلزله و حجم تغییرات سطحی بیشتر می شود، بنابراین تابع از نوع افزایشی می باشد.



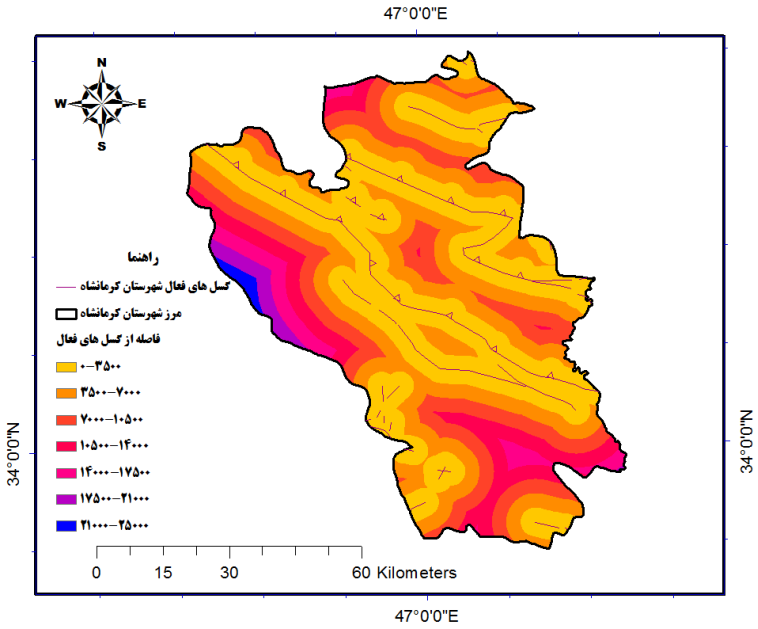
شکل ۲: نمودار روند تهیه نقشه پتانسیل زمین لرزه شهرستان کرمانشاه



شکل ۳: نقشه کلاس بندی شده شیب شهرستان کرمانشاه

لایه فاصله از گسل

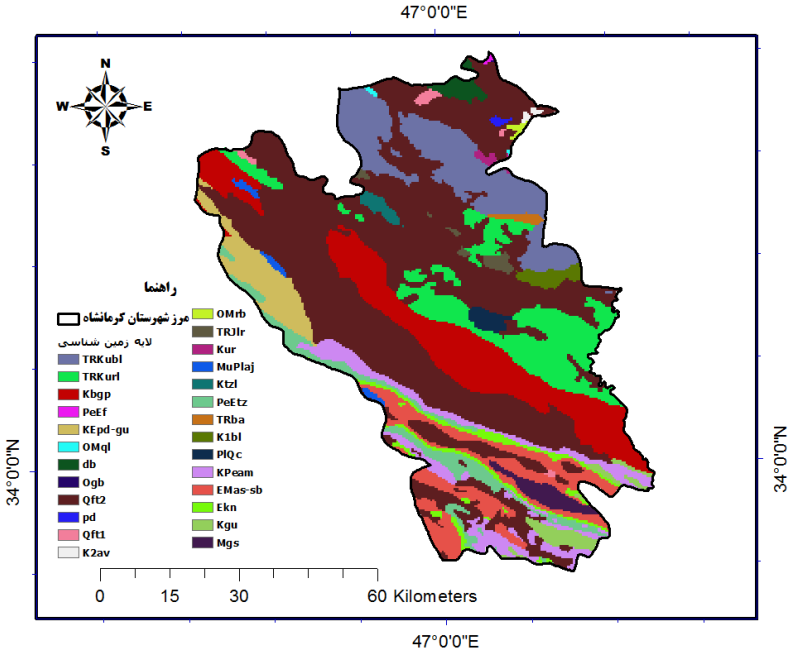
گسل‌ها معمولا به عنوان اصلی ترین عوامل در جابجایی صفحه ای و خروج نیرو از لایه های درونی زمین محسوب می شوند، بنابراین دور بودن مناطق مسکونی و تاسیسات از گسل ها کمک شایانی به کمتر شدن خسارات آنها در وقوع زمین لرزه ها به شمار می آید. در این تحقیق لایه فاصله از گسل به عنوان یکی از معیارهای مطرح شده مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای استاندارد نمودن لایه فاصله از گسل با توجه به تقسیم بندی فاصله ها از گسل، هر چقدر فاصله کمتر باشد خطرپذیری زمین لرزه هم بیشتر می باشد بنابراین تابع بصورت کاهشی می باشد.



شکل ٤: نقشه کلاس بندی شده فاصله از گسل های فعال کرمانشاه

لایه سنگ شناسی

تنوع سازندهای سنگی منطقه در مخاطرات زمین لرزه دارای اهمیت بالایی است زیرا که وجود کنگلومرا و ماسه سنگ سازند بختیاری و سنگ های کربناته سازندهای آسماری، تاربور، فهلیان و داریان با داشتن رفتاری شکننده و گسترش سازند شیلی گورپی، رازک، پابده و غیره با دارا بودن رفتاری شکل پذیر به ترتیب در افزایش و کاهش اثرات تخریبی زمین لرزه ها نقش اساسی دارند. شکل پذیری در سازند گورپی، رازک و پابده که با استهلاک انرژی زمین لرزه همراه است، شدت خطر ناشی از وقوع احتمالی زمین لرزه را کاهش میدهد ولی سازندهای سخت همچون بختیاریف آسماری، تاربور، فهلیان و داریان به دلیل شکنندگی خود خسارت زیادی را به بار خواهند آورد. استاندارد سازی لایه زمین شناسی با توجه به نوع سازندها، ضخامت لایه ها و جنس لایه های زمین شناسی انجام می گیرد. در مناطق دارای سازندهای کم ضخامت و کواترنری مانند پادگانه ها، مخروط افکنه و هزار دره خطر زلزله پذیری را بیشتر می کند بنابراین دارای بیشترین اثر است و برای لایه استاندارد شده روند بصورت خطی افزایشی است.



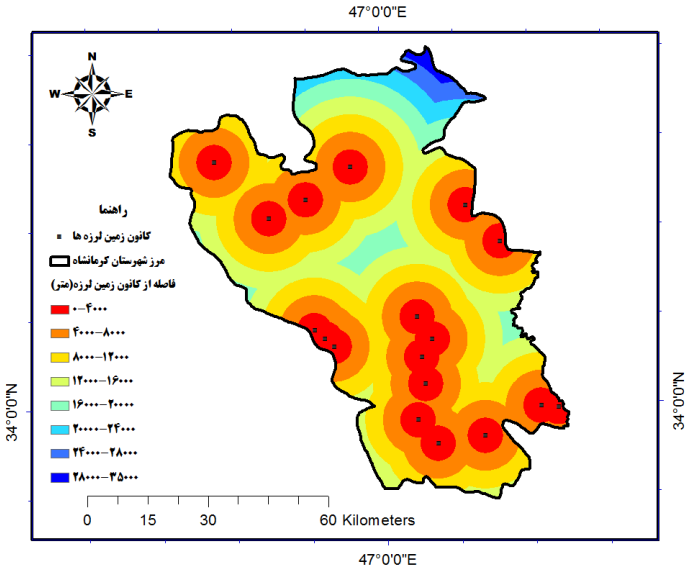
شکل ۵: نقشه زمین شناسی شهرستان کرمانشاه

لایه فاصله از زمین لرزه ها

وقوع زمین لرزه در یک منطقه نشان از وجود گسل و فعال بودن زمین لرزه در آن منطقه است. با جمع آوری داده های بدست آمده از زلزله های ده سال اخیر از ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۲ از داده های سازمان زمین شناسی آمریکا و همچنین بر اساس داده های میدانی موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران لایه فاصله اقلیدسی از مکان های زمین لرزه بدست آمده است. استاندارد سازی این لایه هم با توجه به اینکه هر چقدر به مکان زلزله های اتفاق افتاده نزدیک می شویم خطر زمین لرزه در این مکان ها بیشتر از مکان های دیگر است و هر چقدر از این مکان ها فاصله بیشتر می شود خطر زمین لرزه کمتر خواهد بود، بنابراین نوع تابع برای این لایه نیز از نوع کاهشی است.

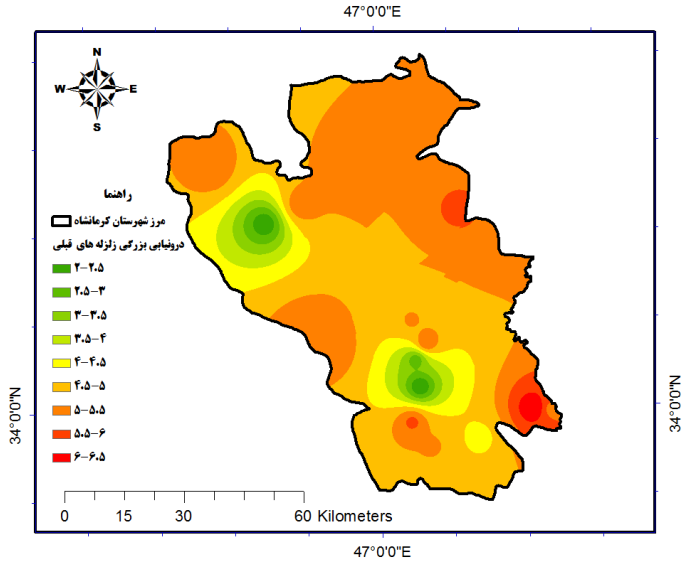
لایه بزرگی زلزله ها

یکی از عوامل موثر در پیش بینی حوادث و مدیریت بحران استفاده از سوابق زمین لرزه ها به ویژه بزرگی و شدت زمین لرزه های گذشته است که در دستگاه های لرزه نگار ثبت شده است. بر همین اصل از داده های سازمان زمین شناسی آمریکا و بولتن موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران استفاده شده و روی لایه بزرگی زمین لرزه ها درونیابی از نوع IDW انجام گرفت. استاندارد سازی این لایه، با توجه به اینکه سوابق زمین لرزه های بزرگ در ایجاد زلزله ها و احتمال رخ داد زمین لرزه های دیگر در همان ناحیه معمولا بیشتر است، بصورت تابع خطی کاهشی تعریف شده است.



شکل٦: نقشه کلاس بندی شده فاصله از زمین زلزله های شهرستان کرمانشاه

مآخذ: نویسندگان،۱٤۰۲



شکل۷: نقشه درونیابی بزرگی زلزله های شهرستان کرمانشاه

مآخذ: نویسندگان،۱٤۰۲

همپوشانی لایه ها

بعد از استاندارد سازی و کلاس بندی لایه ها و معیارهای اثر گذار در زمین لرزه که شامل شیب، فاصله از گسل، فاصله از زلزله های رخ داده، لایه بزرگی زلزله ها و لایه زمین شناسی است، با روش تحلیل سلسله مراتبی فازی FAHP وزن های معیارهای بدست آمده با وزن معیارهای بدست آمده از طریق نرم افزار Expert Choice مقایسه و میانگین گرفته شد. وزن های بدست آمده از روش FAHP در جدول زیر آمده است.

جدول۲: وزن های بدست آمده از روش FAHP

معیار و لایه ها	مقادیر وزن بدست آمده از روش فازی
شیب	۰/۰٦
فاصله ازگسل	۰/۲۲
فاصله از زلزله ها	۰/۲٤
بزرگی زلزله ها	۰/۳۵
سنگ شناسی	۰/۱۳

مآخذ: نویسندگان،۱٤۰۲

برای تعیین وزن ها از نرم افزار Expert Choice ابتدا ماتریس مقایسات زوجی با نظر کارشناسان خبره و استفاده از مقالات شاخص در زمینه زلزله اعمال شد. این ماتریس مطابق با جدول(۳) مشاهده می شود. در مرحله بعد ضرایب وزنی با استفاده از نرم افزارExpert Choice مطابق با ماتریس مقایسات زوجی جدول(۳) بدست آمد. نرخ ناسازگاری مقایسات زوجی و وزن های بدست آمده برابر ۰/۰۷ محاسبه شده است که در مطلوب و قابل قبول است و نمودار آن در شکل(۸) نشان داده شده است.

جدول۳- اهمیت معیارها در جدول مقایسه در نرم افزار Expert Choice

	Slope	Fault Distar	Earthquake	Earthquake	Lithology
Slope		6/0	3/0	3/0	3/0
Fault Distance			2/0	2/0	2/0
Earthquake Distance				2/0	2/0
Earthquake Magnitude					4/0
Lithology	Incon: 0/07				

Overall Inconsistency = /07

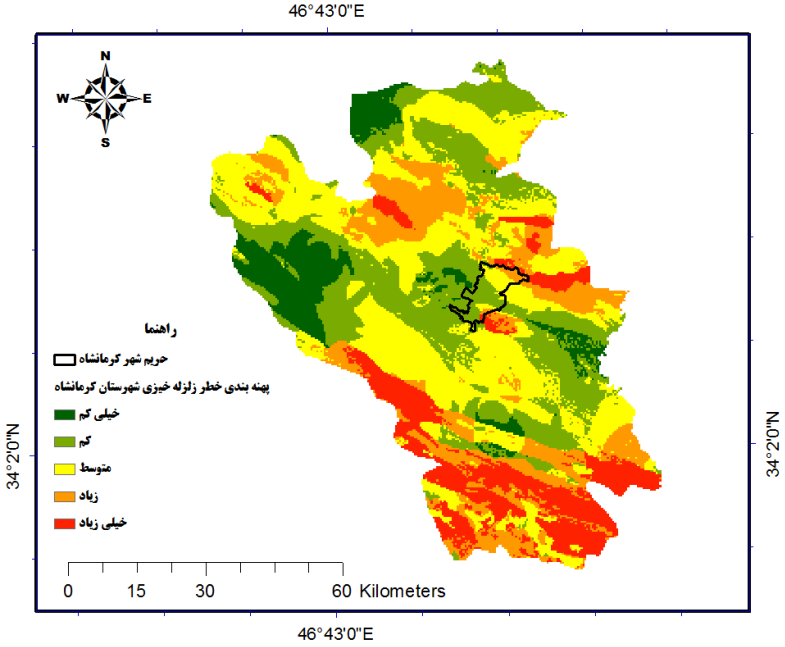
شکل ۸: نمودار وزن محاسبه شده معیارها با استفاده از نرم افزار Expert Choice

اکنون میانگین وزن های بدست آمده از روش FAHP و وزن های بدست آمده از نرم افزارexpert choice را بصورت $w_i = (۰/۰۶۲ ,۰/۲۱۷ ,۰/۲۴ ,۰/۳۵۵ ,۰/۱۲۴)$ بدست می آوریم. حال برای همپوشانی نقشه ها با در اختیار داشتن نقشه های هر کدام از معیارها و وزن های بدست آمده با استفاده از دستور raster calculator در نرم افزار ArcGis انجام می‌پذیرد. دراین حالت با بهره گرفتن از رابطه(۸) عملگر مجموع ضرایب وزنی، فرایند تلفیق لایه ها انجام و لایه نهایی بدست آمد.

Slope ×۰/۰۶۲
+ Fault Dis tan ce×۰/۲۱۷
+ Earthquak Dis tan ce×۰/۲۴
+ Earthquak Magnitude ×۰/۳۵۵
+ Litho log y×۰/۱۲۴

رابطه(۸)

در نهایت نقشه پهنه مخاطره زمین لرزه شهرستان کرمانشاه در پنج طبقه خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تهیه گردید. نقشه بدست آمده از تلفیق نقشه های موثر و لایه های وزن دار شده در شکل(۹) قابل مشاهده است.



شکل ۹: پهنه بندی نقشه خطر زمین لرزه شهرستان کرمانشاه

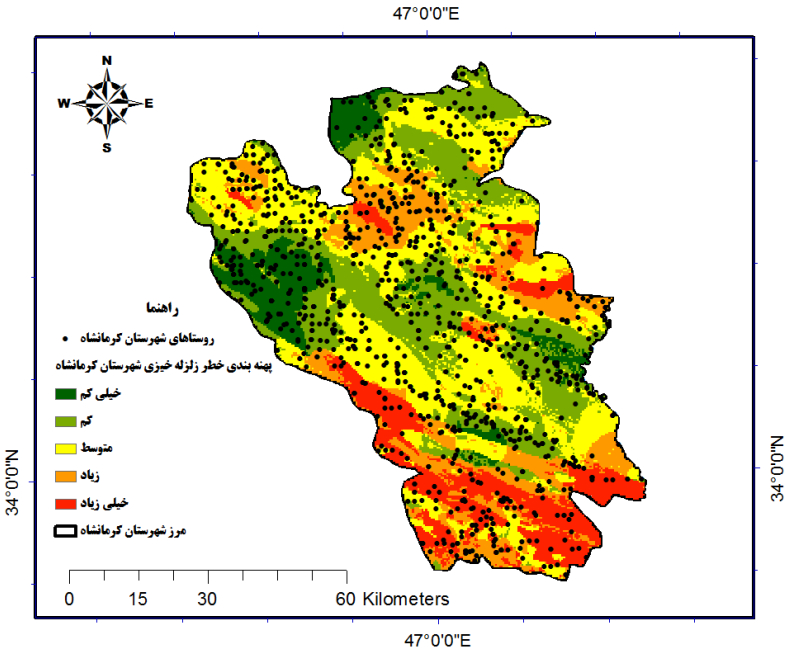
با داشتن نقشه پهنه بندی می توان با نرم افزار ArcGis مساحت های هر کدام از قسمت های رنگی در نقشه را که نمایانگر درجه وقوع زلزله است را بدست آورد. جدول(٤) درصد مناطق در خطر زمین لرزه از شهرستان کرمانشاه را با درجات مختلف نشان می دهد. این داده ها نشان می دهد که ۱۱/۲درصد از مساحت شهرستان کرمانشاه با درجه "خیلی کم" و ٢٤/٦ درصد از مساحت شهرستان با درجه "کم" در معرض زمین لرزه می باشد. ۳۱/۹ درصد از مساحت شهرستان نیز از نظر وقوع زمین لرزه در سطح "متوسط" و ١٥/٦ درصد نیز در معرض خطر زلزله با درجه "زیاد" و در نهایت شهرستان به میزان ١٦/٧ درصد با درجه "خیلی زیاد" در معرض وقوع زمین زلزله قرار دارد.

جدول٤- میزان خطر زمین لرزه در شهرستان کرمانشاه با درجات مختلف

میزان خطرپذیری زمین لرزه	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
مساحت شهرستان کرمانشاه (درصد)	۱۱/۲	٢٤/٦	۳۱/۹	١٥/٦	١٦/٧

مآخذ: نویسندگان،١٤٠٢

با استفاده از لایه روستاهای شهرستان کرمانشاه و انطباق بر پهنه بندی خطر زلزله بدست آمده می توان روستاهای در معرض خطر با درجات مختلف را محاسبه نمود. شکل (۹) موقعیت روستاها را نشان میدهد.



شکل۹: پهنه بندی نقشه خطر زمین لرزه و موقعیت روستاهای شهرستان کرمانشاه

مآخذ: نویسندگان،۱۴۰۲

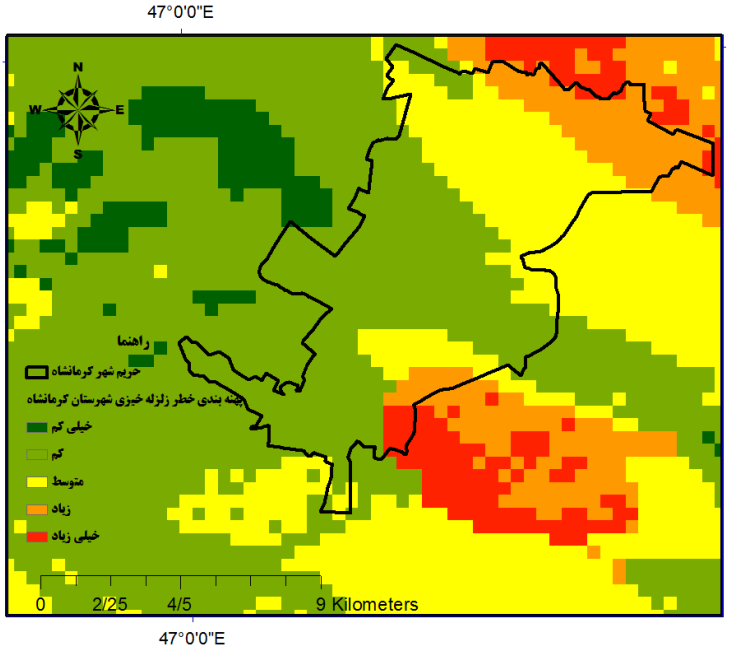
با محاسبه مساحت درجه های مختلف پهنه بندی خطر زلزله و روستاهای پوشش در هر ناحیه، تعداد روستاها و درصد عضویت روستاها در نواحی پر خطر و کم خطر بدست آمد. جدول(۵) میزان روستاهای در معرض خطر زلزله با درجات مختلف را نشان می دهد. به وضوح می توان دریافت که ۱۸/۲ از روستاهای شهرستان کرمانشاه با درجه "خیلی زیاد" و ۱۷/۷ درصد با درجه "زیاد" در معرض خطر زلزله هستند. روستاهای در معرض خطر زلزله با درجات "متوسط"، "کم" و "خیلی کم" نیز به ترتیب ۲۶/۵، ۲۶/۳ و ۱۱/۳ درصد می باشد.

جدول۵: میزان خطر زمین لرزه در روستاهای شهرستان کرمانشاه

میزان خطر زلزله روستاهای شهرستان کرمانشاه	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
تعداد روستاهای عضو	۱۷۲	۳۹۷	٤۰۱	۲٦۸	۲۷٦
درصد روستاهای شهرستان	۱۱/۳	۲٦/۳	۲٦/۵	۱۷/۷	۱۸/۲

مآخذ: نویسندگان،۱۴۰۲

با بکارگیری نقشه پهنه بندی و انطباق بر بافت شهری کرمانشاه نیز خطر زلزله خیزی مناطق و شهرک های مسکونی نیز به وضوح مشخص شد. خطر وقوع زلزله در کلان شهرکرمانشاه با پنج رنگ مختلف در شکل(۱۰) نشان داده شده است.



شکل۱۰: پهنه بندی نقشه خطر زمین لرزه و موقعیت شهر کرمانشاه

مآخذ: نویسندگان،۱۴۰۲

با محاسبه مساحت نواحی مختلف بدست آمده از شکل(۱۰) میزان خطر وقوع زلزله در بافت شهری بدست آمد. میزان مساحت از بافت شهر کرمانشاه که درخطر وقوع زلزله قرار دارد با درجه "خیلی زیاد" برابر ۶/۳ درصد است. این خطر با درجه "زیاد" برابر ۱۸/۱ درصد است. میزان خطر وقوع زلزله با درجات "متوسط"، "کم" و "خیلی کم" نیز به ترتیب برابر ۳۲/۱، ٤٤/٦ و ۱/۱ درصد می باشد. این مقادیر در جدول(۵) درج شده است.

جدول۵: میزان خطر زمین لرزه در بافت شهر کرمانشاه

میزان خطر زازله در بافت شهر کرمانشاه	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
مساحت شهر کرمانشاه(درصد)	۱,۱	٤٤/٦	۳۲/۱	۱۸/۱	٦/۳

مآخذ: نویسندگان،۱۴۰۲

نتیجه گیری

داشتن شناخت دقیق از ویژگی های هر منطقه، تصمیم گیری و برنامه ریزی برای پیشگیری از مخاطرات طبیعی و مدیریت بهتر منابع را امکان پذیر می سازد. نقشه پهنه بندی خطر زمین لرزه از موارد بسیار مهمی است که می توان با بهره گیری از آن در جهت پیشگیری از خسارات و تلافات ناشی از زمین لرزه به منازل مسکونی، خطوط انتقال گاز، آب و خطوط ریلی و بسیاری دیگر از تاسیسات زیر بنایی بهره برد. در تحقیق انجام شده به منظور پیشگیری از خسارات در شهرستان کرمانشاه، با استفاده از ابزارهای موجود در علم سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و با بهره گرفتن از روش FAHP پهنه بندی خطر زمین لرزه شهرستان کرمانشاه انجام شد و خطر زمین لرزه در پنج درجه "خیلی

زیاد"، "زیاد"، "متوسط"، "کم" و "خیلی کم" در یک نقشه تهیه گردید. بررسی های انجام شده نشان می دهد که ۱۵/٦ درصد از شهرستان کرمانشاه در معرض خطر زلزله با درجه "زیاد" و ۱٦/۷ درصد با درجه "خیلی زیاد" قرار دارد. همچنین به وضوح می توان دریافت که ۱۸/۲ از روستاهای شهرستان کرمانشاه با درجه "خیلی زیاد" و ۱۷/۷ درصد با درجه "زیاد" در معرض خطر زلزله هستند. در نهایت در سطح شهر کرمانشاه میزان خطر وقوع زلزله در بافت شهری بدست آمد که در آن خطر وقوع زلزله با درجه "خیلی زیاد" برابر ٦/۳ درصد و با درجه "زیاد" برابر ۱۸/۱ درصد از مساحت شهر کرمانشاه می باشد. بنابراین با آگاهی از وقوع زمین لرزه در مناطقی از شهر و شهرستان کرمانشاه با درجات مختلف می توان برنامه ریزی های زیر ساختی جهت مدیریت و کنترل بحران در وقوع زمین لرزه در آینده انجام داد.

منابع ومآخذ

۱) جلالیان، حمید، و دادگر، حسین(۱۳۹٤). پهنه بندی آسیب پذیری سکونتگاه های روستایی در برابر زلزله با مدل AHP در محیط GIS (مطالعه موردی: بخش چورزق شهرستان طارم). *فصل‌نامه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲٦ (۳)،۲۹-٤۲.

۲) حاتمی‌فرد، رامین، موسوی، سیدحجت، و علیمرادی، مسعود(۱۳۹۱). پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل AHP و تکنیک GIS در شهرستان خرم آباد. *فصل‌نامه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*،۲۳(۳)، ٦۰-٤۳.

۳) رنجبر، محسن، وروغنی، پریسا(۱۳۸۸). پهنه بندی خطر زمین لغزش در شهرستان اردل با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی .(AHP) *فصل‌نامه جغرافیایی چشم انداز زاگرس*، ۱(۲)، ۲۱-۳۰

٤) .شجاعیان، علی، ملکی، سعید، و امیدیپور، مرتضی(۱۳۹۳) . ساماندهی مکان‌گزینی مراکز آموزشی شهری با استفاده از منطق بولین و تصمیم‌گیری چند معیاره فازی مطالعه موردی: مدارس مقطع راهنمایی مناطق ۸ گانه شهر اهواز. *فصل‌نامه مطالعات برنامه‌ریزی آموزشی*،۲(٤)،۱۳۷-۱٦٦.

۵) صفایی‌پور، مسعود، شجاعیان، علی، و آتش افروز، نسرین(۱۳۹۵). پهنه بنی زمین لغزش با استفاده از مدل AHP در محیط GIS در روستای دره گز قلندران شهر دهدز. *فصل‌نامه جغرافیای طبیعی*، ۹(۳۱)، ۱۰۵-۱۱۸.

٦) غلامی‌راد، زهرا، و بهروزی بان بیدی، کیانوش(۱٤۰۲). استقرارسکونتگاه‌های روستایی استان کرمانشاه در ارتباط با گسل‌ها با استفاده از Gis . *فصل‌نامه اندیشه های نو در علوم جغرافیایی*،۱(۱)، ۲۱-۳۰.

۷) کریمی کردآبادی، مرتضی، و نجفی، اسماعیل(۱۳۹٤). ارزیابی خطر زلزله با استفاده از مدل ترکیبی FUZZY-AHP در امنیت شهری (مورد مطالعه منطقه یک کلان‌شهر تهران). *مجله پژوهش و برنامه‌ریزی‌شهری*،٦(۲۰)، ۱۷-۲٤.

۸) ماجدی، محمدرضا، و حسین زاده، محمدرضا(۱۳۹۷). پهنه بندی مناطق زلزله خیز با استفاده از مدل ahp در محیط gis (منطقه مورد مطالعه: استان کرمانشاه: شهرستان کرمانش). *پنجمین کنفرانس ملی عمران، معماری وشهرسازی*. تهران، اردیبهشت ماه، ۱۷ صفحه.

9) Chang, D.-Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European journal of operational research*, 95(3), 649-655.

10) Othman, A.N., Naim, W.M., & Noraini, S., 2012. GIS based multi-criteria decision making for landslide hazard zonation. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 35, 595-602

11) Zadeh, Lotfi A (21 May 2015). "Fuzzy logic—a personal perspective". *Fuzzy Sets and Systems*. 281: 4–20.