مدل سازی و پهنه بندی خطر زلزله با استفاده از مدل تاپسیس فازی (مطالعه موردی: شهر کرمانشاه)

عقیل مددی: استاد گروه ژئومورفواوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

صیاد اصغری سراسکانرود*: دانشیار گروه ژئومورفواوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

زهرا زارعمند: دانش آموخته کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

احسان قلعه: دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران تاریخ دریافت:۱۴۰۰/۱۱/۰۲ تاریخ پذیرش:۱۴۰۱/۱۱/۱

چکیده

زلزله یکی از مهم ترین مخاطرات محیطی بسیاری از شهرهای ایران به شمار می آید. دراین‌رابطه، ارزیابی مکانی و ریز پهنه‌بندی آسیب پذیری لرزه ای شهرها از الزامات اساسی در برنامه ریزی کاهش اثرات زلزله محسوب می شود. در پژوهش حاضر، آسیب پذیری لرزه ای کلان شهر کرمانشاه مورد بررسی قرار می گیرد. عبور سه خط گسلی مهم از مجاورت و داخل محدوده شهر کرمانشاه باعث زلزله خیزی این منطقه شهری شده است. یکی از اقدامات اساسی به‌منظور کاهش آسیب پذیری شهر کرمانشاه نسبت به خطر زلزله ارزیابی و پهنه بندی لرزه ای شهر است تا از این طریق نسبت به برنامه ریزی های کاهش اثرات زلزله اقدام شود. در این زمینه از ۱۱ متغیر مؤثر بر آسیب پذیری لرزه ای شهر استفاده شد. این متغیرها عبارت‌اند از: فاصله از گسل ها، شیب، لیتولوژی، تراکم جمعیت، کاربری اراضی، تراکم مسکونی، شبکه های ارتباطی اصلی شهر، دسترسی به بیمارستان ها، شعاع عملکردی ایستگاه های آتش نشانی، فاصله از تأسیسات خطرزا و دسترسی به فضاهای باز شهری. برای ترکیب این متغیرها از تکنیک تاپسیس فازی در بستر سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شد. نتایج پژوهش نشان دهنده این است که در حدود ۳۲ درصد از مساحت شهر کرمانشاه در کلاس آسیب پذیری زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته است. محلات واقع در قسمت های مرکزی شهر (هسته اولیه شهر) از آسیب پذیرترین محلات شهری کرمانشاه نسبت به مخاطره زلزله به شمار می آیند. در این زمینه عواملی مانند مجاورت با گسل های حاشیه جنوبی شهر، تراکم بالای جمعیتی، تراکم بالای مسکونی، حاشیه نشینی، وجود بافت فرسوده شهری و فقدان یا کمبود شدید فضاهای باز شهری از جمله مهم ترین دلایل آسیب پذیری بالای این محلات نسبت به زلزله محسوب می شوند. **کلمات کلیدی:** آسیب پذیری، زلزله، GIS، مدل تاپسیس فازی، شهر کرمانشاه.

Modeling and Zoning the Earthquake Risk Using Fuzzy TOPSIS Model (Case Study: Kermanshah City)

Aghil Madadi[1] - Sayyad Asghari Sarasekanrood[2]* - Zahra Zaremand[3] - Ehsan Ghale[4]

Abstract

The earthquake is one of the most important environmental hazards in many Iranian cities. In this regard, spatial assessment and micro-zoning of seismic vulnerability of cities are essential requirements in earthquake mitigation planning. In the present study, seismic vulnerability of Kermanshah metropolis is investigated. Crossing three important fault lines in the vicinity of Kermanshah city has caused earthquake hazard in this urban area. One of the main measures to reduce the vulnerability of Kermanshah city to earthquake risk is seismic assessment and zoning of the city in order to implement earthquake mitigation plans. In this context, 11 variables affecting the seismic vulnerability of the city were used. These variables are: fault distance, slope, lithology, population density, land use, residential density, and major communication networks, access to hospitals, operating radius of fire stations, and distance from hazardous facilities, and access to urban open spaces. Fuzzy TOPSIS technique was used to combine these variables in the context of GIS. The results show that about 32% of the area of Kermanshah is in a very high vulnerability class. Neighborhoods located in the central part of the city (the core of the city) are among the most vulnerable to earthquake hazards in Kermanshah. In this context, factors such as proximity to faults in the southern margin of the city, high population density, high residential density, marginalization, the presence of worn urban texture, and the lack or severe shortage of open urban spaces are among the most important causes of high vulnerability of these neighborhoods. **Keywords:** Vulnerability, Earthquake, GIS, Fuzzy TOPSIS Model, Kermanshah.

1 Professor, Department of Geomorphology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2 Associate Professor, Department of Geomorphology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

3 Graduate of Geomorphology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

4 PhD student in Geomorphology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

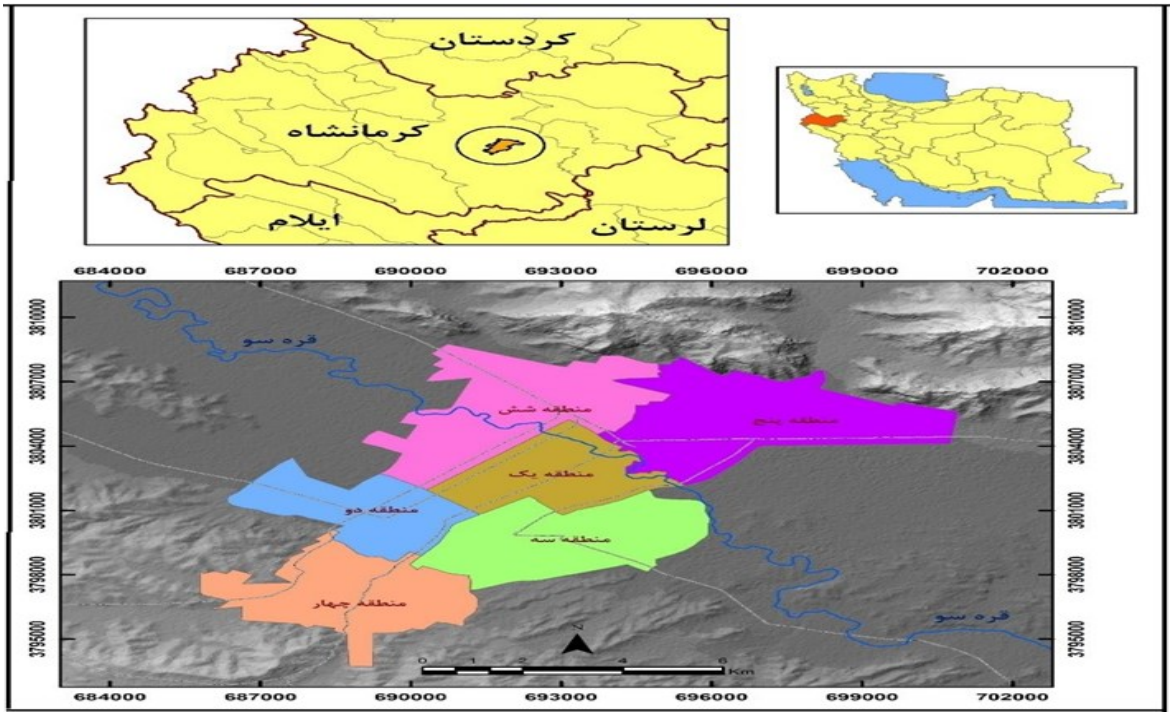
مقدمه:

مخاطره زلزله، به مجموعه شرایط ژئوفیزیکی طبیعی در اثر جابه‌جایی، حرکت و لغزش زمین که بدون توجه به فعالیت انسان حاصل می شود اشاره می کند[۱]. زلزله، به‌عنوان مخرب ترین پدیده محیطی، به علت وسعت قلمرو، فراوانی وقوع و همچنین گستردگی و شدت خساراتی که به بار می آورد یکی از شناخته‌شده‌ترین بلایای طبیعی جهان محسوب می شود[۲]. شواهد نشان دهنده این است که تهدید زلزله در مناطق شهری در مقیاس جهانی در حال گسترش است و این تهدید با روند صعودی، مشکلی از مشکلات کشورهای درحال‌توسعه محسوب می شود. زلزله رخدادی است که بی‌توجهی به آن خسارات جبران‌ناپذیری به همراه خواهد داشت. رخداد زلزله‌های شدید انسان را مجبور کرده است که در فکر تدوین یک برنامه زیربنایی جهت کاهش مخاطرات و آسیب‌های حاصل از آن باشد[۳]. بر اساس گزارش دفتر برنامه ریزی سازمان ملل متحد در سال ۲۰۰۲ میلادی، ایران در مقایسه با سایر کشورهای دنیا، رتبه اول را از نظر فراوانی زلزله هایی با شدت بالای ۵.۵ ریشتر در سال و یکی از بالاترین رتبه ها را در خصوص آسیب پذیری ناشی از رخداد زلزله و تعداد تلفات این بلایا به خود اختصاص داده است[۴]. همچنین به لحاظ تلفات و خسارات حاصل از زمین لرزه، ایران ۶ درصد تلفات لرزه ای را در جهان دارد[۵]. خاطرنشان می شود که بر اساس مطالعات وزارت مسکن و شهرسازی در طرح کالبد ملی، ۵۰ درصد جمعیت شهرنشین کشور ما در مناطقی زندگی می کنند که از بیشترین میزان خطر زلزله خیزی برخوردار هستند[۶].کشور ایران از نظر زمین شناسی و تکتونیکی جزو مناطق لرزه خیز، ناآرام و پرتکاپو محسوب می شود (کمربند آلپ - هیمالیا) به همین خاطر، ایران دارای پوسته شدیداً خرد شده و تکتونیزه است و در طی دوران های مختلف زمین شناسی شاهد فعالیت های کوهزایی عمده در این سرزمین بوده ایم. حرکت طبقات زمین در امتداد این گسل ها با وقوع زمین لرزه های خفیف، متوسط و شدیدی که گاهی بسیار مرگبار و خسارات آور می باشند، توأم است و نتیجه آن تلفات جانی و خسارات مالی بسیار است. لذا میلیاردها ریال خسارات مالی و صدها هزار کشته و زخمی حاصل زلزله هایی هستند که هر چند یک بار در نقاط مختلف کشور روی می دهند. بنابراین، با توجه به آمار خسارت مالی و تلفات جانی و شرایط لرزه زمین ساخت حاکم بر ایران، پر واضح است که در اجرای طرح‌های عمرانی بزرگ نظیر احداث سدها، نیروگاه ها، پالایشگاه‌ها، تونل‌ها و ایجاد شهرک های کوچک و بزرگ بایستی توجه خاصی به توان لرزه خیزی مناطق مختلف معطوف نمود[۷]. محققان داخلی و خارجی زیادی در این زمینه مطالعات خود را انجام داده اند، از جمله: فرج زاده اصل و همکاران[۳] به ارزیابی آسیب پذیری مساکن شهری منطقه ۹ شهرداری تهران در برابر زلزله با استفاده از مدل TOPSIS Fuzzy و GIS پرداختند. نتایج حاصله حاکی از آسیب‌پذیر بودن منطقه ۹ شهرداری تهران در برابر زلزله است. اسفندیاری و همکاران[۸] ضریب آسیب‌پذیری شهر اردبیل در برابر زلزله را با استفاده از روش تاپسیس مدل سازی نمودند. نتایج نشان می‌دهد که میزان آسیب وارده در منطقهٔ ۳ بیشتر از سایر مناطق است. موسوی و همکاران[۹] به ارزیابی خطر زمین‌لرزه در شهر ایذه با استفاده از WLC و AHP پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که بر اساس مدل AHP حدود ۱۱ درصد، و بر اساس مدل WLC حدود ۱۷درصد از محدوده‌ی مورد مطالعه در طبقه‌ی خطر بسیار بالای زمین‌لرزه قرار دارد. نیری و همکاران[۱۰]میزان آسیب‌پذیری شهر سنندج در برابر زلزله را با استفاده از دو مدل تحلیل سلسله مراتبی و مدل تاپسیس پهنه بندی کردند. مطابق با هر دو مدل مذکور مشخص شد نواحی دارای بیش ترین آسیب پذیری در شمال شهر قرارگرفته‌اند. مرحمت[۱۱] به بررسی خطر زلزله شهر شیراز با استفاده از روش ANP پرداخت و به این نتیجه رسید که مرکز شهر به دلیل بافت فرسوده و کم عرض بودن معابر آسیب پذیرتر از مناطق دیگر می باشد. کرمی و امیریان[۱۲] به پهنه بندی آسیب‌پذیری شهری در برابر زلزله در تبریز با استفاده از مدل Fuzzy-AHP پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که مناطق ۱۰ و ۱ به ترتیب دارای بدترین شرایط ممکن هستند. . اینل و همکاران[۱۳] ریسک لرزه ای ساختمان ها در مناطق شهری شهرستان دنیزلی ترکیه را با استفاده از (GIS) بررسی نمودند. نتایج نشان داد که آسیب پذیرترین ساختمان ها نسبت به خطرات لرزه ای به ترتیب شامل ساختمان های ۶ طبقه و بیشتر، ساختمان های بناشده قبل از سال ۱۹۷۵ میلادی و ساختمان های ۳ تا ۵ طبقه می باشند. ساریس و همکاران[۱۴] به ارزیابی ریسک زلزله در مناطق لرزه خیز شهر چانیا در جزیره کرت یونان پرداختند. نتایج نشان داد که نقشه خطر پیشنهادی و مدل مورد استفاده می تواند یک ابزار مهم و سودمند جهت مقابله با بحران ناشی از رخدادهای آتی زلزله به شمار آید.سینها و همکاران[۱۵]با استفاده از ابزار تحلیل و رتبه بندی چندمعیاره فضایی(SMART) به ارزیابی ریسک زلزله در منطقه دهلی هندوستان پرداختند

و به این نتیجه رسیدند که نقشه پهنه بندی خطر زلزله می تواند نقش مهمی در برنامه ریزی و اقدامات کاهش خسارت زلزله داشته باشد. پنگ[۱۶]با استفاده از روش ترکیبی MCDM و استفاده از یازده شاخص به ارزیابی آسیب پذیری ۳۱ منطقه در کشور چین پرداخت. نتایج نشان می دهد که بکارگیری MCDM در ارزیابی آسیب پذیری به دلیل یکپارچه سازی معیارهای متناقض می تواند ارزیابی جامعی از آسیب پذیری در منطقه به دست دهد. الام و هاگو[۱۷] آسیب پذیری لرزه ای شهر میمنسینگ- واقع در بنگلادش- را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان دهنده آسیب پذیری بالای سکونتگاه های روستایی و شهری منطقه مورد مطالعه نسبت به زلزله است. هدف از این تحقیق، ارزیابی و پهنه بندی خطر زلزله در شهر کرمانشاه با استفاده از مدل تاپسیس فازی در چارچوب سیستم اطلاعات جغرافیایی(GIS) می باشد. شهر کرمانشاه یکی از بزرگ ترین و پرجمعیت ترین شهرهای کشور به شمار می آید. گسل های متعددی در داخل و پیرامون شهر کرمانشاه وجود دارد که باعث لرزه خیزی این شهر شده است. به همین دلیل، مخاطره زلزله یکی از مهم ترین و اصلی ترین تهدیدات محیطی شهر کرمانشاه به شمار می آید. بنابراین، مدل سازی و پهنه بندی لرزه ای این شهر از اقدامات اساسی در زمینه برنامه ریزی کاهش اثرات زلزله محسوب می شود.

معرفی منطقه مورد مطالعه

شهر کرمانشاه، به‌عنوان مرکز استان کرمانشاه، از نظر مختصات جغرافیایی بین ۴۷ درجه و ۱ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۱۲ دقیقه طولی شرقی و ۳۴ درجه و ۱۶ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی واقع شده است (تصویر ۱). شهر کرمانشاه به‌مثابه دومین شهر بزرگ و پرجمعیت منطقه غرب و شمال غربی کشور (پس از شهر تبریز) و بزرگ‌ترین شهر استان کرمانشاه، در میان کل شهرهای ایران در رده نهم جمعیتی جای دارد. جمعیت شهر کرمانشاه مطابق سرشماری سال ۱۳۹۵(مرکز آمار کشور) برابر با ۹۴۶۶۵۱ نفر است. مساحت این شهر ۸۷۹۶ هکتار است که با احتساب فضای پادگان ها، پالایشگاه ها و کارخانه های آن، بالغ بر ۱۰۰۰۰ هکتار است. از نظر موقعیت طبیعی، کرمانشاه بر روی سیستم زاگرس واقع شده است. این شهر از شمال به کوه فرخشاد، از شمال غربی به کوه طاق‌بستان و از جنوب به سفیدکوه منتهی می‌شود.



تصویر ۱. موقعیت جغرافیایی شهر کرمانشاه و مناطق شش گانه شهرداری

داده‌های مورداستفاده

متغیرهای زیادی بر میزان آسیب پذیری لرزه ای شهرها اثرگذارند. در پژوهش حاضر مهم ترین متغیرهای مورداستفاده عبارت‌اند از: لیتولوژی، شیب، فاصله از گسل، کاربری اراضی، تراکم جمعیت، تراکم ساختمانی، دسترسی به فضاهای باز شهری، دسترسی به شبکه های ارتباطی، بافت شهری، شعاع سرویس دهی بیمارستان ها و ایستگاه های آتش نشانی که این متغیرها بر اساس دو مبنا انتخاب شده اند: ۱- بر اساس مطالعات میدانی که از شهر کرمانشاه انجام شد، مهم‌ترین عوامل ساختاری و کاربردی که شهر را تحت‌تأثیر قرار می دهد، بررسی شده اند و ۲- با توجه به تحقیقات گذشته ای که درارتباطبا شهر کرمانشاه انجام و صورت‌گرفته بود، عوامل ضعف و ساختاری که در این شهر شناسایی شده بودند مورد بررسی قرار گرفتند و نهایتاً بر اساس آخرین مطالعاتی که درارتباطبا موضوع تحقیق انجام شده بود و متغیرهایی که در این حوزه شناسایی شده بوده اند، متغیرهای مؤثر استخراج گردیدند.

. در راستای اهداف تحقیق مهم ترین داده های پژوهش حاضر عبارت‌اند از: داده های طرح جامع شهر کرمانشاه (۱۳۹۰)، نقشه های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه های زمین شناسی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه باقدرت تفکیک ۱۲ متر از تصاویر ماهواره ALOS – PALSAR، تصاویر ماهواره ای Sentinel2باقدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر و آماده سازی و تهیه متغیرها و همچنین اجرای مدل مورداستفاده برای تلفیق لایه های موضوعی مؤثر بر آسیب پذیری لرزه ای از دو نرم‌افزار ArcGISو ENVIبهره گرفته شد.

به‌منظور به‌دست‌آوردن میزان اثرگذاری یا وزن هر یک از متغیرهای مؤثر بر آسیب پذیری لرزه ای شهر کرمانشاه از مدل تاپسیس فازی استفاده شد.

مدل تاپسیس - فازی

نظر به اینکه تاپسیس روشی معروف برای مسائل تصمیم گیری چندمعیاره کلاسیک است، خیلی از محققان از آن برای حل مسائل تصمیم گیری چندمعیاره فازی استفاده می کنند. مدل تاپسیس فقط برای مدل های اولویت بندی مناسب است که توسط هوانگ و یون در سال ۱۹۸۱ ارائه گردید. از امتیازات مهم تکنیک تاپسیس آن است که به‌صورت هم‌زمان از شاخص ها و معیارهای عینی و ذهنی می توان استفاده کرد[۱۸]. در این روش علاوه بر درنظرگرفتن فاصله یک گزینه از نقطه ایدئال، فاصله آن از ایدئال منفی هم در نظر گرفته می شود. بدین معنی که گزینه انتخابی باید دارای کمترین فاصله با ایده‌آل مثبت بوده و درعین‌حال دارای دورترین فاصله از ایده آل منفی باشد[۱۹]. روش های نقطه ایده آل گزینه ها را بر اساس میزان فاصله شان از نقطه ایده آل اولویت‌بندی می کنند. این نقطه ایده آل می تواند یک نقطه فرضی باشد و شامل نقطه‌ای است که از برآیند کلیه متغیرها به دست می آید. واقعیات زیربنایی این مدل بدین قرار است[۶]:

- مطلوبیت هر شاخص باید به طور یکنواخت افزایشی (یا کاهشی) باشد، که به این صورت بهترین ارزش موجود از یک شاخص نشان دهنده ایده آل مثبت و بدترین ارزش موجود از آن مشخص کننده ایده آل منفی برای آن خواهد بود.
- فاصله یک گزینه از ایده آل (ایده‌آل منفی) ممکن است به‌صورت فاصله اقلیدسی (از توان دوم) و یا به‌صورت مجموع قدرمطلق از فواصل خطی (فواصل بلوکی) محاسبه گردد.

بااین‌حال، بسیاری از متغیرهای مربوط به مسائل موجود در دنیای واقعی، متغیرهای کیفی و زبانی هستند؛ بنابراین، در این‌گونه مسائل بهتر است از مدل های تصمیم گیری فازی استفاده گردد. اهمیت TOPSIS Fuzzy در این مورد است که اهمیت معیارها و عملکرد گزینه ها را باتوجه‌به ویژگی های گوناگون با استفاده از اعداد فازی به‌جای اعداد صحیح نسبت می دهد. مدل TOPSIS Fuzzyبه‌طورکلی در شش مرحله اجرا می شود[۶]:

مرحله اول- تشکیل ماتریس داده ها بر اساس n گزینه (در پژوهش حاضر ۹۴۳ گزینه) و k شاخص (در پژوهش حاضر ۱۱ شاخص یا معیار): در این مرحله باتوجه‌به تعداد گزینه ها و ارزیابی همه گزینه ها برای معیارهای مختلف، ماتریس تصمیم گیری را تشکیل می دهیم. مرحله دوم- بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم‌سازی که از رابطه ۱ برای ماتریس تصمیم فازی

$$\tilde{R} = [\tilde{r}]_{m\times n} \rightarrow i = 1, 2, \dots, m \qquad j = 1, 2, \dots, n$$

بی‌مقیاس شده استفاده می شود:

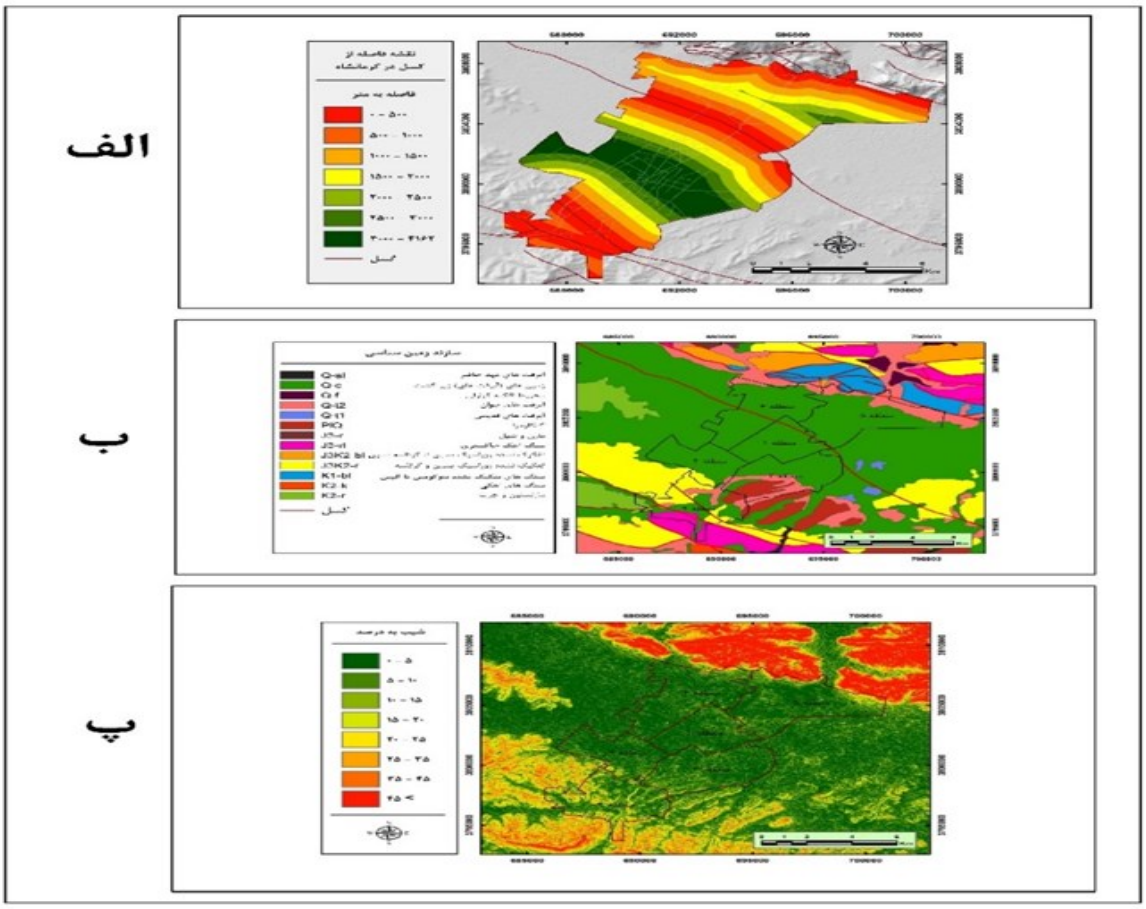
که در آن m بیانگر تعداد گزینه ها (در پژوهش حاضر ۹۴۳ گزینه) و n بیانگر تعداد معیارها (در پژوهش حاضر ۱۱ معیار) است. مرحله سوم- تشکیل ماتریس وزنی: در این مرحله ماتریس تصمیم فازی بی‌مقیاس شده را به اوزان مشخص‌شده ضرب می کنیم تا ماتریس فازی وزن دار به دست آید. مرحله چهارم- یافتن حل ایده آل فازی($FPIS,A^*$)و حل ضد ایده آل فازی($FPIS,A^-$): حل ایده آل فازی یک حل مجازی ایده آل است که معیارهای سود را ماکزیمم کرده و معیارهای زیان را مینیمم می کند یا به عبارتی دیگر، گزینه ای است که معیارهای آن در بهترین مقدار خود هستند؛ بنابراین در ماتریس تصمیم گیری فازی نرمالیزه وزین می توانیم گزینه را به‌عنوان حل ایده آل فازی در نظر بگیریم که هر یک از معیارهای آن به‌صورت (۱،۱،۱،۱) است. از طرف دیگر، حل ضد ایده آل فازی یک حل مجازی زد ایده آل است که معیارهای سود را مینیمم کرده و معیارهای زیان را ماکزیمم می کند یا به عبارتی دیگر گزینه ای است که معیارهای آن در بدترین مقدار خود هستند، بنابراین، در ماتریس تصمیم گیری فازی نرمالیزه وزین می توانیم گزینه را به‌عنوان حل ضد ایده آل فازی در نظر بگیریم که هر یک از معیارهای آن به‌صورت (۰، ۰، ۰، ۰) است[۲۰]. مرحله پنجم- محاسبه فواصل مثبت و منفی گزینه ها: در این مرحله چون اعداد فازی در این پژوهش به‌صورت مثلثی مشخص شده است، بنابراین از روابط حل ایده آل و ضد ایده آل منفی استفاده می کنیم[۲۱]. مرحله ششم - محاسبه شاخص شباهت و نهایتاً مرحله هفتم - رتبه بندی گزینه ها: در این باره باید توجه داشت که گزینه ها با شاخص شباهت بیشتر شرایط بهتری را دارند.

بحث و یافته‌ها

در پژوهش حاضر عوامل مؤثر بر ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای شهر کرمانشاه به دودسته کلی قابل‌تقسیم هستند: الف- عوامل طبیعی که شامل متغیرهای فاصله از گسل های منطقه، لیتولوژی و شیب هستند و ب- عوامل برنامه ریزی که شامل متغیرهای کاربری اراضی، تراکم مسکونی، تراکم جمعیت، دسترسی به فضاهای باز شهری، شعاع عملکردی بیمارستان ها و ایستگاه های آتش نشانی، دسترسی به شبکه معابر اصلی شهر و فاصله از تأسیسات خطرزا هستند.

ارزیابی عوامل طبیعی بر آسیب پذیری لرزه ای

ویژگی های زمین ساختی کلان شهر کرمانشاه مهم ترین مخاطره طبیعی این شهر محسوب می شود. وجود گسل های فعال و بزرگ که می تواند جزئی از سیستم گسلی بزرگ زاگرس محسوب شود و عبور این گسل ها از حاشیه شمالی، جنوبی و قسمت های میانی شهر آن را به یکی از خطرناک ترین مناطق شهری کشور تبدیل نموده است؛ بنابراین باتوجه‌به عبور سه خط گسلی بزرگ از مجاورت و داخل شهر کرمانشاه و حتی گسل هایی که خارج از محدوده مطالعاتی واقع شده اند، می توان نتیجه گرفت که کل محدوده شهر کرمانشاه در معرض تهدیدات ناشی از جنبش این گسل ها قرار گرفته است (تصویر ۲ الف). با وجود این، در شرایط تطبیقی، ساختمان های واقع در حریم این گسل ها از آسیب پذیری بالاتری برخوردار هستند. محدوده شهر کرمانشاه از نظر خصوصیات زمین شناختی و به‌تبع آن لیتولوژی دارای موقعیت ویژه ای است. همچنان که نقشه لیتولوژی شهر کرمانشاه و پیرامون آن نشان می دهد (تصویر ۲ ب). این شهر عمدتاً بر روی آبرفت ها و نهشته های رسوبی جوان مربوط به کواترنر مستقر شده است. می توان گفت در شکل گیری هسته اولیه شهر کرمانشاه حضور این رسوبات آبرفتی کواترنری نقش بارزی را ایفا نموده است. این رسوبات علاوه بر ایجاد خاک های حاصلخیز باعث تشکیل سفره های غنی آب زیرزمینی نیز شده اند. شیب منطقه مطالعاتی از روی تصویر DEMمنطقه باقدرت تفکیک ۱۲.۵ متر تهیه شد و به هشت کلاس طبقه بندی گردید. ژئومورفولوژی منطقه به شکل برجسته ای در توزیع فضایی شیب در سطح منطقه مطالعاتی نمود یافته است (تصویر ۲ ج). در واقع سطوح کم شیب و هموار منطقه مطالعاتی منطبق بر دشت ناودیسی کرمانشاه و سطوح ناهموار و پرشیب منطبق بر رشته کوه های شمالی و جنوبی پیرامون این دشت هستند. قرارگیری شهر کرمانشاه بر روی دشت ناودیسی باعث شده است که بخش اعظم شهر، به‌استثنای بخش هایی از شمال شرق و جنوب غرب شهر (مخصوصاً منطقه ۴ شهرداری) دارای شیب های کم تر از ۵ درصد باشند. میانگین شیب در محدوده قانونی شهر کرمانشاه در حدود ۵.۹ درصد است.

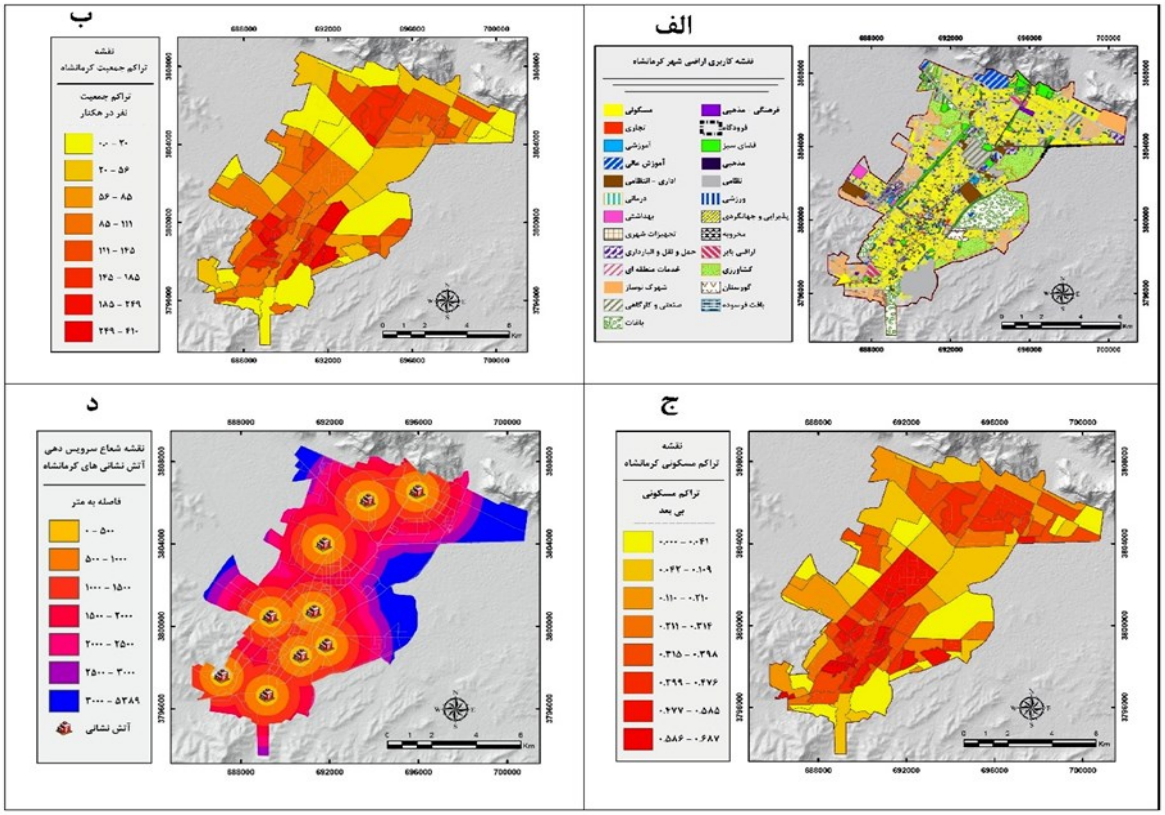


شکل ۲. عوامل طبیعی تأثیرگذار بر آسیب پذیری لرزه ای (الف: فاصله از گسل، ب: سازند زمین شناسی، پ: شیب)

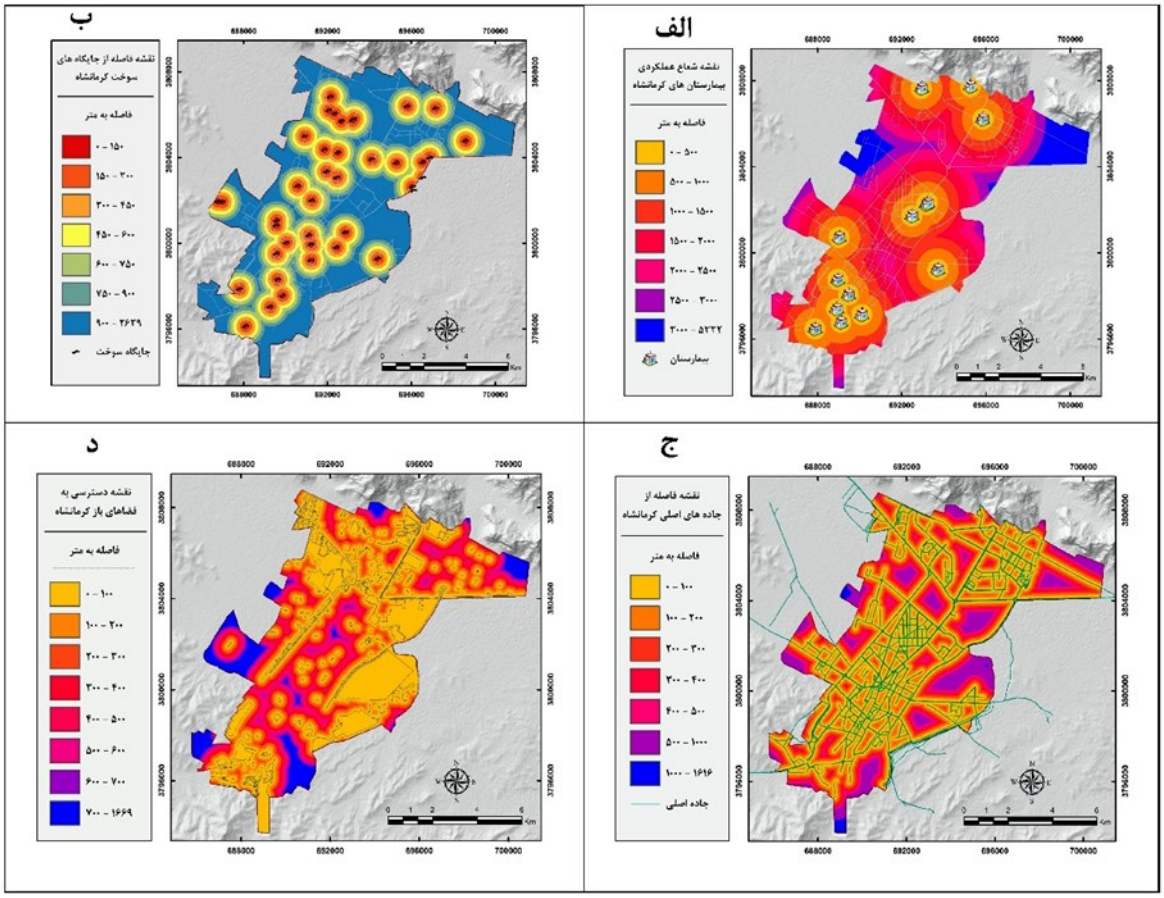
ارزیابی عوامل برنامه ریزی بر آسیب پذیری لرزه ای

یکی از مهم ترین معیارهایی که لازم است در ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای شهرها دخالت داده شود کاربری اراضی شهر است. کاربری های مسکونی در مناطق شهری غالباً درصد زیادی را به خود اختصاص می دهند. این امر دررابطه‌با شهر کرمانشاه نیز صادق است به‌گونه‌ای که کاربری مسکونی با حدود ۳۰ درصد سهم قابل‌توجهی از مساحت شهر کرمانشاه را به خود اختصاص داده است. . این نوع کاربری باتوجه‌به جمعیت ساکن آن از آسیب‌پذیرترین کاربری ها در شرایط بحرانی و اضطرار، مخصوصاً زلزله ای شدید با حجم بالای تخریب و ویرانی، محسوب می شود (تصویر ۳ الف). شهر کرمانشاه دارای شش منطقه شهرداری است (تصویر ۳ ب) که منطقه دو و منطقه سه با تراکم جمعیت به ترتیب ۱۱۰ و ۱۰۶ نفر در هکتار متراکم ترین مناطق شهری به شمار می آیند. این دو منطقه منطبق بر هسته اولیه شهر هستند. منطقه شش با تراکم جمعیت تقریباً ۸۴ نفر در هکتار در مرتبه بعدی قرار می گیرد. این منطقه شهری عمدتاً از سال های ۱۳۷۰ توسعه‌یافته است. منطقه پنج و یک با تراکم جمعیت ۶۹ نفر در هکتار و در نهایت منطقه چهار با تراکم جمعیت ۶۶ نفر در هکتار کم‌تراکم‌ترین مناطق شهری کرمانشاه محسوب می شوند. از سوی دیگر مقادیر بالاتر تراکم مسکونی نشان دهنده حجم بالای ساخت‌وساز در محله است و در نقطه مقابل، مقادیر پایین این معیار تا حدودی نشان دهنده وجود اراضی باز و خالی از قبیل اراضی کشاورزی، بایر و فضای سبز در سطح محلات شهر کرمانشاه است. برای محاسبه تراکم مسکونی در سطح محلات شهر کرمانشاه ابتدا کاربری مسکونی از لایه کاربری اراضی شهر کرمانشاه استخراج شد. سپس مساحت این کاربری در سطح هر یک از محلات شهر محاسبه شده و بر مساحت محله تقسیم گردید. مناطق ۳ و ۴ با تراکم مسکونی بیش از ۰.۶ از بالاترین میزان تراکم مسکونی برخوردار هستند (تصویر ۳ ج). بر اساس قوانین در مقابل هر ۱۰۰۰۰ نفر جمعیت شهری بایستی یک ایستگاه آتش نشانی وجود داشته باشد. در ایران به‌ازای هر ۲۰۰۰۰ نفر جمعیت

شهری معیار ۰.۵ مترمربع زمین برای احداث ایستگاه آتش نشانی در نظر گرفته می شود[۲۱]. در شهر کرمانشاه تعداد ۹ ایستگاه آتش نشانی وجود دارد (تصویر ۳ د). این ایستگاه ها عمدتاً در قسمت های جنوبی شهر (هسته مرکزی شهر) واقع شده اند. بر اساس فاصله استاندارد ۱۰۰۰ متری، تعداد ایستگاه های آتش نشانی موجود در سطح شهر کرمانشاه مطلوب نبوده و فاصله زیادی از استانداردهای موجود دارد. شهر کرمانشاه دارای ۱۴ بیمارستان است که در این میان، تعداد شش بیمارستان در منطقه چهار شهر کرمانشاه (جنوب شهر) واقع شده اند. همچنین منطقه دو دارای یک بیمارستان، منطقه سه دارای یک بیمارستان، منطقه ۱ دارای سه بیمارستان، منطقه شش دارای یک بیمارستان و منطقه پنج دارای دو بیمارستان است؛ بنابراین قسمت های میانی شهر یعنی جنوب منطقه شش، شرق و جنوب منطقه پنج و شمال منطقه یک در شعاع عملکردی مناسب بیمارستان های شهر واقع نشده اند (تصویر۴ الف). در پژوهش حاضر تأسیسات خطرزا عمدتاً شامل جایگاه های سوخت هستند که در تمامی محلات شهر توزیع شده اند (تصویر۴ ب) و به دلیل نیاز روزمره به این‌گونه مراکز امکان انتقال آنها به خارج از شهر وجود ندارد. آسیب رسانی این تأسیسات در قالب لایه فاصله از تأسیسات خطرزا در ریز پهنه‌بندی لرزه ای شهر کرمانشاه دخالت داده شد. شعاع ۱۵۰ متری از این تأسیسات به‌عنوان آسیب پذیرترین مناطق در نظر گرفته شد و با افزایش فاصله از این مراکز، میزان آسیب پذیری نیز کاهش می یابد. ارزیابی شبکه ارتباطی محلات شهری کرمانشاه نشان می دهد که با وجود محدودیت‌هایی در شبکه ارتباطی، مانند کم‌عرض بودن معابر، در حالت کلی می توان شبکه ارتباطی اصلی شهر را در شرایط بحرانی متعاقب رخداد زلزله احتمالی به سه نوع مناسب، متوسط و نامناسب تقسیم بندی نمود (تصویر۴ ج). همان گونه که نقشه فضاهای باز و دسترسی به این فضاها در محدوده کلان شهر کرمانشاه (تصویر ۴ د) نشان می دهد، فضاهای باز عمومی در حاشیه های شهر دارای وسعت قابل‌توجهی هستند. این امر مخصوصاً در حاشیه شرقی شهر قابل‌مشاهده است. این در حالی است که قسمت های مرکزی شهر یعنی غرب منطقه سه، شرق منطقه دو و شمال منطقه چهار از محدودیت شدیدی دررابطه‌با دسترسی به فضاهای باز شهری برخوردار هستند.



تصویر ۳. عوامل تأثیرگذار بر تحلیل آسیب پذیری لرزه ای



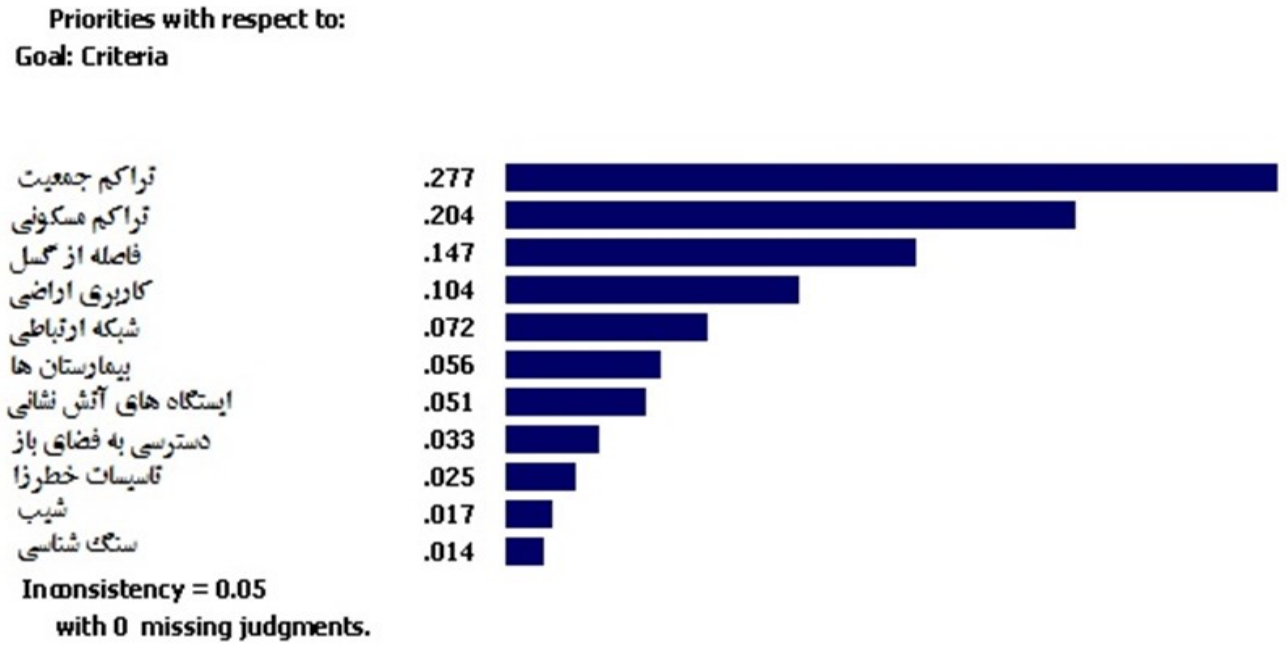
تصویر ۴. عوامل تأثیرگذار بر تحلیل آسیب پذیری لرزه ای

پس از آماده سازی لایه های موضوعی و ارزیابی فضایی آنها در سطح شهر، اقدام به واردکردن لایه ها در مدل آسیب پذیری لرزه ای شهر کرمانشاه با استفاده از مدل تاپسیس - فازی گردید. در پژوهش حاضر، به‌منظور تهیه گزینه های تحقیق لایه های موضوعی تحقیق طبقه بندی مجدد شدند که باتوجه‌به اهمیت هر کلاس عدد فازی متناظر از ۰ تا ۱۰ اختصاص داده شد (جدول ۱). در نهایت تمامی ۱۱ لایه موضوعی همپوشانی شده و از این طریق لایه جدیدی ایجاد شد که جدول توصیفی آن شامل اطلاعات تمامی لایه های موضوعی پژوهش است. براین‌اساس، ساختار ماتریس مدل تاپسیس - فازی تشکیل گردید. در پژوهش حاضر lنشان دهنده پایین ترین مقدار طیف فازی، mنشان دهنده مقدار میانی طیف فازی و uنشان دهنده بالاترین مقدار طیف فازی گزینه است. به‌عبارت‌دیگر در مجموعه فازی طیف اعداد مطرح است و هر گزینه تنها یک مقدار قطعی را به خود اختصاص نمی‌دهد؛ بلکه اهمیت آنها در قالب چند عدد به‌صورت کمّی بیان می شود. به‌عنوان نمونه در مورد گزینه های کم اهمیت به‌جای اینکه مقدار ۱ اختصاص داده شود طیف اعداد (۱، ۰، ۰) به کار گرفته می شود یا در مورد گزینه های بسیار بااهمیت به‌جای مقدار ۱۰ طیف اعداد (۱۰، ۹، ۹) به کار گرفته می شود. حتی دامنه این اعداد می تواند با توجه به نظر محقق تغییر یابد. با توجه به حجم زیاد داده ها، محاسبات تنها برای ۲۰ منطقه همگن آورده شده است.

متغیر زبانی	عدد فازی متناظر
بسیار کم (Very poor)	(۱، ۰، ۰)
کم (Poor)	(۳، ۱، ۰)
تا حدودی کم (Medium poor)	(۵، ۳، ۱)
متوسط (Fair)	(۷، ۵، ۳)
تا حدودی زیاد (Medium good)	(۹، ۷، ۵)
زیاد (Good)	(۱۰، ۹، ۷)
بسیار زیاد (Very good)	(۱۰، ۱۰، ۹)

جدول ۱. متغیرهای زبانی برای رتبه بندی گزینه ها[۲۱]

در مرحله بعد وزن معیارهای تحقیق با استفاده از مقایسات زوجی مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) انجام پذیرفت سپس وزن هر یک از معیارها مشخص گردید (تصویر۵). سازگاری ۰.۰۵ نشان می دهد که مقایسات زوجی به‌درستی و بادقت بالایی صورت‌گرفته است. با توجه به وزن معیارهای پژوهش می توان نتیجه گرفت که معیارهای تراکم جمعیت، تراکم مسکونی، فاصله از گسل و کاربری اراضی از بیشترین میزان تأثیر در خصوص آسیب پذیری لرزه ای شهر کرمانشاه برخوردار هستند. برعکس، دو متغیر شیب و لیتولوژی از کم ترین میزان اهمیت برخوردار هستند. اهمیت پایین این دو معیار باتوجه‌به همگن بودن نسبی این دو معیار در سطح شهر کرمانشاه است. در واقع بخش اعظم محدوده شهر کرمانشاه دارای شیب های کم و لیتولوژی یکنواخت (آبرفت های جوان کواترنری) است و در نتیجه در حالت مقایسه ای اثر این دو متغیر در کل محدوده شهر تقریباً یکسان است.



تصویر ۵. وزَن معیارهای تحقیق

پس از محاسبه وزن یا میزان تأثیر هر یک از معیارهای تحقیق به‌منظور وزن دار کردن ماتریس نرمال، هر یک از درایه های ماتریس نرمال بر وزن معیارها ضرب شد. ماتریس نرمال وزین پژوهش در جدول (۲) ارائه شده است. در مرحله راه حل ایده آل مثبت (S^*) و منفی(S^-) تعیین گردید که مقادیر ایده آل مثبت و منفی معیارهای پژوهش در جدول (۳) ارائه شده است. معیارهای مثبت، معیارهایی هستند که افزایش آن ها باعث آسیب پذیری لرزه ای شهر می شود. مثلاً تراکم جمعیت که این معیار از نوع مثبت است و حل ایده آل آن برابر با بزرگ‌ترین درایه ستون معیار و ضد ایده آل برابر با کوچک‌ترین درایه سلول است. برای معیارهای منفی (مانند فاصله از گسل و فاصله از تأسیسات خطرزا) بالعکس.

شیب			لیتولوژی			جاده‌ها			خطرزا			بیمارستان			فضای باز			آتش‌نشانی			کاربری اراضی			فاصله از گسل			تراکم مسکونی			تراکم جمعیت			FID
u	m	l	u	m	l	u	m	l	u	m	l	u	m	l	U	M	l	u	m	L	u	m	l	u	m	l	u	m	l	u	m	l	
۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۱۴	۰
۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۱۴	۱
۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۱۴	۲
۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۱۴	۳
۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۱۴	۴
۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۱۴	۵
۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۱۴	۶
۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۱۴	۷
۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۱۴	۸
۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۱۴	۹
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۱۴	۹۳۳
۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۱۴	۹۳۴
۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۱۴	۹۳۵
۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۱۴	۹۳۶
۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۱۴	۹۳۷
۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۱۴	۹۳۸
۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۱۴	۹۳۹
۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۱۴	۹۴۰
۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۱۴	۹۴۱
۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۱۴	۹۴۲

جدول ۲. ماتریس نرمال وزین

	تراکم جمعیت	تراکم مسکونی	فاصله از گسل	کاربری اراضی	آتش نشانی	فضای باز	بیمارستان	خطرزا	جاده ها	لیتولوژی	شیب
S*	۰.۲۷۷	۰.۲۰۴	۰.۱۴۷	۰.۱۰۴	۰.۰۵۱	۰.۰۳۳	۰.۰۵۶	۰.۰۲۵	۰.۰۷۲	۰.۰۱۴	۰.۰۱۷
S⁻	۰.۱۳۸۵	۰.۱۰۲	۰.۱۰۲۹	۰	۰	۰	۰	۰.۰۰۱۳	۰	۰۰۹۸/۰	۰

جدول ۳. ایده‌آل‌های مثبت و منفی برای هرکدام از معیارهای پژوهش

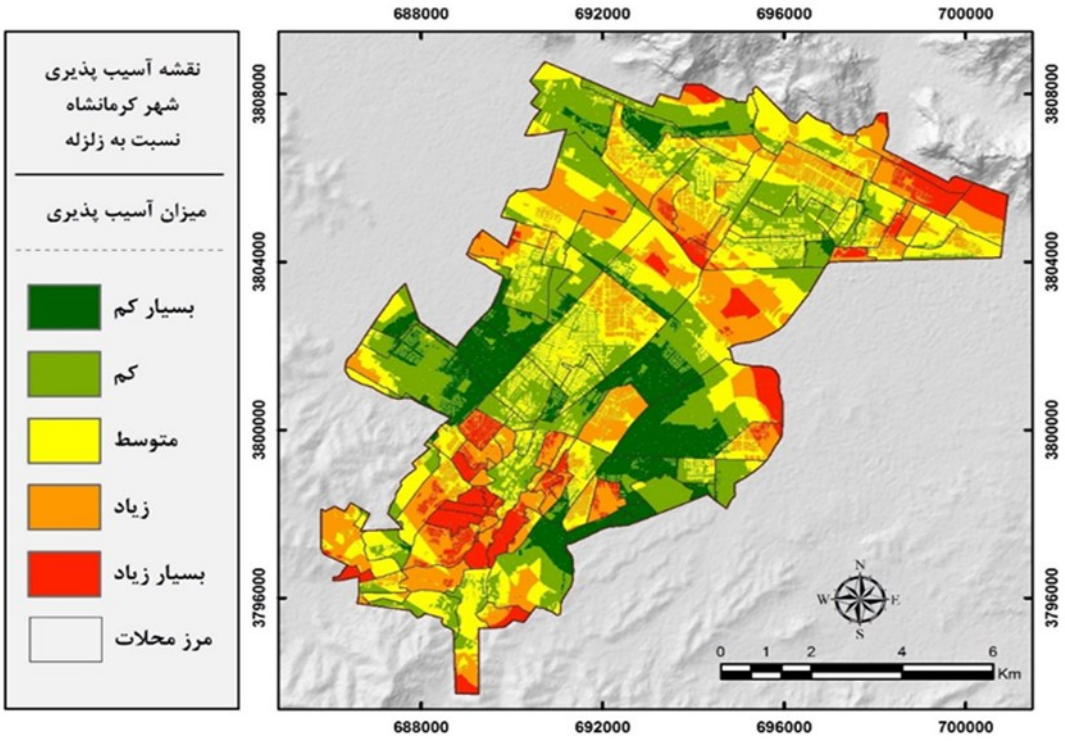
محاسبه فاصله از ایده‌آل‌های مثبت (+d) و فاصله از ایده‌آل‌های منفی (-d) در جدول (۴) ارائه شده است. در نهایت شاخص شباهت هر یک از گزینه ها باتوجه‌به فاصله از ایده‌آل‌های مثبت و منفی محاسبه می شود که در واقع نشان‌دهنده اولویت گزینه دررابطه‌با آسیب پذیری لرزه ای شهر است. مقادیر بالاتر این شاخص حاکی از آسیب پذیری بالاتر و برعکس مقادیر پایین این شاخص نشان دهنده آسیب پذیری کمتر آن پهنه از شهر نسبت به خطر زلزله است.

در نهایت، پهنه شهر کرمانشاه باتوجه‌به مقادیر این رتبه ها به پنج کلاس آسیب پذیری، طبقه بندی مجدد گردید (تصویر ۶). نتیجه نهایی مدل آسیب پذیری لرزه ای شهر کرمانشاه که از نظر توزیع کلاس های آسیب پذیری، در حدود ۲۴ درصد از مساحت شهر کرمانشاه در کلاس آسیب پذیری زیاد و در حدود ۸ درصد از آن در کلاس آسیب پذیری خیلی زیاد قرار گرفته است. همچنین در حدود ۴۰ درصد از مساحت شهر در کلاس آسیب پذیری کم و بسیار کم واقع شده است (تصویر ۷). اکثر پهنه های با آسیب پذیری کم و خیلی کم منطبق بر اراضی بایر، اراضی کشاورزی و باغات، فضاهای سبز و در کل فضاهای باز شهر هستند. . از سویی عبور سه خط گسلی بزرگ از حاشیه شمالی (گسل بیستون - طاق‌بستان)، جنوبی (گسل های شیرازی، کوه سفید و پوق طاق) و قسمت های میانی نیمه شمالی شهر (گسل قره سو) و تراکم ساختمانی و جمعیتی مجاور آنها باعث شده است که آسیب پذیری این مناطق نسبت به مخاطره زلزله افزایش چشمگیری داشته باشد. همچنین محلات واقع در قسمت های مرکزی شهر از آسیب پذیرترین محلات شهری کرمانشاه به شمار می آیند. مجاورت با گسل های حاشیه جنوبی شهر، تراکم بالای جمعیت، تراکم بالای مسکونی، وجود بافت فرسوده شهری،

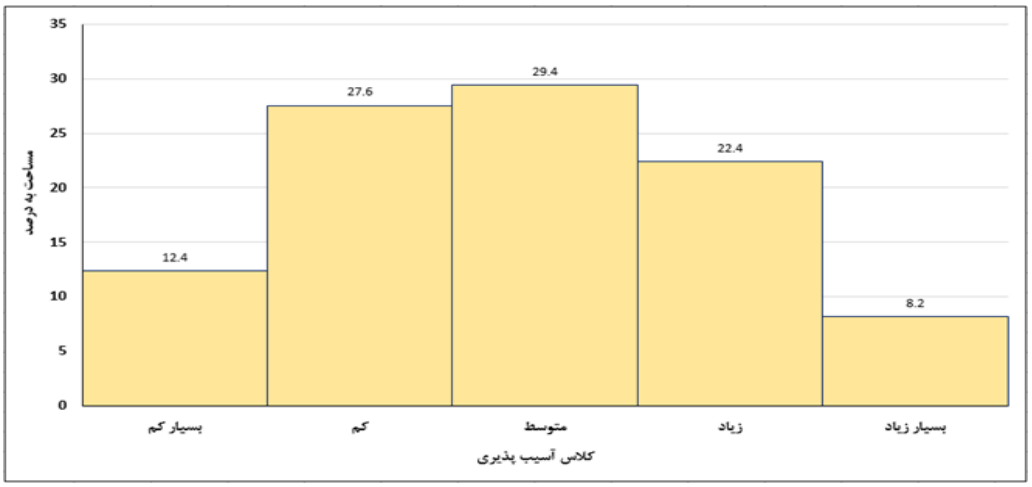
FID	d+	d-	CCI
۰	۰.۴۱۰۹۴	۰.۳۰۶۲۷	۰.۴۲۷۰۳
۱	۰.۴۰۸۲۷	۰.۳۰۸۹۷	۰.۴۳۰۷۷
۲	۰.۴۲۰۶۲	۰.۲۹۳۱۶	۰.۴۱۰۷۱
۳	۰.۴۵۶۲۴	۰.۲۵۵۳۸	۰.۳۵۸۸۸
۴	۰.۴۵۴۶۷	۰.۲۵۷۵۱	.۳۶۱۵۸۰
۵	۰.۴۵۲۰۰	۰.۲۶۰۲۱	.۳۶۵۳۵۰
۶	۰.۴۵۹۶۹	۰.۲۵۱۶۰	۰.۳۵۳۷۲
۷	۰.۴۵۸۱۲	۰.۲۵۳۷۲	۰.۳۵۶۴۳
۸	۰.۴۵۵۴۶	۰.۲۵۶۴۲	۰.۳۶۰۲۱
۹	۰.۴۶۹۵۲	۰.۲۴۲۱۹	.۳۴۰۳۰۰
....	....	....	...
۹۳۳	۰.۴۱۳۳۰	۰.۳۰۵۵۰	.۴۲۵۰۱۰
۹۳۴	۰.۴۰۳۵۷	۰.۳۱۴۸۲	۰.۴۳۸۲۳
۹۳۵	۰.۴۰۲۰۱	۰.۳۱۶۹۴	۰.۴۴۰۸۴
۹۳۶	۰.۴۱۷۹۸	۰.۳۰۱۰۸	۰.۴۱۸۷۱
۹۳۷	۰.۴۱۶۴۲	۰.۳۰۳۲۰	۰.۴۲۱۳۴
۹۳۸	۰.۳۵۴۷۴	۰.۳۶۴۸۸	۰.۵۰۷۰۵
۹۳۹	۰.۴۰۵۱۳	۰.۳۱۴۶۵	۰.۴۳۷۱۵
۹۴۰	۰.۴۲۴۶۲	۰.۲۹۲۰۹	۰.۴۰۷۵۴
۹۴۱	۰.۴۲۳۰۶	۰.۲۹۴۲۲	۰.۴۱۰۱۹
۹۴۲	۰.۳۷۶۳۵	۰.۳۳۲۶۸	۰.۴۶۹۲۰

جدول ۴. فاصله از ایده‌آل‌های مثبت و منفی و شاخص شباهت

فقدان یا کمبود شدید فضاهای باز شهری از جمله مهم ترین این دلایل محسوب می شوند. به این عوامل می توان مواردی از قبیل ریزدانه بودن بافت شهری در این قسمت از شهر، عمر زیاد ساختمان ها، کیفیت پایین مصالح ساختمانی، ترافیک سنگین و ... را نیز اضافه نمود که باعث افزایش بسیار زیاد آسیب پذیری می شوند.



تصویر ۶. آسیبر پذیری لرزه ای شهر کرمانشاه با استفاده از مدل تاپسیس - فازی



تصویر ۷. درصد مساحت کلاس های آسیب پذیری لرزه ای شهر کرمانشاه

نتیجه گیری

در پژوهش حاضر از ۱۱ متغیر مهم و تأثیرگذار در آسیب پذیری لرزه ای شهر کرمانشاه بهره گرفته شد. این متغیرها عبارت‌اند از: فاصله از گسل ها، شیب، لیتولوژی، تراکم جمعیت، کاربری اراضی، تراکم مسکونی، شبکه های ارتباطی اصلی شهر، دسترسی به بیمارستان ها، شعاع عملکردی ایستگاه های آتش نشانی، فاصله از تأسیسات خطرزا و دسترسی به فضاهای باز

و دسترسی به فضاهای باز شهری. نتایج پژوهش نشان می دهد که بخش اعظمی از فضاهای ساخته شده شهر کرمانشاه از آسیب پذیری بالایی در برابر زلزله برخوردار است. بااین‌حال بخش هایی از شمال، جنوب و مخصوصاً قسمت های مرکزی شهر از آسیب پذیری بسیار بالاتری برخوردار هستند. این امر به دلیل تراکم های بالای جمعیتی و مسکونی و همچنین مجاورت با گسل های عبوری از منطقه به‌عنوان مهم ترین متغیرهای مؤثر بر آسیب پذیری لرزه ای شهر است. دراین‌رابطه، بخش های مرکزی شهر واقع در نیمه جنوبی شهر کرمانشاه از شرایط حاد و بغرنجی برخوردار هستند. مجموعه ای از فاکتورهای آسیب رسان در این مناطق شهری ترکیب شده و آسیب پذیری در برابر زلزله را به‌شدت افزایش می دهند. تراکم بسیار بالای ساختمانی و جمعیتی، مجاورت با گسل های جنوبی شهر، بافت فرسوده، قدمت زیاد ساختمان ها، وضعیت نامناسب شبکه های ارتباطی، کم‌عرض بودن معابر، وجود محلات حاشیه‌نشین، از قبیل محله جعفرآباد، در این منطقه از شهر از جمله مهم ترین فاکتورهایی هستند که باعث آسیب پذیری بسیار بالای این قسمت از شهر نسبت به سایر مناطق شهری کرمانشاه شده اند. باتوجه‌به عبور سه گسل بزرگ از مجاورت و داخل محدوده شهر کرمانشاه می توان گفت که هیچ پهنه ای از این شهر مصون و ایمن از مخاطره زلزله نیست؛ بنابراین ضروری است که در روند توسعه فضایی - کالبدی شهر به حریم گسل ها (حداقل ۵۰۰ متر) و مقاوم سازی ساختمان ها و سازه های شهری در برابر زلزله توجه کافی مبذول گردد.

منابع

۱. فروغی، محمد؛ حیدری نژاد، نسیم (۱۳۸۹). تحلیل وضعیت سکونتگاه ها و راه‌های ارتباطی دررابطه‌با گسل های فعال در استان چهارمحال‌وبختیاری (وضعیت لرزه ای سکونتگاه‌ها و راه های استان چهارمحال‌وبختیاری). امداد و نجات، سال ۲، شماره ۴، ۲۱-۳۱.

۲. ملکی، امجد (۱۳۸۶). پهنه‌بندی خطر زمین لرزه و اولویت بندی بهسازی مساکن در استان کردستان. پژوهش های جغرافیایی، شماره ۵۹، ۱۱۳-۱۲۹.

۳. فرج زاده اصل، منوچهر؛ احدنژاد، محسن؛ امینی، جمال (۱۳۹۰). ارزیابی آسیب‌پذیری مساکن شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی منطقه ۹ شهرداری تهران). مطالعات و پژوهش های شهری منطقه ای، دوره ۳، شماره ۹، ۱۹-Crisis..۳۶

۴. ابلقی، علیرضا (۱۳۸۴). یادداشت سردبیر. مجله هفت شهر. سازمان عمران و بهسازی شهری، شماره ۱۸.

۵. فرجی، امین؛ قرخلو، مهدی (۱۳۸۹). زلزله و مدیریت بحران شهری (مطالعه موردی: شهر بابل). جغرافیا، دوره ۸، شماره ۲۵، ۱۴۳- ۱۶۴.

۶. خانلری، غلامرضا (۱۳۹۲). زمین شناسی مهندسی. مرکز نشر دانشگاه بوعلی سینا.

۷. اسفندیاری، فریبا؛ غفاری گیلانده، عطا؛ لطفی، خداداد (۱۳۹۲). مدل‌سازی ضریب آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش تاپسیس در محیط GIS (مطالعهٔ موردی: شهر اردبیل). مجله پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۲، شماره ۲، ۴۳-۷۹.

۸. موسوی، سیده معصومه؛ عابدینی، موسی؛ اسمعلی عوری، اباذر (۱۳۹۴). ارزیابی خطر زمین‌لرزه در حوزهٔ شهری ایذه با استفاده از مدل‌های چندمعیاره WLC و AHP در محیط GIS. دوفصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران، دوره ۴، شماره ۱، ۹۳-۱۰۱.

۹. نیری، هادی؛ خالق پناه، کمال؛ کرمی، محمدرضا؛ احمدی، خه بات (۱۳۹۵). پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری شهر سنندج ناشی از زلزله با استفاده از دو مدل تحلیل سلسله‌مراتبی و مدل تاپسیس. نشریه جغرافیا و برنامه ریزی دانشگاه تبریز، دوره ۲۰، شماره ۵۷، ۲۷۷-۲۹۴.

۱۰. مرحمت، مهری (۱۳۹۶). پژوهشی بر تنگناهای ژئومورفولوژی شهر شیراز با تأکید بر زلزله. پایان نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر عقیل مددی. دانشکده ادبیات و علوم‌انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی.

۱۱. کرمی، محمدرضا؛ امیریان، سهراب (۱۳۹۷). پهنه بندی آسیب‌پذیری شهری ناشی از زلزله با استفاده از مدل Fuzzy-AHP(مطالعه موردی شهر تبریز). برنامه ریزی توسعه کالبدی، دوره ۵، پیاپی ۱۰، ۱۱۰-۱۲۴.

12. Inel, M., Senel, S.M., Toprak, S., Manav, Y., (2008). Seismic risk assessment of buildings in urban areas: a case study for Denizli, Turkey. Natural Hazards, Volume

13.Sarris, A., Loupasakis, C., Soupios, P., Trigkas, V., Vallianatos, F., (2010). Earthquake vulnerability and seismic risk assessment of urban areas in high seismic regions: application to Chania City, Crete Island, Greece, Natural Hazards, Volume 54, Issue 2, 395-412.
14.Sinha, N., Priyanka, N., Joshi, P.K., (2014). Using Spatial Multi-Criteria Analysis and Ranking Tool (SMART) in earthquake risk assessment: a case study of Delhi region, India. Geomatics, Natural Hazards and Risk, Volume 7, Issue 2, 680-701.
15.Peng, Y., (2015). Regional earthquake vulnerability assessment using a combination of MCDM methods. Annals of Operations Research, Volume 234, Issue 1, 95–110.
16.Alam, Md., Haque, S.M., (2018). Assessment of Urban Physical Seismic Vulnerability Using the Combination of AHP and TOPSIS Models: A Case Study of Residential Neighborhoods of Mymensingh City, Bangladesh. Journal of Geoscience and Environment Protection, 6, 165-183.

۱۷. پورطاهری، مهدی؛ سجاسی قیداری، حمدالله؛ صادقلو، طاهره (۱۳۸۹). سنجش و اولویت بندی پایداری اجتماعی در مناطق روستایی، با استفاده از تکنیک رتبه بندی بر اساس تشابه به حل ایده آل فازی (مطالعه موردی: دهستان حومه بخش مرکزی خدابنده). فصلنامه پژوهش های روستایی، دوره ۱، شماره ۱، ۱-۳۱.

۱۸. ابراهیم زاده، عیسی؛ کاشفی، دیمن؛ حسینی، احمد (۱۳۹۴). ارزیابی آسیب‌پذیری محله های شهری در برابر زلزله (نمونه موردی: شهر پیرانشهر). فصلنامه علمی - پژوهشی برنامه ریزی فضایی، سال پنجم، شماره اول (پیاپی ۱۶)، ۱-۲۶.

۱۹. ساعتی، صابر؛ حاتمی ماربینی، عادل؛ ماکوئی، احمد (۱۳۸۶). تصمیم‌گیری گروهی به کمک TOPSISفازی. مجله ریاضیات کاربردی واحد لاهیجان، سال ۴، شماره ۱۳، ۲۱-۳۴.

۲۰. تقوایی، مسعود؛ احمدیان، مهدی؛ علیزاده، جابر (۱۳۹۰). تحلیل فضایی و سنجش توسعه‌یافتگی دهستان های شهرستان میاندوآب با استفاده از مدل تاپسیس فازی. برنامه ریزی فضایی، سال ۱، شماره ۳، ۱۳۱-۱۵۴.

۲۱. امیراحمدی، ابوالقاسم؛ آب باریکی، زکیه (۱۳۹۳). ریز پهنه‌بندی خطر زلزله شهر سبزوار با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS. فصلنامه جغرافیا و توسعه، دوره ۱۲، شماره ۳۵، ۱۳۳-۱۵۲.

۲۲. رحیمی شهید، مجتبی؛ رحیمی، نیما (۱۳۹۶). پهنه بندی خطر زمین لرزه با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) (مطالعه موردی: بخش مرکزی شهرستان سمیرم). یافته های نوین زمین شناسی کاربردی، دوره ۱۱، شماره ۲۲، ۱۰۹- ۱۱۸.