

ORIGINAL ARTICLE

Assessment and Analysis of Seismic Vulnerability in Ilam City Using the Fuzzy DEMATEL Model and GIS

Hojat Sheikhi¹ , Mina Abdoli²

1. Associate Professor, Department of Architecture and Urban Planning, Ilam University, Ilam, Iran.

2. M.S. Student in Geography and Urban Planning, Ilam University, Ilam, Iran.

Correspondence

Hojat Sheikhi

Email: h.shaykhi@ilam.ac.ir

Received: 23/Jan/2025

Accepted: 01/Jun/2025

How to cite

Sheikhi, H.; Abdoli, M. (2025). Assessment and Analysis of Seismic Vulnerability in Ilam City Using the Fuzzy DEMATEL Model and GIS, Physical Social Planning, 10 (1), 37, 105-118.
(DOI: [10.30473/psp.2025.73523.2759](https://doi.org/10.30473/psp.2025.73523.2759))

ABSTRACT

In recent years, urban planning and design knowledge has increasingly sought methods to reduce earthquake-induced damages in cities, the primary habitats of human life. Accordingly, this study aims to assess the seismic vulnerability of Ilam city. The research is applied in purpose and descriptive-analytical in nature. Primary data were collected from existing documents and maps obtained from relevant organizations. For data analysis, the Fuzzy DEMATEL model and Geographic Information System (GIS) were employed. To determine the seismic vulnerability of Ilam city, a set of indicators was considered, including population density, land use, building density, street network, distance from green spaces, distance from faults, building age, number of floors, building quality, construction materials, geology, and slope. The results revealed that 19.04% of the total area of Ilam city falls within high and very high vulnerability zones. These areas are mostly concentrated in the central parts of the city, where the urban fabric and construction materials used make them less resistant to seismic hazards.

Keywords: Vulnerability, Ilam, Fuzzy DEMATEL, GIS.

«مقاله پژوهشی»

ارزیابی و تحلیل آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر ایلام با استفاده از مدل دیمتل فازی و GIS

حجت شیخی^۱، مینا عبدلی^۲

چکیده

در سال‌های اخیر، دانش برنامه‌ریزی و طراحی شهری، متناسب با گستره خود، به دنبال شناسایی روش‌هایی برای کاهش خسارات ناشی از زلزله در شهرها به عنوان زیستگاه اصلی انسان بوده است. لذا این مطالعه با هدف ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر ایلام انجام شده است. این پژوهش از نظر هدف کاربردی بر اساس رویکرد توصیفی-تحلیلی انجام شده است. داده‌های اولیه اسناد و نقشه‌های موجود از سازمان‌های مرتبط جمع‌آوری شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از مدل دیمتل-فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شده است. برای تعیین آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر ایلام، شاخص‌هایی مانند تراکم جمعیت، کاربری اراضی، تراکم ساختمان، شبکه معابر، فاصله از فضاها، سبزه‌ها، فاصله از گسل، قدمت ابنیه، تعداد طبقات، کیفیت ابنیه، مصالح ساختمان، زمین شناسی و شیب به کار گرفته شدند. بر اساس نتایج، ۱۹/۰۴ درصد کل شهر ایلام در مناطق با آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیاد قرار داشت که بیشتر در مناطق مرکزی شهر واقع شده و به دلیل نوع بافت و مصالح به کار رفته در ساخت آن از ایمنی کمتری برخوردار هستند.

واژه‌های کلیدی

آسیب‌پذیری، ایلام، دیمتل-فازی، GIS.

۱. دانشیار گروه معماری و شهرسازی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

۲. دانشجوی کارشناسی‌ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

نویسنده مسئول: حجت شیخی
ایانامه: h.shaykhi@ilam.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۱

استناد به این مقاله:

شیخی، حجت؛ عبدلی، مینا (۱۴۰۴). ارزیابی و تحلیل آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر ایلام با استفاده از مدل دیمتل فازی و GIS، فصلنامه علمی برنامه‌ریزی توسعه کالبدی، ۱۰ (۱)، ۳۷-۱۰۵.

(DOI: [10.30473/psp.2025.73523.2759](https://doi.org/10.30473/psp.2025.73523.2759))

مقدمه

مخاطرات طبیعی منجر به خسارات انسانی و اقتصادی قابل توجهی در سراسر جهان شده است (Noy and Vu, 2010: Jenkins, 2013: Estrada et al., 2015: Galbusera et al., 2018: Schilling et al., 2020: Yariyan et al., 2020). در بین مخاطرات طبیعی، زلزله از اهمیت خاصی برخوردار است. ایران به دلیل قرار گرفتن بر روی کمربند زلزله زمین به شدت در معرض آسیب‌های ناشی از زلزله قرار دارد، که بر اساس نقشه خطر لرزه‌ای ایران، تقریباً کل کشور در منطقه خطر نسبتاً متوسط تا زیاد قرار دارد (فاضل و همکاران، ۱۳۹۸). در این زمینه، مفهوم آسیب‌پذیری به عنوان یک تفاوت ذاتی در حساسیت به خطر ظاهر می‌شود که تلفات بالقوه انسانی، آسیب به زیرساخت‌ها و اثرات نامطلوب اقتصادی قابل پیش‌بینی است (Beroya-Eitner, 2016). تفاوت در آسیب‌پذیری باعث توزیع نابرابر در اثرات و پیامدهای مخاطرات طبیعی می‌شود (Shen et al., 2018). در نتیجه، آسیب‌پذیری برای مطالعات جهانی در خصوص تغییرات محیطی و علم پایداری توسط چندین گروه تحقیقاتی مورد توجه اساسی قرار گرفته است (Hakala et al., 2019: Gupta et al., 2019: Hoffmann and Beierkuhnlein, 2020). با این حال، علی‌رغم برخی پیشرفت‌های علمی، کاربرد علم آسیب‌پذیری همچنان یک چالش است (Varis et al., 2012: Singh et al., 2015). به‌ویژه به این دلیل که آسیب‌پذیری بشر در برابر مخاطرات طبیعی مانند زلزله تحت تأثیر رفتار انسان است. کاهش آسیب‌پذیری در فضاهای شهری می‌تواند هزینه‌های فیزیکی و اقتصادی مخاطرات طبیعی را از بین ببرد، زیرا پتانسیل سیستم‌های فیزیکی و اجتماعی-اقتصادی برای مقاومت را افزایش می‌دهد (Singh et al., 2018, Duy et al., 2019, Cariolet et al., 2019). آسیب‌پذیری بالای محیط شهری در برابر زلزله معمولاً توسط عوامل مختلفی تشدید می‌شود، از جمله شهرنشینی، رشد جمعیت، سکونت کنترل نشده در مناطق به شدت لرزه‌خیز و قرار گرفتن در معرض خطر بالا. سایر عوامل مضر عبارتند از استانداردهای ضعیف ساختمان و زیرساخت‌های اجتماعی نامناسب، که منجر به مدیریت ناکافی مخاطرات می‌شود (Shah et al., 2018: Fakhruddin c et al., 2019). مطالعات تا به امروز به طور معمول بر

ارزیابی آسیب‌پذیری بر اساس ارزیابی ریسک، تحت تأثیر شرایط محیطی، اجتماعی، اقتصادی و فیزیکی، متمرکز بوده است (Pagano et al., 2017, Mishra et al., 2017, Wu et al., 2019). هدف از این گونه مطالعات پیش‌بینی بزرگی زمین لرزه‌ها (Majhi et al., 2019: Pandit et al., 2020). یا جنبه‌های مهندسی سازه و زمین‌شناسی (Tziavou et al., 2018: Naik et al., 2019) است. همچنین یکی از مشکلات عمده پس از هر حادثه، نبود اطلاعات و عدم اطمینان از صحت آن‌هاست. سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌تواند با حفظ سه شاخص سرعت، دقت و انعطاف‌پذیری، بیشترین حجم اطلاعات را به صورت یکپارچه در اختیار مدیران و تصمیم‌گیرندگان قرار دهد. بنابراین از آنجا که اتخاذ تصمیم صحیح و به موقع می‌تواند تأثیری بسزایی در انتخاب گزینه‌های مناسب با استفاده از معیارهای مختلف داشته باشد، ضرورت وجود یک مدل قوی کاملاً محسوس است. براساس این رویکرد، تحویل تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی می‌تواند فرایند ترکیب و تبدیل داده‌های مکانی (نقشه‌های معیار) و ارزش‌های مربوط به داوری افراد (اولویت تصمیم‌گیران) به منظور به دست آوردن اطلاعات ارزشمند برای تصمیم‌گیری محسوب شود (Shahpari Sani et al., 2022: Boloorani et al., 2021: Qureshi et al., 2021). از طرفی، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) ابزاری عالی برای ذخیره‌سازی، دستکاری، تجزیه و تحلیل، و مدیریت داده‌های مکانی است. از این رو، ادغام GIS و MCDA به تصمیم‌گیری کمک می‌کند و توابع آنالیز تصمیم، نظیر رتبه‌بندی گزینه‌ها، را برای انتخاب پهنه مناسب انجام می‌دهد (Shahpari Sani et al., 2022). مشکل اساسی شهرها در ایران که همیشه برنامه‌ریزان و مسئولان شهری را به چاره‌اندیشی واداشته است، افت فیزیکی، بافت‌های آسیب‌پذیر شهری یا بافت‌های بی‌کیفیت در فضای شهری است که احتمال تلفات انسانی در پی زلزله را افزایش می‌دهد (ابدالی و رجایی، ۱۳۹۸). شهر ایلام در منطقه بزرگ زلزله‌خیزی غرب قرار دارد. در عین حال طبق مدارک و آمارهای موجود چند دهه اخیر تاکنون از کانون‌های بزرگ «زلزله‌خیزی» دور بوده است. چنانچه انواع زلزله‌های نواحی مجاور استان‌های دیگر (کرمانشاه) یا پس لرزه‌های ناشی از آن‌ها به این منطقه خسارت‌های مالی و جانی مهمی وارد نکرده است. همچنین فرسوده بودن بخش زیادی از

بافت شهر، ریز دانه بودن بافت شهری، عدم دسترسی مناسب به برخی مناطق این شهر و تمرکز جمعیت زیاد، ضرورت بررسی این موضوع را بیشتر می‌کند. بنابراین، این مطالعه با هدف برآورد آسیب‌پذیری لرزه‌ای سکونتگاه‌های شهر ایلام در برابر زلزله با استفاده از تلفیق مدل‌های تصمیم‌گیری فازی روش دیمتل (DEMATEL Fuzzy) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) انجام شده است.

محققان مختلف در داخل و خارج از کشور به بررسی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله با استفاده از ترکیب سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره پرداخته‌اند که در ادامه به مهم‌ترین این تحقیقات اشاره می‌شود:

یلینا^۱ و همکاران (۲۰۲۱)، در پژوهشی با هدف بررسی واکنش لرزه‌ای ساختمان‌های بنایی در مراکز تاریخی زلزله‌زده ایتالای مرکزی به این نتیجه رسیدند که ساختمان‌هایی که بازسازی آن‌ها سهم نامطلوبی داشته است با ساختمان‌های اصلی و تقویت نشده قابل مقایسه‌اند. برعکس، مشارکت و بهسازی مطلوب به آن‌ها اجازه داد تا به رفتار سازه‌های بنایی مدرن نزدیک شوند. یوکیو تماری^۲ و همکاران (۲۰۱۹)، در پژوهشی با هدف توسعه مدل زمینی سه بعدی برای تجزیه و تحلیل واکنش زمین‌لرزه با استفاده از یک سیستم مدل‌سازی ساده زمین به این نتیجه رسیدند که مدل سه بعدی با وجود تعداد محدودی از تحلیل‌ها، مربوط به گمانه، می‌تواند با استفاده از این سیستم به طور مؤثر توسعه یابد. الحوصلی^۳ و همکاران (۲۰۱۸)، در پژوهشی که با هدف تجمیع تمامی ابعاد پدافند غیرعامل و بررسی میزان اثرگذاری و اهمیت آن‌ها در خلق محله‌های مسکونی ایمن و کاهش شمار تلفات انسانی و ساختاری در هنگام بروز سانحه، نشان دادها که نحوه طراحی فضاهای شهری و همچنین ساختمان‌ها تأثیر مثبتی بر کاهش آسیب‌پذیری ناشی از بحران دارد. نتایج این پژوهشگران همچنین نشان می‌دهد که علاوه بر جنبه‌های کالبدی، جنبه‌های روانی طراحی فضاها نیز قابل توجه است، زیرا در نظر گرفتن جنبه‌های روانی در کنار جنبه‌های امنیتی در طراحی فضای داخلی و همچنین پرهیز از به کار بردن اجزای منفک در طراحی نما و جداره‌های شهری (اجزایی که به هنگام بحران

امکان سقوط دارند)، ایجاد فضاهای چند عملکردی و حفاظت شده در داخل ساختمان قابل توجه است. ژو و همکاران^۴ (۲۰۱۸)، در پژوهشی با هدف بررسی عوامل مؤثر بر پدافند غیرعامل شهری، در زمان پیش و پس از بروز زمین‌لرزه نشان می‌دهد که اعمال اقدامات پیشگیرانه می‌تواند مهم‌تر از اقدامات پس از سانحه اثرگذار باشد؛ این مطالعه همچنین نشان داده است که مشارکت اجتماعی یکی از اقدامات مؤثر بر کاهش میزان آسیب‌پذیری در مواقع بحران است. پرویزیان و ملکی (۱۴۰۱)، در مطالعه‌ای به آسیب‌پذیری نواحی منطقه ۶ کلان‌شهر اهواز در برابر خطر وقوع زلزله بر اساس مدل IHWP پرداختند. یافته‌ها نشان داد با احتساب اولویت‌های اول و دوم مدیریت بحران ۱۵/۳ درصد از کل کاربری‌های منطقه مورد مطالعه به شدت آسیب‌پذیر است؛ بدین معنی که در صورت وقوع زلزله‌ای شدید در منطقه آسیب‌پذیر خواهد بود. خدمت‌زاده و همکاران (۱۴۰۰)، در مطالعه‌ای به تحلیل شاخص‌های آسیب‌پذیری شهری با رویکرد مدیریت بحران زلزله در شهر ارومیه پرداختند. این مطالعه با هدف تحلیل شاخص‌های آسیب‌پذیری شهری با رویکرد مدیریت بحران زلزله در شهر ارومیه با استفاده از روش توصیفی و تحلیلی به این نتیجه رسیدند که منطقه ۲ شهری با ۱۹/۱۳ درصد بیشترین کاربری‌های آسیب‌پذیر را دارد. توکلی‌نیا و همکاران (۱۳۹۸)، در پژوهشی با هدف بررسی آسیب‌شناسی فضایی ساختار کالبدی و بافت اجتماعی منطقه شش تهران با بهره‌گیری از روش AHP نشان می‌دهد که بر اساس نظر کارشناسان، شاخص‌های تراکم جمعیتی و تراکم ساختمانی به عنوان تأثیرگذارترین عوامل مطرح شده‌اند. علاوه بر این، نتایج این پژوهش همچنین نشان داده است که شاخص‌های آموزش و آگاهی، مهارت‌ها و تخصص همگی بر موضوع پدافند غیرعامل تأثیرگذار هستند. گلی مختاری و همکاران (۱۳۹۷)، در پژوهشی با بهره‌گیری از مدل IHWP که با هدف ارزیابی میزان آسیب‌پذیری محدوده شهر کاشان در برابر زلزله، و بررسی معیارهای کیفیت ابنیه، فاصله از گسل، شتاب زمین، دانه بندی بافت، فاصله از مراکز درمانی، فضاهای باز، کانون زلزله و تأسیسات خطرزا، تعداد طبقات انجام شده است، نشان می‌دهد که میزان آسیب‌پذیری بیش از ۵۰ درصد از ساختمان‌های

1. Ylenia

2. Yukio Tamari

3. Alhawasli & Daneshjoo

4. Xu & Lu

دو به دو تهیه و بین ۱۰ خبره برای مقایسه این معیارها تهیه و توزیع شد.

مرحله دوم (تشکیل ماتریس فازی ارتباط مستقیم

اولیه): کارشناسان از چهار متغیر زبانی برای بیان میزان علیت بین معیارها استفاده کردند (Chen et al., 2022; Song et al., 2021). متغیرهای زبانی و اعداد فازی مثلثی متناظر آنها برای تعیین میزان تأثیر معیارها در جدول (۱) نشان داده شده است. در این مرحله از قضاوت خبرگان استفاده شده (Celik, 2015) و از کارشناسان خواسته می‌شود پارامترها را مطابق جدول زیر اولویت‌بندی کنند. از آنجاییکه تعداد نخبگان ۱۰ نفر بوده، ماتریس فازی ارتباط مستقیم اولیه حاصل میانگین حسابی مابین نظرات متخصصان ضروری است. ماتریس مذکور ماتریس روابط اولیه فازی نامیده می‌شود که می‌توان گفت $\check{Z}_{ij} = (U_{ij}, M_{ij}, l_{ij})$ اعداد فازی مثلثی هستند و $\check{Z}_{ij} = (i = 1, 2, \dots, n)$ به عنوان یک عدد فازی مثلثی (0,0,0) مورد توجه قرار می‌گیرد (۱).

جدول ۱. مقایسه درجه اهمیت بر اساس روش دیمتل-فازی

متغیرهای زبانی	معادل قطعی	مقیاس های فازی
بدون تأثیر (N)	۰	(0,0,0)
تأثیر کم (L)	۱	(0,0,0.25)
تأثیر متوسط (M)	۲	(0,0.25,0.5)
تأثیر گذاری بالا (H)	۳	(0.25,0.5,0.75)
تأثیر گذاری بسیار بالا (VL)	۴	(0.5,0.75,1)

مرحله سوم: نرمال سازی ماتریس فازی ارتباط

مستقیم: از آنجاییکه نظر نخبگان دارای مقیاس واحدی نبوده است، بنابراین نیاز به ماتریسی از روابط مقولات داشتیم که امکان مقایسه نظر نخبگان را فراهم نماید. این ماتریس از برقراری روابط بین روابط زیر حاصل می‌شود.

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{\check{Z}_{ij}}{r} = \left(\frac{l_{ij}}{r}, \frac{M_{ij}}{r}, \frac{U_{ij}}{r} \right)$$

$$r = \max_{i,j}$$

$$= \left\{ \max_i \sum_{j=1}^n U_{ij}, \max_j \sum_{i=1}^n U_{ij} \right\}$$

محدوده مورد بررسی در وضعیت کم و بسیار کم قرار و ۳۰ درصد نیز با وضعیت آسیب‌پذیری بالا و بسیار بالا مواجه هستند.

داده‌ها و روش کار

این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و بر اساس روش، توصیفی-تحلیلی است. برای جمع‌آوری داده‌ها و لایه‌های اطلاعاتی از مشاهدات میدانی و بهره‌گیری از طرح جامع و تفصیلی شهر ایلام، سرشماری عمومی نفوس و مسکن، نقشه‌های وضع موجود و همچنین از طریق اسناد، مجلات و کتب مرتبط با موضوع و برای تجزیه و تحلیل نهایی داده‌ها از مدل دیمتل-فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شده است. از این رو، در مرحله اول، طبق نظرات متخصصان و همچنین با بررسی پژوهش‌های صورت گرفته، مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار در وقوع آسیب‌پذیری لرزه‌ای شامل: تراکم جمعیت، کاربری اراضی، تراکم ساختمان، شبکه معابر، فاصله از فضا‌های سبز، فاصله از گسل، قدمت ابنیه، تعداد طبقات، کیفیت ابنیه، مصالح ساختمان، زمین‌شناسی و شیب استفاده گردید. بعد از شناسایی متغیرها، به تهیه لایه‌های GIS اقدام گردید. در مرحله سوم، به وزن‌دهی هریک از متغیرهای تأثیرگذار در وقوع آسیب‌پذیری لرزه‌ای با استفاده از مدل دیمتل فازی اقدام شد. برای ادغام نظرات و ترجیحات کارشناسان در دیمتل معمولاً از میانگین حسابی استفاده شده است (Mahmoudi et al., 2019; Mohammadfam et al., 2019). بعد از وزن‌دهی به هر متغیر با استفاده از دستورات مشخص شده، تمام لایه‌های مورد نظر به Raster تبدیل و در نهایت از طریق Weighted Sum، براساس وزن تعریف شده، همپوشانی شدند. بدین ترتیب نقشه نهایی آسیب‌پذیری لرزه‌ای بدست آمده و به تحلیل و بررسی آن پرداخته شد.

رویکرد دیماتل بر اساس جبر خطی ماتریس و نظریه گراف است. با روش زوجی که ابزار مهمی برای تصمیم‌گیری چند معیاره است، روابط علی بین عوامل را ارزیابی می‌کند و میزان رابطه یا قدرت تأثیر را به صورت تحلیلی نشان می‌دهد (Ozcan and Tuysuz., 2016; Thakkar, 2021). الگوریتم دیمتل فازی در مراحل زیر اجرا شده است.

مرحله اول: به منظور تعیین رابطه متقابل عوامل مؤثر بر آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های شهری در برابر زلزله، پرسشنامه‌ای

مرحله چهارم: محاسبه ماتریس فازی ارتباط کل:

در این گام ابتدا معکوس ماتریس نرمال را محاسبه نموده و سپس آن را از ماتریس I کم می‌کنیم و در انتها ماتریس نرمال را در ماتریس حاصل ضرب می‌کنیم. روابط زیر بیانگر روند مطرح شده است.

$$\tilde{T} = L \lim_{k \rightarrow +\infty} (\bar{x}^1 \oplus \bar{x}^2 \oplus \dots \oplus \bar{x}^k)$$

هر درایه عدد فازی ماتریس روابط کل به صورت $\bar{t}_{ij}$ است که به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\begin{aligned} [l''_{ij}] &= x_l \times (I - x_l)^{-1} \\ [m''_{ij}] &= x_m \times (I - x_{lm})^{-1} \\ [u''_{ij}] &= x_u \times (I - x_u)^{-1} \end{aligned}$$

مرحله پنجم: فازی زدایی مقادیر ماتریس ارتباط

کامل: از آنجایی روابط قطعی در مباحث اجتماعی مطرح نیست از دیدگاه فازی به منظور برقراری حد تناسب میان موضوعات استفاده می‌شود. در نهایت پس از بررسی و ارزش گذاری نهایی روابط فازی بایستی به شکل ریاضی و قابل ارزشیابی مطرح شود ازاین رو در این مرحله فازی‌زدایی انجام شده است.

مرحله ششم: تجزیه و تحلیل علت و معلولی:

این گام برای دستیابی به ماتریس علت و معلولی مجموع هر سطر (Di) و مجموع ستون کل ماتریس (Ri) از ماتریس فازی را محاسبه می‌کنیم. مقادیر به دست آمده و حاصل جمع و تفریق آن‌ها بیانگر میزان اثرگذاری و اثرپذیری معیارهای پژوهش است. جمع عناصر هر سطر (D) نشان‌دهنده میزان اثربخشی آن معیار بر سایرین است که نشان می‌دهد میزان تأثیرگذاری معیار مذکور از دیگر معیارها محاسبه شده است و جمع عناصر ستون (R) نیز برای هر عامل نشانگر میزان تأثیرپذیری آن معیار از سایر معیارهای دیگر است.

مرحله هفتم: مجموع ($D + R$) و تفاوت ($D - R$)

محاسبه شد.

($D + R$) نشان دهنده مجموع مؤثر و تأثیرگذار معیارهای

در نظر گرفته شده در سیستم است.

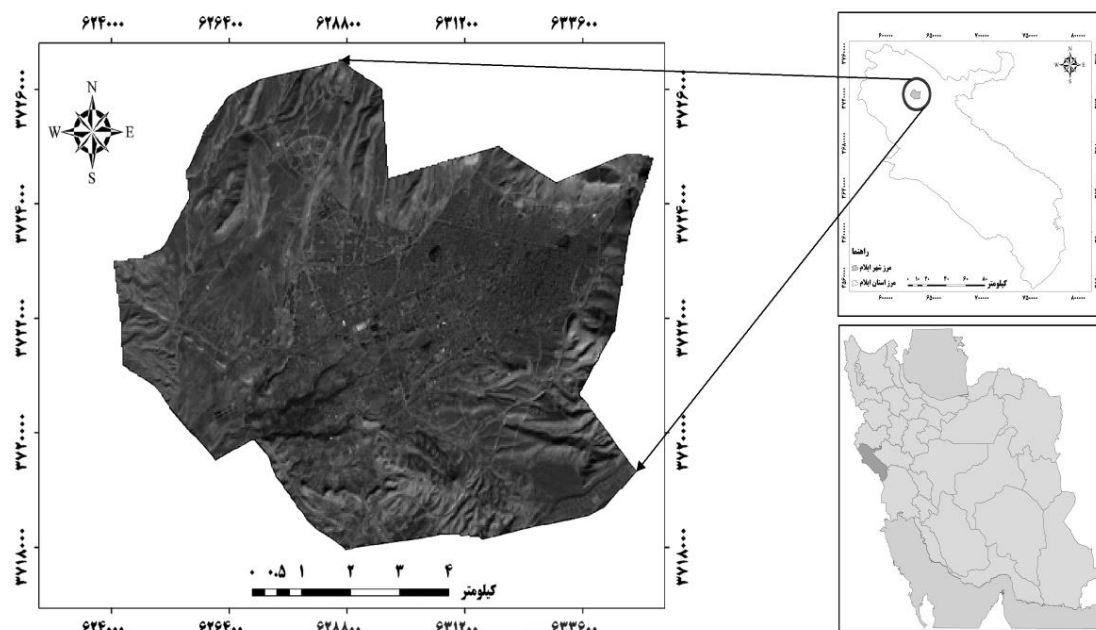
بیشترین ($D + R$) مقدار، بیشترین تعامل با معیارهای دیگر.

ارزش نهایی اثربخشی هر معیار بر سایر معیارها نیز از ($D - R$) به دست می‌آید، به طوری که:

اگر $D > R$ و $D - R > 0$ ، آنگاه عامل در نظر گرفته شده یک علت خالص است.

اگر $D < R$ و $D - R < 0$ باشد، فاکتور در نظر گرفته شده یک اثر خالص است.

شهر ایلام بزرگترین مرکز شهری در استان ایلام است که در بخش مرکزی شهرستان ایلام با مساحت ۲۰۶۰ هکتار در طول جغرافیایی ۴۶ درجه، ۲۲ دقیقه، ۲۸ ثانیه تا ۴۶ درجه، ۲۷ دقیقه، یک ثانیه و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه، ۳۶ دقیقه، ۵۱ ثانیه تا ۳۳ درجه، ۳۹ دقیقه، ۳۴ ثانیه قرار دارد. شهر ایلام دارای اقلیم کوهستانی و سرد و حداقل دمای آن منفی هفت و حداکثر ۳۴ درجه سانتی‌گراد است (آرخی و کلوی، ۱۳۹۸). منطقه ایلام از نظر تقسیمات زمین‌شناسی در بخش زاگرس چین‌خورده یا در بخش خارجی حوزه زاگرس قرار گرفته و امتداد ناهمواری‌ها به تبعیت از سیستم زاگرس شمال غربی - جنوب شرقی است. به همین دلیل دو مسیل اصلی حوزه که از ارتفاعات سرچشمه می‌گیرند از درون شهر عبور کرده و در نهایت از سمت جنوب غربی منطقه خارج می‌شوند (مهندسين مشاور بعد تکنیک، ۱۳۷۵). از نظر سطوح ارتفاعی شهر ایلام در محدوده ارتفاعی ۱۲۵۰ متر در جنوب و جنوب غرب تا ۱۵۵۰ متر در شمال و شمال شرق امتداد می‌یابد. پرشیب‌ترین شیب در محدوده شهر ایلام عموماً به سمت شمال و شمال شرق است. پرشیب‌ترین دامنه‌ها در بخش‌های جنوب، جنوب غرب و غرب محدوده شهر ایلام گسترش دارند. مهم‌ترین لندفرم‌های محدوده مورد مطالعه را چین‌ها، مخروط افکنه، دشت، پرتگاه و تپه ماهورها تشکیل می‌دهند. شهر ایلام بر روی زاگرس چین خورده واقع شده و سنگ‌های موجود در آن از نظر زمین‌شناسی شامل آهک، گچ، مارن و شیل و سازندهای آبرفتی است (انصاری لاری و همکاران، ۱۳۹۰). شهر ایلام براساس آخرین سرشماری نفوس و مسکن مرکز آمار ایران، در سال ۱۳۹۵ دارای ۱۹۴۰۳۰ نفر جمعیت بوده است.



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه

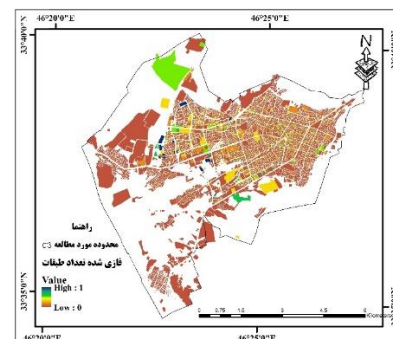
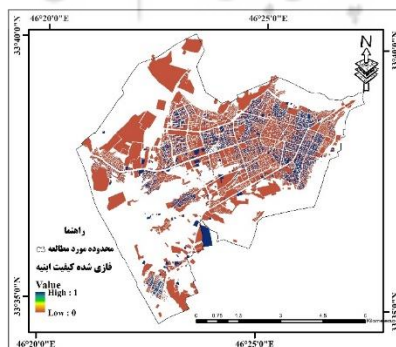
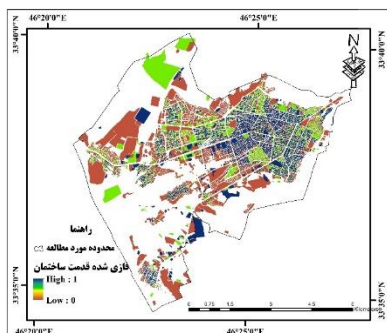
شرح و تفسیر نتایج

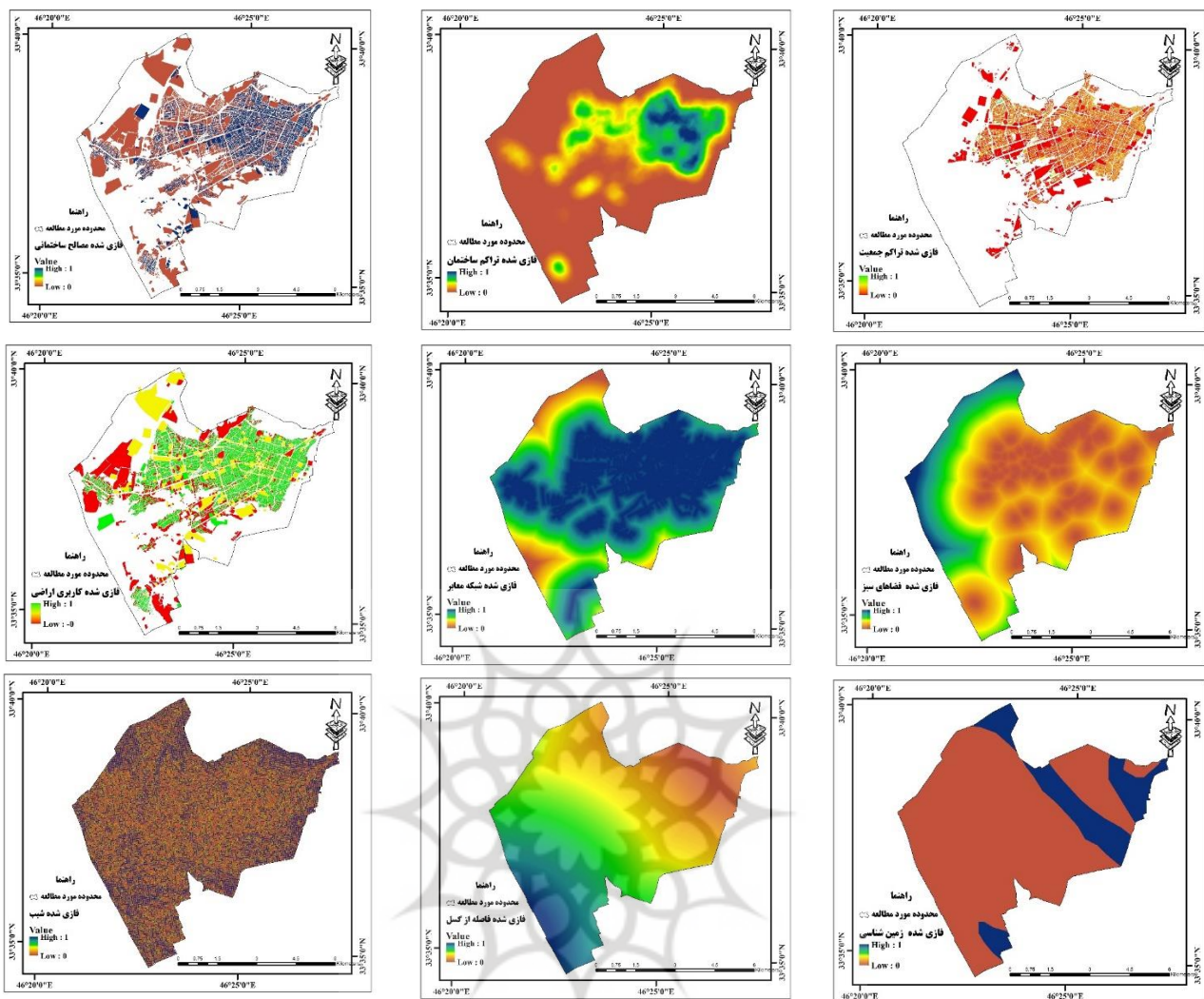
مربوط به هر یک از ۱۲ متغیر در قالب نرم افزار ArcGIS در شکل ۲ ترسیم شد. در جدول (۲) معیارهای پژوهش نیز آورده شده است.

در این مرحله ابتدا اطلاعات مربوط به ۱۲ متغیر در محدوده مورد مطالعه جمع آوری و سپس نقشه پایه محدوده مورد مطالعه آماده و پایگاه داده‌های آن تشکیل شده است. در ادامه لایه‌های

جدول ۲. معیارهای پژوهش

علامت اختصاری	A1	A2	A3	A4	A5	A6
شاخص	مصالح ساختمان	کیفیت ساختمان	قدمت ساختمان	عرض معبر	تراکم جمعیت	تعداد طبقات
علامت اختصاری	A7	A8	A9	A10	A11	A12
شاخص	تراکم ساختمان	گسل	فاصله از فضاهای سبز	کاربری اراضی	شیب	زمین شناسی





شکل ۲. نقشه استاندارد شده لایه‌های آسیب‌پذیری لرزه‌ای

پس از تهیه نقشه‌ها و بعد از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری، متغیرهای زبانی به اعداد فازی مثلثی تبدیل شدند و نظرات داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز از طریق مدل دیمتل فازی محاسبه و مورد پردازش قرار گرفته است. بنابراین، با جمع‌آوری نظرات کارشناسان با استفاده از ماتریس مقایسه‌ای زوجی برای معیارها،

جدول ۳. ماتریس رابطه مستقیم فازی

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
A1	0	۷۵, ۱, ۱ (۰)	۷۵, ۱, ۱ (۰)	۰, ۷۵, ۱, ۱ (۰)	۰, ۷۵, ۱ (۰, ۵)	۰, ۷۵, ۱, ۱ (۰)	۵, ۰, ۷۵, ۱ (۰)	۰, ۵, ۰, ۷۵ (۲۵)	۰, ۷۵ (۲۵, ۰, ۵)	۰, ۷۵, ۱ (۰)	۵, ۰, ۷۵, ۱ (۰)	۷۵, ۱, ۱ (۰)
A2	۰, ۷۵, ۱ (۰, ۵)	0	۰, ۷۵ (۰, ۰, ۵)	۰, ۷۵, ۱, ۱ (۰)	۰, ۷۵, ۱ (۰, ۵)	۰, ۷۵, ۱, ۱ (۰)	۵, ۰, ۷۵, ۱ (۰)	۰, ۵, ۰, ۷۵ (۰, ۲۵)	۷۵ (۰, ۰, ۷۵)	۰, ۷۵ (۰, ۷۵)	۰, ۷۵, ۱, ۱ (۰)	۷۵, ۱, ۱ (۰)
A3	۰, ۵, ۷۵ (۰, ۲۵)	۷۵, ۱, ۱ (۰)	0	۵, ۰, ۷۵, ۱ (۰)	۰, ۷۵, ۱ (۰, ۵)	۰, ۲۵, ۰, ۵ (۰)	۰, ۵, ۰, ۷۵ (۲۵)	۰, ۷۵, ۱ (۰, ۷۵)	۰, ۵ (۰, ۰, ۲۵)	۰, ۲۵, ۰, ۵ (۰)	۵, ۰, ۷۵, ۱ (۰)	۰, ۷۵, ۱ (۰, ۵)
A4	۰, ۵, ۷۵ (۰, ۲۵)	۷۵, ۱, ۱ (۰)	۰, ۷۵, ۱ (۰, ۵)	0	۰, ۵, ۷۵ (۰, ۲۵)	۱, ۱ (۰, ۷۵)	۱, ۱ (۰, ۷۵)	۱, ۱ (۰, ۷۵)	۰, ۷۵, ۱ (۰, ۵, ۰, ۷۵)	۰, ۵, ۰, ۷۵ (۰, ۵)	۷۵, ۱ (۰, ۵)	۰, ۷۵ (۰, ۵)

												(۰/۲۵)
A 5	(۰/۷۵, ۱) (۰/۵)	(۰/۷۵, ۱) (۰/۵)	(۰/۷۵) (۲۵, ۰/۵)	(۰/۵, ۰/۷۵) (۲۵)	0	(۰/۷۵, ۱) (۰/۷۵)	(۲۵, ۰/۵) (۰)	(۲۵, ۰/۵) (۰)	(۰, ۰/۲۵)	(۲۵, ۰/۵) (۰)	(۰/۵, ۰/۷۵) (۰/۲۵)	(۰/۷۵) (۰/۵) (۰/۲۵)
A 6	(۰/۷۵) (۲۵, ۰/۵)	(۰/۷۵, ۱) (۰/۵)	(۰/۵) (۰, ۰/۲۵)	(۰/۵, ۰/۷۵) (۰/۲۵)	(۰/۵) (۰, ۰/۲۵)	0	(۰/۵, ۰/۷۵) (۰/۷۵)	(۰/۵, ۰/۷۵) (۰/۷۵)	(۰/۷۵) (۰/۷۵)	(۷۵, ۰/۵) (۰)	(۵, ۰/۷۵, ۱) (۰)	(۷۵, ۱) (۰/۵)
A 7	(۷۵, ۱, ۱) (۰)	(۷۵, ۱, ۱) (۰)	(۰/۷۵, ۱) (۰/۵)	(۵, ۰/۷۵, ۱) (۰)	(۰/۷۵) (۲۵, ۰/۵)	(۰/۵, ۰/۷۵) (۲۵)	0	(۰/۷۵, ۱) (۰/۷۵)	(۰/۷۵, ۱) (۰/۷۵)	(۰/۷۵, ۱) (۰/۷۵)	(۰/۵, ۰/۷۵) (۰/۲۵)	(۰/۷۵, ۱) (۰/۵)
A 8	(۰/۷۵) (۲۵, ۰/۵)	(۷۵, ۱, ۱) (۰)	(۷۵, ۱, ۱) (۰)	(۵, ۰/۷۵, ۱) (۰)	(۰/۷۵) (۲۵, ۰/۵)	(۵, ۰/۷۵, ۱) (۰)	(۵, ۰/۷۵, ۱) (۰)	0	(۰/۷۵, ۱) (۰)	(۲۵, ۰/۵) (۰)	(۰/۵, ۰/۷۵) (۰/۲۵)	(۰/۷۵, ۱) (۰/۵)
A 9	(۰/۷۵, ۱) (۰/۵)	(۷۵, ۱, ۱) (۰)	(۷۵, ۱, ۱) (۰)	(۵, ۰/۷۵, ۱) (۰)	(۰/۷۵, ۱) (۰/۵)	(۰/۵, ۷۵) (۰/۲۵)	(۵, ۰/۷۵, ۱) (۰)	(۵, ۰/۷۵, ۱) (۰)	0	(۲۵, ۰/۵) (۰)	(۰/۵, ۰/۷۵) (۰/۲۵)	(۰/۵) (۰, ۲۵)
A 10	(۰/۷۵, ۱) (۰/۵)	(۰/۷۵, ۱) (۰/۵)	(۰/۷۵, ۱) (۰/۵)	(۰/۷۵, ۱, ۱) (۰/۵)	(۰/۷۵, ۱) (۰/۵)	(۵, ۰/۷۵, ۱) (۰)	(۰/۷۵, ۱, ۱) (۰/۷۵, ۱, ۱)	(۰/۷۵, ۱, ۱) (۰/۷۵, ۱, ۱)	(۷۵, ۱, ۱) (۰)	0	(۵, ۰/۷۵, ۱) (۰)	(۰/۷۵) (۰/۵) (۰/۲۵)
A 11	(۰/۷۵, ۱) (۰/۵)	(۰/۷۵, ۱) (۰/۵)	(۰/۷۵, ۱) (۰/۵)	(۰/۷۵, ۱, ۱) (۰/۵)	(۷۵, ۱, ۱) (۰)	(۰/۵, ۰/۷۵) (۰/۲۵)	(۰/۵, ۰/۷۵) (۰/۲۵)	(۵, ۰/۷۵, ۱) (۰)	(۷۵, ۱, ۱) (۰)	(۰/۵, ۰/۷۵) (۰/۲۵)	0	(۰/۷۵, ۱) (۰/۵)
A 12	(۲۵, ۰/۵) (۰)	(۰/۷۵) (۲۵, ۰/۵)	(۰/۷۵) (۲۵, ۰/۵)	(۰/۵, ۰/۷۵) (۲۵)	(۰/۷۵, ۱) (۰/۵)	(۰/۵, ۰/۷۵) (۲۵)	(۵, ۰/۷۵, ۱) (۰)	(۵, ۰/۷۵, ۱) (۰)	(۰/۷۵, ۱) (۰/۵)	(۵, ۰/۷۵, ۱) (۰)	(۵, ۰/۷۵, ۱) (۰)	0

در ادامه ماتریس ارتباطات کامل تشکیل داده شده است. در مرحله بعد، مقادیر شاخص‌های مجموع ($R_i + D_i$) محاسبه شد که درجه اهمیت عامل i را در سیستم تحلیل شده نشان می‌دهد و تفاوت ($R_i - D_i$) که تأثیر خالصی را که حسگر i -ام به سیستم وارد می‌کند را نیز نشان می‌دهد. مقادیر حاصل از این شاخص‌ها در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۴. اهمیت و تأثیرگذاری معیارها

	D_i	R_i	$D_i + R_i$	$D_i - R_i$
تعداد طبقات	۲/۷۷۵۰, ۹/۵۰۵۸ ۱/۰۳۹۸	۲/۱۸۸۴, ۸/۶۷۴۰ ۰/۷۱۶۶	۴/۹۶۳۵, ۱۸/۱۷۹۷ ۱/۷۵۶۴	۰/۵۸۶۶, ۸/۷۸۹۲ -۷/۶۳۴۱
مصالح ساختمان	۲/۶۹۲۹, ۹/۵۱۰۳ ۰/۹۹۴۵	۲/۹۱۶۰, ۹/۷۱۱۸ ۱/۱۱۷۴	۵/۶۰۸۹, ۱۹/۲۲۲۱ ۲/۱۱۱۹	-۰/۲۲۳۰, ۸/۳۹۲۸ -۸/۷۱۷۳
کاربری اراضی	۲/۱۹۵۷, ۸/۶۷۱۶ ۰/۷۲۰۷	۲/۲۳۵۰, ۸/۸۷۹۷ ۰/۷۹۷۳	۴/۵۳۰۷, ۱۷/۵۵۱۳ ۱/۵۱۸۰	-۰/۱۳۹۲, ۷/۸۷۴۳ -۸/۱۵۹۰
کیفیت ساختمان	۲/۶۳۵۳, ۹/۳۲۲۷ ۰/۹۶۲۹	۲/۶۳۴۴, ۹/۳۰۴۳ ۰/۹۶۲۴	۵, ۲/۶۹۷, ۱۸/۶۲۷۰ ۱/۹۲۵۳	۰/۰۰۱۰, ۸/۳۶۰۳ -۸/۳۴۱۳
زمین شناسی	۱/۷۳۵۶, ۷/۵۹۰۳ ۰/۴۶۶۹	۲/۲۶۶۶, ۸/۸۹۲۴ ۰/۷۵۹۷	۴/۰۰۲۲, ۱۶/۴۸۲۷ ۱/۲۶۶۶	-۰/۵۳۱۰, ۶/۸۳۰۶ -۸/۴۲۵۵
شیب	۱/۹۰۸۵, ۸/۰۶۹۵ ۰/۵۶۲۵	۲/۳۴۸۷, ۸/۶۶۹۱ ۰/۸۰۵۱	۴/۲۵۷۲, ۱۶/۷۳۸۶ ۱/۳۶۷۶	-۰/۴۴۰۲, ۷/۲۶۴۴ -۸/۱۰۶۷
عرض معبر	۲/۷۴۶۴, ۹/۵۵۳۹ ۱/۰۲۴۶	۲/۲۶۹۶, ۸/۸۱۷۸ ۰/۷۶۱۴	۵/۰۱۶۱, ۱۸/۴۴۱۷ ۱/۷۸۶۰	۰/۴۷۶۸, ۸/۷۹۲۵ -۷/۸۶۳۲
گسل	۲/۴۷۶۳, ۹/۰۸۲۲ ۰/۸۷۵۱	۲/۳۳۹۵, ۸/۸۱۳۵ ۰/۷۹۹۹	۴/۸۱۵۸, ۱۷/۹۶۵۶ ۱/۷۶۵۰	۰/۱۳۶۷, ۸/۲۸۲۳ -۸/۰۰۸۳
تراکم ساختمان	۲/۳۴۹۴, ۸/۸۸۸۶ ۰/۸۰۵۵	۲/۶۳۶۵, ۹/۱۰۲۳ ۰/۹۶۳۶	۴/۹۸۵۹, ۱۷/۹۹۰۸ ۱/۷۶۹۱	-۰/۲۸۷۱, ۷/۹۲۴۹ -۸/۲۹۶۸

قدمت ساختمان	۲/۸۵۶۶ , ۹/۹۲۱۸ ۱/۰۸۴۹	۲/۲۵۸۸ , ۸/۶۷۷۵ ۰/۷۵۵۳	۵/۱۱۵۴ , ۱۸/۵۹۹۳ ۱/۸۴۰۲	۰/۵۹۷۸ , ۹/۱۶۶۵ -۷/۵۹۲۶
تراکم جمعیت	۲/۵۳۷۴ , ۹/۲۸۵۵ ۰/۹۰۸۷	۲/۴۱۹۷ , ۹/۲۹۹۳ ۰/۸۴۴۱	۴/۹۵۷۱ , ۱۸/۵۸۴۸ ۱/۷۵۲۸	۰/۱۱۷۸ , ۸/۴۴۱۳ -۸/۳۹۰۷
فاصله از فضاهای سبز	۲/۱۰۷۸ , ۸/۶۵۹۶ ۰/۶۷۲۱	۲/۴۰۳۹ , ۹/۰۸۰۱ ۰/۸۳۵۳	۴/۵۱۱۷ , ۱۷/۷۳۹۷ ۱/۵۰۷۳	۰/۲۹۶۰ , ۷/۸۲۴۴ -۸/۴۰۸۰

بعد از اهمیت و تأثیرگذاری، معیارها استخراج ضریب یک معیار و ساختاردهی سیستماتیک به آن‌ها توسط به کارگیری اصول تئوری گراف‌ها ساختار سلسله مراتبی از عوامل موجود در

جدول ۵. اهمیت و تأثیرگذاری نهایی معیارها

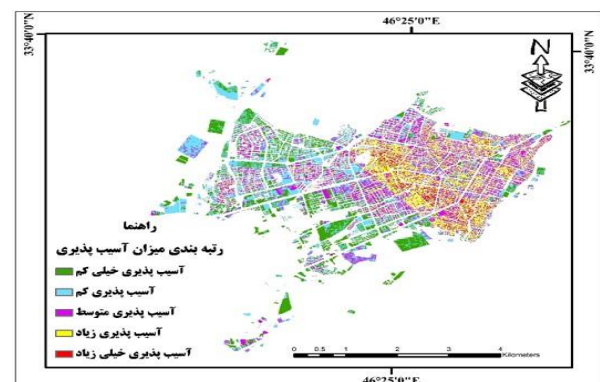
رتبه بندی	وزن	غیرفازی Di-Ri	غیرفازی Di+Ri	
6	۰/۸۴۸۱	۰/۵۲۹۴	۷/۰۲۳۰	تعداد طبقات
1	۰/۰۹۲۲۴۸	-۰/۱۳۴۹	۷/۶۳۷۸	مصارف ساختمان
10	۰/۰۷۹۸۳۶	-۰/۰۸۶۹	۶/۶۱۰۱	کاربری اراضی
2	۰/۰۸۸۲۸۳	۰/۰۳۷۸	۷/۳۰۹۵	کیفیت ساختمان
12	۰/۰۷۳۰۶۷	-۰/۵۰۷۳	۶/۰۴۹۷	زمین شناسی
11	۰/۰۷۵۸۶۷	-۰/۳۴۲۱	۶/۲۸۱۵	شیب
4	۰/۰۸۵۷۳۷	۰/۴۳۴۶	۷/۰۹۸۷	عرض معبر
8	۰/۰۸۳۱۲۳	۰/۱۴۹۹	۶/۸۸۲۳	گسل
7	۰/۰۸۴۶۷	-۰/۱۸۱۶	۷/۰۱۰۴	تراکم ساختمان
3	۰/۰۸۶۸۸۴	۰/۵۹۴۶	۷/۱۹۳۷	قدمت ساختمان
5	۰/۰۸۵۴۶۷	۰/۱۰۷۸	۷/۰۷۶۴	تراکم جمعیت
9	۰/۰۸۰۰۰۸	-۰/۲۱۷۵	۶/۶۲۴۴	فاصله از فضاهای سبز

جدول ۶. مساحت (هکتار) و درصد میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر ایلام

درصد	مساحت (هکتار)	پهنه بندی
۲۳/۶۸	۲۶۰/۵۳۳	آسیب‌پذیری خیلی کم
۳۱/۸۵	۳۵۰/۴۷۵	آسیب‌پذیری کم
۲۵/۴۱	۲۷۹/۶۶	آسیب‌پذیری متوسط
۱۵/۴۶	۱۷۰/۱	آسیب‌پذیری زیاد
۳/۵۸	۳۹/۴۴۵	آسیب‌پذیری خیلی زیاد

بر اساس شکل ۳، بیشتر مناطق مرکزی در منطقه‌ای با خطر بالای آسیب‌پذیری قرار داشت که این مناطق به دلیل نوع بافت و مصالح به کار رفته در ساخت آن از ایمنی کمتری برخوردار هستند. براساس جدول (۶)، ۱۹/۰۴ درصد کل شهر ایلام در مناطق با آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیاد و ۵۵/۵۳ درصد در مناطق با آسیب‌پذیری کم و خیلی کم قرار داشتند. اما نکته حائز اهمیت این است که تمام نقاط منطقه در یک منطقه خطر قرار

همان طور که در جدول (۴) و (۵) مشاهده می‌شود، مهم‌ترین شاخص‌ها تراکم ساختمان، کیفیت ساختمان و قدمت ساختمان است. در مرحله بعد، از مقادیر وزن‌های محاسبه شده بر روی شاخص‌های مدنظر اعمال شده و سپس شاخص‌ها با یکدیگر ترکیب و نقشه نهایی استخراج شد (شکل ۳).



شکل ۳. میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر ایلام

زلزله را تا حد زیادی کاهش دهد.

این مطالعه با هدف تعیین آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر ایلام انجام شده است. با توجه به شرایط خاص شهر ایلام ایلام شاخص‌های مختلفی از جمله: تراکم جمعیت، کاربری اراضی، تراکم ساختمان، شبکه معابر، فاصله از فضاهای سبز، فاصله از گسل، قدمت ابنیه، تعداد طبقات، کیفیت ابنیه، مصالح ساختمان، زمین شناسی و شیب استفاده گردید. پس از وزن‌دهی هر یک از متغیرهای تأثیرگذار در وقوع آسیب‌پذیری لرزه‌ای با استفاده از مدل دیمتل فازی به تهیه لایه‌های GIS اقدام شد. تمام لایه‌های مورد نظر براساس وزن تعریف شده، همپوشانی شدند. بدین ترتیب نقشه نهایی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر ایلام در پنج سطح پهنه‌بندی شده است. بر این اساس، ۳/۵۸ درصد محدوده مورد مطالعه در پهنه آسیب‌پذیری خیلی زیاد، ۱۵/۴۶ درصد در پهنه با آسیب‌پذیری زیاد، ۲۵/۴۱ درصد در پهنه با آسیب‌پذیری متوسط، ۳۱/۸۵ درصد در پهنه با آسیب‌پذیری کم و تنها ۲۳/۶۸ درصد در پهنه با آسیب‌پذیری خیلی کم قرار داشتند. پراکنش مناطق با آسیب‌پذیری خیلی زیاد و زیاد بیشتر در قسمت‌های مرکزی منطقه و مناطق با آسیب‌پذیری خیلی کم در قسمت‌های جنوب غربی و شمال غربی منطقه بوده است. زیرا اکثر ساختمان‌های این محدوده نوساز بوده و علاوه بر استفاده از مصالح با دوام در ساخت و ساز، رعایت آیین نامه‌های طراحی ساختمان‌ها و دسترسی بهتر به شریان‌های اصلی و فضای سبز در برابر زلزله اثر بخشی مثبتی از خود بر جای گذاشته است. بنابراین؛ می‌توان نتیجه گرفت که برنامه‌ریزی ابزاری است که ما را از وضعیت فعلی به وضعیت مطلوب می‌رساند.

References

- Alhawasli, H; & Daneshjoo, KH. (2018). Improving Residential Buildings Performance against the Explosion Using Passive Defense Requirements Case Study: Designing a Residential Building in Damascus. Trends in Civil Engineering and its Architecture, 2(3): 1-8.
<https://doi.org/10.32474/TCEIA.2018.02.000138>
 Arkhi, S, Kelvi, S. (2019), Comparison of pixel-based and object-oriented classification methods in preparing land use maps using satellite images (Case study:

نداشتند. پراکنش مناطق با آسیب‌پذیری خیلی زیاد و زیاد بیشتر در قسمت‌های مرکزی منطقه و مناطق با آسیب‌پذیری خیلی کم در قسمت‌های جنوب غربی و شمال غربی منطقه بوده است. زیرا اکثر ساختمان‌های این محدوده نوساز بوده و علاوه بر استفاده از مصالح با دوام در ساخت و ساز، رعایت آیین نامه‌های طراحی ساختمان‌ها در برابر آسیب‌پذیری لرزه‌ای اثر بخشی مثبتی از خود بر جای گذاشته است.

بحث و نتیجه‌گیری

- در سال‌های اخیر توجه زیادی به موضوع آسیب‌پذیری و مدیریت آن در بین برنامه‌ریزان، دولت‌ها و ملت‌ها معطوف شده است. ویژگی‌ها و شرایط فضاهای شهری و تراکم سرمایه گذاری‌ها توجه به برنامه‌ریزی‌های لازم را در خصوص مصونیت شهرها در برابر انواع مخاطرات ضروری ساخته است. با توسعه جوامع و پیچیدگی فرآیندهای درونی شهرها (کالبدی، ساختاری، اجتماعی و اقتصادی)، اثرات مخاطرات طبیعی بسیار پیچیده شده و کاهش و کنترل آسیب‌پذیری‌ها بسیار دشوارتر شده است. بنابراین بررسی اثرات مخاطرات طبیعی بر سکونتگاه‌های انسانی به‌ویژه شهرها، یکی از مهم‌ترین موضوعات مورد توجه برنامه ریزان شهری است. بدیهی است که تاکنون عدم توجه به اصول مدیریت بحران خسارات زیادی را از زلزله‌های متعدد به جوامع مسکونی وارد کرده است. بررسی‌های انجام شده در زمینه پیشگیری نشان داده است که بررسی آسیب‌پذیری فیزیکی در بافت شهرها و توجه به اصول و استانداردهای شهرسازی در آن و بهسازی و نوسازی بافتی که نیاز به اقدام دارد، می‌تواند اثرات Ilam city), Geography and Urban-Regional Planning, 9 (32): 1-16. (In Persian).
 Ansari Lari, A, Najafi, E, Nourbakhsh, S F. (2011), Geomorphological Capabilities and Limitations of Physical Development of Ilam City, Environmental Planning, 4 (15): 1- 16. (In Persian).
 Beroya-Eitner, M.A. (2016). Ecological vulnerability indicators. Ecol. Indic, 60, 329-334.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.07.001>
 Boad Technique Consulting Engineers (2013), Comprehensive Plan Review Studies, General Directorate of Roads and Urban Planning of Ilam Province. (In Persian).

- Boloorani. A.D, Shorabeh S.N, Neysani Samany. N, Mousivand. A, Kazemi. Y, Jaafarzadeh. N, Zahedi . A, Rabiei. J. (2021). Vulnerability mapping and risk analysis of sand and dust storms in Ahvaz, IRAN. *Environ Pollut.*, Jun 15; 279:116859. Doi: 10.1016/j.envpol.2021.116859. Epub 2021 Mar 10. PMID: 33744637.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116859>
- Cariolet, J.M., Vuillet, M.; Diab, Y.(2019). Mapping urban resilience to disasters—A review. *Sustain. Cities Soc.* , 51, 101746.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101746>
- Celik, E., Akyuz, E. (2015). A fuzzy DEMATEL method to evaluate critical operational hazards during gas freeing process in crude oil tankers, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 38: 243-253.
<https://doi.org/10.1016/j.jlp.2015.10.006>
- Duy, P.N, Chapman, L, Tight, M.(2019). Resilient transport systems to reduce urban vulnerability to floods in emerging-coastal cities: A case study of Ho Chi Minh City, Vietnam. *Travel Behav. Soc*, 15, 28–43.
<https://doi.org/10.1016/j.tbs.2018.11.001>
- Estrada, F., Botzen, W.W., Tol, R.S.(2015). Economic losses from US hurricanes consistent with an influence from climate change. *Nat. Geosci*, 8, 880–884.
<https://doi.org/10.1038/ngeo2560>
- Fazel, S, Taghvaei, M. Mahmoudzadeh, A. (2019), Explaining the concept of risk and measuring the seismic risk of urban areas (Case study: Najafabad), *Quarterly Journal of Human Geography Research*, 51 (1): 1-21. (In Persian).
<https://doi.org/10.22059/jhgr.2017.61600>
- Fakhruddin, B.S., Reinen-Hamill, R., Robertson, R.(2019). Extent and evaluation of vulnerability for disaster risk reduction of urban Nuku'alofa, Tonga. *Prog. Disaster Sci*, 2, 100017.
<https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2019.100017>
- Galbusera, L., Giannopoulos, G.(2018). On input-output economic models in disaster impact assessment. *Int. J. Disaster Risk Reduct*, 30, 186–198.
<https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.04.030>
- Goli Mokhtari, L, Shakari Badi, A. Bashkani, Zahra (2018), Assessing the vulnerability of Kashan urban area to earthquake hazard using the IHPW model, *Environmental Hazards*, No. 16, 105-126. (In Persian).
- Hakala, E., Lähde, V., Majava, A., Toivanen, T., Vadén, T., Järvensivu, P., Eronen, J.T. (2019). Northern Warning Lights: Ambiguities of Environmental Security in Finland and Sweden. *Sustainability*, 11, 2228.
<https://doi.org/10.3390/su11082228>
- Hoffmann, S., Beierkuhnlein, C.(2020). Climate change exposure and vulnerability of the global protected area estate from an international perspective. *Divers. Distrib.*, 26, 1496–1509.
<https://doi.org/10.1111/ddi.13136>
- Khedmatzadeh, A. Mousavi, M. Yousefzadeh, A. (2021), “Analysis of urban vulnerability indicators with an earthquake crisis management approach (case study: Urmia city)”, *Human Settlement Planning Studies*, 16(1): 43-62. (In Persian).
- Mahmoudi, S., Jalali, A., Ahmadi, . M , Abasi, P , Salari, N.(2019). Identifying critical success factors in Heart Failure Self-Care using fuzzy DEMATEL method. *Appl. Soft Comput. J.* 84, 105729.
<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105729>
- Mohammadfam, I., Mirzaei, M., Aliabadi, A.R. Soltanian, M.(2019). Tabibzadeh and M. Mahdinia, Investigating interactions among vital variables affecting situation awareness based on Fuzzy DEMATEL method. *Int. J. Ind. Ergon.* 74, 102842.
<https://doi.org/10.1016/j.ergon.2019.102842>
- Majhi, S.K., Hossain, S.S., Padhi, T.(2020). MFOFLANN: Moth flame optimized functional link artificial neural network for prediction of earthquake magnitude. *Evol. Syst.*, 11, 45–63.
<https://doi.org/1007/s12530-019-09293-6>
- Mishra, A., Ghate, R., Maharjan, A., Gurung, J., Pathak, G., Upraity, A.N. (2017). Building ex ante resilience of disaster-exposed mountain communities:

- Drawing insights from the Nepal earthquake recovery. *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, 22, 167–178.
<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.03.008>
- Naik, S.P., Kim, Y.-S., Kim, T., Su-Ho, J. (2017). Geological and structural control on localized ground effects within the Heunghae Basin during the Pohang Earthquake, South Korea. *Geosciences* 2019, 9, 173.
<https://doi.org/10.3390/geosciences9040173>
- Noy, I., Vu, T.B. (2010). The economics of natural disasters in a developing country: The case of Vietnam. *J. Asian Econ*, 21, 345–354.
<https://doi.org/10.1016/j.asieco.2010.03.002>
- Pandit, A., Biswal, K.C. (2019). Prediction of earthquake magnitude using adaptive neuro fuzzy inference system. *Earth Sci. Inform.*, 12, 513–524.
<https://doi.org/10.1007/s12145-019-00397-w>
- Pagano, A., Pluchinotta, I., Giordano, R., Vurro, M. (2017). Drinking water supply in resilient cities: Notes from L'Aquila earthquake case study. *Sustain. Cities Soc*, 28, 435–449.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.09.005>
- Parvzian, A., Maleki, S. (2022). Vulnerability of urban areas to earthquake risk based on the IHWP model (case study: areas of Region 6 of Ahvaz metropolis), *Scientific Journal of Land Planning*, 14 (2): 571-594. (In Persian).
<https://doi.org/10.22059/jtcp.2022.335903.670284>
- Qureshi, S., Shorabeh, S.N., Samany, N.N., Minaei, F., Homae, M., Nickraves, F., Firozjahi, M.K., Arsanjani, J.J. (2021). A New Integrated Approach for Municipal Landfill Siting Based on Urban Physical Growth Prediction: A Case Study Mashhad Metropolis in Iran. *Remote Sens*, 13, 949.
<https://doi.org/10.3390/rs13050949>
- Shah, A.A., Ye, J., Abid, M., Khan, J., Amir, S.M. (2018). Flood hazards: Household vulnerability and resilience in disaster-prone districts of Khyber Pakhtunkhwa province, Pakistan. *Nat. Hazards*, 93, 147–165.
<https://doi.org/10.1007/s11069-018-3293-0>
- Schilling, J., Hertig, E., Trambly, Y., Scheffran, J. (2020). Climate change vulnerability, water resources and social implications in North Africa. *Reg. Environ. Chang*, 20, 1–12.
<https://doi.org/10.1007/s10113-020-01597-7>
- Shen, S., Cheng, C., Song, C., Yang, J., Yang, S., Su, K., Yuan, L., Chen, X. (2018). Spatial distribution patterns of global natural disasters based on biclustering. *Nat. Hazards* 2, 92, 1809–1820.
<https://doi.org/10.1007/s11069-018-3279-y>
- Singh, R., Kumar, R. (2015). Vulnerability of water availability in India due to climate change: A bottom-up probabilistic analysis. *Geophys. Res. Lett.*, 42, 9799–9807.
<https://doi.org/10.1002/2015GL066363>
- Singh, S.J., Fischer-Kowalski, M., Haas, W. (2018). The sustainability of humanitarian aid: The Nicobar Islands as a case of 'complex disaster'. In *The Asian Tsunami and Post-Disaster Aid*; Springer: Singapore, pp. 143–165.
https://doi.org/10.1007/978-981-13-0182-7_8
- Tavakolinia, J., Zarghami, S., Teymouri, A., Eskanderpour, M. (2019). An analysis of spatial pathology of the physical structure and social fabric of the city with a passive defense approach, case study: District Six of Tehran Metropolitan Area, *Applied Research in Geographical Sciences*, No. 53, 51-73. (In Persian).
<https://doi.org/10.29252/jgs.19.53.51>
- Thakkar, J.J. (2021). *Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL), Multi-Criteria Decision Making, Studies in Systems, Decision and Control*, Springer, Singapore.
https://doi.org/10.1007/978-981-33-4745-8_9
- Tziavou, O., Pytharouli, S., Souter, J. (2018). Unmanned Aerial Vehicle (UAV) based mapping in engineering geological surveys: Considerations for optimum results. *Eng. Geol.*, 232, 12–21.

<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2017.11.004>

Song, T., Chen, M., Xu, Y., Wang, D., Song, X., Tang, X. (2021). Competition-guided multi-neighborhood local search algorithm for the university course timetabling problem, *Appl. Soft Comput.* 11, no. 3, 607–624.

<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107624>

Varis, O., Kumm, M., Salmivaara, A. (2012). Ten major rivers in monsoon Asia-Pacific: An assessment of vulnerability. *Appl. Geogr.* 32, 441–454.

<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.05.003>

Wu, J., He, X., Li, Y., Shi, P., Ye, T., Li, N. (2019). How earthquake-induced direct economic losses change with earthquake magnitude, asset value, residential building structural type and physical environment: An elasticity perspective. *J. Environ. Manag.* 231, 321–328.

<https://doi.org/>

[10.1016/j.jenvman.2018.10.050](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.050)

Xu, Jiuping; & Lu, Yi. (2018). Towards an earthquake-resilient world: from postdisaster reconstruction to pre-disaster prevention. *Environmental Hazards*, 17(4): 269– 275.

<https://doi.org/>

[10.1080/17477891.2018.1500878](https://doi.org/10.1080/17477891.2018.1500878)

Yariyan, P., Zabihi, H., Wolf, I.D., Karami, M., Amiriyani, S. (2020). Earthquake risk assessment using an integrated Fuzzy Analytic Hierarchy Process with Artificial Neural Networks based on GIS: A case study of Sanandaj in Iran. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 50, 101705.

<https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101705>

Ylenia, S., Luca, S., & Maria, R.V. (2021). “Seismic response of masonry buildings in historical centres struck by the 2016 Central Italy earthquake”, Calibration of a vulnerability model for strengthened conditions, *Construction and Building Materials*, Vol. 299, 123911,

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123911>

Yukio, T., Yuichi, S., Yuta, N., Yuichi, O. (2019). “An example of three dimensional ground model development for earthquake response analysis by using a simple ground modeling system”, *Japanese Geotechnical Society Special Publication*, Vol. 6, Issue 2, pp. 45-52.

<https://doi.org/10.3208/jgssp.v06.GIZ07>