

## تحلیل شاخص‌های آسیب پذیری شهری با رویکرد مدیریت بحران زلزله (مطالعه موردی: شهر ارومیه)

علی خدمت زاده\* - دانش آموخته کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران  
میر نجف موسوی - استاد گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران  
اردشیر یوسف‌زاده - دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۲۲

### چکیده

**مقدمه:** وقوع بلاای طبیعی مانند زلزله، در بافت شهری و مناطق پرتراکم جمعیتی خسارات شدیدی را ایجاد کرده است. با توجه به قرارگیری کشور روی کمربند زلزله پژوهش حاضر شهر ارومیه را به واسطه ویژگی‌های طبیعی و خطر لرزه خیزی متوسط، جهت شناسایی مهمترین عوامل تشدید کننده آسیب رسان مورد مطالعه قرار داده است.

**هدف پژوهش:** مدیریت بحران شهری در اثر وقوع زلزله.

**روش شناسی تحقیق:** این پژوهش از نظر روش توصیفی و تحلیلی و از نظر هدف کاربردی می‌باشد. در بخش توصیفی از نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، اسناد و مطالعات کتابخانه‌ای و در بخش تحلیلی از فرآیند تحلیل شبکه و عملگرهای فازی در نرم افزار ARC GIS استفاده شده است.

**قلمرو جغرافیایی پژوهش:** محدوده مورد مطالعه با مساحت ۴۸۵۴/۹۱ هکتار ۰/۹۱ درصد از کل مساحت شهرستان ارومیه را شامل می‌شود که جمعیتی بالغ بر ۷۲۷۰۶۶ نفر (غیر از شهرک گلخانه) را در خود جای داده است. بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵ و بر پایه اطلاعات به دست آمده از بلوک‌های آماری تعداد جمعیت و خانوار محدوده به ترتیب ۷۲۷۰۶۶ نفر و ۲۲۲۷۳۷ خانوار می‌باشد. محدوده مورد مطالعه ۹۷/۸۳ درصد از جمعیت شهرستان ارومیه را در خود جای داده است.

**یافته‌ها و بحث:** بیشترین آسیب پذیری در مناطق با شیب‌های بیشتر از ۲۰ درصد و نواحی با تراکم جمعیتی بالا مشاهده می‌شود. نواحی با آسیب پذیری خیلی زیاد با ۳۴/۱۲ درصد، زیاد با ۱۱/۸۱ درصد، متوسط با ۳۰/۴۷ درصد، کم با ۲۰/۸۹ درصد و خیلی کم با ۲/۷ درصد از مساحت بلوک‌های آماری را به خود اختصاص دادند. در حالت کلی می‌توان گفت که ۴۵/۹۳ درصد از محدوده مورد مطالعه بر اساس معیارهای استفاده شده در تحلیل آسیب پذیرند.

**نتیجه گیری:** در پهنه بندی زلزله در سطح شهر ارومیه ۵ کلاس آسیب پذیر به دست آمد که کلاس آسیب پذیری خیلی زیاد در منطقه ۲ شهری با مساحت ۳۴۱/۰۹ هکتار (۱۳/۱۹ درصد) بیشترین کاربری‌های آسیب پذیر را دارد. منطقه ۳ با ۸/۲۴ درصد، منطقه ۱ با ۷/۵۷ درصد، منطقه ۴ با ۲/۷۶ درصد و منطقه ۵ با ۱/۹۲ درصد به ترتیب دارای بیشترین کاربری‌های دارای آسیب پذیری خیلی زیاد می‌باشند.

**واژه‌گان کلیدی:** زلزله، مدیریت بحران شهری، شهر ارومیه، GIS، FANP.

#### نحوه استناد به مقاله:

خدمت زاده، علی؛ موسوی، میرنجف و یوسف‌زاده، اردشیر. (۱۴۰۰). تحلیل شاخص‌های آسیب پذیری شهری با رویکرد مدیریت بحران زلزله (مطالعه موردی: شهر ارومیه). *مطالعات برنامه‌ریزی سکونتگاه‌های انسانی*، ۱۶(۱)، ۶۲-۴۳.

[http://jshsp.iaurasht.ac.ir/article\\_672849.html](http://jshsp.iaurasht.ac.ir/article_672849.html)

## مقدمه

در قرن بیستم، بیش از ۱۱۰۰ زلزله مخرب در نقاط مختلف کره زمین روی داده و تلفات جانی زیادی را سبب شده است. ۹۰ درصد این تلفات، ناشی از ریزش ساختمان‌هایی بود که ایمنی کافی نداشتند (لانتادا<sup>۱</sup>، ۲۰۰۸: ۲). نمونه بارز این مناطق، کشور ژاپن است که سالانه چندین مورد زلزله با شدت بیش از هفت ریشتر در نقاط مختلف آن به وقوع می‌پیوندد. با این حال، تعداد سازه‌ها و افرادی که در این زلزله‌ها آسیب می‌بینند، بسیار جزئی و اندک است و با توجه به زیرساخت‌های مناسب شهری، سبب ایجاد بحران و اختلال در سیستم‌های شهری نمی‌شوند (یامازاکی<sup>۲</sup>، ۲۰۰۵: ۵). در کشورهای توسعه یافته تلفات مالی حوادث طبیعی بیشتر از تلفات جانی است. اما در کشورهای در حال توسعه این امر برعکس می‌باشد که نشان دهنده برنامه‌ریزی صحیح در کشورهای توسعه یافته است (ابرت و کرل<sup>۳</sup>، ۲۰۰۸: ۱۳۰۷). در کشورهای توسعه یافته حفظ جان شهروندان در برابر حوادث طبیعی و انسانی یکی از معیارهای توسعه شهری پایدار تلقی می‌شود (نایس<sup>۴</sup>، ۲۰۰۱: ۵۰۶). تا سال ۲۰۵۰، انتظار می‌رود جمعیتی بالغ بر ۳ میلیارد نفر به جمعیت فعلی جهان افزوده شود. بیشترین افزایش جمعیت در کشورهای در حال توسعه اتفاق خواهد افتاد و پیش بینی می‌شود که در این کشورها، جمعیت شهرها و شهرک‌ها به دو برابر وضعیت فعلی افزایش یابد. تعداد زیادی از این جمعیت‌ها در کلانشهرها استقرار خواهند یافت و این امر چالش‌هایی جدی را برای توسعه یافتگی پیشروی کشورها قرار خواهد داد (کریمر و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۰۳).

ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی ویژه، به عنوان یکی از کشورهای واقع در کمربند زمین لرزه دنیا (آلپ هیمالیا) همواره در طول تاریخ مقهور خشم طبیعت بوده است و تلفات مالی و جانی زیادی از این نظر متحمل شده است؛ به طوری که در سال ۲۰۱۰ از نظر مخاطرات طبیعی مقام سوم را داشته است (عبداللهی، ۲۰۰۴: ۲۶). ایران ۱۴۰۰ گسل فعال دارد که از میان ۶۲۰ شهر آن، فقط ۲۰ شهر در محدوده کم خطر واقع شده است (مصیب زاده و پورمحمدی، ۲۰۰۶: ۲). در کشور ایران، شهر نشینی شتابان، همزمان با پیدایش و شکل‌گیری سرمایه داری پیرامونی، انباشت سرمایه، تمرکز پیرامونی ابزار تولید در چند شهر بزرگ کشور انجام شد (پیران، ۱۹۹۰: ۶۴). رشد بسیاری از این کلانشهرها در نزدیکی یا بر روی گسل‌های فعال است (هواوانگ<sup>۶</sup>، ۲۰۰۷). از طرفی استقرار نامناسب عناصر کالبدی و کاربری‌های ناسازگار، شبکه ارتباطی ناکارآمد، ساختمان‌های فشرده و فرسوده، کمبود تأسیسات زیر ساختی، توزیع نامناسب یا نبود فضاهای باز شهری نیز نقشی اساسی در میزان افزایش آسیب پذیری در هنگام زلزله دارند (احدنژاد، ۱۳۸۹). نواحی آسیب پذیر شهرها مناطقی هستند که می‌توان با شناخت، پهنه بندی و سیاستگذاری درست در آن‌ها زمینه کاهش آثار منفی ناشی از بلایا را فراهم آورد بررسی زلزله‌های اخیر شاخص خوبی برای تبیین میزان آسیب پذیری شهرهای ایران است. مثلاً زلزله بوئین زهرا (۱۳۴۱)، رودبار (۱۳۶۹)، بم (۱۳۸۲) هر کدام خسارات جانی و مالی قابل توجهی در پی داشته است. بنابراین، شناخت صحیح ابعاد بحران ناشی از زمین لرزه در مناطق شهری را می‌توان اولین گام در فرایند مدیریت بحران و یکی از اساسی ترین دستورالعمل‌ها برای اجرایی کردن مدیریت بحران زمین لرزه محسوب کرد. در کشور ما، با وجود پژوهش‌های مختلف در ابعاد زلزله و عمدتاً در زمینه‌های فنی، سازه و مدیریت امداد و نجات، به نقش برنامه‌ریزی شهری در کاهش آسیب‌های آن کمتر پرداخته شده است. این در حالی است که بخش عمده‌ای از آسیب‌های زلزله، ناشی از رعایت نکردن اصول و معیارهای برنامه‌ریزی شهری است که با به کارگیری تمهیدات برنامه‌ریزی شهری، ارزیابی درجات آسیب پذیری در مقیاس‌های خرد می‌توان اقدام‌های پیشگیرانه و مؤثرتری در کاهش آسیب‌های زلزله انجام داد.

از جمله تحقیقاتی که پیرامون آسیب پذیری و مدیریت بحران زلزله در بافت شهری انجام شده می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

معین فر و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از منابع دقیق لرزه خیزی و داده‌های حرکت قوی نقشه و برنامه جدیدی برای طراحی مقاوم در برابر زلزله را برای ایران ارائه دادند. مقایسه نقشه‌های زمین لرزه به دست آمده برای کشور ایران با نقشه‌های کشورهای همسایه

1. Lantada
2. Yamazaki
3. Ebert & Kerle
4. NAEss
5. Kreimer et al
6. HwaWang

نشان می‌دهد که توافق نسبتاً خوب با کشورهای واقع در غرب و شمال غربی ایران وجود دارد، در حالی که اختلاف نظر با همسایگان شمال شرقی و شرقی وجود دارد. همکاری‌های آینده بین کشورهای منطقه نقشه پهنه بندی خطر لرزه متحد برای منطقه و کشورهای خاورمیانه ایجاد خواهد کرد. موراتا<sup>۱</sup> (۲۰۱۴) در مقاله‌ای با عنوان آموزش علوم برای پیشگیری و کاهش فاجعه زلزله در توکو شیمای ژاپن به بررسی اقدامات مناسب در پیشگیری از خطرات زلزله پرداخته است. نتایج نشان می‌دهد که پیشگیری همانند دوباره سازی کدهای مناسب ساختمان نیاز به زمان و هزینه بسیار دارد. ریواس مدینا و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۳) نقش GIS را در مطالعات ریسک لرزه‌ای شهر آلمریا اسپانیا مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها در این مطالعه، عوامل مختلفی که بر زمین لرزه تاثیر می‌گذارند مانند: خطرات لرزه‌ای، ویژگی‌های خاک ژئوتکنیکی، آسیب پذیری سازه‌های منطقه، هزینه‌های بازپرداخت ساختمان‌های آسیب دیده و تراکم جمعیت را در محیط GIS ترکیب کردند. نتیجه این مطالعه بر اساس مجموعه‌ای از متغیرهاست که ارائه یک دید جامع از خطر لرزه‌ای شهر ارائه می‌دهد. این نتایج برای تفسیر و تصمیم‌گیری در مدیریت اضطراری توسط کاربران غیر تخصصی طراحی شده‌اند. قربان‌زاده و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از فرایند تحلیل شبکه<sup>۳</sup> و سیستم‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، نقشه حساسیت فرونشست زمین (LSSM) را در شمال غرب کشور تهیه کردند که نتایج حاصل از تحلیل فرونشست زمین با استفاده از عدم قطعیت و مدل ANP در ترکیب با داده‌های کنترل زمینی نشان دهنده‌ی افزایش دقت ۶ درصدی مدل ANP می‌باشد. علیزاده و همکاران (۱۳۹۷) گسل شمال تبریز (NTF) را با توجه به اینکه یکی از مهمترین گسل‌های زلزله در شمال غرب ایران است با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و GIS مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که مناطق جنوبی و جنوب شرقی شهر تبریز دارای ضعف و آسیب پذیری متوسط بوده و مناطق شمال شرقی تحت شرایط شدید آسیب پذیری قرار دارند. دانشور و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی سطح آسیب پذیری بلوک‌های شهری مشهد در برابر خطر زلزله را با استفاده از عوامل فضایی و مدل ANP تعیین کردند. آن‌ها برای طبقه بندی آسیب پذیری بلوک‌های شهر مشهد از پارامترهایی مانند اندازه تمایز زمین‌ها، تراکم جمعیت، مساحت اشغال شده توسط ساختمان‌ها، سن ساختمان‌ها، نزدیکی به گسل استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهد که اولاً نواحی مرکزی و بلوک‌های شهری هشت، سه و چهار برترتیب دارای بیشترین آسیب پذیری بوده و بلوک‌های نه، هفت، شش و ده نسبت به زلزله کمترین آسیب پذیری را دارند. همچنین تجزیه و تحلیل پارامترها با استفاده از AHP ارزش قابل توجهی را برای پارامترهای تمایز زمین نشان داد، در حالی که آزمون همبستگی نشان داد که همبستگی شدید میان پارچه‌های شهری خراب شده و نقشه نهایی (R2 برابر با ۰/۷۵) وجود دارد. محمد پور (۲۰۱۶) در پژوهشی، با ارائه روشی به تحلیل آسیب پذیری لرزه‌ای بافت‌های فرسوده، و نقش مؤثر شاخص‌های برنامه‌ریزی شهری در کنار شاخص‌های سازه‌ای، پرداختند. آن‌ها منطقه ۱۲ تهران و سپس محله سیروس را با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای تحلیل شاخص‌های آسیب پذیر در بافت فرسوده شهری مورد مطالعه قرار دادند نتایج نشان داد که وسعت و پوشش جمعیتی نقاط با آسیب پذیری بالا و بسیار بالا بیشتر است. فونگ و نام<sup>۴</sup> (۲۰۱۸) در مقاله خود به توسعه یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری مبتنی بر WEB-GIS برای خدمات هشدار زلزله در ویتنام پرداختند. این سیستم شامل پایگاه داده آنلاین از زمین لرزه‌های ثبت شده از شبکه لرزه‌ای ملی ویتنام بوده و همچنین مجموعه‌ای از ابزارها برای ارزیابی خطر سریع لرزه‌ای می‌باشد. نقشه‌های لرزش تولید شده از طریق وب به سرعت در دسترس است. استفاده از سیستم پشتیبانی آنلاین تصمیم‌گیری در خدمات هشدار زلزله می‌تواند موجب کاهش خطر زلزله و کاهش تلفات و آسیب‌های ناشی از زمین لرزه در ویتنام در آینده شود. تانیا و داس<sup>۵</sup> (۲۰۱۸) به ارزیابی آسیب پذیری زلزله برای ساختمان‌های RCC شهر گواهاٹی هند پرداختند. از مجموع ۳۱ بخش شهر، پنج بخش با بالاترین تراکم جمعیت و ساختمان‌های بلند به عنوان مناطق آسیب پذیر در نظر گرفته شدند. ساختمان‌ها بر اساس ۹ پارامتر آسیب پذیری عمده موجود در منابع هند طبقه بندی و طبق دستورالعمل FEMA ایالات متحده سفارشی و درجه بندی شده و از نظر آسیب پذیری لرزه‌ای رتبه بندی شده‌اند و در نهایت نقشه ساختمان مقاوم در برابر زلزله را استخراج کردند لیو و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۱۸) با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به ارزیابی و رتبه بندی خطرات

1. Murata
2. Rivas-Medina et al
3. ANP
4. Phuong & Nam
5. Tanaya & Das
6. Lyu et al

جغرافیایی و توزیع فضایی سطوح ارزیابی، با استفاده از یک سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در شهر لانزو<sup>۱</sup> چین پرداختند. در این منطقه تعداد زیادی از گسل‌های ناشی از حرکات غیرتکتونیک قوی وجود دارد. زمین لرزه‌ها موجب سقوط سنگ‌ها و لغزش‌های زمینی می‌شوند و هنگامی که بارش شدید رخ می‌دهد، بسیاری از رسوب‌های شکننده در امتداد دره‌های شیب دار به جریان در می‌آید. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که، حدود ۵۵ درصد از مناطق شهری و ۴۴ درصد از شهرستان‌های گولان<sup>۲</sup> دارای سطوح بالا یا بسیار بالا ریسک هستند و نسبت‌های بالای ریسک فاجعه تا ۳۱ درصد از کل منطقه را شامل می‌شود.

ارومیه نیز به عنوان مرکز شهرستان و مرکز استان آذربایجان غربی با ساختار کالبدی نامناسب شهری، نبود سلسله مراتب دسترسی، کمبود فضاهای عمومی شهری، افزایش تراکم‌های ساختمانی و بارگذاری‌های محیطی، زمینه را برای بروز بحران‌های طبیعی و انسانی ایجاد کرده است. این شهر از نظر پهنه بندی خطر زلزله در استان جزء مناطق با احتمال متوسط وقوع زلزله است (طرح جامع شهر ارومیه، ۱۳۹۰: ۲۸). وقوع زلزله‌های مخرب در گذشته در سلماس در ۷۰ کیلومتری ارومیه و همچنین وقوع زلزله‌های مخرب در شهر تبریز به فاصله ۱۰۰ کیلومتری آن، شناسایی نواحی آسیب پذیر قبل از زلزله و مکان یابی اسکان موقت، مدیریت بحران پس از زلزله را برای این شهر ضروری می‌سازد (قلندرزاده و همکاران، ۲۰۰۳: ۲).

این پژوهش باهدف شناخت شاخص‌های آسیب پذیر بافت شهری ارومیه با استفاده از نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن به عنوان پایه آمار و اطلاعات جمعیتی شهری، به دنبال مدیریت بحران و بلایای طبیعی همچون زلزله در این شهر می‌باشد که با شناسایی مناطق متراکم جمعیتی، بافت فرسوده شهر، خیابان‌های با عرض کم و بافت متراکم ساختمان‌ها، به دنبال کاهش تلفات و خسارات جانی و مالی در صورت وقوع زلزله بوده تا کمک رسانی با کمترین زمان به مناطق آسیب پذیر برسد، بنابراین برنامه‌ریزی در این زمینه لازم و ضروری به نظر می‌رسد. لایه‌های مورد نظر از سازمان‌های مربوطه تهیه و در محیط نرم‌افزار GIS تحلیل شده‌اند وزن دهی لایه‌ها با استفاده از نرم افزار سوپردیزیشن وبه روش ANP انجام گرفته است و در نهایت نقشه پهنه بندی زلزله به روش FANP ارائه شده است.

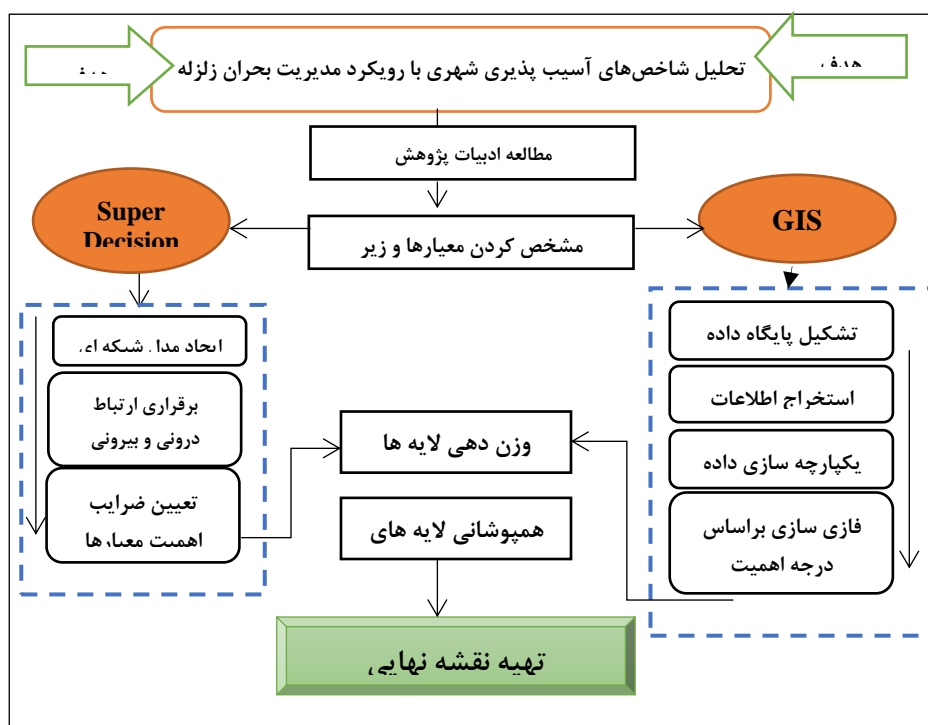
سرشماری عمومی نفوس و مسکن یکی از عمده‌ترین راه‌های شناخت کشورها می‌باشد که با ارائه آمار و اطلاعات صحیح درباره اندازه، ساختار و ویژگی‌های جمعیت ابزار مناسبی برای برنامه‌ریزی، نظارت و کنترل فعالیت‌ها و خدمات صورت گرفته در کشور می‌باشد. در کشور ایران از سال ۱۳۳۵ سرشماری عمومی نفوس و مسکن برای اولین بار آغاز و در سال‌های ۱۳۴۵، ۱۳۵۵، ۱۳۶۵، ۱۳۷۵، ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ اجرا شده است. تا سال ۱۳۹۵ تماماً سرشماری‌ها به صورت کاغذی بوده ولی در سرشماری ۱۳۹۵ بصورت الکترونیکی انجام گرفت. نتایج سرشماری‌ها تا سال ۱۳۷۵ بصورت شهری و روستایی و در حد حوزه منتشر می‌شده است ولی از سال ۱۳۸۵ با دقت شدن نقشه‌ها، نتایج در شهرها و روستاهای دارای نقشه بلوک به صورت بلوک منتشر شده است و اطلاعات جمعیتی تمام بلوک‌های شهری و روستایی به صورت تفکیک منتشر شده و با تجزیه و تحلیل آمار بلوک‌ها می‌توان به اطلاعات بلوک‌های منتسب به مکان‌ها دسترسی پیدا کرد و از این طریق می‌توان تراکم جمعیت، سواد، وضعیت جنسی و سنی بلوک‌ها را شناسایی و از این طریق تفاوت‌های مکانی در داخل محدوده شهری را استخراج نمود. با توجه به در دسترس بودن نتایج آماری بلوک‌های شهر ارومیه در سرشماری‌های اخیر، اطلاعات جمعیتی این بلوک‌ها بصورت آمار و اطلاعات از طریق مرکز آمار استخراج و در اختیار کاربران قرار گرفته و می‌توان با استفاده از این اطلاعات ارزشمند، تجزیه و تحلیل‌های ارزشمند را اجرا نمود. در این مطالعه از نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ و اطلاعات لینک شده با بلوک‌های آماری، نتایج آماری به صورت مکانی و فضای در محیط GIS تحلیل شده و نقشه نهایی ارائه شده است.

## روش پژوهش

پژوهش حاضر از نوع کاربردی و رویکرد حاکم بر آن توصیفی-تحلیلی می‌باشد. برای جمع‌آوری داده‌ها از روش‌های اسنادی استفاده شده است که شامل ۲ بخش می‌باشد:

1. Lanzhou  
2. Gaolan

برای تعیین شاخص‌ها و معیارها از مطالعات کتابخانه‌ای و تحقیقات صورت گرفته و نظرات کارشناسی در این زمینه استفاده شد. همچنین برای تهیه لایه‌های اطلاعاتی از پایگاه‌های داده مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شده است. داده‌ها و لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده از جمله: اطلاعات جمعیتی، مساحت قطعات ساختمانی، اسکلت و مصالح، از آمار بلوک‌های شهری مربوط به سرشماری سال ۱۳۹۵، شیب (DEM ۳۰ متری محدوده مورد مطالعه)، بافت فرسوده شهری، کاربری اراضی، عرض معابر از لایه‌های موجود در شهرداری ارومیه استخراج شدند. که در نهایت با ۹ معیار و ۳۴ زیر معیار، با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه (به عنوان یکی از مهمترین سیستم‌های تصمیم‌گیری چند معیاره) ضرایب اهمیت معیارها مشخص شد در مرحله بعد برای تحلیل داده‌ها از نرم افزار ARC MAP و ابزارهای آن استفاده شده است. که لایه‌های تهیه شده در تناسب با شاخص‌ها، استاندارد سازی شدند و بر اساس هدف تحقیق ادغام و همپوشانی لایه‌ها صورت گرفت و در نهایت نقشه نهایی به دست آمد که شکل (۱) روند کلی پژوهش را نشان می‌دهد.

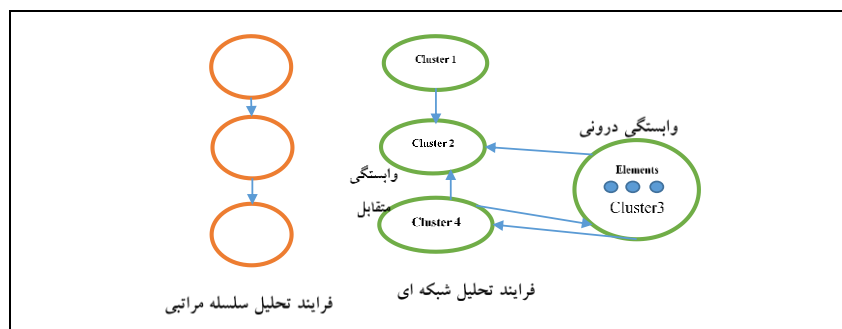


شکل ۱. روند کلی پژوهش

تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS-MCDA) یک روش مدل سازی قدرتمند در علوم فضایی است. GIS و MCDA برای حل انواع مسائل فضایی با هم ترکیب شده‌اند (فیضی‌زاده و قربان زاده، ۲۰۱۷). فرآیند تحلیل شبکه (ANP) یکی از رایج ترین تکنیک های GIS-MCDA است و به طور گسترده ای در وزندهی معیارها برای اهداف مدل سازی استفاده شده است (ساعتی، ۱۹۹۶). این روش نوعی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) است که در زمینه برنامه‌های شبکه به منظور به حداقل رساندن اشتباهات در یک AHP سنتی (چین و یانگ<sup>۱</sup>، ۲۰۱۱) توسعه داده شده است. فرآیند تحلیل شبکه‌ای چون حالت عمومی AHP و شکل گسترده آن است، بنابراین تمام ویژگی‌های مثبت آن از جمله سادگی، انعطاف پذیری، به کارگیری معیارهای کمی و کیفی به طور همزمان و قابلیت سازگاری در قضاوت‌ها را دارا بوده و مضافاً می‌تواند ارتباطات پیچیده (وابستگی‌های متقابل و بازخورد) بین و میان عناصر تصمیم را با بکارگیری ساختار شبکه‌ای بجای ساختار سلسله مراتبی در نظر بگیرد (شکل ۲) (گارسیا ملون<sup>۲</sup>، ۲۰۰۸: ۱۴۵).

1. Chen and Yang

2. Garcia-Melon



شکل ۲. تفاوت بین فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و شبکه (منبع: زبردست، ۲۰۱۰)

ANP را می‌توان متشکل از ۲ قسمت دانست: سلسله مراتب کنترلی و ارتباط شبکه‌ای، سلسله مراتب کنترلی ارتباط بین هدف معیار و زیرمعیارها را شامل شده و بر ارتباط دورنی سیستم تاثیرگذار است و ارتباط شبکه‌ای وابستگی بین عناصر و خوشه‌ها را شامل می‌شود (ساعتی، ۱۹۹۱: ۱). این قابلیت ANP امکان در نظر گرفتن وابستگی‌های متقابل بین عناصر را فراهم آورده و در نتیجه نگرش دقیقی به مسائل پیچیده شهرسازی ارائه می‌کند. تاثیر عناصر بر عناصر دیگر در یک شبکه توسط یک سوپر ماتریس در نظر گرفته می‌شود (زبردست، ۲۰۱۰: ۸). فرایند تحلیل شبکه‌ای را در چهار مرحله زیر می‌توان خلاصه کرد:

۱. ساختار مدل و تبدیل مسئله/موضوع به یک ساختار شبکه‌ای

۲. تشکیل ماتریس مقایسه دودویی و تعیین بردارهای اولویت

عناصر تصمیم در هر یک از خوشه‌ها (به صورت دورنی و بیرونی) بر اساس میزان اهمیت آن‌ها در ارتباط با معیارهای کنترلی دو به دو مقایسه می‌شوند. اهمیت نسبی عناصر بر اساس مقیاس ۹ کمیته ساعتی سنجیده می‌شود (همانند AHP). در این قسمت بردار اهمیت داخلی محاسبه می‌شود که نشانگر اهمیت نسبی (ضریب اهمیت) عناصر یا خوشه هاست، که از طریق رابطه ۱ بدست می‌آید.

$$Aw = \lambda_{max}W \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن A: ماتریس مقایسه دودویی معیارها، W: بردار ویژه (ضریب اهمیت،  $\lambda_{max}$ : بزرگترین مقدار ویژه عددی است.

جدول ۱. عبارتهای کلامی جهت مقایسه‌های زوجی برای بیان درجه اهمیت

ضرایب اهمیت	شرح
۱	اهمیت برابر
۳	اهمیت متوسط
۵	اهمیت قوی یا ضروری
۷	اهمیت بسیار قوی
۹	اهمیت فوق العاده
۲،۴،۶،۸	ارزش متوسط

منبع: ساعتی، ۱۹۹۶

۳. تشکیل سوپرماتریس و تبدیل آن به سوپر ماتریس حد

$$w_n = \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} \left| \begin{matrix} 0 & 0 & 0 \\ w_{21} & 0 & 0 \\ 0 & w_{32} & 1 \end{matrix} \right.$$

رابطه ۲

در این سوپرماتریس،  $W_{21}$  برداری است که اثرات هدف بر روی معیارها و  $W_{32}$  اثرات معیارها بر روی گزینه‌ها را نشان می‌دهند و I ماتریس واحد است. اگر معیارها دارای تاثیرات متقابل باشند، فرایند سلسله مراتبی به فرایند شبکه‌ای تبدیل می‌شود. تاثیرات متقابل معیارها بر یکدیگر از طریق وارد کردن ماتریس  $W_{22}$  در سوپرماتریس  $W_n$  بشرح زیر امکان پذیر است:

$$W_n = \begin{matrix} 1 & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ W_{21} & W_{22} & 0 \\ 0 & W_{32} & I \end{bmatrix} \\ 2 & \\ 3 & \end{matrix}$$

رابطه ۳

این نو ماتریس را سوپرماتریس اولیه می‌نامند. با جایگزینی بردار اولویت‌های داخلی (ضرایب اهمیت) عناصر و خوشه‌ها در سوپرماتریس اولیه، سوپرماتریس ناموزون بدست می‌آید. در مرحله بعد، سوپرماتریس موزون از طریق ضرب مقادیر سوپرماتریس ناموزون در ماتریس خوشه‌ای محاسبه می‌شود. سپس از طریق نرمالیزه کردن سوپرماتریس موزون، سوپرماتریس از نظر ستونی به حالت تصادفی تبدیل می‌شود (ساعتی، ۱۹۹۱). در مرحله سوم و نهایی، سوپرماتریس حد با به توان رساندن تمامی عناصر سوپرماتریس موزون تا زمانی که واگرایی حاصل شود (از طریق تکرار)، یا به عبارت دیگر تمامی عناصر سوپرماتریس همانند هم شوند، محاسبه می‌شود:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} W^k$$

رابطه ۴

۴. انتخاب گزینه برتر

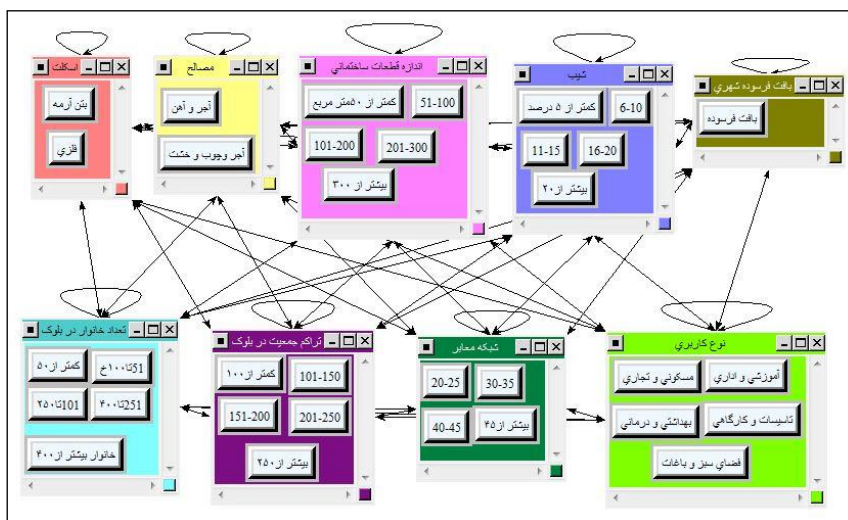
اگر سوپرماتریس تشکیل شده در مرحله سوم، کل شبکه را در نظر گرفته باشد، اولویت کلی گزینه‌ها از ستون مربوط به گزینه‌ها در سوپرماتریس حد نرمالیزه شده قابل حصول است و اگر سوپرماتریس، فقط بخشی از شبکه که وابستگی متقابل دارند را شامل شود و گزینه‌ها در سوپرماتریس در نظر گرفته نشوند، محاسبات بعدی لازم است صورت گیرد تا اولویت کلی گزینه‌ها بدست آید. گزینه‌ای که بیشترین اولویت را داشته باشد، به عنوان برترین گزینه برای موضوع مورد نظر انتخاب می‌شود (زبردست، ۱۳۸۹: ۸۲). روش‌های مختلف برای ارزیابی سازگاری وجود دارد، ضریب سازگاری (CR) شاخص محبوبیت و هماهنگی عملی است که برای ماتریس‌های مقایسه دو دویی در ANP استفاده می‌شود (ساعتی، ۱۹۹۰). CR به صورت زیر بیان می‌شود:

$$CR = \frac{\lambda_{max} - n}{RI(n-1)}$$

رابطه ۵

$\lambda_{max}$ : حداکثر مقدار خاصی از ماتریس A است؛ RI: تعداد معیارها؛ n ترتیب ماتریس A است که با ماتریس مقایسه دودویی مقایسه می‌شود (مالچسکی و رینر<sup>۱</sup>، ۲۰۱۵) اگر CR کوچکتر از ۰/۱ باشد ماتریس به دست آمده قابل قبول و سازگار می‌باشد. معیارهای مورد استفاده در این تحقیق در ۹ خوشه (۵ خوشه استخراج شده از بلوک‌های سرشماری سال ۱۳۹۵) شامل: نوع اسکلت، نوع مصالح، مساحت قطعات ساختمانی، تراکم جمعیت در بلوک، تعداد خانوار در بلوک، عرض معابر، نوع کاربری، شیب، بافت فرسوده می‌باشند. هر کدام از خوشه‌ها دارای زیر معیارهایی هستند که بر اساس هدف تحقیق و با تشکیل پایگاه داده استاندارد سازی شده و جمعاً دارای ۳۴ زیر معیار می‌باشند (شکل ۲). در هر خوشه مجموعه‌ای از زیر معیارها قرار دارند که به عنوان گره‌های شبکه شناخته می‌شوند. زیر معیارها علاوه بر این که در هر گره باهمدیگر رابطه دارند (ارتباط درونی)، با گره‌های درون سایر خوشه‌ها نیز ارتباط دارند (ارتباط بیرونی).

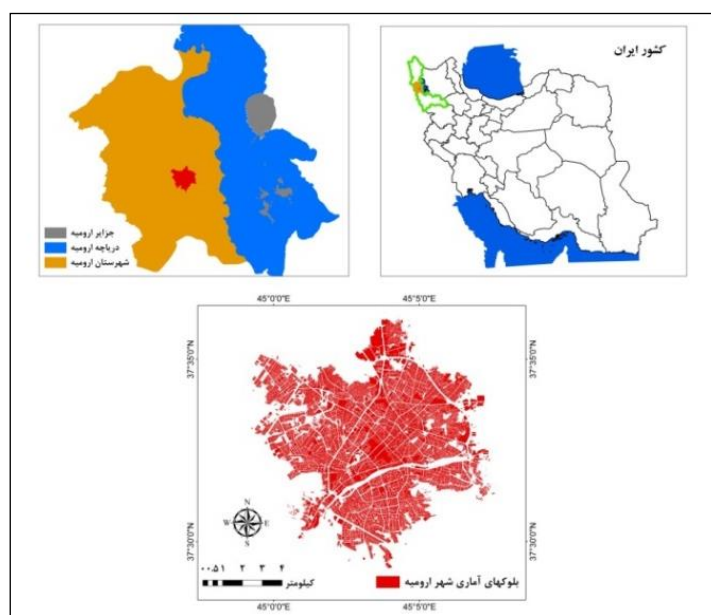
پس از تدوین ساختار شبکه‌ای مدل و برقراری ارتباط درونی و بیرونی، تحلیل و مقایسه زوجی میان معیارها و زیر معیارها بر اساس نظرات کارشناسان و پژوهشگران، با استفاده از نرم افزار Super Decision انجام گرفت و ضرایب اهمیت معیارها و زیر معیارها به دست آمد و در نهایت میزان ناسازگاری مدل مشخص گردید. در مدل تحلیل شبکه‌ای، سوپرماتریس از سه نوع ماتریس تشکیل می‌شود که هر یک تکمیل کننده یکدیگر در به دست آوردن جواب نهایی است. در مرحله اول، سوپرماتریس بدون وزن، به طور مستقیم از اوزان به دست آمده از ماتریس مقایسات زوجی ایجاد می‌شود. در مرحله دوم سوپرماتریس وزندار از طریق ضرب کردن مقادیر سوپرماتریس بدون وزن در وزن گروه مربوطه حاصل می‌شود. در آخرین مرحله، سوپرماتریس محدود شده محاسبه می‌شود.



شکل ۳. ساختار شبکه‌ای تحلیل شاخص‌های آسیب پذیری شهری با رویکرد مدیریت بحران زلزله

### قلمرو جغرافیایی پژوهش

شهر ارومیه روی مدار ۳۷ درجه و ۳۲ دقیقه در نیم‌کره شمالی از خط استوا قرار گرفته است. همچنین این شهر روی نصف النهار ۴۵ درجه و ۲ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد که با ارتفاع ۱۳۳۲ متر از سطح آب‌های آزاد قرار دارد. ارومیه بین دریاچه ارومیه و دیواره کوه‌های غرب استان آذربایجان غربی واقع شده است (سالنامه آماری استان آذربایجان غربی، ۱۳۹۵). بر پایه نتایج آخرین سرشماری عمومی نفوس و مسکن، در سال ۱۳۹۵، تعداد جمعیت و خانوار ساکن شهر ارومیه به ترتیب برابر با ۷۳۶۲۲۴ نفر و ۲۲۵۰۵۰ خانوار بوده است. که در این تحقیق چون محدوده گل‌مانخانه جز منطقه مورد مطالعه نبوده و از نظر مکانی خارج از محدوده است از جمعیت گل‌مانخانه صرف نظر شده و فقط محدوده مورد مطالعه (شکل ۴) مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵ و با پایه اطلاعات به دست آمده از بلوک‌های آماری تعداد جمعیت و خانوار محدوده مورد نظر به ترتیب ۷۲۷۰۶۶ نفر و ۲۲۲۷۳۷ خانوار می‌باشد. محدوده مورد مطالعه ۹۷/۸۳ درصد از جمعیت شهرستان ارومیه را در خود جای داده است (اطلاعات بلوک‌های سه و پایین تر از ۳ خانوار لحاظ نشده است).



شکل ۴. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

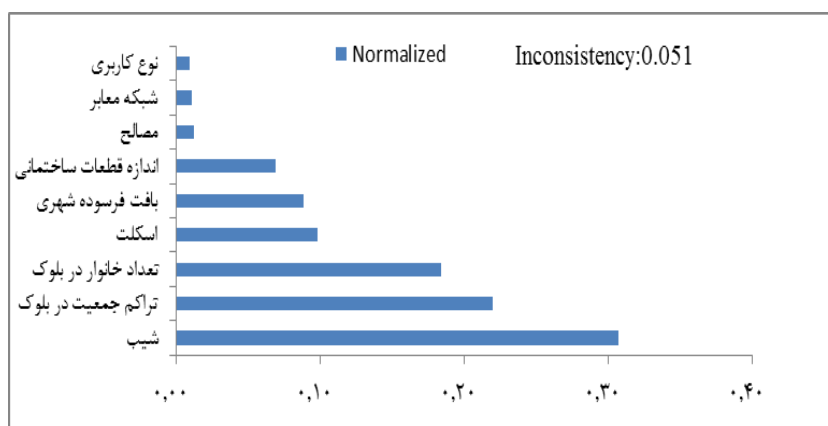


## یافته‌ها و بحث

نتایج حاصل از مدل تحلیل شبکه نشان می‌دهد که شیب بیشترین تاثیر را در شناخت مناطق آسیب پذیر در هنگام وقوع زلزله در شهر ارومیه را دارد، تراکم جمعیت و تعداد خانوار در بلوک در مراتب بعدی اهمیت قرار دارند، شیب‌های بیشتر از ۲۰ درصد نیز در بین زیرمعیارها با وزن ۰/۱۷ بیشترین نقش را در شناخت نواحی آسیب پذیر دارند. زیر معیارهای تراکم جمعیت بیشتر از ۲۵۰ نفر در بلوک با وزن ۰/۱۱ و تراکم خانوار بیشتر از ۴۰۰ خانوار در بلوک با وزن ۰/۱۰ به ترتیب بیشترین اهمیت‌ها را به خود اختصاص داده اند.

جدول ۲. وزن نهایی به دست آمده برای معیارها و زیر معیارها

معیارها	زیر معیارها	نرمالیزه شده از طریق خوشه‌ها	وزن زیر معیارها	وزن نهایی
نوع اسکلت	بتن آرمه	-/۱۴۶۶۷	۰/۱۴۲۸۵	۰/۰۹۷۳۹۶
	فلزی	-/۸۵۳۳۳	۰/۰۸۳۱۱۱	
زیر بنا ساختمان‌ها (متر مربع)	کمتر از ۵۰	-/۴۷۶۸۲	۰/۰۳۲۷۷۳	۰/۰۳۵۹۶۰
	۵۱-۱۰۰	-/۲۹۴۳۹	۰/۰۲۰۲۳۴	
	۱۰۱-۲۰۰	-/۱۲۵۲۱	۰/۰۰۸۶۰۶	
	بیشتر از ۳۰۰	-/۰۶۸۵۸	۰/۰۰۴۷۱۴	
تراکم جمعیت در بلوک (نفر در هکتار)	کمتر از ۱۰۰	-/۰۲۷۲۸	۰/۰۰۵۹۹۲	۰/۰۲۱۹۶۶۳
	۱۰۱-۱۵۰	-/۰۰۵۲۵	۰/۰۱۱۵۳۳	
	۱۵۱-۲۰۰	-/۱۲۴۰۴	۰/۰۲۷۲۴۷	
	بیشتر از ۲۵۰	-/۲۵۸۵۱	۰/۰۰۵۶۷۸۶	
خانوار جمعیتی در بلوک	کمتر از ۵۰	-/۰۲۶۶۹	۰/۰۰۴۹۲۳	۰/۰۱۸۴۴۲۰
	۵۱-۱۰۰	-/۰۰۵۴۸۱	۰/۰۱۰۱۰۸	
	۱۰۱-۲۵۰	-/۱۱۲۴۴	۰/۰۲۰۷۳۶	
	خانوار بیشتر از ۴۰۰	-/۲۵۳۶۱	۰/۰۴۶۷۷۱	
عرض معابر	۲۵-۲۰	-/۵۸۷۹۲	۰/۰۰۷۶۱۳	۰/۰۱۲۹۴۹
	۳۰-۳۵	-/۳۷۱۳۷	۰/۰۰۳۵۱۴	
	۴۰-۴۵	-/۰۴۰۴۷	۰/۰۰۰۵۲۴	
	بیشتر از ۴۵	-/۱۰۰۲۴	۰/۰۰۱۲۹۸	
شیب به درصد	کمتر از ۵ درصد	-/۰۳۰۲۶	۰/۰۰۹۲۴۷	۰/۰۳۰۵۶۱۹
	۶ تا ۱۰	-/۰۵۲۶۹	۰/۰۱۶۱۰۳	
	۱۱ تا ۱۵	-/۱۰۴۵۶	۰/۰۳۱۹۵۶	
	بیشتر از ۲۰	-/۲۲۵۳۸	۰/۰۷۱۹۳۸	
نوع مصالح	آجر و آهن	-/۱۴۲۸۸	۰/۰۰۱۷۴۵	۰/۰۱۲۳۱۳
	آجر و چوب و خشت	-/۸۵۷۱۲	۰/۰۱۰۴۶۸	
نوع کاربری	آموزشی و اداری	-/۲۳۴۳۶	۰/۰۰۲۲۷	۰/۰۰۹۶۸۶
	بهداشتی و درمانی	-/۱۲۱	۰/۰۰۱۱۷۲	
	تاسیسات و کارگاهی	-/۰۵۰۵۹	۰/۰۰۰۴۹	
	فضای سبز و باغات	-/۰۲۴۷۸	۰/۰۰۰۲۴	
بافت فرسوده	بافت فرسوده	۱/۰۰۰۰	۰/۰۸۹۳۳۴	۰/۰۸۹۳۳۴



شکل ۵. اوزان به دست آمده برای معیارها و محاسبه ناسازگاری آن‌ها

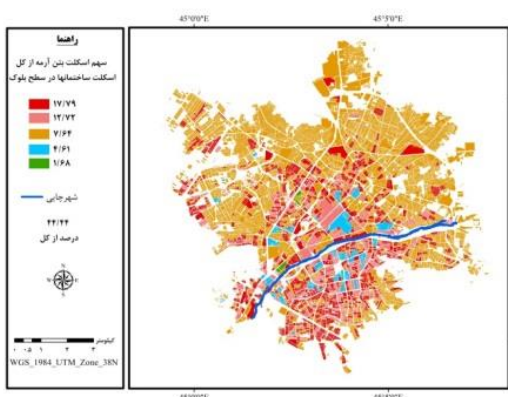
ناسازگاری مدل نیز برابر با ۰/۰۵۱ می‌باشد که این مقدار باید کمتر یا برابر ۰/۱ باشد، که بیانگر درستی و صحت مدل است.

### ورود داده‌ها به GIS و تهیه نقشه‌ها

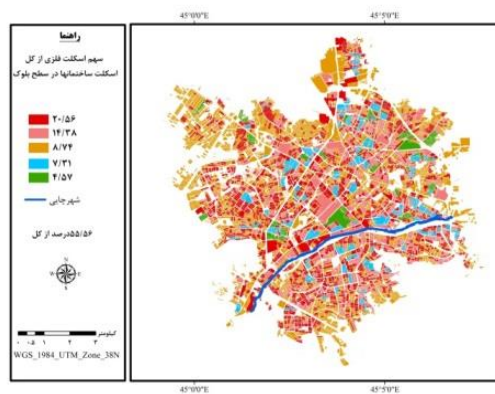
در این مرحله از تحقیق با ایجاد پایگاه داده‌های مکانی و تحلیل‌های مکانی و توصیفی نقشه‌های مورد نیاز برای زیر معیارها تهیه شده و بر اساس اهداف پژوهش استاندارد سازی شده است که در ادامه به تفصیل بیان می‌شود.

### آسیب پذیر ناشی از نوع اسکلت

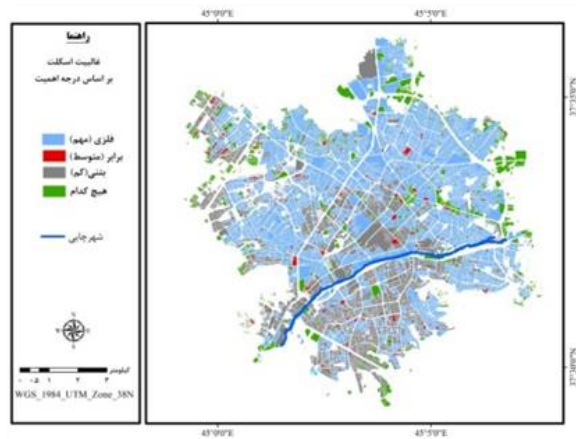
بر اساس تعاریف مرکز آمار ایران، اسکلت بتن آرمه عبارت است: ساختمانی که پیکربندی و اتصالات آن به منظور مقاومت در برابر نیروهای داخلی و خارجی (ثقلی و جانبی) از بتن و میل‌گرد استفاده شده و اگر از قطعات فولادی استفاده شود، اسکلت فلزی خواهد بود (مرکز ملی آمار ایران، ۲۰۱۴). با توجه به سرشماری سال ۱۳۹۵ و اطلاعات لینک شده با بلوک‌های آماری شهر ارومیه، اسکلت ساختمان‌ها از نوع فلزی و بتن آرمه می‌باشند. با توجه به این که اسکلت فلزی نسبت به بتن آرمه، آسیب پذیری بیشتری در برابر زلزله دارد در این تحقیق بیشترین درجه اهمیت به اسکلت فلزی و کمترین درجه اهمیت به اسکلت بتن آرمه اختصاص داده شده است. همچنین در بلوک‌های مورد مطالعه تعداد ساختمان‌های دارای اسکلت فلزی یا بتنی، در بعضی از بلوک‌ها باهم برابر بوده که درجه اهمیت متوسط را به خود اختصاص داده اند و بلوک‌های فاقد اطلاعات کمترین درجه اهمیت را شامل شده‌اند.



سهم اسکلت بتنی



سهم اسکلت فلزی

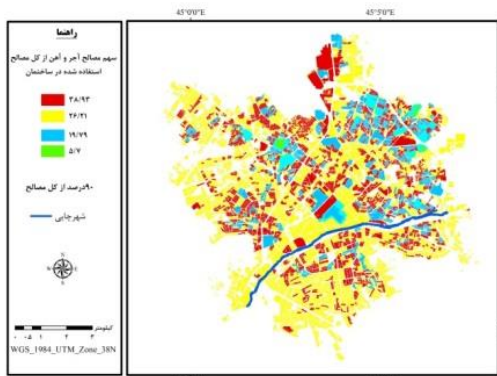


شکل ۶. غالبیت و درصد اسکلت فلزی و بتن آرمه در سطح بلوک-های آماری شهر ارومیه

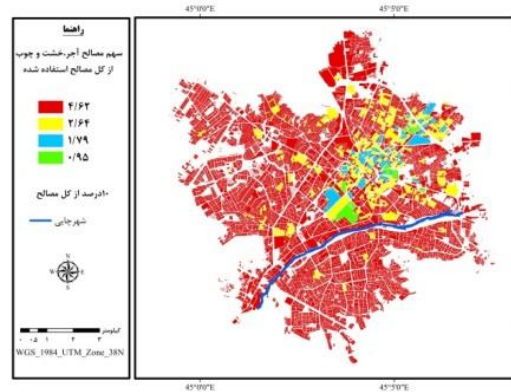
با توجه به شکل (۵) سهم اسکلت فلزی از کل اسکلت ساختمان‌ها در سطح بلوک ۵۵/۵۶ درصد بود و این مقدار برای اسکلت بتن آرمه برابر با ۴۴/۴۴ درصد می‌باشد. همچنین ۵۹۹۴۵ واحد ساختمانی دارای اسکلت فلزی، ۴۳۵۵۵ واحد دارای اسکلت بتن آرمه می‌باشند.

### آسیب پذیری ناشی از نوع مصالح

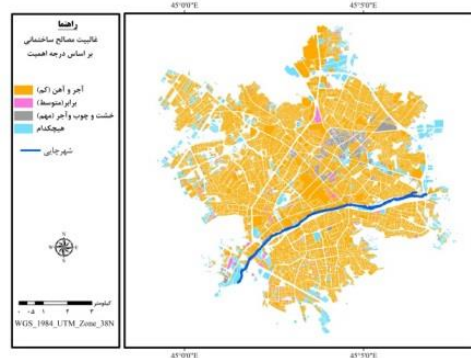
مصالح خشت و چوب نسبت به مصالح آهن و آجر آسیب پذیری بیشتری در برابر زلزله داشته و خیلی زود تخریب می‌شوند. در این تحقیق به مصالح خشت و چوب درجه اهمیت بیشتری از آجر و آهن داده شد، که ۱۰ درصد از مصالح خشت و چوب، ۹۰ درصد از مصالح آجر و آهن می‌باشند. ۹۱۳۸۳ واحد ساختمانی از مصالح آجری و آهن و ۱۰۱۳۸ واحد از مصالح خشت و چوب ساخته شدند.



سهم مصالح آجر و آهن



سهم مصالح خشت و گل و چوبی

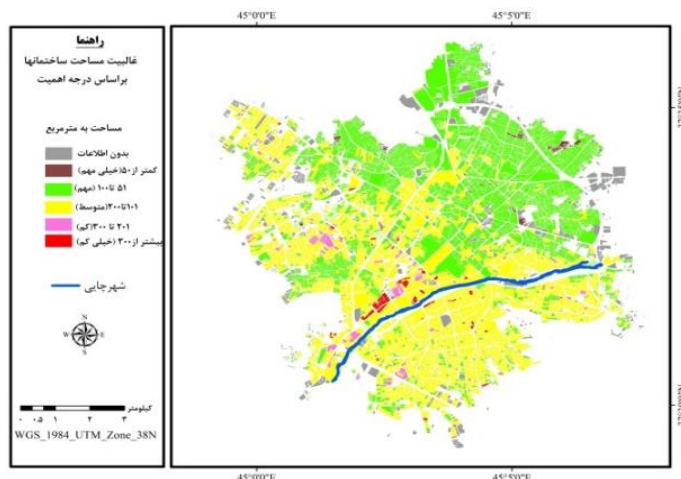


غالبیت مصالح

شکل ۷. غالبیت و درصد مصالح به کار رفته در سطح بلوک‌های آماری شهر ارومیه

### آسیب پذیری ناشی از مساحت قطعات ساختمانی

هر چقدر اندازه قطعات ساختمانی کوچکتر باشد آسیب پذیری ناشی از زلزله بالاتر می‌رود. در این تحقیق مساحت قطعات ساختمانی به ۵ گروه تقسیم بندی شد که کمترین مساحت بیشترین درجه اهمیت و بیشترین مساحت کمترین درجه اهمیت را در آسیب پذیری ناشی از زلزله به خود اختصاص داده‌اند.



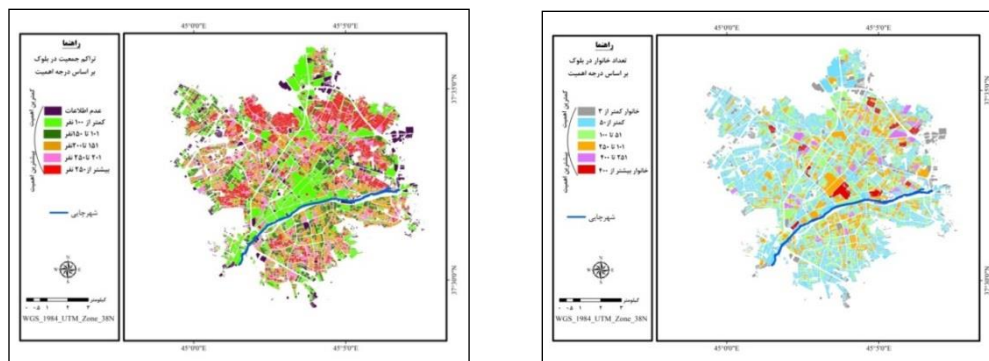
شکل ۸. غالبیت مساحت قطعات ساختمانی در سطح بلوک‌های آماری شهر ارومیه

### آسیب پذیری ناشی از تعداد خانوار در بلوک

هر چقدر تعداد خانوار در بلوک بیشتر باشد آسیب پذیر ناشی از زلزله در واحدهای ساختمانی و در نتیجه میزان تلفات جانی و مالی بیشتر می‌شود. ازدحام و شلوغی، مختل شدن و سختتر شدن شرایط فرار و پناه گیری، امداد رسانی از نتایج تعداد زیاد خانوار در شرایط وقوع زلزله است. بررسی‌های نشان می‌دهد که بلوک‌های دارای خانوار کمتر از ۵۰ نفر با تعداد ۱۰۶۳۱۶ خانوار، ۴۷/۷۳ درصد، خانوارهای بین ۵۱ تا ۱۰۰ با تعداد ۵۱۵۶۲ خانوار ۲۳/۱۵ درصد، خانوارهای بین ۱۰۱ تا ۲۵۰ با تعداد ۴۸۰۲۰ خانوار ۲۱/۵۵ درصد، خانوارهای بین ۲۵۱ تا ۴۰۰ با تعداد ۹۳۸۲ خانوار ۴/۲۲ درصد، خانوارهای بیشتر از ۴۰۰ با تعداد ۷۴۵۷ خانوار ۳/۳۵ درصد، از کل خانوار را به خود اختصاص داده‌اند.

### آسیب پذیری ناشی از تراکم جمعیت در بلوک

تراکم جمعیتی یکی از فاکتورهای مؤثر در آسیب پذیری می‌باشد. هر چه تراکم جمعیتی بیشتر باشد، در هنگام وقوع زلزله، امکان امداد رسانی محدودتر می‌شود چون ازدیاد جمعیت باعث کندی تردد و ترافیک می‌شود. تراکم جمعیتی بالا آسیب پذیری بیشتری را نسبت به تراکم جمعیتی پایین به دنبال دارد. شکل (۹) و جدول (۳) تراکم جمعیت در سطح بلوک‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



تراکم جمعیت در بلوک

خانوار در بلوک

شکل ۹. تعداد خانوار و تراکم جمعیت در بلوک بر اساس درجه اهمیت

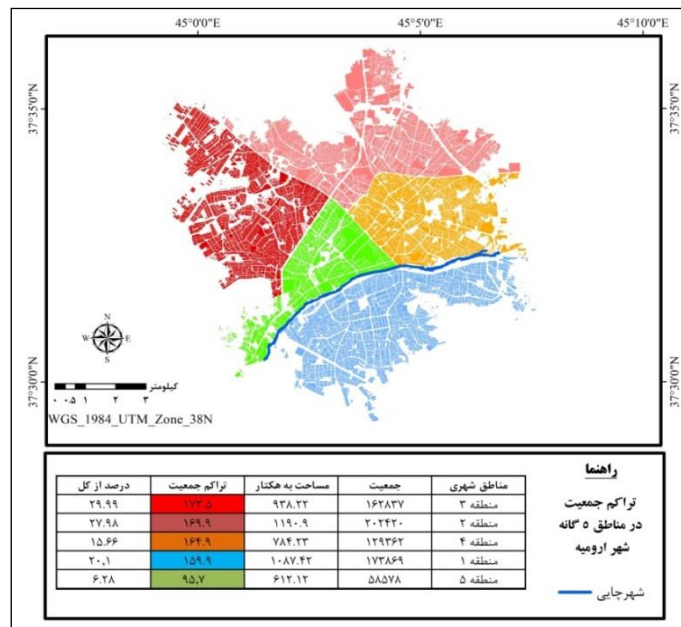
با توجه به بلوک‌های آماری تراکم جمعیت کمتر از ۱۰۰ نفر در هکتار با ۸۱۰ بلوک و مجموع مساحت ۱۳۷۳/۹۳ هکتار، تراکم جمعیت ۴۷/۳ نفر را دارند که ۳/۳۵ درصد از کل تراکم جمعیت در سطح بلوک را شامل می‌شود. تراکم جمعیت ۱۰۱ تا ۱۵۰ نفر در هکتار با ۸۸۵ بلوک و مجموع مساحت ۶۶۶/۵۵ هکتار، تراکم جمعیت ۱۲۸/۷ نفر را دارند که ۷/۶۳ درصد از کل تراکم جمعیت در سطح بلوک را شامل می‌شود. تراکم جمعیت ۱۵۱ تا ۲۰۰ نفر در هکتار با ۱۲۳۷ بلوک و مجموع مساحت ۸۷۳/۳۹ هکتار، تراکم جمعیت ۱۷۵/۹ نفر را دارند که ۱۴/۷۱ درصد از کل تراکم جمعیت در سطح بلوک را شامل می‌شود. تراکم جمعیت ۲۰۱ تا ۲۵۰ نفر در هکتار با ۱۰۳۳ بلوک و مجموع مساحت ۵۹۷/۵۱ هکتار، تراکم جمعیت ۲۲۴/۱ نفر را دارند که ۱۵/۶۴ درصد از کل تراکم جمعیت در سطح بلوک را شامل می‌شود. تراکم جمعیت بیشتر از ۲۵۰ نفر در هکتار با ۲۱۶۵ بلوک و مجموع مساحت ۸۹۴/۸۴ هکتار، تراکم جمعیت ۳۲۲/۵ نفر را دارند که ۵۸/۶۵ درصد از کل تراکم جمعیت در سطح بلوک را شامل می‌شود.

جدول ۳. تراکم جمعیت در سطح بلوک‌های آماری شهر ارومیه (۱۳۹۵)

رتبه بندی تراکم جمعیت	جمعیت	مساحت به هکتار	تراکم جمعیت	درصد از کل
کمتر از ۱۰۰ نفر	۶۵۰۸۰	۱۳۷۳/۹۳	۴۷/۳	۳/۳۵
۱۰۱ تا ۱۵۰	۸۵۸۳۴	۶۶۶/۵۵	۱۲۸/۷	۷/۶۳
۱۵۱ تا ۲۰۰	۱۵۳۶۵۱	۸۷۳/۳۹	۱۷۵/۹	۱۴/۷۱
۲۰۱ تا ۲۵۰	۱۳۳۸۷۲	۵۹۷/۵۱	۲۲۴/۱	۱۵/۶۴
بیشتر از ۲۵۰	۲۸۸۶۲۹	۸۹۴/۸۴	۳۲۲/۵	۵۸/۶۵

منبع: مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵

با توجه به اینکه شهر ارومیه به ۵ منطقه شهری تقسیم می‌شود بیشترین تراکم جمعیت در منطقه ۳ با ۱۷۳/۵ نفر در هکتار که ۲۹/۹۹ درصد را به خود اختصاص داده است و کمترین آن در منطقه ۵ با ۹۵/۷ نفر در هکتار که ۶/۲۸ درصد را شامل می‌شود. منطقه ۲ با ۱۶۹/۹ نفر در هکتار ۲۷/۹۸ درصد، منطقه ۱ با ۱۵۹/۹ نفر در هکتار ۲۰/۰۹ درصد و منطقه ۴ با ۱۶۴/۹ نفر در هکتار ۱۵/۶۶ درصد را به خود اختصاص داده‌اند. شکل (۱۰) تراکم جمعیت در مناطق ۵ گانه شهر ارومیه را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰. تراکم جمعیت در سطح مناطق ۵ گانه شهر ارومیه

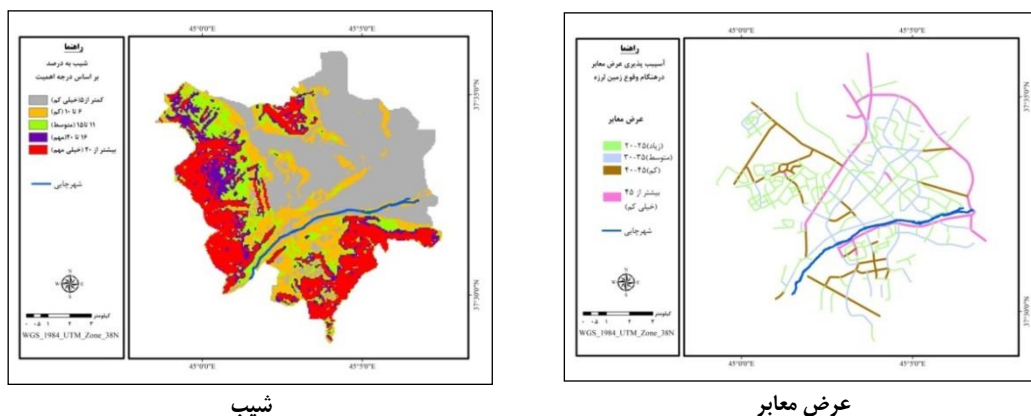
### آسیب پذیری ناشی از شبکه معابر و شیب منطقه

با افزایش عرض معابر در سطح شهر امکان امداد رسانی و مدیریت بحران ناشی از زلزله افزایش پیدا می‌کند. بلوک‌ها و ساختمان‌های واقع در کنار معابر با عرض بیشتر از ۴۵ متر در هنگام زلزله آسیب پذیر کمتری داشته و کمک رسانی آسانتر است و

معايير با عرض ۲۰ تا ۲۵ متر آسیب زیادی را متوجه می‌شوند (به دلیل عدم وجود لایه شبکه معابر کمتر از ۲۰ متر، معابر کمتر از ۲۰ متر در مطالعه آورده نشده است).

### شیب منطقه

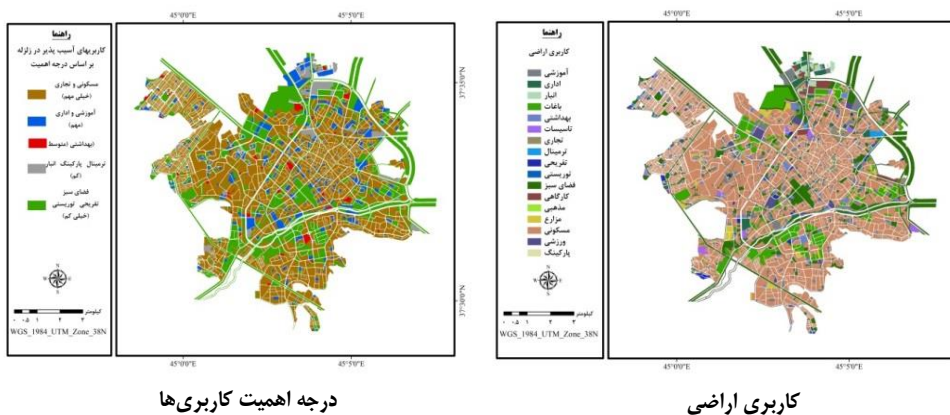
شیب یکی از مهمترین عوامل طبیعی تاثیر گذار بر روی کاربری‌های شهری در هنگام وقوع زلزله می‌باشد و کاربری‌های واقع در مناطق پرشیب فارغ از نوع آن بیشترین میزان آسیب را نسبت به کاربری‌های واقع در نواحی کم شیب دارند. با توجه به جدول (۱) نیز شیب بیشترین وزن (۳۰/۰ درصد) را در بین سایر معیارها به خود اختصاص داده است حاکی از اهمیت این شاخص در پهنه بندی وقوع زلزله و تاثیر آن در آسیب پذیری ناشی از آن می‌باشد. با توجه به شیب منطقه، این شاخص به ۵ گروه تقسیم بندی شده که شیب‌های بیشتر از ۲۰ درصد بیشترین میزان آسیب پذیری و شیب‌های کمتر از ۵ درصد کمترین میزان آسیب پذیری را دارند.



شکل ۱۱. آسیب پذیری عرض معابر و شیب در هنگام وقوع زلزله

### آسیب پذیر ناشی از نوع کاربری

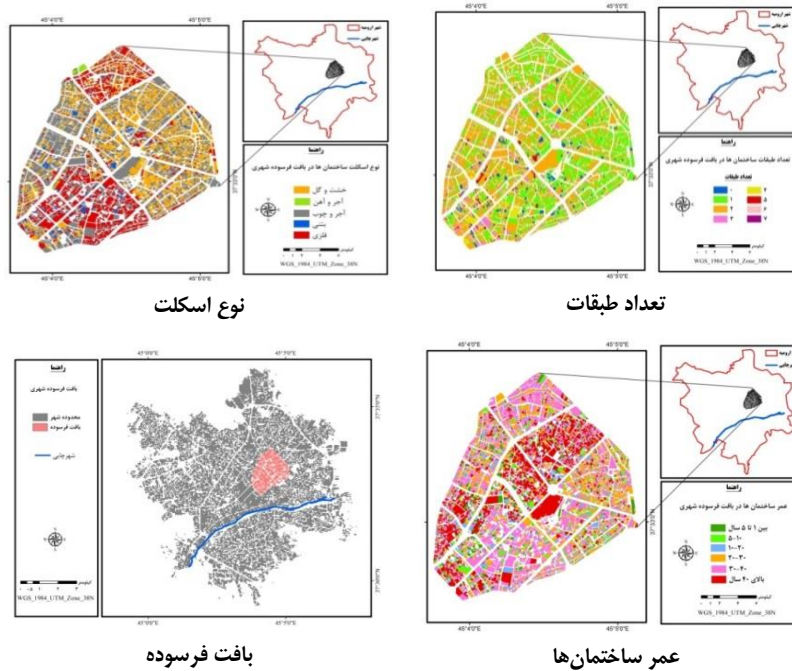
کاربری‌های موجود در شهر از نظر نوع آسیب پذیری متفاوتند. همان طور که در شکل (۱۲) مشخص است کاربری‌های موجود در شهر بر اساس میزان آسیب پذیری در برابر زلزله در ۵ گروه تقسیم بندی شدند که اراضی مسکونی و تجاری با ۵۶ درصد از بیشترین سطح از کاربری‌ها را شامل شده که درجه آسیب پذیری خیلی بالایی را دارند و کاربری‌های مربوط به فضای سبز با ۳۰ درصد از مساحت کمترین میزان آسیب پذیری را نشان می‌دهند. کاربری‌های آموزشی و اداری با ۸ درصد از مساحت، بهداشتی و درمانی با ۲ درصد، ترمینال پارکینگ و انبار با ۴ درصد در مراتب بعدی اهمیت قرار دارند.



شکل ۱۲. کاربری‌های آسیب پذیر در برابر زلزله بر اساس درجه اهمیت (منبع: شهرداری ارومیه)

### آسیب پذیری ناشی از بافت فرسوده شهری

بافت فرسوده شهری نیز از عوامل مؤثر دیگر در آسیب پذیری است. اگر کیفیت ابنیه واحدهای ساختمانی نوساز باشد آسیب پذیری آن‌ها کم هست و اگر کیفیت ابنیه واحدهای ساختمانی جزو تخریبی و مخروبه باشند آسیب پذیری آن‌ها زیاد خواهد بود. لایه بافت فرسوده شهری در این تحقیق به عنوان یک لایه باینری مورد استفاده قرار گرفته است که بافت فرسوده بیشترین اهمیت (ارزش ۱) و بقیه مساحت شهری کمترین اهمیت (ارزش صفر) را دارا می‌باشند. برای شناخت بیشتر از بافت فرسوده شهری عمر ساختمانها و تعداد طبقات ساختمانی و نوع اسکلت و مصالح به کار رفته در این محدوده در شکل (۱۳) نشان داده شده‌اند.



شکل ۱۳. برخی از ویژگی‌های بافت فرسوده شهر ارومیه (منبع: شهرداری ارومیه)

در محدوده بافت فرسوده شهر ۴۷۲ واحد بدون طبقه، ۱۰۰۸۳ واحد یک طبقه، ۷۸۷۷ واحد دو طبقه، ۸۵۱ واحد سه طبقه، ۱۷۱ واحد چهار طبقه، ۵۴ واحد پنج طبقه، ۱۲ واحد شش طبقه، ۶ واحد هفت طبقه می‌باشد یعنی اکثریت ساختمان‌ها در بافت فرسوده شهری یک یا دو طبقه می‌باشند. عمر ساختمان‌ها در شش طبقه کلاس بندی شده است که ۵۶۳ واحد، عمر بین ۱ تا ۵ سال، ۶۵۵ واحد بین ۵ تا ۱۰ سال، ۱۱۹۰ واحد بین ۱۰ تا ۲۰ سال، ۲۸۱۷ واحد بین ۲۰ تا ۳۰ سال، ۳۹۸۴ واحد بین ۳۰ تا ۴۰ سال، ۲۰۳۵ واحد بالای ۴۰ سال عمر دارند. از نظر نوع اسکلت ۲۴۶۴ واحد اسکلت فلزی، ۲۵۶ واحد اسکلت بتنی، ۵۶۰۴ واحد آجر و آهن، ۶۷۹۴ واحد آجر و چوب، ۳۴۷۰ واحد خشت و گل می‌باشند.

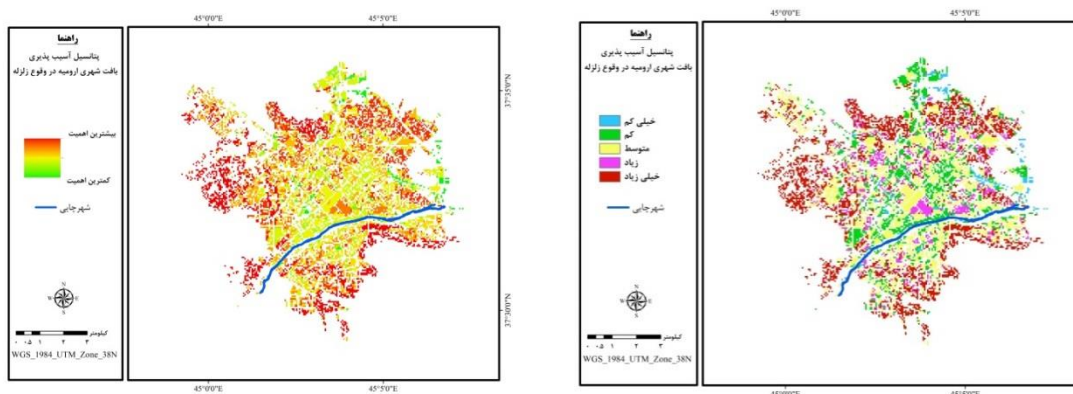
### همپوشانی لایه‌ها و تهیه نقشه پتانسیل آسیب پذیری

در تحلیل پتانسیل آسیب پذیری شهری به روش FANP، پس از محاسبه وزن عوامل مؤثر بر آسیب پذیر شهری و استخراج اطلاعات مکانی از بلوک‌های آماری، لایه‌ها استاندارد سازی شده و به فرمت رستری تبدیل شدند و پس از فازی سازی لایه‌ها ضرایب به دست آمده از مدل تحلیل شبکه برای هر یک از لایه‌ها اعمال شدند که در نهایت به کمک توابع همپوشانی در GIS، نقشه نهایی به دست آمد. با توجه به شکل (۱۴) بیشترین آسیب پذیری در مناطق با شیب‌های بیشتر از ۲۰ درصد و نواحی با تراکم جمعیتی بالا مشاهده می‌شود. نواحی با آسیب پذیری خیلی زیاد با ۱۱۲۰/۱۲ هکتار ۳۴/۱۲ درصد، زیاد با ۳۸۷/۵۱ هکتار ۱۱/۸۱ درصد، متوسط با ۱۰۰۰/۳۶ هکتار ۳۰/۴۷ درصد، کم با ۶۸۵/۸۱ هکتار ۲۰/۸۹ درصد و خیلی کم با ۸۸/۷۶ هکتار ۲/۷ درصد از مساحت بلوک‌های آماری را به خود اختصاص دادند. در حالت کلی می‌توان گفت که ۴۵/۹۳ درصد از محدوده مورد مطالعه بر

اساس معیارهای استفاده شده در تحلیل آسیب پذیرند. در پهنه بندی زلزله در سطح شهر ارومیه ۵ کلاس آسیب پذیر به دست آمد که کلاس آسیب پذیری خیلی زیاد در منطقه ۲ شهری با مساحت ۳۴۱/۰۹ هکتار (۱۳/۱۹ درصد) بیشترین کاربری‌های آسیب پذیر را دارد. منطقه ۳ با ۸/۲۴ درصد، منطقه ۱ با ۷/۵۷ درصد، منطقه ۴ با ۲/۷۶ درصد و منطقه ۵ با ۱/۹۲ درصد به ترتیب دارای بیشترین کاربری‌های دارای آسیب پذیری خیلی زیاد می‌باشند (جدول ۴).

جدول ۴. پتانسیل آسیب پذیری شهری در مناطق ۵ گانه ارومیه در برابر زلزله (هکتار)

منطقه ۵	منطقه ۴		منطقه ۳		منطقه ۲		منطقه ۱		آسیب پذیری
	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	
۱/۹۲	۴۹/۶۸	۲/۷۶	۷۱/۳۸	۸/۲۴	۲۱۳/۱۱	۱۳/۱۹	۳۴۱/۰۹	۷/۵۷	خیلی زیاد
۲/۲۵	۵۸/۳۶	۲/۷۵	۷۱/۰۶	۲/۰۶	۵۳/۳۲	۲/۹۸	۷۷/۱۲	۱/۹۷	زیاد
۵/۷۹	۱۴۹/۷۸	۵/۶۸	۱۴۶/۹۰	۵/۲۲	۱۳۴/۸۶	۶/۹۱	۱۷۸/۵۹	۷/۳۶	متوسط
۵	۱۲۹/۲۶	۴/۸۲	۱۲۴/۶۸	۱/۷۵	۴۵/۱۶	۶/۹۴	۱۷۹/۵۲	۲/۷۷	کم
۰/۲۹	۷/۳۸	۰/۵۴	۱۳/۹۱	۰/۰۳	۰/۷۵	۱/۱۵	۲۹/۶۲	۰/۰۵	خیلی کم
۱۵/۲۵	۳۹۴/۳۶	۱۶/۵۵	۴۲۷/۹۳	۱۷/۳۰	۴۴۷/۲۰	۳۱/۱۸	۸۰۵/۹۴	۱۹/۷۲	مجموع



همپوشانی رستری

طبقه بندی بر اساس درجه اهمیت

شکل ۱۴. پتانسیل آسیب پذیری شهر ارومیه در برابر زلزله

## نتیجه گیری

تخمین و برآورد میزان آسیب پذیری بلایای طبیعی از جمله زلزله به دیدی کلی و جامع نگر و ترکیبی از تخصص‌های گوناگون مانند برنامه‌ریزی شهری، آمایش سرزمین، GIS و سیستم‌های تصمیم‌گیری چند معیاره دارد تا از این طریق برنامه‌ریزی‌های، بهتر و دقیق‌تری در راستای سند چشم‌انداز و بهبود عملکرد مدیران و تصمیم‌گیران در برنامه‌ریزی‌ها شده و منجر به کاهش خسارات و مدیریت بحران‌ها در شرایط اضطراری شود. بنابراین با استفاده از معیارهای مختلف در مقیاس خرد و کلان، متغیرهای پیچیده، کمی و کیفی می‌توانند ترکیب شوند و نتیجه قابل قبول و منطقی در کمترین زمان حاصل شود.

محدوده مورد مطالعه (بلوک‌های آماری) با مساحت ۴۸۵۴/۹۱ هکتار ۰/۹۱ درصد از کل مساحت شهرستان ارومیه را شامل می‌شود که جمعیتی بالغ بر ۷۲۷۰۶۶ نفر را در خود جای داده است. نقشه آسیب پذیری کلی محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد که در بین ۹ معیار و ۳۴ زیر معیار استفاده شده در تحقیق شیپ‌های بالاتر از ۲۰ درصد و تراکم جمعیت بیشتر از ۲۵۰ نفر در بلوک بیشترین اهمیت را داشته و همچنین بیشترین میزان آسیب پذیری شهری را متحمل شده‌اند. تحقیقات هم راستا نیز صحت و اهمیت نتایج به دست آمده را تایید می‌کند به طوری که علیزاده و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی گسل شمال تبریز (NTF) به این نتیجه رسیدند که مناطق شمال شرقی تحت شرایط شدید آسیب پذیری محمد پو (۲۰۱۶) در بررسی منطقه ۱۲ تهران و سپس



محلّه سیروس به این نتیجه رسیدند که وسعت و پوشش جمعیتی نقاط با آسیب پذیری بالا و بسیار بالا بیشتر است و (تانیا و داس<sup>۱</sup> (۲۰۱۸) در ارزیابی آسیب پذیری زلزله برای شهر گواهااتی هند، تراکم جمعیت و ساختمان‌های بلند را به عنوان مناطق آسیب پذیر تحلیل کردند از کل مساحت محدوده ۳۴/۱۲ درصد دارای آسیب پذیری خیلی زیاد، ۱۱/۸۱ درصد دارای آسیب پذیری زیاد، ۳۰/۴۷ درصد دارای آسیب پذیری متوسط و ۲۳/۵۹ درصد دارای آسیب پذیری کم و خیلی کم می‌باشند. همچنین منطقه ۲ شهری با ۱۳/۱۹ درصد دارای آسیب پذیری خیلی زیاد نسبت به سایر مناطق شهری می‌باشد.

با توجه به نتایج بدست آمده از این پژوهش، راهکارهای زیر را می‌توان پیشنهاد نمود:

- جدیت در اجرای طرح‌های تفصیلی پیشنهادی
- حمایت از خانوارهای ساکن در محدوده‌های خطرناک در جهت بهسازی ساختمان‌ها براساس رعایت و اعمال استانداردهای ساختمانی
- ایجاد بانک‌های اطلاعاتی جامع و مدون از تمام جزئیات و عناصر شهری، برپایه سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی.
- تدوین اصول پدافند غیرعامل و رعایت در تمامی ساخت و سازهای جدید.
- ایجاد مراکز خدمات رسانی در محدوده‌های پرخطر و آسیب پذیر.
- برگزاری مانورهای وقوع احتمالی زلزله در این محدوده.

## تقدیر و تشکر

این پژوهش مستخرج از کار پژوهشی مستقل بوده و با حمایت مالی سازمانی انجام نشده است.

## منابع

- احدنژاد روشنی، محسن؛ مهدی، قرخلو و زیاری، کرامت الله. (۱۳۸۹). مدل‌سازی آسیب پذیری ساختمانی شهرها در برابر زلزله با استفاده از فرایند تحلیل سلسه مراتبی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی نمونه شهر زنجان. *مجله جغرافیا و توسعه*، ۸ (۱۹)، ۱۹۸-۱۷۱.
- امینیان، امیر احمد؛ صیامی، قدیر؛ تقی نژاد، کاظم و زاهدی کلاکی، ابراهیم. (۱۳۹۴). تخمین آسیب پذیری شهرگران در برابر زلزله با تاکید بر فاصله از تأسیسات شهری با روش منطق فازی. *فصلنامه علمی پژوهشی مدیریت بحران*، ۴ (۲)، ۵۴-۴۷.
- زبردست، اسفندیار. (۱۳۸۹). کاربرد فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای. *نشریه هنرهای زیبا-معماری و شهرسازی*، ۲ (۴۱)، ۹۰-۷۹.
- شمایی، علی و پور احمد، احمد. (۱۳۹۱). *بهسازی و نوسازی شهری از دیدگاه جغرافیا*. چاپ پنجم، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- عبداللهی، مجید. (۱۳۸۳). *مدیریت بحران در نواحی شهری*. چاپ سوم، تهران: انتشارات سازمان شهرداریها و دهیاری‌های کشور.
- قلندرزاده، عباس؛ معتمد، رامین و عبداللهی شریف، جعفر. (۱۳۸۲). بررسی خطر لرزه در شهر ارومیه. *چهارمین کنفرانس بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله*، ایران.
- محمدپور، صابر؛ زالی، نادر و پوراحمد، احمد. (۱۳۹۵). تحلیل شاخص‌های آسیب پذیری در بافت‌های فرسوده شهری با رویکرد مدیریت بحران زلزله (مطالعه موردی: محلّه سیروس تهران). *پژوهش‌های جغرافیایی انسانی*، ۴۵ (۱)، ۴۵-۳.
- مرکز آمار ایران. (۱۳۹۳). *تعاریف و مفاهیم استاندارد آماری (برای استفاده در طرح‌ها و گزارش‌های آماری)*. ویرایش سوم، چاپ اول.
- مصیب‌زاده، علی و پورمحمدی، محمدرضا. (۱۳۸۵). آسیب آسیب پذیری شهرهای ایران در برابر زلزله و نقش مشارکت محلّه‌ای در امداد رسانی آن‌ها. *نشریه نشریه جغرافیا و توسعه*، ۶ (۱۲)، ۱۱۷-۱۴۴.
- Alizadeh, M., Hashim, M., Alizadeh, E., Shahabi, H., Karami, M., Beiranvand Pour, A., Pradhan, B., & Zabihi, H. (2018). Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Model for Seismic Vulnerability Assessment (SVA) of Urban Residential Buildings. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(11), 444,1-22.
- Chen, J., & Yang, Y. (2011). A fuzzy ANP-based approach to evaluate region agricultural drought risk. *Procedia Eng*, 23, 822-827.

- Daneshvar, M., Mansouri, R., Rezayi, S., & Khosravi, S. (2013). Earthquake vulnerability zonation of Mashhad urban fabric by combining the quantitative models in GIS, northeast of Iran. *International Journal of Environmental Protection and Policy* 1(4), 44-49.
- Ebert, A., Kerle, N. (2008). Urban Social Vulnerability Assessment Using Object-oriented Analysis of Remot Sensing and GIS Data, A Case Study for Tegucigalpa. Honduras. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 30(7), 1307-1311.
- Feizizadeh, B., & Ghorbanzadeh, O. (2017). GIS-based interval pairwise comparison matrices as a Novel approach for optimizing an analytical hierarchy process and multiple criteria weighting. *GI\_Forum*, 1, 27-35.
- Garcia-Melon, M., Ferris-Onate, J., Aznar-Bellver, J., Aragonés-Beltran, P., & Rocio Poveda Bautista. (2008). Farmland appraisal based on the analytic network Process. *Journal of Global Optimization*, 42, 143-155.
- Ghorbanzadeh, O., Feizizadeh, B., & Blaschke, T. (2018). Multi-criteria risk evaluation by integrating an analytical network process approach into GIS-based sensitivity and uncertainty analyses. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 9(1). 127-151.
- Hwa Wang, J. (2007). *Urban Seismology in the Taipei Metropolitan Area: Review and Prospective*, Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taipei, Taiwan.
- Kreimer, A., Arnold, M., & Carlin, A. (2003). *Building Safer Cities: The Future of Disaster Risk*, The World Bank Disaster Management Facility Washington, D.C.
- Lantada, N., Pujades, L., & Barbat, A. (2008). Vulnerability Index and Capacity Spectrum, Based Method for Urban Seismic Risk, *Evaluation Journal of Nathazards*, 51(3), 501-524, Doi 10-007 11069 007-9212-4.
- Lyu, Hai-Min, Jack Shuilong, Sh., & Arulrajah, A. (2018). Assessment of geohazards and preventative countermeasures using AHP incorporated with GIS in Lanzhou, China." *Sustainability* 10(2), 304.
- Moinfar, A. A., Naderzadeh, A., & Nabavi, M. H. (2012). New Iranian Seismic Hazard Zoning Map for New Edition Edition of Seismic Code and Its Comparison with Neighbor Neighbor Countries. In *15th World Conference on Earthquake Engineering*.
- Murata, M. (2014). A Science Instruction for the Prevention and Reduction of 2020 Nankai Earthquake Disaster in Tokushima, Southwest Japan, *Procedia -Social and Behavioral Sciences*, 143, 404-406.
- Naess, P. (2001). Urban Planning and Sustainable Development. *European Planning Studies*, 9(4), 503-524.
- Phuong, Nguyen Hong, & Nguyen Ta Nam. (2018). Development of a Web-GIS based Decision Support System for earthquake warning service in Vietnam. *VIETNAM JOURNAL OF EARTH SCIENCES*, 40(3), 193-206.
- Piran, P. (1990). Theoretical Approaches in the Urban Sociology and Urbanization, Historical Schools. *Economical – Polotical Information*, 49-50, 62-64.
- Rivas-Medina, A., Gaspar-Escribano, J. M., Benito, B., & Bernabé, M. A. (2013). The role of GIS in urban seismic risk studies: application to the city of Almería (southern Spain). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(11), 2717-2725.
- Saaty, TL. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *Eur J Oper Res*, 48(1),9-26.
- Saaty, TL. (1996). Decision making with dependence and feedback: the analytic network process. Vol. 4922, Pittsburgh (PA): RWS publications;
- Saaty, TL. (1996). *The analytic network process*. Pittsburgh (PA): RWS Publications.
- Saaty, TL. (1999). *Fundamentals of the Analytic Network Process*. Proceedings of ISAHP 1999, Kobe, Japan.
- Sarmah, T., & Sutapa, D. (2018). Earthquake Vulnerability Assessment for RCC Buildings of Guwahati City using Rapid Visual Screening. *Procedia engineering*, 212, 214-221.

Yamazaki, F. (2005). Building Damage Mapping of the Ban, Iran, Earthquake Using ENVISAT /ASAR Intensity Imagery. *Earthquake Spectra*, 21(1), S285-S294, 12.