

## Zoning the Vulnerability of Nahavand Settlements to Earthquakes

Morteza Heidarimozaffar<sup>1\*</sup> , Marzie TajBakhshian<sup>2</sup>

1. *Corresponding Author*, Assistant Professor of Civil Engineering Department, Bu-Ali Sina University, Iran.

2. Master of Spatial Information System, Hamadan Municipality, Iran

---

### Article Info

**Article type:**  
Research Article

**Article history:**

**Received:** 25 July 2021

**Revised:** 11 July 2022

**Accepted:** 06 August 2022

**Keywords:**

Earthquake hazard zoning,

Fuzzy Logic,

GIS,

Nahavand County.

### ABSTRACT

Recent studies on the catastrophic consequences and widespread human and financial losses caused by natural disasters, especially earthquakes, show that no effective measures have been taken in this regard. One of the earthquake-prone areas of Hamadan province is Nahavand city, which is also one of the widest plains in the province. In this regard, the present study aims to zone the vulnerability of settlements to earthquakes using FAHP and GIS methods. For this purpose, 14 criteria which are soil texture, magnitude, centers of previous earthquakes, hazardous facilities, main and secondary roads of the region, rivers, geological layers, landslide position, slope, soil erosion, land use, regional faults, digital elevation model and Population points were used. In this regard, a zoning map of the settlement's vulnerability to earthquakes has been prepared for environmental analysis and assessments. According to studies conducted by other researchers around the world, in this study, to overlay the weight of criteria in fuzzy space, the gamma function with initial values of 0.5, 0.7, and 0.9 was used; after validating the results and reviewing their values, a gamma of 0.9 was selected and used in the present study. Results of Nahavand in 5 classes, with very low vulnerability potential in the area of 25065 hectares, relatively low potential in the area of 48173 hectares, medium potential in the area of 39000 hectares, relatively high potential in the area of 25571 hectares, and very high potential in the area of 13980 hectares he does. The results show that 28 villages are in the area with high vulnerability potential and 3 cities and 26 villages are in the area with relatively high vulnerability potential.

---

**Cite this article:** Heidarimozaffar, M., & TajBakhshian, M. (2022). Zoning the Vulnerability of Nahavand Settlements to Earthquakes. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 11(34), 57-78. DOI: 10.22111/jneh.2022.39334.1830



© Morteza Heidarimozaffar

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/jneh.2022.39334.1830

---

\* Corresponding Author Email: [m.heidarimozaffar@basu.ac.ir](mailto:m.heidarimozaffar@basu.ac.ir)

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۱، شماره ۳۴، زمستان ۱۴۰۱

## پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های شهرستان نهاوند در برابر زلزله

مرتضی حیدری مظفر<sup>۱\*</sup>، مرضیه تاج‌بخشیان<sup>۲</sup>

۱. استادیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا (نویسنده مسئول)

۲. کارشناس ارشد سیستم اطلاعات جغرافیایی، شهرداری همدان

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	بررسی‌های اخیر در مورد پیامدهای فاجعه‌آمیز و خسارت گسترده جانی و مالی ناشی از بلایای طبیعی و به‌ویژه زلزله، نشان‌دهنده آن است که اقدام‌های مؤثری در این زمینه صورت نگرفته است. یکی از مناطق زلزله‌خیز استان همدان، شهرستان نهاوند است که از جمله پهناترین مناطق استان نیز به شمار می‌رود. در این خصوص، این پژوهش باهدف پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌ها در برابر زلزله با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام شد. به همین منظور از ۱۴ معیار که عبارت‌اند از بافت خاک، بزرگ‌ا و مراکز زلزله‌های پیشین، تأسیسات خطرناک، راه‌های دسترسی، رودخانه‌ها، لایه‌های زمین‌شناسی، موقعیت زمین‌لغزش، شیب زمین، فرسایش خاک، کاربری اراضی، گسل‌های منطقه، مدل رقومی ارتفاعی و نقاط جمعیتی استفاده گردید. در این خصوص نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌ها در برابر زلزله جهت تحلیل‌ها و ارزیابی‌های محیطی تهیه شده است. با توجه به بررسی مطالعات صورت گرفته توسط دیگر محققان در سراسر دنیا، در این پژوهش به‌منظور همپوشانی وزن‌دار معیارها در فضای فازی، از تابع گاما با مقادیر اولیه ۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹ استفاده شد که پس از صحت‌سنجی نتایج و بررسی مقادیر آن‌ها، گامای ۰/۹ به کار گرفته شد. نتایج نهایی برای شناسایی سکونتگاه‌های در معرض آسیب محدود شهرستان نهاوند در ۵ کلاس طبقه‌بندی شد. محدوده‌های با پتانسیل آسیب‌پذیری بسیار پایین به مساحت ۲۵۰۶۵ هکتار، با پتانسیل نسبتاً پایین به مساحت ۴۸۱۷۳ هکتار، پتانسیل متوسط به مساحت ۳۹۰۰۰ هکتار، پتانسیل نسبتاً بالا به مساحت ۲۵۵۷۱ هکتار و پتانسیل بسیار بالا به مساحت ۱۳۹۸۰ هکتار در نتیجه این طبقه‌بندی مشخص شد. نتایج نشان می‌دهد، ۲۸ روستا در محدوده با پتانسیل آسیب‌پذیری بالا و ۳ شهر و ۲۶ روستا در پهنه با پتانسیل آسیب‌پذیری نسبتاً بالا قرار دارند.
واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی خطر زلزله، سیستم اطلاعات جغرافیایی، شهرستان نهاوند، منطق فازی.	
* این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد خانم مرضیه تاج‌بخشیان به راهنمایی آقای دکتر مرتضی حیدری مظفر می‌باشد که در موسسه عمران و توسعه انجام شده است.	
استناد: حیدری مظفر، مرتضی، تاج‌بخشیان، مرضیه. (۱۴۰۱). پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های شهرستان نهاوند در برابر زلزله. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۱(۳۴)، ۷۸-۵۷. DOI: 10.22111/jneh.2022.39334.1830	
ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان	© مرتضی حیدری مظفر*، مرضیه تاج‌بخشیان.



## مقدمه

مطالعه پیرامون ارزیابی مخاطرات محیطی و مدل‌سازی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌ها در برابر آن‌ها، از دیدگاه محققان دارای اهمیت و اولویت فراوانی بوده است. در سال‌های اخیر با توجه به گسترش تکنولوژی مدیریت مکانی و توسعه چشمگیر ابزارهای این بخش، این مسئله بیش‌ازپیش موردتوجه محققان و پژوهشگران قرار گرفته است. نگاهی به داده‌های جهانی نشان‌دهنده این واقعیت است که در طی دو دهه اخیر، سوانح طبیعی با تکرار زیادی نسبت به گذشته به وقوع پیوسته و اثرات مخرب بیشتری را به همراه داشته است. به همین دلیل، توجه به فعالیت‌های مدیریتی سوانح طبیعی برای پاسخگویی مناسب به سوانح، تقویت و ارتقای توانایی‌های محلی در سطوح مختلف اهمیت زیادی پیدا کرده است. بنابراین بایستی استراتژی‌های مدیریت سوانح طبیعی کارآمد، جهت کاهش آسیب‌پذیری در سطوح محلی و همچنین کاهش اثرات مخاطرات طبیعی بنا شود و از طریق اجرای روش‌های مؤثر پیشگیری، اقدامات آمادگی و یکپارچه مدیریت خطر در برنامه‌ریزی‌های بلندمدت توسعه گنجانده شود (رومیانی و همکاران، ۱۳۹۴؛ میرلطفی و محمدزایی‌راد، ۱۳۹۴).

پدیده‌های طبیعی که در مجاورت انسان‌ها اتفاق می‌افتند و زندگی و سرمایه‌های اجتماعی و اقتصادی آن‌ها را تهدید می‌کنند، ممکن است باعث وقوع فاجعه شوند (قهرودی و همکاران، ۱۳۹۵). مخاطرات طبیعی، مخاطراتی هستند که تکوین و تشکیل آن‌ها متکی به حوادث طبیعی است و انسان می‌تواند در وقوع آن‌ها نقش تحریک‌کننده داشته باشد. اما ویژگی‌های محیط طبیعی زمینه‌ساز شکل‌گیری و تکوین مخاطره به شمار می‌روند (اکبری، ۱۳۹۴). این نوع مخاطرات جزو خصوصیت‌های ذاتی کره زمین بوده و به خاطر نحوه عملکرد در قلمرو و سکونتگاه‌های انسانی، موجب کشتار، تخریب و خسارت‌های مستقیم و غیرمستقیم در تمامی ابعاد می‌شود (رجبی، ۱۳۹۷).

زلزله به‌عنوان یکی از مهم‌ترین موارد این مخاطرات طبیعی مطرح است. ایران به‌علت موقعیت لرزه‌خیزی و قرارگیری بر روی کمربند زلزله آسیب‌پذیر بوده و بسیاری از سکونتگاه‌های انسانی آن روی گسل‌های فعال قرار گرفته‌اند. مجاورت با صفحه عربستان و فشار این صفحه بر صفحه ایران باعث شکستگی گسل‌ها شده و همین امر منجر به زلزله‌های بسیار شدید بوده است. خسارت‌های مالی و جانی بسیاری در اثر این پدیده نیز به ثبت رسیده است. طبق یافته‌های مطالعاتی دو قسمت جنوب غرب و شمال شرق استان همدان شامل شهرستان‌های رزن و نهاوند جزو مناطق زلزله‌خیز این استان می‌باشند. شهرستان نهاوند به گسل زاگرس و شهرستان رزن به گسل منطقه آوج و حسن‌آباد نزدیک است. سکونتگاه‌های شهرستان نهاوند به‌دلیل وجود گسل‌های طبیعی و همچنین ثبت زلزله‌های مؤثر پیشین، نیازمند بررسی از نقطه‌نظر آسیب‌پذیری از زلزله است. در این مقاله، با توجه به بزرگای زلزله‌های پیشین، شهرستان نهاوند برای پهنه‌بندی آسیب‌پذیری از زلزله انتخاب شد. نقشه‌های پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله، ابزار کارآمدی برای مدیران در کاهش خطرات و تلفات ناشی از این نوع حوادث طبیعی می‌باشند. با آگاهی از میزان آسیب‌پذیری و پتانسیل تخریب مناطق مختلف، به‌خصوص سکونتگاه‌ها می‌توان پیش‌بینی لازم جهت کاهش اثرات تخریب را مدنظر قرارداد.

پهنه‌بندی مناطق بر اساس نقش عوامل مخرب محیطی، عبارت از تقسیم نواحی جغرافیایی به درجات مختلف برحسب واکنش در مقابل بلایای طبیعی می‌باشد (عسکری و قاسمی، ۱۳۸۸). سیستم اطلاعات جغرافیایی<sup>۱</sup> به‌عنوان مجموعه‌ای از نرم‌افزار، سخت‌افزار، داده‌ها، متخصصین و الگوریتم‌ها به‌منظور جمع‌آوری، ذخیره‌سازی، تجزیه‌وتحلیل و نمایش داده‌های مکانی می‌تواند در پهنه‌بندی جغرافیایی مخاطرات محیطی مورد استفاده قرار گیرد. GIS به‌عنوان یک ابزار ارزشمند برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری مؤثر با مدیریت، ساخت و استفاده از داده‌های جامع برای پیشگیری از فاجعه قابل استفاده است (واتسوا و همکاران، ۲۰۱۳). روش‌های تجزیه‌وتحلیل و تصمیم‌گیری چندمعیاره<sup>۲</sup>، مبتنی بر GIS، بر اساس فرآیند سلسله‌مراتب تحلیلی<sup>۳</sup>، در این زمینه قابل استفاده است (سینها و همکاران، ۲۰۱۶).

تاکنون، در رابطه با موضوع پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌ها در برابر زلزله، پژوهش‌های بسیار زیادی انجام پذیرفته است. در این مقاله، تنها به بیان مواردی محدود که مستقیماً با موضوع این مقاله مرتبط هستند، اکتفا می‌شود.

زمین‌لرزه‌ها و بلایای طبیعی، تأثیرهای منفی بر معیشت انسانی داشته و به اقتصاد اجتماعی و محیط‌زیست آسیب‌زده است. این مسأله، نیاز به اقدام‌های جامع و مؤثر و مدیریت اضطراری بحران<sup>۴</sup>، برنامه‌ریزی استراتژی‌های کاهش خطر را ضروری کرده است. روش‌های تجزیه‌وتحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره، به‌طور گسترده‌ای توسط مدیران استفاده می‌شود. فرایند سلسله‌مراتبی تحلیلی و فن ترجیح اولویت با شباهت به راه‌حل ایده‌آل<sup>۵</sup>، در قالب سیستم اطلاعات مکانی، برای تولید نقشه خطر زلزله و نقشه‌های ریسک برای فاجعه زلزله مورد استفاده قرار گرفته است (نیمبیلی و همکاران، ۲۰۱۸). محققان با استفاده از فن‌های سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات مکانی، گسل‌های فعال و ساختارهای زمین‌شناسی را نیز مطالعه کردند (دلیگیا ناکیس و همکاران، ۲۰۱۸ و جنا و همکاران، ۲۰۲۰).

در پژوهش‌های مختلف، از روابط تحلیلی موجود یا شاخص‌های آسیب‌پذیری در قالب سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری مکانی<sup>۶</sup>، استفاده کرده‌اند (هاشمی و آل‌شیخ، ۲۰۱۱، مرادی و همکاران، ۲۰۱۵، صدری‌کیا و همکاران، ۲۰۱۷).

پهنه‌بندی مناطق مختلف از نظر حرکات زمین در حین زلزله، بخشی از برنامه‌های پیشگیری از خرابی‌های ناشی از زلزله است. مشخصات حرکت زمین تحت اثر زلزله، بستگی به پارامترهایی نظیر منبع، مسیر و اثرات محل دارد. بنابراین در پهنه‌بندی حرکات زمین باید مواردی مانند لرزه‌خیزی، کاهش شدت حرکات زمین در اثر دور شدن از مرکز زلزله و اثرات وضعیت محل بر روی حرکات زمین در حین زلزله در نظر گرفته شوند (هزاره و باخرزی، ۱۳۹۷).

فال سلیمان و همکاران (۱۳۹۱) در مقاله‌ای با عنوان آسیب‌پذیری عناصر کالبدی سکونتگاه‌های روستایی در مناطق زلزله‌خیز (نمونه: شهرستان‌های قائنات و زیرکوه) به این نتیجه رسیده‌اند که در اولویت نخست باید روستاهای حدفاصل شهرهای زهان و اسفدن و غربی‌ترین روستای شهر قائن مورد توجه مسئولان قرار بگیرد. پریشان و همکاران (۱۳۹۲) در مقاله‌ای با عنوان سنجش سطح آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های انسانی در برابر ریسک زلزله (مناطق روستایی

<sup>۱</sup> Geographic Information System (GIS)

<sup>۲</sup> Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA)

<sup>۳</sup> Analytical Hierarchy Process (AHP)

<sup>۴</sup> Disaster and Emergency Management

<sup>۵</sup> Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

<sup>۶</sup> Spatial Decision Support System (SDSS)

استان قزوین) به این نتیجه رسیده‌اند که روستاهای شهرستان‌های قزوین و بوئین‌زهره دارای بیشترین میزان ریسک هستند. پورطاهری و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی با عنوان ارزیابی آسیب‌پذیری فیزیکی سکونتگاه‌های روستایی در برابر مخاطرات طبیعی (زلزله) با استفاده از مدل تصمیم‌گیری گوپراس (در روستاهای دهستان چالان چولان شهرستان دورود) به این نتیجه رسیده‌اند که روستاهای باباشمان، دوسر و گاراژ به ترتیب بیشترین آسیب‌پذیری و روستاهای حشمت‌آباد، بهزاد آباد و احمدآباد کمترین آسیب‌پذیری را در سال ۱۳۸۵ دشت سیلاخور لرستان داشته‌اند.

نیری و همکاران (۱۳۹۵) به پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری شهر سنندج ناشی از خطر زلزله با استفاده از دو مدل تحلیل سلسله‌مراتبی و مدل تاپسیس پرداختند. آن‌ها در مجموع ۱۵ متغیر تأثیرگذار طبیعی و کالبدی و اجتماعی را در نظر گرفتند و در نهایت با مقایسه نتایج دو مدل به این نتیجه رسیدند که پهنه‌های آسیب‌پذیر تقریباً مشابه هم هستند. با این تفاوت که براساس مدل تحلیل سلسله‌مراتبی، مناطق دارای آسیب‌پذیری بسیار زیاد، دارای درصد و پراکندگی کمتری نسبت به مدل تاپسیس است؛ اما در مجموع مشخص شد که نواحی دارای بیشترین آسیب‌پذیری در شمال شهر قرار گرفته‌اند.

رحیمی شهید و همکاران (۱۳۹۶) در مقاله‌ای به بررسی میزان تأثیر عوامل مختلف در ایجاد پدیده زلزله و پهنه‌بندی خطر وقوع زلزله در بخش مرکزی شهرستان سمیرم پرداختند. آنان با به‌کارگیری روش تحلیل سلسله‌مراتبی عوامل موردبررسی را به‌صورت زوجی مقایسه و وزن هر یک را که مبنای تأثیر آن‌ها است، محاسبه کردند. با توجه به مقادیر کمی وزن هر یک از عوامل، نقشه وزنی هر عامل تهیه و در نهایت اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زلزله با استفاده از لایه‌های وزنی و ضریب وزنی مربوط شده است. نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر این است که روش تحلیل سلسله‌مراتبی به دلیل مقایسه‌های زوجی موجب سهولت و دقت در انجام محاسبه‌های لازم و ارائه نتایج به دلیل دخالت دادن تعداد زیادی از عوامل در مقایسه با سایر روش‌های پهنه‌بندی خطر زلزله است. نتایج پژوهش آنان نشان داد که در مدل تحلیل سلسله‌مراتبی حدود ۴۹/۷۲ درصد محدوده در پهنه‌های با خطر زیاد و خیلی زیاد قرار می‌گیرد.

کرمی و امیریان (۱۳۹۷) در پژوهشی به انتخاب معیارهای آسیب‌پذیری و نحوه ترکیب این معیارها پرداختند. هدف آنان انتخاب مدل مناسبی بوده است که بتواند به بهترین شیوه نمایانگر میزان آسیب‌پذیری باشد. شهر تبریز به‌عنوان بزرگ‌ترین مادر شهر شمال غرب کشور از نظر وسعت، شرایط صنعتی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی اهمیت فراوان دارد؛ اما به دلیل هم‌جواری با گسلی بزرگ و فعال، شرایطی نامساعد دارد. آنان با استفاده از نرم‌افزارهای IDRISI و ArcGIS و انتخاب ۱۵ معیار و ترکیب مدل‌های منطق Fuzzy و AHP میزان آسیب‌پذیری منطقه‌های شهری و جمعیت ساکن در آن‌ها را موردبررسی قرار دادند. نتایج آنان نشان داد که مناطق ۱۰ و ۱ به‌ترتیب دارای بدترین و بهترین شرایط ممکن است و تطبیق نتایج به‌دست‌آمده با وضع موجود، حاکی از دقت بالای مدل انتخاب‌شده در موضوع پهنه‌بندی خطر زلزله است.

مطالعه پژوهش‌های محققان نشان می‌دهد، برای پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌ها در برابر زلزله از معیارهای شیب، گسل، کاربری اراضی، بافت خاک، نقاط جمعیتی، زمین‌لغزش، اطلاعات زمین‌شناسی، اقلیم، راه‌های ارتباطی،

رودخانه و سیستم اطلاعات جغرافیایی، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و فرآیند تحلیل شبکه‌ای و فرآیند تحلیل فازی، منطق فازی و بولین استفاده شده است.

باوجود پژوهش‌های گسترده، پیاده‌سازی مؤثر و به‌کارگیری شایسته سیستم اطلاعات جغرافیایی در مدیریت مخاطرات محیطی نظیر زلزله نیاز به تحقیق و پژوهش‌های بیشتر دارد. توسعه به‌کارگیری این سیستم، مستلزم جمع‌آوری داده‌ها به‌عنوان اولین گام، مطرح است. ارزیابی خطر زلزله نیازمند تجزیه و تحلیل داده‌های کمی و کیفی دقیق و ارزیابی عوامل فیزیکی، محیطی، اجتماعی و اقتصادی آن است. جمع‌آوری، تولید و استفاده از داده‌های مکانی جامع، ضرورتی برای پیشگیری از فاجعه است. توسعه برنامه‌های کاربردی GIS و نقشه‌های رقومی به‌عنوان پایگاه‌های آمادگی و ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله، موردنیاز است. در این مقاله، با تمرکز بر پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌ها در برابر زلزله و با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی در محیط سیستم اطلاعات مکانی به‌عنوان هدف اصلی، اهداف ذیل مدنظر قرار گرفته است.

\* تعیین معیارهای مکانی مؤثر بر شدت آسیب‌پذیری سکونتگاه‌ها از زلزله؛

\* محاسبه وزن‌های فازی معیارها با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی؛

\* تهیه نقشه شدت آسیب‌پذیری از زلزله برای محدوده مورد مطالعه (شهرستان نهاوند).

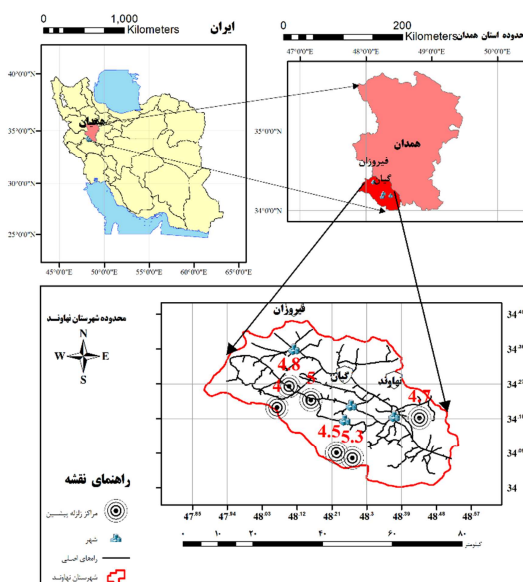
## داده‌ها و روش

این پژوهش از نوع کاربردی است. در این پژوهش، ابتدا معیارهای مؤثر بر شدت خطرپذیری زلزله مشخص و سپس لایه‌های مکانی مربوط به هر معیار (در محدوده مورد مطالعه: شهرستان نهاوند)، جمع‌آوری یا تولید می‌شوند. لایه‌ها با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره تحلیل سلسله‌مراتبی فازی وزن‌دهی و با همپوشانی فازی لایه‌ها در محیط سیستم اطلاعات مکانی، نقشه شدت آسیب‌پذیری، هنگام وقوع زلزله تهیه می‌شود.

بر اساس نقشه تقسیمات کشوری، شهرستان نهاوند با مساحتی در حدود ۱۵۰۰ کیلومترمربع، در محدوده‌ای با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۴۲ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۸۸ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۶ دقیقه در جنوب غربی استان همدان، به فاصله ۴۴۰ کیلومتری جنوب غرب شهر تهران و ۱۰۵ کیلومتری جنوب شهر همدان واقع شده است. این شهرستان از شمال به شهرستان تویسرکان، از شمال غرب و غرب به استان کرمانشاه، از جنوب و جنوب شرق به استان لرستان و از شرق به شهرستان ملایر محدود می‌گردد. نهاوند و ارتفاعات پیرامون آن (محدوده طبیعی نهاوند) یک حوضه باز است. علاوه بر اینکه شبکه‌های جاری داخل این حوضه به خارج از آن زهکشی می‌شوند، همچنین دارای جریان‌های ورودی از حوضه‌های مجاور نیز می‌باشد که عبارت‌اند از: رودخانه حرم‌آباد ملایر و قُلُقُل‌رود تویسرکان. هر دو رود از شمال با برشی که در ارتفاعات شمالی نهاوند ایجاد کرده‌اند وارد دشت نهاوند شده و به رودخانه گاماسیاب می‌پیوندند (طلایی و همکاران، ۱۳۸۵). مطابق نقشه تقسیمات کشوری، چهار شهر و ۱۶۹ روستا در محدوده این شهرستان واقع شده است. شکل ۱، موقعیت شهرستان نهاوند در ایران و استان همدان را نشان می‌دهد.

### معیارهای مؤثر

در تولید نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ناشی از خطر زلزله معیارهای متعددی مورد مطالعه و استفاده قرار می‌گیرند. معمولاً هر قدر عوامل بیشتری در مدل وارد شوند، نتیجه دقیق‌تری حاصل خواهد شد. گرچه عدم دسترسی کامل به برخی از اطلاعات مؤثر در این پژوهش وجود داشته است؛ اما سعی شده است که تا حد ممکن عوامل مؤثر و ضروری در این پژوهش استفاده شود. کلیدی‌ترین معیارها، برای به‌کارگیری در سیستم اطلاعات مکانی و تولید نقشه پهنه‌بندی مورد نظر، انتخاب شدند. شاخص‌های هم‌پوشانی برای معیارهای مختلف از پرسش‌نامه‌های تکمیل‌شده توسط کارشناسان ستاد بحران و مخاطرات، پدافند غیرعامل، مهندسی زلزله و همچنین با بررسی مطالعات پیشین مشخص گردید. جدول ۱، شاخص‌های هم‌پوشانی معیارهای انتخاب‌شده را نشان می‌دهد.



شکل ۱: نقشه موقعیت شهرهای شهرستان نهاوند در استان همدان و ایران

در این پژوهش، داده‌های مورداستفاده و منابع تهیه آن‌ها متفاوت بوده است. به عبارت دیگر، نقشه مربوط به داده‌های مورداستفاده دارای سیستم مختصات و سیستم تصویرهای متفاوتی بودند. بنابراین به منظور ایجاد امکان تجزیه و تحلیل‌های مکانی، آماده‌سازی داده‌ها در محدوده مورد مطالعه انجام شد. برای این منظور، این لایه‌ها به سیستم مختصات سامانه ژئودتیک جهانی ۱۹۸۴<sup>۱</sup> با سیستم تصویر مرکاتور<sup>۲</sup> زون<sup>۳</sup> ۳۹ شمالی انتقال داده شدند.

ارزش‌های موجود در لایه‌های مختلف نقشه هر معیار باید به واحدهای قابل‌مقایسه باهم تبدیل شوند. به عبارت دیگر، به منظور قابل‌مقایسه شدن مقیاس‌های مختلف اندازه‌گیری، لایه‌های مورد نظر باید فازی‌سازی شوند. مرحله تعریف مجموعه‌های فازی برای متغیرهای ورودی و خروجی، فازی‌سازی نامیده می‌شود. برای تعریف این مجموعه‌های فازی باید دانش اولیه‌ای از دامنه تعریف هر کدام از این متغیرها وجود داشته باشد.

<sup>۱</sup>. World Geodetic System 1984 - WGS 1984

<sup>۲</sup>. Universal Transvers Mercator - UTM

<sup>۳</sup>. Zone

تابعی که به هر یک از اعضای مجموعه فازی یک عدد را به‌عنوان درجه نسبت می‌دهد، تابع عضویت<sup>۱</sup> می‌گویند. عددی که تابع به هر عضو ارزش‌دهی می‌نماید درجه عضویت آن عضو در آن مجموعه را مشخص می‌سازد. اگر درجه عضویت یک عنصر از مجموعه برابر با صفر باشد آن عضو کاملاً خارج از مجموعه است و اگر درجه عضویت یک عضو برابر با یک باشد، آن عضو کاملاً در مجموعه قرار دارد. می‌توان نتیجه گرفت مجموعه کلاسیک یک حالت مجموعه فازی یعنی زیرمجموعه مجموعه فازی است و حال اگر درجه عضویت یک عضو مابین صفر و یک باشد این عدد بیانگر درجه عضویت تدریجی می‌باشد (لطفی زاده، ۱۹۶۵).

در طبقه‌بندی توابع عضویت، داده‌های ورودی به‌صورت مجموعه‌های فازی مثل بالا، متوسط، پایین و غیره تقسیم می‌شود که دامنه تمام داده‌های ورودی به‌وسیله چنین متغیرهایی با نسبت دادن درجه عضویت تقسیم‌بندی می‌شود (عطایی، ۱۳۸۹). عملیات فازی‌سازی ورودی‌ها را گرفته و توسط توابع عضویت مربوطه، یک درجه مناسب به هر یک نسبت می‌دهد. متغیرهای ورودی هر یک باید در محدوده رقمی تعریف‌شده خود باشند و خروجی‌ها، درجه عضویت فازی از مجموعه‌های تعیین‌کننده زبانی (بین صفر و یک) هستند (مهجوری، ۱۳۹۱).

جدول ۱: شاخص‌های هم‌پوشانی معیارهای منتخب بر اساس مطالعات پیشین و نظرات کارشناسان

منبع	شاخص همپوشانی	معیار مربوطه
اسکندر زاده و همکاران، ۱۳۹۳	در بحث جمعیتی آسیب‌پذیری در برابر زلزله با افزایش جمعیت، آسیب‌پذیری نیز افزایش می‌یابد.	تراکم جمعیتی
اسکندر زاده و همکاران، ۱۳۹۳	خاک‌های پایدار و ناپایدار، لرزش‌های ناشی از زلزله می‌تواند چند پدیده مهم را در خاک باعث شود: تراکم خاک‌های دانه‌ای و آب‌گونه شدن ماسه‌های ریز و کاهش مقاومت در بحث جمعیتی آسیب‌پذیری در برابر زلزله با افزایش جمعیت، آسیب‌پذیری نیز افزایش می‌یابد. خاک‌های چسبیده نرم	بافت خاک
امیریان و همکاران، ۱۳۹۷	ارزش‌گذاری بر اساس مقاومت در برابر زلزله می‌باشد، یعنی با افزایش مقاومت، آسیب‌پذیری کاهش خواهد یافت.	سازندهای زمین‌شناسی
امیریان و همکاران، ۱۳۹۷	ارزش‌گذاری بر اساس مقاومت کاربری در مقابل زلزله می‌باشد، با افزایش مقاومت آسیب‌پذیری کاهش می‌یابد.	کاربری اراضی
رحیمی شهید و همکاران، ۱۳۹۶	فرسایش خاک در گروه‌های استاندارد IV و II+I در بیشترین آسیب‌پذیری را در منطقه ایجاد می‌نماید.	فرسایش خاک
امیریان و همکاران، ۱۳۹۷	تا فاصله ۵۰۰ متری از تأسیسات خطرزا آسیب‌پذیری در بالاترین سطح خود قرار دارد و هرچه فاصله بیشتر شود، آسیب‌پذیری کاهش می‌یابد.	فاصله از تأسیسات خطرزا
اسکندر زاده و همکاران، ۱۳۹۳	تا فاصله ۱۰۰۰ متری از مناطق با ثبت زمین‌لغزش، بسیار آسیب‌پذیر می‌باشد و سپس با افزایش فاصله، آسیب‌پذیری ناشی از زلزله کاهش می‌یابد.	زمین‌لغزش
رحیمی شهید و همکاران، ۱۳۹۶	با افزایش فاصله از خط‌گسل، آسیب‌پذیری کاهش می‌یابد تا فاصله ۵ کیلومتری در پهنه‌بندی خطر بسیار بالا می‌باشد. ۵-۱۵ بالا، ۱۵-۳۰ متوسط، ۳۰-۴۵ نسبتاً پایین، ۴۵-۶۰ پایین	فاصله از گسل‌ها
رحیمی شهید و همکاران، ۱۳۹۶	یکی از عوامل مؤثر دسترسی به معابر باکیفیت مناسب می‌باشد تا در سریع‌ترین زمان به مقابله با بحران و کمک به زلزله‌زدگان بپردازند. دسترسی به مراکز امداد و نجات در حین و بعد از بحران در بحث امدادسانی	دسترسی به راه‌ها

<sup>1</sup>. Membership function



فاصله از رودخانه‌ها	تا فاصله ۲۵۰ متری آسیب‌پذیری در بیشترین حالت و هرچه فاصله بیشتر شود، آسیب‌پذیری کاهش می‌یابد.	اسکندر زاده و همکاران، ۱۳۹۳
فاصله از مراکز زلزله‌های پیشین	هرچقدر از مراکز زلزله‌های پیشین فاصله بگیریم به همان اندازه امکان آسیب کمتر می‌شود.	رحیمی شهید و همکاران، ۱۳۹۶
شدت زلزله‌های پیشین	بزرگی زلزله در سطح منطقه تعمیم داده شده تا بتوان آن مناطق را براساس بزرگی زلزله ارزش‌گذاری کرد.	رحیمی شهید و همکاران، ۱۳۹۶
مدل رقومی ارتفاعی	هرچه ارتفاع افزایش یابد، امدادسانی پس از وقوع زلزله با سختی مواجه می‌شود و در نتیجه آسیب‌پذیری نیز با افزایش روبرو می‌گردد.	اسکندر زاده و همکاران، ۱۳۹۳
شیب زمین	سکونتگاه‌هایی که در شیب‌های زیادی قرار دارند آسیب‌پذیری بالاتری در برابر زلزله خواهند داشت.	اسکندر زاده و همکاران، ۱۳۹۳

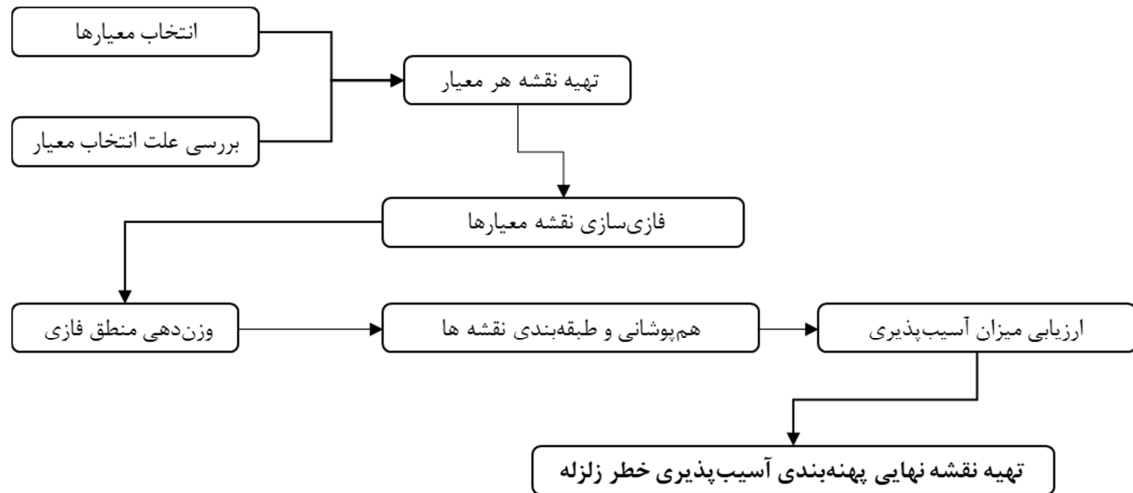
میزان اهمیت نقشه‌های معیار در رسیدن به نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری از زلزله، یکسان نمی‌باشد. از این رو لازم است نقشه‌های معیار امتیازدهی و یا به عبارت دیگر وزن‌دهی شوند. وزن هر معیار نشان‌دهنده میزان اهمیت و ارزش آن نسبت به معیارهای دیگر در پهنه‌بندی است. با توجه به اینکه معیارهای پهنه‌بندی زیاد و دارای ارزش یکسانی نمی‌باشند، بنابراین برای در نظر گرفتن اهمیت معیارها و استفاده مستقیم آن‌ها در پهنه‌بندی برای تدقیق وزن‌دهی معیارها امری الزامی است. اغلب وزن‌دهی‌های صورت‌گرفته بر پایه دانش کارشناسی و بر اساس نظر متخصصین و با در نظر گرفتن پارامترهای مختلف مانند محدوده مطالعاتی، پارامترهای پهنه‌بندی، تأثیر هر یک از پارامترها و غیره صورت می‌پذیرد. بدین منظور ابتدا نظرات مختلف متخصصین جمع‌آوری شده و پس از بررسی و آنالیز، نرمال‌سازی می‌شود (اقدر، ۱۳۹۱). در این پژوهش، برای وزن‌دهی به معیارها از روش وزن‌دهی فازی چانگ استفاده شد.

تمام داده‌های تهیه‌شده به فضای رستری منتقل می‌شوند. علت این مهم، آن است که به منظور پهنه‌بندی آسیب‌پذیری از زلزله، تمام تحلیل‌ها در فضای رستری انجام می‌گردد. بنابراین تمام معیارهایی که در آن فاصله از عارضه باعث تشدید یا تضعیف اهمیت آن معیار می‌گردد، بر اساس تابع فاصله اقلیدسی به فضای اقلیدسی منتقل می‌گردند. در واقع در صورتی که ارزش یک معیار بر اساس تغییرات فاصله تغییر یابد، از تابع فاصله اقلیدسی استفاده می‌گردد. در ریاضیات فاصله اقلیدسی، فاصله معمولی دونقطه است که توسط قضیه فیثاغورث به دست می‌آید (نیلسون، ۲۰۰۸).

طبقه‌بندی و دسته‌بندی اطلاعات در GIS یکی از روش‌هایی است که امکان نمایش اطلاعات عوارض را بر اساس صفات و خصوصیت‌های مختلف امکان‌پذیر می‌سازد. جهت طبقه‌بندی اطلاعات در نرم‌افزار ArcGIS روش‌های مختلفی همچون (Categories, Features, Unique Value و مشابه اینها) وجود دارد. با نگاهی عمومی‌تر، یک لایه رستری با توجه به قدرت تفکیک<sup>۱</sup> آن از تعدادی پیکسل‌های یک اندازه تشکیل شده است که هر یک از آن‌ها دارای ارزش عددی مختص به خود هستند. همجنس کردن، طبقه‌بندی یا دسته‌بندی کردن داده‌ها در یک لایه رستری را Reclassify گویند (فاستر، ۲۰۰۴). با استفاده از این تابع، بعد از تقسیم‌بندی ارزش پیکسل‌ها در طبقات مورد نظر، لایه رستری تولید خواهد شد که از تلفیق رسترهای موجود در یک طبقه، طبقاتی از یک جنس و یک نوع ساخته می‌شود.

شکل ۲، فلوجارت کلی روش پهنه‌بندی آسیب‌پذیری خطر زلزله، در این پژوهش را نشان می‌دهد.

<sup>۱</sup>. Resolution



شکل ۲: فلوجارت کلی روش پهنه‌بندی آسیب‌پذیری خطر زلزله

برای هر نقشه معیار می‌توان کلاس‌ها و واحدهای مکانی با درجه‌ای از عضویت بین صفر تا یک تعریف نمود. سپس نقشه‌های معیار را به کمک عملگرهای فازی باهم ترکیب نمود. عملگرهای فازی اشتراک<sup>۱</sup>، اجتماع<sup>۲</sup>، ضرب<sup>۳</sup>، جمع<sup>۴</sup> و گاما<sup>۵</sup> برای ترکیب داده‌ها و نقشه‌های فازی قابل‌استفاده است. عملگر فازی مطابق رابطه (۱) در این مقاله مورد استفاده قرار گرفت. این عملگر حالت کلی ضرب جبری عملگر ضرب و جمع فازی می‌باشد که هر دو به توان گاما رسانده شده‌اند و زمانی بکار می‌رود که تأثیرات کاهش و افزایشی در تعامل معیارها وجود داشته باشد (مالچفسکی، ۱۹۹۹).

$$\mu_{\text{combination}} = (\text{Fuzzy Sum})^y \times (\text{Fuzzy Product})^{1-y} \quad y \in [0,1] \quad (1)$$

در این مقاله، برای پیاده‌سازی روش، از ابزارهای نرم‌افزاری ArcGIS، Excel و Expert Choice استفاده شد.

## نتایج و بحث

برای تولید نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌ها در برابر زلزله، از ۱۴ معیار که عبارت‌اند از مدل رقومی ارتفاعی، مراکز و بزرگای زلزله‌های پیشین، تأسیسات خطرناک، راه‌های دسترسی، رودخانه‌ها، لایه‌های زمین‌شناسی، موقعیت زمین‌لغزش، شیب زمین، فرسایش خاک، کاربری اراضی، گسل‌های منطقه، بافت خاک، نقاط جمعیتی استفاده گردید. برای پیاده‌سازی و اجرای روش، از محیط توسعه ابزار مدل‌ساز<sup>۶</sup> که بخشی از چارچوب نرم‌افزار ArcGIS است، استفاده شد. مدل‌ساز، یک افزونه جهت تحلیل و ارزیابی مکانی است. در یک مدل‌ساز، ابزاری همانند یک نمودار

<sup>1</sup>. And

<sup>2</sup>. Or

<sup>3</sup>. Product

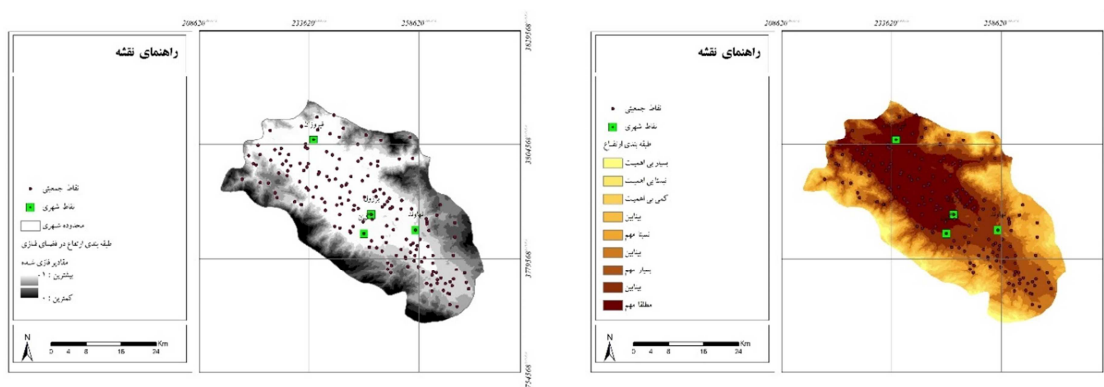
<sup>4</sup>. Sum

<sup>5</sup>. Gamma

<sup>6</sup>. Model Builder

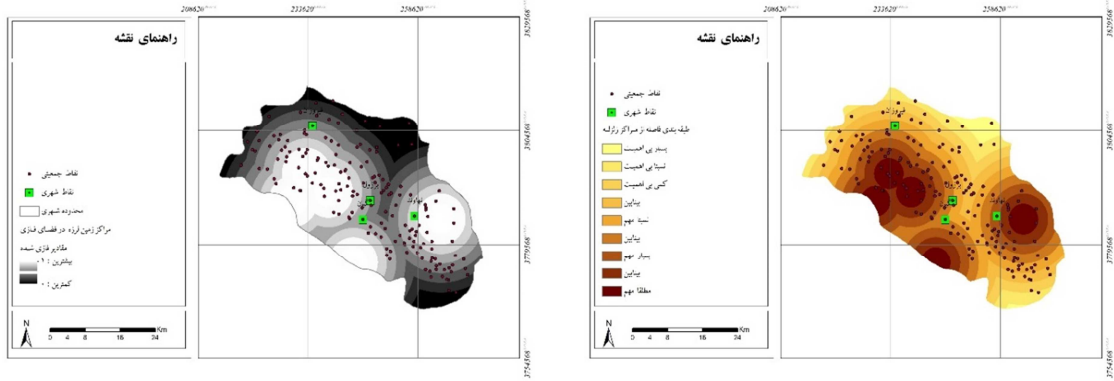
نشان داده می‌شود و مانند هر الگوریتم دیگر یک توالی از پردازش‌ها را به صورت هم‌زمان و به منظور دستیابی به یک هدف واحد به انجام می‌رساند. در بالاترین سطح مدل‌ها تنها اجزاء داده‌ها، اتصالات و برجسب‌های متنی را شامل می‌شوند. اجزاء داده‌ها، ابزارهایی هستند که به منظور دستیابی به هدف، مورداستفاده قرار می‌گیرند. اتصالات خطوطی هستند که داده‌ها را به ابزارها متصل می‌کنند و برجسب‌های متنی را می‌توان با کل مدل، اجزاء و یا اتصالات مرتبط کرد. بنابراین، مدل‌ساز کل فرایندهای مکانی را تنها با معرفی عناصر و اتصالات و برجسب‌های متنی، به صورت خودکار انجام می‌دهند. به این طریق، زمان انجام پردازش‌ها به میزان بسیار زیادی کاهش پیدا می‌کند. مدل‌ها را می‌توان در یک جعبه‌ابزار ذخیره کرد و بارها مورداستفاده قرارداد که یکی از مزایای بسیار کاربردی محیط توسعه ابزاری است.

برای فازی‌سازی هر کدام از معیارها با توجه به مطالعات پیشین، برای هر کدام به صورت خاص، تابع عضویت فازی تعریف شد. سپس به کمک مدل‌ساز ایجادشده در بستر نرم‌افزار ArcGIS نقشه فازی مربوط به آن معیار تولید شد. در شکل ۳، نقشه طبقه‌بندی مدل رقومی ارتفاعی در سمت راست و نقشه فازی‌شده آن در سمت چپ نشان داده شده است.



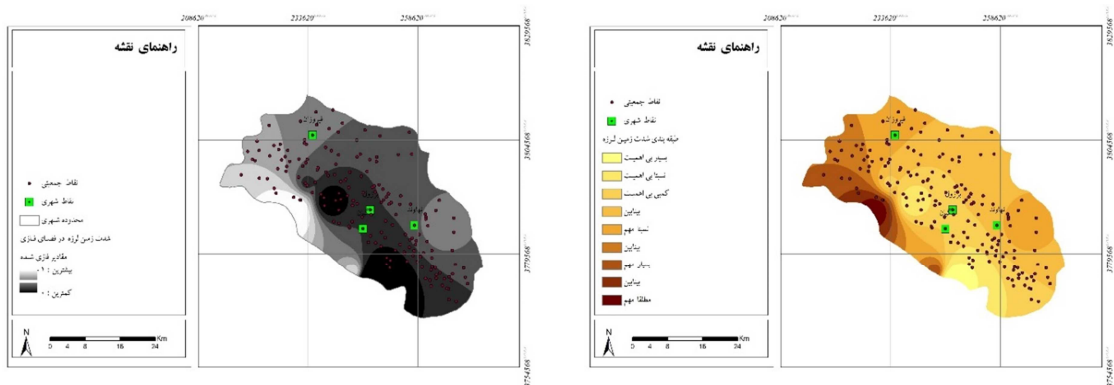
شکل ۳: نقشه طبقه‌بندی مدل رقومی ارتفاعی ( سمت راست)، نقشه فازی‌شده مدل رقومی ارتفاعی (سمت چپ)

در شکل ۴، نقشه طبقه‌بندی فاصله از مراکز زلزله‌های پیشین در سمت راست و نقشه فازی‌شده آن در سمت چپ نشان داده شده است.



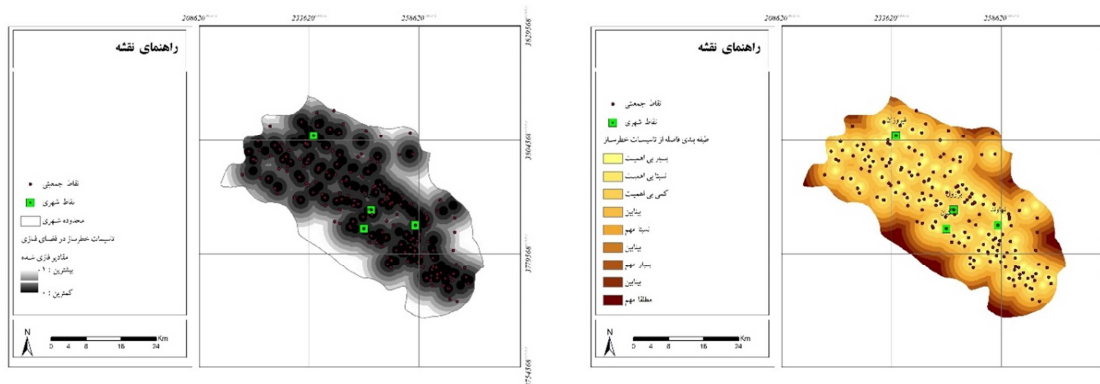
شکل ۴: نقشه طبقه‌بندی فاصله از مراکز زلزله‌های پیشین (سمت راست)، نقشه فازی شده فاصله از مراکز زلزله‌های پیشین (سمت چپ)

در شکل ۵، نقشه طبقه‌بندی بزرگای زلزله‌های پیشین در سمت راست و نقشه فازی شده آن در سمت چپ نشان داده شده است.



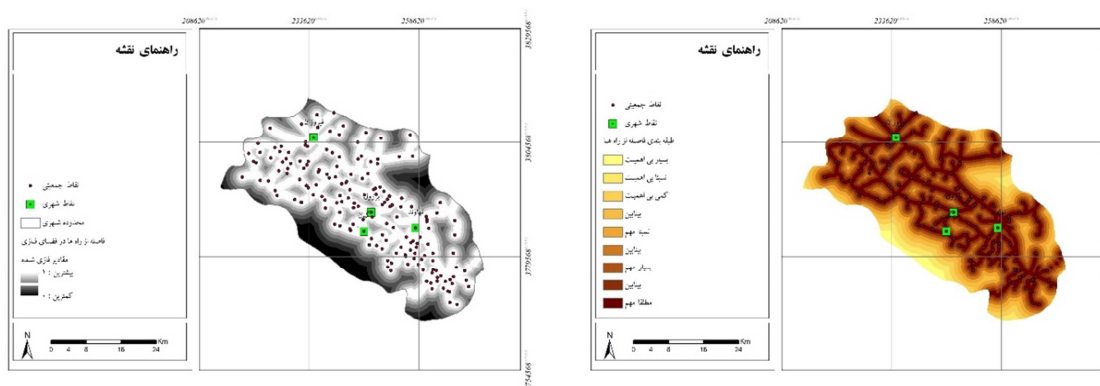
شکل ۵: نقشه طبقه‌بندی بزرگای زلزله‌های پیشین (سمت راست)، نقشه فازی شده بزرگای زلزله‌های پیشین (سمت چپ)

در شکل ۶، نقشه طبقه‌بندی فاصله از تأسیسات خط‌ساز در سمت راست و نقشه فازی شده آن در سمت چپ نشان داده شده است.



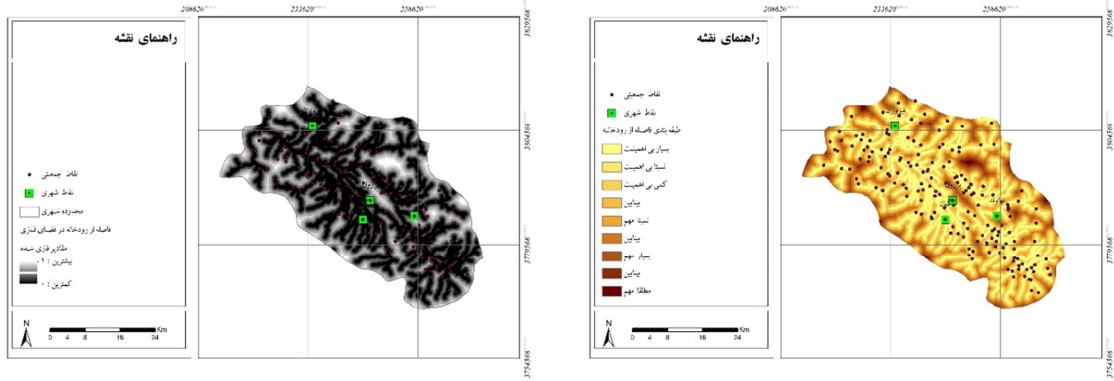
شکل ۶: نقشه طبقه‌بندی فاصله از تأسیسات خطرناک (سمت راست)، نقشه فازی شده فاصله از تأسیسات خطرناک (سمت چپ)

در شکل ۷، نقشه طبقه‌بندی فاصله از راه‌های دسترسی در سمت راست و نقشه فازی شده آن در سمت چپ نشان داده شده است.



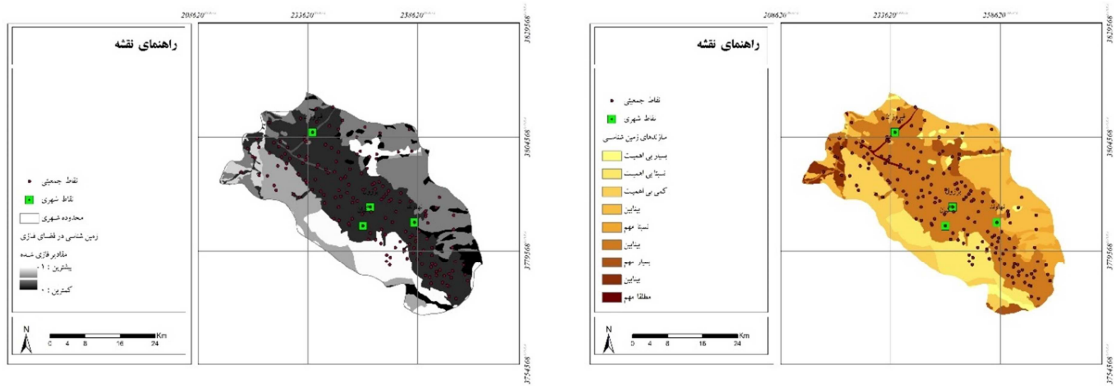
شکل ۷: نقشه طبقه‌بندی فاصله از راه‌های دسترسی (سمت راست)، نقشه فازی شده فاصله از راه‌های دسترسی (سمت چپ)

در شکل ۸، نقشه طبقه‌بندی فاصله از رودخانه‌ها در سمت راست و نقشه فازی شده آن در سمت چپ نشان داده شده است.



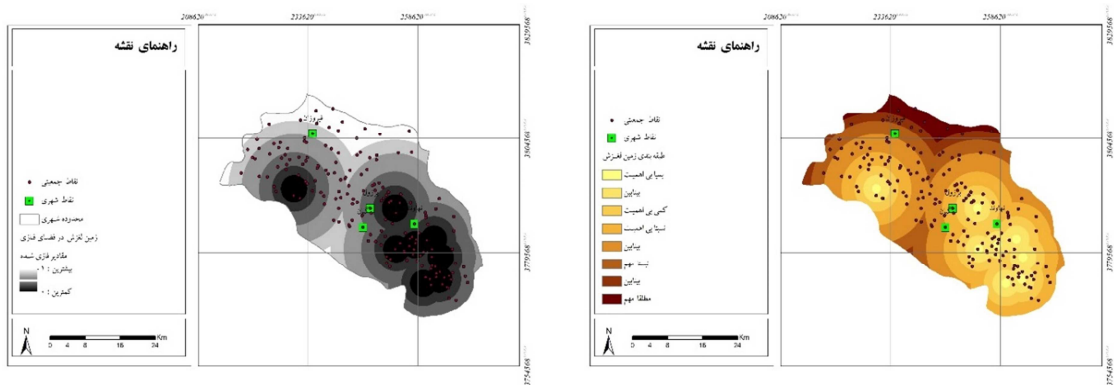
شکل ۸: نقشه طبقه‌بندی فاصله از رودخانه‌ها (سمت راست)، نقشه فازی شده فاصله از رودخانه‌ها

در شکل ۹، نقشه طبقه‌بندی سازندهای زمین‌شناسی در سمت راست و نقشه فازی شده آن در سمت چپ نشان داده شده است.



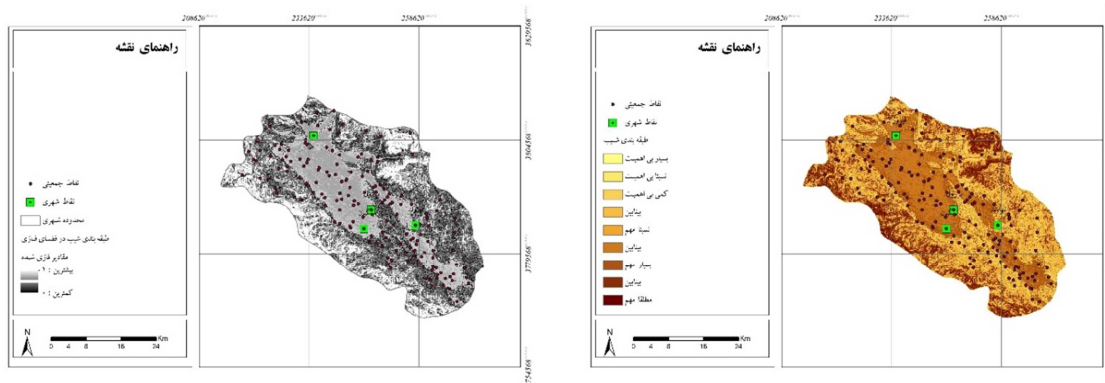
شکل ۹: نقشه طبقه‌بندی سازندهای زمین‌شناسی (سمت راست)، نقشه فازی شده سازندهای زمین‌شناسی (سمت چپ)

در شکل ۱۰، نقشه طبقه‌بندی فاصله از زمین‌لغزش در سمت راست و نقشه فازی شده آن در سمت چپ نشان داده شده است.



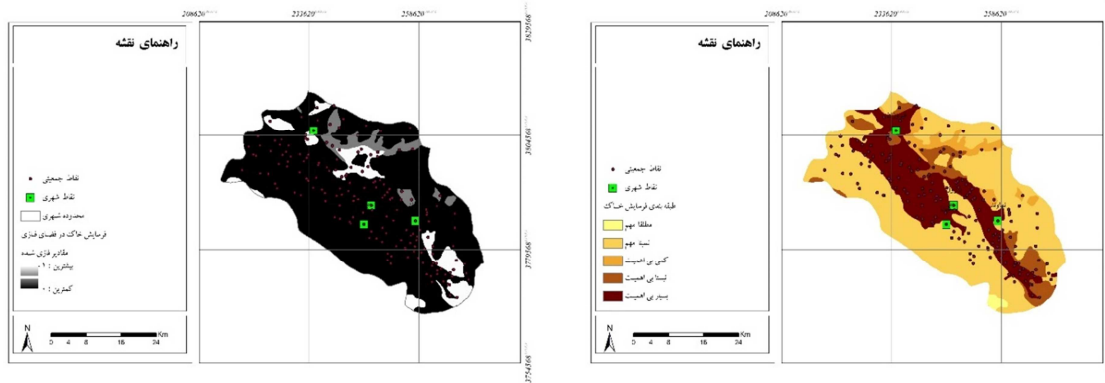
شکل ۱۰: نقشه طبقه‌بندی فاصله از نقاط زمین‌لغزش (سمت راست)، نقشه فازی شده فاصله از نقاط زمین‌لغزش (سمت چپ)

در شکل ۱۱، نقشه طبقه‌بندی شیب منطقه در سمت راست و نقشه فازی شده آن در سمت چپ نشان داده شده است.



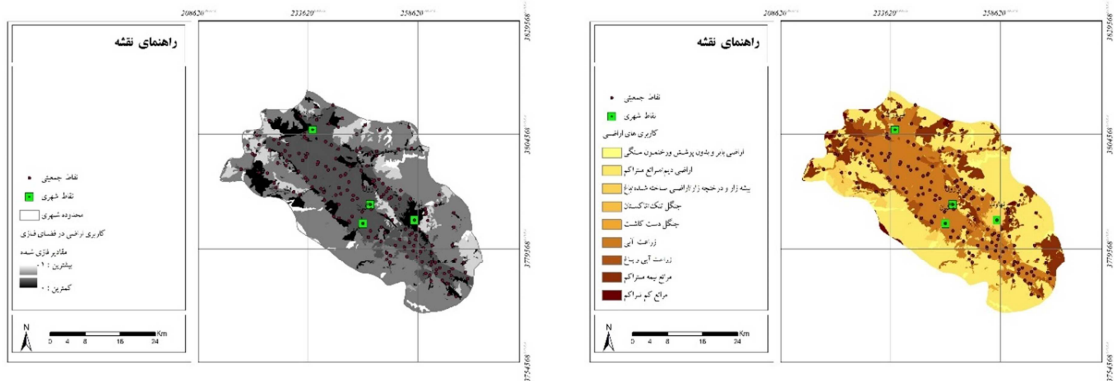
شکل ۱۱: نقشه طبقه‌بندی شیب منطقه (سمت راست)، نقشه فازی شده شیب منطقه (سمت چپ)

در شکل ۱۲، نقشه طبقه‌بندی گونه‌های فرسایش خاک منطقه در سمت راست و نقشه فازی شده آن در سمت چپ نشان داده شده است.



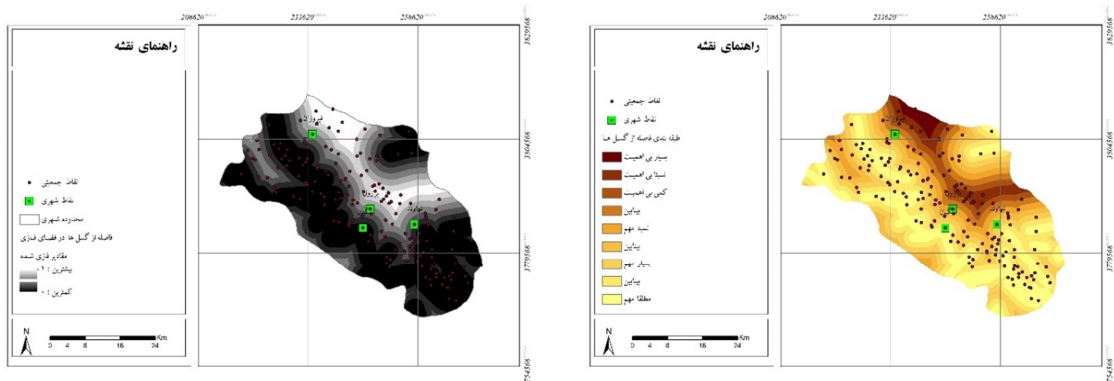
شکل ۱۲: نقشه طبقه‌بندی گونه‌های فرسایش خاک (سمت راست)، نقشه فازی شده فرسایش خاک (سمت چپ)

در شکل ۱۳، نقشه طبقه‌بندی کاربری‌های اراضی منطقه در سمت راست و نقشه فازی شده آن در سمت چپ نشان داده شده است.



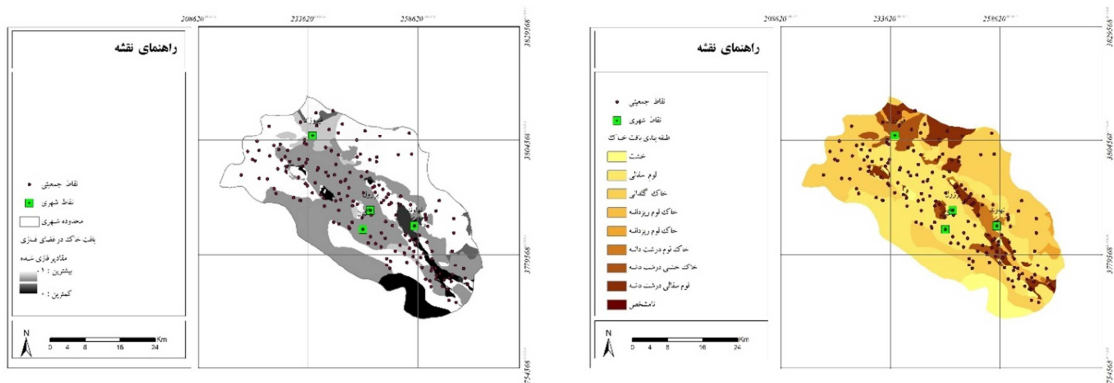
شکل ۱۳: نقشه طبقه‌بندی کاربری‌های اراضی (سمت راست)، نقشه فازی شده کاربری‌های اراضی (سمت چپ)

در شکل ۱۴، نقشه طبقه‌بندی فاصله از گسل‌های منطقه در سمت راست و نقشه فازی‌شده آن در سمت چپ نشان داده شده است.



شکل ۱۴: نقشه طبقه‌بندی فاصله از گسل‌های منطقه (سمت راست)، نقشه فازی‌شده فاصله از گسل‌های منطقه (سمت چپ)

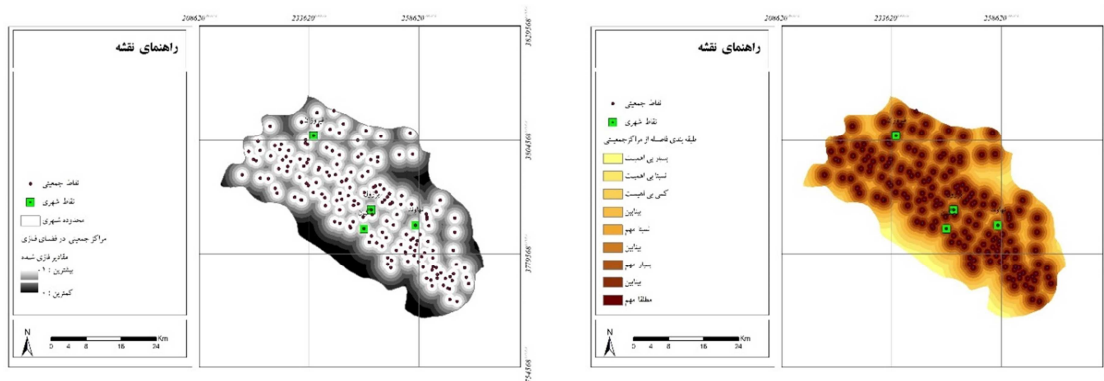
در شکل ۱۵، نقشه طبقه‌بندی بافت خاک منطقه در سمت راست و نقشه فازی‌شده آن در سمت چپ نشان داده شده است.



شکل ۱۵: نقشه طبقه‌بندی بافت خاک (سمت راست)، نقشه فازی‌شده بافت خاک (سمت چپ)



در شکل ۱۶، نقشه طبقه‌بندی فاصله از مراکز جمعیتی منطقه در سمت راست و نقشه فازی شده آن در سمت چپ نشان داده شده است.



شکل ۱۶: نقشه طبقه‌بندی فاصله از مراکز جمعیتی (سمت راست)، نقشه فازی شده فاصله از مراکز جمعیتی (سمت چپ)

### وزن‌دهی و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌ها در برابر خطر زلزله شهرستان نهاوند

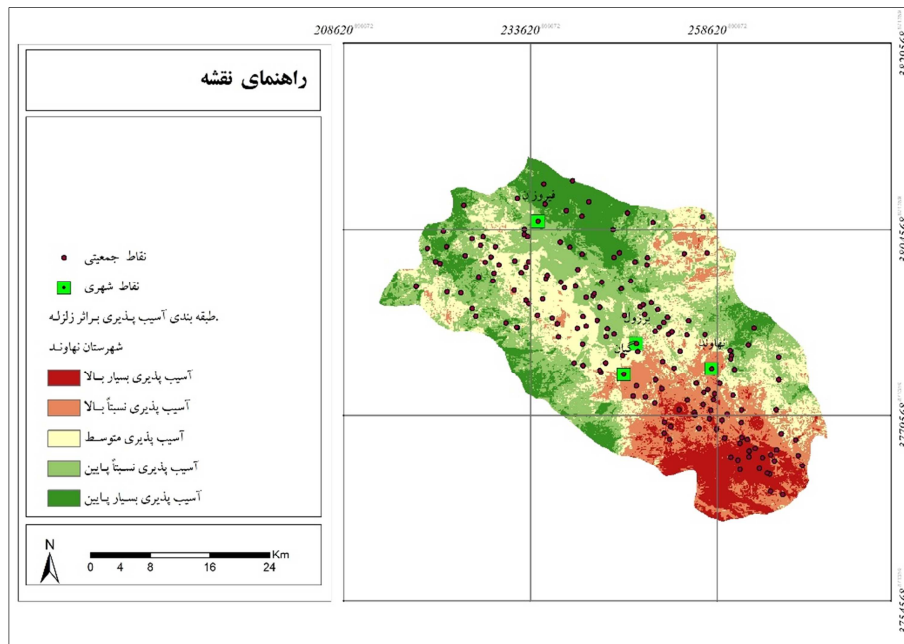
همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، برای وزن‌دهی به معیارها از روش وزن‌دهی فازی چانگ استفاده شد. نرم‌افزار خاصی به‌منظور انجام این فرایند وجود ندارد بلکه نیاز به یک فضای محاسباتی جهت انجام تجزیه و تحلیل‌های یادشده می‌باشد که در این خصوص نرم‌افزار محاسباتی Excel، که در انجام محاسبات سهولت دارد، استفاده شد. شکل ۱۷، وزن معیارهای مؤثر به‌دست‌آمده به روش سلسله‌مراتبی تحلیلی فازی را نشان می‌دهد.

برای هر نقشه معیار کلاس‌ها و واحدهای مکانی با درجه‌ای از عضویت بین صفر تا یک به دست آمد. سپس نقشه‌های معیار به کمک عملگرهای فازی باهم ترکیب و طبقه‌بندی انجام شد.

برای تولید، ادغام و ارزیابی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌ها در برابر زلزله در شهرستان نهاوند مراحل مختلف روش پهنه‌بندی آسیب‌پذیری از زلزله (شکل ۲) اجرا شد. برای طبقه‌بندی نهایی محدوده، از روش هم‌پوشانی داده‌های مکانی در نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. این روش، یکی از ساده‌ترین و مؤثرترین تحلیل‌های مکانی است. تمام لایه‌های موضوعی که فازی‌سازی شده و بر اساس وزن خاص خودشان، در محیط سیستم اطلاعات مکانی باهم ادغام شدند. ۱۴ نقشه موضوعی مربوط به هر کدام از معیارها جهت هم‌پوشانی مورداستفاده قرار گرفتند. به‌منظور هم‌پوشانی نقشه معیارها بر اساس وزن‌های تولیدشده در روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، پس از نرمال‌سازی معیارها از دستور Fuzzy Overlay استفاده شد. عملگرهای مختلف اشتراک، اجتماع، جمع، ضرب و گاما به‌منظور ادغام لایه‌ها استفاده می‌شود. هر کدام از این توابع نتایج متفاوتی را به همراه دارد. با توجه به بررسی مطالعات صورت گرفته توسط دیگر محققان، در این پژوهش از تابع گاما با مقادیر اولیه ۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹ استفاده شد که پس از صحت‌سنجی نتایج و بررسی مقادیر آن‌ها، گامای ۰/۹ انتخاب و استفاده شد. نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌ها در برابر زلزله جهت تحلیل‌ها و ارزیابی‌های محیطی در ۵ کلاس آسیب‌پذیری بالا، نسبتاً بالا، متوسط، پایین و نسبتاً پایین تولید شد. شکل ۱۸، نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌ها در برابر زلزله در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

تراکم جمعیتی	۰/۰۴۲۲	وزن معیارها
بافت خاک	۰/۰۳۰۶	
زمین شناسی	۰/۰۳۲۲	
کاربری اراضی	۰/۰۹۶۰	
فرسایش خاک	۰/۰۲۸۶	
تاسیسات خط‌رسان	۰/۰۹۶۱	
زمین لغزش	۰/۱۳۴۹	
گسل‌ها	۰/۱۰۸۷	
راه‌ها	۰/۰۱۷۹	
رودخانه‌ها	۰/۰۲۵۰	
مراکز زلزله‌های پیشین	۰/۰۹۹۹	
شدت زلزله‌های پیشین	۰/۱۳۴۹	
ارتفاع	۰/۰۹۲۹	
شیب	۰/۰۵۸۲	

شکل ۱۷: وزن معیارهای مؤثر به روش سلسله‌مراتبی تحلیلی فازی



شکل ۱۸: نقشه آسیب‌پذیری سکونتگاه‌ها بر اثر زلزله در شهرستان نهاوند با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی

نتایج پهنه‌بندی آسیب‌پذیری از زلزله برای شهرستان نهاوند در جدول ۲، نشان داده شده است. با توجه به معیارهای در نظر گرفته‌شده در این پهنه‌بندی، از ۴ شهر واقع در شهرستان، ۳ شهر و از مجموع ۱۶۹ روستای واقع در شهرستان، ۵۴ روستا در پهنه با آسیب‌پذیری بسیار بالا و نسبتاً بالا قرار گرفته‌اند. وضعیت قرارگیری شهرها و روستاهای شهرستان در هر کدام از پهنه‌ها مشخص شد.

جدول ۲: مساحت مناطق طبقه‌بندی شده محدوده مورد مطالعه با آسیب‌پذیری مختلف در مواجهه با زلزله

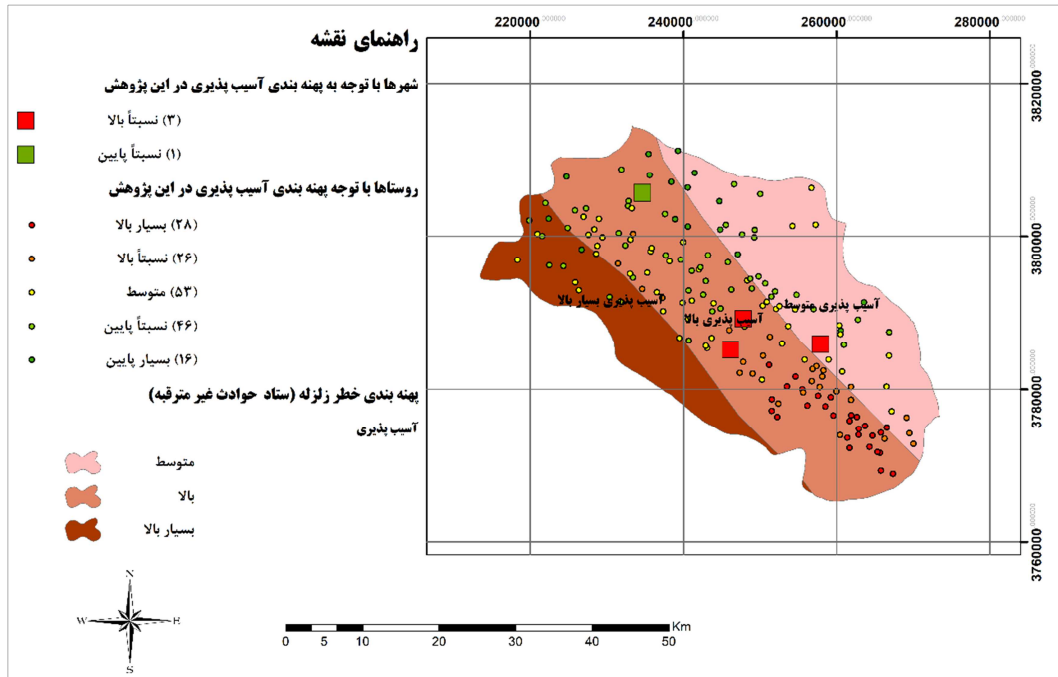
ردیف	کلاس	مساحت (هکتار)	درصد	تعداد شهر	تعداد روستا
۱	آسیب‌پذیری بسیار بالا	۱۳۹۸۰	۹	۰	۲۸
۲	آسیب‌پذیری نسبتاً بالا	۲۵۵۷۱	۱۷	۳	۲۶
۳	آسیب‌پذیری متوسط	۳۹۰۰۰	۲۶	۰	۵۳
۴	آسیب‌پذیری نسبتاً پائین	۴۸۱۷۳	۳۱/۷	۱	۴۶
۵	آسیب‌پذیری بسیار پائین	۲۵۰۶۵	۱۶/۳	۰	۱۶

کیفیت سازه سکونتگاه‌ها، از جمله پارامترهای بسیار مهم در ارزیابی میزان آسیب‌پذیری از زلزله است. اما با توجه به اینکه امکان دسترسی به داده‌های این معیار فراهم نشد؛ بنابراین این نتایج، تنها با لحاظ سایر معیارهای مؤثر بر پهنه‌بندی این آسیب‌پذیری محاسبه شده است.

نتایج به دست آمده در این پژوهش، با نقشه پهنه‌بندی خطر زلزله که توسط ستاد حوادث غیرمترقبه استانداری همدان تهیه شده است، مقایسه شد. در نقشه پهنه‌بندی خطر (تهیه شده توسط ستاد حوادث غیرمترقبه)، محدوده شهرستان نهاوند در ۳ کلاس با آسیب‌پذیری متوسط، بالا و بسیار بالا طبقه‌بندی شده است. برای ارزیابی دقیق دو نقشه خطرپذیری ستاد و نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری از زلزله، دو نقشه با یکدیگر همپوشانی شدند. پهنه آسیب‌پذیری از زلزله برای تمامی شهرها و روستاهای شهرستان که در مرحله قبل مشخص شده بود با نقشه خطرپذیری هم‌زمان در شکل ۱۹ نشان داده شده است. در این شکل تعداد شهرها و روستاها در هر کدام از پهنه‌ها نیز مشخص شده است.

نقشه ستاد حوادث غیرمترقبه استانداری همدان، با تمرکز بر موقعیت گسل‌ها، پهنه‌بندی شهرستان نهاوند را مشخص کرده است. در صورتی که در این پژوهش، با لحاظ ۱۴ معیار مختلف و روش سلسله‌مراتبی فازی، پهنه‌های آسیب‌پذیر شهرستان نهاوند شناسایی شد. با این حال، موقعیت قرارگیری روستاها و شهرها در محدوده شهرستان نشان می‌دهد، تطبیق نسبی با نقشه خطرپذیری ستاد وجود دارد. مقیاس عملکردی در تولید نقشه توسط ستاد کلی‌تر بوده و جزئیات زیادی مدنظر قرار نگرفته است. اما در این پژوهش، مقیاس بزرگ‌تر و جزئیات نقشه تهیه شده بیشتر است. اهمیت معیارهای مختلف و تعداد متغیرهای مورد استفاده برای پهنه‌بندی، در این مقایسه مشخص است. در صورتی که پارامتر ضریب کیفیت سازه، کیفیت مصالح و ساخت هم در خصوص سکونتگاه‌ها در محاسبات لحاظ شود، قاعدتاً نتیجه بهتر و قابل‌اعتمادتر خواهد بود.

با توجه به وزن‌دهی معیارها، در این پژوهش بزرگا و موقعیت زلزله‌های پیشین، موقعیت زمین‌لغزش‌ها و گسل‌ها در پهنه‌بندی محدوده شهرستان اثرگذار بود. پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های شهری و روستایی موجود در شهرستان نهاوند با توجه به تمامی معیارهای مدنظر انجام شد. با توجه به قرارگیری ۳ شهر و ۵۴ روستا در پهنه آسیب‌پذیر بسیار بالا و نسبتاً بالا، اولویت‌دهی به مطالعات دقیق‌تر محدوده شهرستان نهاوند، در این زمینه را می‌طلبد. ابزارهای تحلیل مکانی، سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند در تولید اطلاعات مفید در این زمینه بیش‌ازپیش مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۱۹: نتیجه همپوشانی سکونتگاه‌های پهنه‌بندی شده در این پژوهش با نقشه پهنه‌بندی خطر زلزله (ستاد حوادث غیر مترقبه استانداری همدان)

### نتیجه‌گیری

در شناسایی و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌ها از زلزله در شهرستان نهاوند، معیارها و پارامترهای قابل‌دسترس مدنظر قرار گرفت. استفاده از ابزارهای تحلیل مکانی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، امکان بسیار مناسبی برای این منظور است. در این مقاله، از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و روش وزن‌دهی چانگ استفاده شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، از مجموع ۴ شهر واقع در شهرستان نهاوند، ۳ شهر و از ۱۶۹ روستای این شهرستان، ۵۴ روستا در پهنه آسیب‌پذیر بسیار بالا و نسبتاً بالا قرار گرفتند. این پهنه‌بندی با توجه به معیارهای در دسترس در این پژوهش انجام شد.

نتایج، با نقشه پهنه‌بندی خطر ستاد حوادث غیر مترقبه استانداری همدان هم تطبیق نسبی نشان داد. تهیه نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری عرصه سکونتگاهی، یکی از راه‌کارهای مؤثر جهت شناسایی مناطق آسیب‌پذیر و تحت خطر است. تولید این نقشه می‌تواند در مدیریت خطر، راهنمای مدیران برای اولویت‌دادن به بررسی و نظارت باشد. با توجه به نتایج این پژوهش، نیاز به مطالعه پتانسیل مخاطرات طبیعی در منطقه وجود دارد. ضرورت انجام این پژوهش، نیز وقوع زلزله‌های متعدد در محدوده جغرافیایی این شهرستان بوده است. از آنجایی‌که جلوگیری از بروز این پدیده‌ها به سبب طبیعت آن‌ها امکان‌پذیر نیست، تولید اطلاعات مناسب برای مدیریت بهینه و اعمال روش‌های اصولی و مناسب در جهت کنترل مواقع بحرانی اهمیت پیدا می‌کند. قابلیت‌های تحلیل مکانی مختلف موجود سیستم اطلاعات مکانی، در این زمینه بسیار مفید است. با نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری، برنامه‌ریزی برای ایمن‌سازی سکونتگاه‌ها در برابر

بلاایای طبیعی، به خصوص زلزله قابل انجام است. از سوی دیگر، تولید این نوع اطلاعات منجر به آگاهی مردم در مورد خطرهای ناشی از بلاایای طبیعی بوده و می‌تواند میزان خسارت ناشی از آن‌ها را کاهش دهد.

با توجه به افزایش وقوع سوانح طبیعی به‌ویژه زلزله در سده‌های اخیر در نقاط مختلف جهان و به تبع آن افزایش تلفات، خسارت‌ها و آسیب‌های ناشی از وقوع این پدیده‌ها، موضوع کاهش آسیب‌های ناشی از سوانح، افزایش مقاومت و آمادگی در برابر این بلایا از اهمیت خاصی برخوردار شده است. شهرستان نهاوند به علت قرارگیری در اطراف چین‌خوردگی‌ها و گسل‌های فعال و لرزه‌خیز، از زلزله‌های متعددی متأثر شده است. بنابراین وجود گسل‌های فراوان منطقه و خسارت‌های ناشی از زلزله، لزوم پهنه‌بندی دقیق‌تر خطر این پدیده را در منطقه ضروری می‌نماید. در این پژوهش از ۱۴ معیار که در محدوده شهرستان در اختیار قرار گرفت، با منطق فازی ترکیب و نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری از زلزله تولید شد. برای انجام پژوهش‌های بیشتر در این زمینه پیشنهادها زیر مطرح می‌شود:

\* پارامترها و معیارهای مؤثری دیگر نظیر کیفیت مصالح و بنا، ضریب کیفیت سازه و خطوط انتقال نیرو، گاز و آب و امثال آن نیز می‌تواند در پهنه‌بندی مورد استفاده قرار گیرد.

\* منطق فازی، ابزار بسیار مناسبی برای کمی‌سازی معیارهای مختلف و استانداردسازی شرایط ترکیب داده‌ها از اقسام مختلف در سیستم اطلاعات جغرافیایی را فراهم می‌کند. توابع عضویت فازی مربوط به هر کدام از معیارها نیازمند بهینه‌سازی در نوع و بازه انتخابی برای هر کدام است. پیشنهاد می‌شود، در پژوهش‌های آتی بر تعریف و تعیین نوع توابع عضویت فازی تمرکز شود.

\* دقت داده‌های ورودی بر اساس مقیاس هدف برای پهنه‌بندی آسیب‌پذیری مدنظر قرار گیرد.

\* از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره برای مقایسه نتایج حاصل با هم استفاده شود.

## تقدیر و تشکر

از تمامی کارشناسان محترم استانداری، سازمان مسکن و شهرسازی استان همدان و سازمان نقشه‌برداری غرب کشور که در جمع‌آوری و در اختیار قراردادن داده‌ها برای انجام مراحل مختلف این پژوهش همکاری کردند، قدردانی و تشکر می‌نماییم.

## منابع

اسکندر زاده، آیدین؛ رستم زاده، هاشم؛ حجازی، میر اسدالله. (۱۳۹۳)، پهنه‌بندی آسیب‌پذیری خطر زلزله شهرستان جلفا با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل موقعیت سکونتگاه‌های شهری و روستایی نسبت به آن، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه ژئومورفولوژی، گرایش مخاطرات محیطی، پردیس بین‌المللی ارس.

اقدرد، حسین. (۱۳۹۱)، مسیریابی خطوط لوله انتقال نفت با استفاده از GIS و منطق فازی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور و GIS، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران.

بحرالعلوم، محمد؛ ملایی‌نیا، محمودرضا و امینی‌زاده بزنجانی، محمدرضا. (۱۳۹۶)، مکان‌یابی سدهای زیرزمینی با استفاده از تلفیق GIS و AHP (مطالعه موردی: حاشیه کویر لوت، کرمان)، مقاله ۹، دوره ۸، شماره ۲- شماره پیاپی ۳۰، صفحه ۱۲۸-۱۱۶.

- پیشان، مجید؛ پورطاهری، مهدی؛ رکن‌الدین افتخاری، عبدالرضا؛ عسکری، علی. (۱۳۹۲)، رتبه‌بندی و سنجش سطح آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی در برابر ریسک زلزله (مطالعه موردی: مناطق روستایی استان قزوین)، برنامه‌ریزی و آمایش فضا (مدرس علوم انسانی)، دوره ۱۷، شماره ۳، صفحه ۱-۲۵.
- پورطاهری، مهدی؛ سجاسی قیداری، حمدالله؛ صادقلو، طاهره. (۱۳۹۰)، ارزیابی تطبیقی روش‌های رتبه‌بندی مخاطرات طبیعی در مناطق روستایی (مطالعه موردی: استان زنجان)، پژوهش‌های روستایی، ۲(۳)، ۳۱-۵۴.
- خزایی، مصطفی؛ رضویان، محمدتقی. (۱۳۹۸)، بافت فرسوده؛ فرصت یا تهدید مدیریت شهری (نمونه موردی: بافت فرسوده شهر نهاوند)، آمایش محیط، دوره ۱۲، شماره ۴۶، صفحه ۱۰۱-۱۲۵.
- رحیمی شهید، مجتبی؛ رحیمی، نیما. (۱۳۹۶)، پهنه‌بندی خطر زلزله با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) مطالعه موردی: بخش مرکزی شهرستان سمیرم؛ یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۱۱، شماره ۲۲، صفحه ۱۰۹-۱۱۸.
- رومیانی، احمد؛ عینالی، جمشید؛ صالحی میشانی، حیدر. (۱۳۹۳)، نقش مدیریت در توسعه جوامع روستایی برای مقابله با مخاطرات زلزله (مطالعه موردی: دهستان زاغه شهرستان خرم‌آباد). پژوهش و برنامه‌ریزی روستایی، ۳(۸)، ۸۲-۹۶.
- طلایی، حسن؛ چایچی امیرخیز، احمد؛ سعیدی هرسینی، محمدرضا. (۱۳۸۵)، گزارش مقدماتی بررسی الگوهای استقرار عصر مفرغ دشت نهاوند (سرچشمه گاماسیاب)، مجله دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دوره ۵۷، شماره ۵، صفحه ۱۲۲-۱۳۸.
- عطائی، محمد. (۱۳۸۹)، تصمیم‌گیری چندمعیاره، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران.
- فال سلیمان، محمود؛ حجتی پور، محمد؛ جمشیدی، کمال. (۱۳۹۱)، آسیب‌پذیری عناصر کالبدی سکونتگاه‌های روستایی در مناطق زلزله‌خیز (نمونه: شهرستان‌های قاینات و زیرکوه)، آمایش جغرافیایی فضا، دوره ۲، شماره ۶، صفحه ۷۵-۹۸.
- کرمی، محمدرضا. (۱۳۹۱)، ارزیابی خطر زلزله و آسیب‌پذیری شهرها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (نمونه موردی: شهر تبریز)، رساله دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، تبریز: دانشگاه تبریز.
- کرمی، محمدرضا؛ امیریان، سهراب. (۱۳۹۷)، پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهری ناشی از زمین‌لرزه با استفاده از مدل Fuzzy-AHP (مطالعه موردی: شهر تبریز)، نشریه علمی-پژوهشی برنامه‌ریزی توسعه کالبدی، سال سوم، شماره ۶ (سری جدید) پیاپی ۱۰، تابستان ۱۳۹۷، صفحه ۱۱۰-۱۲۴.
- مالچفسکی، یاجک. (۱۹۹۹). سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چند معیاری، ترجمه‌ی اکبر پرهیزگار و عطا غفاری گیلانده. (۱۳۸۵). تهران، انتشارات سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت).
- میرلطفی، محمدرضا؛ محمدزایی راد، طاهره. (۱۳۹۴). بررسی نقش مدیریت بحران در توسعه پایدار روستایی منطقه سیستم. همایش ملی عمران و معماری با رویکردی بر توسعه پایدار، فومن.
- نیری، هادی؛ خالق پناه، کمال؛ کرمی، محمدرضا؛ احمدی، خه‌بات، (۱۳۹۵)، پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری شهر سنندج ناشی از زلزله با استفاده از دو مدل تحلیل سلسله‌مراتبی و مدل تاپسیس، جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۲۰، شماره ۵۷، ۲۷۷-۲۹۴.
- Abler, R. (2017). The National Science Foundation Center for Geographic Information and Analysis. *International Journal of Geographic Information Systems*, 1:26-303.
- Deligiannakis, G., Papanikolaou, I. D., & Roberts, G. (2018). Fault-specific GIS-based seismic hazard maps for the Attica region, Greece. *Geomorphology*, 306, 264-282.
- Foster, S. Tuinhof, A. (2004). Subsurface Dams to Augment Groundwater Storage in Basement Terrain for Human Subsistence Brazil and Kenyan Experience World Bank Groundwater Management Advisory Team, No. 5. DOI:10.13140/RG.2.1.2725.1280
- Hashemi, M., Alesheikh, A. A. (2011). A GIS-based earthquake damage assessment and settlement methodology. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31(11), 1607-1617.
- Jena, R., Pradhan, B., Beydoun, G., Al-Amri, A., & Sofyan, H. (2020). Seismic hazard and risk assessment: a review of state-of-the-art traditional and GIS models. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(2), 50.
- Moradi, M., Delavar, M. R., & Moshiri, B. (2015). A GIS-based multi-criteria decision-making approach for seismic vulnerability assessment using quantifier-guided OWA operator: a case study of Tehran, Iran. *Annals of GIS*, 21(3), 209-222.
- Nilsson, A. (2008). Groundwater dam for small-scale water supply. Intermediate technology publication ltd.

- Nyimbili, P. H., Erden, T., & Karaman, H. (2018). Integration of GIS, AHP, and TOPSIS for earthquake hazard analysis. *Natural Hazards*, 92(3), 1523-1546.
- Sadrykia, M., Delavar, M., & Zare, M. (2017). A GIS-Based Fuzzy Decision-Making Model for Seismic Vulnerability Assessment in Areas with Incomplete Data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6. DOI: 10.3390/ijgi6040119
- Sinha, N., Priyanka, N., & Joshi, P. K. (2016). 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*, 7(2), 680-701.
- Vatseva, R., Solakov, D., Tcherkezova, E., Simeonova, S., & Trifonova, P. (2013). Applying GIS in Seismic Hazard Assessment and Data Integration for Disaster Management (pp. 171-183).
- Zadeh Lotfi, A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353.

## References

### References (in Persian)

- Aqdar, Hussein (1391). Routing of Oil Transmission Pipelines Using GIS and Fuzzy Logic, Master Thesis in Remote Sensing and GIS, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran. [In Persian]
- Ataiee, Mohammad (1389). Multi-criteria decision making, Shahroud University of Technology Press, Iran.
- Bahr al-Ulum, Muhammad Malayania, Mahmoud Reza; And Aminzadeh Bazanjani, Mohammad Reza. (1396). Location of underground dams using a combination of GIS and AHP (Case study: Lut desert margin, Kerman), Article 9, Volume 8, Number 2 - Consecutive Issue 30, pp. 128-116. [In Persian]
- Eskandarzadeh, Aydin, Rostamzadeh, Hashem, Hejazi, Mirasdollah, 2014, "Zoning of Earthquake Vulnerability Using Hierarchical Analysis and Analyzing the Location of Urban and Rural Settlements about It", Master Thesis, Department Geomorphology, Environmental Hazards Orientation, Aras International Campus. [In Persian]
- Fal Soleiman Mahmoud, Hajipour Mohammad, Jamshidi Kamal, 2012, "Vulnerability of physical elements of rural settlements in earthquake-prone areas (example: Ghainat and Zirkuh counties)", Geographical planning of space, Volume 2, Number 6, pp. 75-98. [In Persian]
- JomehManzari, Reza and Barati, Reza. (1394). locating suitable sites for the construction of an underground dam Case study: Kalat plain located in Khorasan province, the first national congress of irrigation and drainage in Iran, Volume 1. [In Persian]
- Karami, Mohammad Reza (1391). Evaluation, Risk, Earthquake, and Vulnerability of Cities Using Geographic Information System (Case Study: Tabriz City), PhD Thesis in Geography and Urban Planning, Tabriz: University of Tabriz. [In Persian]
- Karami, Mohammad Reza Amirian, Sohrab (1397). Zoning of Urban Vulnerability Due to Earthquake Using Fuzzy-AHP Model (Case Study: Tabriz City), Journal of Physical Development Planning, Third Year, No. 6 (New Series) 10, summer 1397, pp. 124-110. [In Persian]
- Khazaei, Mostafa, Razavian, Mohammad Taghi, (1398), "Worn texture; opportunity or threat of urban management (Case study: the worn texture of Nahavand city)", Environmental Management, Volume 12, Number 46, pp. 101-125. [In Persian]
- Malchevsky, Yachk. (1999). Geographic Information System and Multi-Criterion Decision Analysis, translated by Akbar Parhizgar and Atta Ghaffari Galatdeh. (1385). Tehran, Publications of the Organization for the Study and Compilation of University Humanities Books (Position). [In Persian]
- Nairi Hadi, Khaleghpanah Kamal, Karami Mohammad Reza, Ahmadi Khabat, 2016, "Zoning of Sanandaj Vulnerability to Earthquake Using Two Hierarchical Analysis Models and TOPSIS Model", Geography and Planning, Volume 20, Number 57, 277-294. [In Persian]
- Parishan Majid, Portaheri Mehdi, Rokanuddin Eftekhari Abdolreza, Askari Ali, 2013, "Ranking and assessment of the vulnerability of rural settlements to earthquake risk (Case study: rural areas of Qazvin province)", space planning and planning (Science teacher Human), Volume 17, Number 3, Pages 1-25. [In Persian]
- Purtaheri, M., Sajasi Qeidari, H.A., and Sadeghloo, i. (1390). Comparative evaluation of natural hazard rating methods in rural areas (Case study: Zanjan province). Rural Research, 2 (3), 54-31. [In Persian]
- Rahimi Shahid, Mojtaba, Rahimi, Nima, 2017, "Earthquake Risk Zoning Using Analytic Hierarchy Process (AHP) and Geographic Information System (GIS) (Case Study: Central Part of Semirrom County)", New Findings of Applied Geology, Volume 11, No. 22, pp. 109-118. [In Persian]
- Talaei, Hassan, Khiz, Ahmad Chaichi Amir, Harsini, Mohammad Reza Saeedi, (2006), "Preliminary Report on the Establishment of Bronze Age Settlement Patterns in Nahavand Plain (Kamasiab Source)", Journal of the Faculty of Literature and Humanities, Volume 57, Number 5, Page 122 -138. [In Persian]

### References (in English)

- Abler, R. (2017). The National Science Foundation Center for Geographic Information and Analysis. International Journal of Geographic Information Systems, 1:26-303.
- Deligiannakis, G., Papanikolaou, I. D., & Roberts, G. (2018). Fault-specific GIS-based seismic hazard maps for the Attica region, Greece. *Geomorphology*, 306, 264-282.
- Foster, S. & Tuinhof, A. (2004). Subsurface Dams to Augment Groundwater Storage in Basement Terrain for Human Subsistence Brazilian and Kenyan Experience World Bank Groundwater Management Advisory Team, No. 5. DOI:10.13140/RG.2.1.2725.1280
- Hashemi, M., & Alesheikh, A. A. (2011). A GIS-based earthquake damage assessment and settlement methodology. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31(11), 1607-1617.
- Jena, R., Pradhan, B., Beydoun, G., Al-Amri, A., & Sofyan, H. (2020). Seismic hazard and risk assessment: a review of state-of-the-art traditional and GIS models. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(2), 50.
- Moradi, M., Delavar, M. R., & Moshiri, B. (2015). A GIS-based multi-criteria decision-making approach for seismic vulnerability assessment using quantifier-guided OWA operator: a case study of Tehran, Iran. *Annals of GIS*, 21(3), 209-222.
- Nilsson, A. (2008). Groundwater dam for small-scale water supply. Intermediate technology publication Ltd.
- Nyimbili, P. H., Erden, T., & Karaman, H. (2018). Integration of GIS, AHP, and TOPSIS for earthquake hazard analysis. *Natural Hazards*, 92(3), 1523-1546.



- Sadrykia, M., Delavar, M., & Zare, M. (2017). A GIS-Based Fuzzy Decision-Making Model for Seismic Vulnerability Assessment in Areas with Incomplete Data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6. DOI: 10.3390/ijgi6040119
- Sinha, N., Priyanka, N., & Joshi, P. K. (2016). 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*, 7(2), 680-701.
- Vatseva, R., Solakov, D., Tcherkezova, E., Simeonova, S., & Trifonova, P. (2013). Applying GIS in Seismic Hazard Assessment and Data Integration for Disaster Management (pp. 171-183).
- Zadeh Lotfi, A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353.